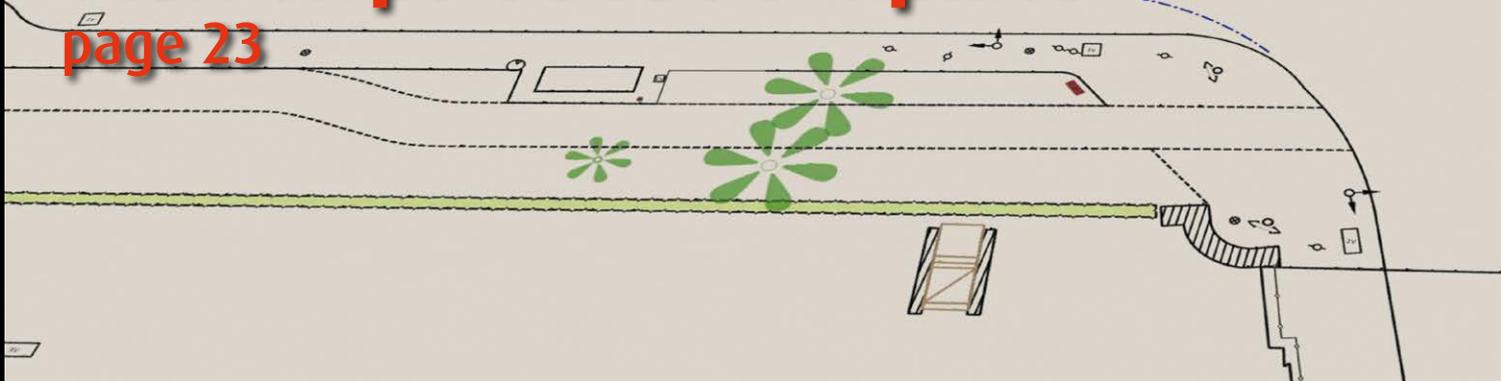


SNCF Réseau : de l'acquisition 3D à la diffusion de la donnée page 39

DOSSIER SPÉCIAL PCRS

Plan corps de rue simplifié

page 23





FORUM DE LA TOPOGRAPHIE 2018

L'Association française de topographie (AFT)
et le lycée Cantau, Anglet (Pyrénées-Atlantiques)
accueillent

le 14^e Forum de la topographie

le jeudi 29 mars 2018 de 9 h 00 à 17 h 30

1 allée de Cantau, 64600 Anglet

sur le thème

La cartographie mobile intérieure et extérieure



RÉSERVEZ DÈS MAINTENANT VOTRE JOURNÉE EN VOUS PRÉ-INSCRIVANT PAR COURRIER OU PAR COURRIEL

M/Mme Nom : _____ Prénom : _____

Société ou organisme : _____

Adresse : _____

Code postal : [] [] [] [] [] [] Ville : _____ Pays : _____

Tél. : [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] Portable : [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] []

Courriel : _____

cochez cette case si vous ne voulez pas que votre adresse courriel soit communiquée aux participants du Forum

J'envoie un chèque de 10 € à l'ordre de l'AFT pour régler le repas.

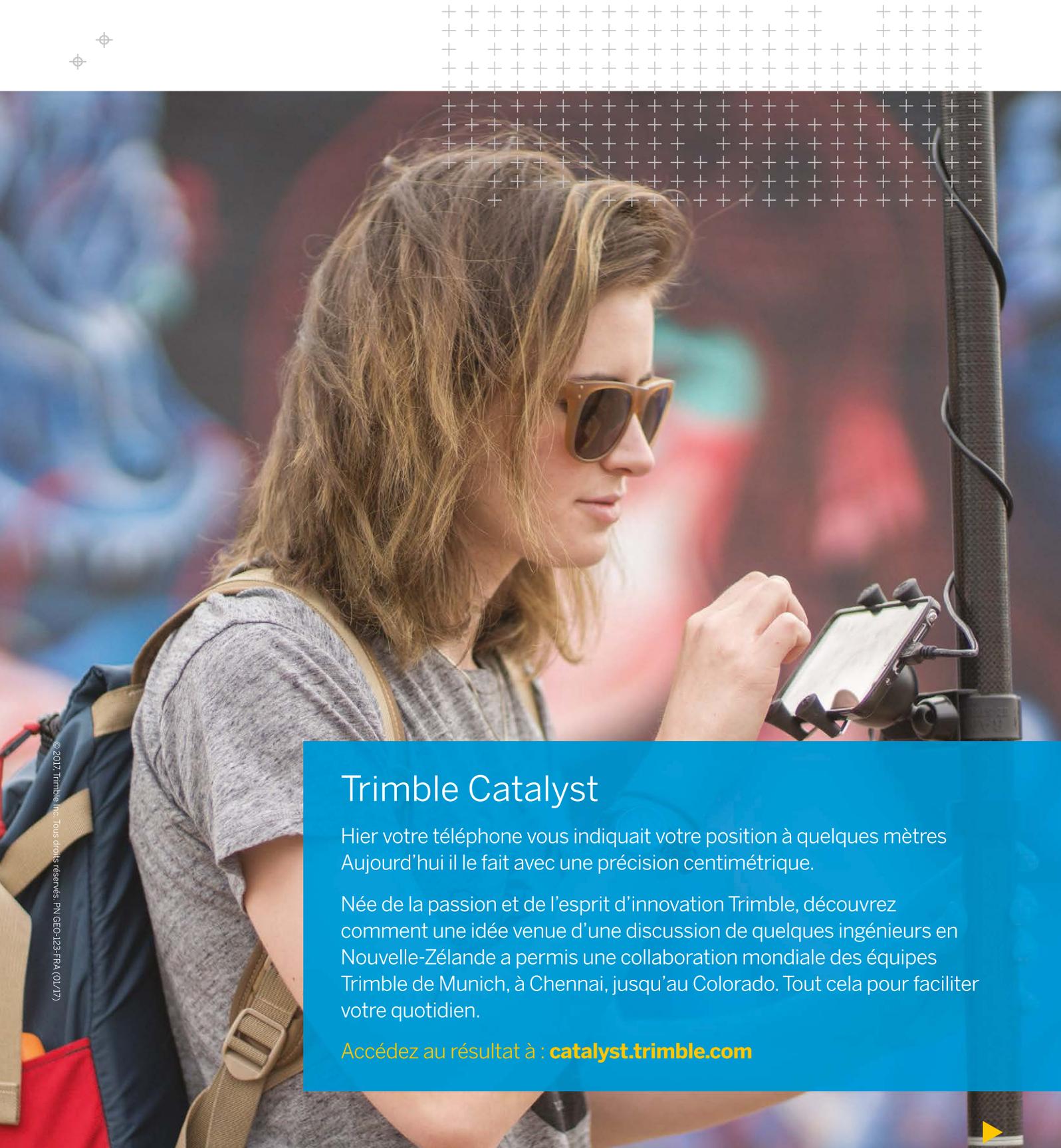
Date / / Signature

NOUVEAU !
RÉSERVEZ PAYEZ EN LIGNE
<https://www.weezevent.com/forum-aft>

Retourner ce bulletin à l'Association française de topographie

73, avenue de Paris - 94165 SAINT-MANDÉ Cedex - Tél. : +33 (0) 1 43 98 84 80

Participants : forum@aftopo.org – Exposants : communication@aftopo.org



© 2017 Trimble Inc. Tous droits réservés. PN GEO-123-FRA (01/17)

Trimble Catalyst

Hier votre téléphone vous indiquait votre position à quelques mètres
Aujourd'hui il le fait avec une précision centimétrique.

Née de la passion et de l'esprit d'innovation Trimble, découvrez comment une idée venue d'une discussion de quelques ingénieurs en Nouvelle-Zélande a permis une collaboration mondiale des équipes Trimble de Munich, à Chennai, jusqu'au Colorado. Tout cela pour faciliter votre quotidien.

Accédez au résultat à : catalyst.trimble.com

**Sur simple demande, de la haute
précision GNSS pour appareils mobiles**

Solutions GNSS

Pour plus d'informations visiter
leica-geosystems.fr
et demander une démonstration

Leica GS18 T

Le mobile GNSS temps réel le plus rapide au monde

Avec l'introduction du GNSS : Leica GS18 T, mesurez n'importe quel point plus rapidement et plus facilement sans avoir besoin de verticaliser la canne. Cette toute dernière innovation combine la technologie GNSS et l'unité de mesure inertielle (IMU). Leica Geosystems propose une solution unique de compensateur d'inclinaison, insensible aux perturbations magnétiques et sans calibration.

Economisez jusqu'à 20% de temps par rapport aux pratiques conventionnelles de levé, mesurez plus rapidement même dans les zones inaccessibles et oubliez la bulle.



Leica Geosystems SAS
www.leica-geosystems.fr



- when it has to be **right**

Leica
Geosystems

contactez nous : info.france@leica-geosystems.fr

Directeur des publications

Tania Landes
Maître de conférences
INSA de Strasbourg

Directeur des publications adjoint

Bernard Flacelière
Ingénieur topographe

Rédaction et administration XYZ

73, avenue de Paris
94165 Saint-Mandé Cedex
Tél. +33 (0) 1 43 98 84 80

Rédacteur en chef

Bernard Flacelière

Comité de Rédaction

André Bailly
Ingénieur géomètre ETP
Françoise Duquenne
Ingénieur général des Ponts honoraire
Stéphane Durand
Maître de conférences à l'ESGT
Ghyslain Ferré
Enseignant en topographie
Pierre Grussenmeyer
Professeur des universités
INSA de Strasbourg
Michel Kasser
Professeur des universités
Jean-Pierre Maillard
Géomètre-expert foncier
Emmanuel Natchitz
Ingénieur géomètre
Elodie Sissler
Enseignant en topographie et foncier
Michel Trouillet
Ingénieur topographe

Responsable du site Internet

Tania Landes

Publicité

Samuel Guillemin
Tél. 06 72 12 08 97
communication@aftopo.org

Conception et maquette

Dorothée Picard

ALBEDIA IMPRIMEURS

Zone industrielle de Lescudilliers
26 rue Gutenberg
BP 90449 - 15004 Aurillac Cedex
Tél. 04 71 63 44 60
Fax 04 71 64 09 09



Dépôt légal

4^e trimestre 2017 ISSN 0290-9057

Tirage de ce numéro : 1 600 ex

Abonnement annuel

France : 83 €

Étranger (dont CEE) : 86 €

Les règlements payés par chèques payables sur une banque située hors de France doivent être majorés de 10 €, sauf à utiliser l'identifiant international de compte IBAN

FR69 2004 1000 0116 3000 3Y02 048

Le numéro : 23 €

Membre du Syndicat de la presse culturelle et scientifique (SPCS)

L'AFT n'est pas responsable des opinions émises dans les conférences qu'elle organise ou les articles qu'elle publie. Tous droits de reproduction ou d'adaptation strictement réservés.

Couverture : Superposition de maillage 3D texturé et de nuage de points LIDAR classifié sur un fond de plan topographique. © Eurométropole

afto La revue XYZ est éditée par l'association française de topographie

Membre de la FIG (Fédération internationale des géomètres) **FIG**

73, avenue de Paris - 94165 Saint-Mandé Cedex - Tél. : +33 (0) 1 43 98 84 80

Courriel : info@aftopo.org • Site Internet : <http://www.aftopo.org>

Editorial 5

InfoTopo

> Les informations de la profession 7

Manifestation

> Le 6^e colloque sur les aspects scientifiques et fondamentaux de Galileo s'est tenu à Valence
Jonathan CHENAL 13

> Intergeo® 2017 à Berlin
Reinhard STÖLZEL - Olivier REIS 14

> FIG 2017 - Le règne animal s'efface devant celui de l'homme
Jean-Pierre MAILLARD 16

> SIG 2017
Mathieu KOEHL 18

> INGE0-2017 - Conférence internationale sur la topographie au service de l'ingénierie à Lisbonne.
7th Conference on Engineering Surveying
Gilbert FERHAT 19

> Journées de la topographie 2017 : le PCRS suscite des interrogations
Calypto PLASSE 20

BIM

> Un code d'éthique pour le BIM
Emmanuel NATCHITZ - Hervé HALBOUT 22

DOSSIER SPÉCIAL PCRS

Cartographie

> Production des données topographiques de référence de l'Eurométropole de Strasbourg
Olivier BANASZAK - Sébastien WEHRLÉ 23

Juridique

> Le droit français et les nouvelles méthodes d'acquisition de données : de quelques restrictions inhérentes aux droits des tiers
Élisabeth BOTREL 29

Cartographie

> Le PCRS, développement de l'idée et l'état d'avancement actuel
Pierre NGUYEN-TRONG 33

Cartographie

> L'acquisition et le traitement des données dans le cadre du PCRS
Florent MICHELS - Romain LEMETTAIS 36

Lasergrammétrie

> SNCF Réseau : de l'acquisition 3D à la diffusion de la donnée
Mathieu REGUL - Franck RICHARD
Jean-Christophe MICHELIN - Bruno LANDES 39

> Modélisation d'un oppidum sous couvert végétal dense, en Eure-et-Loir, par un LiDAR aéroporté par drone
Isabelle HEITZ - Dominique JAGU 45

Géodésie

> Nivellement de très haute précision
Johan LECLERCQ - Alain COULOMB 52

> L'ITRF2014 et la modélisation des mouvements non linéaires des stations
Zuheir ALTAMIMI - Paul REBISCHUNG
Laurent MÉTIVIER - Xavier COLLILIEUX 55

Topométrie

> Étude d'un nouveau procédé pour la mesure et la correction de la réfraction par corrélation d'images
Michel KASSER - Jean-Luc MAGNENAT 58

Topo vécue

> Topo Sans Frontières Madagascar, mission 1
Antoine GRENIER - Noémie CHARPY
Antoine BOSCHET 63

Histoire

> Trois siècles de coopération franco-équatorienne en Géodésie
Claude BOUCHER 67

> La tablette babylonienne Plimpton 322 : une table trigonométrique ?
Ghyslain FERRÉ 70

Récréation topographique

Art et géométrie

> Jean-Paul Moscovino : la sculpture dans la peau
Jean-Pierre MAILLARD 72

Ouvrages

André BAILLY 74

Pour la recherche de nos annonceurs consulter la page 76

PROCHAIN XYZ - n° 154
Cartographier le relief sous les forêts et le substrat sous les déserts de sable : les promesses de la mission Biomass.



UNE NOUVELLE CLASSE EST NEE

[autofocus]
powered by Nikon

Découvrez les
Nikon XS & XF,

les stations totales mécaniques les plus précises, robustes et légères qui soient. Dotées de la mise au point automatique et de l'optique Nikon, de la géolocalisation et d'un double affichage complet, nos stations totales s'appuient sur la qualité et la fiabilité qui ont fait de Nikon une légende.

Donnez le pouvoir à la productivité.





Vous avez dit captation ?

Dans ce numéro, le lecteur trouvera plusieurs occurrences du mot féminin **captation** employé dans les articles parlant de drones aussi dénommés UAV (*unmanned aerial vehicle*) ou quelquefois de relevés par scanner laser. Sous peine d'induire ce lecteur en erreur, vérification et contrôle s'imposent, ce sont mission et devoir du rédacteur en chef.

En terme juridique, la captation est la manœuvre pour s'emparer d'une succession, ou simplement pour arracher quelque libéralité à quelqu'un. *A priori* ce n'est pas cela qui nous intéresse.

La captation est aussi l'action de s'emparer physiquement de quelque chose et par analogie l'action de recueillir des ondes de diverses natures (sonores, hertziennes, etc.) puis de fixer ces sons sur un support concret (cf. *Annuaire de la radio*, 1933, p. 88).

Cette dernière définition a évolué dans le monde de l'audiovisuel où une captation est un enregistrement vidéo d'un spectacle vivant ou musical sur un support matériel pour une réutilisation commerciale sous forme vidéo ou sonore.

Et voilà où le bât blesse : les professionnels géomètres-topographes qui opèrent avec des drones lors des opérations de topométrie emploient une expression utilisée par les vidéastes et qui ne désigne que la phase de prise de vue.

Et pourtant il existe les termes historiques que tout géomètre-topographe a employé lors des travaux de déterminations de coordonnées : le levé, le lever, le relevé, l'acquisition (de données). Ces opérations sont suivies des traitements et autres restitutions graphiques et numériques. Les géomètres-topographes se seraient-ils fait griller la politesse par les vidéastes et les pilotes, les premiers en action dans ce domaine ?

À défaut de regretter l'inertie de notre profession, acceptons ici "captation" et employons-le à bon escient mais sans oublier notre propre vocabulaire.

Que ceci n'empêche pas notre lecteur de se délecter de ce numéro de cette fin d'année offrant le dossier spécial PCRS ou "Plan corps de rue simplifié" ainsi que des articles riches et variés.

Puis passons au prochain Forum : le conseil de l'AFT et la rédaction de XYZ ont le plaisir d'annoncer que le 14^e Forum de la topographie se tiendra le jeudi 29 mars 2018 au lycée Cantau à Anglet dans les Pyrénées-Atlantiques. Le thème retenu est **la cartographie mobile intérieure et extérieure** et grâce à l'équipe entreprenante du lycée, l'organisation de ce forum présage un franc succès enrichi par le dynamique grand Sud-Ouest mais aussi appuyé par un Pays basque bi-culturel franco-espagnol (les Basques diront tri-culturel). Également, un sympathique événement nous attendra : l'AFT sera heureuse d'être la marraine de la première promotion de licence GEO 3D qui porte sur l'acquisition et le traitement des données numériques, la photogrammétrie terrestre et aérienne (acquisition par drones) et la géolocalisation puis la conception et le traitement des maquettes numériques (BIM).

Et le lecteur notera que le terme captation n'est pas du tout employé dans ce programme d'enseignement !

Pour terminer, le conseil de l'AFT et la rédaction de XYZ souhaitent à tous ses lecteurs, adhérents et abonnés une très bonne année tant personnelle que professionnelle.

Bernard FLACELIÈRE, rédacteur en chef

■ Parution du 1^{er} Catalogue des géo-entreprises françaises



A l'occasion de la Conférence francophone de l'information géographique (Strasbourg, 4 et 5 septembre 2017), l'AFIGEO a présenté sa nouvelle publication : le 1^{er} "Catalogue des géo-entreprises françaises – Panorama des acteurs économiques de la géographie numérique". Dédié à la promotion des 485 géo-entreprises référencées dans l'annuaire en ligne, ce catalogue reflète la diversité et l'excellence du secteur privé français dans le domaine de l'information géographique. Structuré autour de cinq parties, ce panorama invite le lecteur à découvrir un écosystème dynamique, aux multiples visages (producteurs de données, éditeurs / intégrateurs de logiciels, développeurs d'applications, consultants en géomatique, médias spécialisés...), présents en métropole et outre-mer.

► **En savoir plus :** <http://geo-entreprises.afigeo.asso.fr>

■ 1^{er} janvier 2018 : obligation de l'AIPR

Au 1^{er} janvier 2018, l'Autorisation d'Intervention à Proximité des Réseaux (AIPR) sera obligatoire pour tous les personnels intervenants dans la préparation ou l'exécution de travaux à proximité de réseaux. Différentes sociétés offrent des formations sur la réglementation dans le but d'obtenir cette habilitation.

■ Nouveau module SIG de Land2Map

Land2Map de SOGELINK est un outil métier innovant conçu pour la réalisation de levés cartographiques et de renseignements SIG. Il s'interface en toute simplicité avec les appareils de mesure (récepteur GNSS, station totale et détecteur) et s'adapte à votre cahier des charges. Indépendant des éditeurs de SIG, le nouveau module de Land2Map allie cartographie et renseignements techniques pour permettre la réalisation des mises à jour directement sur le terrain. Les données récoltées (graphiques et descriptives) sont stockées dans une base au format SQLite.



■ e-btp et Autodesk signent un partenariat afin de favoriser le développement du BIM en France

A l'occasion de l'Assemblée Générale de l'AFIGEO (le 23 juin 2017, à l'Agence e-btp et Autodesk annoncent la signature d'un partenariat illustrant leur volonté commune de contribuer activement au développement du BIM auprès des acteurs de la filière BTP. Les deux partenaires entendent collaborer pour accompagner les entreprises de Bâtiment et de Travaux Publics à faire face à un environnement technologique de plus en plus exigeant qui aura vu une accélération de la montée en puissance du BIM. Ce partenariat doit permettre de sensibiliser tous les acteurs au gisement potentiel de qualité et d'économie pour le secteur que constitue le développement du BIM. Les bénéfices de ce partenariat sont d'ouvrir aux entreprises abonnées au portail e-btp l'accès à une offre "BIM e-btp" leur permettant de bénéficier de tarifs préférentiels sur les solutions logicielles BIM pour la construction d'Autodesk et leur plate-forme collaborative BIM, ainsi qu'aux formations qui y sont attachées.

► **Informations :** www.e-btp.fr/ et <http://www.autodesk.fr/>

■ CycloMedia : vue immersive 360° de Paris

Plusieurs véhicules de la société néerlandaise CycloMedia, spécialisée dans la visualisation immersive de l'environnement urbain, ont sillonné depuis fin août les rues de Paris pour effectuer la captation d'images panoramiques 360 degrés. Cette captation permettra de réaliser une vue immersive de l'environnement urbain parisien. Les images récupérées



par les véhicules CycloMedia circulant sur la voie publique seront ensuite mises à la disposition d'organismes publics et privés en vue de l'inspection de l'environnement public, comme support visuel de la mise en œuvre de la législation, à des fins éducatives, pour la sécurité publique, pour élaborer des plans de développement, etc. CycloMedia respecte les directives de la CNIL pour le floutage des personnes et des plaques d'immatriculation. Les images seront uniquement utilisées dans le cadre d'activités publiques ou professionnelles et ne seront pas publiées sur internet.

► **Pour plus d'information :** www.cyclomedia.com



■ Solar Orbiter paré au lancement avant la prochaine éclipse totale de Soleil

Le 21 août 2017, l'éclipse totale de Soleil visible depuis les États-Unis a offert une vue spectaculaire de la mystérieuse couronne solaire. Cette "auréole" d'une température d'un million de degrés qui entoure le Soleil n'est observable depuis la Terre que lorsque la Lune passe devant le lumineux disque solaire qui, en temps normal, occulte la faible lumière de la couronne. Les scientifiques ont pu étudier la lueur de la couronne pendant les 160 s que dure le phénomène, pour tenter de répondre aux nombreuses questions que suscite cette mystérieuse auréole. Pendant ce temps, l'intégration de la sonde Solar Orbiter de l'Agence spatiale européenne entre dans sa dernière phase. Solar Orbiter sera lancé en février 2019 sur une orbite proche du Soleil. Les scientifiques seront ainsi en mesure d'étudier la couronne solaire avec davantage de précision, sur des périodes bien plus longues et à une distance nettement réduite que ce qui est possible sur la Terre ou avec un satellite évoluant en orbite terrestre. La sonde embarquera dix instruments qui observeront en détail la couronne, le disque solaire, le vent solaire et les champs magnétiques du Soleil, fournissant ainsi des informations sans précédent sur le fonctionnement de notre étoile et la manière de mieux prévoir les périodes de "tempête spatiale" que le Soleil nous envoie de temps à autre. Au moment de la prochaine éclipse totale de Soleil, au-dessus de l'océan Pacifique et de l'Amérique du Sud le 2 juillet 2019, Solar Orbiter aura commencé son voyage de trois ans et demi vers le système solaire interne pour se rapprocher du Soleil.

■ Smartphones : bientôt des récepteurs GNSS bifréquence

L'entreprise Broadcom a annoncé l'arrivée d'une nouvelle puce baptisée BCM47755 pour les applications de smartphones basées sur la réception par satellite. Ce récepteur sera efficace au milieu des gratte-ciel et capable de déterminer une position avec une précision de 30 cm (contre plusieurs mètres actuellement). Des smartphones équipés de cette puce seront disponibles sur le marché dès 2018. Le degré de précision annoncé repose sur le fait que les appareils équipés de cette puce s'appuieront sur les fréquences L1 et L5 émises par les satellites, la nouveauté étant que la puce BCM47755 ouvre les fréquences L5 aux applications grand public après le domaine industriel. Les applications de géolocalisation grand public seront donc plus résistantes aux interférences ou aux réflexions de signaux qui sont beaucoup plus susceptibles de se produire dans un environnement urbain. La puce BCM47755 permet la réception des signaux satellites GPS, Glonass, QZSS et Galileo. En l'état actuel, l'Europe est, semble-t-il, en pôle position pour bénéficier de ces avancées puisque l'émission des signaux L1 et L5 est un standard sous le système de navigation Galileo.

■ Nouvelles stations totales de Nikon-Trimble

Nikon-Trimble Co., Ltd. vient de présenter ses stations totales mécaniques Nikon XF et Nikon XS qui étoffent son portefeuille de solutions pour les applications générales de topographie et de BTP. Perpétuant une tradition d'optique de qualité supérieure, les stations totales mécaniques Nikon XF et Nikon XS sont dotées de nouvelles fonctions qui facilitent et accélèrent le travail du géomètre, notamment un EDM sans prisme d'une portée de 800 mètres, une technologie de mise au point automatique et un double affichage complet. La possibilité de changer les batteries à chaud réduit les temps d'arrêt et l'ajout d'un code PIN améliore la sécurité sur le terrain. Les Nikon XF et Nikon XS offrent des précisions de 1", 2", 3" et 5".



► Plus d'informations : www.spectraprecision.com

■ L'ÉPADESA et l'OGÉ signent une convention pour la modélisation des droits attachés à la propriété foncière

L'ÉPADESA (Établissement public d'aménagement de La Défense Seine Arche) poursuit sa démarche d'innovation. Dans la continuité de l'accord-cadre établi avec le CSTB en avril 2016 pour la mise en œuvre d'une démarche BIM multi-échelles, l'ÉPADESA a signé une convention avec l'Ordre des géomètres-experts relative à la modélisation des droits attachés à la propriété foncière. Patrick Jarry, Président de l'ÉPADESA, Jean-Claude Gaillot, Directeur général de l'ÉPADESA, et Jean-François Dalbin, Président de l'Ordre des géomètres-experts (OGÉ), ont signé le mardi 24 octobre 2017 une convention de partenariat pour la mise en œuvre d'une démarche intégrant les questions juridiques et foncières des données contenues dans les maquettes numériques BIM multi-échelles, qu'elles s'appliquent à l'échelle d'un bâtiment,

ou à celle d'un quartier. Cette convention, une première entre un établissement public d'aménagement et les géomètres-experts, marque une étape importante dans la manière de concevoir et de modéliser l'aménagement urbain. L'Ordre des géomètres-experts et l'ÉPADESA mettent en commun leur expertise et mènent une réflexion dans l'objectif de développer un outil structuré qui capitalise sur les avancées des uns et des autres. À l'image de la maquette virtuelle BIM qui détaille très précisément les données d'un bâtiment, le partage de connaissances avec l'Ordre des géomètres-experts permettra, à terme, de modéliser le même bâtiment dans son environnement, en tenant compte des données topographiques et des contraintes du paysage urbain, liées à la propriété foncière et à sa définition juridique.

■ Barre des Écrins - Mesures officielles 2017

La Barre des Écrins avait été mesurée pour la première fois en août 1828 depuis le Pelvoux par le Capitaine Adrien Durand à 4105 mètres puis en 1905 par Paul Helbronner, la Barre culminait à 4100 mètres. Depuis plus d'un siècle, l'altitude communément retenue est de 4102 m. Plusieurs tentatives d'ascension en juillet dernier par une vingtaine de géomètres-experts ont avorté principalement à cause des conditions météorologiques. Les géomètres-experts se sont donc armés de patience, attendant qu'une fenêtre climatique propice à l'ascension s'ouvre sur le massif afin de mener une campagne de mesures sur la Barre des Écrins, le Pic Lory et le Dôme de neige, un enjeu majeur pour redéfinir leurs altitudes et contrôler la surrection des Alpes. Un groupe restreint de quatre géomètres-experts, présents depuis le début de l'aventure : Michel Baud, Ilario Previtali, Stéphane Carde, Vincent Gaillard, ont pu atteindre le 23 août dernier le sommet pour collecter les données mesurées à l'aide du Réseau TERIA. Suivant celles-ci, le sommet le plus haut surplombe le massif à 4101,17 mètres d'altitude.



■ Orphéon devient le premier réseau 100 % Full GNSS de France

Depuis le 12 octobre, Géodata Diffusion étoffe son offre de service en proposant des corrections NRTK temps réel Full GNSS compatibles avec GPS, GLONASS, Galiléo et BeiDou. L'ajout des satellites Galiléo et BeiDou aux satellites GPS et GLONASS permet d'accroître significativement le nombre de satellites pouvant être observés en simultanée par une antenne GNSS. Aujourd'hui, cela représente une trentaine de satellites contre une vingtaine habituellement, soit une augmentation de 50 %. La qualité de positionnement est accrue avec un accès même dans des environnements difficiles (canyons urbains par exemple ou sous une canopée), une fiabilité du positionnement améliorée et un temps de fixation plus court.

■ 8 nouveaux satellites Galileo

L'agence spatiale européenne (ESA) a signé fin juin 2017 un contrat pour la mise en place des 8 derniers satellites de la constellation GPS Galileo, la constellation devant alors être complète. Le contrat a été signé par l'Agence spatiale européenne, au nom de la Commission européenne, et par l'industriel allemand OHB (déjà fabricant des satellites précédents), lors du Salon du Bourget.

Au total, 18 satellites Galileo sont en orbite autour de la Terre actuellement, les derniers ayant été mis en orbite le 11 septembre 2017. L'Europe a lancé le 15 décembre 2016 les premiers services de son système Galileo mais ils sont réservés pour l'instant aux rares possesseurs d'équipements compatibles. Le système devrait être pleinement opérationnel en 2020.



■ Sentinel-5 Precursor rejoint son site de lancement



Fin août, le satellite européen de surveillance de la pollution, Sentinel-5 Precursor, a quitté le site d'Airbus à Stevenage pour rejoindre le cosmodrome de Plesetsk, en Russie. Son lancement a eu lieu le 13 octobre 2017 à bord d'un lanceur Rocket.

Sentinel-5 Precursor est partie intégrante du programme européen de surveillance mondiale "Copernicus", un projet commun de la Commission européenne et de l'Agence spatiale européenne (ESA) visant à acquérir en permanence des données précises d'observation de la Terre et à fournir des services permettant d'améliorer la gestion de l'environnement, comprendre et réduire les effets du changement climatique et garantir la sécurité civile. Sentinel-5 Precursor transmettra au programme Copernicus des données essentielles sur la chimie atmosphérique jusqu'à la mise en service de l'instrument Sentinel-5 en 2021 à bord du satellite MetOp de deuxième génération.

■ SCENE 7.0 de FARO - Recalage sur site en temps réel

La société FARO lance le logiciel FARO® SCENE 7.0 qui inclut les mêmes fonctionnalités que son prédécesseur SCENE 6.2 mais en allant plus loin grâce au recalage sur site en temps réel, pour les nuages de points des FARO® Laser Scanner FocusS. Auparavant, le processus qui consistait à effectuer un scan sur le terrain et à le transférer sur une station de travail ou PC comportait trois étapes avant l'utilisation des données : enregistrement sur site sur des cartes SD, insertion dans la station de travail ou PC pour télécharger les données, recalage des scans. SCENE 7.0 offre un flux de travail fluide plus efficace avec la compilation de ces trois étapes sur le terrain.

► Pour plus d'informations : www.faro.com



■ Venµs livre ses premières images



© CNES

La forêt tropicale au Pérou (région d'Ucayali) observée par Venµs le 19 août 2017

Quelques jours après sa mise en orbite, Venµs, le satellite franco-israélien dédié à la végétation, a fourni ses premières images, offrant ainsi un aperçu des données qui seront acquises durant les prochaines années pour une meilleure compréhension de l'évolution du climat, de ses impacts et des voies d'adaptation. Lancé par Vega depuis le Centre Spatial Guyanais (CSG), Venµs est un satellite scientifique développé conjointement par le CNES, l'ISA (Israel Space Agency) et le CESBIO, et construit par IAI (Israel Aerospace Industries). Grâce à sa caméra multi-spectrale fournie par le CNES, il observe désormais plus de 100 sites scientifiques avec une résolution de 5 mètres. Les sites

sélectionnés représentent les principaux écosystèmes terrestres, naturels et cultivés. Ils seront observés pendant deux ans et demi, tous les deux jours. La caméra fournit des images dans 12 bandes spectrales, du bleu au proche infrarouge. La fréquence d'observation de Venµs, la haute résolution spatiale, la prise de vue sous des angles constants et la richesse spectrale, constituent une première mondiale qui permettra de mieux comprendre et modéliser l'évolution des surfaces sous l'influence du climat et des activités humaines. Venµs contribuera également à la définition des futurs satellites européens d'observation de la Terre.

■ Projet Ricochet : Azur Drones au service des territoires côtiers

Azur Drones est partenaire du projet Ricochet commandité par l'Agence Nationale pour la Recherche (ANR). Ce projet a pour objectif de réaliser une évaluation globale des territoires côtiers à falaises de la Normandie. L'ANR a fait appel à Azur Drones pour réaliser des prises de vues et des modélisations 3D afin de prévenir et anticiper les risques naturels.

Le projet Ricochet s'étend sur quatre ans et comprend plusieurs missions sur différents territoires. Parmi les multiples actions en cours, Azur Drones a opéré dans les communes de Quiberville, de Puits, de Criel-sur-Mer, d'Ault, de Houlgate et de Honfleur.

Les missions sont réalisées avec un drone à voilure tournante, octocoptère (huit moteurs), équipé d'un appareil photographique numérique haute résolution et d'une nacelle gyroscopiquement stabilisée permettant les captations en oblique et au zénith. Les livrables permettent alors d'analyser l'érosion des falaises ainsi que leur stabilité mais aussi de calculer la volumétrie de tous les blocs identifiés comme érodés.



■ Concours de l'Innovation BATIMAT 2017 DRONE VOLT remporte un award



DRONE VOLT, constructeur français de drones professionnels, a reçu un Award Innovation argent pour son drone HERCULES 10 SPRAY. Le Grand Jury du Concours de l'Innovation du Mondial du Bâtiment 2017 lui a attribué cette récompense dans la catégorie "Matériel de chantier, outillage et équipement". Lancé en janvier 2017, ce drone est un dispositif

professionnel destiné à la pulvérisation de produits liquides dans l'industrie du BTP. Il permet le traitement de surfaces difficiles d'accès ou dangereuses. D'une mise en œuvre rapide, en quelques minutes seulement, il permet de réduire le déploiement de matériel et le risque humain lié aux interventions en hauteur.

■ Agenda des manifestations

- **Les 16 et 17 janvier, Conférence RPAS CivOps (mesures et réglementation concernant les drones civils)**, à Paris <https://rpas-civops.com/>
- **Du 5 au 7 mars, Munich Satellite Navigation Summit**, Allemagne <https://www.munich-satellite-navigation-summit.org/>
- **Du 13 au 15 mars 2018, Oceanology International**, Londres <http://www.oceanologyinternational.com/>
- **Du 20 au 22 mars, Mérégiéo, colloque de la géomatique appliquée au milieu marin**, à Aix-en-Provence <http://www.merigeo.fr/>
- **Le 23 mars, colloque "Le Grand Pari(s) des géomètres"** au CNAM Paris (organisation ESGT)
- **Le 29 mars 2018, Forum de l'AFT, lycée Cantau, Anglet (Pyrénées-Atlantiques)**
- **Du 29 au 30 mars 2018, BIM World**, Paris la Défense - <http://bim-w.com/>
- **Du 6 au 11 mai 2018, congrès de la FIG**, Istanbul, Turquie <http://www.fig.net/fig2018/>
- **Du 14 au 17 mai, European Navigation Conference (ENC2018)**, Gothenburg, Suède <http://enc2018.eu/>

■ 4 nouvelles stations déployées dans le réseau TERIA

Après la couverture et une mise en service de Mayotte, ce sont quatre nouvelles stations qui viennent d'être installées en Métropole, portant à 202 le nombre de stations GNSS (compatibles avec les systèmes de positionnement GPS, GLONASS, GALILEO et BeiDou). Le réseau TERIA poursuit ainsi son extension territoriale avec la couverture dans les prochaines semaines de l'île de la Réunion. Les nouvelles stations : Solaure-en-Diois (SOLR) - Drôme ; Prayssac (PRAC) - Lot ; Saint-Jean-d'Angély (SJDA) - Charente-Maritime ; Lurcy-Levis (LULI) - Allier

■ Noms des communes nouvelles : les règles à respecter

Un article paru dans "Maire info, newsletter quotidienne et gratuite de l'Association des maires de France (AMF)" (édition du 17 janvier 2017) revient sur les noms des communes nouvellement créées. Cet article, reproduit in extenso ci-dessous, montre que la toponymie (et la typographie liée), souvent issue de la topographie des lieux, reste un sujet bien actuel.

Les noms de nombreuses communes nouvelles créées entre 2015 et 2017 sont orthographiés de façon impropre. C'est le constat que l'on peut dresser précisément en analysant les 479 arrêtés parus à ce jour au Journal officiel et portant création de communes nouvelles : 168 noms sur les 479 – soit plus de 35 % – ne sont pas conformes aux règles orthographiques ou typographiques en vigueur.

Dans l'immense majorité des cas, il s'agit du non-respect d'une règle de typographie toute simple : lorsque le nom d'une commune (ou de n'importe quelle collectivité) est composé de plusieurs mots, tous les mots doivent être unis par des traits d'union. On écrit Saint-Germain-en-Laye ou Gamaches-en-Vexin, et jamais Saint-Germain en Laye ni Gamaches en Vexin. Seule exception : les articles définis, lorsqu'ils sont placés au début du nom. On écrit Les Andelys et non Les-Andelys. En revanche quand l'article est placé à l'intérieur du nom (Ivry-la-Bataille), les traits d'union s'imposent.

Autre règle bien souvent mise à mal dans les noms de communes nouvelles : tous les mots d'un nom de lieu, à l'exception des articles placés à l'intérieur du nom ou des prépositions, doivent prendre une capitale : il faut écrire par exemple Gallargues-le-Montueux, Le Grau-du-Roi, Neuilly-sur-Seine, Vieilles-Maisons-sur-Joudry.

Or, il faut bien constater qu'un très grand nombre de communes nouvelles ne respectent pas ces règles. Si l'on peut évidemment comprendre que les élus eux-mêmes n'aient pas porté toute leur attention sur ce qui peut apparaître comme un détail, il est plus étonnant que les services des préfets, en rédigeant leurs arrêtés, et davantage encore les services du Journal officiel, aient laissé passer autant d'erreurs : traits d'union manquants, usage anarchique des majuscules, voire de véritables fautes d'orthographe – ou parfois le tout à la fois.

Ces règles ne sont pas de simples lubies de grammairiens, mais revêtent

une importance réelle, comme l'explique Pierre Jaillard, président de la Commission nationale de toponymie (CNT) – une instance dépendant du Conseil national de l'information géographique chargée de veiller "à la conservation et au développement cohérent du patrimoine toponymique de la France". "Le premier problème est d'ordre pratique, souligne Pierre Jaillard, c'est celui du traitement informatique." Le fait que tous les noms de lieux répondent aux mêmes règles d'orthographe facilite les recherches et évite des erreurs ou des possibilités de doublon. "Mais il s'agit surtout du respect de la langue française et de la compréhension de la signification des règles". Pourquoi, en effet, mettre un trait d'union ? "Parce que cela marque l'unité administrative de ce dont on parle", poursuit le président de la CNT : Wallis-et-Futuna est une collectivité territoriale, alors que Wallis et Futuna sont deux îles. On pourrait multiplier les exemples : saint Pierre est un personnage religieux, alors que Saint-Pierre est une commune des Alpes-de-Haute-Provence, etc. "De plus, ajoute Pierre Jaillard, il existe en linguistique un phénomène appelé "analogie", qui tend à reconstituer une homogénéité de traitement de cas similaires par la simple pression de l'usage. Ce phénomène risque fort de rétablir des graphies correctes pour les noms mal orthographiés, provoquant une multiplicité de graphies concurrentes entre elles."

Sans compter que le non-respect de ces règles peut même conduire à des incohérences géographiques. Exemple très parlant, celui de la commune nouvelle de "Sylvains-Lès-Moulins", selon l'orthographe figurant au Journal officiel. "Lès", avec un accent grave, très courant dans les noms de commune, n'est nullement un article défini mais une préposition signifiant "près de, à côté de" : ainsi à proximité immédiate de Metz trouve-t-on les communes de Montigny-lès-Metz, Longeville-lès-Metz ou Moulins-lès-Metz. Dans

le cas de "Sylvains-Lès-Moulins", l'accent est bien une erreur, puisque les moulins en question se trouvent dans la commune. Il faudrait donc écrire Sylvains-les-Moulins.

Après la première vague de création de communes nouvelles, début 2016, le président de la CNT s'était alarmé de la multiplication des erreurs et en avait alerté très officiellement la DGCL, par une lettre du 20 avril. Il y rappelait les règles et lui proposait d'appeler l'attention des préfets sur ce sujet afin "de rétablir la qualité et l'homogénéité des dénominations communales". Et de rappeler qu'une fois officialisés les noms fautifs, il faudra un décret en Conseil d'État pour les modifier, après avis de la Commission consultative pour la révision du nom des communes... Dans son courrier, Pierre Jaillard avait également listé les 115 noms improprement orthographiés de la première vague et proposé, pour chacun, une correction.

Le moins que l'on puisse dire est que ce courrier n'a pas été suivi d'effet du côté des préfetures : si, dans la première vague, 36 % des noms étaient fautifs, les choses se sont aggravées dans la deuxième, avec plus de 40 % d'erreurs. "Il ne s'agit nullement de faire la leçon aux maires !, précise Pierre Jaillard à Maire info, mais d'attirer leur attention sur ces erreurs et d'essayer à l'avenir de les corriger." Par exemple, si du papier à en-tête a été imprimé avec un nom mal orthographié, rien n'empêche, lors du prochain renouvellement du stock, de corriger la faute. Pierre Jaillard indique que la Commission nationale de toponymie qu'il préside est tout à fait disponible pour donner un avis lorsqu'elle est sollicitée et "peut rendre un avis dans des délais extrêmement brefs".

Franck Lemarc

► Pour poser une question à la CNT : écrire un mail à pierre@jaillard.net

Revue "Maire info" :

<http://www.maire-info.com/>

Circulaire de la Direction générale des collectivités locales (DGCL) :

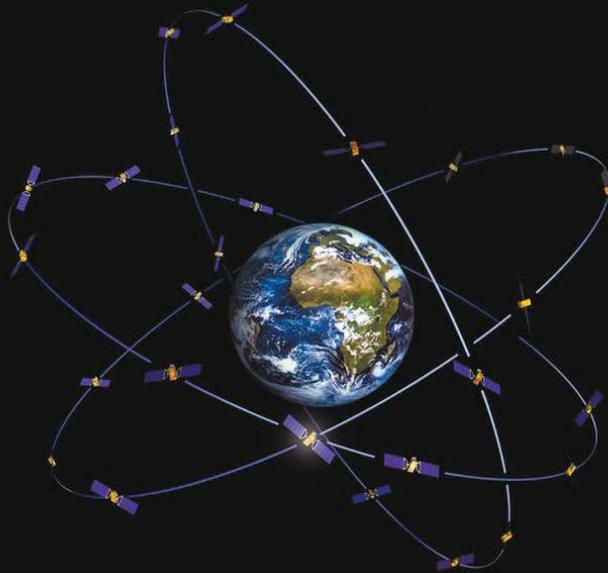
<http://www.maire-info.com/-congres-communes-nouvelles/noms-des-communes-nouvelles-les-rgles-respecter-article-20333>

VIENT DE PARAÎTRE

LES RÉFÉRENCES DE
TEMPS ET D'ESPACE

UN PANORAMA ENCYCLOPÉDIQUE :
HISTOIRE, PRÉSENT ET PERSPECTIVES

Coordonné par Claude Boucher
Avec le concours de Pascal Willis




hermann

COMMANDEZ "LES RÉFÉRENCES DE TEMPS ET D'ESPACE"
AU PRIX DE 35,00 €
17 x 24 cm, 484 pages - frais de port inclus (France)

M/Mme Nom : _____ Prénom : _____

Société ou organisme : _____

Adresse : _____

Code postal : Ville : _____

Tél. : Fax :

Courriel : _____

Date

Signature

Bulletin de commande à retourner accompagné d'un chèque à l'Association française de topographie
73, avenue de Paris - 94165 SAINT-MANDÉ Cedex - Tél. : +33 (0) 1 43 98 84 80
Achat également sur Internet : www.aftopo.org

Le 6^e colloque sur les aspects scientifiques et fondamentaux de Galileo s'est tenu à Valence

L'Université polytechnique de Valence, en Espagne, a accueilli, du 25 au 27 octobre, le 6^e colloque sur les aspects scientifiques et fondamentaux de Galileo, organisé par l'Agence spatiale européenne. Ce colloque biennal est l'occasion de faire un point sur l'utilisation scientifique des GNSS en général et de Galileo en particulier.

Ce colloque a d'abord été introduit par des exposés faisant le point sur l'état actuel de la constellation, avec 18 satellites en orbite, leur équipement technologique, et les initiatives de l'ESA pour stimuler les initiatives scientifiques autour de Galileo. Il a été notamment rappelé que les premiers satellites IOV (In orbit validation), d'une durée de vie de 12 ans, seront déjà à remplacer en 2023, ayant été lancés en 2011. Des orateurs invités américain et chinois ont évoqué les possibilités offertes par les GNSS aujourd'hui, qu'il s'agisse d'exploration externe (Lune, magnétosphère), ou des sciences de la Terre.

L'échec de la mise en orbite des deux premiers satellites FOC (*Full operational capability*) en 2014, en leur donnant des orbites excentriques, a ouvert un champ de recherche inespéré aux physiciens relativistes, en leur permettant de tester une prédiction de la relativité générale appelée "décalage vers le rouge relativiste" due à la perception d'un écoulement différentiel du temps selon la vitesse relative et la différence de potentiel gravitationnel.

Parmi d'autres, ces travaux nécessitent une connaissance précise des orbites des satellites. Ce thème est un champ de recherche important et renouvelé,



© Pierre Carril / ESA

Galileo satellite signals

Les satellites des nouveaux systèmes de navigation (Galileo, QZSS, Beidou) ayant une forme très différente de celle des satellites GPS et Glonass, ce qui modifie profondément la modélisation du poste principal d'incertitude sur la connaissance des orbites, la pression de radiation solaire. Des modèles nouveaux, des mesures nouvelles et couplées aux signaux électromagnétiques (accélérométrie, télémétrie laser), des traitements approfondis, permettent d'envisager de résoudre ce problème. Il a été souligné que la communauté remercie l'ESA et la JAXA (Agence spatiale japonaise) pour la publication des métadonnées associées à leurs satellites.

En géodésie, des expériences sont conduites pour traiter les signaux électromagnétiques des constellations de navigation par satellite avec des radiotélescopes dédiés à la technique d'interférométrie à très longue ligne de base (VLBI : *Very Long Baseline Interferometry*). L'enjeu réside dans un meilleur couplage des techniques habituelles, en préparation de missions de colocalisation embarquée sur satellite (E-GRASP) ou d'un traitement interférométrique des signaux des satellites GNSS. L'idée d'associer aux satellites Galileo de 2^e génération des émetteurs VLBI est évoquée.

Les recherches et développements scientifiques intégrant plusieurs systèmes de navigation par satellites, notamment Galileo, ne seraient toutefois pas

possibles sans une infrastructure au sol d'observation et de diffusion. Sur ce point, le réseau REGINA du CNES et de l'IGN, contribue d'une façon très importante à la promotion de Galileo et des autres systèmes, en rendant disponibles les observations de 35 stations avec une géométrie globale. L'Agence spatiale européenne a aussi mis en place un service d'archivage scientifique dans le cadre du service international du GNSS (IGS), en complément des quatre centres existants, deux aux USA, un en Corée du Sud et un autre en France géré par l'IGN.

La question des échelles de temps a aussi été abordée, avec les indispensables contributions des constellations de GNSS à la comparaison entre horloges atomiques. D'autres présentations, relatives au traitement des signaux proprement dits, ou à la navigation et aux applications en sciences de la Terre, ont souligné le potentiel encore vaste de cette technologie.

Ce colloque a donc été l'occasion d'un rassemblement faisant écho à l'IGS Workshop qui s'est tenu fin juin à Paris, mais axé cette fois-ci plus spécifiquement sur Galileo. Il n'en reste pas moins que de nombreux participants européens ont assisté au colloque ou y ont présenté leurs travaux, rappelant que ce domaine est nécessairement le lieu d'une coopération internationale.

Les organisateurs ont donc donné rendez-vous aux participants dans deux ans pour un nouveau colloque. La constellation Galileo sera alors, en 2019, presque au complet. La communauté française pourra, de son côté, faire le point sur ses travaux, en organisant, comme en 2015 et en 2017, une journée thématique dédiée faisant écho au colloque de l'ESA. ●

Jonathan CHENAL

Intergeo® 2017 à Berlin

■ Reinhard STÖLZEL - Olivier REIS

Capitale et plus grande ville d'Allemagne (elle compte environ 3,5 millions d'habitants), Berlin occupe une place à part dans l'histoire du pays. Elle la doit à sa partition en quatre secteurs à la fin de la Seconde Guerre mondiale et au mur érigé à partir du 13 août 1961 qui fit de Berlin-Ouest une enclave au sein du bloc communiste jusqu'au 9 novembre 1989. Durant la dernière décennie du 20^e siècle, celle qui suivit la chute du mur, Berlin ne fut rien d'autre qu'un immense chantier. Cette époque est désormais révolue. Ville dynamique et accueillante, ouverte sur le monde, Berlin a achevé sa mue. C'est là que s'est déroulée l'édition 2017 d'Intergeo®, du 26 au 28 septembre.



Rendez-vous annuel des topographes du monde entier, Intergeo® est non seulement un salon professionnel, assurément le plus grand au monde dans notre branche, mais aussi un congrès au programme riche et varié, coorganisé par la DVW (association allemande de géodésie, d'information géographique et de gestion du territoire) et la DGfK (association allemande de cartographie). L'édition 2017 retiendra surtout notre attention par les thèmes qui y ont été abordés. S'il a été question de villes intelligentes (smart cities) ou de maquettes numériques (building information modelling, BIM), on s'est également préoccupé de la protection et de la sécurité des données ainsi que des transformations de fond qu'engendre le basculement

en cours vers le monde numérique. Ce sont près de 150 orateurs qui se sont succédé devant les congressistes, aussi nombreux que les années passées (environ 1 400 participants), pour aborder les multiples facettes liées à ces différents thèmes. En voici quelques exemples : quel avenir attendent les géodésiens à l'ère du numérique ? Quelles implications en résultent pour l'exercice de la profession au quotidien ou pour la formation des géomètres de demain ? Quelles évolutions vont résulter de la mise en orbite réussie du satellite Sentinel 2B dans le cadre du programme européen d'observation de la Terre Copernicus amené à faciliter l'accès à des données satellite de grande qualité ? Dans quelle direction la cartographie, désormais qualifiée

d'intelligente (*smart cartography*), va-t-elle s'orienter pour parvenir à se réinventer une nouvelle fois et satisfaire aux multiples exigences qui lui sont posées ?

Il a souvent été difficile d'apporter des réponses claires aux interrogations ainsi soulevées, ce qui n'est guère surprenant dans la mesure où les contours du monde numérique vers lequel nous nous dirigeons à grands pas manquent encore de netteté. Nous en saurons assurément davantage dans les années à venir. Chaque chose en son temps, en somme.

Côté salon, en revanche, on notera que 580 exposants venus de 37 pays se sont déplacés à Berlin pour présenter la gamme complète de leurs instruments, de leurs services ou encore de leurs solutions matérielles et logicielles pour montrer toute l'étendue de leur savoir-faire.

Si le regard des visiteurs a souvent été tourné vers le ciel, il faut avoir l'esprit malveillant (ou être berlinois) pour y voir de l'ironie envers le nouvel aéroport de Berlin situé aux portes de la capitale allemande. Quasiment achevé depuis cinq ans, son inauguration est sans cesse repoussée en raison de ses multiples déboires qui n'ont cessé de défrayer la chronique. Parfait contrepoint à ce dernier, l'espace extérieur aménagé pour les trois jours du salon à l'arrière des halls d'exposition s'est révélé pleinement fonctionnel et a servi d'écrin aux démonstrations d'un large éventail de modèles de drones. C'est sous un magnifique soleil automnal qu'une assistance toujours bien garnie s'est vu proposer des présentations variées et cadencées (deux par heure), commentées avec grande compétence par les fabricants de ces engins volants qui ne manquèrent pas de mettre en avant leurs multiples qualités. Ce segment de marché semble toujours receler un fort potentiel et ses acteurs découvrent constamment de nouveaux champs d'application pour leurs appareils. Présents à l'extérieur, les



drones l'étaient aussi à l'intérieur des six halls dévolus au salon, occupant environ 20 % de la surface d'exposition totale qui s'élevait à 32 000 m². Et les exposants concernés, constructeurs ou développeurs d'aéronefs sans pilote, venaient non seulement d'Europe ou d'Amérique du Nord, mais également d'Asie ou encore d'Israël. L'inventivité a en outre été récompensée dans le cadre du salon puisqu'un prix, le "drone pioneer award", a été décerné pour la toute première fois. Visant à mettre en avant l'apport des drones dans la résolution de certains problèmes, il a été attribué au projet ECOSwat qui porte sur le changement climatique et fournit des preuves tangibles de sa progression. On le voit encore mieux depuis les airs.

Sur un plan plus général, la numérisation sous toutes ses formes a une nouvelle fois été au cœur de l'édition 2017 d'Intergeo qui, avec plus de 18 000 visiteurs venant d'une centaine de pays au moins, est considérée comme une réussite par ses organisateurs, les objectifs affichés en termes d'affluence étant dépassés.

Quant aux exposants français, les entretiens qui ont pu être conduits sur leurs stands ont confirmé que les visiteurs et plus important encore, les clients potentiels, venaient non seulement du pays hôte, mais véritablement du monde entier. Tous les exposants français se sont du reste déclarés très satisfaits des contacts noués à Berlin et certains ont constaté un intérêt croissant du côté des pays d'Europe de l'Est.

Une dernière remarque avant de conclure : selon le ministre allemand de l'Intérieur, parrain de l'événement, le domaine de la géomatique fait partie des secteurs déficitaires en personnel qualifié, ce qu'il explique non seulement par son grand dynamisme, mais également par des facteurs démographiques propres à l'Allemagne. Chacun en tirera ses propres conclusions.

Il ne nous reste plus à présent qu'à vous donner rendez-vous à Francfort l'an prochain, du 16 au 18 octobre pour l'édition 2018 d'Intergeo ! ●



Interaerial Solutions, le salon européen du drone

La première édition s'est déroulée en octobre 2016, à Hambourg, parallèlement à Intergeo®. Elle s'est soldée par un succès et a incité ses organisateurs à franchir une nouvelle étape consistant à l'intégrer pleinement à la manifestation phare du secteur de l'information géographique pour profiter à plein de sa notoriété. Il n'aura pas échappé aux habitués d'Intergeo® que la part dévolue aux aéronefs sans pilote ne cessait de s'accroître ces dernières années, si bien que cette démarche est parfaitement logique. Elle a aussi le mérite d'élargir la perspective, puisque le drone n'est plus considéré comme un auxiliaire au service de la topographie, mais comme le thème central d'une manifestation qui lui est entièrement dédiée. Il s'y décline sous ses diverses formes (aile volante ou multicoptère, miniaturisé ou à moteur thermique), dévoile l'éventail très large de ses utilisations (cartographie, agriculture, gestion de ressources, immobilier, logistique, prévention des catastrophes, infrastructures et tant d'autres) et permet à l'ensemble des intervenants de cette filière en pleine expansion de disposer d'un rendez-vous annuel pour se retrouver, échanger, confronter des points de vue, se structurer, faire le point et développer ou non une vision commune de l'avenir. En deux mots, Interaerial Solutions ambitionne de devenir un carrefour automnal aussi incontournable pour l'univers du drone (lequel attise les convoitises d'acteurs économiques aussi en vue que DHL, Mercedes, Amazon ou Airbus) qu'Intergeo® peut l'être pour le monde de la topographie. Et les chiffres fournis par les organisateurs en fin de salon semblent les conforter dans leur démarche puisqu'on dénombrait 158 exposants à Berlin, 84 présentations dans le cadre de deux forums dédiés et plus de 30 démonstrations en vol dans l'espace extérieur du salon réservé aux évolutions des drones.



FIG 2017 - Le règne animal s'efface devant celui de l'homme

■ Jean-Pierre MAILLARD

Du 29 septembre au 1^{er} octobre 2017 le 28^e festival international de géographie (FIG) de Saint-Dié-des-Vosges a, comme chaque année, attiré un public ravi de la réouverture, sur trois jours, d'une véritable université populaire, avec ses 120 intervenants et 200 conférences. En participant ils ont été encore nombreux à partager leur goût pour la discipline et à nourrir leur réflexion sur l'avenir avec, cette fois, un sujet du festival centré sur l'animal "Territoires humains, mondes animaux".

Les conférences ont servi à questionner la relation des êtres humains à l'animal et de penser la société au-delà des seules composantes humaines. Regroupés en quatre "geothémas" les sujets ont respectivement porté sur : "De la protection au symbole territorial : les animaux emblématiques", "les animaux et les appétits des hommes", "Du compagnon à l'animal spectacle : les problématiques du travail animal" et "Nuisibles ? Cohabiter en bonne intelligence". Le FIG 2017 a aussi mis à l'honneur la nation "arc-en-ciel", la République d'Afrique du Sud, qui suscite plus encore l'intérêt des géographes depuis que le pays a, dans les années 1990, renoncé à l'apartheid et, partant, est sorti de son isolement. Les deux expositions photographiques du musée Pierre Noël ont illustré de façon très descriptive la saisissante

réalité humaine du pays dans la rue et sur la plage. Comme l'an dernier, le festival a été présidé par un historien, Michel Pastoureau dont la thèse portait sur le bestiaire héraldique du Moyen Age. C'est Jean-Claude Guillebaud, journaliste et essayiste résolument optimiste, qui a accepté le rôle de grand témoin et Lydie Salvayre, un ancien prix Goncourt, celui de présidente du salon du livre.

Le programme du festival est rodé : accueil du pays invité, conférences, tables rondes, salon du livre, salon de la gastronomie, salon de la géomatique (même s'il s'est trouvé cette année aggloméré aux vitrines de la géographie), expositions, projections de films, pour la première fois des séances de lecture dispensées par Brigitte Fossey et Richard Boringher. De même la carte au sol de l'institut de l'information géographique et forestière (IGN) dans le hall de la gare SNCF, a été officiellement inaugurée.

La carte au sol IGN

Exposée en version géante de 40 m², la nouvelle édition du panorama de la biodiversité et des espaces protégés en France métropolitaine et Outre mer offerte aux pieds des voyageurs, a été conçue conjointement par l'Agence française pour la biodiversité¹, le Muséum d'histoire naturelle et l'IGN. Cette 3^e mise à jour de la carte a été réalisée sur les fonds cartographiques de l'IGN à partir des données de l'inventaire national du patrimoine naturel (INPN). En phase avec le thème du FIG elle représente les réserves naturelles et biologiques, les parcs nationaux, régionaux et marins,

(1) qui regroupe depuis le 1^{er} janvier 2017 l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA), l'Établissement public des parcs nationaux, l'Agence des aires marines protégées et le groupement d'intérêt public l'Atelier technique des espaces naturels (ATEN).



La façade de l'espace Georges Sadoul pavoisée



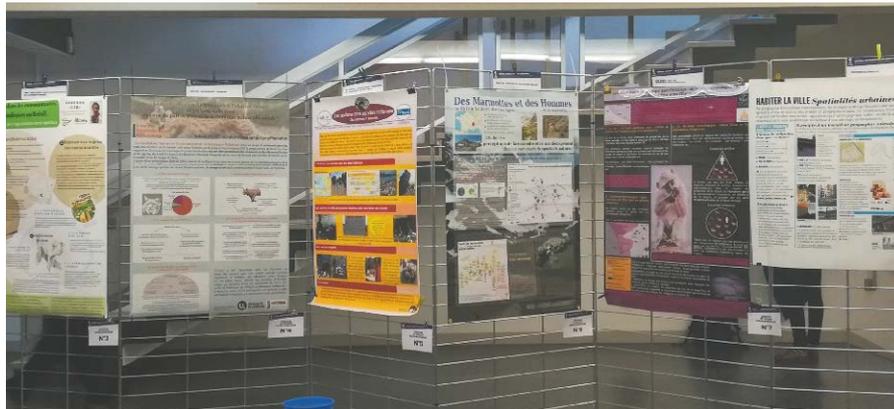
les zones naturelles d'intérêt écologique faunistique et floristique (ZNIEFF), les sites Ramsar relatifs aux zones humides d'importance internationale, dix-sept fiches d'espèces illustrées, animales ou végétales représentatives d'un milieu, d'une région ou d'un statut de protection particulier, ainsi qu'une cartographie au niveau européen du réseau Natura 2000. En avant-première les cartes géante et pliable ont été présentées au siège de l'IGN à Saint-Mandé à l'occasion de la 34^e édition des Journées européennes du patrimoine les 16 et 17 septembre 2017, l'institut ayant ouvert ses portes pour l'occasion en proposant également un parcours riche d'étapes : de la galerie des instruments aux technologies actuelles, de l'impression des cartes historiques en taille-douce à l'impression numérique.

La carte au sol de l'IGN n'était pas la seule à être mise en valeur. En relation avec le pays invité, l'Afrique du Sud, les festivaliers ont pu admirer au musée Pierre Noël, établie entre 1781 et 1784, la carte de l'Afrique australe de François Levaillant (183 x 267 cm). Outre la topographie, la carte est richement illustrée de 66 vignettes et de cinq tableaux descriptifs, entre autres, de la faune toujours en relation avec le thème du FIG. Cette œuvre est conservée dans les fonds du service hydrographique de la Marine, au département des cartes et plans de la Bibliothèque nationale de France (BnF).

Les vitrines de la géographie

Sous cette appellation sont réunis l'espace plan national pour les enseignants – le FIG joue un rôle dans la formation permanente des professeurs de géographie –, les stands géomatiques, les expositions scientifiques – avec la présentation de posters – et les ateliers des technologies de l'information et de la communication pour l'éducation (TICE).

Même s'il est moins médiatique que les salons de la gastronomie et du livre (ce dernier dédoublé pour la deuxième année d'un salon de la BD), celui encore nommé par ses intervenants "de la



L'exposition des posters

géomatique" participe tout autant à l'identité du FIG. Cette année il a réuni esri France, l'IGN, l'école nationale des sciences géographique (ENSG) qui se présente justement comme l'école de la géomatique, l'université de Lorraine, GEOFIT, l'association française pour l'information géographique (AFIGEO), l'AFT et le ministère de l'Europe et des affaires étrangères qui, comme tous les présents, tient fidèlement un stand sur le salon.

Ce dernier offre la carte du pays invité, en 2017 l'Afrique du Sud, renseigne les visiteurs sur la carte politique du monde, conforme à la position diplomatique de la France sur les pays qu'elle reconnaît. On prend ainsi connaissance de leurs frontières formelles sachant bien sûr que de nombreux territoires font l'objet d'occupation par des voisins envahissants. A titre d'exemples, la Crimée figure toujours en Ukraine et le Sahara occidental s'affiche encore indépendant (cf. <http://www.diplomatie.gouv.fr/fr/archives-diplomatiques/s-orienter-dans-les-fonds-et-collections/cartes/>). Dans ce cadre et celui du musée Pierre Noël ont été remis les prix des posters scientifiques du FIG et du concours de géovisualisation et cartographies dynamiques, concours qui a rassemblé douze concurrents invités à présenter leur projet au cours de mini-conférences. Le lauréat est l'application "Kartenn, faites parler vos données" de Sébastien Pelhate et Agathe Adam. L'édition 2017 a marqué le dixième anniversaire du concours porté depuis l'origine par Anne-Christine Bronner qui passe le relais à Christine Plumejaud.

Le prix Vautrin-Lud 2017

Considéré comme le Nobel de géographie ce prix décerné par le FIG est attribué en 2017 à Akin L. Mabogunje. Le géographe nigérian de 86 ans voit ainsi couronnée sa carrière au service de l'éducation et de l'urbanisation des pays en voie de développement. Diplômé de l'*University College* de Londres, Akin Mabogunje a notamment encadré divers services publics nigériens et concouru à plusieurs organisations internationales en particulier la Banque mondiale. Il a également enseigné dans de nombreuses universités de part le monde et s'est impliqué dans l'Union géographique internationale (UGI) jusqu'à la présider de 1980 à 1984. Premier Africain à devenir président de l'UGI il est aussi le premier à recevoir le prix Vautrin-Lud.

XYZ ne manquera pas de tenir ses lecteurs informés du devenir du salon de la géomatique d'autant qu'il justifie le partenariat de l'AFT avec l'association pour le développement du FIG (ADFIG) et la tenue d'un stand.

Le thème retenu pour le FIG 2018 est "La France demain" et les pays invités constituent la Scandinavie, la manifestation étant programmée les 5, 6 et 7 octobre. Salon de la géomatique ou pas, vous y serez bienvenus. Pour ceux qui souhaitent en savoir plus sur les FIG 2017 et 2018 il convient de se reporter sur le site www.fig.saint-die-des-vosges.fr. ●

MANIFESTATION



SIG 2017

La nouvelle conférence des utilisateurs francophones "SIG 2017" organisée par ESRI France s'est déroulée les 11 et 12 octobre 2017. Cette année marque plusieurs tournants :

Date et lieu : alors que les dates sont presque conservées (une semaine de décalage), le lieu a complètement changé et ce sont "Les Docks de Paris" à Aubervilliers qui ont hébergé cet événement majeur du monde de la géomatique, dans un espace de près de 5 200 m², avec plus d'une vingtaine de salles de conférences, une salle principale avec des gradins de plus de mille places, lieu adapté aux nouvelles dimensions du SIG !

Plusieurs événements dans l'événement : comme par le passé, les utilisateurs ont témoigné et partagé leurs expériences dans les différentes salles de conférences alors que les nombreux exposants (dont l'AFT) montraient leur savoir-faire dans le hall d'exposition et nouaient des contacts avec des utilisateurs avides de nouveautés.

Les startups avaient également un espace dédié pour démontrer leurs expertises. Des grands témoins étaient aussi très attendus : comme le précise le site d'ESRI France dédié à la conférence (<https://sig2017.esrifrance.fr/>) ces grands témoins "viennent, dans leurs domaines respectifs, partager leurs passions, leur enthousiasme et leur vision en relation avec La dimension géographique et la cartographie". Caroline, Rose et Loup sont

des collégiens de Genes (Maine-et-Loire) qui sont venus partager leur passion pour les cartes et la géographie, Pierre Dufour, Directeur et Membre du Directoire d'Inter Mutuelles Assistance est venu parler et partager avec l'auditoire tous les enjeux des métiers de l'assistance, concernant tout le monde, Nicolas Vanier, écrivain, photographe et réalisateur est venu parler des régions du Grand Nord et de tous les enjeux écologiques qui y sont directement reliés, enfin Yvan Bourgnon et Patrick Fabre respectivement skipper et aventurier et spécialiste de la communication et des relations publiques se sont alliés pour présenter et sensibiliser au projet "The Sea Cleaner" luttant pour la récupération des plastiques polluant les mers et océans du monde. Parallèlement à ces différentes sessions, les participants ont pu candidater ou évaluer les projets soumis à concours : en plus du concours de posters, les "story maps" connaissent un engouement croissant. En effet, 36 d'entre elles ont été disponibles à la visualisation et l'appréciation sur plusieurs tables interactives. Le concours des "24 heures du SIG" portait sur les problèmes de pollution plastique en mer. Pour finir, le concours "CartoCréa" a permis aux plus artistes des géomaticiens de proposer des créations reposant sur des cartes.

Que devons-nous retenir de l'évolution des SIG ?

Du point de vue de l'organisateur de la manifestation, il s'agit assurément de tendre vers l'adoption de la plate-forme ArcGIS pro comme principale applica-

tion professionnelle d'ArcGIS, alors que la plate-forme Desktop classique continuera à être maintenue encore pendant plusieurs années. Toujours à la une, la montée en puissance de la 3D dans la plate-forme ArcGIS sans oublier de nouvelles applications en réalité virtuelle (VR) et réalité augmentée (AR). Autre fer de lance, la création d'applications cartographiques web sans développement par l'intermédiaire du WebAppBuilder. Du côté des serveurs, il faut noter les évolutions d'ArcGIS Entreprise permettant la diffusion de services web et comprenant des capacités serveur étendues. Dans le cloud, la place de plus en plus importante prise et dédiée à ArcGIS Online, socle principal ou extension sur le cloud de la plate-forme géospatiale. Enfin, l'ouverture vers l'Open Data et les plates-formes collaboratives dont le SIG est partie intégrante.

Du point de vue des utilisateurs, le nuage de mots devenu un classique de ces reportages montre la diversité des thématiques et les mots clés des plus de 250 communications présentées. Assurément, cette manifestation a connu un virage vers un nouveau lieu et de nouvelles dimensions tout en surfant sur les innombrables possibilités offertes par les technologies numériques.

L'AFT a une fois de plus à travers sa participation à cet événement majeur contribué à étendre son carnet d'abonnés et à diffuser les connaissances topographiques dans la communauté des géomaticiens. ●

Mathieu KOEHL

INGEO-2017 - Conférence internationale sur la topographie au service de l'ingénierie à Lisbonne. 7th Conference on Engineering Surveying

Du 18 au 20 octobre 2017 a eu lieu la 7^e conférence sur la topographie au service de l'ingénierie, IN GEO 2017 dans les locaux du laboratoire LNEC, Laboratoire National de Génie Civil à Lisbonne (Portugal). Cette conférence s'est réalisée avec le soutien de commission 6 (Engineering Surveys) de la FIG (Fédération internationale des géomètres, www.fig.net).

La conférence a permis de réunir plusieurs communautés du domaine de l'ingénierie – notamment du monde du génie civil, de la géotechnique, de l'hydraulique ainsi que des géographes, des topographes – qui travaillent pour un objectif commun : la surveillance et l'évaluation de structures génie civil ou des déformations du sol.

La conférence a été animée autour de 6 sessions techniques présentant les instruments de surveillance/monitoring (scanner laser terrestre, méthodes classiques, GBSAR Ground Base Radar radar sol, photogrammétrie par drones, GNSS et réalité augmentée) appliqués au monitoring de structures (ponts, barrages, tunnels, cheminées industrielles), de monuments historiques, de travaux géotechniques, d'infrastructures maritimes et aux risques naturels

(glissements de terrain et inondations). Elle a réuni 129 participants provenant à 45 % du Portugal, à 14 % du Nigeria, à 5 % d'Allemagne, à 5 % de Pologne et dans une moindre mesure venant d'Angola, Arabie Saoudite, Autriche, Corée du Sud, Croatie, États-Unis, Finlande, France, Grèce, Italie, Mozambique, Royaume-Uni, Serbie, Slovaquie...). 20 manuscrits ont été examinés et ont fait l'objet d'un résumé étendu de 8 pages disponibles sur le site de la FIG (<http://www.fig.net/resources/proceedings>).

Rendez-vous est donné aux topographes à Istanbul pour le 26^e Congrès et Assemblée Générale de la FIG (6 au 11 mai 2018) et à l'automne 2019 pour le prochain IN GEO-2019 (date exacte et lieu non encore définis à ce jour). ●

Gilbert FERHAT



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 à l'ESGT
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, directeur du CESBIO, Toulouse
REIS Olivier, ingénieur, traducteur Sarreguemines
ROCHE Stéphane, professeur, Université Laval (Québec)
TROUILLET Michel, ingénieur topographe, Lyon
VINCENT Robert, ingénieur, Paris

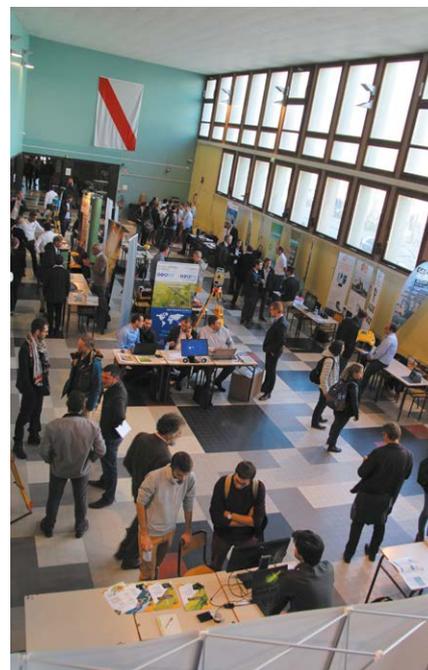
Journées de la topographie 2017 : le PCRS suscite des interrogations

■ Calypso PLASSE

Il y a 14 ans, les enseignants en topographie de l'INSA de Strasbourg, sous l'impulsion de Tania Landes, ont eu l'idée de valoriser le travail des étudiants en fin de cursus en organisant un événement autour de la soutenance des Projets de fin d'études (PFE). Cet événement annuel est aujourd'hui devenu un événement marquant, que ce soit pour les étudiants ou pour les professionnels du milieu de la topographie en général.



© Céline Emonet



© Laura Sanson



© Laura Sanson

Stand de l'AFT lors du salon des exposants

Nous avons eu le plaisir d'accueillir 13 stands de professionnels exposant du matériel optique et laser dernière génération et aussi des logiciels. Liste des exposants : 3DReshaper, Geosat, Topcon, YellowScan, Trimble, Geofit, EXAGONE, Leica, Covadis, jsinfo, SDMO Quiniou, Lepont, Positics ainsi que l'OGÉ et l'AFT.

En parallèle à ce salon, **des jeux** ont été mis en place.

Le premier jeu était constitué d'un rébus dont les images étaient dispersées sur les stands. Il fallait collecter toutes les images et les mettre dans l'ordre afin de déchiffrer le rébus et de répondre au mieux à la question posée, qui était : quelle est la hauteur de la salle expo en centimètres ?

Les journées de la topographie 2017 ont eu lieu du 20 au 22 septembre. Le thème "Des systèmes de cartographie mobiles au Plan corps de rue simplifié (PCRS) : besoins, enjeux, applications" a été choisi car il s'agit d'un sujet d'actualité. En effet le 21 septembre 2017, une seconde version du standard PCRS a été présentée.

Les étudiants de 5^e année sont directement impliqués dans l'organisation de cet événement. Les étudiants de 4^e année sont chargés, quant à eux, de gérer la cafétéria et du soutien technique.

Le mercredi et les matinées du jeudi et du vendredi ont été consacrés comme tous les ans aux **soutenances des projets de fin d'étude**. Ces projets, d'une durée de 5 à 6 mois en entreprise ont pour objectif de réaliser un état de l'art et de chercher des solutions pratiques à un sujet en particulier. Les thématiques abordées sont variées, allant de la photogrammétrie aux systèmes d'information géographique (SIG) en passant par le traitement de nuages de points, la modélisation 3D, le GNSS.

La soutenance est l'occasion pour eux de présenter le travail qu'ils ont réalisé face à un public d'étudiants, de professionnels et de curieux. Le

jury est composé de représentants de l'entreprise d'accueil, de professionnels du domaine, du ou des correcteurs du mémoire et d'un président du jury issu du milieu de la topographie.



© Laura Sanson

Soutenance de Marine Forrler

La réalisation d'un poster est aussi demandée dans le cadre des PFE, afin de valoriser ce travail. Les étudiants de tous les niveaux de la filière topographie ont pu, cette année, participer à l'élection du meilleur poster selon plusieurs critères : structure, hiérarchisation, enchaînement des idées, clarté du message et efficacité graphique.

Le jeudi après-midi, **le salon des exposants** a fait son grand retour grâce à l'implication de l'association TOPO de l'INSA de Strasbourg (association en charge du voyage technique des 4^e année). Les bénéfices liés aux frais de participation au salon permettent donc de financer en partie le voyage technique des étudiants.



Le second jeu consistait en un quizz, basé sur des questions de culture générale et évidemment en rapport avec la topographie.

Le vendredi après-midi était, quant à lui, consacré **aux conférences** : la conférence de l'ordre de géomètres-experts (OGE) et une conférence sur le thème des JDT.

La **conférence de l'OGE** a pour but premier de faire connaître aux étudiants entrants la profession de géomètre-expert, mais aussi de permettre aux étudiants en fin de cursus d'obtenir des réponses à leurs questions.

Pour la **conférence sur le PCRS**, nous avons voulu entendre des professionnels de milieux variés afin de comprendre toute l'étendue de ce nouveau document d'échange. Ont répondu présents à notre appel, par ordre de présentation lors de la conférence : M. Florent Michels, directeur commercial associé de la société Futurmap, spécialisée dans le traitement de données issues de systèmes de cartographie mobile ; Mme Elisabeth Botrel, maître de conférence en droit privé à l'ESGT ; M. Pierre Nguyen-Trong, de la direction technique et industrielle chez GRDF et ayant participé au groupe de travail PCRS du CNIG et M. Sébastien Wehrlé, de l'Eurométropole de Strasbourg. Chacun a su mettre en avant, avec une vision différente, les avantages et les inconvénients du PCRS ainsi que les points légaux devant attirer notre vigi-



© Laura Sanson

Verre de l'amitié du vendredi soir

lance lors d'acquisitions de données mobiles.

La **cérémonie de clôture** des journées de la topographie, donne l'occasion de faire un bilan des journées en récompensant les gagnants des jeux du jeudi après-midi. Elle donne aussi l'occasion aux étudiants ayant validé leur soutenance de dire quelques mots avant de quitter l'école et d'entrer dans la vie active.

Enfin le verre de l'amitié a permis à tous d'échanger dans un cadre détendu et convivial.

Pour conclure, cette année encore, les journées de la topographie ont rencontré un franc succès. Nous avons constaté avec étonnement que même

les soutenances de la première heure de la journée ont attiré leur public, ce qui était rare les années précédentes. Le salon des exposants a fait un retour fracassant en attisant la curiosité des professionnels et des étudiants en topographie à l'INSA mais aussi des étudiants en STH (1^{re} année de l'école n'ayant pas encore choisi leur filière).

Nous, comité d'organisation des JDT2017, tenons encore une fois à remercier Mme Landes pour son aide et sa réactivité lors de la préparation et du déroulement de ces journées, Mme Niel et Mme Zeller du service communication de l'INSA de Strasbourg pour leur soutien matériel et les publications qui ont rythmé cet événement. M. Michels, Mme Botrel, M. Nguyen-Trong et M. Wehrlé pour leur participation à la conférence ainsi que toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin au bon déroulement de ces journées. ●



© Laura Sanson

Conférence PCRS, animée par Calypso PLASSE (au milieu), conférenciers : Elisabeth Botrel, Pierre Nguyen-Trong, Sébastien Wehrle, Florent Michels



© Laura Sanson

Comité d'organisation des JDT 2017, de gauche à droite : Marion Hinaux, Nicolas Tadjian, Calypso Plasse, Pierre Pegossoff

Un code d'éthique pour le BIM

Le BIM est partout ! Il influence nos métiers, nos modes d'exercice et nos références professionnelles. Pourtant aucune certification professionnelle n'existe aujourd'hui.

Une question importante, inhérente à cela, est actuellement en cours de discussion : le BIM impose-t-il la création de nouveaux métiers (BIM manager) ou est-il une adaptation de l'approche traditionnelle des fonctions/métiers déjà existants ? Dans ces deux cas, il devient nécessaire de se positionner sur la définition des référentiels métiers et donc de revoir les grilles de compétences associées. La recherche de qualification et de quantification des compétences liée à l'individu se découpe aussi selon d'autres critères : la validation des cursus de formation suivis et sanctionnés par un diplôme, ou la certification professionnelle de la personne, etc.

Comme actuellement aucune certification officielle n'existe sur ce thème, certains organismes certificateurs (AFNOR, CESI certification, etc.) proposent leurs "propres" référentiels, pour appuyer une forme "d'auto-certification". D'autres organismes de formation proposent, quant à eux, des attestations valant qualification pour le bénéficiaire. Dans ce cas, c'est l'affichage du parcours de formation qui est présenté pour définir les compétences et savoir-faire associés au BIM. Si l'important est de formaliser de possibles systèmes de certification

associés au BIM, il faut le faire dans un consensus rassemblant l'ensemble des acteurs de la construction. Une initiative internationale a été lancée sous l'égide de buildingSMART international (<http://www.buildingsmart.org/>), Mediaconstruct (<http://www.buildingsmart.org/>), qui en est le chapitre français, s'y associe activement pour participer à la création d'un programme de certification professionnel international, portant sur les formations délivrées.

Que faire en attendant ?

Un groupe de travail "Code d'éthique BIM", porté par Mediaconstruct et animé par E. Natchitz (EIVP), a été initié à la suite de réflexions qui ont émergé lors des journées EDUBIM 2016 (<http://www.minnd.fr/edubim/>). Ce document a bénéficié de plusieurs consultations (interne dans Mediaconstruct, puis auprès d'un plus large public). La version finale a été présentée lors d'une conférence organisée dans le cadre du salon MEET'ING (Syntec-Ingénierie) le 19 octobre dernier, à la Cité des sciences et de l'industrie de Paris. Par une démarche éthique et partagée, ce code d'éthique propose aux signataires un référentiel commun facilitant la communication, les échanges, la transparence, en vue d'instaurer une confiance propice à la conception, la réalisation, l'exploitation, la maintenance d'un ouvrage constructif. Ce code d'éthique s'appuie sur 9 principes déontologiques.

Qui peut signer ?

Ce code d'éthique BIM s'adresse à toutes les parties prenantes d'un projet constructif, qu'elles soient publiques ou privées : MOA, AMO, MOE (géomètres-experts, architecte, BET, économiste de la construction, etc.), équipes de modélisation, constructeurs, industriels-fabricants, éditeurs de logiciels...

Signer ce code procède d'une démarche volontaire et déclarative souscripteur. Ce n'est en rien une norme ou une certification.

Où le signer ?

Vous pouvez consulter ce code via le site de Mediaconstruct (<http://www.mediaconstruct.fr/travaux/code-dethique-bim>). Un site dédié sera consacré à la promotion de ce code avec la possibilité de le signer en ligne. En attendant, vous pouvez aussi préférer une signature en format papier... dans ce cas, sollicitez-nous par mail contact@mediaconstruct.fr ! ●

Contacts

Emmanuel NATCHITZ
EIVP-Administrateur collègue formation/R&D
Mediaconstruct
emmanuel.natchitz@eivp-paris.fr

Hervé HALBOUT
Phase B - Consultant SIG & BIM
hhalbout@phaseb.fr

Olivier Reis

*Ingénieur géomètre-topographe
ENSAI Strasbourg - Diplômé de l'Institut
de traducteurs et d'interprètes (ITI) de Strasbourg*
9, rue des Champs
F-57200 SARREGUEMINES
Téléphone / télécopie : 03 87 98 57 04
Courriel : o.reis@infonie.fr

**Pour toutes vos traductions d'allemand
et d'anglais en français en topographie
– géodésie –
géomatique – GNSS**

Reinhard Stölzel

*Ingénieur géomètre-topographe
Interprète diplômé de la
Chambre de commerce et d'industrie de Berlin*
Heinrich-Heine-Straße 17, D-10179 BERLIN
Téléphone : 00 49 30 97 00 52 60
Télécopie : 00 49 30 97 00 52 61
Courriel : stoelzelr@aol.com

**Pour toutes vos traductions de français
et d'anglais en allemand en géomatique
– GNSS –
infrastructures de transport**

Des topographes traducteurs d'expérience à votre service

Production des données topographiques de référence de l'Eurométropole de Strasbourg

■ Olivier BANASZAK - Sébastien WEHRLÉ

La tradition strasbourgeoise bien ancrée de levé topographique régulier de la zone urbaine, qui a débuté il y a 45 ans à la Ville et Communauté urbaine de Strasbourg, se renforce et se modernise actuellement. Cette évolution intervient dans le contexte émergent de la mise en œuvre de la nouvelle réglementation anti-endommagement des réseaux enfouis et grâce notamment à la mise à disposition de plans de corps de rues simplifiés (PCRS) auprès des gestionnaires de réseaux. Cet article revient sur l'historique de la création des données topographiques de référence de l'Eurométropole de Strasbourg et détaille les modalités actuelles de leur entretien, dans le cadre d'un partenariat local.

■ **MOTS-CLÉS**

PCRS, RTGE, données topographiques, SIG, Strasbourg

L'Eurométropole de Strasbourg

Créée officiellement le 31/12/1966, la Communauté urbaine de Strasbourg (CUS) a été mise en service au 1^{er} janvier 1968. Son administration est quasiment intégralement partagée avec celle de la Ville de Strasbourg depuis sa création.

Elle s'est transformée depuis le 1^{er} janvier 2015 en l'Eurométropole de Strasbourg dans le cadre de l'application de la loi du 27 janvier 2014 de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles (dite loi MAPTAM).

Le territoire de l'Eurométropole de Strasbourg est composé de 33 communes depuis le 1^{er} janvier 2017, pour une superficie de 340 km². Sa population était de 491 516 habitants (dont 60 % à Strasbourg) en 2014 selon le recensement permanent de la population de l'INSEE, ce qui représente 43,5 % de la population du département du Bas-Rhin.

Historique du SIG de l'Eurométropole

Le SIG de l'Eurométropole a été mis en place à partir de 1992 par le Service de

l'Arpentage de la CUS, qui s'est appelé service de l'Information Géographique en 1996. Ce service est récemment devenu en 2014 le service Géomatique et connaissance du territoire afin de refléter l'évolution de ses missions et de ses activités. Il est actuellement composé de 34 personnes.

■ Au commencement était le Cadastre...

Fait original, le service historique de l'Arpentage de la CUS était déjà centenaire au moment du lancement du projet SIG. En effet, il était le descendant du Service de l'Arpentage de la ville de Strasbourg, lequel fut créé en 1881 sous la première occupation allemande, avec pour mission d'établir le nouveau cadastre allemand à l'échelle 1/250^e dit "cadastre polyvalent", en remplacement du cadastre napoléonien.

Le plan cadastral actuel d'Alsace-Moselle est l'héritier de ce cadastre allemand et il bénéficie toujours d'une instruction spécifique de la part des services du Cadastre, du fait de la reconnaissance par l'État du droit local instauré lors de la période d'annexion allemande. Ce plan cadastral n'est pas simplement un document graphique mais comporte une documentation

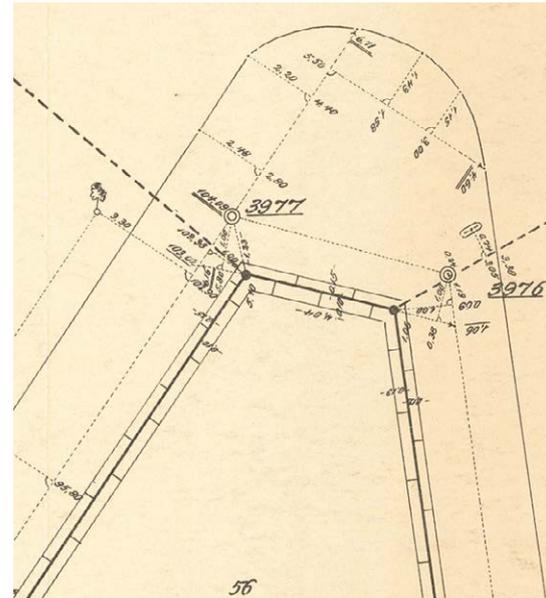


Figure 1. Extrait de plan cadastral allemand coté (fin XIX^e siècle)

cotée imposée, laquelle permet de recalculer les coordonnées précises de l'ensemble des éléments graphiques du plan. (Figure 1)

Il est de plus associé à la tenue d'un livre foncier placé sous l'égide du ministère de la Justice, ce qui lui confère quasiment une valeur de force probante au regard de la délimitation des propriétés.

■ Plans VRD et création du SIG

En 1972, le Conseil de l'Europe est privé plusieurs jours de téléphone en pleine session suite à un endommagement du réseau de télécommunications enfoui qui le dessert. Cet incident va être le déclencheur de la création d'un "Bureau de plans de voiries et réseaux divers." Celui-ci est placé sous la direction du service de l'Arpentage de la Ville et de la Communauté Urbaine et il mobilise de façon partenariale les moyens de tous les services publics

qui sont alors parties prenantes de la connaissance des réseaux : Électricité de Strasbourg, Gaz de Strasbourg, Directions de l'Équipement, Télécommunications.

Sa mission est de permettre de prévenir de futurs endommagements par la création et la tenue à jour de fonds de plans topographiques précis et utilisés par tous. Ainsi, en 20 ans ce sont 3 200 fonds de plans à l'échelle 1/200^e et 400 fonds de plans à l'échelle 1/500^e qui vont être produits sur la zone urbaine, tous en coupures pleines.

Dès le démarrage du projet SIG de la CUS, un chantier de dématérialisation de ces fonds de plans va être entrepris, de façon concertée avec tous les partenaires de ce qui deviendra en 1994 la Commission de l'information géographique de l'agglomération strasbourgeoise (CIGAS). À l'issue des trois années de digitalisation des plans, chaque partenaire disposera dans son SIG nouvellement créé des mêmes couches de données topographiques de référence sur lesquelles appuyer ses données métiers de réseaux.

Progressivement dans les années qui suivront, au gré des campagnes de mise à jour, les données issues de la numérisation seront remplacées par des données de précision supérieure, car calculées à partir d'observations et de mesures sur terrain, donnant ainsi naissance au Référentiel Topographique à Grande Échelle (RTGE) qui est décrit dans la suite.

■ Développement du SIG

Parallèlement à cette numérisation des fonds de plans topographiques, le plan parcellaire cadastral de l'Eurométropole, entretenu depuis toujours par le service de l'Arpentage sur la base de la documentation cadastrale, a été lui aussi numérisé à la création du SIG. Les plans papier ont été tout d'abord digitalisés, pour être ensuite recalculés, sur la base d'un canevas polygonal cadastral qui a été intégralement redéterminé avec précision. C'est ce même canevas de référence qui est toujours utilisé actuellement pour la mise à jour des données topographiques, garantissant ainsi la cohérence entre les données foncières et topographiques.



Figure 2. Insertion de projets urbains dans le SIG 3D

Des données de référence sur les bâtiments et la voirie (surfacique et filaire) ont été dérivées de ces données topographiques et cadastrales. Elles ont été complétées par des couches d'informations relatives à l'hydrographie, la végétation, le relief (modèles numériques de terrain et modèles numériques d'élévation) ou encore les adresses.

Afin de permettre la représentation du territoire à moyenne ou petite échelle, des fonds cartographiques adaptés ont été constitués, lesquels permettent notamment l'édition de cartes standards telles que le plan d'agglomération ou les plans communaux. Une première campagne de photographies aériennes a permis en 1998 de réaliser un premier orthophotoplan transfrontalier sur le territoire de la communauté urbaine et de la commune de Kehl en Allemagne. Depuis lors, des orthophotographies du territoire ont régulièrement été réalisées, en partenariat avec le département du Bas-Rhin et la région Alsace dès 2002 avec la mise en place de la Coopération pour l'Information Géographique en Alsace (CIGAL).

Sur la base du socle des données de référence précises et détaillées, de nombreux usages thématiques du SIG se sont développés dans les services de la collectivité. Les services techniques en particulier se sont rapidement emparés du SIG pour en faire un outil d'aide à la gestion technique du territoire en constituant dans le SIG des données métier qu'ils exploitent et

actualisent quotidiennement : gestion de l'eau et de l'assainissement, entretien des chaussées, éclairage public, signalisation, entretien des espaces verts, documents d'urbanisme, etc.

Dans le cadre du développement de l'utilisation du SIG comme outil d'aide à la décision, ces données thématiques se sont dernièrement fortement enrichies d'informations statistiques, en particulier grâce aux données à caractère sociodémographique ou socioéconomique.

Enfin, le SIG de l'Eurométropole est depuis 5 ans dans un processus d'évolution vers la troisième dimension avec un projet de SIG en 3D qui a permis de constituer un modèle 3D sémantique du territoire ainsi que des bibliothèques de représentation en 3D des données du SIG. (Figure 2)

Le Référentiel topographique grande échelle (RTGE)

■ Quel contenu ?

Le RTGE a été conçu dès le départ avec un niveau d'exigence élevé à la fois en termes de précision géométrique et d'exhaustivité. Pour résumer, le RTGE est composé de l'ensemble des éléments visibles du sol et du sursol dans les espaces aménagés ouverts au public (à l'exception des éléments facilement déplaçables comme les bacs à fleurs, des panneaux de police ou du marquage au sol). Dans les espaces privés, seuls les bâtiments et la voirie

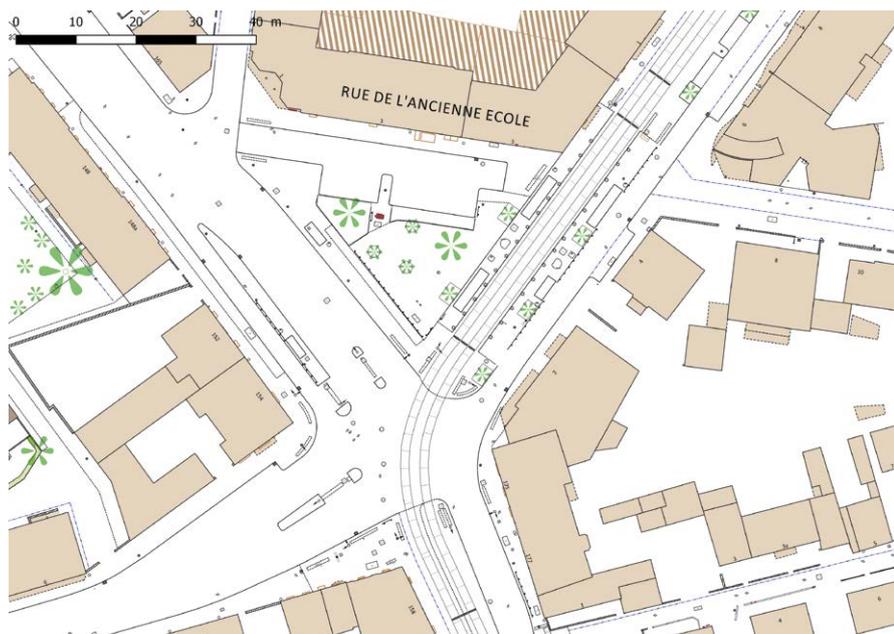


Figure 3. Extrait du RTGE

principale d'accès à ces derniers sont relevés. Au total le RTGE comporte ainsi plus de 3 millions d'objets répartis en 85 classes (voir extrait en Figure 3).

Le RTGE couvre l'ensemble de l'espace aménagé de l'Eurométropole soit 185 km² (zones en bleu dans la Figure 4) avec pour unité de gestion un carreau (ou coupure) formant un découpage régulier du territoire.

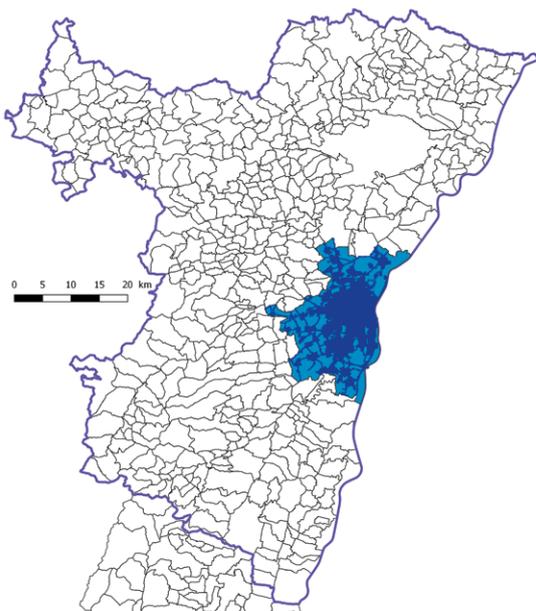


Figure 4. Emprise des données du RTGE et du PCRS (en bleu foncé) et territoire de l'Eurométropole de Strasbourg (en bleu clair) dans le département du Bas-Rhin

La classe de précision des objets du RTGE varie en fonction de leur typologie de 5 cm pour les objets les plus précis (éléments de voirie, bâtiments...) à 50 cm pour les talus par exemple.

Etant à l'origine issu de la digitalisation de plans papier, le RTGE est assez pauvre d'un point de vue sémantique. Les attributs sont en effet destinés soit à la sémiologie graphique (faire varier les couleurs, les types de lignes ou les symboles), soit à la gestion des données (auteur, date de mise à jour, code précision...). La richesse sémantique va être apportée par les services de la collectivité ou des partenaires qui vont s'appuyer sur les données du RTGE pour constituer et entretenir leurs données métier.

Ainsi par exemple, le département de l'éclairage public va ainsi gérer 23 attributs sur sa classe d'objet "Point lumineux" : hauteur du support, référence du luminaire, code de l'armoire électrique connectée... Pour la localisation précise de ces points il s'appuie sur les objets de la classe "Lampadaire" du RTGE (qui font partie des affleurants de réseau).

■ Quelle mise à jour ?

La qualité de la mise à jour des données est un point essentiel de la production du RTGE. En effet, c'est un poste de dépense important et également une

attente forte de la part des utilisateurs des données. L'objectif de la collectivité est de maximiser la réactivité de mise à jour afin de disposer à tout moment du plan le plus à jour possible tout en minimisant les dépenses, le tout en respectant les critères de qualité de la BD RTGE (précision géométrique, exhaustivité, précision sémantique). Il s'agit donc de trouver le meilleur compromis possible ; à l'Eurométropole de Strasbourg cela s'est traduit par deux modes de mise à jour parallèles : la mise à jour courante et la mise à jour triennale.

La mise à jour courante consiste à effectuer des relevés avec un maximum de réactivité sur la base des demandes des partenaires, du signalement des services internes à la collectivité et de la détection des zones de chantier.

La mise à jour triennale consiste à effectuer une mise à jour exhaustive d'un tiers du territoire chaque année (d'où son nom !). Cette mise à jour s'effectue à travers une reconnaissance systématique du territoire concerné, ce qui permet de garantir l'exhaustivité de la base. Il s'agit en quelque sorte de la "voiture-balai" qui concerne surtout des objets isolés ou situés dans des espaces privés.

Ces mises à jour, environ 110 000 changements par an, s'effectuent en grande partie (80 %) à travers un marché public de type accord-cadre multi-attributaires, passé avec 5 entreprises de géomètres-topographes. Pour chaque commande, les entreprises attributaires sont remises en concurrence dans le cadre de la passation d'un marché subséquent, ce qui permet de retenir celle qui présente l'offre économiquement la plus avantageuse pour la collectivité.

L'Eurométropole réalise par échantillonnage les contrôles des données livrées. Ces contrôles portent d'une part sur la précision sémantique et l'exhaustivité, grâce à des tests informatiques sur les données et des vérifications visuelles sur le terrain. D'autre part, la précision géométrique est contrôlée par des relevés contradictoires ainsi que par des points de



▶ contrôles correspondant au relevé par les prestataires d'objets déjà présents dans le SIG, dont ils ne disposent pas des coordonnées.

Si la grande majorité des relevés de mise à jour est effectuée avec des techniques topographiques traditionnelles (tachéométrie, nivellement, positionnement par satellites), l'exploitation des orthophotographies prend de plus en plus d'importance, notamment dans les zones périurbaines et rurales. Elles sont utilisées pour la détection de changement et la digitalisation d'objets.

Ces images couplées à des relevés LIDAR haute densité permettent d'atteindre des précisions qui sont compatibles avec le PCRS mais pas avec l'exigence de précision géométrique du RTGE. Leur exploitation est donc limitée à certains types de zones (dangereuses ou inaccessibles) ou certains types d'objets (ligne de rupture de pentes, hydrographie, bords de chemins...).

L'Eurométropole de Strasbourg évalue également d'autres systèmes d'acquisition de données (drones et mobile mapping) mais qui pour l'instant ceux-ci ne permettent pas de répondre aux besoins de mise à jour tels que décrits ci-avant pour des raisons diverses (réglementation, coût, précision géométriques obtenue, compléments terrain nécessaires...).

La Commission de l'Information Géographique de l'Agglomération Strasbourgeoise (CIGAS)

La gestion de ces données topographiques relève de la compétence de la CIGAS, partenariat regroupant des acteurs publics et privés regroupés autour d'une nécessité identique : disposer d'un socle de données commun harmonisé présentant toute garantie de fiabilité et de précision pour permettre aux membres d'accomplir leurs missions dans des conditions optimales d'efficacité et de sécurité.

La CIGAS regroupe aussi bien des acteurs locaux : Strasbourg Electricité Réseaux, R-GDS (gestionnaire du réseau Gaz), Compagnie des

Transports Strasbourgeois, Agence de Développement et d'Urbanisme de l'Agglomération Strasbourgeoise, réseaux de chaleurs ; que des opérateurs nationaux : Orange, SFR-Numericable. En évolution régulière pour suivre les évolutions technologiques et réglementaires, la convention qui régit le fonctionnement de la CIGAS a pour objet principal l'actualisation, la préservation, l'exploitation et l'échange du RTGE, du PCRS et d'autres données géographiques.

Le financement de la mise à jour des données topographiques est assuré par l'ensemble des membres du partenariat en fonction de critères transparents et équitables (emprise géographique, type de données utilisées). La mise en œuvre de ces mises à jour est à la charge de l'Eurométropole comme cela a été décrit précédemment.

Le budget annuel de la CIGAS est d'environ 760 000 € : 51 % du budget concerne les marchés publics, 21 % les travaux topographiques réalisés en régie et 26 % les ressources humaines affectées à la gestion des données et les frais de structure.

Un comité exécutif annuel prend les décisions stratégiques et financières et des réunions bimestrielles de comité technique font vivre le partenariat à travers des échanges autour des évolutions techniques et réglementaires, des expérimentations des uns et des autres, de sujets connexes aux données topographiques (logiciels SIG ou DAO, nouvelles méthodes d'acquisition de données...). Au-delà de la fourniture de données, le partenariat est donc un lieu d'échange et d'enrichissement mutuel.

Ces échanges se concrétisent à travers une plate-forme informatique servant de base documentaire, d'outil de suivi des mises à jour des données topographiques mais aussi de suivi des investigations complémentaires sur le territoire, de plate-forme d'échange de fichiers DAO). Cette plate-forme va s'enrichir dans les années à venir de nouveaux services géographiques (flux, extraction à la demande dans différents formats et systèmes de coordonnées).

Les partenaires de la CIGAS ont également accès aux flux temps-réel de la station permanente GNSS opérée par l'Eurométropole de Strasbourg (station ETOI intégrée au réseau GNSS permanent national), ce qui offre un autre moyen de garantir la cohérence de positionnement des données géographiques des uns et des autres.

Le Plan de Corps de Rue Simplifié (PCRS) à Strasbourg

Le RTGE est le composant de base du référentiel géographique strasbourgeois d'où découlent plus ou moins directement d'autres bases de données géographiques comme le référentiel topographique simplifié (généralisation du RTGE diffusée en *open data*) ou les données cartographiques qui utilisent les objets topographiques (bâtiments, voirie, hydrographie) comme base de travail.

Le principe est le même pour le PCRS qui est à Strasbourg un sous-ensemble du RTGE. Un traitement informatique permet de filtrer les données, de convertir le schéma de données pour le faire correspondre aux classes et attributs du PCRS et enfin de calculer les attributs de qualification des objets du PCRS sur la base des attributs de gestion interne de la collectivité. La production du PCRS n'engendre donc aucun coût de fonctionnement supplémentaire.

Les *Figures 5* (PCRS simple) et *6* (PCRS avec éléments d'habillage et affleurants) sont des extractions du PCRS (spécification v1) et peuvent être comparées au RTGE de la *Figure 3*.

Une des différences principales par rapport au standard national concerne la précision des données. En effet, les données du RTGE ne sont pas dégradées dans le processus de production du PCRS, la classe de précision de la plupart des objets de ce dernier est donc de 5 cm au lieu de 10 cm qui est la limite supérieure au niveau national. Une autre différence par rapport aux pratiques générales est que l'ensemble des affleurants de réseaux sont relevés dans le cadre de la mise à jour du RTGE,



Figure 5. Extrait de données du PCRS

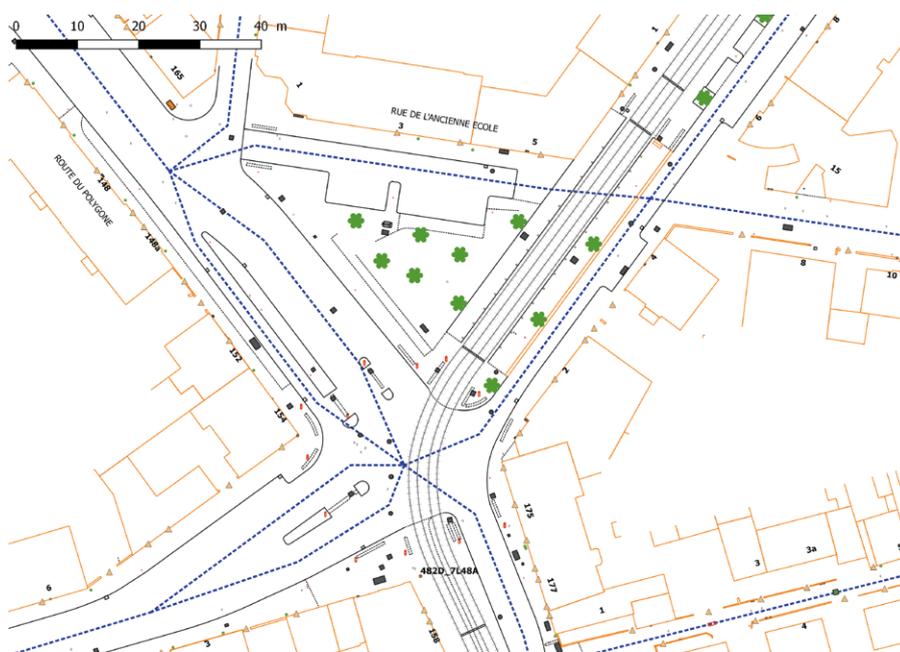


Figure 6. Extrait de données du PCRS (avec les affleurants et l'habillage)

sans distinction de gestionnaire jusqu'à l'année 2014. Depuis cette date, les nouveaux affleurants sont affectés à un gestionnaire en particulier. Une opération de rattrapage va être menée afin de renseigner avec le plus d'exhaustivité possible l'attribut gestionnaire des affleurants relevés avant 2014.

S'agissant de l'introduction de l'altimétrie dans les données de références gérées par la CIGAS, les premiers tests se sont déroulés en 2015 avec la mise à jour des données en 3D en régie avant d'être généralisée aux prestataires

début 2016. Afin de livrer la totalité du PCRS avec de l'altimétrie, un nuage de points LIDAR haute densité va être utilisé pour déduire une altimétrie pour chaque sommet d'objet par plaquage sur le nuage de points.

Quel est l'intérêt de produire un PCRS pour la CIGAS ?

La question se pose effectivement : disposant déjà du RTGE sur tout son territoire, quel est l'intérêt pour la

CIGAS de produire des données moins détaillées ?

La réponse la plus évidente est de permettre aux gestionnaires de réseaux de répondre à leurs obligations réglementaires. Mais en réalité les développements pour produire des données au standard PCRS à Strasbourg sont antérieurs à l'arrêté du 22 décembre 2015 qui introduit ce standard dans la réglementation.

Le PCRS est une solution apportée aux problèmes de diversité de schémas et de formats des données topographiques au niveau national. Cette fragmentation a toujours posé problème aux gestionnaires de réseaux nationaux. Le PCRS était donc une attente des membres de la CIGAS qui agissent sur tout le territoire national comme Orange.

Le principal objectif de production du PCRS pour la CIGAS est donc bien de répondre aux attentes de ces acteurs nationaux, qu'ils soient déjà partenaires ou qu'ils souhaitent le devenir maintenant que ce frein technique est levé. Partager les coûts de mise à jour de données entre un plus grand nombre de partenaires permettrait en conséquence de faire baisser les participations financières individuelles.

Diffuser les données dans un format standardisé limite également le besoin de réaliser des développements spécifiques pour chaque partenaire. Enfin, comme cela a été expliqué précédemment, produire des données au standard PCRS ne coûte rien de plus au partenariat CIGAS.

Conclusion

Grâce aux données topographiques de référence qui sont entretenues par l'Eurométropole de Strasbourg pour le compte du partenariat CIGAS, la collectivité est en mesure de fournir des fonds de plans au format d'échange standard PCRS qui constituent un "produit dérivé" du RTGE.

Cela permet à la collectivité d'être déjà pleinement en conformité avec les récentes dispositions réglementaires anti-endommagement des réseaux enfouis, en particulier l'obligation pour



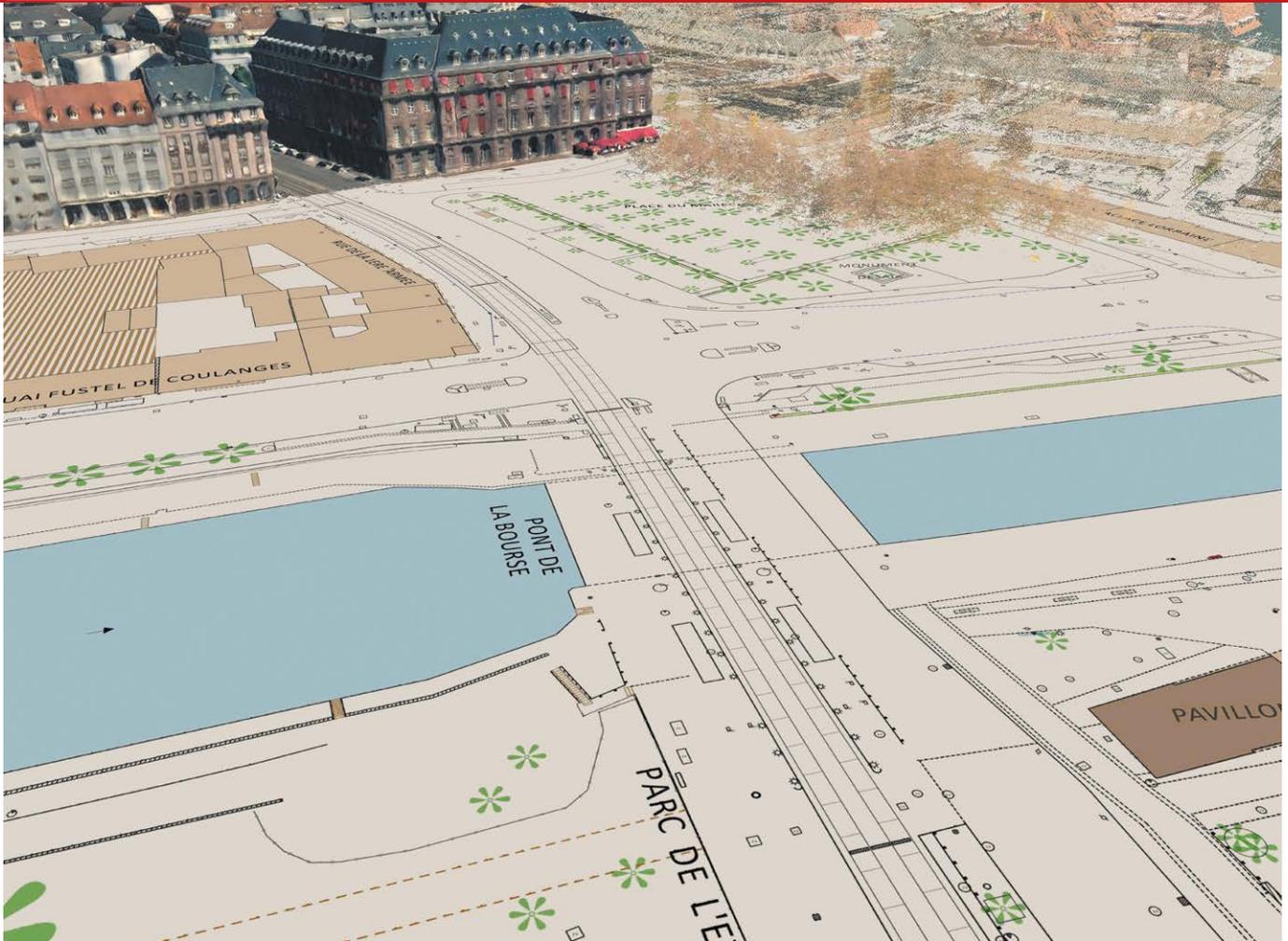


Figure 7. Superposition de maillage 3D texturé et de nuage de points LIDAR sur les données RTGE



l'autorité publique locale compétente de fournir aux gestionnaires de réseaux le meilleur fond de plans dont elle dispose.

La mise en œuvre du PCRS représente donc pour l'Eurométropole de Strasbourg une certaine forme d'aboutissement permettant de confirmer la pertinence de l'approche historique de constitution d'un fond topographique continu sur l'emprise urbaine et de renforcer l'intérêt de l'entretien de ces données.

Toutefois, s'il est nécessaire au plan national de pouvoir disposer d'un PCRS sur les zones urbanisées pour pallier aux lacunes actuelles de fonds topographiques homogènes et ainsi permettre d'améliorer la connaissance des réseaux, il faut bien avoir à l'esprit que ces spécifications techniques en terme de contenu comme en terme de précision ne sont pas suffisantes à l'échelle locale, pour l'exercice de toutes les compétences de gestion technique des territoires qui sont celles des communes et de leurs groupements.

C'est la raison principale pour laquelle les partenaires CIGAS continuent à produire des données topographiques de référence selon leurs propres spécifications RTGE plutôt que selon le standard du PCRS.

Les évolutions technologiques récentes permettent l'émergence de nouveaux procédés techniques pour la production de fonds de plans topographiques conformes au standard PCRS : relevés lasergrammétriques LIDAR 3D terrestre ou aérien, relevés photogrammétriques terrestres par caméras mobiles, relevés aériens par drones sont autant de technologies pouvant s'avérer très intéressantes à exploiter. Toutefois, elles ne remplacent pas complètement les méthodes topographiques traditionnelles car elles nécessitent toujours un complément terrain pour la détermination de points de calage précis. Certaines ont fait l'objet d'acquisitions par l'Eurométropole, en complément des données topographiques classiques auxquelles elles apportent un enrichissement indéniable... (Figure 7) ●

Contacts

Olivier BANASZAK et Sébastien WEHRLÉ
Service Géomatique et connaissance du territoire Ville et Eurométropole de Strasbourg
olivier.banaszak@strasbourg.eu
sebastien.wehrle@strasbourg.eu

ABSTRACT

The ancient tradition of regular topographic survey of Strasbourg, which started 45 years ago in the Urban community and City of Strasbourg, is at the moment in a process of evolution and modernizing. This evolution takes place in the rising context of a new regulation with regard to underground networks damaging, based especially on supplying the utilities companies with street corridors simplified maps. This article describes the history of the reference surveying map of the Eurometropolis of Strasbourg and details the processes of the present data maintenance, in the scope of a local partnership.

Le droit français et les nouvelles méthodes d'acquisition de données : de quelques restrictions inhérentes aux droits des tiers

■ **Élisabeth BOTREL**

En comparant avec les techniques traditionnelles, les nouvelles méthodes d'acquisition de données permettent à la fois rapidement et avec une grande précision et netteté de rendre compte des détails du monde environnant. Corrélativement, elles rendent alors plus grands les risques de contestations formulées par les usagers de ces lieux relevés. Outre des éventuelles atteintes au droit à l'image ou au droit au respect de la vie privée, il faut également songer au droit du propriétaire de l'immeuble lorsque ce bâti est reconnaissable après relevé topographique dans une image ou un nuage de points, même si en la matière la jurisprudence est désormais plus souple à l'égard du professionnel de l'image. De même, l'architecte pourrait, sous certaines conditions, contester l'utilisation qui serait faite du produit visualisable de son œuvre. Cet article se propose donc de rappeler les grandes règles du droit français concernant certains droits pouvant être opposés au professionnel de l'acquisition de données.

■ MOTS-CLÉS

Droit à l'image, droit au respect de la vie privée, droit à l'image des biens, droit d'auteur de l'architecte, acquisition de données.

se généraliser et accroître les risques de mise en œuvre de la responsabilité du professionnel ayant procédé à l'acquisition des données. Ce n'est pas parce que l'acquisition des données s'est réalisée dans une rue, lieu public, qu'elle n'engendrerait aucune contestation de la part de certains "usagers".

Trois principales hypothèses peuvent ainsi être envisagées. Lorsqu'une personne est identifiable ou qu'un élément de sa vie privée a été capté, une action en réparation pour atteinte à un droit de sa personnalité pourrait être engagée (§ I). De plus, la diffusion d'images d'un bien immobilier (fonds de terre ou constructions), peut parfois être contestée par les propriétaires de ces mêmes biens. Néanmoins, la jurisprudence est aujourd'hui plus souple à l'égard des professionnels dans l'utilisation de l'image obtenue (§ II). Enfin, dans certaines circonstances, peuvent aussi s'ajouter les droits de propriété intellectuelle de l'architecte, lorsque le produit obtenu rend directement visible une œuvre architecturale originale (§ III).

Une acquisition de données respectueuse des droits de la personnalité

Comme déjà indiqué, l'acquisition de données peut permettre de rendre compte précisément et visiblement de la réalité de ce qui est présent au sol, et c'est pourquoi le professionnel pourrait être confronté à des réclamations, pour atteinte à leur droit à l'image, de la part de personnes dont l'image a été reproduite sans leur autorisation et pour atteinte à leur droit au respect de

Introduction

La représentation du monde qui nous entoure s'appuie sur de nombreuses techniques autant statiques (par exemple, sur un trépied avec un laser à balayage ou avec la photogrammétrie) que dynamiques (par exemple, par photogrammétrie ou par lidar embarqués sur un véhicule avec les systèmes mobiles de cartographie qui se sont développés au cours des dernières années) en passant également par les méthodes aériennes (par avion et aujourd'hui par drone). On retrouve ce panel pour relever un corps de rue, notamment dans l'élaboration du plan de corps de rue simplifié (PCRS). Bien que techniquement distinctes, ces méthodes vont néanmoins permettre de modéliser et de visualiser notre environnement. Or, c'est parce qu'elles vont permettre de générer des produits visualisables sur n'importe quels supports (images, nuages de points bruts ou maillés) qu'il n'est pas inutile

de rappeler certaines règles du droit français pour sécuriser l'acquisition et l'utilisation de ces produits dans un cadre professionnel.

En effet, si les nouvelles méthodes d'acquisition de données ne renouvellent pas fondamentalement les questions juridiques, elles sont toutefois de nature à les mettre davantage en avant et de générer éventuellement des contentieux qu'il faut alors tenter de prévenir. Les méthodes précédemment évoquées ont pour trait commun de permettre l'obtention rapide d'un grand nombre de détails du monde réel, ce que ne pouvaient pas faire, dans un temps raisonnable, les méthodes dites traditionnelles. Les avantages indéniables de ces méthodes que sont la vitesse d'exécution et la précision dans les détails obtenus ont pour contrecoup de favoriser les potentielles réactions des "usagers" des lieux reproduits. Si les atteintes aux droits de ces usagers ont toujours été présentes, elles pourraient



la vie privée si un élément privé était dévoilé sur l'image.

Droit à l'image des personnes :

Toute personne dispose, sur son image, d'un droit exclusif. Le droit à l'image permet ainsi à tout un chacun d'autoriser ou d'interdire la reproduction ou la diffusion de son image. Outre une protection pénale du droit à l'image (mais que nous ne développerons pas ici), le droit à l'image est civilement protégé, c'est-à-dire que la victime d'une telle atteinte peut saisir les juridictions pour obtenir réparation, essentiellement par l'octroi de dommages et intérêts. Pour autant, le droit à l'image n'apparaît expressément dans aucun article du Code civil. En effet, il s'agit d'une création de la jurisprudence qui a été dégagée en la rattachant à l'article 9, alinéa 1^{er} du Code civil disposant que "*chacun a droit au respect de sa vie privée*". Si originairement le droit à l'image était intimement lié au droit au respect de la vie privée, il a, au fur et à mesure, gagné en autonomie au point que la Cour de cassation a retenu le principe suivant lequel "*chacun a le droit de s'opposer à la reproduction de son image*" en visant l'article 9 du Code civil¹. Par conséquent, le droit à l'image peut faire l'objet d'une réparation sans qu'il y ait nécessairement atteinte cumulative au droit au respect de la vie privée².

Plusieurs cas peuvent être envisagés en fonction du lieu où la personne dont l'image a été prise se trouvait. En raison de la possibilité d'avoir un grand nombre de détails par le biais de ces méthodes, doivent ainsi être distinguées les hypothèses selon lesquelles la personne se trouvait, d'une part, dans un lieu privé et, d'autre part, dans un lieu public. Un passant marchant dans une rue peut-il s'opposer à la captation de son image ou encore à l'utilisation et la diffusion de cette dernière ? La personne assise tranquillement dans son canapé alors que l'acquisition de données faite de la rue permet de la reconnaître et de l'identifier peut-elle agir ?

1 Cass. civ. 1^{er}, 13 janvier 1998, n°95-13.694, Bull. civ. I, n°14.
2 Cass. civ. 1^{er}, 9 juillet 2009, n°07-19.758, Bull. civ. I, n°175.

Il faut rappeler que le droit à l'image d'une personne est protégé en principe ; peu importe la personnalité connue ou non de l'individu ou encore le lieu dans lequel l'image a été réalisée, lieu privé ou lieu public. Néanmoins, la jurisprudence est la plupart du temps plus souple concernant les images prises dans un lieu public, représentant la personne dans sa vie publique. Pour autant, cela ne doit pas valoir comme blanc-seing pour le professionnel qui devra prendre quelques précautions. En effet, même pour une image captée dans un lieu public, la personne peut encore contester l'utilisation de son image dans l'hypothèse où le cadrage la présente au centre de l'image et la rend identifiable³. En revanche, et même si certaines décisions de la Cour de cassation visaient au-delà de la reproduction de l'image de la personne également sa captation⁴, aujourd'hui un grand nombre de praticiens et une certaine doctrine⁵ estiment que ce n'est pas la prise de vue en elle-même de la personne dans un lieu public qui serait civilement sanctionnée mais les seules diffusion ou publication de l'image de la personne sans son autorisation. Il faut aussi reconnaître que ces actions en réparation peuvent être perçues comme étant un peu théoriques en ce qu'il faut que la victime de l'atteinte ait eu connaissance de l'utilisation de son image pour pouvoir ensuite la contester, ce qui sera assez rare. Mais si tel était le cas, les conditions pour qu'elles puissent obtenir sanction de l'atteinte commise à son droit à l'image pourraient être facilement vérifiées : une diffusion de l'image

3 Cass. civ. 1^{er}, 12 déc. 2000, n°98-21.311, Bull. civ. I, n°322 ; Cass. civ. 2^{es}, 10 mars 2004, n°01-15.322, Bull. civ. II, n°117.
4 Par exemple : Cass. civ. 1^{er}, 30 juin 2004, n°04-19.599, Bull. civ. I, n°340 retenant la possibilité pour toute personne de s'opposer à la fixation de son image (en plus du droit de s'opposer à la reproduction et à l'utilisation de celle-ci).
5 M. Dournes, *Les photographies et le droit. Droit d'auteur et droit à l'image*, Eyrolles, 2015, spéc. p. 244 estimant que la prise de vue en elle-même ne pose pas de difficulté. *Contra* : B. Teyssié, *Droit civil. Les personnes*, LexisNexis, 14^e éd., 2012, spéc. n°88, p. 79.

d'une personne identifiable sans son autorisation.

De ces conditions se déduisent les premières limites fermant la possibilité d'action de la part d'une personne dont l'image aurait été acquise et utilisée. En effet, elle ne peut agir en réparation si elle a autorisé au préalable la diffusion ou la publication de l'image. La prudence impose donc de requérir le consentement de cette personne en lui faisant signer un contrat de cession de ses droits sur l'image qui doit être clair et préciser l'étendue exacte de la cession. Comme nous l'avons indiqué, pour agir et obtenir satisfaction devant les juridictions, la personne doit également être reconnaissable et identifiable sur l'image. La Cour de cassation a, par exemple, affirmé "*qu'à défaut de possibilité d'identification de la personne représentée, l'atteinte [...] à l'image n'était pas constituée*"⁶. En outre, il existe en jurisprudence une exception permettant de publier une image d'une personne parfaitement reconnaissable sans pour autant que celle-ci ait donné son accord à la publication dès lors que la photographie vient illustrer un événement d'actualité (sous la réserve que l'image respecte la dignité de la personne humaine⁷). En effet, "*l'impératif d'information peut justifier la publication d'une photographie prise en un lieu public sans l'accord préalable de ceux dont l'image a été reproduite*"⁸. On retrouve la même réserve si l'image participe d'une œuvre artistique⁹.

Droit au respect de la vie privée :

Outre l'image de la personne susceptible d'être captée, il faut aussi envisager l'hypothèse où l'image révélerait un élément de la vie privée de cette dernière. L'image peut alors soit porter cumulativement atteinte au droit à l'image et au droit au respect de la vie privée de la personne, soit ne porter atteinte qu'à sa vie privée (mais dans ce dernier cas, il faudrait

6 Cass. civ. 1^{er}, 21 mars 2006, n°05-16.817, Bull. civ. I, n°170.
7 Cass. civ. 1^{er}, 20 déc. 2000, n°98-13.875, Bull. civ. I, n°341.
8 B. Teyssié, op. cit, spéc. n°91, p. 83.
9 CA Paris, 11^e chA, 5 nov. 2008, n°07/10198, D. 2009, p. 470, note C. Bigot.



être en mesure de faire le lien entre la personne et l'élément de la vie privée dévoilé dans l'image). Ce second cas étant probablement un peu plus rare¹⁰, on peut se contenter de rappeler quelques éléments de la première hypothèse. Comme nous l'avons indiqué, le droit au respect de la vie privée est envisagé par l'article 9, alinéa 1^{er} du Code civil mais il convient de se tourner vers la jurisprudence pour cerner les conditions spécialement requises pour retenir une telle atteinte. Pour qu'une personne puisse agir, il faut d'abord s'assurer qu'un élément de sa vie privée apparaisse et ait été révélé dans l'image. La notion de vie privée étant assez floue, on y intègre en règle générale les éléments d'ordre personnel qui touchent à son identité ou son identification, à sa vie affective, familiale et sentimentale, à son intimité corporelle, ses croyances religieuses, des éléments d'ordre patrimonial (par exemple sur le contenu de celui-ci, sur ses biens), etc. Concernant le patrimoine d'une personne, il a pu être jugé par une juridiction de première instance que *"l'utilisation non autorisée de l'image de la propriété immobilière d'autrui sous forme de cliché photographique permettant une identification aisée des lieux en rapport avec son occupant, constitue une atteinte à l'intimité de la vie privée, qui ne peut être justifiée par la connaissance qu'en aurait la population voisine"*¹¹. Un lien fait entre un bien immobilier identifié et une personne dans un produit visua-

lisible résultant de l'acquisition de données pourrait donc être constitutif d'une atteinte à la vie privée de la personne. Pour autant et à l'instar du droit à l'image, on retrouve les mêmes limites permettant au professionnel de dégager sa responsabilité en cas de consentement de la personne à la diffusion d'une image révélant des éléments de sa vie privée, ou encore en raison du droit à l'information du public¹².

Si la prise et la diffusion d'images peuvent porter atteinte à certains droits de la personnalité des individus, en revanche, elles ne peuvent plus, en principe, faire l'objet de contestation par le propriétaire privé d'un bien immobilier qui aurait fait l'objet d'un relevé.

Acquisitions de données et la question du droit du propriétaire d'un immeuble sur l'image du bien relevé

Le principe est aujourd'hui clairement précisé en jurisprudence : un propriétaire privé d'une maison ou d'un immeuble ne peut plus s'opposer, en principe, à la prise d'une image de l'immeuble lui appartenant ni à son exploitation (notamment à des fins commerciales). Un professionnel peut donc relever la façade d'un immeuble sans que son propriétaire ne vienne le contester dans cette activité.

Néanmoins cette solution n'est le résultat que d'un revirement de jurisprudence opéré par la Cour de cassation en 2004. En effet, la position de la juridiction suprême de l'ordre judiciaire a évolué puisque l'on peut se rappeler du retentissement lié à l'arrêt couramment appelé *"Café Gondrée"*¹³ rendu en 1999. Dans cet arrêt, la Cour avait rattaché au droit de jouissance de la chose, la faculté qu'a le propriétaire du bien immobilier de tirer profit de l'image de celui-ci. L'arrêt avait ainsi retenu que *"l'exploitation d'un bien sous forme de photographie*

[portait] atteinte au droit de jouissance du propriétaire". Mais fort heureusement, cinq ans plus tard, la Cour de cassation avait procédé à un revirement en précisant que le *"propriétaire d'une chose ne dispose pas d'un droit exclusif sur l'image de celle-ci [mais] [...] il peut s'opposer à l'utilisation de cette image par un tiers lorsqu'elle lui cause un trouble anormal"*¹⁴. Ainsi, le propriétaire du bien immobilier n'a pas d'exclusivité sur l'image de son bien et tout consentement préalable de ce dernier pour l'exploitation de cette image n'est plus requis.

Néanmoins, il faut quand même relever la réserve formulée par la Cour de cassation dans cet arrêt de 2004 puisqu'elle a laissé ouverte la voie d'une possible contestation *a posteriori* par le propriétaire du bien immobilier en introduisant la limite tirée du "trouble anormal" que pourrait engendrer l'utilisation de l'image par un professionnel. La Cour évoque une limite sans en préciser les contours et peu de décisions ultérieures sont d'ailleurs venues en compléter le sens. On peut citer un arrêt de 2005 dans lequel la Cour a donné un éclairage en reprochant aux propriétaires de ne pas avoir rapporté la preuve que *"la reproduction litigieuse perturbait leur tranquillité et intimité ou que les indications de situation géographique [...] permettaient de redouter [...] un trouble quelconque"*¹⁵. En conséquence, il faut garder en tête la réserve du "trouble anormal" pour tout professionnel souhaitant exploiter les images relevées d'autant plus si elles sont géolocalisées. Si le nom du propriétaire et le lieu où se situe le bien immobilier représenté étaient diffusés, ce même propriétaire serait légitime à agir pour atteinte à sa vie privée et obtenir réparation. On retrouverait alors les mêmes solutions que celles développées précédemment¹⁶.

Rappelons également que l'ensemble des règles citées précédemment vaut pour les propriétés immobi-

10 Voir néanmoins : TGI Laval, 25 sept. 2017, n°16/00483 concernant un litige dans lequel un reportage télévisuel avait diffusé des images filmées, acquises lors d'un survol par ULM, de la propriété immobilière d'une personne et au cours duquel le nom de la résidence et sa localisation (en lien avec le nom du propriétaire) avaient été communiqués. En raison de cette communication, le propriétaire du bien avait agi pour atteinte à sa vie privée. Dans cette espèce, il fut débouté car les juges ont notamment retenu que le reportage ne faisait que *"repréendre ce qui [était] de notoriété publique"* et ne faisait que relater *"un fait public sur des éléments connus du patrimoine"*, du propriétaire du bien immobilier, personnalité publique connue.

11 TGI Paris, 1^{er} ch., 1^{er} sect., 15 déc. 1993, JurisData n° 1993-050277.

12 Voir aussi : TGI Laval, précédemment cité lorsque le fait litigieux est également notoire et ainsi, déjà connu du public.

13 Cass. civ. 1^{er}, 10 mars 1999, dit *"Café Gondrée"*, n°96-18.699, Bull. civ. I, n°87.

14 Cass. ass. plén. 7 mai 2004, dit *"Hôtel de Girancourt"*, n°02-10.450, Bull. A.P., n°10.

15 Cass. civ. 1^{er}, 5 juill. 2005, n°02-21.452, Bull. civ. I, n°297.

16 Hormis l'hypothèse où ces éléments seraient notoires (cf développements précédents).



lières soumises au droit privé mais également en principe pour les biens publics. Pour autant, il existe certaines exceptions concernant les domaines nationaux. La loi n°2016-925 du 7 juillet 2016 a créé un nouvel article dans le Code du patrimoine selon lequel une autorisation préalable du gestionnaire de la partie concernée du domaine national est requise pour toute "utilisation à des fins commerciales de l'image des immeubles qui constituent les domaines nationaux"¹⁷. Néanmoins cette autorisation n'est pas requise "lorsque l'image est utilisée dans le cadre de l'exercice de missions de service public ou à des fins culturelles, artistiques, pédagogiques, d'enseignement, de recherche, d'information et d'illustration de l'actualité"¹⁸. Il faudra donc s'assurer du contexte d'utilisation de l'image pour vérifier s'il est ou non soumis à autorisation.

Une logique similaire devra également être vérifiée si l'image acquise révèle nettement une œuvre architecturale.

Acquisitions de données et droit de l'architecte sur l'œuvre architecturale relevée

Toutes constructions peuvent aussi faire l'objet d'une protection par le Code de la propriété intellectuelle empêchant la libre utilisation et exploitation de l'image qui en a été faite. Les constructions architecturales sont, en effet, protégées si elles sont qualifiées d'œuvres originales. Dans ce cas, l'architecte peut se prévaloir d'un droit d'auteur sur celles-ci et l'utilisation de l'image du bien ne pourrait se faire, en principe, qu'après avoir obtenu l'autorisation préalable de ce dernier. L'article L. 111-1, alinéa 1^{er} du Code de la propriété intellectuelle indique que "l'auteur d'une œuvre de l'esprit jouit sur cette œuvre, du seul fait de sa création, d'un droit de propriété incorporelle exclusif et opposable à tous". Le droit d'auteur est alors composé d'attributs moraux et d'attributs patrimoniaux. Constituent les attributs patrimoniaux du droit d'auteur, d'une part le droit

17 C. patrim., art. L. 621-42, al. 1^{er}.
18 C. patrim., art. L. 621-42, al. 3.



© Insa Strasbourg, projet Avenue

Relevés par cartographie mobile

de représentation (consistant en la communication directe de l'œuvre au public par un procédé quelconque et envisagé par l'article L. 122-2) et d'autre part, le droit de reproduction (qui tient dans la "fixation matérielle de l'œuvre par tous procédés"¹⁹ en permettant de communiquer l'œuvre au public de manière indirecte). Cette reproduction peut notamment se faire par photographies et, pour les œuvres d'architecture, elle peut aussi s'effectuer par "l'exécution répétée d'un plan ou d'un projet type"²⁰. Le Code de propriété intellectuelle protège strictement ces droits patrimoniaux en posant le principe suivant lequel toute "représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite"²¹. L'auteur de l'œuvre, dans le cas présent l'architecte, jouit ainsi sa vie durant du "droit exclusif d'exploiter son œuvre sous quelque forme que ce soit"²² et, à son décès, ce droit se transmet aux héritiers qui vont pouvoir le poursuivre dans les 70 ans après sa mort²³. Il faut donc le constater, à partir du moment où ont été vérifiées les exigences fondamentales d'une œuvre architecturale originale, seul l'architecte dispose du droit de reproduction. Autrement dit, la fixation matérielle de l'œuvre architecturale sur une image

19 CPI, art. L. 122-3, al. 1^{er}.
20 CPI, art. L. 122-3, al. 3.
21 CPI, art. L. 122-4.
22 CPI, art. L. 123-1.
23 CPI, art. L. 123-1, al. 2

prise par appareil photographique ou sur un nuage de points visualisable sur un écran relève du droit de reproduction et n'est offert qu'à l'architecte tout au long de sa vie et se prolonge entre les mains de ses ayants droits après son décès. De nouveau, seule l'autorisation faite préalablement permet au professionnel relevant de tels bâtiments de se garantir contre une éventuelle action de la part d'un architecte ou de ses héritiers. Certes, le risque peut apparaître minime en ce qu'il impose que l'architecte ait eu connaissance du relevé de son œuvre puis de son exploitation ultérieure mais il existe bel et bien.

Conclusion

Outre des questions sur la propriété des données²⁴, l'acquisition de données impose une certaine prudence de la part du professionnel lorsque l'on songe aux droits des tiers usagers des lieux reproduits. En effet, même si l'évolution jurisprudentielle de ces dernières années a fait disparaître tout "droit à l'image des biens" pour les immeubles soumis au régime de la propriété privée et pour la majorité des immeubles relevant du domaine public, les professionnels de l'acquisition de données souhaitant utiliser les produits visualisables des biens immobiliers (images ou nuages de points) devront prendre garde à l'application

24 Celles-ci n'ont toutefois pas été traitées dans cet article.



des règles relatives à la reproduction et la diffusion d'images représentant des œuvres architecturales originales. De plus, et incidemment lors d'un relevé d'un corps de rue, il est possible que des personnes physiques apparaissent et soient identifiables. Dans une telle hypothèse et sans plus de précaution, une action pour atteinte au droit à l'image est envisageable et peut même se cumuler à une action pour atteinte à la vie privée si un élément de la vie privée était également dévoilé sur l'image. Pour éviter tout risque de contentieux ultérieur, la sécurité consiste à solliciter l'autorisation de ces personnes. ●

Bibliographie

Caron C. (2017), *Droit d'auteur et droits voisins*, Lexisnexis, 5^e éd.
Dournes M. (2015), *Les photographies et le droit. Droit d'auteur et droit à l'image*, Eyrolles, 2015.

Hassler T. (2014), *Le droit à l'image des personnes physiques : entre droit de la personnalité et propriété intellectuelle*, Lexisnexis, CEIPI, Université de Strasbourg.

Huet M. (2006), *L'architecte auteur : pratiques quotidiennes du droit d'auteur en architecture, paysage et urbain*, Ed. le Moniteur, Coll. Guides juridiques. Construction.

Signorille P. (sous la direct. de) (2014), *Droit et architecture : reconsidérer les frontières, leurs interactions et leurs mutations (actes du colloque tenu le 11-12 avril 2013)*, PUAM, coll. Inter-normes.

Teysse B. (2012), *Droit civil. Les personnes*, LexisNexis, 14^e éd.

Contact

Élisabeth BOTREL, Maître de conférences à l'ESGT (École supérieure des géomètres et topographes)
elisabeth.botrel@lecnam.net

ABSTRACT

Compared to traditional techniques, new data acquisition methods allow a quick and accurate survey of our environment. However, they may also increase the risk of complaints by individuals present in the surveyed places. In addition to any infringement of the right to one's image or to the right to respect for private life, it is also necessary to consider the right of the owner of the building which may be recognized in topographic data such as an image or a point cloud, even if the case law has become more flexible with regards to imaging professionals. Similarly, architects may, under certain conditions, contest the use that could be made of the image of their creation. This article recalls the main rules of French law concerning these different rights that may be opposed to the professionals of data acquisition.

CARTOGRAPHIE

Dossier PCRS - Journées de la topographie 2017 - INSA de Strasbourg

Le PCRS, développement de l'idée et l'état d'avancement actuel

■ Pierre NGUYEN-TRONG



Principal gestionnaire de réseau de distribution de gaz naturel en France, GRDF distribue, chaque jour, le gaz naturel à plus de 11 millions

de clients, pour qu'ils disposent du gaz quand ils en ont besoin. Pour se chauffer, cuisiner, se déplacer, et bénéficier d'une énergie pratique, économique, confortable et moderne, quel que soit leur fournisseur. Pour cela, et conformément à ses missions de service public, GRDF conçoit, construit, exploite, entretient le plus grand réseau de distribution d'Europe (198 886 km) et le développe dans plus de 9 500 communes, en garantissant la sécurité des personnes et des biens et la qualité de la distribution.

La cartographie dans l'entreprise

Comme pour la plupart de nos activités, la cartographie est soumise à des obligations réglementaires.

L'arrêté du 13 juillet 2000 est le texte fondateur pour la cartographie des réseaux. Il fixe l'obligation de disposer d'une cartographie pour connaître l'état de fonctionnement des réseaux et les localiser. Les réseaux étant souterrains,

MOTS-CLÉS

GRDF, réseau, cartographie, PCRS, SIG, géo-standard

la cartographie est essentielle. L'arrêté du 15 février 2012 dédié à la prévention des dommages aux ouvrages a introduit de nouvelles obligations cartographiques : géoréférencement des réseaux, classes de précision cartographique, ainsi que le PCRS. Enfin, GRDF doit annuellement rendre compte du patrimoine concédé par les collectivités, propriétaires des réseaux. A cet égard, il transmet au concédant les cartographies du réseau.

Pour répondre à ces exigences, nous utilisons 2 outils :

- un SIG (système d'information géographique), c'est-à-dire une base de données unique, géographiques et topologiques à partir de laquelle s'opèrent tous les travaux de l'exploitation, les calculs de flux gazeux, les



calculs de dimensionnement et la détermination des points de coupure en cas d'incident.

- Des outils de DAO (dessin assisté par ordinateur), basés sur le logiciel Microstation (Bentley). Cette cartographie permet à l'échelle 1/200, issue de la vectorisation des plans papier, de localiser avec une précision centimétrique, les réseaux dans la rue. Pour couvrir l'ensemble des 200 000 km du réseau, GRDF dispose de 1 300 000 plans de ce type.

Quels fonds de plans utilise-t-on ?

Le SIG a été implémenté en utilisant le fond de plan cadastral. D'ici 2018, le cadastre sera remplacé par les bases RGE de l'IGN. Ce projet aura nécessité le recalage des réseaux.

Sur les plans de détail, le fond de plan est collecté par nos prestataires topographes selon la norme GRDF. Jusque fin 2010, les plans GRDF étaient conjoints avec ceux d'ENEDIS, d'où une grande homogénéité des normes de fonds de plan. Depuis fin 2010 GRDF a très largement investi pour géoréférencer ses plans ; à mi 2017, 80% de ses plans sont géoréférencés dans les standards de l'arrêté du 15 février 2012.

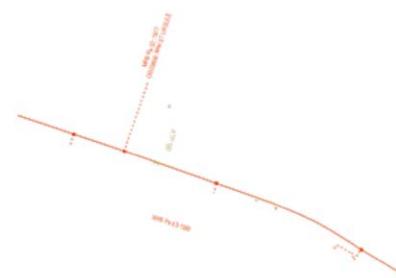
L'histoire du PCRS

L'arrêté du 15 février 2012, dit arrêté "Anti-endommagement des réseaux" fixe de nouvelles règles aux différents acteurs impliqués dans les travaux à proximité des ouvrages de réseau. Parmi celles-ci, on notera la création du télé-service "Guichet unique" dont la consultation est obligatoire pour connaître la liste des exploitants de réseaux présents dans la zone de travaux projetés. Les responsables de projet et exécutants de travaux adressent ensuite aux exploitants les Demandes de travaux, et Déclaration d'intention de commencement de travaux afin de connaître l'emplacement précis des réseaux, et prendre les précautions nécessaires lors de leurs travaux.

Les caractéristiques des plans joints aux récépissés en réponse aux DT/DICT sont décrites dans l'article 7 de l'arrêté. C'est



SIG : le cadastre, le RGE de l'IGN



GE : fond de plan GRDF

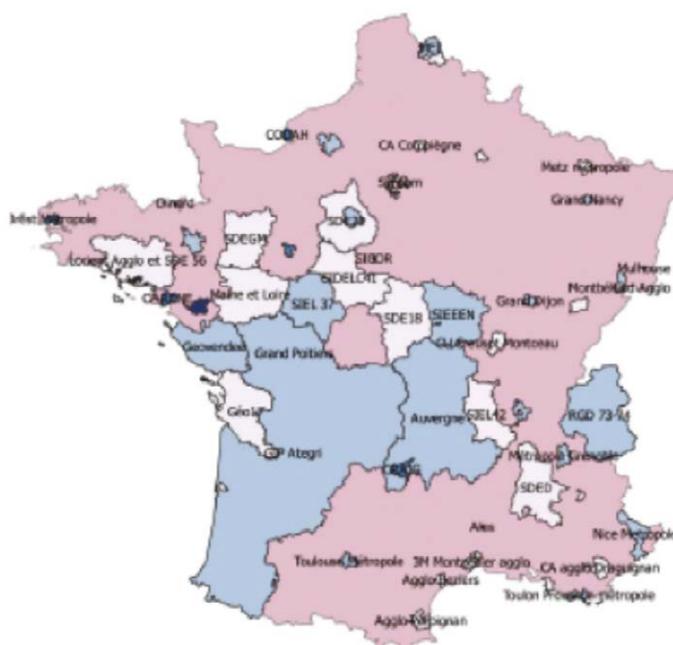


Le fond de plan des cartographies



Figure 1. Photographie prise lors de la signature du protocole PCRS

Carte des initiatives PCRS connues de GRDF (juin 2017)



Blanc : déclaration d'intention des autorités publiques
 Bleu Ciel : Lancement de la réflexion avec l'ensemble des parties
 Bleu foncé : acquisition des données pour constitution de la base
 Bleu sombre : Mise à jour des bases.

L'acquisition et le traitement des données dans le cadre du PCRS

■ Florent MICHELS - Romain LEMETTAIS



La société a été fondée en 2013, à Madagascar. Depuis elle est présente en France, en Suisse et compte des clients partout en Europe et au Canada. Elle est composée de plus de 60 collaborateurs et poursuit son développement en intégrant chaque année de nouveaux collaborateurs, ingénieurs, techniciens et dessinateurs. Elle est spécialisée dans le traitement de données géographiques et plus particulièrement dans le traitement de nuages de points, autant sur le volet bâtiment que sur le volet infrastructures.

MOTS-CLÉS

Norme PCRS, *mobile mapping*, traitement de données, DT-DICT, CNIG

présente notamment les avantages et les inconvénients de chaque méthode. Nous nous intéressons plus particulièrement à l'acquisition des données *mobile mapping* dans cet article.

L'acquisition de cartographie mobile (*mobile mapping*)

Les capacités d'acquisition d'un système "*mobile mapping*" en zone urbaine sont d'environ 50 km par jour. A cela, il faut ensuite ajouter des points de calage, préparer les données et réaliser le calcul de la cartographie.

Pour une agglomération comme Lyon où l'on peut compter environ 500 km de voirie, une dizaine de jours seulement serait nécessaire pour acquérir des données sur une métropole de cette taille. Cela ne tient pas compte des points de calage et des éventuels

Le PCRS (Plan Corps de Rue Simplifié)

D'après Mitanchey (2015), le PCRS est le socle commun topographique minimal de base décrivant à très grande échelle les limites apparentes de la voirie.

Le PCRS intervient dans le cadre de la réglementation DT-DICT (Déclaration de projet de Travaux, Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux) qui, depuis 2012, oblige les collectivités et les gestionnaires de réseaux à avoir les définitions de leurs réseaux dans des classes de précision. Le PCRS a pour but d'être un socle topographique de base, commun, servant de fond de plan à l'échelle nationale.

Dans ce cadre, la société a fait réaliser un PFE (Projet de Fin d'Études) par Marine Forrler. Ce projet avait pour but de définir et d'améliorer les processus

de traitement des données issues de l'acquisition *mobile mapping* pour la création de livrables répondant aux attentes du PCRS.

Les moyens d'acquisition

Les différents moyens d'acquisition aidant à la production du PCRS sont listés dans le tableau n°1. Ce tableau

| Type | Précision | Avantages | Couverture |
|----------------------------------|----------------|--------------------------------------|------------|
| Acquisition aérienne | 10 cm ou moins | Couverture du territoire très rapide | Globale |
| Système <i>mobile mapping</i> | 5 cm | Couverture du territoire rapide | Linéaire |
| Acquisition classique, terrestre | 2-3 cm | Moins rapide que les autres | Linéaire |

Table 1. Tableau de synthèse des paramètres liés aux différents types d'acquisition utilisés dans le cadre du PCRS.

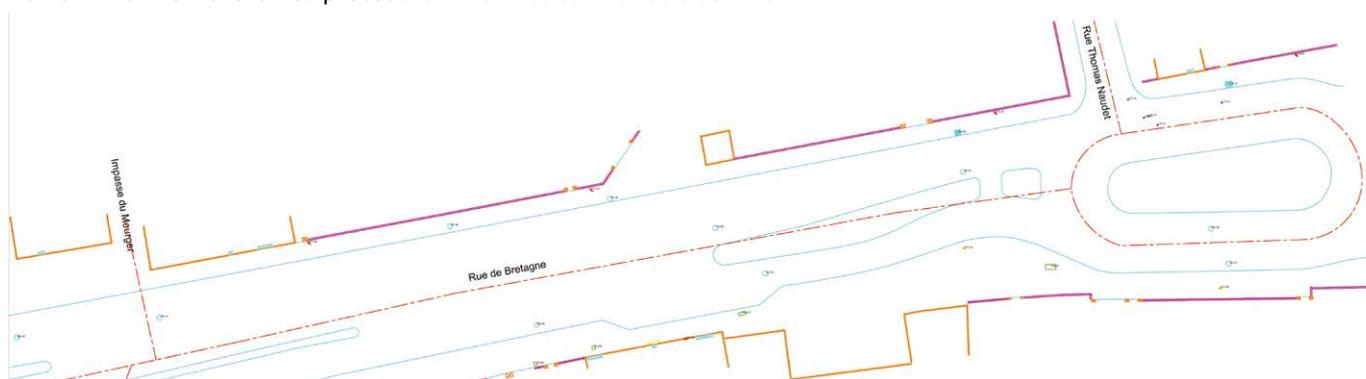
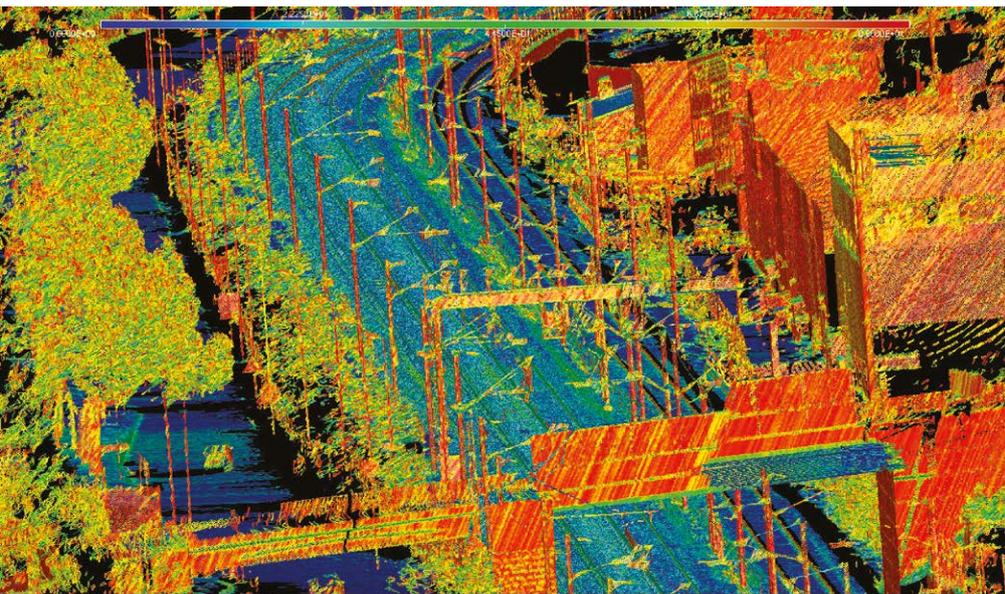


Figure 1. Illustration d'un PCRS



frein à l'adoption généralisée de ces nouveaux moyens, qui se situe au niveau du traitement de la donnée.

Le traitement des données

Le principe du traitement des données est, à partir d'un nuage de points brut, de la trajectoire et des images, de générer un plan de corps de rue. Comme évoqué plus haut, on peut considérer qu'un système mobile peut aujourd'hui acquérir 50 km/jour dans une zone urbaine. D'après notre expérience et des retours de différentes sociétés, la capacité de traitement des données varie de 500 m/jour à 2 km/jour en fonction du type de livrable à produire et des données à intégrer au plan (affleurants, mobilier urbain, signalisation). Il y a donc un décalage encore important entre les capacités d'acquisition et les capacités de traitement des données. On va donc chercher à automatiser un maximum d'étapes entre l'obtention des données brutes et l'obtention de données exploitables de type PCRS et ce, pour atteindre des capacités de production du même ordre de grandeur que l'acquisition. Le PFE cité précédemment avait cet objectif d'automatisation des étapes de traitement.



Figure 2. Maillage d'un nuage de points d'une voie ferrée acquis par un système mobile mapping (en haut), véhicule équipé pour le mobile mapping (à gauche)

compléments à réaliser pour avoir une donnée fiable et complète. Ces nouveaux systèmes d'acquisition mobiles révolutionnent la

manière d'aborder la topographie et permettent de nouvelles applications complémentaires des relevés traditionnels. Il reste cependant un

Nous avons décliné notre processus de traitement en plusieurs étapes comme le montre la *figure 3*. La première étape du traitement se fait au niveau du nuage de points, il s'agit du recalage des nuages de points entre eux car il existe des incohérences entre les différentes lignes de l'acquisition. Ces incohérences empêchent de dérouler des algorithmes de détection automatique. L'étape suivante consiste à transformer le nuage de points en une ortho-image pour procéder à la digitalisation des éléments constituant le plan. La dernière étape en 3D est déjà complètement automatisée, il s'agit de plaquer l'ensemble des données sur le maillage réalisé au préalable. Des critères de qualité ont été fixés pour garantir la précision du plaquage. Ceci permet de ne contrôler que 20 % du plaquage au lieu de la totalité des points car chaque point plaqué possède un indice de confiance du plaquage.

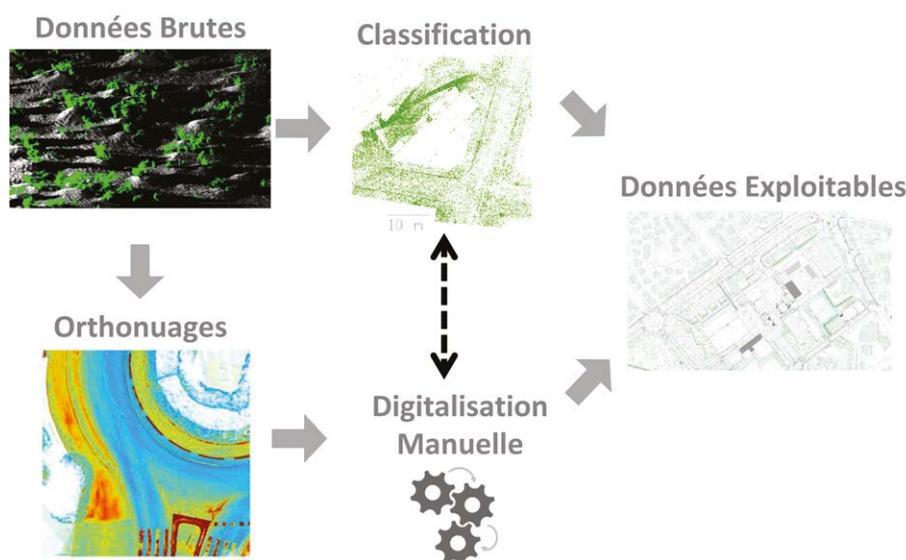


Figure 3. Processus de production de la société Futurmap

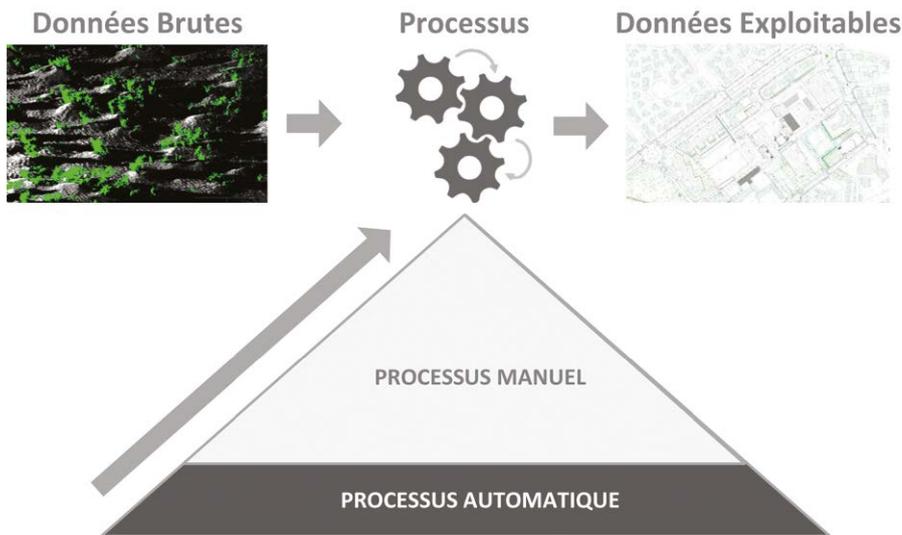


Figure 4. Schématisation de la stratégie d'automatisation du processus de production.

Problématiques et possibilités d'amélioration

La problématique essentielle dans la génération du PCRS vient du fait que la digitalisation, au niveau de l'ortho-image, se fait manuellement. Pour poursuivre le travail, on cherche à détecter automatiquement sur les ortho-images, les fils d'eau, la signalisation, les murs, en d'autres termes, l'ensemble des éléments constituant le fond de plan à la norme PCRS. On a commencé à tester certaines méthodes, notamment la reconnaissance de formes sur l'image, il y a eu des tests pour la reconstitution d'images, à travers des algorithmes de *machine learning*.

La prochaine étape, qui sera effectuée dans le cadre d'un nouveau PFE, débutera en novembre-décembre. Il s'agira de détecter les bordures de trottoir, à partir de l'imagerie car les algorithmes de détection sont beaucoup plus éprouvés sur l'image que sur le nuage de points.

Conclusion pour la société

L'avantage du PCRS pour la société est l'homogénéisation des rendus. En effet, l'ensemble des livrables sont actuellement hétérogènes en fonction des opérateurs et des collectivités exprimant des besoins différents. Par exemple, certaines collectivités dans le cadre de leurs activités quotidiennes utilisent des plans topographiques plus

complets que les plans type PCRS alors qu'un opérateur de réseaux aura besoin d'un plan sommaire servant au repérage des réseaux.

Dès lors, il nous semble opportun de travailler sur un socle minimum correspondant au PCRS et d'offrir ensuite des compléments en fonction de chaque utilisateur et des applications du plan. Afin d'avancer sur la mise en application du PCRS et l'uniformisation des rendus, nous proposons une charte unique normée avec la transformation de la CAO en GML.

Pour aller plus loin

Le parc routier national français, couvre 980 000 km de voies en zone urbaine et rurale. Nous avons estimé à une vingtaine le nombre de systèmes d'acquisition *mobile mapping*. A partir d'une moyenne d'acquisition de 50 km par jour, une moyenne de 180 jours

de levé dans l'année, soit à peu près la moitié de l'année, on pourrait lever environ 20 à 25 % du réseau routier total sur le territoire en une année. En considérant le traitement de 1,5 km par jour et 200 jours de travail dans l'année, il faudrait 600 personnes pour produire un PCRS à l'échelle nationale en 5,4 ans à partir de données *mobile mapping*.

Les questions qui se posent désormais sont : le *mobile mapping* est-il le système d'acquisition le plus adapté pour réaliser un fond de plan à cette échelle ? Quelles sont les données à ajouter à ces bases de données pour aller plus loin dans la création du plan ? Comment regrouper les efforts pour avoir un socle unique créateur de valeur ? Quel modèle économique pour les acteurs économiques ? Toutes ces questions trouveront prochainement des réponses avec le déploiement du PCRS. ●

Contact

Florent MICHELS, directeur commercial associé, société Futurmap
florent@futurmap.com

Romain LEMETTAIS, Directeur R&D

ABSTRACT

Futurmap is a company specialized in the processing of geographical data and more particularly in the treatment of point clouds. It produces, under the DT-DICT regulation, topographic plans to the PCRS standard. Futurmap is actively working on the automation of data processing and developing solutions adapted to mobile mapping systems.



Figure 5. Estimation du temps nécessaire et des ressources humaines pour la réalisation d'un PCRS à l'échelle nationale.

SNCF Réseau : de l'acquisition 3D à la diffusion de la donnée

■ Mathieu REGUL - Franck RICHARD - Jean-Christophe MICHELIN - Bruno LANDES

Les acquisitions 3D par scanner laser ne sont plus une nouveauté pour bon nombre de géomètres. Cette méthode est très répandue pour réaliser une collecte de données rapide et exhaustive. Les constantes évolutions matérielles permettent de meilleurs rendements tant sur le terrain qu'au bureau, rendant ces appareils de plus en plus intéressants. Par ailleurs la baisse des prix constatée depuis peu sur de tels équipements rend cette technologie plus accessible même à de petites entreprises.

Les atouts d'un nuage de points 3D ne sont plus à démontrer. En effet l'exhaustivité d'une acquisition 3D permet de garantir que les éléments nécessaires seront relevés. Les traitements sont pour l'heure encore chronophages et demandent parfois des connaissances très spécifiques (dans le cas de reports d'éléments architecturaux et d'éléments d'infrastructure ferroviaire par exemple). Le gros point noir de cette technologie reste la taille conséquente des nuages de points 3D qui limite fortement les capacités d'échange de données entre services et limite leurs exploitations aux services topographiques (souvent les seuls à être équipés des logiciels et des ordinateurs adéquats). Cet article présente l'utilisation des acquisitions 3D à SNCF Réseau ainsi que les outils mis en place pour mettre à disposition et diffuser les nuages de points 3D aux différentes entités de la société.

MOTS-CLÉS

Scanner Laser Dynamique, SNCF lasergrammétrie, ATLAS, diffusion, numérisation

du territoire et du patrimoine de chacun, ainsi qu'une bonne réactivité pour les opérations de maintenance. Cependant quelques défauts existent. En effet chaque territoire met en place ses propres méthodes de travail et il est difficile d'obtenir une cartographie générale de l'ensemble du réseau.

C'est pourquoi une volonté de massification des acquisitions topographiques a été initiée dès 2012.

Les acquisitions 3D

Lorsque nous parlons de massification d'acquisitions topographiques, nous pensons forcément aux acquisitions par scanner laser 3D. En effet cette méthodologie d'acquisition permet de collecter des informations riches sur l'environnement numérisé sans discrimination d'éléments particuliers. C'est donc vers cette approche que s'est orienté SNCF Réseau pour ses besoins.

SNCF Réseau en quelques mots

SNCF Réseau est un EPIC (Établissement public à caractère industriel et commercial) créé en 2015 lors de la réforme du ferroviaire. Cette entité est propriétaire du réseau ferré national (RFN) et en assure l'exploitation et la maintenance. Le réseau est constitué d'environ 51 000 km de voies dont 15 700 km de voies électrifiées et 5 600 km de voies à grande vitesse.

Un tel réseau, réparti sur tout le territoire national ne peut être maintenu par un seul et unique service. C'est pourquoi le réseau est découpé en régions, elles-mêmes sous-découpées en territoires. La maintenance est ainsi assurée localement et pilotée par la direction Maintenance et Travaux.

Cette configuration, mise en place depuis des années, a différents avantages comme une bonne connaissance



Cartographie du réseau ferré national



■ Les premiers tests

C'est en 2006 qu'ont eu lieu les premières expérimentations qui ont été menées avec l'utilisation de scanner laser statiques. A cette époque nous ne parlions pas de massification des acquisitions. Le but recherché par ces expérimentations était de vérifier les précisions obtenues avec cette technologie mais surtout de trouver un moyen d'acquisition permettant de limiter le temps passé dans les emprises ferroviaires.

En effet travailler dans les emprises ferroviaires est dangereux et nécessite la mise en place d'un dispositif de sécurité (appelé dispositif d'annonce) qui est très coûteux et qui nécessite une programmation très en amont.

Les relevés alors effectués ont donc été faits sur des zones assez restreintes comme des gares ou des ouvrages. Ces premières expériences ont permis de mettre en évidence différentes choses :

- le temps gagné sur le terrain n'est pas nécessairement important ;
- la précision obtenue (de l'ordre de 10-15 mm en relatif après assemblage et quelques centimètres en absolu) est suffisante pour bon nombre d'applications mais pas pour les tracés de voie (qui nécessitent des précisions relatives de l'ordre du millimètre) ;
- le temps de traitement des données (assemblage et report) est bien plus long qu'avec un relevé traditionnel (même s'il est souvent difficile de donner un ordre de grandeur nous

estimons qu'il y a un rapport de 1 à 10 pour la partie report cartographique par rapport à un relevé traditionnel) ;

- les logiciels disponibles sur le marché travaillent dans un système local et non dans un système projeté (sans prise en compte de la sphéricité de la terre ou encore de l'altération linéaire liée à la projection utilisée) ce qui est très pénalisant pour des relevés linéaires reportés dans le système national comme dans le domaine ferroviaire.

Jusqu'en 2012 les relevés par scanner laser 3D statique se sont donc limités à des zones au linéaire relativement faible. L'atout de la 3D a clairement été identifié pour les relevés de gare. C'est pourquoi tous les relevés de gare sont réalisés par cette méthode depuis plus de 5 ans, particulièrement pour les travaux d'aménagement et de mise en accessibilité des gares aux personnes à mobilité réduite.

Entre 2009 et 2010, la division Assistance Travaux et Topographie de SNCF Réseau s'est équipée de deux scanners laser de ce type (un Leica C10 et un Leica HDS 7000) pour réaliser par elle-même bon nombre de relevés.

■ Le scanner laser dynamique

C'est au cours de l'année 2012 que des tests ont été réalisés en vue de réelles massifier les acquisitions par méthode laser 3D. C'est alors que les systèmes scanner laser dynamique ont été évalués dans le contexte du domaine ferroviaire. Cette métho-

dologie, de par l'aspect mobile de l'équipement, offre de plus grandes possibilités d'acquisitions et plus particulièrement dans le cas de relevés de linéaire important (au-dessus de 10 km).

Par contre une telle technologie nécessitant des connaissances approfondies du matériel, de ses capacités et surtout de ses limites, SNCF Réseau a pris la décision d'apprendre à maîtriser ces processus de bout en bout afin d'en assurer une bonne utilisation.

C'est pour cette raison que des tests ont été effectués en 2012 entre les gares de Longuyon et Longwy dans l'Est de la France. L'expérimentation a été aussi bien réalisée d'un point de vue technique que d'un point de vue économique.

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence un seuil de rentabilité estimé à 10 km environ dans le cas de relevés pour des sujets d'études de régénération des voies. Les expérimentations ont surtout permis de mettre en évidence que la technologie, bien que fonctionnant dans le contexte ferroviaire, n'est pas adaptée en l'état et nécessite des ajustements. C'est ainsi qu'il a été remarqué que certains types de centrales inertielles utilisées dans le domaine routier ne fonctionnaient pas correctement avec les contraintes de circulations ferroviaires, ou encore que les phases d'initialisations des systèmes sont moins évidentes à mettre en œuvre sur un train (un train ne pouvant pas faire demi-tour ou effectuer des tours de ronds-points).

Par ailleurs et cela est l'aspect le plus important pour notre besoin, l'installation de points de calage au sol doit être prévue avant chaque acquisition, nécessitant ainsi d'accéder aux emprises avec le dispositif de sécurité adéquat.

Une étude de précision des systèmes sera menée plus tard par Audrey Jacquin dans le cadre de son projet de fin d'études afin de déterminer la densité nécessaire et suffisante de ces points de calage.

■ Les tests à grande échelle

Afin de pouvoir maîtriser la chaîne complète des acquisitions par scanner laser dynamique, SNCF Réseau s'est doté en 2013 de son propre équipe-



Relevé de nuit par scanner laser statique (Leica P40) - Gare de Paris Nord - 2016



Scanner laser dynamique Riegl VMX-450 - Campagne de mesure TEPE - 2014

ment et le choix s'est alors porté sur un système Riegl VMX-450 dans sa déclinaison Rail.

À la même période, les premiers relevés par scanner laser dynamique ont été sous-traités pour répondre à des besoins de production et non plus d'expérimentation. Les relevés sous-traités concernaient les études de régénération des voies. Cette sous-traitance a permis d'identifier et de faire monter en compétence les entreprises équipées de tels systèmes mais aussi d'écartier les sociétés ne maîtrisant pas la technologie.

Par ailleurs cette sous-traitance a permis à SNCF Réseau d'affiner le cahier des charges de la prestation et de faire évoluer les outils de traitement des résultats obtenus en vue d'être intégrables aux processus déjà existants.

En vue d'explorer de nouvelles utilisations de ces données SNCF Réseau s'est lancé en 2014 dans une campagne d'acquisition de 10 000 km de voies pour vérifier la conformité des itinéraires dédiés à des transports exceptionnels. C'est également à cette période qu'une section spécifique aux données 3D a été créée au sein de la division Assistance Travaux et Topographie.

Cette campagne d'acquisition a été réalisée en 9 semaines sur tout le territoire national. Elle reste encore à ce jour la plus grosse campagne jamais menée en scanner laser dynamique (toute entreprise confondue). Elle a permis

de mettre en évidence la compatibilité de la technologie pour de la détection d'obstacles (en vue de dégrossir le travail des spécialistes en gabarits). Une étude de précision relative du système a été menée à cette occasion par Quentin Choquart [CHO14].

Les premières questions sur le stockage de la donnée se sont alors posées. Comment stocker et accéder à de tels volumes de données (environ 1 To par journée d'acquisition d'environ 200 km). Nous y avons répondu par la création d'une salle de stockage dédiée et connectée sur un réseau fibre optique avec les ordinateurs de calculs. Audrey Jacquin [JAQ15] a porté son étude sur la précision absolue du système et donc sur la densité de points de contrôle à mettre en œuvre pour l'atteindre. Cette étude est pour l'heure la seule à avoir été menée à ce jour en France et a été récompensée par le prix de l'AFT en 2015.

■ La massification

Depuis fin 2015 le sujet de la massification des acquisitions est porté par la division Assistance Travaux et Topographie. C'est en ce sens que les acquisitions par scanner laser dynamique sous-traitées au cas par cas ont fait l'objet d'un contrat cadre avec appel d'offres européen. Le but étant de permettre à toute personne de SNCF Réseau de faire appel à ce contrat.

À ce jour les acquisitions sous-traitées portent sur environ 1 000 km de voies par an.

D'un autre côté, les domaines d'utilisation des données 3D se sont élargis (études, plans topographiques, géolocalisation des réseaux, etc.). SNCF Réseau a compris l'utilité d'une telle donnée et souhaite développer son utilisation.

C'est pour aller dans ce sens qu'Assistance Travaux et Topographie a décidé d'élargir sa gamme de systèmes de mesure 3D afin d'offrir les appareils les plus adaptés à chaque type de besoin. C'est ainsi que la division s'est dotée fin 2016 de trois nouveaux systèmes :

- un scanner laser statique Surphaser (mesure sub-millimétrique) pour le suivi d'ouvrages ;
- un chariot Leica ProScan ;
- un chariot Leica SiTrack One.



Chariot Leica ProScan monté sur lorry - Gare Haussmann Saint-Lazare - 2017

Ces systèmes ont pour but d'offrir une solution complète d'acquisition 3D. Ainsi nous avons évoqué que les scanners statiques permettaient de couvrir de petites zones (gare), que les scanners laser dynamiques étaient rentables à partir de 10 km. Les chariots Leica ProScan et Leica SiTrack One permettent de faire la jonction entre les deux méthodes précédentes en autorisant des relevés sur quelques



Chariot Leica SiTrack:One - Saint-Ouen - 2016



kilomètres ou encore en permettant d'assurer une précision suffisante en tunnels.

■ Les objectifs à moyen terme

SNCF Réseau ambitionne de numériser tout le réseau ferré exploité. Les expériences passées montrent qu'une seule technologie ne permettra pas d'obtenir l'exhaustivité souhaitée. Il sera donc nécessaire de mettre en œuvre plusieurs moyens de mesures utilisant des méthodologies différentes, d'où l'acquisition de chariots de mesure ainsi que l'acquisition de deux nouveaux scanners lasers statiques Riegl VZ-400i. La mise en place du contrat cadre va permettre d'apporter plus de souplesse dans les acquisitions sous-traitées et ainsi faciliter cette démarche.

La section Méthodes et Mesures Topographiques 3D portera les ambitions de SNCF Réseau en matière de numérisation du réseau et travaille déjà à la validation de nouveaux processus de mesures (tels que les chariots précités).

Une telle démarche n'a de sens que si la donnée générée est accessible et mutualisable. SNCF Réseau étant l'un des premiers opérateurs de réseau à se lancer dans cette démarche, aucune solution n'est proposée sur le marché des logiciels. Assistance Travaux et Topographie a donc travaillé sur ce point en mettant en œuvre une plate-forme de stockage et de diffusion de la donnée 3D accessible à tout SNCF Réseau.

La diffusion de la donnée : ATLAS

■ De la réflexion...

ATLAS est né de plusieurs constats :

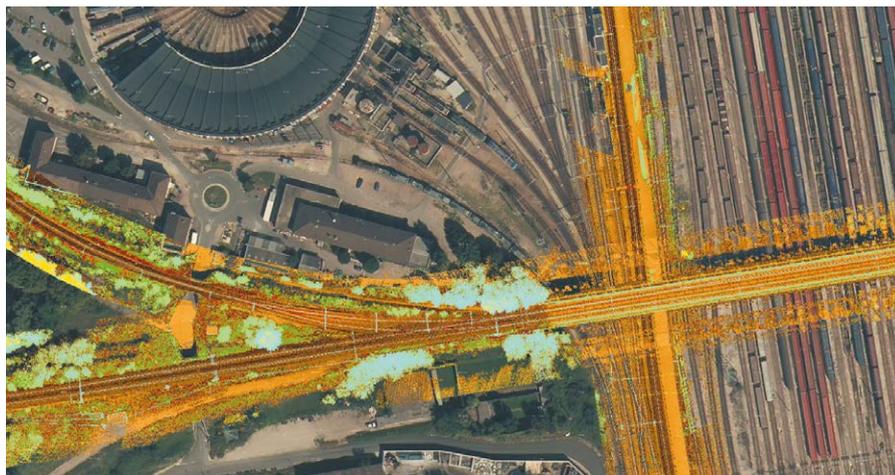
- l'aspect mutualisable des nuages de points n'est pas exploité ;
- seul le commanditaire de la donnée sait où la donnée est existante ;
- aucun métier interne n'utilise directement les nuages de points.

Les raisons sont multiples (difficulté de stockage, nécessité d'avoir des machines très performantes et des logiciels spécifiques, etc.). Certes les logiciels des fournisseurs proposent



ATLAS

les logiciels des fournisseurs proposent



Affichage sous forme de nMNS dans l'interface web

des outils de visualisation mais aucun ne propose un accès simple et direct à une donnée centralisée et avec des outils métiers même basiques tout en respectant les contraintes d'accès de notre réseau informatique (étendu sur tout le territoire).

C'est alors qu'Assistance Travaux et Topographie a décidé d'imaginer un moyen de mettre en commun les différents levés réalisés par méthode 3D, tout en proposant des outils simples et accessibles à tout agent SNCF Réseau.

■ Centralisation/localisation/partage :

Il a tout d'abord fallu orienter la réflexion sur le cœur d'une telle démarche. C'est-à-dire la gestion de la base de données, les processus de collecte (les commanditaires étant multiples au sein de SNCF Réseau) et les processus de mise à disposition de la donnée. Nous avons très vite constaté que pour une gestion optimale nous devons dépasser

l'idée d'une simple interface et qu'il était nécessaire de proposer un service beaucoup plus complet qui se nomme donc ATLAS.

La première étape a été de créer une interface de type cartographie web, afin de permettre à chacun d'accéder à l'information de localisation sans nécessiter l'installation d'un logiciel particulier (type SIG). Les recherches menées par la division ont alors principalement porté sur la manière de représenter sur une carte une donnée 3D dense.

Comme aucun outil correspondant à nos besoins spécifiques n'a été trouvé sur le marché les développements ont été réalisés en interne et programmés en vue d'automatiser au maximum le processus. L'option choisie est la suivante :

- Renseignement par le producteur d'une fiche de métadonnées du nuage de points 3D ;



Interface Web ATLAS



- représentation grossière de l'enveloppe géographique des acquisitions et intégration des métadonnées ;
- représentation plus fine sous forme de modèle numérique de surface normalisé (nMNS) des acquisitions 3D.

La génération des nMNS est un processus automatique développé en interne par SNCF Réseau. Le principe est d'attribuer à chaque pixel de l'image une couleur qui est fonction de la différence de hauteur locale (distance entre le point le plus haut et le point le plus bas). Ainsi la colorisation s'affranchit de toute altitude et permet de représenter de façon similaire des objets identiques (les rails apparaissent de la même couleur sur tout le linéaire acquis).

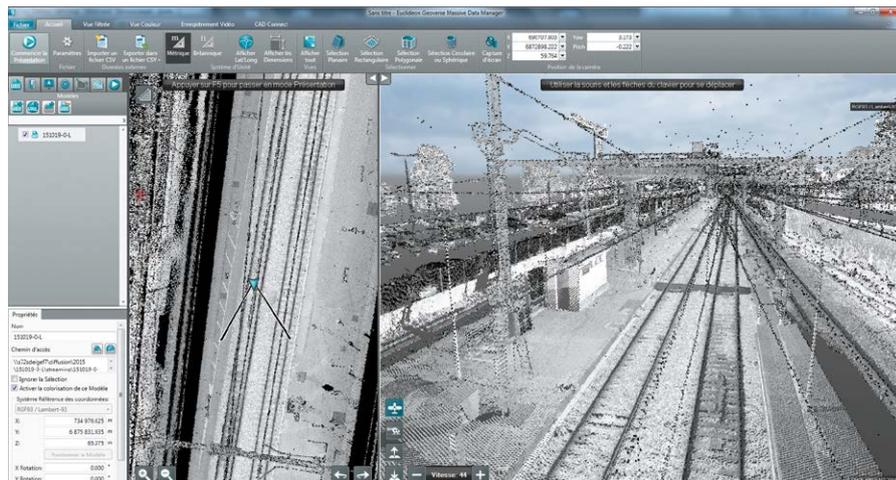
Le résultat final est donc une représentation de l'emprise géographique d'une acquisition bien plus légère que le nuage de points 3D et disponible à différents niveaux de zoom (d'abord une emprise grossière puis une pyramide de nMNS). Un autre intérêt d'une telle rasterisation du nuage de points est la possibilité d'avoir un rendu homogène sur l'interface web, quelle que soit la densité du nuage de points utilisé (sous réserve d'avoir cependant une densité plus importante que le pas du nMNS).

La direction des systèmes d'information de SNCF Réseau a mis en place un service web qui permet de diffuser ces informations à l'ensemble de l'entreprise depuis n'importe quel navigateur internet. La donnée alors diffusée est également couplée au référentiel de localisation utilisé par SNCF Réseau à savoir le système par ligne, voie et point kilométrique.

Une fois la donnée existante localisée par l'utilisateur, le service ATLAS met à disposition la donnée brute (envoi par le réseau ou support amovible) à tout service SNCF Réseau voulant faire effectuer des traitements lourds par un prestataire externe.

■ Visualisation/exploitation à distance :

Une autre démarche menée par Assistance Travaux et Topographie a très vite trouvé sa place elle aussi dans ATLAS : la volonté de développer l'utilisation des nuages de points dans



Visualisation en streaming du nuage de points 3D avec Geoverse MDM

l'entreprise. En donnant la possibilité à chacun de visualiser et d'exploiter les données à distance et avec des outils simples d'accès, chacun des agents SNCF Réseau est capable d'utiliser la donnée disponible et d'imaginer l'utilisation pour son métier.

ATLAS a ainsi été complété par deux logiciels :

- Geoverse MDM développé par la société Euclideon ;
- Massicot développé par SNCF Réseau.

Geoverse MDM est le seul logiciel commercial nécessitant une installation spécifique sur le poste client, nécessaire pour utiliser ATLAS. Il permet d'afficher et de naviguer dans un nuage de points 3D en streaming sans avoir besoin d'un ordinateur surpuissant. Ce logiciel offre par ailleurs différents outils simples de visualisation et d'analyse, coupe, etc. Il permet également de superposer autant de nuages de points qu'on le souhaite, mais aussi de superposer une maquette 3D à un nuage de points (fonctionnalité utile pour les études).

Massicot est un produit 100% SNCF Réseau qui est constitué d'une boîte à outils permettant d'afficher les nuages de points 3D dans n'importe quel logiciel qui peut exécuter des macros, tout en conservant un stockage unique sur le réseau. Autocad étant l'outil de DAO le plus utilisé par SNCF Réseau et présent sur la grande majorité des ordinateurs, Massicot est donc disponible sous Autocad. Massicot va donc permettre à tout un chacun d'afficher les nMNS sous Autocad et d'effectuer des coupes ou des extractions du nuage de

points 3D à distance et de les afficher dans ce même logiciel.

Pour cela Massicot fait appel à un serveur de calcul dédié. Lorsqu'un utilisateur effectue une coupe, Massicot envoie une requête à ce serveur de calcul. Ce dernier effectue la coupe dans le nuage de points 3D, compresse le fichier généré et l'envoi à l'ordinateur client qui l'ouvre. Les transferts à travers le réseau sont alors réduits au maximum.

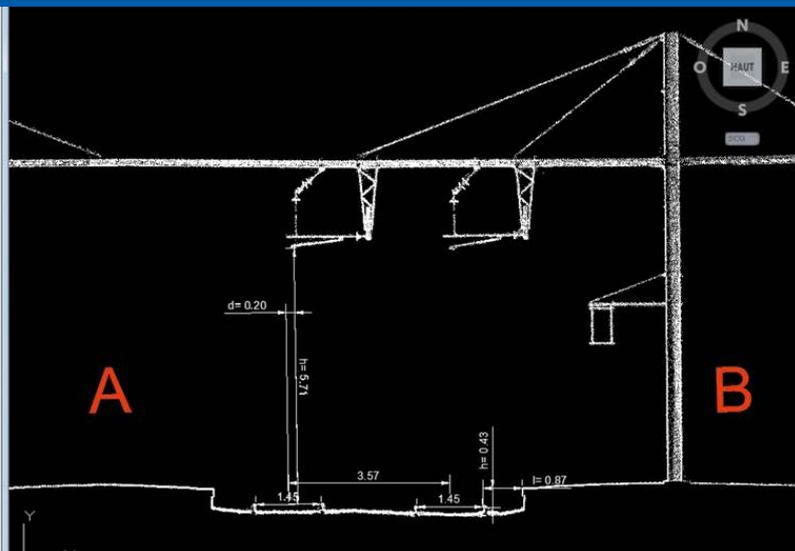
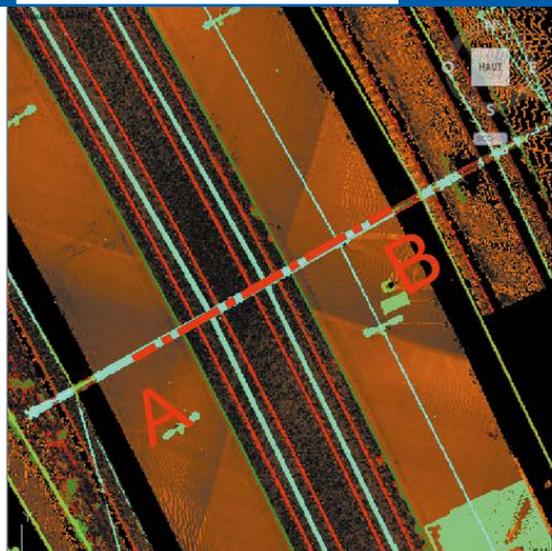
La boîte à outils de la version Autocad de Massicot inclut également des fonctionnalités de cotations spécifiques au milieu ferroviaire (comme la hauteur et le désaxement du fil caténaire). Ces outils sont en perpétuelles évolutions. Par la simplicité d'accès aux données existantes au travers de ces outils, ATLAS est donc aussi devenu un formidable outil pédagogique. Il permet de faire prendre conscience du potentiel des nuages de points souvent méconnu par nos collègues.

■ ...au déploiement.

Le processus d'industrialisation d'ATLAS a débuté le 1^{er} février 2016. Après une phase de tests et retour utilisateurs réalisés pendant près d'un an auprès d'un panel de bêta testeurs dans toute la France, ATLAS s'est ouvert officiellement le 1^{er} juin 2017 à tout SNCF Réseau.

Le lancement est accompagné d'un programme de déploiement (outils de communication, réseau de correspondants, etc.) qui permet aussi de sensibiliser sur la nature des nuages de points, mais aussi d'un programme de formation des utilisateurs dont le but





Coupes et cotations dans Massicot

est de permettre à chacun d'apprendre à utiliser les outils (rappelons que la plupart des utilisateurs n'ont pas de notions de topographie).

Le déploiement d'ATLAS a nécessité d'adapter la salle serveur. En effet nous stockons l'intégralité des nuages de points 3D réalisés pour le compte de SNCF Réseau. Nous avons donc mis en place une salle serveur de 3 Po de capacité de stockage et dédié des serveurs pour la génération des coupes pour Massicot, ainsi que pour la génération des contours et des nMNS.

Conclusion

Après plus de dix années d'utilisation de données 3D au sein de notre grande entreprise, nous avons pu constater qu'une telle technologie ne peut être déployée qu'à deux conditions :

- impliquer les différents métiers dans la démarche afin de les rendre moteurs en les accompagnant ;
- favoriser la mutualisation et la réutilisation de la donnée.

Si ces deux aspects ne sont pas respectés la démarche complète ne peut pas fonctionner.

Le projet de numérisation du réseau va nécessiter la mise en place de processus qualité pour assurer la bonne transmission des données de mesure ainsi que le suivi de ces données du calcul à la diffusion.

Plusieurs approches sont déjà à l'étude pour mettre en œuvre cette numérisation générale, en s'appuyant par exemple sur les trains de surveillance du réseau déjà existants.

Ce projet n'est en aucun cas en opposition avec le marché mis en place en 2017 pour les acquisitions par scanner laser dynamique. En effet le choix de SNCF Réseau va se porter sur une solution générique en vue de répondre à un maximum de besoins. Certaines études poussées auront toujours besoin de relevés spécifiques et surtout de relevés à jour.

ATLAS est en plein déploiement dans notre société et rencontre un très large succès auprès des différents métiers. La preuve est donc faite que les outils proposés répondent aux attentes des utilisateurs.

Les outils proposés évoluent continuellement pour prendre en compte les besoins de nos métiers ainsi que les retours et avis des utilisateurs. Une équipe dédiée a été mise en place afin d'assurer le suivi complet de cette plate-forme.

La division Assistance Travaux et Topographie axe maintenant sa R&D sur les problématiques "scan to BIM" ainsi que sur la détection du changement et la maintenance prédictive. ●

Contacts

Mathieu REGUL - Chef de la section Méthodes et Mesures Topographiques 3D
mathieu.regul@reseau.sncf.fr

Franck RICHARD - Responsable Production/ Déploiement de la plate-forme ATLAS
franck.richard@reseau.sncf.fr

Jean-Christophe MICHELIN - Responsable recherche et développement d'ATLAS
jean-christophe.michelin@reseau.sncf.fr

Bruno LANDES - chef de division Assistance Travaux et Topographie
bruno.landes@reseau.sncf.fr

Bibliographie

Jacquin A., *Qualification de la précision de données topographiques issues d'acquisition par méthode scanner laser dynamique ferroporté au sein de la SNCF*, projet de fin d'études à l'INSA de Strasbourg, 2015.

Choquart Q., *Intégration des systèmes d'acquisition de données topographiques par scanner laser dynamique dans les processus de mesure et de contrôle des gabarits de la SNCF*, projet de fin d'études à l'INSA de Strasbourg, 2014.

ABSTRACT

SNCF Réseau, the French railway network owner, has run massive topographic data acquisitions for several years in order to overhaul its infrastructure. Being able to survey more than 50 000 km of track is quite difficult using traditional land surveying method. In order to achieve large area surveys SNCF Réseau tried to use massive data acquisition technologies like 3D scanning and mobile mapping. Those methods comply with SNCF Réseau specifications but are limited to local use due to large amount of data to store and specific software to use. SNCF Réseau developed its own 3D data sharing platform named ATLAS in order to allow point cloud access from any computer in the company. This platform comes with simple tools (MASSICOT) to produce cross sections or specific railways quotations.

Modélisation d'un *oppidum* sous couvert végétal dense, en Eure-et-Loir, par un LiDAR aéroporté par drone

Isabelle HEITZ – Dominique JAGU

L'archéologie fait appel depuis longtemps aux disciplines géophysiques au sol, aux photos aériennes prises depuis un avion ou d'un ULM. Des observations aériennes permettent aussi bien un repérage des vestiges non visibles du sol, qu'une localisation de sondages de reconnaissance ou de fouilles, au plus juste sur un site repéré. Dans certains cas, les observations aériennes sont un moyen non destructif d'étudier un site dans son ensemble, que l'on n'a pas l'intention de fouiller, en tout cas dans un premier temps. C'est bien cette raison qui a amené le CAEL (Comité Archéologique d'Eure-et-Loir) à demander à la société AIRD'ECO-drone de prospecter le site dit "du Camp de César", sur la commune de Changé – Saint-Piat (28), à 2 km au sud de Maintenon.

MOTS-CLÉS

LiDAR, archéologie, nuage de points, MNT, modélisation 3D, microtopographie

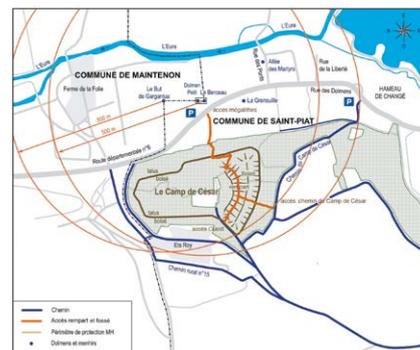


Figure 3. Situation du site et du musée

Comme ce site est couvert d'une épaisse végétation, de feuillus, taillis et buissons de buis, seule une observation aérienne par LiDAR était envisageable (figure 1). Le site dit du "Camp de César" est un *oppidum* d'une superficie de 5,5 ha, sur la rive gauche de l'Eure, surplombant une zone de sépultures néolithiques à mérovingiennes qui ont fait l'objet de recherches et de fouilles de 1924 à 1927 et de 1983 à 2000 (Jagu et al., 1998). Le musée des mégalithes de Changé, inauguré en 2015 (www.megalithesdechange.fr) expose les découvertes exceptionnelles effectuées, et en particulier ce que l'on nomme dorénavant, la biographie des mégalithes (figure 2).

La colline du Camp de César figurait en arrière-plan des fouilles des mégalithes (figure 3). Des relevés topographiques partiels et des observations avaient été réalisés par les équipes de fouilles en 1980. Puis le site avait été abandonné faute de moyens.

Mais c'est sans compter sur la passion et l'acharnement de quelques personnes, membres d'associations locales réunies (CEDSN, Comité d'Étude, de Documentation et de Sauvegarde de la Nature à Maintenon,

et l'Association pour la valorisation du patrimoine de Saint-Piat et Mévoisins) sous la bannière du CAEL ! Depuis les années 80, ces passionnés ont engagé des recherches bibliographiques, continué une démarche de maîtrise foncière du site et de communication en aménageant un sentier de visite à partir du musée, avec une devise : "faire connaître pour mieux protéger".



Figure 1. Vue aérienne et emprise de la prospection



Figure 2. Musée des mégalithes de Changé en contrebas du site

Un des enjeux est la datation de cet *oppidum* : si quelques objets de l'époque romaine ont été ramassés sur le sol, ce qui lui valut peut-être son nom de Camp de César, est-il possible que le lieu ait été utilisé auparavant, du temps des celtes, ou par les hommes ayant installé les lieux de sépultures néolithiques en contre-bas ? Vers quelle époque a été construit le rempart donnant à cet endroit une position stratégique ? Si classiquement les *oppida* sont considérés comme des habitats fortifiés de hauteur (ou de plaine) du 1^{er} siècle avant J.-C., celui de Changé ne répond pas forcément à cette datation (Leroi-Gourhan, 1988). Il est peut-être daté du Néolithique moyen jusqu'à la fin de l'Âge du Fer. Il faut bien retenir qu'il a peut-être été modifié au fil des siècles. César parle de *murus gallicus* dans la guerre des Gaules, qui sont

édifiés en terre, bois et pierres. C'est le modèle de rempart le plus fréquent en Europe vers 100 avant J.-C. Ce *murus gallicus* a pu être renforcé par un énorme rempart massif, précédé d'un fossé, comme à Châteaumeillant dans le Cher (Krausz, 2016).

Morphologie du Camp de César

Géographiquement, le site est un plateau en promontoire naturel de 5,5 hectares surplombant d'environ 40 mètres la vallée de l'Eure à l'est et une petite rivière maintenant asséchée à l'ouest et au nord. Les parois de ces deux pentes sont relativement abruptes. La position stratégiquement intéressante de ce plateau surélevé a été renforcée par la construction d'un rempart de 7 mètres au sud construit grâce aux matériaux creusés sur place, laissant un fossé profond de 6 m à l'extérieur du dispositif (Figure 4). Le rempart "ferme" le site sur une longueur de 250 mètres.

Initiation de l'étude

Un relevé topographique complet du site n'avait jamais été réalisé et n'était

pas envisageable compte tenu du coût rendu inabordable par sa surface et la végétation dense qui le recouvre. La dernière publication (De Castro et Jagu, 2014) avait préconisé l'emploi d'un LiDAR aéroporté.

Jusqu'à présent les LiDAR étaient aéroportés par avion ou hélicoptère. De telles prospections étaient donc très coûteuses et ne permettaient pas de garantir la précision recherchée.

Depuis peu, des LiDAR ont été adaptés et miniaturisés pour être "emporté" par des drones. Nous avons choisi le Mapper de marque YellowScan (YS), après étude de marché en décembre 2016. Ce capteur de 2 kg, émet des ondes laser de classe 1, d'une longueur d'onde de 905 nm, permet une prospection depuis une altitude maximale de 100 m, une précision de 4 cm, un angle de balayage du faisceau laser de 100°, 18 500 impulsions/seconde. Ce capteur fonctionne complètement indépendamment du drone. Il possède ses propres batteries, une centrale inertielle (Ellipse E de chez SBG systems couplé à une carte GPS AsterX-m de chez Septentrio), des capteurs GNSS (L1/L2 GPS, GLONASS, RTK-ready) et communique par radio avec une balise RTK au sol.

L'objectif de la mission était d'obtenir un plan topographique du site comme base de travail ultérieur en espérant que celui-ci fasse apparaître des éléments archéologiques identifiables.

Préparation de la mission

Le drone utilisé, le DPS4-Urban est un quadrimoteur "porteur" spécialement équipé pour accueillir le Mapper dont le poids de 2 kg est considéré comme "lourd" en matière de charge emportée par un multicoptère professionnel. La charge totale du drone équipé est de 5,2 kg. Les batteries sont l'élément limitant du dispositif et un compromis fut recherché entre leur poids et leur puissance. Le choix que nous avons réalisé nous a permis de compter sur une autonomie de 15 minutes de vol – à moduler en fonction des conditions météorologiques (Figure 5).

Les ondes du LiDAR ne pénètrent pas la matière bien sûr, par conséquent, afin d'obtenir la plus grande pénétration des ondes du LiDAR à travers la végétation, nous avons attendu que les arbres de l'étage supérieur n'aient plus de feuilles, mettant à découvert l'étage végétal inférieur, buissons divers et buis à feuilles non caduques.

Les conditions météorologiques nous ont permis d'intervenir les 14 et 15 décembre 2016.

Réalisation de la mission

Nous avons réalisé 5 vols pour couvrir une surface de 10 ha en deux demi-journées, rendues nécessaires car les jours à cette saison sont très courts

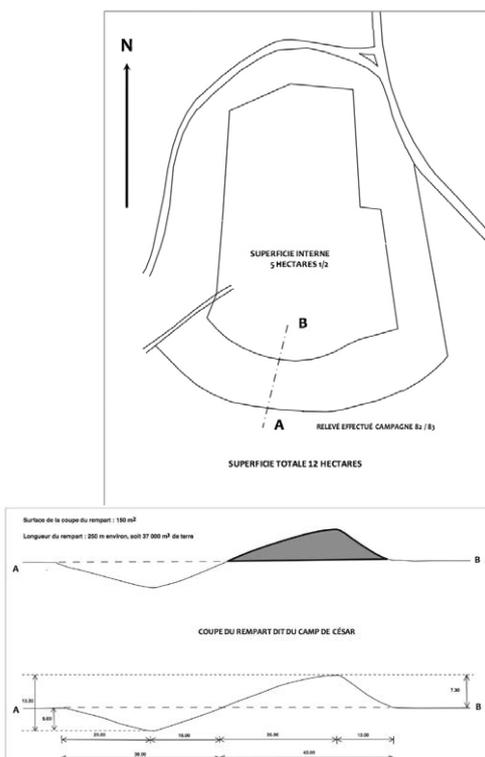


Figure 4. Coupe du rempart et du fossé



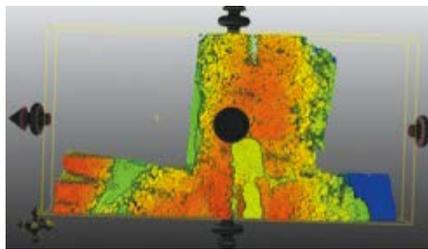
Figure 5. Drone DPS4-Urban équipé du capteur LiDAR MAPPER



Figure 6. Tracé des vols et installation de la balise RTK sol

et les températures trop basses pour voler en toute sécurité le matin. Les emplacements des points de décol-

lage ont été déterminés en fonction de l'accessibilité de la zone et de manière à avoir le drone en vue.



Les vols ont été réalisés à une altitude de 50 mètres, une vitesse de 4 m/s et un recouvrement des zones de vol de 50 % (Figure 6), correspondant à un écartement des bandes de vol de 50 mètres. La balise RTK sol (Figure 6) a été positionnée dans la clairière et

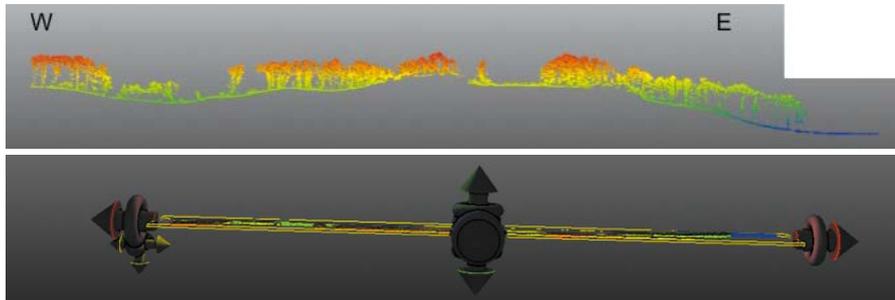
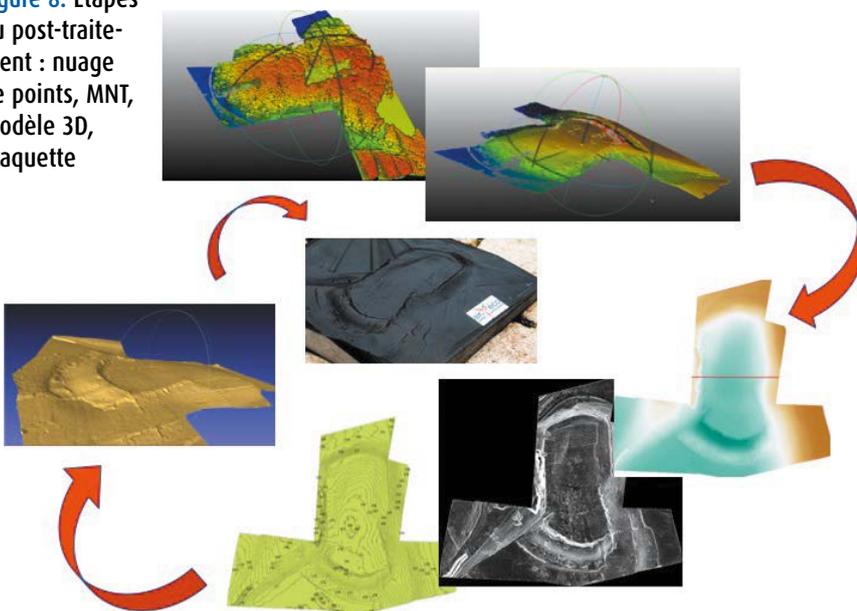


Figure 7. Coupe dans le nuage de points non classifié

Figure 8. Étapes du post-traitement : nuage de points, MNT, modèle 3D, maquette



sur le plateau pour une meilleure liaison avec le capteur aéroporté.

Dès l'atterrissage du drone, les données sont récupérées grâce à une clé USB et visualisées sur le terrain. Un plugin YS (Yellowscan) dans le logiciel Cloud Compare permet de calculer rapidement le tronçon de nuage de points. YS a techniquement amélioré la chaîne d'acquisition des données depuis (juin 2017), et, dorénavant, le nuage de points peut être vu instantanément sur un moniteur au sol, pendant que le drone vole et que le capteur enregistre (YS LiveStation). Cette visualisation permet de réajuster le cas échéant, le vol suivant.

Au-delà de la vérification, ceci est un puissant outil pédagogique à l'attention du client ou des chercheurs concernés, pour par exemple, bien comprendre à quoi correspond le nuage de points (Figure 7) et comment s'obtient le Modèle Numérique de Terrain (MNT).

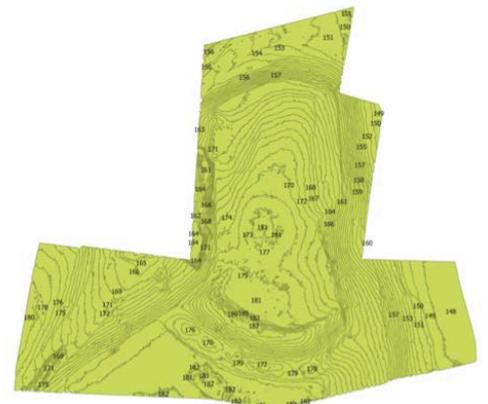


Figure 9. Courbes de niveau issues du MNT

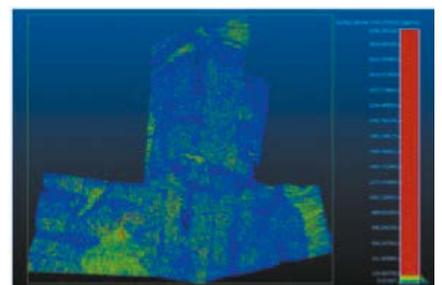


Figure 10. Carte de la densité de points enregistrés avant classification

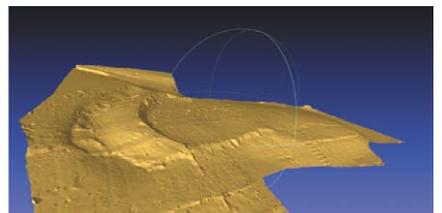


Figure 11. Modèle 3D

► Au final, nous avons enregistré une densité moyenne de 140 points/m², répartis selon la densité de la végétation (Figure 10).

Post-traitement

Après ajustement de niveaux de vol entre eux (via l'outil TerraScan), la chaîne du post-traitement est "classique" (Figure 8) : classification du nuage de points, traitement du MNT (QGIS) et sa vectorisation pour obtenir les courbes de niveau (Figure 9), modélisation (Figure 11) et orthophoto (3D Reshaper) (Figure 12). La dernière étape a consisté en l'impression 3D du modèle en résine.

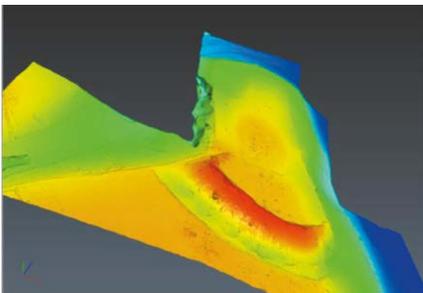


Figure 12. Orthophoto colorisée selon l'altitude visualisée en format PDF 3D

Résultats

La densité moyenne de points retenus après classification a été de 25 points/m². On peut considérer une précision de 5 à 15 cm sur la mesure en elle-même et compte tenu de la densité de points moyenne, nous avons choisi de calculer un MNT avec une précision de 20 cm. (1/ racine carrée de la densité de points)

■ Résultats issus du traitement du MNT :

Le logiciel QGIS, parmi d'autres SIG, permet de traiter le MNT obtenu (Figure 13) en créant des "ombrages" selon la topographie, la pente, etc. (Figure 14). Le traitement qui a fait apparaître le plus d'artéfacts dans notre cas, a été incrusté dans Google Earth pour une meilleure compréhension et localisation des éléments (Figure 15). Les archéologues à qui nous avons présenté ce document, ont été très intéressés par les éléments suivants :

- La courbure du rempart, et donc celle du fossé qui le borde, alors que l'on pensait que le rempart était plus rectiligne. Il apparaît surtout un "bourrelet rentrant" à l'extrémité ouest de

celui-ci. Ce relief positif vers l'intérieur évoque l'emplacement de l'entrée de l'*oppidum*. Cette entrée devait être encadrée par deux bourrelets rentrants, mais celui du côté ouest est détruit par l'ancienne carrière de calcaire et une excavation à bords nets, orientée selon une petite vallée asséchée NE-SO qui date certainement de l'époque de la construction de l'aqueduc de Maintenon (17^e s.). Nous avons retrouvé un vestige de ce 2^e bourrelet rentrant du côté ouest du chemin d'accès actuel. Deux bourrelets symétriques sont aussi visibles sur le bord NO du site faisant penser à une seconde entrée.

- La géométrie du fossé est un élément de datation (fond en "V" ou en "U"). Le MNT nous a permis d'effectuer des coupes sérieées sur toute la longueur du rempart. Nous avons pu vérifier la précision de notre modèle en effectuant une coupe à l'endroit précis d'un relevé topographique de terrain réalisé en 1980. Celui-ci coïncide de façon tout à fait satisfaisante. Les coupes sont en cours d'analyse à ce jour (Figure 16).
- A la périphérie du plateau, apparaissent des reliefs, en particulier sur

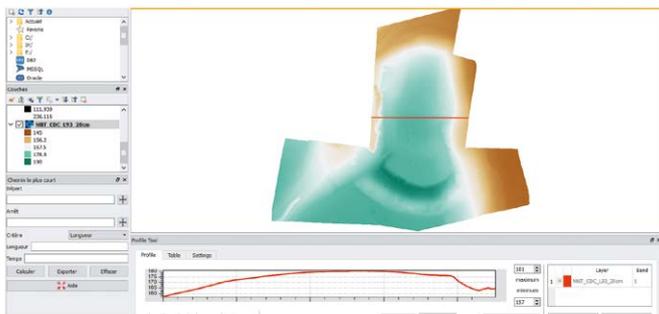


Figure 13. MNT et coupe ouest-est du MNT dans QGIS

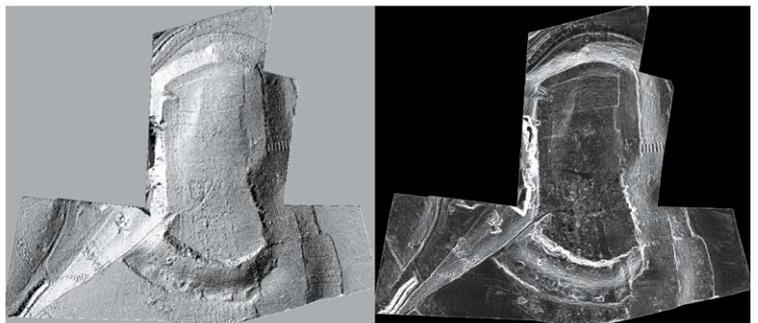


Figure 14. Traitement du MNT : ombrage et pente

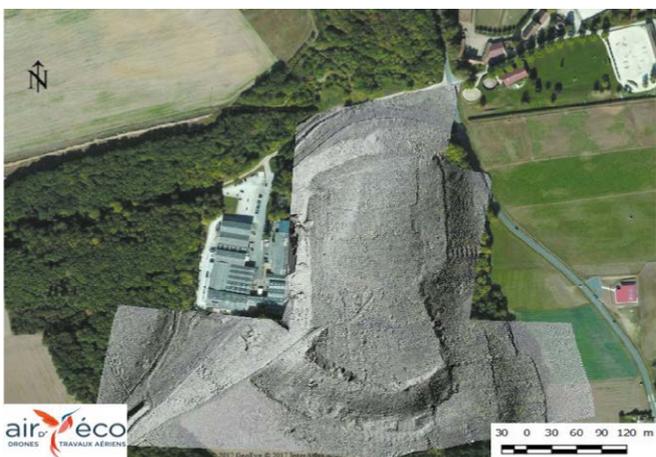


Figure 15. MNT "ombré" sur fond Google Earth

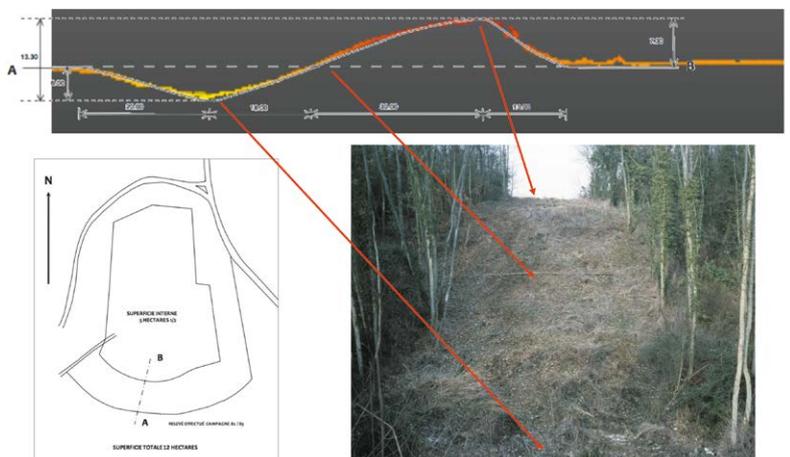


Figure 16. Corrélation relevé topographique de 1980 et MNT

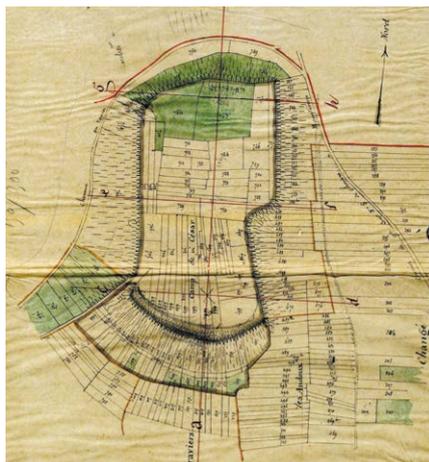


Figure 17. Découverte du tracé d'un bâti, corrélé avec une parcelle sur document ancien, Manuscrit de Fréville 1859

le versant est, avec un décrochement au milieu. Sur ce versant, dans sa partie sud, une trace de muret descend perpendiculairement à la pente en direction de la vallée de l'Eure.

- Sur la partie nord du plateau, un rectangle en légère surélévation apparaît (Figure 18, image du haut) ; après recherche, cet élément se retrouve sur un plan (Manuscrit de

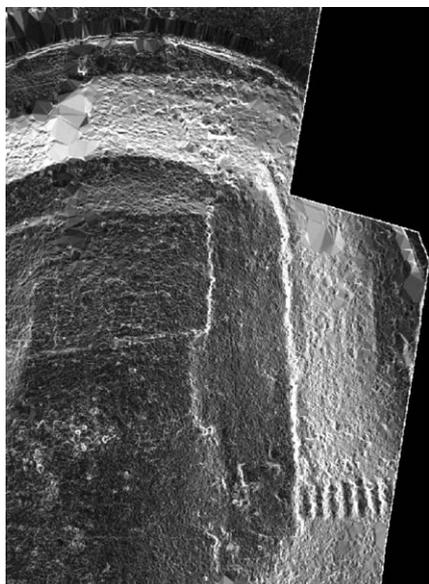


Figure 18. Découverte de terrasses sur le MNT, visibles sur une carte postale ancienne



Figure 19. Muret au sommet du rempart, prospection LiDAR portable sol envisagé

Fréville, 1859) (Figure 17) ; les archéologues émettent l'hypothèse d'une motte féodale, que seules des fouilles pourraient confirmer et dater.

- Au centre du plateau, d'autres "lignes", presque perpendiculaires apparaissent, que l'on a réussi à superposer précisément avec le plan parcellaire actuel. Elles pourraient correspondre à des légers fossés séparatifs de parcelles.
- Au centre, dans le versant est, le MNT fait apparaître clairement des "escaliers". Ce sont des terrasses d'une quinzaine de mètres de long, dont la régularité est invisible sur le terrain. Ces terrasses se devinent un peu plus au nord dans la pente. Nous en avons retrouvé trace sur une carte postale ancienne (Figure 18). Il est supposé que ces terrasses sont liées à la culture de vignes dont il est fait mention dans la bibliographie.

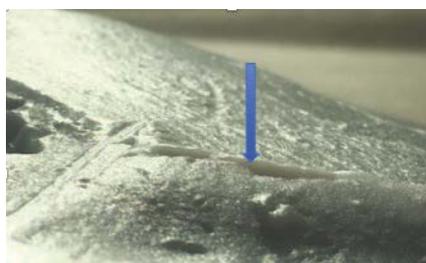


Figure 20. Muret visible sur la maquette 3D imprimée

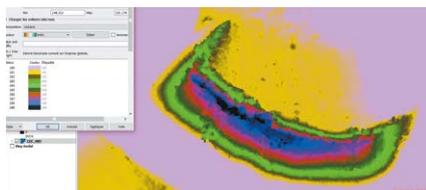


Figure 21. Altimétrie du sommet du muret et du rempart

■ Résultats issus de l'observation de la 3D :

L'une des requêtes des archéologues était d'obtenir autant que faire se peut, la microtopographie d'un petit muret construit (Figure 19) et semble-t-il inachevé sur la partie ouest et est du rempart, là où celui-ci est plus bas que sur sa partie centrale. Connaître précisément sa morphologie aurait peut-être permis de comprendre sa présence. Nous n'étions pas sûrs que les ondes du LiDAR atteignent le sol à cet endroit car cette zone est envahie par des buissons de buis très épais, ne laissant peu ou pas passer la lumière du jour. Nous avons anticipé en prévoyant une prospection LiDAR au sol à l'aide du Geoslam Revo (Figure 19, photo en bas à droite).

C'est l'observation de la maquette 3D qui nous a confirmé que le Mapper avait été suffisamment puissant pour enregistrer assez de points au sol permettant de restituer ce petit muret (Figure 20). Nous avons d'ailleurs pu démontrer que l'altitude du sommet de ce petit muret était la même que celle du sommet du rempart dans son milieu (Figure 21). L'hypothèse actuelle est que le muret aurait pu servir de guide de construction pour le rempart.

Conclusion

L'efficacité du LiDAR pour une application en cartographie et en archéologie a été "démontrée" !

Les avantages du LiDAR aéroporté sous drone présente les avantages suivants :



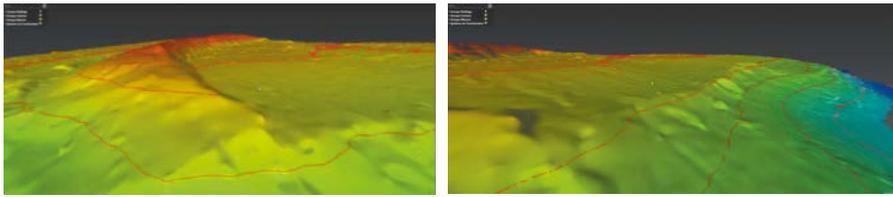


Figure 21. "Chemin de caméra" dans le modèle 3D



- C'est une technique non destructive d'investigation archéologique, par le biais de la mesure topographique.
- Rapide : un jour de mesure et une visualisation instantanée sur le terrain ; quelques jours de post-traitement. A savoir que cette technique nous permet de prospecter plusieurs dizaines d'hectares par jour en fonction des conditions d'accès et météorologiques.
- Cette technique permet de couvrir de grandes superficies : nous avons doublé la surface de l'*oppidum* afin d'obtenir des éléments du contexte.
- C'est une alternative au levé topographique classique, qui dans ce cas, n'aurait jamais été réalisé, compte tenu de son coût.
- Justement, le coût de cette prospection requérant une courte durée de mesure reste abordable (entre 4 et 10 K€ en fonction de la complexité de vol).

Au-delà de la carte topographique obtenue, qui était l'objet premier de la prospection, nous avons eu des résultats de deux ordres :

- Des précisions sur des éléments morphologiques pressentis (rempart, fossé, enceinte du camp fortifié, vallées adjacentes...)
- La découverte d'éléments morphologiques quasiment invisibles sur le terrain (bases fortifications, terrasses, bâti...)

Ces éléments sont apparus à différents stades du post-traitement : à l'étude du MNT, du modèle 3D et même à l'observation de la maquette, pour ce qui est de la microtopographie du muret sur le sommet du rempart.

Toutes ces visualisations permettent d'intégrer l'équipe des archéologues à toutes les étapes du post-traitement. Elles permettent aussi, dans un deuxième temps, d'engager une démarche de communication auprès du public : actuellement, une vidéo est

en cours de finalisation, intégrant des photos prises du sol et par drone, des interviews des différents spécialistes sollicités dans cette étude et enfin un visuel digne des meilleurs films d'anticipation : un chemin de caméra dans le modèle 3D (Figure 22), permettant au spectateur de découvrir l'*oppidum*, sans sa végétation, comme s'il volait à bord du drone !

Perspectives

D'autres prospections LiDAR de sites archéologiques tout ou partiellement recouverts de végétation sont programmées cet automne et hiver. La période la plus propice, en fonction de la végétation est de décembre à avril. Il est à noter que les capteurs que AIRD'ECO-drone utilise sont de plus en plus performants (Surveyor de YS par exemple) et permettent, au cas par cas, de travailler toute l'année, même lorsque les arbres sont feuillés. Nous avons également fait évoluer la technologie de notre drone "porteur" : devenu hexacoptère plus puissant (DPS6-big lift), il est équipé d'un parachute et de tous les équipements de sécurité permettant de voler en scénario "S3", c'est-à-dire en "zone peuplée". Ce drone élargit notre domaine d'intervention et répond à des demandes très variées en matière de topographie. ●

Remerciements

- CAEL, Comité Archéologique d'Eure & Loir,
- CEDSN, Comité d'Étude de Documentation et de Sauvegarde de la Nature à Maintenon,
- Association pour la valorisation du patrimoine de Saint-Piat et Mévoisins,
- ARCHEA, Association en Région Centre pour l'Histoire et l'Archéologie,
- Conseil Départemental d'Eure & Loir.

Contacts

Isabelle HEITZ, géophysicienne, fondatrice de la société AIRD'ECO-drone, contact@airdeco-drone.com

Dominique JAGU, archéologue, Comité Archéologique d'Eure-et-Loir, dominique.jagu@orange.fr

Hervé GALEPY, chargé de la valorisation audiovisuelle du site, h.galley@arceo.com

Laurent BOCHOT, constructeur de drones, dronesprovenceservices@gmail.com

Bibliographie

DE CASTRO Fatima et JAGU Dominique - 2014 : *Le Camp de César de Changé, commune de Saint-Piat. 1989-2014, 25 ans d'activités.* CAEL.

JAGU Dominique, BLUM Bernard, MOURAIN Jean-Marc - 1998 : *Dolmens et menhirs de Changé à Saint-Piat (Eure-et-Loir), témoins archéologiques des rites et pratiques funéraires des premiers agriculteurs beaucerons.* ARCHEA.

K. BAKUŁA, W. OSTROWSKI, M. SZENDER, W. PLUTECKI, A. SALACH, K. GÓRSKI - 2016 : *Possibilities for using LIDAR and photogrammetric data obtained with an unmanned aerial vehicle for levee monitoring,* The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B1.

KRAUSZ Sophie - 2016 : *Le trésor de Châteaumeillant (Cher).* ARCHEA.

Leroi-Gourhan André - 1988 : *Dictionnaire de la Préhistoire.* PUF.

ABSTRACT

The micro topography of an archeological hill fort of 5,5 ha, known since the 19th century but never explored because of its thick vegetation cover, has just been obtained thanks to a LiDAR Yellowscan airborne UAV survey. The results, finalized by a 3D printed model of the site, proved to be a wealth of information for archeologists (location of the entrance to the camp, fine geometry of the rampart, shape of the ditch, building site, discovery of terraces...) This work is the result of a multi-skill teamwork, around the prospecting company AIRD'ECO-drone: archeologists, funders, UAVs builder, Yellowscan, geomaticians.



Topographie



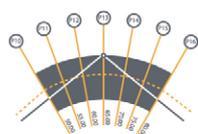
MNT



Réseaux d'assainissement



Carrefours en T ou en X



Création de projets multi-axes



Signalisation urbaine



Métrés et bordereaux



L'éditeur de logiciels Geomedia fait évoluer tous ses produits. Il propose désormais des solutions communicantes pour le domaine de l'étude, grâce à la technologie BIM, qui n'est plus réservée seulement à l'univers du bâtiment. Désormais, le Building Information Modeling (ou Modélisation des données du bâtiment) permet aux projets d'infrastructure d'être également conçus avec la maquette numérique et de bénéficier d'un échange poussé des données.

Covadis un logiciel métier

Covadis est un logiciel métier qui permet la réalisation d'études topographiques, d'infrastructures et de réseaux VRD. Il s'adresse aux bureaux d'études en infrastructure, aux entreprises de travaux publics, aux collectivités locales et territoriales, ou encore aux cabinets de géomètres experts. Covadis contient en effet, en un seul logiciel, tous les modules métiers nécessaires à la réalisation d'études d'infrastructures depuis les relevés topographiques de terrain jusqu'au chiffrage du chantier.

Nouvelle version 16



La version 16 de Covadis apporte de nouvelles fonctionnalités en devenant 100% BIM. Le logiciel permet désormais un traitement de la modélisation numérique, une continuité d'information et l'inter-portabilité de l'ensemble des éléments depuis l'étude de terrain jusqu'au client final.

Audit BIM sur mesure



Avec le développement de la technologie BIM au sein de ses logiciels, Geomedia a mis au point une nouvelle offre d'audit sur la transition numérique des entreprises, afin d'aider ses clients à passer au BIM. Jusqu'alors habitués à utiliser la 2D ou la 3D, ils doivent aujourd'hui pouvoir organiser et échanger des données numériques avec d'autres acteurs d'un projet d'infrastructure.



Nivellement de très haute précision

■ Johan LECLERCQ - Alain COULOMB

Ces dernières années, les géomètres du service de géodésie et nivellement de l'IGN ont repris une traverse de nivellement de grande précision réalisée une première fois en 1983 entre le marégraphe de Marseille et celui de Dunkerque. Cet important travail donne l'occasion de faire le point sur l'avancement du Nivellement de référence français (NIREF), sur les résultats obtenus jusqu'à ce jour et sur ceux attendus dans les prochaines années.

NIREF, vous avez dit NIREF ?

Le système altimétrique officiel français NGF/IGN69 est basé sur des observations de nivellement et de gravimétrie faites dans les années 60. Dès 1970, l'existence d'un important biais nord-sud de cette réalisation a été soupçonnée. C'est une des raisons pour lesquelles l'IGN a décidé en 1983, sous l'impulsion de Michel Kasser, d'observer une traverse de nivellement de grande précision entre Marseille et Dunkerque, puis, plus tard, d'établir un réseau de nivellement de grande précision, dénommé NIREF (nivellement de référence), qui comprend cette traverse de Marseille à Dunkerque.

Le NIREF est aujourd'hui mis en place à partir de spécifications écrites en 1996 par Henri Duquenne, alors chercheur au Laboratoire de recherche en géodésie (LAREG) à l'IGN, même si ces recommandations de 1996 n'ont pu être appliquées dans leur totalité pour des raisons économiques. Il réalise une référence altimétrique à usage scientifique la plus exacte possible, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques. Le NIREF n'est pas destiné à devenir le nouveau système altimétrique officiel en France continentale ; un changement aurait en effet de nombreux inconvénients et ne serait pas facilement accepté par les utilisateurs. Conjointement avec d'autres sciences et techniques (la marégraphie, l'altimétrie par satellite, la gravimétrie absolue, le positionnement par géodésie spatiale, etc.), il participe à la recherche sur les références verticales et à leur unification en Europe [il est envisagé que les observations NIREF

MOTS-CLÉS

Nivellement, précision, biais, systématisme, NIREF, NGF/IGN69

deviennent la nouvelle contribution française au Réseau européen unifié de nivellement (REUN ou UELN)]. NIREF constitue un outil pour les autres sciences et notamment les sciences de la Terre : il contribue à l'étude des déformations de la croûte terrestre et à celle des variations temporelles et spatiales du niveau des mers.

Le réseau NIREF, qui s'étend limitativement à la France continentale, est notamment composé de traverses de nivellement dont les extrémités sont des marégraphes ou des réseaux de nivellement de pays limitrophes. Cependant, comme ce réseau de grandes traverses est trop lâche pour devenir la seule contribution française à REUN, l'IGN a proposé à EUREF (sous-commission régionale de l'Association internationale de géodésie pour les références géodésiques en Europe) d'intégrer à NIREF les ré-observations de sections

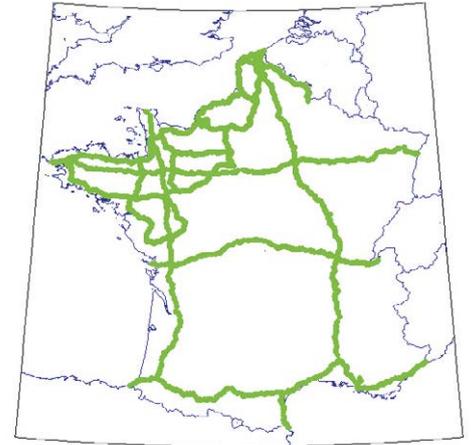


Figure 1. Réseau NIREF de 2016. En 2017, l'IGN a entamé une traverse Nice-Genève longeant au mieux la frontière franco-italienne.

de 1^{er} ordre faites dans les années 90 dans le nord-ouest de la France (dans le reste du pays, les observations originales de 1^{er} ordre, corrigées d'un biais estimé grâce à NIREF, pourraient peut-être un jour intégrer NIREF).

NIREF est observé en nivellement géométrique motorisé (NIGEMO), technique plus rapide et moins sujette aux erreurs de réfraction que le nivellement traditionnel à pied. L'ensemble du réseau est observé en aller-retour avec des tolérances strictes (dans 80 % des cas, les écarts-types calculés sur les



Figure 2. Nivellement motorisé (NIGEMO).



différences aller-retour sont inférieures à $0,83 \text{ mm/km}^{1/2}$). Pour des raisons financières, aucune mesure de pesantEUR n'a encore été faite sur le réseau.

La traverse Marseille-Dunkerque s'est offert une nouvelle jeunesse

Afin d'obtenir une plus grande cohérence temporelle des observations NIREF, la traverse Marseille-Dunkerque (la plus ancienne de toutes) a été ré-observée entre 2012 et 2016. La nouvelle traverse présente cependant plusieurs différences avec celle de 1983 :

- pour plusieurs raisons, notamment les problèmes de sécurité liés à l'augmentation du trafic automobile depuis 1983, l'itinéraire suivi n'est pas partout le même ;
- pour des raisons budgétaires, la nouvelle traverse a été observée en plusieurs campagnes de quelques mois, réparties sur 5 années, alors que l'ancienne mesure avait pu être réalisée plus rapidement, par deux équipes opérant d'avril à septembre 1983 ;
- pour la traverse de 1983, la distance moyenne entre les repères nivelés était d'environ 2 km, "ceci permettant d'aller le plus rapidement possible". Pour des raisons économiques (partenariat avec la Compagnie nationale du Rhône, mise à jour combinée du

réseau NGF/IGN69, etc.), la méthode opératoire a été différente pour la nouvelle traverse (environ 900 points nivelés en 1983 et près de 2000 sur la traverse récente) ;

- la traverse de 1983 a été observée avec des niveaux opto-mécaniques Zeiss Ni-002 qui comportaient un compensateur à miroir réversible. La traverse récente a été nivelée au moyen de niveaux électroniques Trimble® DiNi®.

Les calculs récents ont été analogues à ceux réalisés en 1983. Ils ont été conduits en plusieurs phases. Dans un premier temps, la pesanteur des points observés en nivellement a été interpolée grâce à une couverture gravimétrique dense du territoire. Les valeurs de g ainsi obtenues ont permis de corriger les dénivelées brutes issues des observations de chaque travée. Par la suite, un calcul en bloc a permis d'ajuster par moindres carrés les mesures et d'obtenir les cotes géopotentielle de tous les points du réseau, à partir d'un repère de nivellement proche du marégraphe de Marseille (repère immatriculé M.abc). Puis les altitudes normales "façon NGF/IGN69" de tous ces points ont été calculées à partir de ces cotes géopotentielle et de l'ellipsoïde de référence Hayford 1909.

Il est vite apparu que les deux traverses présentent des écarts qui grandissent

en allant vers le nord, avec un maximum de 8 cm à Dunkerque (un biais qui paraît grand en bout de ligne, mais qui correspond cependant à un décalage de moins de $70 \mu\text{m}$ par kilomètre parcouru). L'analyse des données a mis assez rapidement hors de cause la méthode de calcul, car ce décalage entre les traverses est présent aussi dans les données brutes.

Une analyse plus approfondie des différences entre les deux traverses a été entreprise afin de sélectionner la dénivelée globale la plus exacte. En mettant de côté les points fixes (points intermédiaires non matérialisés durablement), les repères de nivellement observés par une seule des deux traverses et les repères ayant visiblement bougé depuis 1983, nous avons obtenu une liste de 285 points intermédiaires permettant d'analyser plus en profondeur les écarts (en moyenne, un point tous les 4,5 km).

L'examen poussé de ces comparaisons a permis d'éliminer plusieurs causes possibles pour cet écart. Ses brusques augmentations ne sont corrélées :

- ni avec le profil altimétrique du parcours ;
- ni avec les coupures entre les tronçons de différentes années ;
- ni même avec la direction prise dans les mesures (le tronçon le plus au nord a été mesuré du nord vers le sud).

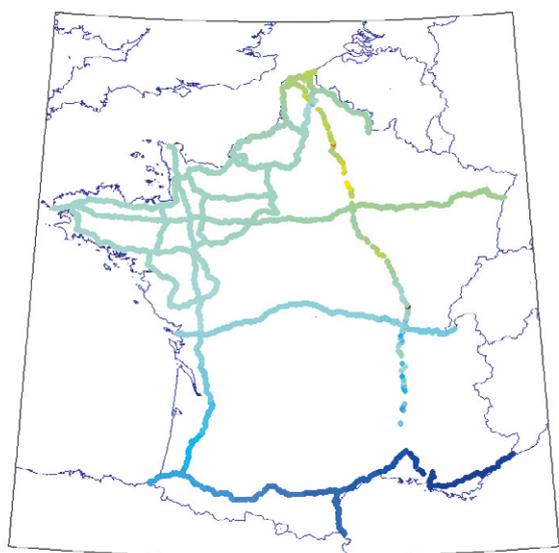


Figure 3. Écart sur les points NIREF avec ou sans la nouvelle traverse (valeurs en cm).

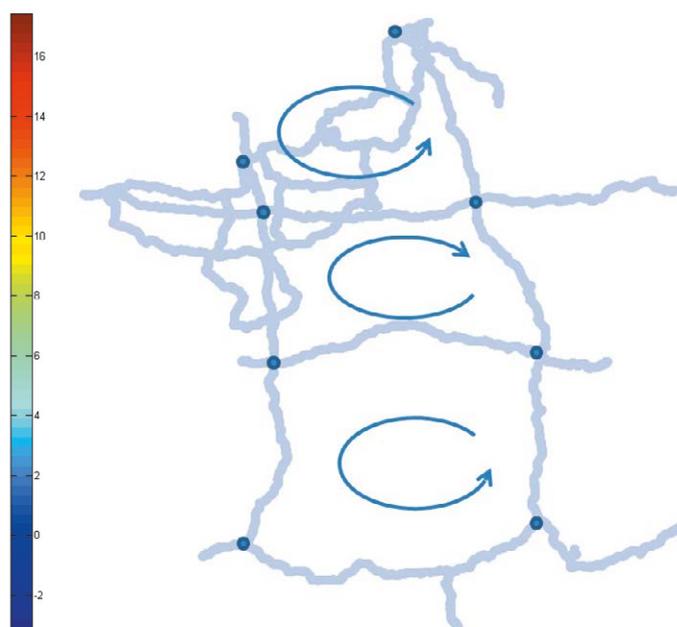


Figure 4. Grandes boucles du réseau NIREF.

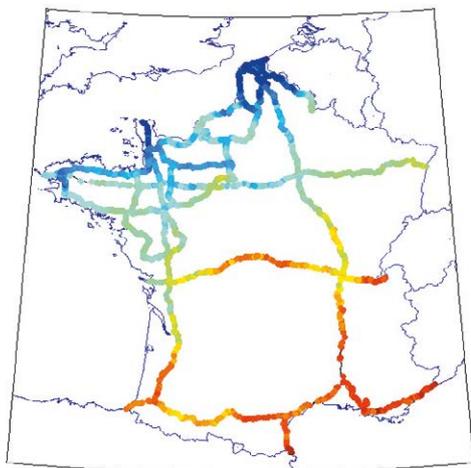


Figure 5. Biais nord-sud entre NGF/IGN69 et NIREF (valeurs en cm).

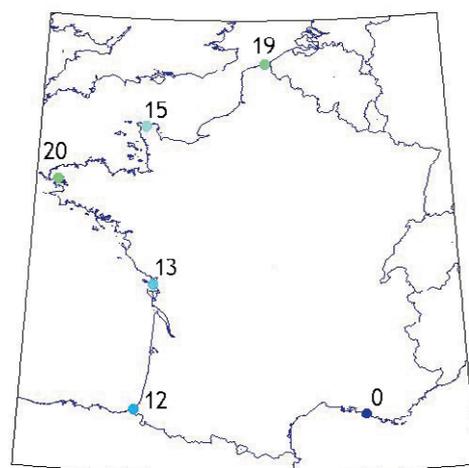


Figure 6. Altitude du niveau moyen de la mer sur le littoral continental français (valeurs en cm).

▶ Finalement, en l'absence de source d'écart clairement identifiée, il a été impossible de privilégier une traverse par rapport à l'autre. Face à ce constat et pour affiner les premiers résultats obtenus, une analyse détaillée des résidus du calcul en bloc fut réalisée pour mettre en exergue les observations moins précises dans les deux traverses. En raison de la faible redondance des données et des points intermédiaires présents dans la nouvelle traverse, une dizaine de dénivelées a pu être écartée. Cette opération ne supprima pas le cumul d'écart, mais permit néanmoins d'enlever du calcul final des observations de moins bonne qualité.

Une autre comparaison fut faite entre les deux traverses : la fermeture des trois grandes boucles du réseau. Le NIREF, avec ses nombreuses traverses, permet de former des boucles et de vérifier que le nivellement d'une boucle donne une fermeture réduite en revenant sur le point de départ. Ce contrôle de fermeture avait déjà été utilisé lors de précédents calculs pour valider les différentes traverses ajoutées. Toutefois, les résultats de ces fermetures ne permirent pas d'éliminer une traverse au profit de l'autre, puisque chacune prévalait par rapport à l'autre dans une partie des boucles testées.

Finalement, les deux observations de la traverse Marseille-Dunkerque, à quelques mesures près, ont été conservées et réunies dans le calcul en bloc du réseau. Lors du calcul

précédent, qui utilisait uniquement la traverse de 1983, l'écart entre la réalisation altimétrique NGF/IGN69 et celle associée à NIREF atteignait 23 cm à Dunkerque. Avec l'ajout de la nouvelle traverse, cette valeur passe à 19,6 cm. Bien que la traverse récente présente un écart avec la première, elle confirme le constat d'un biais nord-sud du système altimétrique NGF/IGN69 (ordre de grandeur : 20 cm), enrichit le réseau NIREF et continue à améliorer la référence altimétrique sur le territoire français continental.

NIREF et niveau de la mer

En combinant les mesures NIREF et les mesures du niveau de la mer produites par SONEL (système d'observation du niveau des eaux littorales) les niveaux moyens de la mer enregistrés par neuf marégraphes peuvent être exprimés dans le système altimétrique NIREF. Selon NGF/IGN69, le niveau moyen océanique croissait avec la latitude alors que selon NIREF les valeurs obtenues sont relativement constantes, et en tous cas ne montrent pas de pente nord-sud. NIREF semble donc plus exploitable que le système NGF/IGN69 pour relier entre elles les références des différents marégraphes français. NIREF permet également d'estimer la dénivelée entre le niveau moyen océanique et le niveau moyen de la Méditerranée à Marseille, le premier étant d'une quinzaine de centimètres supérieur au second. ●

Contacts

Johan LECLERCQ, technicien d'études au Service de géodésie et nivellement de l'IGN, johan.leclercq@ign.fr

Alain COULOMB, chef du Département "Réseau de référence matérialisés" au Service de géodésie et nivellement de l'IGN, alain.coulomb@ign.fr

Bibliographiques

KASSER Michel "Un nivellement de très haute précision : la traversée Marseille-Dunkerque 1983" - C.R. Acad. Sci. Paris, t.309, série II, p.695-700, 1989.

DUQUENNE Henri : "Projets de spécifications produit du nivellement de référence français" - Document interne IGN, 1996.

COULOMB Alain "Nivellement de référence (NIREF) - Spécifications internes" - Document interne IGN, 2011.

Les deux derniers documents très techniques et internes à l'IGN sont disponibles sur demande aux auteurs ou à la rédaction.

ABSTRACT

*Very high accuracy leveling
Few years ago, surveyors of the Geodesy and Leveling Department of the IGN (French Geographical Institute) have resurveyed a great accuracy leveling traverse first carried out in 1983 between the tide gauge of Marseilles and that of Dunkirk. This important work gave us the opportunity to take stock of the progress of the leveling reference in France (NIREF), on the results obtained today and on those expected within the next years.*

L'ITRF2014 et la modélisation des mouvements non linéaires des stations

Zuheir ALTAMIMI - Paul REBISCHUNG - Laurent MÉTIVIER - Xavier COLLILIEUX

La dernière solution du repère international de référence terrestre (ITRF), l'ITRF2014, apporte une amélioration significative par rapport aux précédentes versions du référentiel international. Pour la première fois dans l'histoire de l'ITRF, cette solution s'appuie sur la modélisation précise des mouvements non linéaires des stations, à savoir l'estimation des termes saisonniers (annuels, semi-annuels) qu'on retrouve dans les séries temporelles des coordonnées des stations, et les paramètres décrivant les déformations post-sismiques (PSD : Post-Seismic Deformations) des sites ayant subi d'importants tremblements de Terre. Alors que l'ITRF2014 fournit les produits géodésiques habituels : positions des stations à une époque de référence (2010.0) et des vitesses linéaires de déplacement, ainsi que les paramètres de rotation de la Terre, les modèles paramétriques de déformations post-sismiques font partie intégrante des produits du repère. L'utilisateur doit par conséquent calculer la correction PSD totale à rajouter aux coordonnées ITRF2014, si l'époque de la position de la station qui l'intéresse se trouve dans l'intervalle de relaxation post-sismique. Les données complètes des modèles paramétriques pour toutes les stations concernées, ainsi que des routines en Fortran sont fournies à cette fin et sont disponibles aux utilisateurs sur le site web de l'ITRF2014.

MOTS-CLÉS

Systèmes de référence, mouvements non-linéaires, ITRF, ITRF2014

L'ITRF2014 a été officiellement publié le 21 janvier 2016, sur le site web dédié aux résultats et autres informations et descriptions relatives à l'élaboration du repère : http://itrf.ign.fr/ITRF_solutions/2014/. Un article détaillé a été aussi publié dans le Journal of Geophysical Research (JGR) et est disponible en accès libre (Open Access) : <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2016JB013098/full#>, (Altamimi et al., 2016).

Pourquoi un repère de référence terrestre ?

Comment la terre se déforme-t-elle sous l'effet de la tectonique des plaques, des déformations co- et post-sismiques, de la dynamique des couches fluides qui l'enveloppent, et de la fonte actuelle des glaces ? Comment déterminer la position précise d'un point sur la surface de la terre en constante déformation ? Quel est le taux de variation du niveau marin, et sa ramification avec le chan-

gement climatique ? Pour répondre à ces questions scientifiques et fondamentales pour la compréhension de la dynamique de notre planète, mais aussi la détermination précise d'orbites satellitaires et du positionnement au sens large, il devient important d'assurer la disponibilité et la mise à jour continue d'un repère de référence terrestre global, précis et stable dans le temps, tel que l'ITRF.

Par l'intermédiaire de deux résolutions, un système de référence terrestre unifié à vocation scientifique et de géodésie opérationnelle, le système international de référence terrestre (ITRS : *International Terrestrial Reference System*) a été adopté formellement par l'Union Géodésique et Géophysique Internationale comme référence standard. Il en découle que ses réalisations numériques, appelées ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) sont elles aussi recommandées. L'adoption de l'ITRF comme référence en sciences de la Terre et

pour le positionnement, et donc pour la détermination d'orbites précises (à la fois pour les systèmes de navigation GNSS et les satellites altimétriques) se traduit par une exigence de qualité et de pérennité. La récente résolution adoptée le 26 février 2015 par l'Assemblée générale des Nations Unies sur le cadre de référence géodésique mondial (GGRF) pour le développement durable (http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/69/L.53), reconnaissant l'adoption de l'ITRF par la communauté scientifique et de géodésie opérationnelle, témoigne de l'importance critique du référentiel terrestre pour les applications scientifiques et sociétales.

La construction de l'ITRF2014

L'approche actuellement adoptée dans la matérialisation de l'ITRS est de considérer son repère associé, l'ITRF, comme un repère séculaire (ou linéaire) dont les paramètres de définition (origine, échelle et orientation) sont spécifiés à une époque de référence, et varient linéairement au cours du temps. Par conséquent, les positions des stations ITRF sont déterminées à une époque de référence et leurs vitesses de déplacement sont linéaires et constantes dans le temps. Dans le but d'améliorer l'exactitude du référentiel international, ainsi que la précision des vitesses linéaires de déplacement, il est devenu indispensable de modéliser avec précision les mouvements non linéaires des stations et ainsi limiter leur impact sur les paramètres du référentiel.

Les données en entrée du calcul de l'ITRF2014 ont été fournies sous forme de séries temporelles de positions journalières des stations GNSS et VLBI, et hebdomadaires des stations SLR et DORIS. La figure 1 illustre la répartition des 975 sites de l'ITRF2014 dont près de 10 % sont des sites co-localisés avec 2, 3 ou 4 techniques de mesure. Le calcul de l'ITRF2014 proprement dit

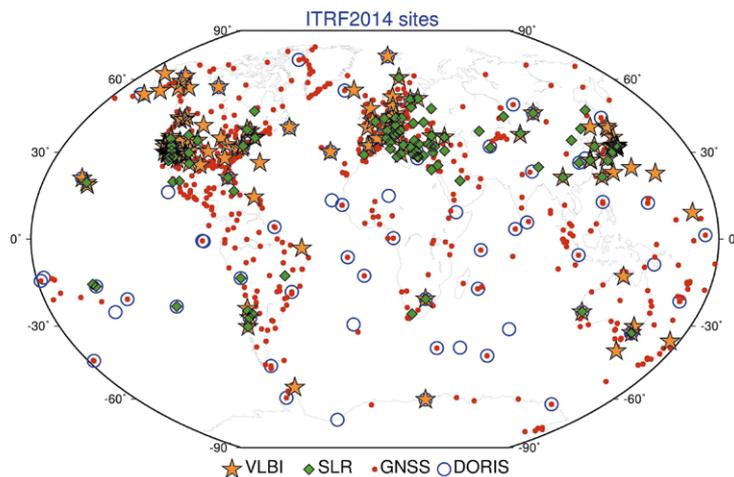


Figure 1. Répartition des 975 sites de l'ITRF2014 mettant en évidence les stations VLBI, SLR et DORIS co-localisés avec des stations GNSS

comporte deux étapes. La première étape consiste à cumuler (au sens des moindres carrés) les séries temporelles des coordonnées des stations et des paramètres de rotation de la Terre pour chacune des quatre techniques individuellement, pour en déduire un repère à long terme (positions et vitesses des stations). La deuxième étape combine les quatre repères à long terme dont les liens sont assurés par l'ajout des rattachements géodésiques locaux au sein des sites dits co-localisés (sites avec plusieurs instruments de mesure). Comme décrit brièvement dans les paragraphes suivants, des modèles paramétriques des déformations post-sismiques sont déterminés, en amont de la première étape au cours de laquelle les signaux saisonniers (annuels et semi-annuels) sont ajustés.

Modélisation des déformations post-sismiques

La modélisation des déformations post-sismiques par une fonction linéaire par morceaux, comme dans les précédentes versions de l'ITRF, est devenue, à l'évidence, une approche inappropriée pour décrire avec précision la trajectoire d'une station qui a subi un tremblement de terre majeur. En préalable au calcul de l'ITRF2014, des modèles empiriques de déformation post-sismique, basés sur des fonctions exponentielles et/ou logarithmiques ont été développés. Différents modèles ont été ajustés aux séries temporelles de toutes les stations GNSS de l'ITRF2014 présentant des déformations post-sismiques significatives. Le

modèle le plus approprié a été ensuite choisi au cas par cas à l'aide de critères statistiques. Les séries temporelles, non seulement des stations GNSS, mais aussi des stations co-localisées des trois autres techniques, ont finalement été corrigées de ces modèles avant le calcul final de l'ITRF2014. En comparaison à la modélisation linéaire par morceaux précédemment employée pour décrire les déformations post-sismiques, cette nouvelle approche constitue un progrès important. A titre d'illustration, la figure 2 montre la trajectoire de deux stations GNSS et VLBI co-localisées à Tsukuba (Japon) où l'on voit en bleu les séries temporelles brutes, en rouge le modèle

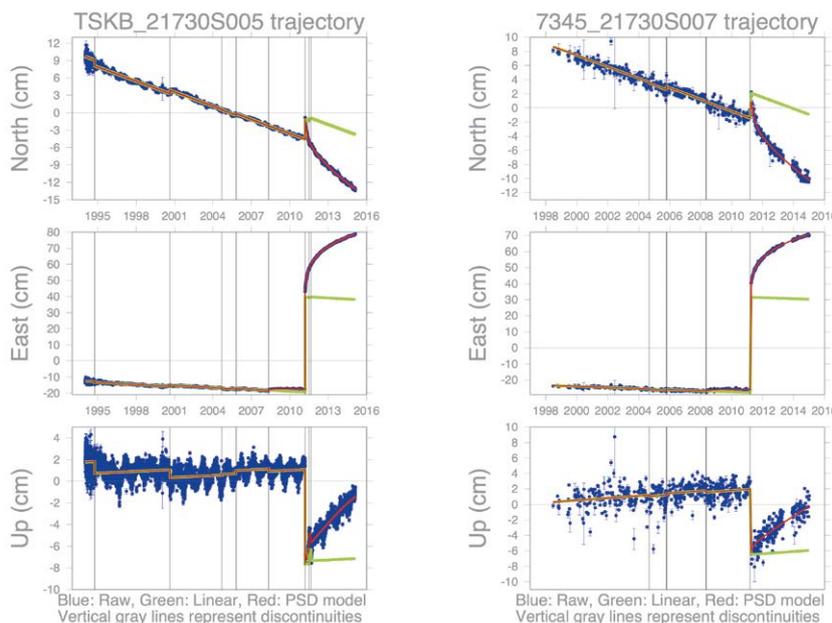


Figure 2. La trajectoire de Tsukuba (Japon), GPS (gauche) et VLBI (droite). La série de positions brute en bleu, la vitesse linéaire en vert, et le modèle paramétrique de déformation post-sismique en rouge

paramétrique et en vert la trajectoire linéaire représentant la position régularisée de l'ITRF2014. Cette figure montre l'accord remarquable du modèle paramétrique avec la série GNSS, mais aussi VLBI.

Modélisation des termes saisonniers

Il est très fréquent d'observer des signaux périodiques dans les séries temporelles de coordonnées des stations fournies par les différentes techniques de géodésie spatiale pour la construction de l'ITRF, comme on peut le voir distinctement sur la composante verticale de la station GPS à Tsukuba (Japon) de la figure 2. Ces signaux sont en réalité le reflet des surcharges (hydrologique, atmosphérique et océanique) agissant sur la croûte terrestre, mais aussi des erreurs systématiques des techniques elles-mêmes, tel que l'effet draconitique du système GPS (période de 351.6 jours au cours de laquelle la constellation satellitaire répète son orientation par rapport au soleil). La non-modélisation des signaux périodiques peut avoir un effet d'imprécision sur les vitesses estimées et en particulier sur la composante verticale allant jusqu'à 1 mm par an. Les signaux annuels et semi-annuels des séries temporelles de positions des stations des quatre techniques ont ainsi



été estimés par une fonction sinusoïdale décrivant ces mouvements.

■ Usage des coordonnées ITRF2014

Par définition et construction, l'ITRF est un repère séculaire (linéaire), et de ce fait les coordonnées des stations varient linéairement avec le temps, y compris pour les stations ayant des déformations post-sismiques significatives. Cependant, dans le cas de l'ITRF2014, l'utilisateur qui s'intéresse aux coordonnées pendant la période de relaxation doit calculer la somme totale des corrections PSD, $X_{PSD}(t)$ et la rajouter aux coordonnées linéairement propagées avec la vitesse linéaire, en utilisant l'équation suivante :

$$X_{PSD}(t) = X(t_0) + \dot{X} \cdot (t - t_0) + X_{PSD}(t) \quad (1)$$

où \dot{X} est la vitesse linéaire, et $X_{PSD}(t)$ est la somme totale des corrections PSD à l'époque t . Les modèles paramétriques de l'ITRF2014 sont une partie intégrante du repère et sont disponibles sur le site web : http://itrf.ign.fr/ITRF_solutions/2014/.

■ ITRF2014 et modèle de mouvement de plaques tectonique

A chaque solution ITRF, nous estimons un nouveau modèle de mouvement des plaques tectoniques en cohérence avec le repère et sa précision. Une des difficultés de ce travail est d'extraire un ensemble de stations fiables dont les vitesses horizontales ne sont a priori affectées que par la tectonique des plaques. Cela demande d'exclure de nombreuses stations, en particulier celles situées en zones de déformations actives, zones elles-mêmes à définir et à qualifier.

Ce type de modèle est particulièrement demandé par les utilisateurs GNSS qui exploitent les vitesses horizontales, que ce soit pour des applications scientifiques ou de géodésie opérationnelle. Un modèle de mouvement de plaques ITRF2014 a donc été estimé et publié dans *Geophysical Journal International* (Altamimi et al., 2017). C'est un modèle construit sur le champ de vitesses horizontales de 297 sites répartis sur 11 plaques, dont la sélection est basée sur des critères géophysiques et statistiques assez stricts. Il est cohérent avec

la notion de plaques rigides au niveau de 0.3 mm/an, qui est l'erreur moyenne quadratique pondérée de l'ajustement par moindres carrés.

Conclusion

Avec la publication de l'ITRF2014, modélisant les mouvements non linéaires des stations, un grand pas a été franchi dans l'amélioration du référentiel international. La modélisation des signaux saisonniers (annuels et semi-annuels) constitue non seulement un produit scientifique précieux à analyser et interpréter, mais permet aussi d'améliorer l'estimation des vitesses linéaires des stations, en particulier sur la composante verticale.

L'ajustement des modèles paramétriques de déformations post-sismiques permet de décrire fidèlement la trajectoire des stations qui ont subi des tremblements de terre majeurs, mais aussi de déterminer la partie linéaire du mouvement de manière plus précise.

Les analyses approfondies des données de l'ITRF2014 ont confirmé la persistance du biais d'échelle entre les repères SLR et VLBI, qui est de l'ordre de 1.4 ppb (équivalent à 8.7 mm à l'équateur). Ce biais d'échelle est un indicateur d'erreurs systématiques dans les deux techniques dont il est urgent d'investiguer les causes.

Les résultats de l'ITRF2014 ont aussi montré l'existence pour un nombre important de sites de co-localisation d'écarts significatifs entre les vecteurs issus des rattachements terrestres et les estimations de géodésie spatiale. En effet, plus de 50 % des vecteurs rattachements entre les points de référence des instruments SLR et VLBI d'une part et ceux des GNSS d'autre part, présentent des écarts supérieurs à 5 mm, et 30 % ont un écart supérieur à 10 mm. L'expérience passée a montré que ces écarts sont largement dus aux erreurs systématiques des techniques spatiales, plutôt qu'aux erreurs des rattachements locaux. La maintenance et l'amélioration continue de l'infrastructure géodésique mondiale sont une condition préalable à l'amélioration et la durabilité à long terme de l'ITRF, tel que reconnu par la résolution de l'Assemblée générale des Nations Unies sur

le repère géodésique mondial pour le développement durable. ●

Références

- Altamimi, Z., L. Métivier, P. Rebischung, H. Rouby, and X. Collilieux (2017) *ITRF2014 plate motion model*, *Geophysical Journal International*, Volume 209, Issue 3, 1 June 2017, Pages 1906-1912, <https://doi.org/10.1093/gji/ggx136>.
- Altamimi, Z., P. Rebischung, L. Métivier and X. Collilieux (2016) *ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions*, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, <https://doi.org/10.1002/2016JB01309>.

Contacts

Zuheir ALTAMIMI, Paul REBISCHUNG, Laurent MÉTIVIER, Xavier COLLILIEUX (@ign.fr)

Institut national de l'information géographique et forestière

ABSTRACT

For the first time of the history of the International Terrestrial Reference Frame (ITRF), the ITRF2014 provides a significant improvement over the past versions of the international reference. The ITRF2014 innovation is the accurate modelling of station nonlinear motions, by estimating the seasonal signals (annual and semi-annual) present in the time series of station coordinates, as well as the parameters describing the post-seismic deformations (PSD) of sites that were subject to major earthquakes. While the ITRF2014 provides the usual geodetic products: station positions at a reference epoch (2010.0), station linear velocities, as well as Earth orientation parameters, the parametric models of post-seismic deformations are an essential part of the frame products. The user should therefore compute the total PSD correction to be added to the ITRF2014 coordinates, if the epoch of the station position occurs within the post-seismic relaxation period. The complete parametric models for all concerned stations, as well as subroutines in FORTRAN are provided at the ITRF2014 website: http://itrf.ign.fr/ITRF_solutions/2014/.

Étude d'un nouveau procédé pour la mesure et la correction de la réfraction par corrélation d'images

■ Michel KASSER - Jean-Luc MAGNENAT

À l'occasion d'un travail de diplôme de bachelor (équivalent suisse de bac.+3), une série de tests préliminaires a été menée en vue de se donner les moyens de mesurer directement l'angle de réfraction d'une visée zénithale, en exploitant le caractère dispersif de l'air. Un dispositif de type réfractomètre d'un type nouveau a ainsi été imaginé, basé sur la corrélation entre les images obtenues séquentiellement avec deux filtres (rouge et bleu), et des tests ont été menés pour évaluer l'efficacité de la corrélation. Les résultats sont encore insuffisants, mais de bonnes pistes d'amélioration sont proposées.

MOTS-CLÉS

Réfraction atmosphérique, réfractomètre, nivellement, corrélation d'images, dispersion atmosphérique

du GPS précis, pour tenter de mesurer exactement la réfraction sans avoir à faire aucune hypothèse. Toute une série de recherches menées ont été basées sur la dispersion atmosphérique, c'est-à-dire le fait que l'indice de l'air dépend de la couleur de la lumière considérée.

Procédé réfractométrique étudié

Si une visée est effectuée entre deux points, la réfraction va dévier la visée par rapport à une ligne droite parfaite d'un angle β , et cet angle dépend légèrement de la couleur (phénomène que l'œil ne remarque guère qu'à l'occasion du "rayon vert", situation rare au coucher de Soleil). Le principe des recherches menées est le suivant : l'écart entre β_1 et β_2 est très petit, dépendant des deux longueurs d'ondes employées, mais il est exactement proportionnel à l'angle β_1 . Donc si on mesure ce petit angle $\beta_1 - \beta_2$, en le multipliant par un coefficient fixe, malheureusement assez grand (de l'ordre de 40 pour du bleu et du rouge), on peut obtenir l'angle β_1 exact, sans aucune hypothèse sur la forme de la trajectoire de la visée (cf. Figure 1). La difficulté évidente de ce dispositif est que, pour obtenir un angle β_1 assez précis, l'écart entre β_1 et β_2 doit être mesuré avec environ 40 fois plus

La réfraction pour le topographe

Dans toutes les mesures topométriques, la principale limitation des instruments les plus précis est liée à la traversée de l'atmosphère. Tout particulièrement dans le domaine du nivellement et des mesures altimétriques en général, les rayons lumineux formant la visée s'écartent de la ligne droite idéale, restant plus ou moins piégées dans un plan vertical. Cette réfraction topométrique est chiffrée traditionnellement par le coefficient de réfraction $k = R / r$, R étant le rayon moyen de la Terre et r le rayon de courbure du rayon lumineux. Alors que les k de visées en altitude sont souvent évalués aux alentours de 0.12 (la visée est 8 fois moins courbée que la surface terrestre, la courbure est régulière car elle est principalement due au gradient de pression), il s'agit de valeurs de peu d'intérêt actuellement, car il est devenu rare de faire des visées optiques longues et donc depuis des sommets. Par contre, proches du sol, les visées du topographe subissent des gradients thermiques très élevés, avec des valeurs de k pouvant largement dépasser la valeur de 10, en positif comme en négatif, à proximité du sol (Dvoracek, 2012). Les mesures de nivellement optique sont basées sur des mesures d'angles zénithaux, soit à angle fixe (nivel-

lement direct), soit avec un angle mesuré (nivellement trigonométrique), et depuis longtemps il a été recherché une solution pour mesurer et se débarrasser au mieux de l'effet de la réfraction. Dans le cas du nivellement trigonométrique, l'emploi de zénithales réciproques et simultanées procure une bonne correction de cet effet, permettant par exemple d'atteindre une précision de l'ordre du $\text{mm.km}^{-1/2}$ pour un cheminement de nivellement avec des visées n'excédant pas 300 m, la seule hypothèse ici (généralement très bien vérifiée) étant que la visée est bien modélisée par un arc de cercle (statistiques tirées de mesures de nivellement trigonométrique motorisé utilisé à l'IGN pour le NGF au début des années 80). Mais des efforts considérables ont été consentis par de nombreux chercheurs, avant l'arrivée

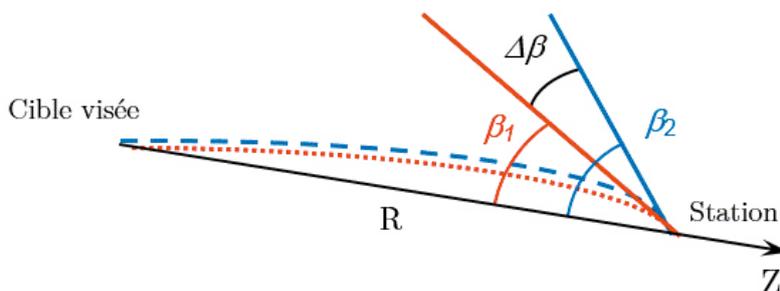


Figure 1. Pour une même visée, deux couleurs ne suivent pas exactement la même trajectoire, et à la station de mesure les angles zénithaux β_1 et β_2 sous lesquels une même cible est visée pour deux couleurs sont légèrement différents.

de précision que celle de l'angle final recherché, qui est typiquement celle du tachéomètre employé, soit par exemple 1cc, soit 1.6 μ rd. Il s'agit donc de mesurer cet écart à 0.04 μ rd près, ce qui explique l'échec de toutes les tentatives menées dans les années 70 à 90. Citons par exemple ici les travaux de Williams, reposant sur un dispositif très astucieux de disque tournant, dans lequel des ouvertures en spirale ont été effectuées (cf. Figure 2).

La très petite séparation physique entre les focalisations des faisceaux rouge et bleu est transformée en un décalage temporel entre les maxima vus par les canaux de détection des deux lasers.

Le projet qui a été mené ici est basé sur les mêmes effets physiques, mais en utilisant des technologies devenues disponibles depuis peu, celles de la corrélation d'images.

Dans la plupart des tachéomètres précis, une petite caméra intégrée est désormais disponible. Elle sert surtout à documenter le point mesuré, et dans certains cas il y en a deux, et l'une dispose alors d'un champ très étroit. Imaginons que dans un développement futur, deux filtres portés sur un disque en rotation soient commutés successivement, en un temps très bref, permettant d'acquérir deux images d'une même cible dans deux gammes spectrales différentes. En corrélant ces deux images, on peut espérer mesurer leur décalage avec une précision allant de 0.01 à 0.001 pixel, ce que l'on fait couramment en photogrammétrie moderne. Si un pixel correspond à un champ de 10 μ rd, on peut donc envisager d'obtenir la précision angulaire recherchée.

Les travaux menés en 10 semaines, dans le cadre d'un projet de fin d'études de la HEIG-VD ont donc visé à valider

le concept, et à identifier les problèmes potentiels. La mesure d'angles extrêmement petits de ce type, obtenus dans des domaines spectraux différents, se heurte à un bon nombre de problèmes :

- Les instabilités internes de la caméra dans le tachéomètre, et du tachéomètre lui-même. Si ce dernier est conçu pour atteindre la précision déjà extraordinaire de 1 cc, rien n'a été optimisé en vue d'une stabilité de 0.01 cc, probablement inatteignable avec un matériel de terrain même très bien industrialisé. L'hypothèse retenue est que toutes ces instabilités, y compris les inévitables effets thermiques, ont une constante de temps beaucoup plus grande que le temps d'acquisition des deux images, que l'on peut imaginer séparées de 10 ms : la mesure de l'angle différentiel ne devrait donc pas être polluée par ces effets.
- Le chromatisme des optiques, qui en aucun cas ne vise à une correction aussi poussée. Et dans un registre différent, les mêmes types de perturbations sont attendus si les filtres colorés sont légèrement prismatiques. Dans les deux cas, on peut s'attendre à des écarts stables dans le temps, que l'on pourra étalonner en procédant à des mesures sur très courtes distances, là où les effets de la réfraction sont sensiblement nuls.
- La scintillation atmosphérique, dont les effets se poursuivent à des fréquences allant très au-delà de la périodicité prévue de 10 ms. Il est espéré à ce stade que ce phénomène obéit à une statistique gaussienne, et que la multiplication des mesures différentielles sur une durée longue (quelques secondes) va en limiter les effets au niveau des seuils recherchés. Il existe de nombreuses études portant sur les applications astronomiques, mais les

cas qui nous intéressent ici sont bien plus défavorables, de sorte qu'à ce stade on ne peut pas être certain du résultat.

Processus expérimental

Les tests ont porté sur la partie la plus difficile à anticiper, celle de la qualité des corrélations entre images successives. Pour ce faire, nous avons choisi une expérimentation sur une grande distance, de 3.5 km, afin d'obtenir un gros angle de réfraction (35 μ rd si $k = 0.12$), où la réfraction différentielle entre les deux couleurs serait alors de l'ordre de 1 μ rd. Nous avons travaillé avec deux systèmes imageurs, en commençant avec une caméra dont le pixel correspond à un angle de 12 μ rd. Les deux extrémités de la visée sont sensiblement à même hauteur, environ 15 à 20 m au-dessus du lac qui sépare les deux sites (cf. Figure 3).

À titre indicatif, le début des essais a consisté à corréler deux images successives sans filtre, acquises avec cette caméra panchromatique de petite taille (<1Mpx), dans un intervalle de temps de 1 mn. Nous avons observé, sans surprise, un mouvement important entre les images (le dispositif n'a pas la stabilité suffisante), mais aussi un écart-type très encourageant de 0.0001 px, portant sur la partie détournée de l'image (suppression des zones de végétation, soit un ensemble restant de 0.34 Mpx, cf. Figure 4). Comme le pixel est ici de 12 μ rd, on voit que la précision atteignable, limitée aux outils de corrélation, est largement au-delà des attentes finales. Ceci est aussi largement lié aux coefficients de corrélation très élevés obtenus sur la quasi-totalité de l'image, dont la dynamique est excellente. Mais

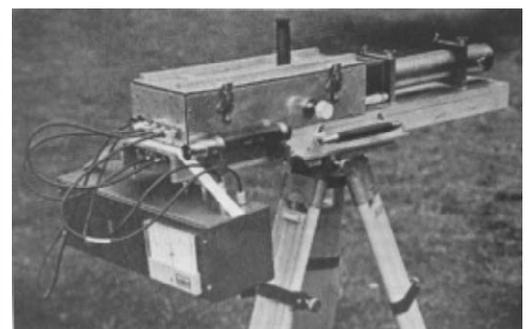
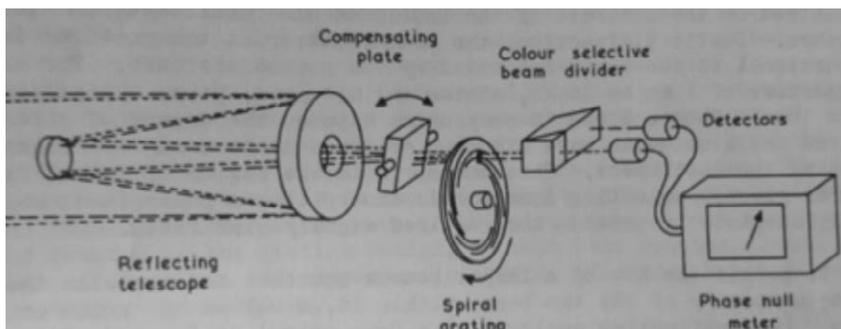


Figure 2. Le dispositif de réfractomètre développé par Williams.

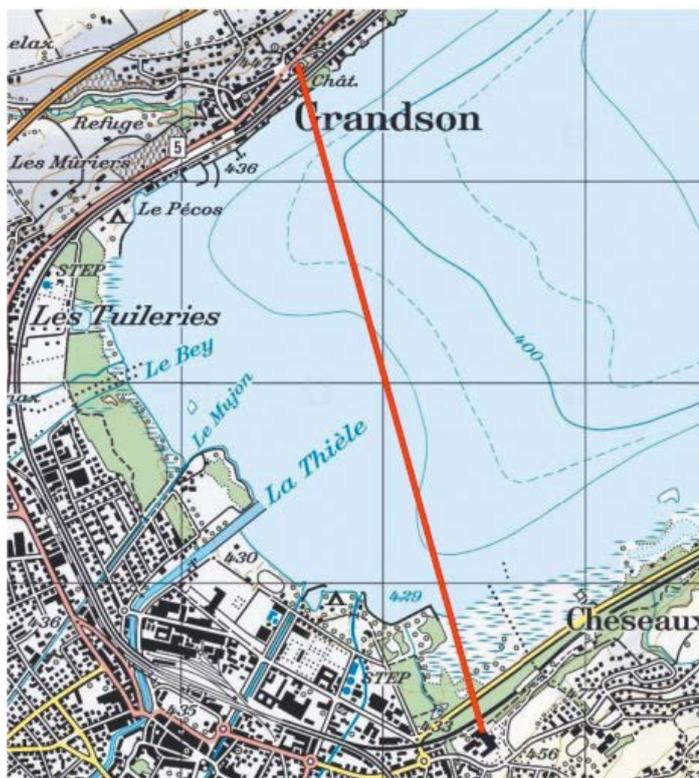


Figure 3. La visée effectuée entre Grandson et Yverdon (Suisse), ainsi qu'une vue du système Daedalus utilisé dans un premier temps, et qu'un profil en long de la visée montrant que celle-ci est dégagée du sol et du lac de 15 à 20 m, permettant d'anticiper un coefficient de réfraction assez peu perturbé et proche de 0.12.



la question reste entière, quelle peut être la qualité de la corrélation avec deux filtrages chromatiques différents ? L'étape suivante a porté sur des acquisitions, toujours avec le système Daedalus, en commutant devant l'objectif successivement deux filtres, de type verre coloré, dont les pics de transmission se situent à 480 nm et 670 nm. Enfin une nouvelle étape a consisté à utiliser

un appareil photographique commercial Canon équipé d'une longue focale (600 mm) afin de travailler avec un pixel plus petit (6 μ rd) et un mode d'acquisition numérique beaucoup plus simple.

Résultats

Comme prévu, les tests effectués ont porté seulement sur l'efficacité de la

corrélation, et ceci avec deux dispositifs imageurs différents, présentant des avantages et inconvénients nettement distincts. La caméra équipant un tachéomètre très précise, destinée à des mesures astronomiques (système Daedalus) donne des images panchromatiques simples, de bonnes performances radiométriques, et faciles à traiter. Par contre l'électronique d'ac-

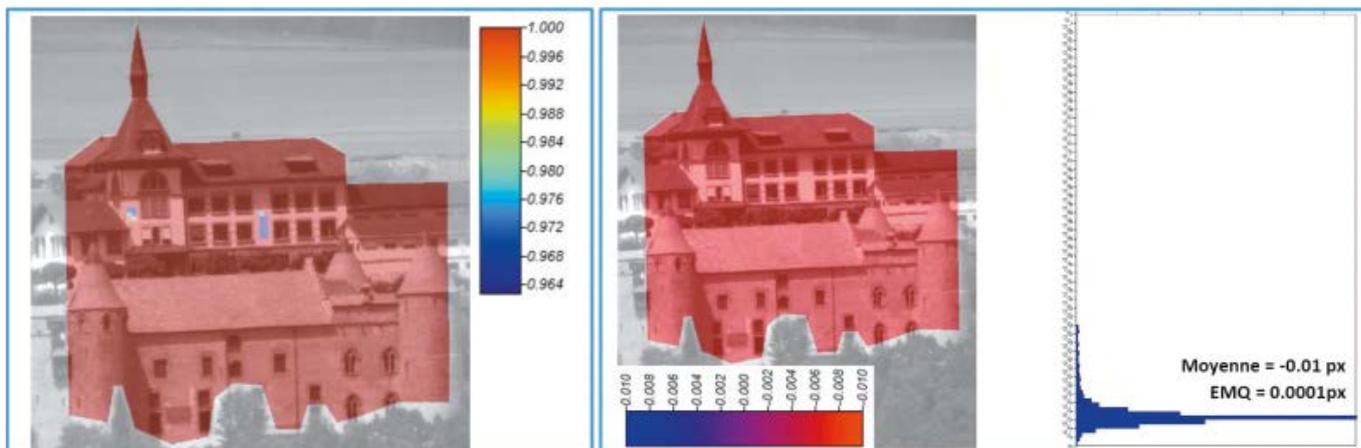


Figure 4. Image de bâtiments de Grandson vus à 3.5 km par la caméra du système Daedalus. À gauche, représentation du coefficient de corrélation entre deux images successives sans filtre, issu du logiciel MicMac. À droite, représentation des disparités verticales, avec leur histogramme.

quisition de cette version ancienne de matériel interdit les mesures à cadence rapide, et le nombre de pixels est réduit (< 1 Mpx). L'autre solution a donc été un appareil photographique récent, donnant toute satisfaction pour des acquisitions et transferts rapides, par contre l'image est recomposée à partir d'un filtrage de type Bayer, avec des modes de prétraitements complètement inaccessibles. Sa radiométrie exacte est donc assez largement inconnue, et peut-être même inadaptée (cf. Figure 5).

Les corrélations ont été effectuées avec l'outil open source MicMac, pour lequel de nombreuses expériences ont montré qu'il faut atteindre un coefficient de corrélation très élevé (typiquement au moins égal à 0.97) pour obtenir un bon résultat. Et bien évidemment ceci implique plusieurs caractéristiques pour les images : une texture très variée (pas de surfaces uniformes) et un rapport signal/bruit élevé, directement lié à la dynamique du capteur. Les capteurs CCD largement utilisés actuellement peuvent fournir une excellente dynamique, mais il faut rappeler que leur emploi optimal implique que les images soient exposées au maximum, en limite de saturation.

Dans les cas d'emploi de ces deux systèmes imageurs, un artefact inattendu est apparu, les disparités verticales calculées entre images présentent des pics distincts séparés exactement d'un pixel, le pic central est heureusement plus important et permet de donner la valeur recherchée, mais ce phénomène de corrélation parasite entre pixels voisins devra être mieux compris (cf. Figure 6).



Figure 5. Le second dispositif expérimental, montrant l'appareil photographique avec son objectif de 600 mm de focale, ainsi que le support des filtres placé immédiatement devant, sans contact.

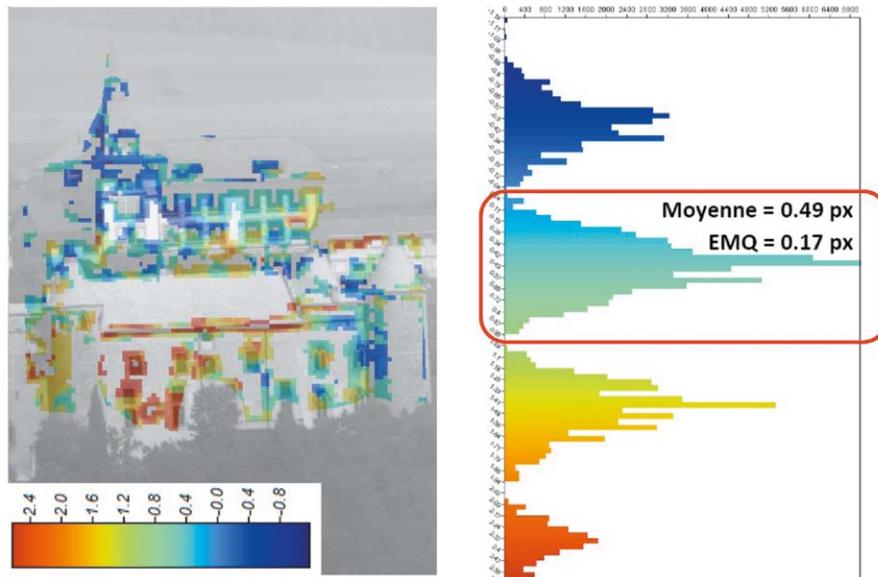


Figure 6. Représentation des disparités verticales obtenues entre deux images successives avec filtres rouge puis bleu. Les pics séparés de 1 pixel apparaissent bien, on note également que seuls les contours des fenêtres participent au calcul, la corrélation étant de qualité insuffisante ailleurs.

La corrélation entre images successives filtrées en bleu et rouge présente une difficulté, assez facile à anticiper, s'agissant de paysages urbains classiques : avec une séparation spectrale forte, le coefficient multiplicateur est minimal (ici, 40), mais la corrélation est assez médiocre.

Par exemple, une toiture en tuiles est très claire dans le rouge et très sombre dans le bleu, la corrélation y est donc mauvaise. Dans le cas de l'expérience menée, il a été décidé de travailler sur des images acquises depuis la tour de la HEIG-VD, sur le château de Grandson. La texture de ces surfaces en pierre semblait en effet offrir une texture bien adaptée. Néanmoins, les seules zones des images où le coefficient de corrélation était suffisamment élevé résultaient des contours des

murs et des fenêtres, et finalement portaient sur un ensemble très réduit de pixels (cf. Figure 7).

Au vu de ces résultats préliminaires, il est proposé d'explorer deux directions pour améliorer ces premiers résultats :

- Travailler avec une cible artificielle noire et blanche, couvrant un nombre élevé de pixels de la caméra, avec un motif aperiodique de type QR-Code, disposant de zones avec des motifs de dimensions caractéristiques variées, afin d'être exploitables dans une large zone de distances possibles. La corrélation entre des images parfaitement en noir et blanc, même filtrées, et ceci même dans des bandes spectrales très différentes, devrait devenir bien meilleure.
- Explorer d'autres couples de filtres colorés, afin de disposer d'une meilleure corrélation, même si c'est au prix d'un coefficient multiplicateur plus important. La précision de corrélation dans les cas explorés n'a jamais été meilleure que 0.1 px, alors que pour les images non filtrées une valeur 1 000 fois meilleure a été atteinte. Il faudra pratiquer une optimisation, en testant si avec un couple de filtres de longueurs d'ondes plus proches l'amélioration de la corrélation ne dépasse pas largement la perte due à l'accroissement du coefficient multipli-



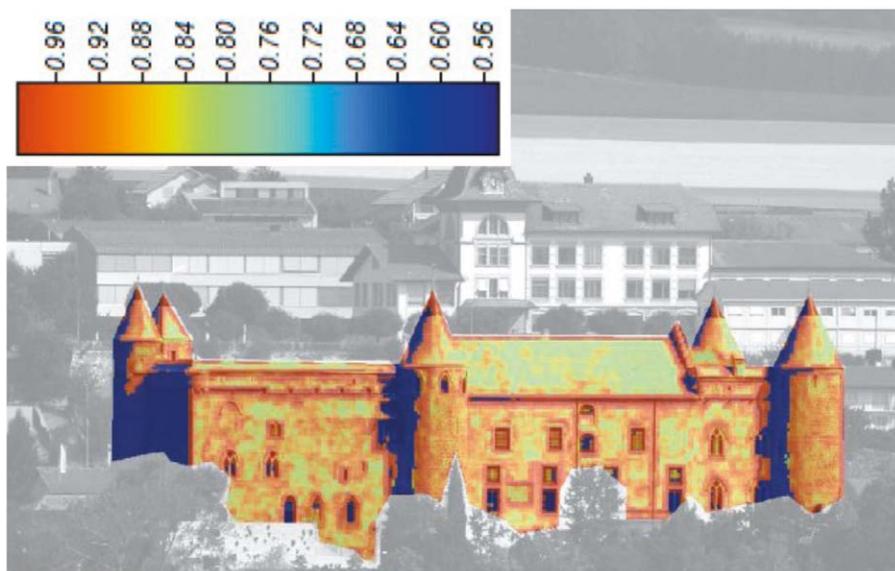


Figure 7. Représentation du coefficient de corrélation sur la façade du château de Grandson entre deux images successives avec filtres rouge et bleu.



cateur. D'éventuels bons résultats ainsi obtenus éviteraient alors de mettre en place une cible spécialisée.

Les résultats obtenus n'ont pas atteint l'objectif visé, mais ne sont pas négligeables pour autant et permettent de rester optimiste. La précision sur la mesure de l'angle entre les deux images filtrées a pu descendre à une valeur de $0.7 \mu\text{rd}$ dans cette phase initiale, ce qui est 20 fois trop par rapport à la précision recherchée. Et si l'on anticipe un angle différentiel à mesurer de l'ordre de $1 \mu\text{rd}$, cette précision est clairement insuffisante. Mais il est certain que l'on n'a pas atteint ici les limites du procédé, qui mérite donc d'être approfondi. Il repose en effet sur des technologies d'acquisition déjà mises en œuvre de manière routinière dans beaucoup de tachéomètres, et des outils de calcul devenus classiques : si ce procédé permet d'atteindre la précision recherchée sur la mesure des disparités, par exemple en suivant les pistes évoquées, il ne présentera que peu de difficultés technologiques pour être installé dans un tachéomètre. Il convient donc d'encourager vivement la poursuite de cette recherche. ●

Remerciements

Les auteurs remercient le professeur Hilmar Ingensand pour sa participation au suivi de ce travail de recherche.

Bibliographie

F. Dvořáček, *Calibration of Electronic Distance Meters*, Thèse de doctorat, Czech Technical University In Prague, Faculty Of Civil Engineering, Department Of Special Geodesy, 2012.

D. C. Williams, *A Dispensometer for the Measurement of Angular Refraction*, Symposium on Electromagnetic Distance Measurement and the Influence of Atmospheric Refraction, 1974

Contacts

Michel KASSER

michel.kasser@heig-vd.ch

Jean-Luc MAGNENAT

jean-luc.magnenat@heig-vd.ch

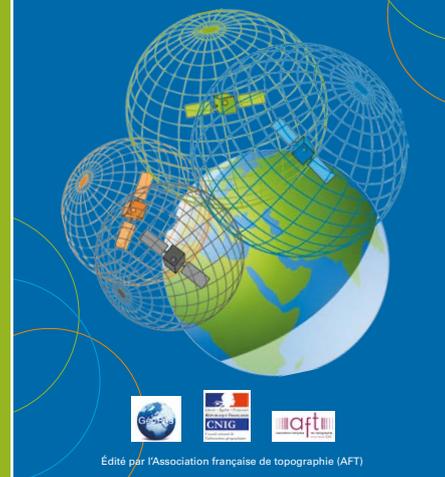
Département Environnement Construit et Géoinformation, HEIG-VD

ABSTRACT

During a bachelor's degree work, a series of preliminary tests was conducted to provide the means to directly measure the refraction angle of a zenithal angle, exploiting the dispersive nature of the atmosphere. A refractometer of a new type was thus imagined, based on the correlation between the images obtained sequentially with two filters (red and blue), and tests were conducted to evaluate the efficiency of the correlation. The results are still insufficient, but good possibilities of improvement are proposed.

Lexique GNSS pour le positionnement

Commission GEOPOS
Groupe de travail GNSS



**COMMANDEZ LE "LEXIQUE GNSS
POUR LE POSITIONNEMENT"
AU PRIX DE 10,00 €
21 x 29,7 cm, 32 pages
frais de port inclus (France)**

M/Mme Nom : _____

Prénom : _____

Société ou organisme : _____

Adresse : _____

Code postal :

Ville : _____

Tél. :

Fax :

Courriel : _____

Date : _____

Signature _____

**Bulletin de commande à retourner
accompagné d'un chèque
à l'Association française de topographie**
73, avenue de Paris - 94165 SAINT-MANDÉ
Cedex - Tél. : +33 (0) 1 43 98 84 80

**Achat également sur Internet :
www.aftopo.org**

Topo Sans Frontières Madagascar, mission 1

■ Antoine GRENIER - Noémie CHARPY - Antoine BOSCHET

L'équipe TSF Madagascar est fière de vous présenter leurs missions humanitaires, réalisées en juillet et août 2017. Pendant six semaines, trois étudiants de l'ESGT (l'École supérieure des géomètres et topographes) sont partis s'aventurer sur l'île de Madagascar. Antoine Boschet, Noémie Charpy et Antoine Grenier ont réalisé une expérience formidable et sont intervenus en différents endroits de l'île pour réaliser plusieurs missions d'importance humanitaire. Ils étaient accompagnés par Faniriniaina Ramanantoanina, élève sortant de l'École supérieure polytechnique d'Antananarivo (ESPA). Parallèlement à la préparation de leur mission humanitaire, l'équipe a aussi développé un prototype d'appareil de relèvement GNSS open source et à moindre coût s'inscrivant dans leur projet d'innovation "Open Topo".

Qu'est-ce que TSF ?



Topo Sans Frontière est une association d'étudiants de l'École supérieure des géomètres et topographes (ESGT) du Mans. Cette association s'est développée grâce à Géomètres Sans Frontières (GSF) qui a réalisé pendant une dizaine d'années des missions de topographie et de conseil en foncier à l'international. Il y a quelques années, des étudiants de l'ESGT leur ont demandé des missions en guise de stage de 1^{re} ou de 2^e année du cycle ingénieur. C'est ainsi qu'est née la première mission en 2003, à Madagascar. Depuis, cette formule se poursuit et chaque année, une trentaine d'étudiants partent dans des pays en voie de développement, tels que le Sri Lanka, le Guatemala, le Cameroun, l'Éthiopie, ou encore Madagascar. À Madagascar, deux équipes partent chaque année, la mission 1 (notre équipe), qui réalise des missions dans le sud de l'île et la mission 2 (une autre équipe de TSF), qui se dirige vers le nord.

Préparation

Les 3 missions sur place se sont déroulées pendant 6 semaines (du 7/07/17 au 18/08/17), toutefois la préparation de la mission a débuté dès le mois d'octobre 2016, où nous avons commencé

à réfléchir aux moyens de financer cette mission. Il a fallu dresser ici un budget prévisionnel, basé sur les dépenses des années précédentes, afin de connaître l'objectif financier à atteindre avant la fin de l'année. Diverses opérations de financement ont alors été mises en place durant l'année : vente de repas, emballage de papier cadeau (Noël), *crowdfunding*, mise en place de partenariat avec des entreprises ou des collectivités locales, participation à des concours, afin de pouvoir collecter le budget nécessaire à notre départ. Nous avons ainsi pu mettre en place un partenariat avec différentes entreprises : l'entreprise Tellura qui a souhaité participer au financement de l'ensemble des missions de TSF, l'agence de voyage *Africa Voyage* pour négocier des prix sur les billets d'avion, l'entreprise Webaxys, un des grands contributeurs de notre *crowdfunding*.



L'équipe de la mission 1 et de la mission 2 en compagnie d'une classe d'étudiants en 1^{re} année de l'ESPA.

Mission ESPA

Pendant une semaine, nous sommes restés à Antananarivo, la capitale de Madagascar, en compagnie de la mission 2 de TSF Madagascar. Notre mission était de rencontrer les étudiants de l'École supérieure polytechnique d'Antananarivo (ESPA) en topographie et de leur transmettre nos connaissances acquises au cours de notre première année à l'ESGT.

Pour ceci nous nous sommes servis des appareils présents sur place pour la réalisation de leur TP, qui sont principalement des appareils que TSF a apporté dans les missions précédentes. Il y a en effet très peu de budget pouvant être attribué à l'achat de matériel, point qui nous a confirmé l'importance d'un projet comme Open Topo. De plus, le matériel présent sur place est assez vétuste. Aucun matériel n'a de mémoire pour enregistrer les données, qui doivent être recopiées à la main sur un carnet à côté, et mis à part les deux tachéomètres fournis par les missions antérieures, le reste est constitué de théodolites qui nécessitent encore l'utilisation d'une chaîne pour faire les levés. Les niveaux sont optiques, mais un niveau électronique est présent, sans mire code-barres malheureusement. Cette mission perdure depuis longtemps et un partenariat fort existe aujourd'hui entre les étudiants de l'ESPA et ceux de l'ESGT. Durant



Les étudiants de l'ESPA qui manipulent le matériel ramené de France.



Le village pour lequel Idée Madagascar creuse des réseaux d'eau, qui relie la source au village.



notre séjour sur place, nous avons pu côtoyer les différentes promotions de chaque formation spécialisée en topographie là-bas, et nous avons pu constater un réel intérêt des étudiants sur place pour la France. Le responsable du département nous a expliqué qu'il a existé un lien fort avec l'ESGT auparavant, et que lors de la création de l'école et des formations il y a plus de 20 ans, l'ESGT avait travaillé de concert avec les responsables sur place pour mettre en place les programmes. C'est pour cela que les 3 années de formations d'ingénieur ressemblent énormément à celles enseignées à l'ESGT. Un grand nombre d'étudiants de l'ESPA sur place a manifesté un intérêt à venir en France pour réaliser un semestre de mobilité à l'ESGT et nous a demandé les démarches à suivre. Bien que les niveaux de vie en France et à Madagascar soient très différents, nous pensons que l'ESGT et l'ESPA pourraient établir ensemble, et avec l'aide de TSF, un partenariat d'échange d'étudiants, au travers de semestres de mobilité ou de Travail de Fin d'Études dans les deux pays. De plus, l'association TSF essaiera de mettre en place l'année prochaine des missions sur place avec des étudiants de l'ESPA.

Mission Idée Madagascar

Notre seconde mission se déroulait à Alakamisy-Ambohimba, à côté de Fianarantsoa. Ici nous avons été accueillis par les religieuses de la Congrégation des Sœurs du Christ, ainsi que par l'association étudiante Idée Madagascar de l'école française ESME Sudria (École spéciale de mécanique et d'électricité). Cette association réalise chaque année plusieurs projets, dont le financement et la construction d'une école et d'un réseau d'eau pour apporter l'eau dans un village aux alentours de la commune de Alakamisy-Ambohimba. TSF est depuis plusieurs années partenaire de cette association, et réalise les cartes des projets réalisés afin d'en assurer la pérennité.

Notre travail sur place a duré 10 jours, et concernait le relèvement des projets qu'ils avaient commencés cette année, c'est-à-dire la construction d'une école dans un petit village aux alentours et la mise en place d'un réseau d'eau de près d'un kilomètre dans un autre village. L'objectif était ici d'établir des cartes des projets réalisés par Idée Madagascar, afin de les remettre aux habitants et permettre l'entretien des constructions. En complément de ces levés, nous avons réalisé aussi le levé de terrain du



Début de construction de l'école, avec les fondations visibles.

projet de réseau de l'année prochaine, afin qu'Idée Madagascar puisse prévoir le matériel et temps nécessaire à la réalisation de ce projet.

Mission Mahasoa

Notre 3^e et dernière mission se déroule plus au sud de l'île, à Mahasoa, qui se situe au nord de la ville d'Ihoso. Nous avons été accueillis par une communauté religieuse qui tient un hôpital pour enfants, spécialisé dans les malformations du pied et le rachitisme. Là-bas nous avons réalisé divers travaux de levé ou d'implantation, mais notre mission principale s'est portée sur le levé de plusieurs grands ensembles de rizières afin d'en constituer un Modèle Numérique de Terrain, l'objectif final étant pour la communauté de réaménager ces rizières et d'agrandir ces parcelles pour en faciliter l'irrigation et l'exploitation par des engins agricoles. Le plus gros de notre travail a consisté



Notre équipe, en compagnie des ouvriers malgaches et des étudiants de l'ESME.



Levé du réseau d'eau avec la tranchée visible sur la gauche et plus loin, la station entourée de jeunes spectateurs malgaches.



Emplacement envisagé pour la construction du pont.

dans le levé des rizières de Manamby, situé à 10 km au nord de Mahasoa, d'environ 50 hectares. Le levé a duré une semaine, le plus difficile étant de relever dans des champs de hautes herbes, difficilement traversables par le tachéomètre.

Nous avons aussi réalisé le levé d'autres rizières, à Ankazobe, à 3 km au nord de Mahasoa, beaucoup moins étendues et donc beaucoup plus rapides à faire.

Les plans maintenant établis, nous allons pouvoir travailler durant l'année 2017-2018, en échangeant avec eux, sur la manière dont ils veulent réaménager les rizières, et préparer la mission pour la prochaine équipe de 2018.

Avec le Père de cette communauté, nous avons aussi réalisé d'autres levés pour les différentes idées de projet que celui-ci prévoit pour la communauté tel que la construction d'une autre route pour aller à Ihosy, car celle actuellement en terre est difficilement praticable sans 4x4. L'objectif est de passer plus à l'ouest, mais ceci nécessite de passer au-dessus d'un lit de rivière presque asséché hors saison des pluies, mais qui voit passer des torrents gigantesques lorsqu'il se met à pleuvoir. Très peu de rochers sont visibles dans le paysage de Mahasoa, alors le choix du passage d'un pont se fait souvent par défaut en cherchant l'un des seuls endroits où l'on peut en trouver à proximité du lit de la rivière. Vu le temps qu'il nous restait sur place,



Notre tachéomètre pendant le levé des rizières de Manamby.

nous avons donc réalisé un levé d'une de ces zones, en levant 3 coupes passant au-dessus d'un petit barrage. L'objectif est d'avoir une étude préliminaire et une idée de la topographie, à la fois pour le Père qui souhaite réfléchir au problème et à la fois pour les prochaines équipes qui travailleront certainement sur ce projet.

Nous avons aussi étudié la question d'amener un canal depuis la rivière Ihosy jusqu'aux rizières de Manamby, afin que celles-ci puissent être irriguées toute l'année. Le principal problème pour les cultures en général et plus particulièrement celle du riz là-bas est l'eau. En effet, les quantités d'eau se déversant durant la saison des pluies ont beau être énormes, presque rien n'est retenu pour être ensuite utilisé dans les cultures. Nous pensons que ceci est dû à la déforestation de l'île, et principalement celle que nous avons pu voir à Mahasoa. Presque aucun arbre n'est visible, et d'après ce que nous avons pu étudier sur place, ceci n'est pas dû au manque d'eau, ni à la coupe trop importante pour le bois, mais à une culture de "brûlis" permanent. Que ce soit pour nourrir les zébus en brûlant pour obtenir des jeunes pousses d'herbes, ou simplement par raison mystique, de grands feux déclenchés par l'homme sont visibles tous les soirs dans toute la région. Un grand travail par le Père Schenato est visible directement sur les images satellites dans la périphérie des rizières de Manamby, où celui-ci est en train de reconstituer une

pépinière avec des espèces d'arbres locales de Madagascar, et se bat donc contre les brûlis des habitants. Nous pensons que ce problème d'eau est relié au phénomène de déforestation, car sans grande végétation pour retenir l'eau durant les grandes pluies, des eaux torrentielles se créent, emportant tout sur leur passage, détruisant les habitations, les routes et les cultures, sans pour autant être captées à temps.

Un des objectifs de cette année sur lequel nous travaillerons avec la prochaine équipe est de réaliser des études des cartes et photographies aériennes durant l'année, en France, avant le début des levés sur place, afin d'avoir accès aux ressources de l'école et à internet, dans le but d'organiser plus clairement les objectifs qu'ils auront là-bas. L'étude préliminaire sera déterminante pour l'établissement du canal, afin de prévoir par où celui-ci passera, et connaître quelles sont les données nécessaires et qui nécessitent un levé sur place. Les cartes de la région datent de l'époque coloniales, la majorité des données nécessaires ne sera donc certainement pas facilement accessible autrement que par un levé sur place...

Open Topo

Parallèlement à TSF, et en partenariat avec des étudiants de Paris *School of Business*, nous avons mis en place le projet Open Topo. Ce projet consiste à réaliser une suite d'appareils de relevement topographique open source et lowcost. Le but est de permettre à des pays en développement, ou en reconstruction après une catastrophe, d'accéder à du matériel topographique de qualité et à moindre coût. Il est open source, permettant ainsi à n'importe quel étudiant ou particulier à travers le monde de travailler sur son développement et



Retenue d'eau sur la rivière Ihosy d'où pourrait partir le canal.



Open GNSS sur un barrage de Mahasoa



d'exploiter les travaux déjà réalisés librement.

Notre souhait initial était la fabrication d'un tachéomètre, mais après discussion avec Monsieur Stéphane Durand, enseignant-chercheur au Laboratoire géomatique et foncier de l'ESGT, nous avons décidé de nous orienter en priorité sur un système d'acquisition de point GNSS. En effet, cette technologie est difficile d'accès dans des pays comme Madagascar en raison de son coût, et l'École supérieure polytechnique d'Antananarivo (ESPA) demande depuis longtemps à TSF de faire son possible pour ramener ce type de matériel lors d'une de nos missions. De plus, le prototypage de cet appareil demandait beaucoup moins de temps et de ressource qu'un tachéomètre.

Un appareil d'acquisition GNSS centimétrique coûte aux alentours de 5000\$. Nous nous sommes donc fixés comme objectif d'obtenir un appareil GNSS dix fois moins cher en visant 500\$. Nous avons choisi pour ceci des modules "µBlox" M8P. En fonctionnant de pair, ils permettent d'atteindre une précision centimétrique par les méthodes de GNSS différentiel et de pivot mobile. Notre mission à Madagascar nous a permis de tester ces modules sur le terrain, en mettant au point durant l'année notre premier prototype, Open GNSS. Ceux-ci ont parfaitement fonctionné et nous ont permis de géoréférencer nos levés. De plus, les données terrains acquises nous permettront de travailler durant l'année sur l'amélioration des traitements de données GNSS. Ce projet, que nous avons exposé aux étudiants de l'ESPA sur place à Madagascar, a reçu un très bon accueil

GNSS Open Topo en place sur le chantier du réseau d'eau

et plusieurs d'entre eux ont décidé de le rejoindre afin d'y contribuer. L'objectif de cette première année était de prouver qu'il est possible de réaliser un appareil d'acquisition GNSS nettement moins cher que les prix du marché actuels, mais aussi de réunir plusieurs étudiants de nationalité et d'origine différentes autour d'un objectif humanitaire commun.

Futur de TSF Madagascar et Open Topo

En ce qui concerne TSF Madagascar, les deux missions sont renouvelées pour l'année 2018, avec une équipe de 5 étudiants pour reprendre notre mission : Lauralee Orain, Damien Michel-Henry, Corentin Berge, Simon Vanderhaeghe, Constance Imbert. Cette nouvelle équipe reprendra les missions faites cette année, et en fonction des contacts qu'ils établiront durant l'année, de nouvelles peuvent être mises en place.

Concernant Open Topo, notre souhait est de continuer ce projet au-delà de la mission Madagascar et de l'association Topo Sans Frontière. Notre séjour sur place nous a permis de réaliser l'importance et le potentiel de ce projet et nous voulons le pousser au plus que possible. Diverses idées et orientations nous sont

venues pendant notre mission, apparues en fonction des besoins constatés sur place, et que nous voulons mettre en place dès cette année. Avec ceci, plusieurs personnes ont souhaité rejoindre ce projet open source, ce qui va nous permettre de mettre en place ces différents axes :

- Open Tacheo, partant de notre idée initiale pour le projet Open Topo, avec l'aide de 4 étudiants de l'IUT Génie Mécanique et Production du Mans : Corentin Plaine, Lucie Laine, Jean-Pierre Cornee et Martin Grenier.
- Open Soft, le but était de mettre en place un logiciel de traitement pour nos futurs points acquis par Open Tacheo et Open GNSS, mais aussi de travailler sur un logiciel open source de calcul topographique et de dessin de plans. Pour ceci Jean Massip, développeur en Alternance au CESI (Rouen), et Maïlys Hau, étudiante en 4^e année d'ingénieur informaticien à l'EPITA (Paris), ont souhaité rejoindre Open Topo pour mettre en place ce projet durant l'année, et travailleront avec Paul Lefevre, étudiant en 2^e année d'ingénieur à l'ESGT.
- Open Drone, afin de mettre en place une cartographie rapide et précise d'une zone ne possédant aucune donnée topographique récente, un problème récurrent observé durant notre séjour à Madagascar.

Nous souhaitons continuer la partie Open GNSS, très prometteuse, en se penchant sur les problèmes rencontrés durant notre séjour, afin de pouvoir permettre aux prochaines équipes de TSF de partir avec du matériel plus performant. A travers ce projet, nous souhaitons démocratiser la topographie, permettre son accession aux pays du monde, particulièrement ceux en voie de développement, détruit par des catastrophes naturelles ou la guerre, et faciliter leur reconstruction. ●

Contact

Antoine GRENIER Chef de mission
antoine.grenier@laposte.net
 Site Open Topo: opentopo.xyz
 Page Facebook TSF Madagascar:
<https://www.facebook.com/TSFmadagascar2018M1/>
 Module Ublox NEO-M8P: <https://www.u-blox.com/en/product/neo-m8p-series>

Trois siècles de coopération franco-équatorienne en Géodésie

■ Claude BOUCHER

L'ambassade de France en Équateur, dans le cadre des manifestations qu'elle a organisées pour célébrer les missions géodésiques envoyées par la France depuis trois siècles, a sollicité, à côté de l'Académie des sciences, la participation du Bureau des longitudes. Ce travail reflète une première étape des réflexions suscitées, et illustre la diversité et la multiplicité des implications du Bureau dans cette question. Le sujet retenu pour la présentation faite lors du colloque organisé à Quito les 25 et 26 mai 2016 est la présentation historique des travaux géodésiques réalisés dans un cadre conjoint entre l'Équateur et la France.

Le Bureau des longitudes

Le Bureau des longitudes (Bdl) a été institué par la loi du 7 Messidor An III (25 juin 1795) afin de résoudre les problèmes astronomiques que posait, à l'époque, la détermination de la longitude à la mer.

Il a tenu un rôle de premier plan dans l'organisation et le développement de l'astronomie en France, l'adoption du système métrique décimal, la réalisation d'éphémérides planétaires et lunaires, l'organisation de grandes expéditions scientifiques consacrées notamment à des mesures géodésiques et des observations astronomiques.

Il a participé à la création de plusieurs organismes scientifiques, tels que le Bureau international de l'heure (BIH, 1919), le Service international de la rotation de la Terre et des systèmes de référence (IERS, 1988) et le Groupe de recherche de géodésie spatiale (GRGS, 1971), dont il est membre fondateur.

Le Bureau est hébergé par l'Institut de France et entretient de fortes relations avec l'Académie des sciences.

En plus de sa mission régaliennne relative à la publication d'éphémérides (Annuaire, Connaissance des temps, Ephémérides nautiques), le Bureau organise diverses manifestations favorisant la diffusion de la connaissance scientifique (conférences mensuelles, journée scientifique annuelle...)

La géodésie est depuis toujours au cœur des sujets d'intérêt du Bureau des

longitudes. Plusieurs des publications récentes du Bureau y sont largement consacrées : *La géodésie. Bilan et perspectives* (2001), *Galileo. Un enjeu scientifique, stratégique et technique* (2007 2^e ed), *Les références de temps et d'espace. Un panorama encyclopédique : histoire, présent et perspectives* (2016).

La mission de l'Académie royale des sciences

Cet événement est à l'origine des célébrations auxquelles nous participons actuellement. La mission de l'Académie royale des sciences, dite au "Pérou" (arrivée en Équateur en 1736), fut décidée pour mesurer un arc de méridien proche de l'équateur, et le comparer à la mesure d'un arc proche du pôle, effectué par une mission envoyée en Laponie. Ces travaux avaient pour but de déterminer la forme de la Terre et son aplatissement, sujet qui était alors l'objet de controverses, entre les travaux théoriques de Newton et les mesures de terrain. En effet les mesures faites en France à cette époque, initiées par Picard et continuées par les Cassinis, n'étaient pas décisives, voire suggérant un aplatissement à l'équateur. Les premiers résultats issus de cette double mission, venant de Laponie, tranchèrent la question dans le sens d'un aplatissement aux pôles.

Je renvoie pour plus de détails à l'exposé de Jean-Paul Poirier, membre de

l'Académie des sciences et du Bureau des longitudes.

Le lecteur pourra également consulter utilement l'ouvrage de référence sur l'histoire de la géodésie française, de Jean-Jacques Levallois, correspondant de l'Académie des sciences et du Bureau des longitudes (Levallois 1988), ainsi que la publication de l'Académie des sciences à l'occasion du 250^e anniversaire de ces missions (Lacombe et Costabel 1988).

La mission du Service géographique de l'Armée

En 1889, l'Association géodésique internationale décida de lancer un appel à contribution international pour remesurer les réseaux réalisés par l'Académie des sciences de France plus d'un siècle auparavant. La France se proposa, quant à elle, de réaliser la partie équatoriale. Suite à une étude préalable, Henri Poincaré présenta en 1900 devant l'Académie des sciences un rapport précisant le projet. L'Académie en assurait la maîtrise d'ouvrage, tandis que la maîtrise d'œuvre en était confiée au Service géographique de l'Armée (SGA). L'Académie créa alors une commission *ad hoc* pour en assurer le suivi.

Les travaux de terrain se déroulèrent de 1900 à 1907 sous la direction du général Léon Bassot, par ailleurs membre du Bureau des longitudes, assisté du lieutenant Joseph Robert Emile Bourgeois, également membre du Bdl. Parmi les officiers du SGA qui participèrent à cette entreprise, il faut mentionner Georges Perrier, alors lieutenant d'artillerie, et futur Secrétaire général de l'Association internationale de géodésie. Ce géodésien, également membre du Bdl, participa notamment à l'ensemble des travaux de terrain.

La triangulation réalisée fut proche de celle des Académiciens (voir figure 2).



Figure 1. Georges Perrier



Elle comportait 3 bases et 3 stations de Laplace. Les travaux bénéficièrent d'un fort appui de la République de l'Équateur, mais connurent diverses vicissitudes tant en raison de conditions météorologiques, que d'insuffisances financières. (Voir notamment *Levallois 1988 et Schiavon 2006*).

Les résultats ont été diffusés à travers plusieurs publications de l'Académie des sciences. C'est Georges Perrier qui les coordonna. Si l'ensemble des mesures fut publié, seuls des résultats partiels le furent. Pierre Tardi, collaborateur de Georges Perrier, et également membre du Bureau, essaya de continuer l'exploitation des données. La dernière publication sur le sujet est parue en 1956 !

La mission de l'Institut géographique national

Une étape moins connue se place dans un cadre commercial, à savoir un contrat entre l'Institut géographique national (IGN) français et l'Institut équatorien d'électricité (INCEL) signé en 1975 pour la réalisation d'une cartographie. On se reportera notamment à l'article récent de [Laignre et al, 2016].

Les travaux prévoyaient l'établissement d'un canevas géodésique de référence ainsi que des points de stéréopréparation. De plus il était prévu l'usage de stations de géodésie spatiale par méthode Doppler sur satellites Transit, une première à l'IGN, technique dans laquelle je fus d'ailleurs fortement impliqué.

Mais pour diverses raisons, les travaux géodésiques effectivement réalisés furent différents. Un réseau couvrant 400 km en extension nord-sud comportait 20 points primordiaux et 40 points complémentaires. Ce réseau fut essentiellement déterminé par trilatération, utilisant des stadimètres à ondes radio (telluromètres), complété de mesures azimutales par paires. Trois stations de Laplace complétèrent les mesures. Pour un rapport sur ce travail, voir [Guichard, 1975].

Par ailleurs, des travaux de nivellement furent également réalisés.

Comme dans les précédentes missions, les conditions de terrain furent difficiles. On pourra se reporter à [Laignre et al, 2016] pour divers témoignages et illustrations.

Les coopérations en géodésie spatiale

L'apparition des satellites en 1957 a ouvert une ère fondamentalement nouvelle pour la géodésie, et provoqué l'émergence d'une nouvelle discipline, la géodésie spatiale ([Levallois, 1988], [Boucher, 2016]) et son apport décisif aux systèmes de référence, au champ de gravité, au positionnement et à la géodynamique.

Les techniques spatiales qui contribuent actuellement à la réalisation de réseaux et au positionnement sont la radio-interférométrie à longue base (VLBI), la télémétrie laser, et les techniques radioélectriques, GNSS et DORIS (voir [Boucher, 2016]).

Les aspects fondamentalement nouveaux apportés par la géodésie spatiale peuvent se résumer ainsi :

- La définition et la réalisation d'un système de référence terrestre global, géocentrique (ITRS) ;
- Universalisation de l'usage de GNSS pour le positionnement sous toutes ses formes ;
- La transition de réseaux géodésiques bidimensionnels vers des réseaux tridimensionnels.

Les concepts qui ont donné naissance à l'ITRS (*International Terrestrial Reference System*) furent développés dans le cadre d'institutions que j'ai mentionnées au début, à savoir le Bureau international de l'Heure (BIH) dans les années 80. C'est en effet dans le cadre du BIH, alors dirigé par Bernard Guinot, lui aussi membre du Bureau, que je développai le concept de réalisation d'un repère global obtenu par combinaison des techniques spatiales, travail qui fut développé et entretenu dans le service IERS créé en 1988. L'IERS a ainsi produit une succession de repères, réalisations primaires de l'ITRS, connus sous le nom ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*). La figure 3 ci-après montre le dernier en date, ITRF2014 :

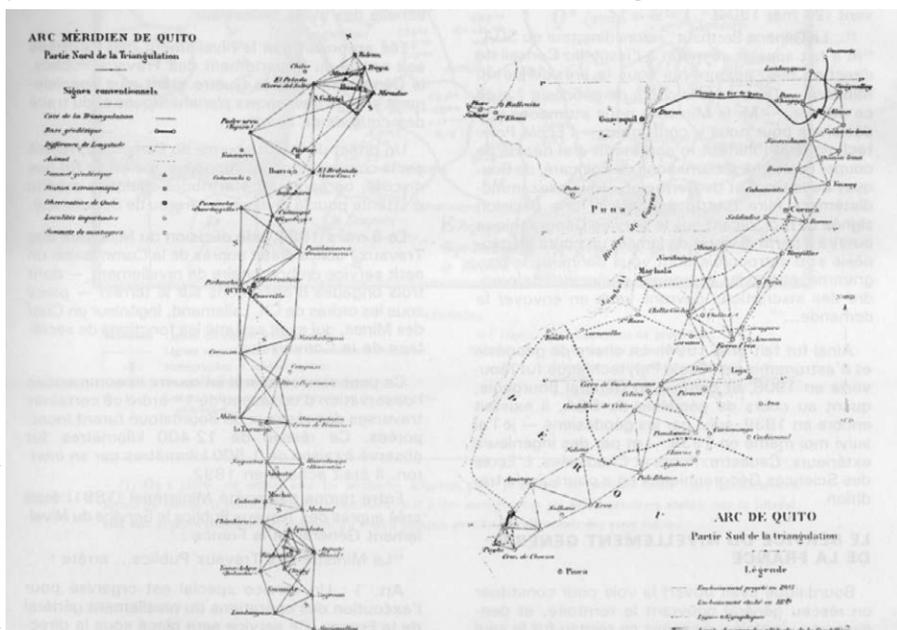
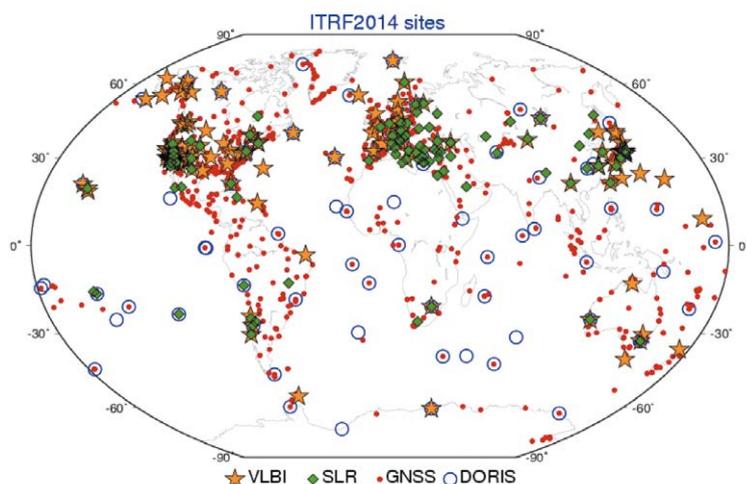


Figure 2. Schéma de la triangulation

(source : Levallois 1988)



ITRF2014 Network



Source Z. Altamimi 2016

Figure 3. Réseau ITRF2014

Progressivement, et grâce à la disponibilité et le développement des systèmes GNSS, l'ITRS a vu se multiplier diverses réalisations, globales, telles que le repère du service IGS (International GNSS Service), régionales telles que le projet SIRGAS en Amérique du Sud, ou nationales, qui forment autant de densifications de l'ITRF.

C'est en particulier ce qui se développe en Équateur. Ceci dit, la notion de coopération reste fondamentale, à travers les diverses contributions nationales à ces projets internationaux. Ceci me donne l'occasion d'évoquer plus spécifiquement le système DORIS, initialement conçu et développé par la France (CNES et IGN), qui comporte en particulier un réseau global et homogène d'une cinquantaine de stations (cf. figure 4). DORIS est comme je l'ai déjà dit l'une des techniques qui contribuent à l'ITRF.

C'est ici encore une manifestation de cette longue coopération, à travers la station équatorienne dans les Îles Galapagos. Une première station fut établie en 1991, remplacée par une seconde en 2005, malheureusement en panne depuis 2009. Des négociations avec la fondation Charles Darwin devraient aboutir prochainement pour installer une nouvelle station sur ces îles dont la position géographique est stratégique pour le système DORIS, qui est désormais exploité dans le cadre du service international IDS.

En conclusion

Cette présentation s'est efforcée de parcourir trois siècles de coopération en matière de géodésie, illustrant successivement les recherches pionnières sur la forme de la Terre, le développement de la coopération scientifique internatio-

nale, les développements commerciaux, et l'apport des techniques spatiales. De notre point de vue, nous avons eu la satisfaction de souligner que la plupart des principaux acteurs français appartiennent au Bureau des longitudes. Je peux affirmer que le Bureau souhaite continuer en ce sens, sous des formes qui restent à préciser. De nouvelles perspectives s'ouvrent d'ores et déjà dans de vastes domaines, les risques telluriques ou climatiques, pour ne citer qu'eux. ●

Contact

Claude BOUCHER

Président du Bureau des longitudes

Références

Boucher C. (2016) *Les références de temps et d'espace*. Un panorama encyclopédique : histoire, présent et perspectives. Hermann, Paris, à paraître 2016.

Guichard H. (1975) *Interprétation des observations géodésiques et application au cas de la mission IGN en Équateur*. Bull Info IGN 30, 1975.

Lacombe H., Costabel P. (1988), *La figure de la Terre du XVIII^e siècle à l'ère spatiale*, Académie des Sciences, Gauthier-Villars, Paris, 1988.

Laigre J.-Y., Rond B., Vallée P., Marcel D., Le Pape M., Duquenne F. (2016) *La mission géodésique IGN en Équateur 1974-1976*. XYZ 146 15-26, 2016.

Levallois J.-J. (1988) *Mesurer la Terre. 300 ans de géodésie française*, Presse de l'ENPC.

Schiavon M. (2006) *Les officiers géodésiens du service géographique de l'armée et la mesure de l'arc de méridien de Quito (1901-1906)*. Histoire et mesure XXI-2, 2006.



Figure 4. Réseau DORIS



Figure 5. Station DORIS aux Galapagos

La tablette babylonienne Plimpton 322 : une table trigonométrique ?

■ Ghyslain FERRÉ

*De nombreux médias généralistes ou de vulgarisation scientifique ont récemment relayé une publication de chercheurs en mathématiques australiens sur une tablette babylonienne appelée Plimpton 322. L'article⁽¹⁾ intitulé "Plimpton 322 is Babylonian exact sexagesimal trigonometry" est paru dans la revue *Historia Mathematica*. Les auteurs, Daniel F. Mansfield et N.J. Wildberger de la School of Mathematics and Statistics, UNSW, Sydney, tendent à démontrer que les babyloniens maîtrisaient parfaitement la trigonométrie, outil de base des calculs topographiques, plus de mille ans avant les Grecs. Nous allons voir cependant que cela ne paraît pas si évident.*

La tablette Plimpton 322 (figure 1), datant de 1 800 avant J.-C., est en argile et conservée à l'université de Columbia à New York. Elle a fait l'objet de nombreuses études et publications depuis sa découverte en Irak au début du XX^e siècle et sa revente par l'archéologue et revendeur d'antiquités Edgar J. Banks (inspirateur du personnage d'Indiana Jones) dans les années 1920. Elle est écrite en style cunéiforme et sa traduction⁽²⁾ est due au mathématicien autrichien Otto Neubauer et son associé Abraham Sachs en 1945. Elle est une des très nombreuses tablettes babyloniennes dont le contenu traite de mathématiques.

Plusieurs interprétations toujours débattues par les spécialistes ont été faites sur les objectifs de cette tablette qui contient une suite de nombres en base sexagésimale classés en 15 lignes et 4 colonnes. Ces nombres ont laissé perplexes nombre de mathématiciens pendant des décennies avant que l'on découvre que ceux-ci forment des "triplets pythagoriciens". Un triplet pythagorien est un triplet d'entiers naturels (x,y,z) tel que $x^2+y^2=z^2$. Le triplet pythagorien le plus connu et couramment utilisé par les topographes est (3, 4, 5). Les nombres des triplets de Plimpton 322 sont beaucoup plus grands comme,

par exemple, la première ligne avec le triplet (119, 120, 169).

La publication des mathématiciens australiens tente de démontrer une des interprétations de la tablette. Leurs dernières études révèlent que Plimpton 322 décrit les contours de triangles rectangles en utilisant un type de trigonométrie basé sur des rapports et non des angles et des cercles. Ainsi, la tablette serait la table trigonométrique la plus ancienne et la plus exacte du monde et aurait été utilisée pour calculer les proportions lors de constructions de temples, de palais et de canaux. Ces nouvelles conclusions montreraient que ce ne sont pas les Grecs, mais bien les Babyloniens, qui ont inventé la trigonométrie, avec un niveau d'élaboration non dévoilé jusqu'à nos jours.

Une table trigonométrique permet d'utiliser un rapport connu entre les côtés d'un triangle rectangle pour déterminer les autres rapports. Les 15 lignes de la tablette décrivent une séquence de 15 triangles rectangles dont l'inclinaison décroît régulièrement. Le bord gauche est cassé mais les chercheurs pensent que la tablette comportait initialement 6 colonnes et 38 lignes pour que la table soit complète. Ils démontrent ainsi comment ces anciens écrits, qui utilisent une base sexagésimale plutôt qu'une base décimale, ont pu avoir généré les nombres inscrits en utilisant leurs propres techniques mathématiques.



Figure 1. Tablette Plimpton 322

(1) Daniel F. Mansfield, N.J. Wildberger. – *Plimpton 322 is Babylonian exact sexagesimal trigonometry*. – *Historia Mathematica*, August 2017

(2) Otto Neugebauer et Abraham Sachs – *Mathematical Cuneiform Texts* – New Haven, American Oriental Society and the American Schools of Oriental Research, coll. "American Oriental Series" (no 29), 1945

Ça descend ou ça monte ?

La presse annonce le 14 septembre 2017 :

C'est la nouvelle mesure officielle du Mont-Blanc. Elle a été dévoilée ce jeudi 14 septembre 2017 par un collectif de géomètres-experts. Le toit de l'Europe culmine désormais à 4808,72 mètres. C'est 1 cm de moins que lors de la dernière mesure en 2015.

Ces phrases nous offrent trois récréations, une typographique, une autre géographique et une suivante statistique. Une dernière question

Farouk Kadded de Leica Geosystems, en action au sommet.

subsidaire a trait à l'équipement utilisé, voir le visuel. Nous attendons les réponses des lecteurs à info@aftopo.org avec l'objet "Récréation topographique". Correction et annonce des vainqueurs dans le XYZ 134 de mars 2018.

1. Trouver l'erreur typographique qui entache le sommet en question.
2. Trouver l'erreur géographique qui déshonore ce même sommet.
3. Quelle est la probabilité pour que le sommet soit monté (et non descendu de 1 cm) sachant que les précisions optimistes des mesures altimétriques sont estimées chacune à +/- 1 cm à 1 σ (68 % de probabilité) sans erreur systématique ? La même question est posée avec des précisions plus réalistes de +/- 2 cm à 1 σ . Donner les probabilités au % entier.
4. Question subsidiaire : pourquoi la canne porte-antenne n'est-elle pas verticale ?

Les chercheurs australiens proposent une alternative au point de vue généralement admis jusqu'alors que la tablette était une aide pour l'enseignement et la vérification des résultats des étudiants lors de la résolution d'équations du second degré. Pour eux, Plimpton 322 était un outil puissant qui a pu être utilisé pour les mesures d'arpentage de terrains ou les calculs de construction de palais, temples ou pyramides à étages.

L'astronome grec Hipparque (vers 120 avant J.-C.) a longtemps été considéré comme le père de la trigonométrie avec sa "table des cordes" dans un cercle, considérée comme la plus ancienne table trigonométrique. Selon les chercheurs australiens, la tablette Plimpton 322 qui précède Hipparque de plus de 1 000 ans ouvre de nouvelles perspectives non seulement pour la recherche mais également pour l'étude des mathématiques. Ils estiment ainsi que l'on dispose d'une trigonométrie plus simple et plus précise par rapport à celle que nous utilisons actuellement. Les tablettes babyloniennes recèlent des trésors inestimables mais seulement une petite partie d'entre elles ont été étudiées de nos jours. Pour les chercheurs australiens, le monde des mathématiques commence tout juste à prendre en compte le fait que cet héritage babylonien a beaucoup à nous apprendre.

La publication de ces chercheurs apparaît donc comme une interprétation de la tablette à partir de spéculations que certains spécialistes comme Christine Proust, chercheuse au CNRS et spécialiste française de l'étude de Plimpton 322⁽³⁾, estiment un peu hasardeuses. Cela nous montre cependant que des outils géométriques indispensables aux géomètres et topographes comme la trigonométrie ne sont pas obligatoirement des inventions de l'antiquité grecque mais qu'ils peuvent être beaucoup plus anciens. ●

(3) Christine Proust, *Trouver toutes les diagonales : Plimpton 322 : à la recherche des rectangles sexagésimaux, une version mésopotamienne de la recherche des "triplets pythagoriciens"*, CNRS - Images des mathématiques, 15 novembre 2015

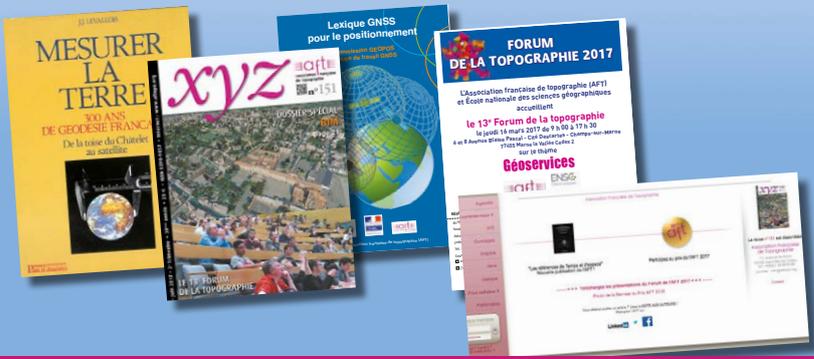
© Pascal Tournaire



• géomatique • topographie • SIG • géomatique •




POUR COMMUNIQUER PENSEZ À L'AFT
ANNONCES, BANNIÈRES, ÉVÉNEMENTS
 L'AFT rapproche tous les professionnels de la topographie
 et de la géomatique (producteurs, utilisateurs, enseignants...)



CONTACT : SAMUEL GUILLEMIN
Tél : 06 72 12 08 97 - Télécopie : 03 88 14 47 33
Courriel : communication@aftopo.org

• géomatique • topographie • SIG • géomatique •

• topométrie • cartographie • génie civil • histoire • géodésie

• photogrammétrie • géodésie • métrologie • hydrographie •

Jean-Paul Moscovino : la sculpture dans la peau

■ Jean-Pierre MAILLARD

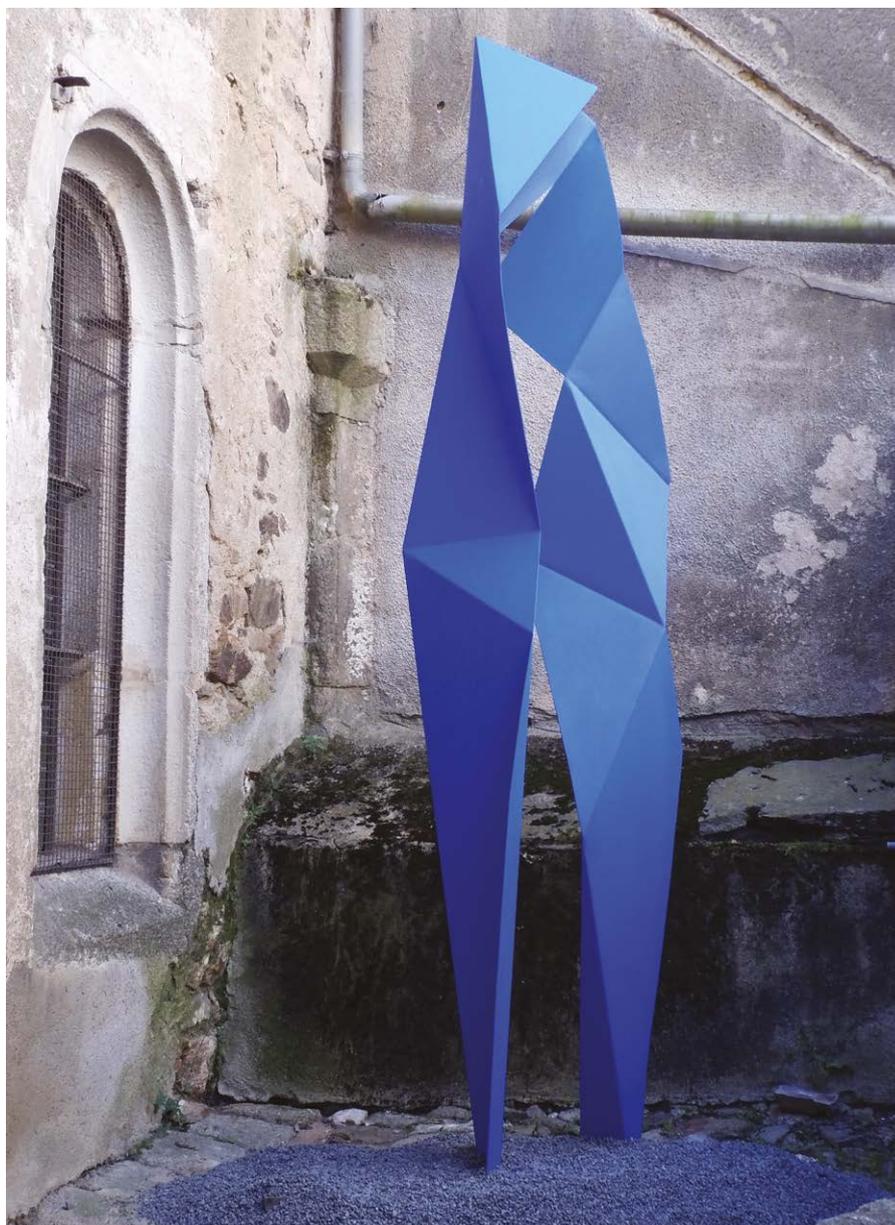
Dédiée au soulagement des rhumatismes la station thermale de Chaudes-Aigues, la seule du Cantal, possède des sources d'eau chaude naturelles dont la plus renommée, la source du Par, affiche une température de 82°C. Dans un paysage de moyenne montagne dominé par les bois et les forêts, le bourg s'identifie aussi par l'unité des constructions de pierre et des toits de lauzes, le chauffage par géothermie, l'inévitable casino des curistes pour soigner le portefeuille et un patrimoine rural attachant dans lequel on remarque la chapelle des Pénitents.

La chapelle des Pénitents

Construite au début du XVII^e siècle à l'entrée du faubourg de l'Hert, la chapelle servait les activités de la confrérie des Pénitents blancs du Gonfalon implantée à Chaudes-Aigues en 1595. Venue d'Italie, cette congrégation réunissait des laïques voués à la prière, aux bonnes œuvres et à la défense du monde catholique contre l'esprit de la Réforme. La confrérie a connu les vicissitudes de la Révolution et s'éteignit au début du XX^e siècle. Comme la plus belle trace de son existence on peut admirer dans la chapelle un magnifique retable restauré, de style baroque espagnol, porteur notamment d'une décoration chargée de couleurs éclatantes, de colonnes torsadées, de travées verticales superposées et de statues. Devenue propriété communale, la chapelle reçoit une vocation culturelle dont bénéficie l'association pour la promotion de l'art contemporain (CLAC).

Le CLAC

Membre de la fédération des réseaux et associations d'artistes plasticiens



Contre-jour

(FRAAP), animée par Laurent Bout, artiste plasticien, l'association CLAC fait valoir et soutient l'art contemporain dans toute sa diversité à Chaudes-Aigues et dans le département du Cantal. Ainsi la chapelle sert d'écrin à une ou deux expositions par an, des projets soutenus par la commune de Chaudes-Aigues, le département du Cantal et le Ministère de la culture au

travers de la direction régionale des affaires culturelles (DRAC) d'Auvergne-Rhône-Alpes.

Conscient de son rôle au service du développement culturel en milieu rural, l'association privilégie des expositions d'envergure nationale. A titre d'exemples, en 2014, le CLAC a programmé un salon des réalités nouvelles (SNR) "hors les murs" où il



a été plaisant d'admirer une photographie d'Adine Sagalyn (cf. XYZ n° 131). En 2015 les cimaises de la chapelle ont été réservées aux œuvres d'artistes aborigènes australiens reconnus sur la scène internationale et, en 2016, l'exposition a été consacrée à Pierre Alechinsky, artiste qui porte haut les couleurs de la Belgique, avec la présentation d'un ensemble exceptionnel d'estampes de très grand format. Chaque été les visiteurs sont ainsi des milliers à s'intéresser au passé et au présent de la chapelle en appréciant certainement l'opposition entre le retable flamboyant et des œuvres contemporaines le plus souvent minimalistes.

En 2017, le CLAC a fait la part belle aux Ombres sculptées de Jean-Paul Moscovino, un artiste bien connu du SNR, le phare de l'abstraction géométrique, qui se tient chaque année au parc floral de Paris.

Contre-jour

Le public visitant l'exposition 2017 était accueilli sur le pas de la porte par "Contre-jour", une sculpture couleur bleu sur aluminium de 2,80 m de haut. Même sans une imagination débordante, on peut trouver au totem un côté anthropomorphe, un homme en mouvement comme l'a pensé le sculpteur, voire une rencontre de deux silhouettes aux têtes aimablement inclinées l'une vers l'autre. Jean-Paul Moscovino utilise sa maîtrise du pliage pour interroger la surface des corps. Contre-jour, comme toutes ses sculptures, est élaborée à partir d'une seule feuille de couleur, un "matériau" qu'il découpe, courbe, plie et déplie dans sa recherche entre formes et contre-formes. Son expression rappelle l'origami, cet art du pliage extrême-oriental qui exprime bien le côté spatial de la géométrie.

Inter-version

La composition formelle de la pièce d'une hauteur de 35 cm procède du cubisme. L'artiste semble sculpter comme on joue avec une épiluchure pour reconstituer le fruit privé de sa peau. Cette ambiguïté du matériau



© J.-P. Moscovino

Inter-version

résume toute la magie et les interrogations du passage d'un monde à l'autre : la forme existe-t-elle grâce au plein ou grâce au vide ? Jean-Paul Moscovino explique que seule la pellicule de couleur peut témoigner de l'interaction de ces deux réalités. Et si l'artiste cherche ses repères dans la représentation de cette frontière, s'il découpe et plie pour retrouver la troisième dimension, l'épaisseur de toute chose, les thèmes abordés sont toujours figuratifs : le corps reste le premier objet de sa recherche. Jean-Paul Moscovino voit la vie ainsi faite d'équilibres amoureux entre matériel et spirituel, visible et invisible, fini et infini...

Pour le créateur, la couleur bleu crée la distance et génère l'illusion d'optique. Elle a un pouvoir d'éloignement indéniable pendant que les éclairages intervenant en permanence sur les différentes faces des sculptures changent leur mise en perspective et simulent d'autres espaces.

Jean-Paul Moscovino

Né en 1947 à Paris il a suivi des études de dessin classique, exploré différentes techniques : aquarelle, taille douce, sérigraphie avant d'aborder la sculpture en s'intéressant seulement à la surface et à la couleur. Il travaille dans le Loiret et à Paris. Ses œuvres sont présentes en galeries, et le plus souvent en extérieur pour animer parcs, jardins espaces

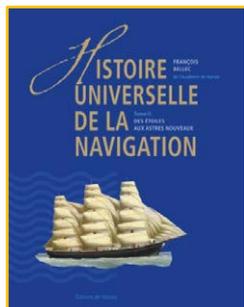
publics. Nombreuses sont les expositions personnelles et de groupes auxquelles il a participé.

Ses recherches tournent autour de la limite entre le figuratif et l'abstrait. Il dessine d'abord des formes figuratives, corps de femme le plus souvent, et les édulcore jusqu'à ce que leur signification soit de moins en moins explicite. Jean-Paul Moscovino précise : *"Le volume a commencé à me passionner dans les années 70 et j'ai d'emblée coloré mes sculptures en faisant abstraction de la matière et de la masse : c'est la surface que je vois et c'est elle que je travaille... C'est la sensation de volume qui me fascine, la densité et l'espace que produisent les couleurs utilisées."* En pratiquant la sérigraphie l'artiste a aussi trouvé le plaisir de la couleur quand elle est étalée en nappe sur la toile nylon, une technique qui la rend recto-verso, suspendue et éphémère avant d'être transférée sur le support définitif.

Une sculpture mérite toujours que l'on tourne autour d'elle pour profiter de multiples points de vue, quelquefois jusqu'à en être surpris. Avec ses Ombres sculptées, Jean-Paul Moscovino offre un plus puisque l'on peut presque entrer dans les œuvres, sa recherche particulière prouve qu'il a eu raison, si l'on ose dire, de creuser. ●

The Square

De façon inattendue, l'art et la géométrie ont été le sujet d'un film et, encore plus exceptionnel, celui-ci a obtenu la Palme d'or du Festival de Cannes en 2017. Réalisé par Ruben Ostlund, The square baigne dans le milieu artistique en faisant vivre les mésaventures du personnage central, le conservateur apprécié d'un musée d'art contemporain. Celui-ci s'emploie à promouvoir une œuvre, "Le carré", voulue par sa créatrice comme un sanctuaire de confiance et de bienveillance, dans lequel tout un chacun a les mêmes droits et les mêmes devoirs. Dans sa quête philosophique Platon, qui mit en exergue "Nul n'entre ici s'il n'est géomètre" à l'entrée de son académie, a trouvé en Ruben Ostlund un soutien supplémentaire dans l'approche "sciences humaines de la géométrie".



■ Histoire universelle de la navigation Tome 2, des étoiles aux astres nouveaux - Le souffle d'une épopée humaine, la rigueur d'une aventure scientifique

François BELLEC

Prenant le relais des conquérants portugais, les nations du nord de l'Europe s'engouffrèrent à leur tour sur la route des Indes pour y bâtir, grâce à leurs puissantes compagnies, les bases du capitalisme moderne. D'autres arpenteurs sillonnaient des océans de plus en plus lointains et gagnaient parfois la gloire en laissant leur nom à une terre, un détroit, une péninsule. Dans leur sillage se profilaient déjà les navigateurs scientifiques du XVIII^e siècle. Certains, comme Bougainville, crurent trouver à l'autre bout du monde le paradis sur Terre. Cook, Lapérouse et tant d'autres y connurent leur enfer, entrant à jamais dans les encyclopédies au siècle même qui les inventa. La plupart contribuèrent avec modestie à l'inventaire des peuples, des sciences naturelles et de la géographie. Dans les ateliers des villes européennes, stimulés par le Longitude Act de 1714, des chasseurs de prime tentaient de vaincre l'insupportable problème de la longitude. Hommage aux calculs des savants et astronomes, aux savoir-faire des mécaniciens et instrumentistes, aux horlogers, enfin, qui, tentant de domestiquer le temps, inventèrent le chronomètre... et la longitude fut ! Anglais et Français, si souvent ennemis sur les mers, s'associèrent dans ces nouvelles sciences. Les navigateurs peaufinèrent l'image du monde avec la complicité des hydrographes et des cartographes, puis des météorologistes et des océanographes. Les découvertes majeures du XIX^e siècle – électricité, radiotélégraphie – amenèrent des inventions qui rendirent chaque jour plus sûr le métier de marin jusqu'à l'heure des satellites. Ce second tome de l'Histoire universelle de la navigation clôt deux millénaires de courage, d'utopie, d'obstination et

d'intelligence. C'est à la fois le souffle d'une épopée humaine et la rigueur d'une aventure scientifique qui sont ici contés avec brio et portés par une remarquable iconographie, plus de 750 illustrations.

L'auteur de ce livre met en valeur l'histoire de la navigation en 3 parties détaillées en :

- I - Les marchands au long cours :
Le vent du Nord - *The art of navigation* - Der Zeevaerdt - L'art de naviguer.
- II - le siècle de la longitude :
Les arpenteurs du monde
Les frémissements du grand œuvre
Archéologie de la longitude
Les quatre lunes de Jupiter
Le pari gagné des astronomes
L'obstination féconde des mécaniciens
L'océan domestiqué.
- III - Le temps de l'aventure (presque) exact : Apologie de la droite de hauteur - Le coup de jeune de la carte marine - Le nouvel âge de fer - Dialogues du vent et de la mer - La révolution douce de l'électricité - Des astres nouveaux dans le ciel - La navigation globale.

Belles réussites de cet imposant ouvrage.

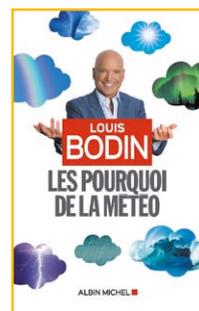
Le contre-amiral François Bellec a parcouru toutes les mers avant de prendre la direction du Musée national de la Marine de 1980 à 1997, il a publié une vingtaine d'ouvrages, dont trois romans, et collaboré à une trentaine de livres français et étrangers dont The Oxford Encyclopedia of Maritime History (NY-USA). Il est membre de l'Académie de marine qu'il a présidée et de nombreuses autres académies (voir d'autres informations dans la revue XYZ n° 151 - page 78).

► EDITIONS DE MONZA
69 € - 512 pages
ISBN : 978-2-916231-44-0

■ Les pourquoi de la météo

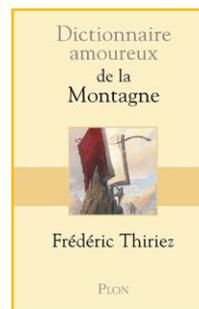
Louis BODIN

D'où vient le vent ? Pourquoi le ciel est bleu ? - Quelles sont les influences de la Lune sur le climat ? - Que devient la foudre quand elle tombe en pleine mer ? - Pourquoi la neige est-elle blanche ? - Pourquoi peut-on observer les arcs-en-ciel après la pluie ? - Pourquoi fait-il plus froid en altitude ? - Pourquoi dit-on "Noël au balcon, Pâques au tison" ? - Pourquoi glisse-t-on sur du verglas ? - Pourquoi y a-t-il des giboulées en mars ? - Pourquoi la Loire coupe-t-elle la France en deux ? - Pourquoi les grenouilles



prévoient-elles le temps ? Nous nous posons tous mille questions sur le climat, la météo, les manifestations "célestes"... Rares sont les personnes capables d'apporter des réponses claires à ces interrogations. Louis Bodin, le Monsieur Météo de TF1, est de ceux-là. Avec une écriture claire, vive et énergique, ses explications ciselées pour le grand public s'appuient sur des illustrations originales et attrayantes. Louis Bodin nous offre un livre aussi passionnant qu'instructif. *Louis Bodin est ingénieur-prévisionniste et responsable du service météo de TF1. Depuis 2002, il assure chaque matin le bulletin du jour sur RTL. Son précédent ouvrage (Quand la météo fait l'histoire, 2015) a révélé un véritable auteur.*

► ALBIN MICHEL - 18 € - 246 pages
ISBN : 978-2-226-39617-4



■ Dictionnaire amoureux de la montagne

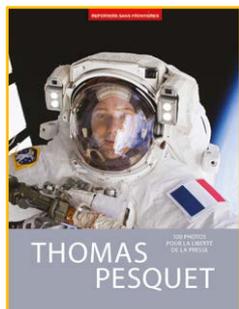
Frédéric THIRIEZ

"A quoi tient l'amour des montagnes ? Formidable terrain de jeu et d'émotions, la montagne réveille l'enfant qui est en nous. Pourquoi y allons-nous, au prix d'efforts toujours, de souffrances souvent et, pour certains mêmes, de leur vie ? "Parce qu'elle est là", disait l'inoubliable amoureux de l'Everest, Georges Mallory. Jolie échappatoire, qui mériterait d'être complétée par un "parce que je suis là" ! Tant il est vrai que l'on n'escalade jamais que sa montagne intérieure. Ce dictionnaire de 219 mots est une déclaration d'amour... aux montagnes, ces vagues immobiles, ces cathédrales de la terre, un hommage passionné aux hommes et aux femmes

qui y ont laissé leurs empreintes et y ont consacré toute leur âme. Sans l'homme, les montagnes ne seraient que des accidents géologiques, grandioses certes, mais immobiles et muets. Sans les montagnes, l'homme serait privé de ses rêves les plus essentiels... Belle promenade !" (FT)
 L'auteur **Frédéric Thiriez**, avocat au Conseil d'État et à la Cour de cassation, ancien maître des requêtes au Conseil d'État, a présidé la Ligue nationale de football pendant quatorze ans. La montagne est son autre passion. Alpiniste, skieur, randonneur depuis ses plus jeunes années, il a notamment participé à l'expédition Hidden Peak 84 avec **Pierre Mazeaud** et conduit, avec **Marc Batard**, l'expédition "Fraternité" avec onze jeunes de banlieues au sommet du Kala Pattar, près de l'Everest.

Dessin d'Alain Bouldouyre

► **PLON 27 € - 1024 pages**
ISBN : 978-2-259-22949-4



■ 100 photos pour la liberté de la presse

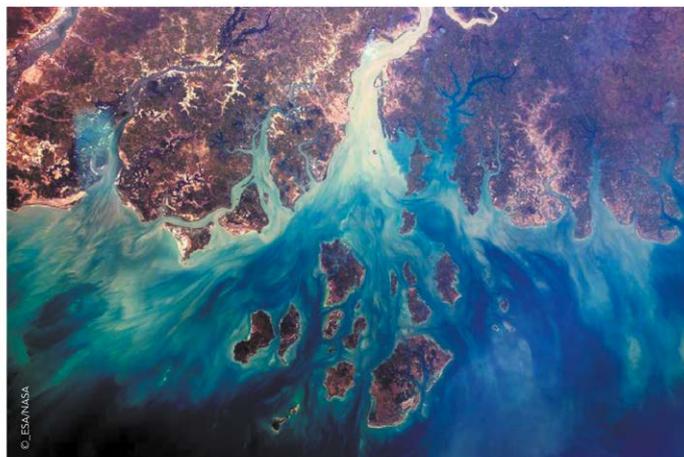
L'astronaute Thomas PESQUET

Le 17 novembre 2017, Thomas Pesquet, plus jeune astronaute européen (38 ans), a décollé de la Terre pour rejoindre la Station spatiale internationale (ISS) dans le cadre de la mission Proxima. Curieux nom pour une aventure orbitale. L'étoile Proxima Centauri est à la fois très éloignée (4,2 années-lumière, 40 000 milliards de km) et la plus proche de nous. Pendant six mois, depuis son point de vue imprenable, 400 km au-dessus de nos têtes, ses somptueuses photos publiées sur les réseaux sociaux nous ont fait rêver.

Ce portfolio présente les plus incroyables images : des métropoles éclatant de mille feux nocturnes aux plateaux rouge vif éblouis de soleil, sur le même cliché l'Égypte, le désert du Sinaï et la mer Rouge. Il a aussi saisi notre planète, des villes oasis et d'incroyables effets de couleur sur l'eau du delta du Saloum au Sénégal. Comment rester insensible aux rêves d'enfants et à l'humanité en action de ce reporter de l'espace ? Des textes inédits explicitent et saluent

« Je me dis que ces photos là ont peut-être déclenché quelque chose. Elles sont belles, parce que la Terre l'est, mais ce sont aussi des photos qui font réfléchir, qui interpellent sur la fragilité de notre environnement. » Thomas Pesquet

→ Incroyables effets de couleur sur l'eau du delta du Saloum au Sénégal. Dire qu'avec l'élévation du niveau de la mer, ces îles et leurs habitants subissent déjà les dégâts du réchauffement climatique...



son travail, signés Michel Onfray, philosophe et essayiste, Claude Onesta, ancien entraîneur de l'équipe de France de handball, Claudie Haigneré, spationaute et femme politique, et Dominique Simonnet, journaliste et écrivain.

L'auteur, ingénieur de l'École nationale supérieure de l'aéronautique et de l'espace de Toulouse (Supaéro) a été ingénieur au Centre national d'études spatiales (CNES) et pilote d'Airbus A320 pour Air France. En 2009, il est sélectionné parmi 6 candidats sur 8400 à entrer à l'ESA pour former le troisième groupe d'astronautes européens. De 2010 à 2016, il participe à un long programme d'entraînement et d'apprentissage pour préparer sa future mission à bord de la Station spatiale internationale.

► **REPORTERS SANS FRONTIÈRES**
N° 55 avec le soutien de ESA
9,90 € - 144 pages
ISBN : 978-2-36220-046-5

■ La révolution des exoplanètes

James LEQUEUX, Thérèse ENCRENAZ et Fabienne CASOLI

Parmi les grandes découvertes astronomiques du siècle dernier, la plus retentissante aux yeux du grand public a sans doute été celle d'une planète autour d'une étoile autre que le soleil découverte en 1995. A dire vrai, on s'attendait à ce qu'une telle découverte ait lieu un jour, car il n'y



avait aucune raison pour que le Système solaire soit le seul de son espèce. Plus de 3 500 exoplanètes ont été découvertes aujourd'hui. Tout ceci a remis en question les idées que nous avons sur la naissance et l'évolution des systèmes planétaires. Cet ouvrage fait le point sur les avancées actuelles dans la recherche, la formation et la caractérisation de ces planètes.

► **EDPSciences**
29 € - 224 pages
ISBN : 978-2-7598-2111-2

■ La mobilité internationale des salariés - Définition du cadre Mise en œuvre du transfert Aspects pratiques

Isabelle DESMIDT

Les pratiques de mobilité internationale des entreprises sont en constante évolution. Et aujourd'hui, les services RH ont pour objectif de construire des packages de mobilité conformes aux politiques et législations mouvantes des pays d'accueil.



L'enjeu ? Sécuriser la mission du salarié, afin que sa période de travail à l'étranger se déroule dans les meilleures conditions. Dans quel cadre envisager l'envoi d'un salarié à l'étranger ? Comment définir la mission et son contexte ? Quelles sont les formalités à accomplir ? Comment élaborer un "package de mobilité", organiser le départ et effectuer le transfert ? Et le retour en France ? Construit autour des 10 étapes essentielles du transfert international, agrémenté d'outils immédiatement opérationnels, ce véritable guide pratique délivre tous les conseils utiles pour accompagner dans la gestion des dossiers de mobilité.

Isabelle Desmidt est chargée de mobilité internationale dans une entreprise et a été consultante en politique RH de développement international.

► GERESO
20 € - 125 pages
ISBN : 978-2-35953-508-2



■ **L'énergie de la Terre**
De Patrick De Wever et Hervé Martin

La Terre est une planète active dont la puissance du dynamisme impressionnera toujours les humains. L'érection des chaînes de montagnes, le volcanisme, les

tremblements de terre, l'érosion, les courants marins, le climat... sont autant de mécanismes résultant de transferts d'énergies, que celles-ci soient internes ou externes (le Soleil). Les interactions entre ces dernières ont déterminé les caractéristiques de notre planète, en ont régi l'évolution et permis l'émergence de la Vie.

► EDPsciences - 12 € - 112 pages
ISBN : 978-2-7598-2104-4



■ **Quelle croissance pour un monde fini ?**

De Guy Deutscher

De tout temps des hommes ont quitté leur pays, leur maison natale, pour aller ailleurs, s'y multiplier et coloniser un nouvel espace. L'homme s'en va pour échapper à la finitude de son environnement. Le but de cet ouvrage est précisément d'essayer d'éclairer ce qu'il faut comprendre par finitude et croissance dans le contexte actuel. La croissance est en effet une propriété fondamentale du vivant et il ne faut donc pas s'étonner que l'annonce de sa fin inéluctable soit vécue par nos sociétés comme arrêt de mort. Malheureusement nos sociétés ne peuvent vivre qu'aux dépens de l'environnement et ce que l'on appelle en économie "croissance" n'est en réalité rien d'autre qu'une exploitation croissante de l'environnement, souvent appelée développement, qui est à terme intenable dans sa forme actuelle. Un changement de paradigme est donc nécessaire.

► EDPsciences - 18 € - 152 pages
ISBN : 978-2-7598-1981-2



■ **Dictionnaire de droit foncier et de géomatique**

De Mélanie PAINCHAUX

Le laboratoire de recherche Géomatique et Foncier (GeF) édite un nouveau dictionnaire, aux éditions Le Moniteur, sous la direction de Mélanie Painchaux, maître de conférence HDR en droit privé de l'immobilier. Ce dictionnaire regroupe en un seul ouvrage les disciplines du droit foncier et de la géomatique ce qui permet ainsi d'appréhender l'ensemble des règles, physiques ou juridiques, définissant chaque espace. Composé de plus de 350 entrées, il est à la fois théorique et pratique, à visée scientifique et juridique. Les mots sélectionnés exposent les concepts indispensables aux deux domaines et les procédures applicables.

Ce dictionnaire est le premier ouvrage à traiter conjointement de ces questions, il s'adresse tant aux géomètres-experts, aux spécialistes en système d'information géographique (SIG) ou en traitement des données, aux techniciens cartographes, qu'aux juristes, experts et professionnels du droit et de l'immobilier. Il est également un outil précieux pour les universitaires et étudiants souhaitant aborder la question de l'étude du terrain en France.

► Le Moniteur Éditions - 64 € - 500 pages
ISBN : 978-2-281-13284-7

ERRATUM

ANR GEODESIE : le nom du site Internet est geodesie-anr.ign.fr et non geodesie_anr.ign.fr, comme annoncé dans dans le numéro XYZ 152, page 45, rubrique "Nous suivre".

RÉPERTOIRE DES ANNONCEURS - N° 153

| | | | | | |
|---------|-------------------------|--------------|----|---------|---|
| COVADIS | 4 ^e de couv. | LEICA | 2 | SPECTRA | 4 |
| HÉLICÉO | 3 ^e de couv. | REIS STOLZEL | 22 | TRIMBLE | 1 |

Le drone photogrammétrique

L'indispensable des professionnels de la mesure

Le monde de la topographie est bouleversé par des avancées technologiques de plus en plus déterminantes. Aujourd'hui, les drones professionnels sont devenus incontournables pour la réalisation de missions photogrammétriques. Exhaustivité, rapidité et sécurité sont les maîtres mots de cette évolution.

Hélicéo réalise un relevé photogrammétrique de l'hôtel de ville de Béthune

Mardi 17 octobre, la ville de Béthune a sollicité **Hélicéo** pour effectuer un vol de drone au-dessus de la mairie. Cette start-up nantaise, spécialisée dans l'univers de la géomatique, propose des outils de mobile mapping innovants pour la mesure de précision aux géomètres, topographes et cartographes. Tous les produits sont conçus en interne et distribués en France et à l'international. L'entreprise réalise régulièrement des levés topographiques pour le compte de ses clients.

L'objectif de la mission drone de Béthune est de dresser un diagnostic sanitaire de l'hôtel de ville en prévision d'éventuels travaux grâce à la création d'une miniature imprimée en 3D du bâtiment. Avant l'été, un scanner terrestre de la façade a été réalisé à l'aide d'un LiDAR. Les données des beffrois extérieurs et intérieurs ont donc pu être récupérées, mais pas celles de la toiture. La photogrammétrie par drone est donc l'unique moyen de compléter la mission et d'établir un réel état des lieux de l'établissement. Allier le relevé terrestre et le relevé aérien est la solution parfaite pour obtenir une reconstitution 3D très précise.

Deux vols automatiques ont été effectués à l'aide d'un drone multi-rotors

Laurent Tavernier, Ingénieur géomatique chez Hélicéo, est intervenu pour récupérer les données de la toiture. Le pilote professionnel a utilisé le drone multi-rotors Fox4 équipé de la DroneBox RTK, solution Plug & Play développée par l'entreprise. La totalité de la trajectoire de l'appareil a été planifiée sur un logiciel de programmation de vol automatique.

Avant tout, au regard de la législation drone en vigueur en France, un périmètre de sécurité a été établi autour de l'hôtel de ville, et une déclaration à l'aviation civile a été effectuée. L'ingénieur a donc réalisé deux vols en mode automatique autour du bâtiment pour récolter le plus d'informations possible. Le premier est un vol Nadir en croisée qui est effectué à 80 mètres du sol. L'appareil photo est donc positionné en direction verticale descendante. Le second est un vol oblique réalisé à deux altitudes différentes (60 mètres et 70 mètres) afin d'obtenir un meilleur point de vue. Toutes les photos prises par le drone sont ensuite traitées par le logiciel photogrammétrique Pix4D. Grâce à la technique du recouvrement 80%/60%, les images capturées se chevauchent entre elles et un nuage de points complet du bâtiment est constitué. La restitution exacte de l'hôtel de ville est donc représentée en 3D.

Grâce à ce relevé photogrammétrique, la ville de Béthune a gagné un temps considérable dans l'acquisition des données sur le terrain ainsi qu'une meilleure connaissance de la superficie du bâtiment, même des endroits les plus inaccessibles. De nombreuses applications pourront donc être mises en oeuvre suite au traitement de la mission.



Nouvelle version 16

Obtenez les outils BIM
pour vos projets
d'aujourd'hui et de demain...

GEOMEDIA SAS
Immeuble "La Vigie" - 20, quai Malbert - CS 42 905 29 229 BREST Cedex 2 - France
Tél. 02 98 46 38 39 - Fax 02 98 46 46 64
E-mail : contact@geo-media.com - Site Web : www.geo-media.com

© 1993-2017 GEOMEDIA S.A.S. : COVADIS est une marque déposée de GEOMEDIA S.A.S.
Tous les autres noms de produits cités sont des marques déposées de leurs propriétaires respectifs.

 **AUTODESK**
Gold Partner
Architecture, Engineering & Construction