

Pré-estimation et analyse
de la précision pour
la cartographie par drone
page 23

Genève 1850, du plan-relief Magnin à la visite virtuelle

page 29

Le nouveau drone TOPCON : INTEL Falcon 8+ Edition TOPCON

S'appuyant sur le succès du très célèbre Topcon Falcon 8, le drone « INTEL Falcon 8+ Edition TOPCON » est une nouvelle génération de drones professionnels dédiés aux applications d'inspections structurelles et de photogrammétrie. Avec une conception avancée et brevetée unique en forme de V, ce drone offre un niveau de sécurité et de fiabilité inégalable ainsi qu'une très grande résistance aux aléas extérieurs.

Fiabilité à toute épreuve

Le drone « INTEL Falcon 8+ Edition TOPCON » est conçu pour atteindre un niveau de sécurité et de fiabilité sans égal grâce notamment à la redondance de l'ensemble de ses composants vitaux. Les unités de contrôle « AscTec Trinity » se composent de 3 centrales inertielles qui se contrôlent mutuellement pour donner la position, les attitudes et orientations du drone pour une meilleure réactivité et stabilité pendant les vols. Des redondances supplémentaires sont aussi implémentées sur les communications, les batteries (doubles batteries indépendantes et intelligentes) sans oublier ses 8 moteurs (octocoptère) qui lui garantissent de rester en vol même en cas de panne de plusieurs moteurs.



Grande résistance aux perturbations extérieures

Avec un poids max au décollage de 2.8 kg et une autonomie pouvant atteindre 18 minutes, le drone « INTEL Falcon 8+ Edition TOPCON » est conçu pour vous garantir des vols stables et fiables surtout dans les environnements contraints. Si vous travaillez dans les zones à faible couverture GPS, sur des terrains avec beaucoup de vent (zone de haute montagne) ou en présence d'interférences d'ordre électromagnétique (inspection de lignes et postes électriques), le drone « INTEL Falcon 8+ Edition TOPCON » est l'outil qu'il vous faut.

Précision et exhaustivité des données

Grâce à son appareil photo professionnel (36 M pixels), le drone « INTEL Falcon 8+ Edition TOPCON » fournit des données très détaillées garantissant la qualité de vos ortho photographies et modèles 3D avec une résolution millimétrique du pixel au sol. Sa conception en forme de V aide à assurer une collecte sur une amplitude de 180° qui va du zénith au nadir. Ce qui est très utile et pratique pour toutes les applications d'inspection de ponts, d'éoliennes et plateformes pétrolières où il faut très souvent aller inspecter des zones proches du zénith.

Contrôleur : INTEL Cockpit

Le « Intel Cockpit Controller » est la télécommande principale pour télépiloter le drone « INTEL Falcon8+ Edition TOPCON ». Cette télécommande est équipée d'un concept innovant de Joystick qui permet de manipuler le drone avec une seule main. En plus, elle est équipée d'une tablette tactile avec une résolution de plus de 1080px pour un confort d'utilisation optimal. Il est également possible de programmer grâce à cette télécommande, un plan de vol rapide et automatique sans l'utilisation d'un ordinateur sur le terrain.



Logiciels de planification et de traitement performants

« AscTecNavigator » est le logiciel de planification de vol associé au drone « INTEL Falcon 8+ Edition TOPCON ». En plus de la planification de plans de vols classiques, il permet une planification automatique pour collecter des images d'inspection et de photogrammétrie sur les plans verticaux.

« Topcon ContextCapture » est le logiciel de traitement photogrammétrique (développé par Bentley) qui va permettre de transformer de manière simple, détaillée et précise les photos collectées en maillage 3D texturé, nuage de points, orthophotographies, etc. En plus, l'utilisateur peut rééchantillonner les données à exporter vers l'ensemble des logiciels métiers sur le marché.



Pour plus de renseignements : Tel +33 (0)3 85 51 98 00

advtopo@topcon.com

Visitez notre site internet :

<https://www.topconpositioning.com/fr-fr/aerial-mapping-mass-data-collection/aerial-mapping/intel-falcon-8-plus-drone-topcon-edition>

SOMMAIRE

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

2^e trimestre 2018 ISSN 0290-9057

Tirage de ce numéro : 1 600 ex

Abonnement annuel

France : 90 €

Étranger (dont CEE) : 93 €

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 : 25 €

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 : rendu haute définition du modèle 3D Genève 1850.
© Association gE-Story / Ville de Genève

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 3

InfoTopo

> Les informations de la profession 5

Vie de la profession

> Le différend entre la CSNGT et l'OGÉ devant l'Autorité de la concurrence
Jean-Pierre MAILLARD 10

Manifestation

> Assemblée générale de la section géodésie du CNFGG
Bernard FLACELIÈRE 11

> Journées de la Topographie 2018 : le géomètre, garant de la maquette numérique ? 12

> La Fédération des géomètres francophones à Lomé (Togo) - Le rôle du géomètre dans les objectifs de développement durable
Bernard FLACELIÈRE 13

> La géomatique dépassée par ses usages : quelles bonnes pratiques pour demain ?
Jean-Pierre MAILLARD 13

> 14^e forum de la topographie
Bernard FLACELIÈRE - Jean-Pierre MAILLARD 15

> Forum de l'AFT - Préparation de la compétition internationale de localisation intérieure IPIN : cartographie de parcours piétons
Valérie RENAUDIN - Nicolas MOREAU
Antoine BILLEY - Alexandre LAMBLIN
Jasper VOS - Johan PERUL - Miguel ORTIZ 17

Photogrammétrie

> Pré-estimation et analyse de la précision pour la cartographie par drone
Laurent Valentin JOSPIN 23

Patrimoine



> Genève 1850, du plan-relief Magnin à la visite virtuelle
David DESBUISSON - Christian HALLER
Pierre-Alain LINDEMAN - Pierre André MAGNIN
Thierry SANGOUARD 29

Navigation



> Navigation hybride en couplage serré associant amers célestes et terrestres par la méthode du Plan des Sommets
Yves ROBIN-JOUAN 37

Géodésie

> Extension de fuseau de la projection de Mercator Transverse - Application au réseau géodésique primordial Algérien
Bachir GOURINE - Abdesselam DAOUADI
Hebib TAIBI - Ali BENAHMED DAHO
Mohamed PACHA 45

Cadastre

> Cartographie pour la réflexion sur un périmètre à irriguer dans le Sud Kivu
Anne GIRARDIN - Frank PICHEL 60

Art et géométrie

> Chen Zhen : Danse de la fontaine émergente
Jean-Pierre MAILLARD 68

Ouvrages

André BAILLY 70

GSF

> La culture est toujours une forme de réponse au repli identitaire, à l'extrémisme, voire à l'obscurantisme - Petite contribution de GSF entre technique et culture
Claire GALPIN 72

Pour la recherche de nos annonceurs consulter la page 71

PROCHAIN XYZ - n° 156
Scanner laser mobile sur bateau : méthode de comparaison de nuages de points 3D pour caractériser les éboulements

Le nouveau Leica GS18T

Essayez le mobile GNSS le plus rapide
au monde



Gagnez du temps sans verticaliser la canne et mesurez l'inaccessible.

Leica Geosystems SAS
www.leica-geosystems.fr



- when it has to be **right**

Leica
Geosystems

© Copyright 2016 Leica Geosystems. All rights reserved.





Parlez-vous français ?

En 1978, la création de l'AFT a été motivée notamment pour porter une représentation professionnelle nationale supplémentaire au sein de la fédération internationale des géomètres (FIG)*, car l'ordre des géomètres-experts (OGE) était alors la seule organisation française membre de la FIG. Si la place de l'OGE au sein de la FIG allait (et va toujours) de soi, il était utile d'associer tout autant les géomètres et topographes français exerçant leur métier hors du champ ordinal.

C'est pourquoi l'association est adhérente à l'organisation non gouvernementale (ONG), sa demande ayant été agréée en 1999. Sans doute trop modestement, elle participe à ses travaux quand bien même, il faut le rappeler, l'OGE et l'AFT ont accueilli au pied levé en 2003, à Paris et Marne-la-Vallée la *Working Week* annuelle de la FIG.

En 1878 les fondateurs de la FIG avaient retenu l'anglais, l'allemand et le français comme langues officielles. En 1998, sans résistance, les deux dernières ont dû s'effacer devant l'anglais. Par réaction, des locuteurs du français ont trouvé nécessaire de se retrouver dans la fédération des géomètres francophones (FGF), aujourd'hui 27 membres, qui a été fondée en 2005 à Rabat (Maroc). En revanche, dans un esprit de coopération, le lien avec la FIG a été conservé en particulier pour animer des forums régionaux, des rencontres professionnelles et permettre échanges et information mutuelle. Ainsi les manifestations de la FIG sont autant de dénominateurs communs pour les participants et intervenants francophones, le plus souvent adhérents de la FIG et de la FGF en même temps. La concertation entre les deux fédérations permet des synergies et la notable satisfaction, cette année encore au XXVI^e congrès de la FIG à Istanbul, d'une offre de deux sessions en français.

Dans ces conditions, les géomètres qui ne maîtrisent pas suffisamment la langue de Shakespeare et encore moins les accents des locuteurs étrangers s'exprimant en anglais n'ont pas à craindre un isolement linguistique majeur. Au contraire, leur présence sert la francophonie et montre la vivacité du français.

Le 11 mai 2018 le congrès d'Istanbul a élu le président de la FIG pour la période 2019-2022. Au terme d'une véritable campagne électorale avec tee-shirts et stylos dédiés au soutien à candidature l'Allemand Rudolf Staiger, actuel vice-président de la FIG, s'est imposé aux dépens du Néo-Zélandais Brian Coutts, président de la commission 1. Tout en le félicitant, l'AFT se réjouit de l'élection de Rudolf Staiger d'autant qu'il parle un bon français, certainement approfondi à l'école nationale des sciences géographiques (ENSG) où il a suivi un enseignement. L'AFT veut croire que sa considération pour la langue de Molière est un gage du retour du français à une plus juste place dans l'expression de la FIG et se réjouirait de l'ouverture d'une troisième session en français lors de la *Working Week* 2019 à Hanoï en espérant des présentations à haut contenu technique.

Jean-Pierre MAILLARD

N. B. : le n° 156 d'XYZ contiendra un compte-rendu sur le congrès d'Istanbul.

(*) prononcer "effeaidedji"

Trimble MX7

La cartographie mobile accroît l'efficacité et réduit les coûts



La ville d'Amsterdam a fait l'acquisition d'un **Trimble MX7** dans le but d'être indépendante et propriétaire de ses prises de vues. Son objectif était dans un premier temps de s'affranchir des coûts récurrents liés aux prestataires de service ainsi que des contraintes liées à l'utilisation des données. L'urbanisme se développant rapidement, les données peuvent maintenant être mises à jour régulièrement. Amsterdam peut désormais capturer des images des rues en permanence et ainsi avoir une vision claire des nouveaux projets de construction lors de l'évaluation des biens immobiliers. Pour les archives de la ville, ces images sont particulièrement utiles car elles offrent une vue d'ensemble de toute la ville année après année.

Les pompiers et ambulanciers utilisent ces images pour avoir un aperçu des lieux avant leur arrivée, ce qui leur permet d'agir plus rapidement et de réduire leur temps de réponse. Le MX7 est également monté sur un bateau pour couvrir les canaux d'Amsterdam. Grâce à cette installation, il est possible de surveiller l'état des berges et d'être plus réactif si des travaux de maintenance sont nécessaires. Il est prévu d'utiliser le MX7 pour la gestion d'actifs situés dans l'espace public. Les images sont exploitées pour créer des nuages de points afin d'obtenir un modèle 3D de la ville. L'utilisation du MX7 a permis l'embauche de trois personnes tout en permettant de réaliser des économies.

Le **Trimble MX7** est une nouvelle solution de **Mobile Mapping** de haute productivité destinée à la collecte de données terrain. Cette solution se compose d'un système de prise de vues à 360° associé à un récepteur GNSS centimétrique et une centrale inertielle. C'est un moyen rapide et économique de gérer du mobilier urbain tels que les ponts, les panneaux de signalisation, les installations de voirie, les bâtiments, les routes, les autoroutes (...), et de documenter les conditions du site avec des images géoréférencées.



- Installation rapide en quelques minutes sur n'importe quel type de véhicule (voiture, bateau, quad...)
- Acquisition automatique d'images géoréférencées à 360 degrés
- Récepteur GNSS de haute précision intégré
- Centrale inertielle et odomètre permettant de travailler dans des environnements difficiles et de conserver une haute précision
- Utilisation avec les logiciels **Trimble Mobile Imaging Capture** et **Trimble MX**
- Extraction des données en X,Y, Z avec saisie de données attributaires
- Mesures directes sur les images : surface de panneau publicitaire, hauteur de mâts, mesure de façades...

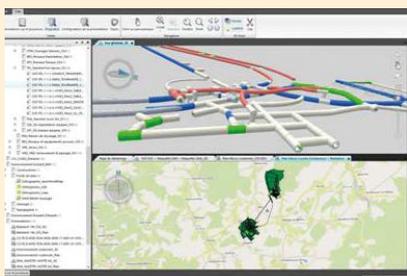


D3E Electronique

Parc du grand Troyes, 3 rond-point Winston Churchill
CS70055
10302 Sainte Savine Cedex

03.25.71.31.54 / gps@d3e.fr / www.d3e.fr/gps/gps.html

■ L'ANDRA sélectionne la solution Vianova de Trimble



L'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (www.andra.fr) a sélectionné les solutions de plateforme collaborative BIM Infrastructure Novapoint/Quadri distribuées par Vianova Systems France Groupe Trimble pour la mise en place d'un modèle numérique de synthèse générale du projet d'enfouissement CIGEO. Ce projet implique de nombreuses installations de surface, VRD, voies ferrées sur 100 km², et un site de stockage souterrain à - 500 m composé de 1 500 alvéoles alimentées par des process robotisés via une descendrière de 3,5 km et 165 km de galeries. L'un des principaux défis consiste à alimenter un réceptacle géoréférencé unifié par les données d'études de niveau APD en cours de production par des équipes multidisciplinaires exploitant des outils de conception assez hétérogènes en structure de données et en richesse de production.

■ TERIA présent aux Foulées parisiennes



TERIA soutient au travers de sa TEAM plusieurs initiatives sportives. Cette fois, la team TERIA a décidé de relever le défi du semi-marathon de Paris : elle a ainsi défendu ses couleurs ainsi que celles de la profession de géomètre-expert durant 21,1 km de course à travers les rues de l'Est parisien. Cette course a été l'occasion pour les membres de l'équipe de repousser leurs limites. La team TERIA a souhaité se fixer un second challenge : chaque coureur qui a franchi la ligne d'arrivée a permis de faire un don pour venir en aide aux sinistrés de l'ouragan Irma aux Antilles.



■ Esri dévoile des cartes interactives ciblées suivant les Journées mondiales

À l'occasion de Journées mondiales, Esri offre des cartes interactives sur chaque thématique. Ainsi, lors de la Journée mondiale sans Facebook un panorama de l'utilisation des réseaux sociaux dans le monde est cartographié. Lors de la Journée mondiale de l'eau, c'est l'évolution de l'accès à l'eau potable dans le monde qui a été cartographiée. Enfin, c'est la Journée mondiale de la santé qui a été l'occasion de cartographier la couverture sanitaire universelle ainsi que des dépenses dans le secteur de la santé dans le monde. Les codes d'intégration des codes sont disponibles sur demande à la société Esri.



■ Nouvelles stations TERIA

Avec 10 nouvelles stations en métropole et sur l'île de la Réunion, le Réseau TERIA comptabilise à ce jour, 212 stations en France métropolitaine, dans les DOM et aux frontières des pays européens voisins. L'ensemble de ces stations sont compatibles avec tous les systèmes satellitaires : GPS, GALILEO, GLONASS et BeiDou. Le réseau TERIA est disponible 24h/24, 7j/7 et 365 jours par an. La communication des données en temps réel à l'utilisateur s'effectue par carte SIM ou par canal satellite.



Station CEPI (Aude)

■ Vision stratégique de la géoinformation à Genève



Le comité directeur du Système d'information du territoire genevois (SITG) a confié à un groupe de travail la mission de fournir les éléments d'une vision stratégique de la géoinformation

pour répondre aux enjeux de demain. Quatre axes de réflexion ont permis de dégager une nouvelle base pour une vision stratégique à terme pour le SITG :

- les "smart geodata" ;
- la transition numérique et la géoinformation ;
- la gouvernance du changement et de l'adaptation permanente ;
- un rôle de "tiers garants" pour les "smart geodata".

► Pour en savoir plus : <http://ge.ch/sitg/actualites/vision-strategique-de-la-geoinformation-geneve>

■ Airbus et le vol spatial habité : de l'ATV à Orion

La réussite de la mission du premier véhicule de transfert automatique



DEFENCE AND SPACE

(ATV) "Jules Verne", réalisé par Airbus et lancé en 2008, fut un des moments fondateurs du développement des technologies de pointe en matière de vol spatial habité, telles que le Spacelab, les ATV et le module Columbus de la Station spatiale internationale (ISS). Ensemble, ces prouesses technologiques ont ouvert la voie au module de service européen (ESM) du vaisseau spatial Orion, la nouvelle contribution européenne au vol spatial habité, également développé sous la maîtrise d'œuvre d'Airbus. Le vaisseau Orion de la NASA est conçu pour transporter des astronautes vers la Lune et au-delà, avec l'objectif d'atteindre un astéroïde, voire Mars, dans les années 2030. Intégré à la capsule d'équipage, l'ESM assurera l'alimentation électrique, la propulsion, le contrôle thermique et fournira eau et oxygène aux futures missions habitées dans l'espace lointain. En 2019 / 2020, Orion effectuera une mission baptisée Exploration Mission-1, un vol inhabité à plus de 64 000 km de la Lune, destiné à valider les performances de la capsule. La première mission habitée, Exploration Mission-2, devrait être lancée en 2023, avec quatre astronautes à bord d'Orion.



■ Exposition "Eau du Haut" présentée au Parlement Européen de Bruxelles

Pêcheurs, navigateurs, habitants des zones côtières, agriculteurs, etc. ont besoin d'outils permettant de mieux travailler, se déplacer ou de prévoir les crues et autres variations du niveau de l'eau. Nombreux de ces outils existent grâce aux satellites qui observent et mesurent en permanence la totalité de la surface terrestre. « Eau du Haut » est une exposition itinérante qui permet de découvrir l'eau terrestre telle que les satellites nous la révèlent, sous toutes ses formes (glace, vapeur...) et sur l'ensemble du globe. Les exemples d'applications présentés témoignent aussi de l'importance des satellites pour mieux comprendre et gérer la précieuse ressource aquatique et prévoir les phénomènes de crues. Cette exposition est coproduite par la Cité de l'espace et le Muséum de Toulouse avec le soutien de l'Institut Français et la participation d'un Comité scientifique réunissant le CNES, METEO-France, MERCATOR OCEANS, CLS, Observatoire Midi-Pyrénées (OMP) et le CESBIO. Elle a été présentée au Parlement Européen de Bruxelles du 6 au 9 mars 2018 à Bruxelles.

► Informations : <https://www.museum.toulouse.fr/eau-du-haut>

■ Benoît de Ruffray élu président du conseil d'administration de l'École des Ponts ParisTech

© Marc Roussel_ssa



Benoît de Ruffray, Président-directeur général du groupe Eiffage depuis janvier 2016, a été élu président lors du conseil d'administration de l'École du 15 mars 2018. Benoît de Ruffray, ancien élève de l'École polytechnique, diplômé de l'École des Ponts ParisTech et titulaire d'un master de l'Imperial College à Londres, a commencé sa carrière de 1990 à 2003 au sein du groupe Bouygues. De 2003 à 2007, il a été directeur général de Dragages Hong Kong et a supervisé les activités de Bouygues Travaux Publics en Asie-Pacifique et de Bouygues Bâtiment International en Asie du Nord. Il a été nommé directeur général délégué de Bouygues Bâtiment International en 2008. En mars 2015, Benoît de Ruffray est nommé directeur général du groupe Soletanche Freyssinet.

■ Delair lance le drone UX11

Mardi 24 avril chez Delair à Labège, proche de Toulouse, la presse était présente pour préparer le lancement officiel, 2 jours après, du UX11 un drone à voilure fixe d'entrée de gamme.

Michaël de Lagarde, président et co-fondateur, nous présente la société avec ses 120 employés, ses 67 distributeurs, ses 6 sites et sa présence dans 75 pays.

Les performances du drone – autonomie de vol, couverture, précision et résolution centimétriques indiquées pour une hauteur à 120 m du sol – associées à un prix d'achat compétitif, en font l'un des outils performants de reconnaissance visuelle et de modélisation.

Le Delair UX11 est compact (1.10 m d'envergure par 0.75 m de long), léger (1.4 kg), son autonomie est de 59 mn et sa vitesse de croisière de 54 km/h. Il montre une étonnante capacité à décoller et surtout à atterrir comme un oiseau (BTOL, *Birdlike Takeoff and Landing*) grâce à un altimètre laser.

L'UX11 est une solution matérielle compatible avec les logiciels de traitement de données leaders du marché afin de transformer les données brutes collectées en informations exploitables. La suite logiciel, la plate-forme Intel® Insight est basée sur la notion de gestion d'actifs : on accède donc aux données et aux traitements via le chantier ou la zone d'intérêt du client. Le mode PPK *Post Processed Kinematic* ou mode cinématique post-traité est utilisé en standard pour le positionnement. Sa caméra est intégrée (21.4 Mpix)



et l'UX11 accède aux images pour les visualiser en temps réel. Le nouveau logiciel de planification de mission sous Android, le *Delair Flight Deck*, propose des fonctionnalités innovantes telles que le contrôle des données en direct et le système d'interdiction de vol sur certaines zones.

L'UX11 est optimisé pour les vols BVLOS (*Beyond Visual Line of Sight*) soit hors-vue. Il bénéficie d'une technologie radio propriétaire et d'une connectivité 3G/4G pour assurer la communication entre le drone et la station de contrôle au sol. Le terrain d'essais de Delair à Labastide-Saint-Pierre (Tarn-et-Garonne) a vu l'UX11 en démonstration. La durée de déploiement ne dépasse pas 5 mn, le décollage d'un geste de rotation du bras semble aisé et également le suivi du vol sur tablette. Plusieurs atterrissages, "comme l'oiseau", ont montré la sécurité de ce mode pour le personnel et l'appareil.

Finalement il a été agréable pour XYZ de rencontrer au sein de Delair de vrais professionnels dans le domaine de la topographie, notamment Jean-François Amont, photogrammètre, Chase Fly *Geospatial Product Manager*, des États-Unis et Nikola Nemcova, une topographe tchèque, en charge de la formation.

BF

■ Azur Drones sonde plus de 1 600 hectares pour l'Établissement public d'aménagement Paris-Saclay



L'Établissement public d'aménagement Paris-Saclay a fait appel à Azur Drones pour réaliser une étude sur l'avancée des travaux de la zone sud sur 1 600 hectares. Azur Drones avait pour objectifs de mettre à jour le fond d'images de l'Établissement public d'aménagement Paris-Saclay, de lui fournir des visuels de qualité des bâtiments livrés, ou en cours de construction, et d'obtenir des orthophotographies, le tout en moins d'un mois. Deux drones ont été utilisés. Le premier à voilure fixe, dédié aux zones non peuplées, a permis la production d'une orthophotographie après un vol automatique de 4 heures. Le second à voilure tournante, pour les zones peuplées, a nécessité la présence d'un télépilote pour étudier le périmètre qui a été survolé 12 fois pour respecter la réglementation. La production finale de l'orthophotographie est géoréférencée avec une résolution de 3 cm.

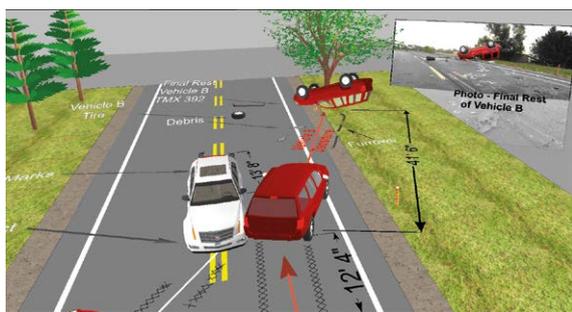
■ Pegasus:Two Ultimate, nouvelle solution de Leica Geosystems

Leica Geosystems présente Leica Pegasus:Two Ultimate, son nouveau système intégré de cartographie mobile offrant un niveau de précision et une vitesse inégalés. À l'écoute des besoins des collectivités et du marché des Travaux Publics, Leica Geosystems innove ainsi pour compléter son panel de solutions dédiées à la capture de l'existant en offrant simplicité et gain de temps. Leica Pegasus:Two Ultimate perfectionne le mobile mapping et vient satisfaire les attentes du marché en atteignant une résolution inégalée. Ce système multiporteur adaptable sur tous types de véhicules est doté d'une nouvelle caméra 360° à 24 Mpx et de 4 caméras latérales 12 Mpx, avec compression Jpeg embarquée, qui fournissent 8 images par seconde. Les caméras ont gagné en rapidité et le système se distingue par un niveau adaptatif de la luminosité très rapide, pour une qualité optimale quelles que soient les conditions d'éclairage et la vitesse de circulation (de 40 à 100 km/h).



■ Nouvelle fonction de réalité virtuelle de FARO ZONE 3D 2018

FARO Zone 3D 2018 est la première solution logicielle de réalité virtuelle pour les professionnels de la sécurité publique, de la médecine légale et de la police scientifique et offre ainsi une plate-forme complète pour la documentation, l'analyse et la reconstruction de la scène. Elle inclut de puissants outils d'analyse médico-légale, de génération de schémas 3D et d'animation. De plus, grâce à l'intégration du module réalité virtuelle, FARO Zone 3D 2018 permet une immersion complète dans la scène comme si vous y étiez : les utilisateurs peuvent désormais revisiter les lieux et les parcourir, analyser les éléments



déclencheurs et créer des reconstructions entièrement animées. FARO Zone 3D offre la possibilité de partager facilement des scènes 2D et 3D ainsi que des vidéos de nuages de points 3D en salle d'audience ou à distance grâce à la nouvelle application FARO Zone Viewer, autonome et gratuite.

■ Cadden participe à floatgen, première éolienne en mer en France

La société Cadden, spécialisée dans les systèmes et instruments de mesure en géomatique et télédétection, a achevé sa prestation auprès d'Ideol pour la mise en place d'outils de mesure du comportement dynamique de Floatgen, démonstrateur d'éolien flottant inédit en France. La prestation de Cadden a séduit en particulier par l'ingéniosité de sa solution de calibration des outils de mesure. Cette opération est en effet d'autant plus sensible qu'elle conditionne la qualité et la fiabilité des futures mesures du démonstrateur Floatgen dans la durée. Haut de 60 mètres, Floatgen est constitué d'une fondation flottante en béton ancrée au fond marin, d'un ensemble mât-nacelle et d'une éolienne de 2 MW. Une fois en mer, cette construction sera soumise à d'incessants mouvements et forces dus aux éléments naturels. Le comportement dynamique de la structure et des matériaux doit pouvoir être étudié finement. D'où l'importance de mesurer avec précision le positionnement et l'orientation relatifs du socle flottant et de la nacelle. A cette fin, Cadden a installé, sur chaque élément, une centrale inertielle et un récepteur GPS. Pour calibrer les capteurs inertiels à partir d'un référentiel absolu – mission rendue complexe par le contexte opérationnel – l'entreprise a utilisé un gyrocompas et une station totale à terre.



■ BIM : partenariat entre e-btp et Trimble



Trimble s'engage avec e-btp à travailler communément afin d'apporter clarté et accessibilité aux solutions BIM, dans le but de faciliter la compréhension des solutions répondant à des besoins métiers précis. Développer intelligemment l'adoption du BIM est la priorité de ce partenariat. Cette collaboration permettra d'établir un lien étroit avec les acteurs de la construction grâce à des communications et échanges communs auprès des entreprises souhaitant développer la performance, la qualité et la précision de leurs projets BIM.

■ Le LNE, EPIC depuis 40 ans

Le 10 mars 2018 a marqué le 40^e anniversaire du décret d'application de la loi Scrivener, qui a attribué au LNE (Laboratoire national de métrologie et d'essais) son statut d'Établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC). L'État décidait alors de se doter d'un laboratoire dont les travaux et études viseraient la protection et l'information des consommateurs, et l'amélioration de la qualité des produits. Il confie cette mission au LNE, jusqu'alors département du CNAM, et lui confère le statut d'EPIC sous tutelle du Ministère chargé de l'Industrie. Son activité comporte deux volets : le service public et les prestations aux entreprises. Depuis la récupération des activités du BNM (Bureau national de métrologie) en 2005, le LNE est le pilote de la recherche française en métrologie.

■ Charte d'éthique de la 3D : nouveau site

Le nouveau site de la charte d'éthique de la 3D est hébergé par l'État de Genève, membre fondateur de la charte, et la Direction de la mensuration officielle en assure la mise à jour. Il a été simplifié pour faciliter son utilisation avec cinq parties d'accès aisé. Pour rappel, la charte d'éthique de la 3D repose sur 3 principes :

- la crédibilité ;
- la transparence ;
- le développement de réseaux et formation 3D.





■ Antenne LEICA iCON gps 70 T pour la construction

Leica Geosystems a dévoilé sa nouvelle antenne intelligente Leica iCON gps 70 T pour des implantations fiables et simples sur tout chantier. Les résultats de mesure sont disponibles plus rapidement et sont plus précis avec la compensation continue de l'inclinaison gps 70 T, insensible aux interférences magnétiques et permettant une utilisation sans étalonnage. Avec l'iCON gps 70 T, les professionnels de la construction peuvent mesurer et implanter des points plus rapidement que par le passé sans maintenir la canne verticale pour caler la nivelle. Associant une technologie GNSS avancée avec une unité de mesure inertielle (UMI), l'antenne gps 70 T est dotée d'un système de compensation de l'inclinaison. Cette compensation étend les possibilités de mesure, améliore la qualité et la précision des données recueillies, et réduit les erreurs.



■ Airbus améliore encore la précision altimétrique de Sentinel-3

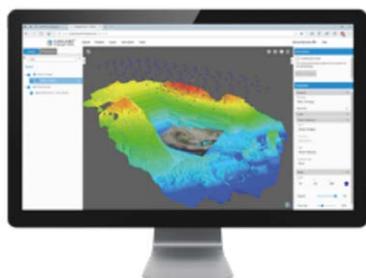
Le nouveau radiomètre micro-onde (MWR) haute précision construit par Airbus entre en service après le lancement du satellite Sentinel-3B, construit sous la maîtrise d'œuvre de Thales Alenia Space pour ce programme. Il mesure l'humidité atmosphérique et fournit des informations supplémentaires permettant de corriger la trajectoire troposphérique du signal altimétrique. Les données du MWR servent en outre à mesurer l'émissivité de surface et l'humidité des sols au-dessus des terres, à déterminer le bilan énergétique à la surface au profit des études atmosphériques, et à caractériser les glaces. Associées à un modèle d'élévation numérique, ces mesures corrigées permettent à l'altimètre radar de fonctionner en mode SAR (radar actif à synthèse d'ouverture), ce qui est bien plus précis et offre une résolution spatiale nettement meilleure. Les données ainsi fournies permettront aux scientifiques d'observer les variations du niveau des mers et la température de surface des océans, ainsi que de surveiller la qualité de l'eau, la pollution marine et la productivité biologique.



Agenda des manifestations

- **Les 3 et 4 juillet, GeoDataDays** au Havre - <http://www.afigeo.asso.fr/>
- **Du 19 au 21 septembre, 15^e journées de la topographie** à l'INSA de Strasbourg - <http://topographie.insa-strasbourg.fr/sujet/journees-de-la-topographie/>
- **Du 24 au 27 septembre, 9^e IPIN2018** à Nantes - <http://ipin2018.ifsstar.fr/>
- **Du 24 au 28 septembre, ION GNSS+** à Miami, Floride <https://www.ion.org/gnss/>
- **Du 5 au 7 octobre, FIG** à Saint-Dié-des-Vosges - <http://www.fig.saint-die-des-vosges.fr/>
- **Les 10 et 11 octobre, SIG2018 conférence francophone Esri** aux Docks de Paris - <https://sig2018.esrifrance.fr/>
- **Du 10 au 12 octobre, ISPRSTC I Midterm Symposium Innovative Sensing - From Sensors to Methods and Applications** à Karlsruhe <http://tc1-symposium2018.ipf.kit.edu/>
- **Du 16 au 18 octobre, Intergeo** à Francfort-sur-le-Main - <http://www.intergeo.de/intergeo-en/trade-fair.php>
- **Du 12 au 14 novembre, Colloque G2, Instrumentation nouvelle et combinaison d'observations géophysiques**, à Montpellier http://hydrologie.org/CONF/2018_G2.pdf
- **Du 27 au 29 novembre, Fédération des géomètres francophones** à Rabat <http://www.geometres-francophones.org/>

■ MAGNET Collage Web de Topcon : nouvelles fonctionnalités



Le groupe Topcon Positioning annonce une mise à jour de MAGNET Collage Web, le logiciel de traitement des données de masse MAGNET® Collage. MAGNET Collage Web version 1.1 offre de nouvelles fonctionnalités et améliorations conçues pour simplifier la collaboration et le partage de nuages de points 3D. Il comprend une visionneuse publique intégrable conçue pour permettre aux opérateurs d'envoyer un lien ou d'intégrer une visionneuse pour accéder à un modèle de données de masse à partir de n'importe quel site Web. Le système offre désormais aussi la publication directe sur le Web à partir de logiciels tiers pour drones, y compris Bentley Context Capture et MAVinci Desktop.

■ L'IGN et Irstea signent un premier accord-cadre



Daniel Bursaux, directeur général de l'IGN, et Marc Michel, président d'Irstea, ont signé au siège de l'IGN un premier accord-cadre pour sceller et renforcer les collaborations de leurs institutions dans le domaine de l'environnement et de la gestion des territoires. L'enjeu partagé est de doter la France de données de références et d'outils d'observation géographiques de base utiles à l'application des politiques nationales et européennes relatives aux territoires. L'accord-cadre va permettre une meilleure complémentarité des recherches conduites afin de répondre plus efficacement aux besoins des politiques publiques et de développement des connaissances sur la modification de l'environnement en lien avec les changements globaux.

■ 21 mars : la journée mondiale des géomètres

Plusieurs organisations dont le CLGE pour l'Europe et le NSCS pour les États-Unis avec le soutien de la FIG ont créé pour la première année la Journée mondiale des géomètres. Cette première journée a été fixée le 21 mars 2018. Cette journée doit être l'occasion de montrer l'impact des travaux des géomètres dans l'évolution du monde. Pour cette occasion, un site a également été créé : <http://www.globalsurveyorsday.com/>.

ERRATUM

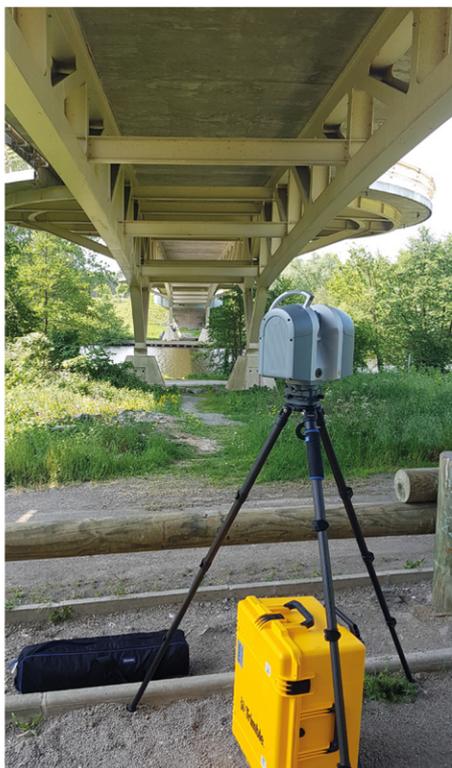
Géodésie, ITRF14

La page 54 du n° 154 corrigeait l'article du n° 153 de décembre 2017, "L'ITRF2014 et la modélisation des mouvements non linéaires des stations". Les éditeurs de texte nous ayant joué des tours, la formule (1) est : $X_{PSD}(t) = X(t_0) + \dot{X}(t - t_0) + \delta X_{PSD}(t)$ Le lecteur curieux trouvera cette formule dans le *Journal of Geophysical Research* sous l'indice (C1) à <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2016JB013098>.

LES SCANNERS STATIQUES TRIMBLE : LA RÉFÉRENCE POUR UNE NUMÉRISATION RAPIDE ET PRÉCISE.

Le monde de la topographie fait face à une mutation de ses missions. Aujourd'hui, celles-ci sont de plus en plus exigeantes et nécessitent des outils innovants et polyvalents.

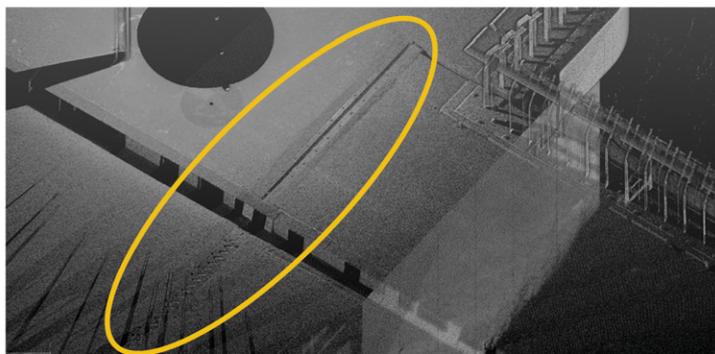
Les distributeurs agréés Trimble Geospatial, Geomesure et Geotopo, forts d'une expérience de plus de 20 ans au côté des géomètres-experts, travaillent à proposer les solutions les plus en adéquation avec les attentes du marché.



Pour les géomètres-experts la précision, l'exhaustivité et l'efficacité sont essentielles. Afin de répondre à ces attentes, Trimble a développé une gamme de scanners 3D. Ceux-ci réalisent des numérisations haute qualité (technologie temps de vol) à très grande vitesse (1 million de pts/s), avec une précision exceptionnelle (< 2 mm à 120 m). Ces solutions de numérisation 3D sont associées au logiciel simple et avancé Trimble Realworks, qui permet d'obtenir une productivité inégalée sur le terrain et au bureau, des données haute qualité à faible bruit, un recalage fiable ainsi que la polyvalence pour prendre en charge de nombreuses applications.

Mardi 15 mai 2018, l'équipe Geomesure a modélisé en 3 dimensions le pont de Pritz, à Laval (53). Cette mission a été réalisée à l'aide d'un scanner de haute précision Trimble TX8... 28 stations et 3h30 plus tard... l'objectif terrain fut atteint. Le but du projet était la réalisation de profils en travers afin de vérifier la géométrie du pont.

Ce travail s'est déroulé sous circulation. Grâce à la rapidité du scanner et malgré les véhicules, le tablier a pu être scanné avec une densité de points de 1 pt / 2 cm à l'entraxe de la chaussée, ce qui a permis entre autre de visualiser les joints du pont dans le nuage de points.



joint du pont de Pritz



La maquette numérique de ce pont datant de 1997 pourra ainsi être réalisée de manière à effectuer un suivi de cet ouvrage d'art.

La gamme matérielle et logicielle Trimble répond aux applications de topographie, mines et carrières, bâtiments tels que construits (BIM) ainsi que la conservation et restauration du patrimoine.

Le différend entre la CSNGT et l'OGÉ devant l'Autorité de la concurrence

De longue date un contentieux existe entre la chambre syndicale nationale des géomètres-topographes (CSNGT) et l'ordre des géomètres-experts (OGÉ) relatif aux limites du monopole dont les derniers bénéficient pour la définition des droits fonciers.

L'AFT n'a pas à prendre partie pour l'un ou l'autre des plaideurs puisque l'association s'honore de compter dans ses membres des géomètres-topographes et des géomètres-experts, d'aucuns d'entre eux ayant été élus à son conseil ce qui participe à sa représentativité.

Pour autant, la question étant pendante, XYZ se doit aussi de faire connaître les aléas de la vie de la profession. C'est pourquoi la conclusion du dernier avis de l'Autorité de la concurrence n° 18-A-02 du 28 février 2018 concernant la profession de géomètre-expert est rapportée ci-dessous *in extenso* pour l'information de tous.

"L'Autorité relève que, malgré les précisions jurisprudentielles, le contour que la loi n°46-942 du 7 mai 1946 a donné au monopole des géomètres-experts demeure flou. La définition de ce monopole par la conjonction de deux critères – l'un matériel : la réalisation de plans et documents topographiques, l'autre finaliste : la délimitation des biens fonciers – est source d'une grande confusion et ne permet pas l'exercice harmonieux des activités relevant du secteur concurrentiel.

En conséquence, et sans analyser ici le bien-fondé du maintien de ce monopole, l'Autorité estime qu'il serait opportun de mettre un terme à cette imprécision en fixant à tout le moins la liste exhaustive des prestations entrant dans son champ.

En effet, les incertitudes qui entourent la définition actuelle, de même que les variations de son interprétation au fil du temps, ont entraîné presque "mécaniquement" un contentieux abondant entre géomètres-experts et géomètres-topographes. Entre 2000 et aujourd'hui, ces litiges récurrents ont débouché sur deux avis et trois décisions du Conseil de la concurrence, puis de l'Autorité. Trois des quatre thématiques abordées dans le présent avis découlent directement d'un problème d'interprétation du 1° de l'article 1^{er} de la loi n° 46-942 du 7 mai 1946 précitée.

Par ailleurs, au cours des cinq dernières années, pas moins de cinq citations directes ont été délivrées à l'encontre de géomètres-topographes dans les circonscriptions de Lyon, Clermont-Ferrand, Marseille et Bordeaux, pour exercice illégal de la profession de géomètres-experts. Outre ses implications économiques, l'imprécision de la délimitation du monopole peut ainsi avoir des conséquences pénales importantes pour une partie des professionnels concernés.

Au vu de ces éléments, l'Autorité estime qu'une définition plus précise du monopole des géomètres-experts répondrait à un certain nombre d'enjeux essentiels, pour le secteur concerné comme pour les pouvoirs publics : amélioration de l'accessibilité et d'intelligibilité de la loi pour les professionnels de terrain, limitation du contentieux, renforcement de la sécurité juridique (proposition n° 1). Cette nouvelle définition pourrait prendre la forme d'une liste exhaustive des prestations réservées aux géomètres-experts. L'établissement de cette liste serait l'occasion de réexaminer le bien-fondé de certaines exclusivités consenties par les pouvoirs publics à la profession de géomètre-expert jusqu'à aujourd'hui (proposition n° 2), mais aussi d'acter que l'établisse-

ment de plans et esquisses appelés à être annexés aux états descriptifs de division de copropriété relève d'une activité concurrentielle (proposition n° 3).

Si le gouvernement et le législateur la sollicitent en ce sens, il va de soi que l'Autorité est prête à être associée aux travaux nécessaires à la redéfinition de ce monopole légal.

L'Autorité note d'ailleurs que de tels travaux avaient déjà eu lieu à l'occasion de l'examen parlementaire du projet de loi pour la croissance, l'activité et l'égalité des chances économiques en 2015. Un amendement avait alors été déposé par le gouvernement au Sénat, dans le but de "clarifier la définition des activités pouvant être également confiées aux géomètres-topographes, afin d'instaurer davantage de concurrence pour ces activités qui, légalement, ne relèvent pas du seul monopole des géomètres-experts." Malgré deux avis favorables du gouvernement et de la commission du Sénat cet amendement n'avait finalement pas été adopté, les débats parlementaires soulignant la nécessité de procéder au préalable à un échange de vues avec l'ensemble des parties prenantes concernées. C'est précisément dans le cadre de cette vaste concertation que le présent avis souhaite s'inscrire."

Puisque deux lectures s'opposent, l'imprécision soulevée par l'Autorité de la concurrence mériterait certainement d'être levée, soit par la confirmation juridique de la loi existante, soit par une réforme qui prenne en compte les évolutions techniques et professionnelles intervenues depuis plus de 70 ans. Il convient toutefois de redouter les aléas de la jurisprudence ou celle de l'amendement de la loi. L'AFT ne pourrait qu'applaudir à une recherche de consensus entre les parties en lien avec l'Autorité de la concurrence. ●

Jean-Pierre Maillard

Assemblée générale de la section géodésie du CNFGG

C'est sur le site emblématique de l'Observatoire que la section 1 (géodésie) du Comité national français de géodésie et de géophysique a tenu son assemblée générale le 21 février 2018.



■ Qu'est-ce que le CNFGG ?

Le Comité national français de géodésie et de géophysique (CNFGG) assure, sous l'égide de l'Académie des sciences (AdS), la participation française aux activités de l'Union géodésique et géophysique internationale (UGGI), une des vingt unions du Conseil international des unions scientifiques (ICSU). Le CNFGG peut provoquer et coordonner des études et des recherches relatives à la géodésie et à la géophysique, recevoir des demandes d'avis ou d'expertises et émettre des recommandations sur toute affaire relevant du domaine de sa compétence.

■ Quelles sont les nouvelles du comité ?

Les nouvelles de la section 1 : la présidente Françoise Duquenne ne se représente pas. Le nouveau bureau élu se compose de la présidente, Marie-Françoise Le Quentrec-Lalancette (SHOM), des vice-présidents, Richard Biancale (CNES) et Séverine Rosat (EOST) et de la secrétaire, Muriel Llubes (OMP).

Concernant le CNFGG proprement dit, le poste de vice-président est vacant puisque Pierre Briole sera bientôt le nouveau président, succédant à Claude Boucher. Celui ou celle qui prendra la charge de vice-président s'engage à devenir ensuite président.

Au sujet des prix de thèse, 2 prix et 2 accessits sont décernés pour les sections 7 (Sciences physiques de l'océan), 6 (Sciences hydrologiques), 5 (Météorologie, physique de l'atmosphère) et 2 (Sismologie et physique de

l'intérieur de la Terre). La thèse sélectionnée pour représenter la section 1 (Géodésie) était celle d'Alexandre Belli "*Transfert de Temps Optique Spatiale (mission T2L2 / Jason-2) Applications et Impacts en Géodésie*" sous la direction de Pierre Exertier et François Vernotte. Elle n'a cependant pas reçu de prix.

■ Les comptes rendus des organismes présents

CNES-OMP, SYRTE (Observatoire de Paris), ONERA, IPGS – EOST, IGN – SGN et enfin SHOM ont présenté un compte rendu sur les faits saillants de leurs activités.

■ Manifestation annoncée

Le colloque G2 2018 est programmé à Montpellier du 12 au 14 novembre prochain sur le thème "*Instrumentation nouvelle et combinaison d'observations géophysiques*".

■ Séminaire sur la mission Microscope

L'après-midi a été consacré à la présentation de la mission Microscope étant MICROSatellite à traînée Compensée pour l'Observation du Principe d'Équivalence. C'est la 1^{re} mission spatiale européenne dédiée à la physique fondamentale pour remettre en question la relativité générale d'Einstein en testant le principe d'équivalence à une précision encore inégalée. Il s'agit de comparer la chute libre de deux objets dans le vide.

Les exposés suivants ont été suivis :

1. Les étapes de la mission Microscope, du projet au contrôle orbital, par Isabelle Petitbon (CNES, responsable

du programme physique fondamentale).

2. Les bijoux accélérométriques de Microscope, par Manuel Rodrigues (ONERA, responsable projet).
3. Le traitement des données et les premiers résultats, par Gilles Métris (OCA, co-PI).
4. Le principe d'équivalence est-il violable ? par Philippe Brax (CEA).

■ Visite de l'observatoire

Guidés par Suzanne Débarbat, astronome titulaire honoraire, les intéressés ont pu visiter les arcanes de l'observatoire, vénérable bâtiment de 1667, dont la ligne méridienne, les horloges parlantes de toutes générations, la lunette astronomique, les instruments d'époque.



Satellite Microscope

■ Documentation

L'ensemble des comptes-rendus et présentations est disponible sur le site du CNFGG à http://site.cnfgg.fr/section1_ag2018. Pour en savoir plus sur Microscope, une vidéo de 6 mn 43 s <https://youtu.be/Z7CVjWykPsQ> et le communiqué de presse sur le site du CNES <https://presse.cnes.fr/fr/les-premiers-resultats-du-satellite-microscope-confirment-la-theorie-dalbert-einstein-avec-une>. ●

Bernard Flacelière

Journées de la Topographie 2018 : le géomètre, garant de la maquette numérique ?

À l'automne prochain, du 19 au 21 septembre, l'Institut national des sciences appliquées de Strasbourg ouvrira une nouvelle fois ses portes pour la 15^e édition des Journées de la Topographie (JDT) consacrées, cette année, à la place du géomètre dans le BIM. La spécialité topographie reviendra donc sur ce sujet déjà abordé en 2015, afin de lever le voile sur des mystères qui persistent autour de ce nouveau processus, notamment dans le domaine de la réhabilitation des bâtiments.

Aujourd'hui, il découle de la mise en œuvre de ces projets BIM, des problématiques concrètes qui remettent en question la place du géomètre au sein de ce processus. Le BIM, pour *Building Information Modeling*, est un ensemble de processus et de méthodes permettant d'organiser et de structurer les informations relatives à un ouvrage construit ou à construire. Ces informations sont projetées sous la forme d'une maquette numérique où interviennent simultanément les différents acteurs et métiers du bâtiment. S'il est évident que la maîtrise d'ouvrage ferait appel à un géomètre pour

réaliser un plan topographique, il reste à définir quelles sont les compétences nécessaires à la production et à la qualification, en termes de précision, d'une maquette numérique.

Dans ce contexte, une problématique se pose : qui doit assurer l'exactitude des relevés, voire de la maquette sur laquelle vont reposer toutes les interventions futures, que ce soient celles des architectes, bureaux d'études, géomètres, thermiciens, électriciens, etc. ?

L'objectif de cette édition des JDT 2018 sera de proposer le géomètre comme garant de cette maquette : en pesant le pour et le contre. Les experts présents discuteront cette proposition tant en

s'interrogeant sur les compétences nécessaires à l'évaluation d'une maquette, que sur le possible monopole du géomètre pour assurer cette garantie.

- **Vous souhaitez tenir un stand ?**
Inscrivez-vous au Salon des exposants le 20 septembre (et participez au financement du voyage d'études des étudiants topographes) !
- **Vous êtes intéressé par les PFE ?**
Assistez aux soutenances de PFE du 19 au 21 septembre ! Sujets de PFE abordés : voir ci-dessous.
- **Vous souhaitez assister à la conférence sur le BIM ?** Rejoignez-nous le 21 septembre ! ●
- **Plus d'infos sur le blog de la topographie :** <http://topographie.insa-strasbourg.fr/>
- **Contact :** jdt2018@insa-strasbourg.fr ou tania.landes@insa-strasbourg.fr

Sujet PFE
Optimisation des méthodes de relevés des réseaux souterrains et développement d'une solution SIG pour Omexom Nîmes Ingénierie
Du nuage de points à la réalité virtuelle : contribution à la mise en place d'un espace digital à la cité souterraine de Naours
Numérisation et modélisation 3D du Jardin d'hiver du musée de la Faïence de Sarreguemines
Convergence BIM-SIG : une maquette de référence pour les permis de construire numériques
Développement d'un dispositif de mesures topographiques automatiques nadirales
Mise en place d'un SIG pour le Syndicat Mixte Moselle Aval
Mise en place d'un SIG archéologique sur la commune d'Horbourg-Wihr
Modélisation 3D du castellum et du château disparus de Horbourg-Wihr et exploitation de la réalité augmentée pour une mise en valeur dans la trame urbaine contemporaine
Mise en place de procédures automatisées pour les reports topographiques en milieu ferroviaire à partir de données photogrammétriques et LIDAR acquises par drones.
Analyse et contrôle de relevé de bâtiments par la technologie Zeb-Revo de Geoslam et mise en valeur de ces données via la maquette numérique
Automatisation du traitement de données Mobile Mapping : extraction d'éléments linéaires et ponctuels.
Perfectionnement de la procédure de calibration des systèmes LiDAR montés sur drones de l'entreprise YellowScan
Modélisation semi-automatique de toitures à partir de données Lidar pour la création d'une maquette numérique urbaine, au sein de la société FUTURMAP.
Rendre le béton transparent : acquérir, modéliser, réceptionner, archiver et réimplanter après bétonnage les armatures le constituant

Sujet PFE
De la méthodologie d'acquisition au scanner laser terrestre à la mise en œuvre d'un modèle 3D du hall d'essai du laboratoire d'hydraulique de la CNR
Développement du pôle scanner 3D d'Alpes Topo : étude comparative des logiciels et scanners et création de procédures adaptées
Intégration de modes de suivis et de gestion des activités d'urbanisme opérationnel et d'ingénierie dans un PGI développé en interne
Optimisation des méthodes de levés de bâtiments au scanner laser (statique et dynamique)
Valorisation de l'utilisation de systèmes de réalité virtuelle et augmentée pour la détection de réseaux, l'aménagement de lotissement et la promotion immobilière
Etude et optimisation des stratégies de numérisation au scanner laser 3D, dans l'optique d'une intégration dans le système de visualisation en ligne d'infrastructures numériques Fugro Site-Spot®.
Reconstitution 4D du château du Kagenfels par combinaison de l'existant et d'hypothèses archéologiques pour une visite virtuelle diachronique du site
Basculement de maquettes 3D TQC vers la réalité virtuelle. Création d'un démonstrateur de conception et de revue de projet pour l'industrie.
Numérisation 3D de la carrière Saingt de Fleury-sur-Orne. Intégration des données 3D dans QGIS et réalité virtuelle
La mise en place du BIM au sein de structures gestionnaires d'actifs immobiliers : foncières, bailleurs sociaux et syndics de copropriété.
Drone marin de surface : Quelles applications pour l'Exploration & Production ?
Étude du potentiel d'un drone aquatique dans un cabinet de géomètre-expert pour les relevés bathymétriques et la modélisation 3D des berges en eaux intérieures

La Fédération des géomètres francophones à Lomé (Togo)

Le rôle du géomètre dans les objectifs de développement durable



Les 6^{es} universités francophones de perfectionnement des géomètres

Le rendez-vous de novembre dernier avait été reporté à cause des conditions de sécurité, mais du 7 au 9 mars toute la francophonie s'est retrouvée à Lomé. L'assemblée générale de la Fédération des géomètres francophones a été couplée avec les 6^e universités de perfectionnement.

L'événement réunit 18 pays francophones et plus de 120 participants. Dominique Lougoui, président de l'Ordre des géomètres du Togo en est le grand organisateur tandis que François Mazuyer, président de la FGF et Fiatuwo Kwadjo Sessenou, ministre de l'Urbanisme, de l'Habitat et du Cadre de vie de la République du Togo œuvrent en allocutions d'ouverture.



Le bureau élargi

© FGF

Les 3 jours d'universités ont porté sur :

- les outils de gestion et de développement d'un cabinet de géomètre,
- justice et paix : un accès au foncier équitable et sécurisé,
- garantir l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau,
- bâtir une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tous et encourager l'innovation,
- justice et paix : un accès au foncier équitable et sécurisé,
- éliminer la faim, assurer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition et promouvoir l'agriculture durable,
- on peut rajouter les communications sur le groupe de travail géoïde Africain, la présentation de Publi-Topex et la contribution de l'Ordre des géomètres-experts fonciers d'Algérie.

Un changement de gouvernance à la FGF

La France qui a été largement à l'origine de la création de la FGF, avec Alain Gaudet puis François Mazuyer, passe le relais à la Belgique, avec Marc

Vanderschueren qui est déjà impliqué dans les relations avec la Fédération internationale des géomètres.

Un nouveau bureau a ensuite été élu, qui représente 10 pays : Marc Vanderschueren (Belgique), président ; Samba Ndongo (Sénégal), vice-président ; Khalid Yousfi (Maroc), secrétaire ; Jean-François Dalbin (France), trésorier ; Jihad Boutros (Liban), délégué aux relations avec la FIG ; Brahim Baaziz (Algérie), délégué aux relations avec l'Union arabe des géomètres ; Dominique Lougoui (Togo), délégué à la communication et aux sponsors ; Beoleh Mangoueleh (République du Congo), délégué à la formation ; Séraphin Matshitshi (République démocratique du Congo), délégué aux relations avec l'Afrique centrale ; Emile Adjoumany Kokoh (Côte d'Ivoire), délégué aux relations avec l'Afrique subsaharienne.

Les partenaires

Les universités de Lomé ont été organisées avec l'aide et la participation de Stonex, SinoGNSS, Publi-Topex, Deltadrone, exagone, SophiAssur, Beta, Garmin, Sunu assurance, Leica, Moov, Topcon et Sokkia.

Les prochaines universités ?

Les 7^{es} universités auront lieu à Rabat (Maroc), du 27 au 29 novembre 2018, organisées par l'ONIGT, l'Ordre national des ingénieurs géomètres-topographes. ●

► Pour en savoir plus, le site de la FGF <http://www.geometres-francophones.org/evenements/lome-2018/>
La revue Géomètre n°2157 d'avril 2018

Bernard Flacelière



Les congressistes

© FGF

La géomatique dépassée par ses usages : quelles bonnes pratiques pour demain ?

La promotion 2018 du master spécialisé "Systèmes d'informations localisées pour l'aménagement des territoires" (SILAT) dispensé par AgroParisTech a organisé

le 11^e Géoséminaire annuel le 6 mars 2018 à Montpellier, dans les locaux de Montpellier - Méditerranée - Métropole. La manifestation sponsorisée par TETIS, COPERNICUS ACADEMY, l'AFIGEO, IMMERGIS, IDGEO, BUSINESS GEOGRAFIC et ESRI France, a rassemblé plus d'une centaine de participants.

Thierry Joliveau, enseignant en université, a posé d'entrée la question : "un géomaticien sert-il encore à quelque chose ?" s'agissant d'un métier constamment appelé à gérer des données nouvelles qui induisent des méthodes nouvelles. En effet l'évolution élargit constamment le cercle des acteurs et génère le développement de l'Internet des objets, de nombreux capteurs connectés bon marché, des VGI (*volunteered geographic information*) tel OpenStreetMap, du BIM, etc. A titre d'exemple, dans le domaine topographique après avoir acté les "révolutions" que sont la triangulation des Cassini, la photographie aérienne et la géomatique, la profession doit



actuellement s'adapter à l'œuvre du numérique.

Boris Mericskay, enseignant en université, a notamment présenté le nouveau cadre législatif de la gestion des données (la République numérique) dans lequel s'inscrit l'ouverture des données territoriales, en particulier l'obligation prochaine de la dématérialisation des plans locaux d'urbanisme (PLU) dans le Géoportail même si la question de la qualité spatiale de l'Open data reste posée. Le logotype de la manifestation illustre d'ailleurs la problématique en remarquant que le (ou la) maquettiste a orienté, sans doute par fantaisie et clin d'œil au thème de la journée, la boussole plein sud mais, à tort, en localisant l'ouest à l'est ! Les étudiants du Géoséminaire ont aussi à subir aux exigences du bon à tirer, une validation toujours pleine d'embûches.

Pierre Gautreau, enseignant en université, a explicité la responsabilité du géomaticien sachant que l'information c'est du pouvoir et que la quête des données est une compétition. L'éthique se trouve par exemple confrontée aux occultations induites par la représenta-

tion, voire de son appauvrissement, et au cadrage des questions environnementales. Il invite donc le géomaticien à :

- alerter en tant que de besoin tout en se mettant en retrait,
- mesurer son degré de liberté et d'innovation,
- apprivoiser le monstre géomatique (le seul OpenStreetMap représente 4 milliards d'objets et est concerné par 3 millions de modifications par jour),
- faire vivre la mémoire du territoire et défendre la pluralité des représentations.

Les tables rondes ont constaté qu'un géomaticien "label rouge" n'existe pas, que son travail n'est pas le même selon la taille de l'entreprise et que le métier restera nouveau par nature. Comme dans la médecine, il y a des géomaticiens généralistes et des spécialisés pendant que le secteur professionnel croît au fur et à mesure de la reconnaissance réglementaire et administrative du domaine.

Le Géoséminaire reste un heureux rendez-vous d'informations et d'échanges. Les présentations des intervenants ainsi que les vidéos des sessions et des débats seront prochainement en ligne sur le site du Géoséminaire 2018. ●

Jean-Pierre Maillard



Boris Mericskay au micro



La salle Fernand Pelloutier attentive

© Géoséminaire Sébastien Silvestre



LE JEUDI 29 MARS 2018 LYCÉE CANTAU - ANGLET - PYRÉNÉES-ATLANTIQUES

14^e FORUM DE LA TOPOGRAPHIE

LA CARTOGRAPHIE MOBILE INTÉRIEURE ET EXTÉRIEURE

Année après année, le Forum de la topographie poursuit son tour de France des écoles d'ingénieurs et lycées qui forment des géomètres-topographes. L'AFT répond avec reconnaissance aux propositions des établissements scolaires, souvent pressantes, d'accueillir la manifestation phare de l'association. En 2018, en co-organisant sa 14^e édition, le lycée Cantau d'Anglet (Pyrénées-Atlantiques) a ajouté son nom à la liste des lieux de forum et attiré l'attention sur la création en début d'année scolaire d'une classe de licence professionnelle "GEO 3D : conception et exploitation des maquettes numériques pour les ouvrages du BTP". Cette formation, une première en France, parrainée par l'AFT, concerne 14 étudiants, le forum étant l'occasion de marquer son intronisation.

Le générateur d'activité Arkinova

Le lycée Cantau est inscrit dans l'ambition de la nouvelle Communauté d'agglomération Pays-Basque, créée le 1^{er} janvier 2017 comme procédant de la fusion des dix intercommunalités de son territoire, de favoriser la synergie entre des établissements d'enseignement supérieur, des laboratoires et des entreprises tournées vers le secteur de l'écoconstruction. La collectivité territoriale s'est donnée les moyens du projet en promouvant le site technopolitain Arkinova, un ensemble de 49 hectares situé au cœur d'Anglet dédié à la construction et au développement durables et incluant le lycée Cantau.

Arkinova accompagne le développement et l'innovation des acteurs locaux en soutenant en particulier une chaire de recherche industrielle dédiée à

l'architecture et à la physique urbaine telle la modélisation physique des flux de matière et d'énergie (thermique, aérodynamique, acoustique, qualité de l'air, lumière, cycle de l'eau) à différentes échelles (quartier, immeuble).

La visibilité d'Arkinova se traduit d'abord par l'existence d'un générateur d'activités : une pépinière-incubateur de nouvelle génération, dont le bâtiment a été ouvert en juillet 2016. La construction regroupe ateliers, bureaux et équipements technologiques d'une capacité de 25 entreprises, les premières étant déjà implantées. Le bâtiment abrite aussi des espaces ouverts et une halle technique modulable en auditorium de 300 places parfaitement adapté au forum.

Un forum de haut niveau, une cuvée exceptionnelle

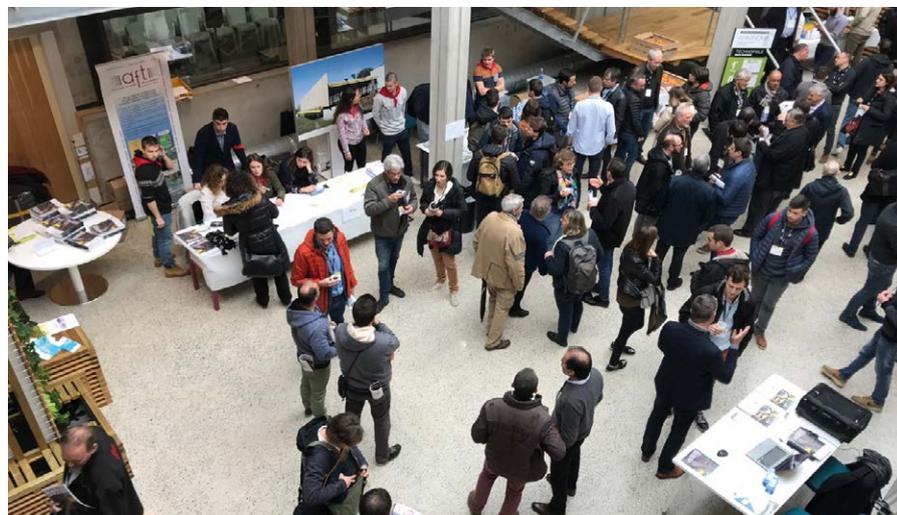
C'est ainsi que plus de 300 participants se sont retrouvés au 14^e Forum de la topographie organisé le jeudi 29 mars 2018, justement dans les locaux du générateur d'activités Arkinova, autour du thème de la cartographie mobile intérieure et extérieure. Le salon professionnel attaché au forum a réuni les stands de l'AFI GEO, d'ASTELLOG, d'ATS,



Un scanner laser en action devant la bannière du forum

des bornes FENO, de D3E Electronique, d'ESCADRONE, de GEOMEDIA, de GEOMESURE, de GEOSAT, de GEOTOPO, d'HELICEO, d'IMAGING, de JSINFO, de LEICA Geosystems, de LEPONT Equipements, de SEPTENTRIO, de SOGELINK, de STONEX SFS Topo, de TERIA, de TOPCON, de VIAMETRIS et de VINCITerrassement. Des démonstrations et essais étaient proposés à l'extérieur comme à l'intérieur du bâtiment qui aura été, finalement, mesuré et scanné à de multiples reprises.

Les élèves du lycée, chargés de la logis-



L'atrium du bâtiment recevant les congressistes



tique et de l'accueil, sous la houlette d'un de leurs enseignants Christophe Bagieu, étaient reconnaissables au foulard rouge : l'attribut obligatoire des *festayres* ou festivaliers des fêtes de Bayonne. En suivant, Françoise Duquenne, présidente de notre association, Gérard Montpays, proviseur du lycée et finalement l'inspecteur général de l'éducation nationale Jean-Michel Schmitt ont ouvert la manifestation et baptisé la promotion GEO 3D.



© BF

Les jeunes étudiants sont intéressés par le positionnement mobile

Les conférences sur le thème du forum

La matinée a vu deux conférences sur la cartographie, donc le positionnement mobile extérieur. Mikaël Royère de la société GEOSAT nous a montré l'intérêt de la cartographie mobile pour les relevés topographiques à grande échelle. Son exposé, qui sera restitué dans un prochain numéro, nous explique les diverses possibilités d'utilisations, dont

certaines novatrices (mixe LiDAR, drone photogrammétrie, radar pour le sous-terrain) et insiste sur le contrôle des données.

La cartographie mobile et le géo-référencement précis de réseaux souterrains ont été approfondis par Quentin Dartiailh de chez IMAJING. Après avoir identifié au sol les réseaux et points particuliers souterrains, les méthodes, équipements et suites logicielles de la société sont utilisés pour les relever, traiter, visualiser, livrer de façon performante. L'article relatif à cette présentation est d'ores et déjà prévu dans le prochain numéro.

L'après-midi a été consacrée à la cartographie intérieure et une présentation de Valérie Renaudin (IFSTTAR) qui nous a prédit un magnifique concours entre entreprises spécialisées lors du prochain événement IPIN2018 (*Indoor Positioning and Indoor Navigation*) fin septembre à Nantes, voir l'annonce à la page 22 de ce numéro. Le centre commercial Atlantis est dès à présent cartographié par les équipes d'IFSTTAR et par ses partenaires académiques et industriels pour servir d'étalon à la compétition. Cette préparation est restituée en page 17 de ce numéro.

Le prix de l'AFT

Chaque année les jeunes diplômés concourent pour le prix de l'AFT, sous l'œil de notre partenaire Leica Geosystems. Cette année, la plus haute marche du podium est occupée par Luc Perrin de l'INSA de Strasbourg pour son étude sur l'analyse du risque végétation dans les emprises ferroviaires à partir de données LiDAR acquises par drones.



© BF

Maxime, Maylis, Luc en compagnie de Farouk Kadded (Leica Geosystems), de G à D.

Le jury a ensuite attribué deux ex aequo en deuxième prix, soit pour Maxime Cartier Xatard de l'INSA de Strasbourg pour son utilisation de la photogrammétrie numérique pour la modélisation de fonds mobiles de modèles physiques et également pour Maylis Teyssendier de la Serve de l'ENSG pour son étude sur Arpent, un prototype de haute exactitude pour les mesures de grande distance. Les articles relatifs à ces études primées sont disponibles dans le numéro 154 de mars 2018 de votre revue. Les prix leur ont été remis en séance.

Remerciement

Un grand remerciement au lycée Cantau, à Christophe Bagieu pour la préparation de la manifestation et également aux élèves pour la soirée *peña* dans le vieux Bayonne, soirée qui a pu voir les enseignants, élèves et professionnels du grand sud-ouest se rencontrer. ●

BF et JPM

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

Préparation de la compétition internationale de localisation intérieure IPIN : cartographie de parcours piétons

■ Valérie RENAUDIN - Nicolas MOREAU - Antoine BILLEY - Alexandre LAMBLIN - Jasper VOS - Johan PERUL - Miguel ORTIZ

Depuis quelques années des compétitions internationales destinées à comparer les technologies de localisation à l'intérieur des bâtiments sont organisées. Face à la diversification de ces technologies, elles permettent de fixer une cadre unique d'évaluation des performances de localisation en temps réel ou différé. Un levé topographique d'envergure qui combine mesures au théodolite, par GNSS différentiel et scanner 3D a permis de cartographier à 10 cm près les 180 cibles réparties dans le centre commercial Atlantis à Nantes. Ces cibles définissent les parcours sur lesquels les compétiteurs du congrès international IPIN s'affronteront le 22 septembre. Ce projet a été réalisé par quatre étudiants de l'ESGT sous la direction du laboratoire GEOLOC de l'IFSTTAR et avec le soutien de la société Viametris.

MOTS-CLÉS

Localisation intramuros, SLAM, LiDAR, GNSS, Inertiel, smartphone, précision, scanner 3D, navigation pédestre

de données sont fournis aux compétiteurs. Le premier jeu de données est enregistré sur un parcours géolocalisé où les coordonnées géographiques des empreintes des mesures sont fournies. Pour le second jeu de données, seules les empreintes de mesures sont fournies et leurs coordonnées doivent être estimées.

La 2^{de} partie, dite "on-site" est une compétition sur site. Les équipes déploient leur propre technologie (selon les critères fixés par les organisateurs) et calculent en temps réel les coordonnées des cibles sur lesquelles elles vont marcher selon les parcours pré-cartographiés par les organisateurs.

Le score final est basé sur la précision de détection de l'étage et sur l'erreur de positionnement horizontal. Cette erreur est calculée en mètres au troisième quartile, soit extraite de la fonction de distribution cumulative des erreurs au 3^e quartile. Cette information correspond à l'erreur la plus faible incluant 75 % des estimations. La détection d'étage sert de pondération au score final. Plusieurs recommandations de la norme ISO/CEI 18305:2016 ont été prises en compte pour définir la compétition IPIN 2018. Cette norme destinée aux systèmes de localisation en temps réel émet des recommandations pour conduire des essais et évaluer les systèmes de localisation et de "tracking".

Définition des parcours à pied

Le premier travail a consisté à définir les parcours qui serviront aux défis proposés cette année. C'est la première fois que la compétition se déroule dans un environnement réel de vie publique,

Introduction

Chaque année le congrès international "Indoor Positioning Indoor Navigation" (IPIN)¹ réunit 400 experts du monde industriel et académique pour échanger sur les usages de la géolocalisation indoor, découvrir les meilleures technologies de positionnement et navigation intramuros et partager les dernières innovations. La 9^e édition du congrès se déroulera à Nantes du 24 au 27 septembre 2018 où plus de 40 nationalités sont attendues. Une compétition qui permet à des équipes de s'affronter sur des parcours à pied à lieu en parallèle de l'IPIN. Cette année elle se déroulera le 22 septembre au centre commercial Atlantis à Nantes.

Cette compétition nécessite de préparer et cartographier des parcours piétons dans le centre commercial. Ces parcours sont matérialisés par des cibles au sol dont les coordonnées doivent être connues avec une précision de l'ordre de 10 cm. Ces coordonnées seront utilisées comme référence pour estimer les performances des technologies déployées par les compétiteurs et les

classer. Imaginer les parcours, concevoir un système de marquage qui puisse être remis en place le jour J et cartographier les cibles sont autant d'étapes à franchir pour préparer cette compétition. Cet article présente ces travaux qui ont été réalisés dans le cadre d'un projet, réalisé en partenariat avec l'ESGT sous la conduite du laboratoire GEOLOC de l'institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR).

L'objectif du travail était d'établir des points de référence et paramètres d'évaluation pour comparer plusieurs solutions de localisation dans les bâtiments. La compétition IPIN existe depuis 2015. C'est une suite des compétitions initiées dans le cadre du projet européen FP7 "universAAL". La compétition comporte deux parties.

La première partie, dite "off-site", permet aux compétiteurs de calculer des traces à partir de données qui leur sont fournies avant la compétition. Il s'agit d'un travail de bureau basé sur des méthodes d'apprentissage. Les données à télécharger sont de natures diverses : wifi, champ magnétique, signaux inertiels, puissance Bluetooth, etc. Deux jeux

¹ <http://ipin2018.ifsttar.fr/>



ce qui complique le challenge mais le rend plus réaliste. Le centre commercial Atlantis comprend 151 enseignes, 31 restaurants sur une superficie de 14'000 m² répartie sur 3 niveaux.

Les parcours doivent comporter des phases de marche, de montée d'escalier, de passages en ascenseur ou sur tapis roulant, de pause sur des bancs, etc. Ils se veulent le plus réaliste possible d'un déplacement à pied. Les parcours ont été étudiés sur la carte puis décrits par de nombreux points de passages. Plus de 180 points de passages ont été positionnés et cartographiés. Ce grand nombre permet une analyse statistique des écarts avec les points calculés par les compétiteurs.

■ Traces "off-site" : un défi smartphone

La 1^{re} trace "off-site" teste les technologies de localisation, avec les mesures d'un smartphone, d'une personne qui parcourt le centre commercial. Pour déterminer les parties du centre commercial exploitables pour les traces "off-site" smartphone, des tests ont été réalisés avec l'application "GetSensorData 2.0" qui enregistre toutes les données acquises avec les différents capteurs du smartphone utilisé (luminosité, wifi, Bluetooth, *Bluetooth low energy*...). Le centre commercial a été découpé en cinq parties. Une boucle a été faite dans chaque partie pour recueillir des données dans tous les endroits du centre commercial. Ces données ont été analysées pour identifier les zones du centre commercial ne pouvant pas être utilisées pour la compétition (absence de couverture WiFi, BLE, etc. : les zones blanches). L'analyse a montré que toutes les parties étaient suffisamment couvertes, sauf quelques parties des parkings où le signal wifi notamment était trop faible. Suite à la préétude, deux traces "off-site" ont été créées. Les données fournies aux compétiteurs sur ce défi sont enregistrées avec l'application "GetSensorData 2.0" en trois étapes : une phase d'apprentissage, une phase de validation et une phase d'acquisition des parcours à calculer.

La phase d'apprentissage sert aux candidats pour créer une carte par apprentissage qui est localisée grâce aux points connus en coordonnées.

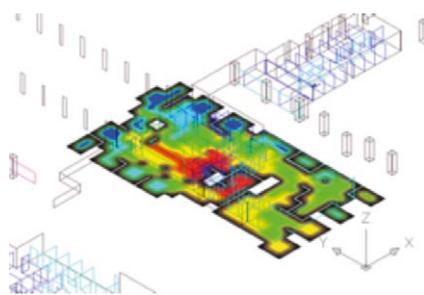


Figure 1. Exemple de cartographie en fonction de la puissance du champ magnétique

La trace a été décomposée en sept tronçons, sur lesquels a été effectué un aller-retour avec l'application. Ces tronçons sont réalisés dans un ordre aléatoire. Ces acquisitions sont fournies avec les coordonnées de certains points de passage. Ce sont 39 points de passages en tout dont les coordonnées sont envoyées. Le ratio de points disponibles doit être important, car s'il n'y a pas assez de points, les compétiteurs seront incapables de créer leurs cartes. Mais disposer de trop de points signifierait une trop grande facilité à retrouver la trace. Le principe de la réalisation d'une carte par apprentissage (Figure 1) réside sur le fait d'enregistrer dans une base de données l'ensemble des signaux reçus par le smartphone afin de créer une empreinte, appelée technique de "fingerprinting" (Zhao et al. 2018), où l'ensemble des signaux qui caractérisent une position sont uniques. La phase de validation est réalisée sur le même principe, mais avec des tronçons différents, elle permet aux candidats de valider leur cartographie. Dans la phase d'acquisition, le tracé est parcouru totalement avec l'application et les données sont envoyées aux compétiteurs qui doivent déterminer les coordonnées de chaque point de passage.

L'opération de localisation consiste à rechercher à travers la base de données d'apprentissage, le n-uplet dont l'intensité est la plus proche du n-uplet des intensités mesurées par l'application. Une fois ce n-uplet de la base de données identifié, la position du mobile correspond à celle de la mesure référencée dans la base de données. La difficulté de cette technique est qu'outre le fait qu'elle ne puisse être utilisée qu'en présence de structures particulières, les

signaux sont impactés par la nature des murs, par les nombreux multitrajets des ondes spécifiques aux environnements *indoor* ou encore par les interférences et la présence de foule car le corps humain absorbe les ondes. Les algorithmes utilisés doivent donc considérer tous les bruits et perturbations relatifs à la propagation des signaux en intérieur.

■ Les traces "off-site" : défi centrale inertielle et GNSS au pied

La seconde trace est parcourue cette fois-ci avec la centrale d'acquisition PERSY élaborée par l'IFSTTAR, portée sur le pied (Figure 2). Il s'agit d'une centrale inertielle de précision, intégrant des capteurs inertiels, magnétiques et GNSS (Chable & Renaudin 2016 ; Scornec et al. 2017). Deux jeux de données sont préparés. Le premier sert à la calibration et le second au calcul de trace. Le jeu de données de calibration du magnétomètre se réalise dans un environnement sans perturbation magnétique susceptible de modifier le champ magnétique terrestre. En effectuant des rotations selon les différents axes du capteur, on définit un nuage de points d'allure ellipsoïdale. Il est alors possible de déterminer la transformation nécessaire afin de venir faire correspondre le nuage de points avec la sphère de rayon, la norme du champ magnétique terrestre local (Renaudin et al. 2010). Il est complété par des données enregistrées sur plusieurs heures en phase statique afin de déterminer les bruits et biais de mesure des capteurs inertiels par variance d'Allan. Les participants vont ainsi calibrer eux-mêmes l'appareil avec leurs algorithmes. Enfin, le jeu de données sur le parcours à pied va permettre aux participants de calculer les coordonnées des points de passage. Le but de ces traces est de comparer des algorithmes de navigation pédestre par mesures iner-



Figure 2. Centrale d'acquisition PERSY attachée au pied



tielles, GNSS et magnétiques sur des données similaires.

■ Les traces "on-site"

Les traces "on-site" sont directement parcourues par les compétiteurs qui vont utiliser leur propre technologie. Ils sont libres d'utiliser le matériel qu'ils souhaitent. Ils devront calculer les points de passages en temps réel et fournir les coordonnées calculées dès la fin des parcours aux organisateurs. Deux défis constituent ce challenge qui autorise uniquement des équipements portés sur le haut du corps et interdisent les solutions Lidar. En effet, les solutions Lidar de "mobile mapping" sont des solutions précises de cartographie de l'intérieur, plutôt des solutions de référence. Une telle solution a servi au calcul des coordonnées de points de références des parcours à pied.

Le 1^{er} défi autorise l'utilisation d'enregistrements vidéo permettant de la localisation basée vision. Il n'y a pas de passage en extérieur pour cette trace qui inclut des arrêts et passages sur un "travelator" et dans des parkings. Le 2nd défi n'autorise pas la prise de vidéo. Pour cette trace, un passage en extérieur a lieu, ainsi qu'à travers un escalator, "travelator" et un escalier. L'objectif de ces traces est de comparer l'avancement des technologies temps réel.

■ Matérialisation des parcours

Les différents parcours ont été dessinés sous Autocad après avoir épuré les plans d'architecte. Après avoir contacté plusieurs sociétés spécialisées dans les outils dans le domaine de la construction, une solution de matérialisation des cibles à l'aide de petites pastilles autocollantes discrètes a été adoptée (Figure 3). Le moyen de matérialisation se devait d'être facilement et rapidement mis en place (à cause de leur grand nombre), peu visible (pour ne pas gêner le personnel et attirer l'attention des clients) et devait pouvoir tenir plusieurs jours. Nous avons placé quelque 180 étiquettes



Figure 3. Matérialisation des cibles

sur l'ensemble de la galerie, à l'aide des plans Autocad précédemment réalisés. Pour chacune d'elles, une fiche d'identification avec matricule, croquis, photos et notes explicatives a été établie. Ces fiches serviront la veille de la compétition afin de repositionner toutes les cibles.

Cartographie des parcours

Le concours étant international, les coordonnées géographiques sont estimées par les compétiteurs dans le système WGS84. Les différentes coordonnées des cibles sont donc fournies en coordonnées géographiques WGS84 pour permettre une comparaison. D'autres systèmes de coordonnées projetés ont été utilisés, pour le post-traitement des mesures deux scanners dynamiques ainsi que les calculs sous AutoCad et Covadis. La projection CC-47 a été choisie et les déformations dues à l'altération linéaire sont prises en compte dans les calculs de coordonnées.

Aucun point n'étant connu sur les différents plans fournis par la SARL LAMEYNARDIE (Architecte à Nantes), des points durs, déterminés en coordonnées RGF 93, ont été créés grâce à un levé GNSS en méthode de statique rapide (Figure 4). Deux récepteurs GNSS Leica System 500 ont été utilisés pour la méthode pivot libre. Six points ont été ainsi matérialisés et calculés en coordonnées le long de la façade. Plusieurs points GNSS levés préalablement sur

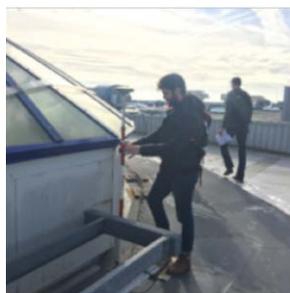


Figure 4. Levé du réseau de points topographiques au GNSS et théodolite

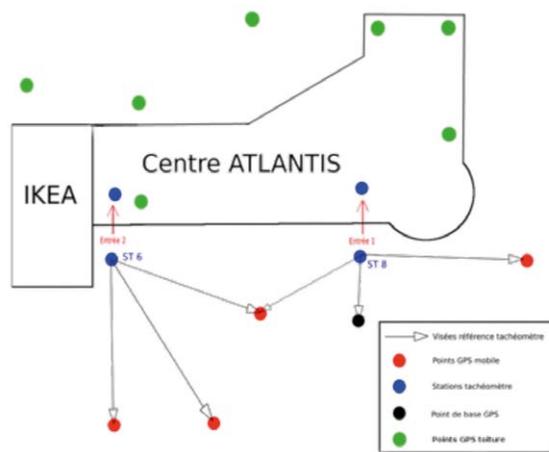
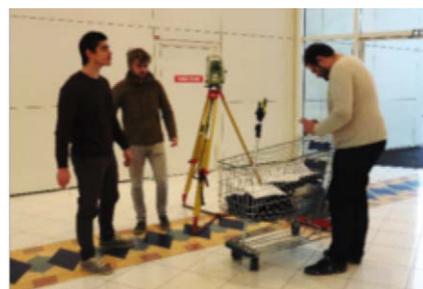


Figure 5. Réseau de points de la cartographie du centre commercial

le toit ont été utilisés afin d'avoir une bonne répartition à travers le centre. Le réseau de points est illustré sur la Figure 5.

Grâce à ces points de référence, il a été possible de calculer des stations devant les portes des deux entrées de la galerie marchande par station libre. Les stations intérieures ont été déterminées par cheminement polygonal. Ces stations intérieures ont permis de créer les triplets de points nécessaires au levé intérieur par scanner 3D. Une fois l'ensemble de points obtenu à l'intérieur de la galerie, il a fallu les transformer dans le système WGS84. Les points ont été calculés dans un premier temps dans le système RGF93 avant d'être transformés vers le système WGS84. La transformation s'est faite avec l'outil de transformation de coordonnées du site de l'EUREF Permanent Network en considérant que le RGF93 correspond



Figure 6. iMS3D et bMS3D

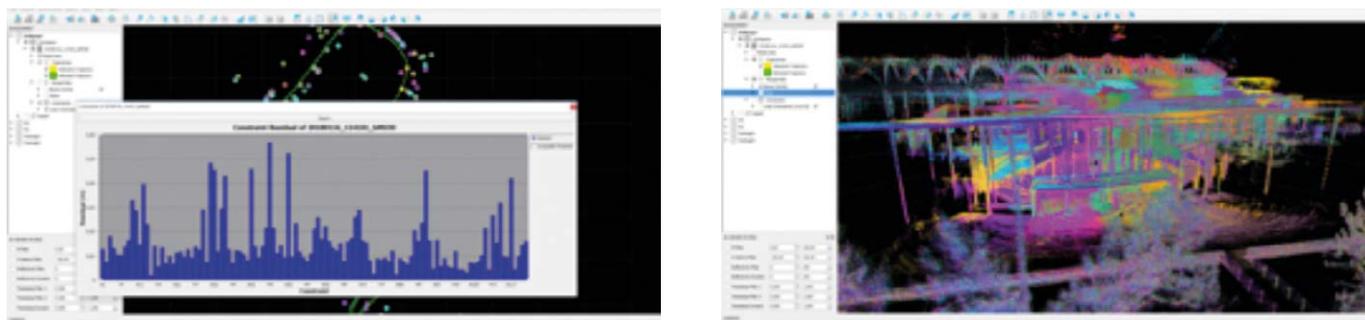


Figure 7. Interface de PIMMS avec le nuage de point brut et histogramme des écarts



à l'ETRF2000 et que l'ITRF2014 époque 2017.91 est homogène au WGS84 à 10 centimètres près. Au moment de la compétition IPIN, le plan sera conservé tel quel et les mesures de la navigation seront ramenées à l'époque du plan.

■ Levé dynamique

La prochaine étape a été de cartographier l'ensemble de la galerie du centre commercial avec un levé par scanner mobile. Deux scanners 3D ont été déployés par la société Viamétris (Figure 6). Le bMS3D-360 est un système de scan dynamique porté en sac à dos. L'iMS3D est un scanner robot mobile. Ce dernier a été utilisé dans les galeries au rez-de-chaussée et le bMS3D pour les passages aux différents étages, escaliers et parkings où il n'est possible que de passer à pied. Ces scanners permettent une acquisition rapide pour des grandes surfaces en environnement complexe. Le scan a duré 2 heures sans données GNSS. Le bMS3D prend des points jusqu'à une distance maximale de 30 mètres avec un bruit minimisé mais peut théoriquement viser plus loin. L'iMS3D prend des points jusqu'à 30 mètres, mais est programmé pour 10-15 mètres pour les mêmes raisons. L'iMS3D comprend trois lasers profilers et une caméra panoramique pour coloriser le nuage de points. Contrairement au scanner laser fixe qui mesure tout autour de lui grâce à une rotation de son laser, le laser profileur ne se propage que selon des plans latéraux et horizontaux. C'est le déplacement de l'opérateur qui permet l'acquisition d'un nuage de points complet. Ses caractéristiques sont une précision de 2-3 cm pour une résolution de 80 000 points/s. Il possède une dérive en planimétrie de 1 pour 1 000 soit environ 10 cm pour 100 mètres. Le calcul des coordonnées se fait par technologie

SLAM (*Simultaneous Localization And Mapping*) (Fragher et al. 2012).

Le bMS3D est composé de 4 caméras et de deux scanners. Les caméras prennent des photos toutes les secondes pour coloriser le nuage. Une centrale inertielle calcule les angles de roulis et tangage et fournit la référence de planéité. Les autres données de positionnement et nord magnétique sont trop peu fiables pour être exploitées en intérieur. Ses caractéristiques sont une dérive sur les trois dimensions de 5 pour 1000 soit 50 cm sur 100 mètres et de 1 pour 1000 sur les composantes X et Y. La mesure se fait sur le principe du temps de vol pour une distance minimale d'au moins un mètre. On observe des déformations de 50 cm à un mètre et aucune donnée sous 50 cm. Sa précision centimétrique est semblable à celle de l'iMS3D, mais sa résolution est bien plus importante : 300 000 points/s. Le levé à l'iMS3D nécessitait quelques coins de murs connus en X, Y aux extrémités de la galerie. Ils ont été relevés au tachéomètre. Ces coordonnées permettent un géo-référencement absolu de l'acquisition puisque la technologie SLAM fournit un positionnement relatif. Le levé au sac à dos nécessitait un point connu au sol en X, Y

et Z, basé sur les cibles : point de départ du levé. Ce point permet le raccord avec le nuage de l'iMS3D.

Le post-traitement des trajectoires des scans dynamiques a été réalisé avec le logiciel PIMMS de Viamétris. Le déplacement est précis, mais comporte une erreur due notamment aux déplacements aléatoires des personnes, aux miroirs placés le long de la galerie, et aux vitrines des boutiques. C'est pourquoi on observe une dérive de 5 pour 1 000. Un recouvrement entre le début et la fin de l'acquisition est nécessaire pour limiter les dérives. Sans cohérence globale, la dérive augmente. Autrement dit, il est préférable de mesurer la même zone en début et fin de levé afin d'obtenir une fermeture. C'est une contrainte usuelle des technologies SLAM. L'utilisation de points de calage connus en coordonnées permet d'ajuster le levé et d'avoir une plus grande précision de superposition des nuages de points. Une fois les écarts éliminés, un nouvel ajustement est fait. La figure 7 montre la trajectoire estimée et un histogramme des résidus de superposition des points de calage choisis aléatoirement sur les parcours. Un écart-type entre 2 à 10 cm est obtenu.

L'étape de colorisation du nuage à

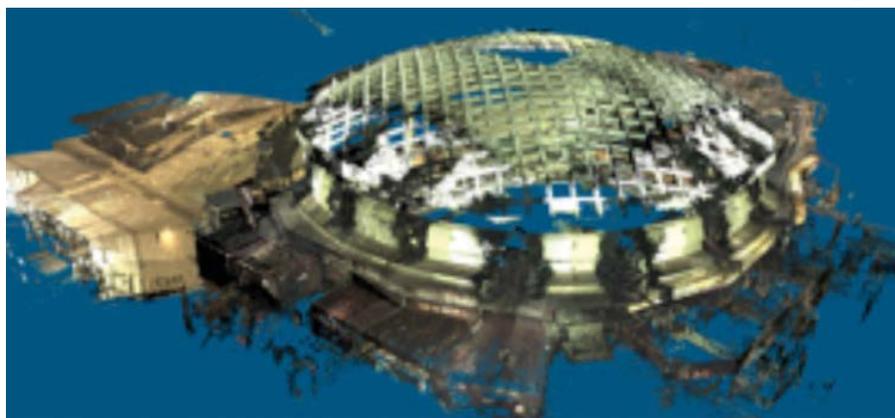


Figure 8. Colorisation du nuage 3D



l'aide des photographies permet un rendu plus réaliste (*figure 8*). Nous avons constaté qu'il est même possible d'observer les joints de carrelages et les écritures sur les affiches dans le nuage de point final. Même avec une grande rapidité d'acquisition, ces scanners 3D permettent d'obtenir un rendu précis et lisible. Bien évidemment, un levé au scanner fixe serait plus précis, mais la rapidité d'acquisition des scanners dynamiques a été préférée pour la cartographie du centre commercial. Les coordonnées des cibles ont ensuite été extraites à la main à partir des nuages de points géoréférencés et une analyse des images.

Conclusion

Un projet conjoint entre quatre étudiants de l'ESGT et les membres du laboratoire GEOLOC de l'ISFTTAR a permis de définir et marquer plusieurs parcours à pied dans le centre commercial Atlantis. Ces parcours serviront à la compétition internationale de géolocalisation en intérieur. 180 cibles ont été réparties sur les 3 niveaux de la galerie commerciale pour matérialiser les parcours. Les coordonnées WGS84 des cibles ont été estimées à 10 cm près en combinant de nombreuses techniques de levé terrestre : tachéomètre, scanner dynamique 3D, GNSS différentiel. La complémentarité des technologies a permis de conclure avec succès le travail préparatoire nécessaire au bon déroulement de la compétition de géolocalisation intramuros qui se tiendra à Nantes le 22 septembre 2018 dans le cadre de la conférence internationale "Indoor Positioning and Indoor Navigation." A cette occasion, les cibles seront repositionnées au sol et les compétiteurs venus du monde entier viendront comparer les performances de leur technologie sur les mêmes tracés et dans les mêmes conditions. La géolocalisation intramuros restant un challenge pour l'essor des technologies de l'internet des objets, de plus en plus de compétitions de cette nature naissent. La compétition IPIN 2018 se déroulera pour la 1^{re} fois dans un environnement réel de vie publique où les personnes feront leur achat en parallèle de la compétition. ●

Contact

Valérie RENAUDIN
valerie.renaudin@ifsttar.fr

Bibliographie

Chable, S. & Renaudin, V., 2016. *Couplage de mesures GPS et inertielles pour de la navigation pédestre dans les bâtiments*. XYZ, 146, pp.27-32.

Faragher, R.M., Sarno, C. & Newman, M., 2012. *Opportunistic Radio SLAM for Indoor Navigation using Smartphone Sensors*. In IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium. Myrtle Beach, CA, pp. 120-128.

Renaudin, V., Afzal, M.H. & Lachapelle, G., 2010. *Complete triaxis magnetometer calibration in the magnetic domain*. Journal of Sensors, 2010.

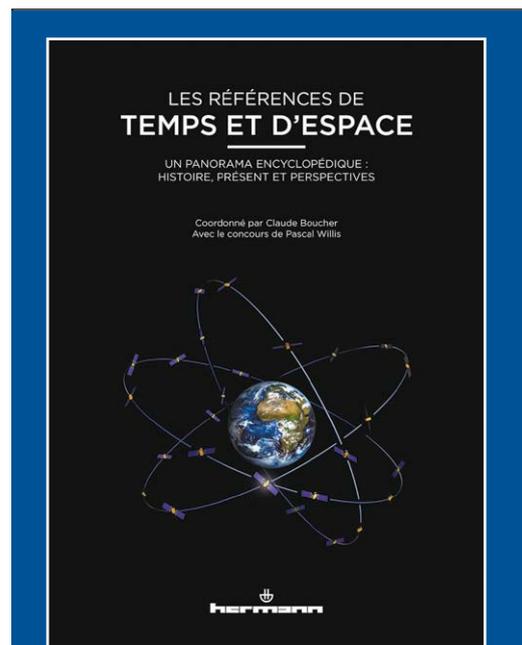
Scornec, J. Le, Ortiz, M. & Renaudin, V., 2017. *Foot-mounted pedestrian navigation reference with tightly coupled GNSS carrier phases, inertial and magnetic data*. In 2017 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN). Sapporo, Japan, pp. 18-21.

Zhao, W. et al., 2018. *Crowdsourcing and multisource fusion-based fingerprint sensing in smartphone localization*. IEEE Sensors Journal, 18(8), pp.3236-3247.

ABSTRACT

Key words: Indoor positioning, indoor navigation, SLAM, LiDAR, GNSS, inertial, smartphone, 3D scanner, pedestrian navigation.

Recently, international competitions have been organized to compare indoor localization technologies. In a context of a growing diversity of technologies, they set a single framework for assessing localization performance both in real time and post-processing modes. A large-scale topographic survey, which combines theodolite, differential GNSS and 3D scanner measurements, was conducted to survey 180 targets distributed in the Atlantis shopping center in Nantes within 10 cm accuracy. These targets define the foot-tracks that will be followed by the competitors of the IPIN International Congress on September 22 in Nantes. This project was carried out by four ESGT students under the direction of IFSTTAR's GEOLOC laboratory and with the support of Viametris.



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

COMITÉ DE LECTURE D'XYZ

BAILLY André,
ingénieur, Paris

BOTTON Serge,
ingénieur, ENSG Marne-la-Vallée

CHRISMAN Nicholas,
rédacteur, sciences géographiques
(États-Unis)

CLÉDAT Emmanuel,
doctorant, EPFL (Suisse)

DUQUENNE Françoise,
ingénieur général des ponts, des eaux
et forêts honoraire, Saint-Contest

DURAND Stéphane,
maître de conférences, ESGT Le Mans

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

VIGUIER Flavien,
ingénieur topographe, ALTAMETRIS, Paris

IPIN 2018

NINTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON
INDOOR POSITIONING
AND INDOOR NAVIGATION
SEPTEMBER 24-27, 2018, NANTES, FRANCE

TEAM
GEOLOC

9TH INTERNATIONAL
CONFERENCE ON

INDOOR
POSITIONING
AND INDOOR
NAVIGATION



WELCOME
TO NANTES,
FRANCE

SAVE THE DATE

DATE
24 - 27
SEPTEMBER,
2018

LOCATION
NANTES,
FRANCE

TOPICS
• UBIQUITOUS
GEOLOCATION
TECHNOLOGIES

• CONNECTED
INTELLIGENT
URBAN MOBILITY

• INDOOR LOCATION
SHARING IN
IOT CONTEXT

The advent of terrestrial positioning systems, the internet of things and human sensor networks provides new navigation functionalities and sets a novel paradigm for indoor positioning and navigation solutions. The environment, where navigation technology is expected to work, has extended to challenging indoor spaces and to the context of goods and personal mobility. Globally there is no overall and easy solution. Every year, IPIN gathers over 400 industrial and academic experts in informatics, electronics and surveying to address this challenge. In the footsteps of our Japanese colleagues, we welcome you in France to IPIN 2018 for its ninth edition to discuss in person scientific and industrial matters, experience geolocation competitions beyond the conference venue and enjoy the historical and cultural heritage of Nantes.



The preliminary programme and call for papers are available at: <http://ipin2018.ifsttar.fr>
To receive information concerning IPIN 2018, please contact: ipin2018@ifsttar.fr

JOIN US

ORGANISERS

IFSTTAR, THE FRENCH INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR TRANSPORT, DEVELOPMENT AND NETWORKS, IS PLEASED TO WELCOME YOU TO NANTES INTERNATIONAL CONVENTION CENTER FOR THE 9TH EDITION OF THE IPIN CONFERENCE.



WHY ATTEND

Three-day conference with industrial and academic expert speakers to discuss innovation in indoor location technologies, services and applications. Two-day exhibition of the latest products and services (GNSS, UWB, BLE, INS, Vision, ...). Three on-site competitions driven by industrial challenges.



HIGHLIGHTS

Competition and best paper awards to be announced on Sep. 27th. 100+ oral presentations from international experts. Three worldwide renowned keynote speakers. French-Celtic cultural music and dance performance. In the heart of the historic center of one of the most famous French cities.



HOW TO
GET TO
NANTES!



BY HIGH SPEED TRAIN, TGV

- 2h10 by TGV from Paris, arrival Nantes Train Station
- 3h by TGV from Charles de Gaulle airport
- Direct TGV with: Lille, Lyon, Marseille, Paris, Strasbourg

The train station is located in the city center, facing the Convention Center.



BY PLANE

- 1 hour flight from Paris, arrival Nantes-Atlantique Airport
- 65 destinations with direct flights
- 20 direct flights to French destinations: Bordeaux, Lille, Lyon, Marseille, Montpellier, Nice, Paris, Strasbourg, Toulouse

Nantes Atlantique Airport is located at 20 min by shuttle (departure every 20 min) from the Convention Center.



Pré-estimation et analyse de la précision pour la cartographie par drone

■ Laurent Valentin JOSPIN

L'arrivée sur le marché de drones à usages civil à la fois légers et à bon marché a révolutionné les méthodes de cartographie aérienne, tant pour la télédétection que pour la topométrie. Un géomètre peut désormais employer un drone pour facilement acquérir un ensemble d'images aériennes d'un objet ou d'une zone et obtenir un modèle en trois dimensions en utilisant des logiciels commerciaux dédiés. Néanmoins, il est difficile de prévoir exactement la précision finale de ces modèles avant de réaliser le vol et le post-traitement : si les résultats ne sont pas satisfaisants, tout le processus doit être repris à zéro. Dans ce projet de master, un logiciel a été développé pour simuler facilement un relevé aérien en prenant en compte la géométrie du terrain, la couverture GPS et les points de calage présents au sol. Cet outil se base sur les dernières avancées dans la résolution d'ajustement de problèmes photogrammétriques, notamment des solveurs dédiés, les algèbres de Lie et, une fois intégré dans les logiciels de gestion de missions, permettra de réduire le temps et le coût de la planification des relevés par drones.

■ MOTS-CLÉS

Drones, cartographie aérienne, photogrammétrie, vision par ordinateur, optimisation, optimisation sur les graphes, groupes de Lie, Algèbre de Lie

Applications

À l'heure où les drones permettent une démocratisation des prises de vues aériennes, il devient de plus en plus rapide de créer des modèles 3D photogrammétriques. Cependant, la précision de ces modèles peut être en deçà des attentes, due souvent à un mauvais choix de matériel, de plan de vol, ou de placement de points de calage. Une bonne planification permettra de faire "bien du premier coup" plutôt que de devoir retourner sur le terrain pour effectuer de nouvelles photos ou ajouter des points de calage, ce qui augmenterait le coût du relevé.

Plus que le simple contrôle, il deviendra possible d'optimiser automatiquement les plans de vol pour maximiser la précision, le temps de vol ou le temps de post-traitement qui peuvent être non négligeables. Ce genre de logiciel pourra aussi être utile dans le choix du matériel, optimisant ainsi la qualité des mesures tout en limitant les coûts. Une fois intégré dans l'interface d'un gestionnaire de mission, il deviendra facile pour l'opérateur d'explorer interactivement les effets de ses choix sur la précision attendue.

Le logiciel se limite pour l'instant à la prédiction de précision de réseaux photogrammétriques purs. Cependant, le logiciel a été développé de manière à être facilement adapté pour traiter d'autres types de mesures, tels que des mesures LIDAR. La technologie du LIDAR aéroportée par drone est en effet très prometteuse, grâce à la miniaturisation des capteurs, et le développement de chaînes de traitement multi-capteurs [Leroux 2017].

Introduction

La photogrammétrie est l'ensemble des techniques de mesures basées sur des prises de vues photographiques. Il est devenu courant de croiser ces techniques appliquées à l'archéologie, la muséologie, l'infographie et bien d'autres domaines pour digitaliser des objets en 3 dimensions.

Dans le domaine de la géomatique, la photogrammétrie permet la création de nombreux produits, orthophotos, modèles de terrains... Malheureusement il n'est pas toujours aisé de prédire la précision de ces produits finaux, les problèmes d'optimisation impliqués dans les étapes intermédiaires étant souvent très grands et pas toujours simples à appréhender, surtout avant de disposer de toutes les mesures. Cette difficulté peut limiter l'utilisation de la photogrammétrie pour certains travaux, la reléguant

au rang de complément pour des méthodes plus classiques.

Mais si un humain ne peut pas analyser seul ce genre de problèmes, l'ordinateur le peut. Du moins, il peut donner une estimation a priori moyennant quelques hypothèses sur les mesures qui ne seront disponibles qu'après le vol (par exemple la disposition des points homologues ou leur distribution).

Le but du projet de master présenté dans cet article est d'implémenter un logiciel capable de recevoir en entrée les données du plan de vol et du terrain, ainsi que certaines informations pour formuler les hypothèses nécessaires. En sortie, ce logiciel devra fournir une estimation réaliste de la précision, notamment du positionnement des points homologues et des positions et orientations de la plate-forme aérienne lors de la prise de vue.

Approche proposée

L'utilisateur dispose en général d'une bonne idée du vol effectif de son drone (ou avion), qui doit correspondre (à quelques perturbations près) au plan de vol prévu. Il a aussi une idée approximative du terrain, de nombreux modèles numériques de terrain ou d'élévation étant disponibles en tout point de la surface de la terre [Nasa and METI, 2011]. Selon les pays l'utilisateur a aussi une assez bonne idée de la nature de l'utilisation du sol et de la présence de plans d'eau. Enfin l'utilisateur a une idée approximative des points de calage qu'il va relever sur le terrain et/ou des technologies de positionnement qu'il va embarquer sur sa plate-forme aérienne.

L'idée est d'utiliser toutes ces données en entrée pour simuler la forme probable de l'ajustement par faisceaux, notamment en simulant la distribution des points homologues au sol à partir de la nature du sol.

Dans les applications, les observations sont la position de points de calage et de points homologues dans les images. Les paramètres sont les poses du drone au moment de la prise de vue et la positions des points au sol. On dispose aussi d'une estimation de la position des points de calage et éventuellement de mesures GPS/INS de la pose du drone. Tous ces paramètres sont reliés aux observations par les équations de colinéarité :

$$\begin{pmatrix} x_h \\ y_h \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\lambda} \begin{pmatrix} c & 0 & pp_x \\ 0 & c & pp_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} R_m^c (x_G - x_D)$$

Où x_G représente la position du point au sol, x_D la position de la caméra du drone, R la matrice de rotation entre le repère local de la carte et le repère de la caméra, pp est le point principal, généralement au centre de l'image, c est la longueur focale et λ est le facteur d'échelle.

On ajoute en général comme paramètres les coefficients de distorsion, k pour les coefficients radiaux et p pour les coefficients tangentiels, avec r , la distance du point au point principal de l'image. On obtient ainsi nos observations (entachées d'erreurs, dont la variance dépend des algorithmes qui vont chercher des points homologues dans les images) :

$$\begin{aligned} \ell_{i,x}^h + e_{i,x} &= x_h(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) + p_1(r^2 + 2x_h) + 2p_2x_hy_h \\ \ell_{i,y}^h + e_{i,y} &= y_h(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) + p_2(r^2 + 2y_h) + 2p_1x_hy_h \end{aligned}$$

La solution exacte du problème simulé est connue. Admettons à présent qu'on introduise sur les paramètres x une petite perturbation Δx . On peut retrouver la solution initiale en linéarisant le problème et en résolvant le système linéaire associé par moindres carrés. L'équation, très connue, est :

$$A^T P A \cdot \Delta x = A^T P \cdot e$$

Où A est la matrice jacobienne du système linéarisé, P est une matrice de poids qui est égale à l'inverse de la matrice de covariance des observations (dont on a une bonne idée a priori), Δx est la perturbation sur les paramètres, soit les points au sol et les positions et orientations de la plate-forme lors des prises de vues (connue, mais c'est sa matrice de covariance qui nous intéresse) et e est la perturbation sur les observations (mesures de positions des points homologues dans les images, virtuelles ici).

En appliquant la règle de propagation de variance on peut calculer la matrice de covariance assez facilement :

$$\Sigma_{xx} = (A^T P A)^{-1}$$

Dans le cas non linéaire, cette matrice dépend du point autour duquel le problème est linéarisé. Dans la pratique nous verrons que la distribution exacte des points homologues n'a pas beaucoup d'influence sur la covariance des paramètres, et donc la précision finale des nuages de points obtenus, ce qui nous permettra de simuler ces points.

Notons que même si on repose en général sur des algorithmes relativement plus complexes pour converger vers la solution, le fait qu'on s'intéresse aux perturbations autour de cette dernière conduit à ce que l'analyse basée sur les moindres carrés pondérés ordinaires reste valide. Par contre, cela ne nous informe pas sur la capacité de la méthode choisie de détecter et résister aux fautes de mesures.

Le problème (et pas des moindres), il s'avère que les matrices en jeu ici sont très grandes, de l'ordre de plusieurs milliers, voir dizaines de milliers de lignes. À ce niveau-là, la plupart des ordinateurs modernes commencent à ne plus pouvoir réaliser l'inversion des dites matrices en temps réel. Néanmoins nous ne nous intéressons en fait qu'à quelques blocs proches de la diagonale, qui représentent les matrices de covariances des triplets de coordonnées de nos points au sol. Par chance, il existe des algorithmes capables d'extraire uniquement ces coefficients avec une complexité asymptotique moindre [Kaess and Dellaert, 2009].

Pour faciliter la visualisation de ces milliers de petites matrices de covariance, un algorithme a été développé pour interpoler des cartes représentant différentes mesures telles que les écarts-types planimétriques, altimétriques, spatiaux ou la LERM (*log-Euclidean Riemannian metric*) [Cherian et al., 2011], mesure de la "distance" entre

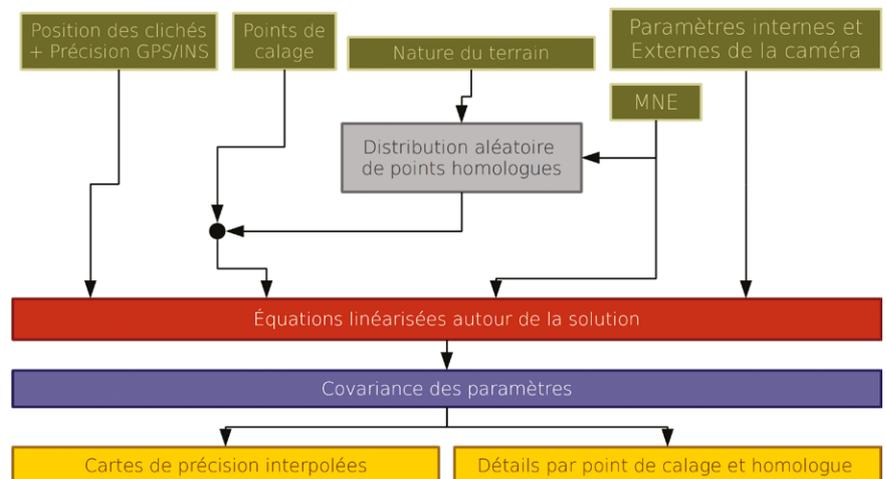


Figure 1. Flux dans le programme, depuis les entrées, en passant par la simulation et jusqu'aux sorties finales pour l'utilisateur.



deux matrices de covariances basée notamment sur les groupes et algèbres de Lie [Alexander Kirillov, 2008].

Quelques notes sur l'implémentation

Sans entrer dans les détails, qui intéresseront surtout les informaticiens et sont disponibles dans la thèse [Jospin, 2017], le système qui a été développé se base sur *g2o* (*general graph optimisation*) [Giorgio Grisetti, 2012], un ensemble de bibliothèques utilisées en robotique, vision par ordinateur et photogrammétrie pour résoudre des problèmes d'optimisation sur des fonctions pouvant être représentées comme des graphes entre les paramètres. L'idée importante derrière ce concept est que si on considère un graphe dont les côtés représentent les observations, qui relient les coins, figurant les paramètres, dont elles dépendent, alors la structure de ce graphe nous renseigne sur la structure des matrices impliquées dans les problèmes d'optimisation associés.

Cette structure est particulièrement adaptée aux problèmes de compensation par faisceaux, qui sont représentés par des graphes bipartis (*figure 2*). On peut ainsi facilement isoler 4 blocs, un (petit) bloc représentant les orientations du drone, un bloc (le plus important) pour les points au sol et deux blocs rectangulaires sur les côtés qui synthétisent les relations entre les points au sol et en l'air.

Afin d'utiliser des techniques employées dans les programmes de photogrammétrie modernes, le modèle d'optimisation mis en place utilise les groupes et les algèbres de Lie pour traiter les jeux de paramètres non-euclidiens (notamment l'orientation du drone). Une introduction complète sur ces objets mathématiques est donnée dans [Alexander Kirillov, 2008]. Ce qui est important de noter ici, c'est qu'il est possible d'associer à chaque groupe de Lie (par exemple les matrices de rotation dans l'espace 3d $SO(3)$, le groupe des orientations rigides en 3d $SE(3)$ ou le groupe des matrices symétriques définies positives de taille 3×3 , $S_+(3, 3)$) un algèbre de Lie euclidien qui représente le plan tangent au groupe de Lie autour de son élément neutre.

Pour les groupes de Lie pouvant être représentés par des matrices, il est possible de lier groupe et algèbre de Lie via la fonction exponentielle (de matrice), le log de tout élément du groupe de Lie étant dans l'algèbre de Lie, respectivement l'exponentielle de tout élément de l'algèbre de Lie se trouvant dans le groupe. Il est donc possible de définir par exemple des "matrices de rotation infinitésimale", à partir d'accroissements infinitésimaux dans le groupe de Lie et de définir une règle de composition noté \boxplus telle que :

$$\exp(\Delta \log(x)) * x_n \stackrel{def}{=} x_n \boxplus \Delta \log(x)$$

Avec x et Δx dans le groupe de Lie, mais en réalité c'est $\log(\Delta x)$ qui est connu, par exemple comme pertur-

bation dans l'algèbre de Lie. Cet opérateur nous permet de redéfinir la dérivée dans nos groupes de Lie :

$$\frac{\partial f(x)}{\partial \log(x)_i} = \lim_{\epsilon_i \rightarrow 0} \frac{f(x \boxplus \epsilon_i) - f(x)}{\epsilon_i}$$

La division étant pour un incrément sur une seule direction de l'algèbre de Lie, qui est euclidien on le rappelle. Plus de détails sur la méthodologie sont donnés dans [Giorgio Grisetti, 2012].

L'avantage de cette technique est d'éviter les problèmes de singularité que peuvent impliquer par exemple, une représentation naïve avec les angles d'Euler, tout en évitant le problème de devoir ajouter des contraintes à notre problème initial si on optimisait par exemple directement les 9 paramètres d'une matrice de rotation ou les 4 paramètres d'un quaternion. C'est aussi sur cette base qu'on peut calculer la LERM (*log-Euclidean Riemannian metric*) [Cherian et al., 2011], qui n'est autre que la distance basée sur la norme de Frobenius dans l'algèbre de Lie associée aux matrices symétriques définies positives (soit les matrices de covariances non dégénérées).

$$LERM(M_1, M_2) = \|\log(M_1) - \log(M_2)\|_F$$

La LERM mesure à quel point, le produit de la première matrice par l'inverse de l'autre est proche de l'identité. Pour en faciliter la compréhension, on peut utiliser la LERM relative, qui mesure à quel point l'erreur est grande par rapport à la "taille" de la première matrice :

$$\frac{\|\log(M_1) - \log(M_2)\|_F}{\|\log(M_1)\|_F}$$

L'avantage de la LERM, est qu'elle permet aisément de définir un critère de comparaison entre les matrices de covariance, ce qui permet de mesurer à quel point la prédiction du logiciel correspond à un certain objectif. La LERM étant en échelle logarithmique, elle se prête aussi assez bien à la mesure des précisions, que l'on donne généralement sous forme d'ordre de grandeur (mm, cm, m...).

Validations sur le terrain

Le programme a été d'abord soigneusement testé avec plusieurs jeux de données synthétiques, puis mis en pratique sur une série de vols déjà

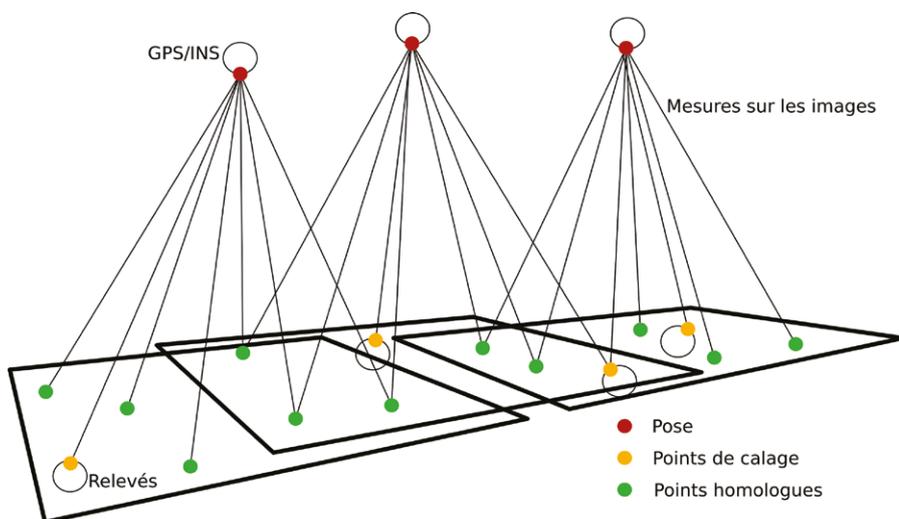


Figure 2. Un problème de compensation par faisceaux, vu comme un graphe reliant les différents paramètres par des observations.



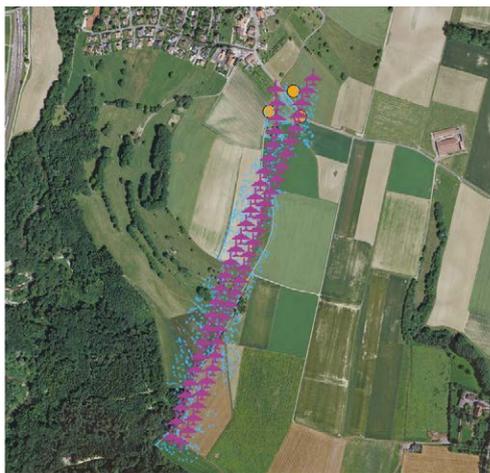


Figure 3. Vol 1, juste un aller et retour

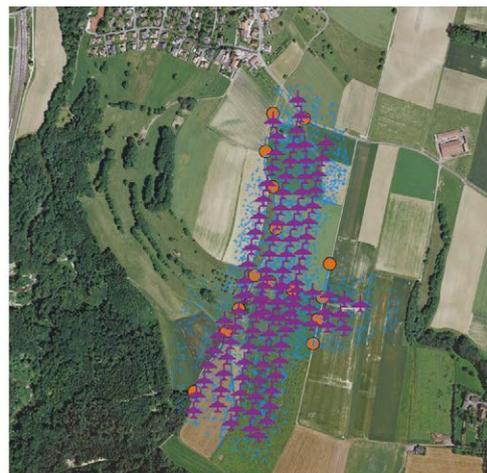


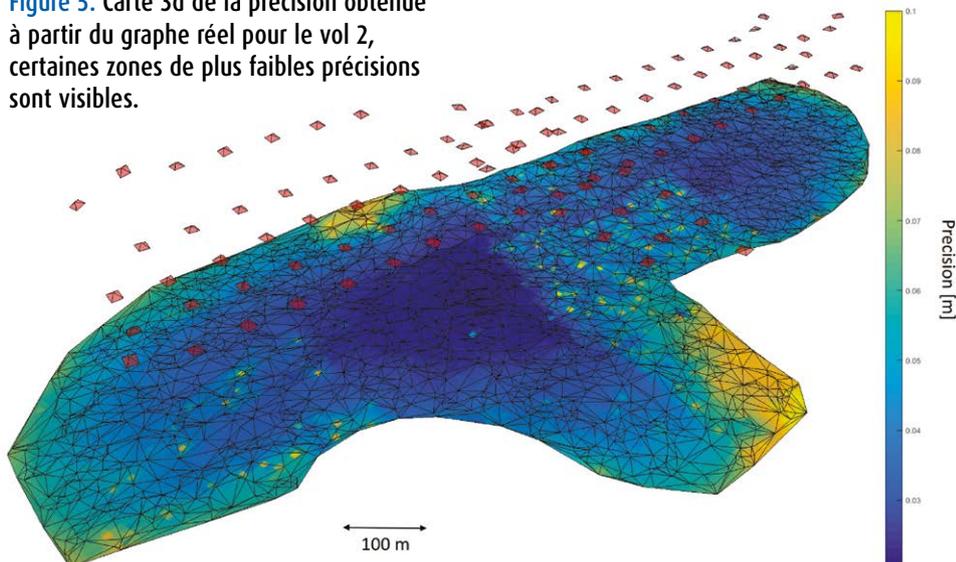
Figure 4. Vol 2, un peu plus complexe



réalisés et post-traités. Ces vols ont été réalisés en 2015 à Vuflens-la-Ville, en Suisse, dans le canton de Vaud [Rehak, 2017]. L'un des deux représente un vol simple avec seulement trois points de calage (figure 3), le second, un peu plus conséquent, a été réalisé au même endroit mais avec plus de points de calage et un recouvrement plus important (figure 4). Pour le premier vol, il est évident que la répartition choisie des points de calage est hautement défavorable, et qu'aucun photogrammètre n'aurait choisi une telle configuration. Cependant, le but ici est d'observer le comportement de notre logiciel face à une telle configuration. Bien que très simples, et réalisés sur terrain relativement plat (où la visibilité des points au sol est rarement un problème), ces vols sont très intéressants. Premièrement ils n'ont pas été réalisés au même moment, les conditions de visibilité étant légèrement différentes, et deuxièmement ils vont permettre de mettre en valeur un des problèmes récurrents de notre approche et comment le résoudre. Cet article va se concentrer sur la comparaison entre la prédiction et la référence obtenue à partir du graphe tel que reconnu et optimisé par le programme Pix4D, utilisé pour l'ajustement.

Les cartes principales ont été réalisées avec des simulations ayant à peu près le même nombre de points homologues que dans le cas réel. Mais des simulations ont aussi été réalisées pour différents nombres de points homologues, vu qu'il est difficile de prédire la densité de points homologues qu'on obtiendra effectivement.

Figure 5. Carte 3d de la précision obtenue à partir du graphe réel pour le vol 2, certaines zones de plus faibles précisions sont visibles.



LERM relative pour les vols 1 & 2

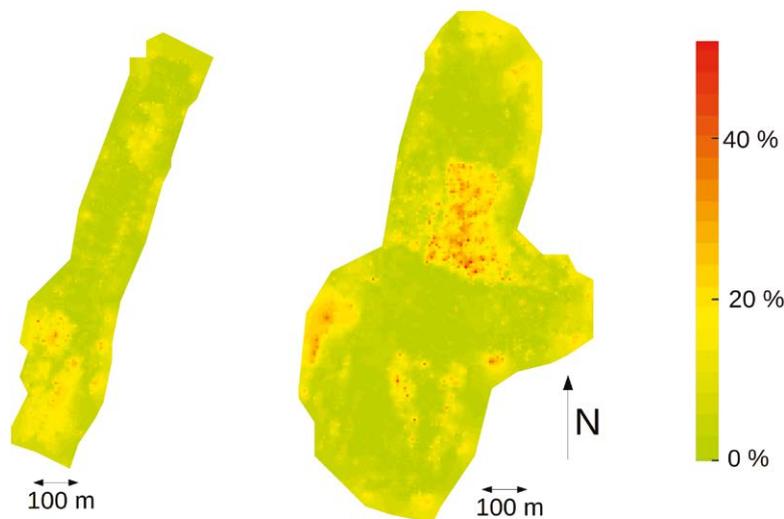


Figure 6. Carte des LERM relatives entre matrices de covariances réelles et simulées pour les vols 1 et 2. Les LERM sont normés par rapport à la norme du log de la matrice de covariance réelle.

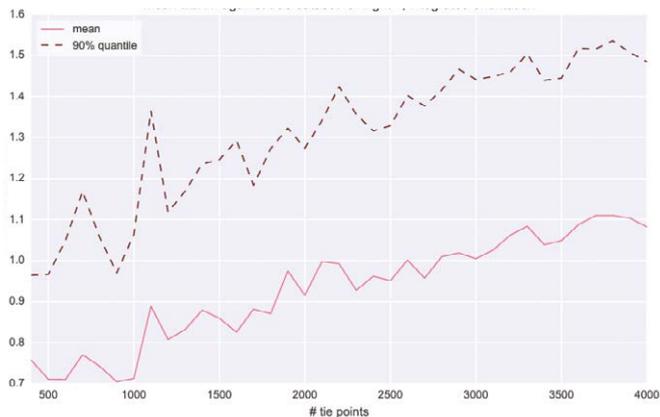


Figure 7. LRM moyenne et quantile 90 % par rapport au nombre de points homologues dans la simulation pour le vol 1.

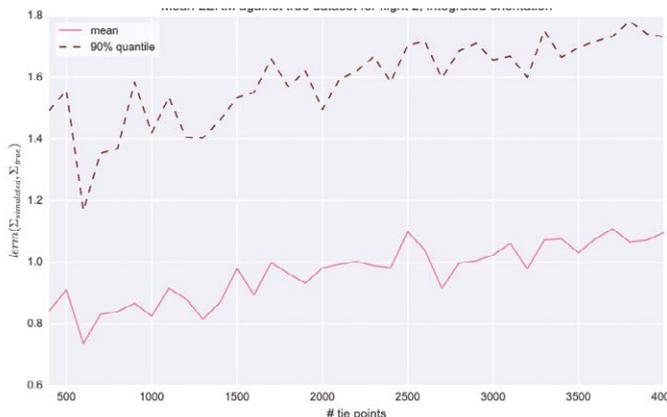


Figure 8. LRM moyenne et quantile 90 % par rapport au nombre de points homologues dans la simulation pour le vol 2.

On remarque immédiatement que certains points avec de grandes différences entre la prédiction et la réalité apparaissent isolément (ce qui n'est pas trop surprenant, il s'agit d'erreurs des algorithmes de vision par ordinateur, que l'on peut retirer de manière automatique), mais que des différences assez systématiques apparaissent dans certaines zones, semblant suivre la forme des champs, et sont corrélées avec des zones moins précises dans la simulation finale (figure 5).

Entre les deux vols, les champs qui posent problème ont changé, ce qui prouve que la nature de l'utilisation du sol ne suffit pas, seule, à prédire efficacement le nombre et la disposition des points homologues.

On remarque en revanche, en faisant varier le nombre de points homologues dans la simulation, le nombre de points dans la réalité, étant fixé, ne change pas, on obtient des résultats qui restent globalement cohérents (Figures 7 et 8). Au vu de la structure du graphe du problème, à partir d'une densité suffisante de points, qui est très vite atteinte, c'est plus le nombre d'images avec les mêmes points homologues que le nombre de points homologues, ou leurs dispositions précises, qui a de l'influence sur la précision. Cela permet donc au logiciel de fournir une prédiction relativement bonne de la précision tout en employant un nuage de points homologues simulé d'une taille potentiellement différente que la taille effective du nuage final et ce, sans faire une erreur trop importante.

Limite de la méthode

Il n'en reste pas moins que, au vu des cartes présentées dans la figure 6, le logiciel donne des résultats trop optimistes dans certaines zones qui semblent soudainement moins précises que la prédiction. Nous avons vu que la densité de points homologues n'a pas énormément d'importance.

Le paramètre qui semble avoir le plus d'importance, sachant que c'est bien le nombre de vues sur un même point homologue qui devient vite le paramètre déterminant pour la précision, est bien la capacité du logiciel utilisé pour le post-traitement à trouver des points homologues dans les différentes images. La figure 9 nous montre que, dans le vol tel que effectivement réalisé, les zones problématiques n'ont en effet pas été correctement connectées par les

algorithmes de vision par ordinateur et les points homologues ne lient pas autant d'images qu'ailleurs sur la carte. En pratique, si l'on intègre ces paramètres dans le modèle (ce qu'il est possible de faire, le logiciel acceptant une carte de nombre de vues moyenne par points et limitant la connectivité du graphe en conséquence) on améliore grandement l'adéquation entre le modèle et la réalité. Pas parfaitement, car le logiciel ne prend pas encore en compte le niveau de corrélation entre les vues mais préfère choisir parfaitement au hasard les caméras qui peuvent voir ou ne pas voir un point homologue donné. Cela imposerait d'introduire encore plus de données mais il serait aussi possible de prendre en compte le fait que si une image voit un point donné, alors elle a plus de chance d'en voir certains plutôt que d'autres.

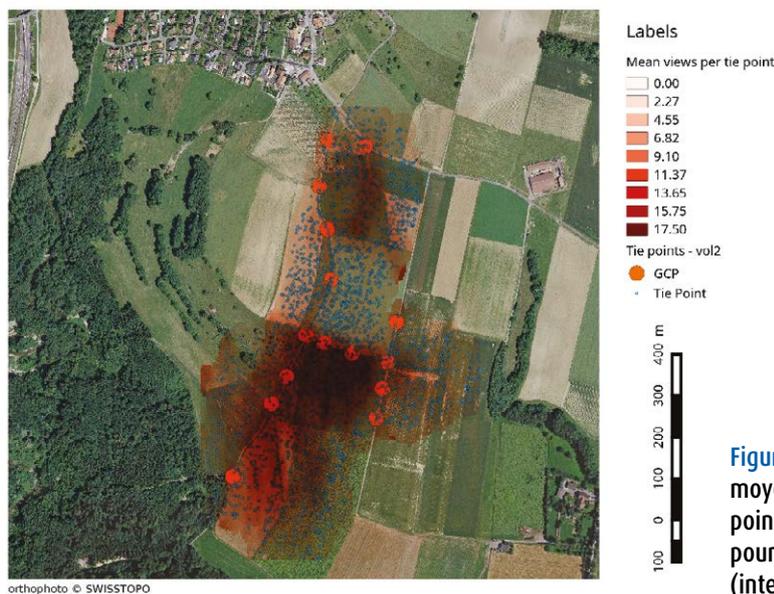


Figure 9. Nombre moyen de vues par point homologue pour le vol 2 (interpolation).

▶ Ainsi, il s'avère qu'un paramètre difficile à prendre en compte peut passablement modifier les résultats. Cela prouve en premier lieu que les ordinateurs ne sont pas encore totalement prêts à remplacer les professionnels humains. Mais ces mêmes ordinateurs peuvent être une aide appréciable, si ces mêmes hommes et femmes d'expérience s'en servent judicieusement. Il reste en effet possible à l'utilisateur d'entrer les zones à problèmes à la main, s'il sait par exemple que le type et l'état des cultures dans un champ posera vraisemblablement quelques complications au moment du vol, le logiciel pourra ensuite les prendre en compte. Un ingénieur prudent pourra aussi se dire *"better safe than sorry"*, et demander à son logiciel de faire une hypothèse pessimiste partout, ou d'évaluer l'impact de différents *patchworks* aléatoires de zones à problèmes.

Développements futurs et conclusion

En l'état actuel, le logiciel qui a été développé est capable de fournir une prédiction cohérente avec les incertitudes obtenues en post-traitement avec d'autres *softwares*, pour autant qu'on lui donne le maximum d'informations (la forme complète du graphe et tous les écarts-types a priori). Une fois privé des informations indisponibles avant le vol il donne de bons résultats, mais est incapable de deviner seul la possible émergence de zones où les algorithmes de vision par ordinateur n'arriveront pas, ou mal, à lier les images (en exceptant les plans d'eau, que l'on peut exclure des zones où des points homologues seront trouvés). Un possible développement futur est de concevoir un modèle empirique basé sur un grand nombre de vols pour prédire la probabilité de ce genre de problème en fonction de la nature du sol, et ainsi avertir l'utilisateur et/ou être capable de simuler une distribution probable de ces zones à problèmes. Un développement important qui reste à réaliser pour transposer cet outil du monde de la recherche au monde professionnel est le développement d'une interface capable d'exploiter cet outil tout en orientant efficacement l'utilisateur (déplacement des lignes de vols,

ajouts de lignes transversales, choix du recouvrement entre les images) afin de tirer le maximum des interactions homme/machine. ●

Remerciements

Il semble important de remercier en tout premier lieu le laboratoire de topométrie de l'EPFL, qui a proposé et organisé ce projet de master. Plus particulièrement Jan Skaloud, Davide Cucci et Emmanuel Clédât qui ont supervisé ce projet. Bonne chance aussi à Emmanuel Clédât, dont la thèse de doctorat consiste à continuer le développement et surtout les applications de cet outil. Il me semble encore important de remercier ici les nombreux professeurs, chargés de cours et assistants qui ont jalonné mon parcours à l'EPFL et m'ont permis d'apprendre en 5 ans assez de choses dans des sujets variés pour finalement réaliser ce projet de master.

Contact

Laurent Valentin JOSPIN
laurent.jospin@alumni.epfl.ch

Bibliographie

- [Alexander Kirillov, 2008] Alexander Kirillov, J. (2008). *An Introduction to Lie Groups and Lie Algebras*. StonyBrook.
- [Cherian et al., 2011] Cherian, A., Sra, S., Banerjee, A., and Papanikolopoulos, N. (2011). *Efficient similarity search for covariance matrices via the jensen-bregman logdet divergence*. In 2011 International Conference on Computer Vision, pages 2399–2406.
- [Förstner and Wrobel, 2016] Förstner, W. and Wrobel, B. (2016). *Photogrammetric Computer Vision: Geometry, Orientation and Reconstruction*. Geometry and Computing. Springer International Publishing.
- [Förstner and Moonen, 1999] Förstner, W. and Moonen, B. (1999). *A metric for covariance matrices*.
- [Gandor, 2015] Gandor, F. (2015). *Mission planner for micro unmanned aerial vehicles*. Master's thesis, epfl.
- [Giorgio Grisetti, 2012] Giorgio Grisetti, Rainer Kümmerle, H. S. K. K. (2012). *g 2 o: A general framework for (hyper) graph optimization*. Uni-freiburg.
- [Jospin, 2017] Jospin, L. (2017) *Accuracy Prediction in Aerial Mapping*. Master's thesis, epfl.
- [Kaess and Dellaert, 2009] Kaess, M. and

Dellaert, F. (2009). *Covariance recovery from a square root information matrix for data association*. Robotics and Autonomous Systems, 57:1198–1210.

[Leroux 2017] B. Leroux B., Cali J., Morel L., He H. (2017). *Assessing the reliability and the accuracy of attitude extracted from visual odometry for lidar data georeferencing*. ISPRS Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W6.

[Nasa and METI, 2011] Nasa and METI (2011). *Aster* <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>. Accessed: 2017-06-13.

[Pascale, 2016] Pascale, R. (2016). *Quality management in flight planning*. Master's thesis, epfl.

[Rehak, 2017] Rehak, M. (2017). *Integrated sensor orientation on micro aerial vehicles*. PhD thesis, epfl.

[Strasdat, 2012] Strasdat, H. (2012). *Local Accuracy and Global Consistency for Efficient Visual SLAM*. PhD thesis, Imperial College London.

ABSTRACT

Key words: UAV, aerial mapping, photogrammetry, computer vision, optimization, graph optimization, Lie groups, Lie Algebra.

The advent of lightweight and affordable unmanned aerial vehicles is radically revolutionizing the methods of aerial mapping, both in remote sensing and in the surveying industry. A surveyor can now employ easy-to-use drones to automatically acquire close range aerial pictures of an object or a field and obtain a three dimensional model using commercial photogrammetry softwares. However, it is difficult to foresee and assess the accuracy of such models before the actual data acquisition and processing: if the results are not satisfactory, the flight has to be repeated. In this master project a software was developed to simulate an aerial survey and formulate a prediction of the expected quality given the mission plan, considering the geometry of the terrain and the availability of GPS receivers and ground control points. This tool is built on the latest advancements in the solution of photogrammetric adjustment problems, including efficient least-square solvers and Lie algebra, and, if integrated in commercial flight planning softwares, will improve duration and cost efficiency of drone based surveys.

Genève 1850, du plan-relief Magnin à la visite virtuelle

■ David DESBUISSON - Christian HALLER - Pierre-Alain LINDEMAN - Pierre André MAGNIN - Thierry SANGOUARD

La maison Tavel de Genève abrite le plan-relief Magnin (dit "Relief Magnin"); un impressionnant plan relief de la ville en 1850 réalisé par l'architecte Auguste Magnin. Le projet "Genève 1850" a débuté en 2009 par une étude de faisabilité concernant une mesure du relief à des fins de sauvegarde numérique. En 2010 le relief a été entièrement mesuré par photogrammétrie et scanner 3D optique ; une seconde étude a permis de conclure qu'il est possible de le modéliser entièrement et de le basculer en coordonnées nationales Suisse. Cette phase a débuté en 2014 et a permis d'aboutir à la promenade immersive web sur www.geneve-1850.ch au terme de deux années et demie de travail en programmation, modélisation 3d, transformation géométrique, texture et rendu 3D web.

Préambule [FOR90]

Le plan-relief de Genève en 1850, réalisé par Auguste Magnin est généralement appelé Relief Magnin ou Relief de Genève en 1850. Dans cet article c'est l'appellation Relief Magnin qui est la plus généralement retenue.

Le Relief de Genève en 1850

Imaginé dès 1878 et achevé en 1896, le Relief de Genève en 1850 est une vaste maquette elliptique de 30 m² (7,25 m sur 5,25 m) – en métal, en bois et en verre – qui montre la ville de Genève encore



Figure 1. Le Relief Magnin dans les combles de la maison Tavel

MOTS-CLÉS

Maquette, Genève, plan relief, photogrammétrie, scanner 3D optique, modélisation 3D, texture réaliste, promenade immersive, application web 3D

protégée par ses trois rangées de fortifications, juste avant que débutent le démantèlement de ses murailles et le comblement de ses fossés.

Un bien culturel et un chef-d'œuvre d'orfèvrerie

Les plans du Relief de Genève en 1850 ont été conçus et dessinés par l'architecte genevois Auguste Magnin (1841-1903) avec l'aide d'un dessinateur. La maquette a été fabriquée par un bijoutier et plusieurs mécaniciens de précision, ainsi qu'avec l'aide d'un artisan-menuisier. Par sa grande taille, sa

précision géométrique et la finesse de ses détails (figure 2), cette maquette est un bien culturel d'importance nationale et un chef-d'œuvre d'orfèvrerie, puisque ses 2 000 bâtiments – qui comportent au total 40 000 fenêtres et 8 000 lucarnes – ont des murs en zinc et des toits en cuivre, et que ses 1 500 arbres sont en fonte de zinc ou d'étain. Les effets de relief des tuiles, des pierres et des pavés ont été réalisés par galvanoplastie.



Figure 2. Niveau de détails du Relief Magnin

Au total, le Relief de Genève en 1850 pèse 630 kg. L'ensemble est démontable, car la maquette est formée de 118 blocs indépendants – correspondant pour beaucoup à des quartiers d'habitation – qui s'emboîtent les uns dans les autres, telles les pièces d'un puzzle.

Un grand travail de reconstitution

Pour concevoir le Relief de Genève en 1850 et en dresser les plans, Auguste Magnin a fait des recherches au cadastre, dans les archives et les collections publiques et privées. Il a consulté les cartes, les plans, les gravures, les tableaux et les toutes premières photographies prises à Genève dès 1848, afin de reconstituer les édifices et les ouvrages d'art disparus. Pour assurer l'exactitude de ses plans, il a relevé lui-même les positions des bâtiments encore existants. Et il a dessiné à l'encre de manière remarquable les princi-

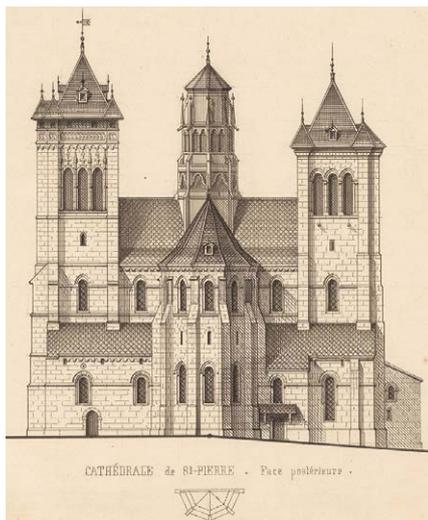


Figure 3. Planche issue de l'album des principaux édifices de la ville

► paux édifices de la ville. Une partie de ce travail a permis de constituer un magnifique grand album (Album des principaux édifices de la ville [MAG90], ce document contient des descriptions, des plans et des dessins en élévation des principaux bâtiments et ouvrages d'art de la ville) (figure 3).

Trois échelles de réduction

Par ailleurs, Auguste Magnin a passé de longs mois à étudier le problème de la réduction de la cité fortifiée à l'aide d'éléments de maquette en carton. Il voulait en effet offrir une vue réaliste de la ville, afin que le spectateur la regarde de haut, comme le ferait un géant. Après de nombreux essais, l'architecte s'est décidé pour un système utilisant trois échelles différentes : 1/250^e pour le plan, 1/200^e pour les hauteurs des bâtiments, et 1/100^e pour les déclivités du terrain. En exagérant ainsi de deux fois les pentes du terrain, et d'un quart les hauteurs des bâtiments, l'architecte offre aux spectateurs une vue réaliste de l'organisation des fortifications et des quartiers, tout en leur permettant d'identifier facilement les édifices importants, telle la cathédrale.

Une maquette achevée in extremis

Après plusieurs péripéties liées à des difficultés de financement, le Relief de Genève en 1850 put être achevé juste à temps pour être installé dans le Parc

de plaisance de l'Exposition nationale suisse, tenue à Genève, sur la Plaine de Plainpalais, entre le 1^{er} mai et le 18 octobre 1896. Par la suite, la maquette fut démontée et il fallut attendre 1901 pour qu'elle soit à nouveau montrée au public dans la nouvelle École de Commerce.

En 1910, l'imposante maquette est transférée dans le nouveau Musée d'art et d'histoire où elle sera admirée par des générations d'élèves des écoles genevoises. En 1981, elle est soustraite au regard du public pour bénéficier de 4 ans de minutieux travaux de restauration. En 1984, enfin, elle trouve sa place actuelle dans les combles de la Maison Tavel [TAV], la plus ancienne maison privée de la ville, qui est aujourd'hui un musée (figure 1).

Un témoignage pour les générations futures

Si Auguste Magnin a mis autant d'énergie, d'argent et de talent dans la construction du Relief de Genève en 1850, c'est parce qu'il voulait offrir aux générations futures un témoignage parlant de l'histoire de leur ville. Avec son imposante ceinture de fortifications, et avec ses bâtiments resserrés les uns contre les autres, la Genève fortifiée avait non seulement un aspect très pittoresque, mais elle traduisait aussi des siècles de résistance d'une république protestante face à des ennemis catholiques. Ses vastes défenses, qui occupaient la moitié du territoire, avaient demandé d'immenses investissements humains et financiers. La décision politique de les détruire pour agrandir la ville et l'ouvrir au monde n'avait pas été facile à prendre.

Le portrait d'une ville à un tournant de son histoire

Ainsi, le Relief de Genève en 1850 est le portrait d'une ville à un tournant important de son histoire. En 1846, en effet, la cité a vécu une révolution qui a abouti à une nouvelle constitution cantonale et à l'arrivée au pouvoir d'une majorité décidée d'obtenir des avancées sociales. En 1849, après de longues discussions, le nouveau Grand conseil vota la démolition

des fortifications et le comblement des fossés. Le but était, d'une part, d'effacer les barrières entre la ville haute (plus bourgeoise) et la ville basse (plus populaire), et, d'autre part, de permettre la construction de nouveaux quartiers. À l'époque, comme beaucoup de villes européennes, Genève devait faire face à une forte augmentation de sa population, due à la natalité et à l'immigration. L'année 1850 est ainsi un véritable tournant dans l'histoire de Genève, qui se transforme rapidement en une ville ouverte sur le monde et cosmopolite : la population de la ville va doubler en à peine 30 ans.

Le prix du Relief : 60 000 Francs Suisses (équivalent CHF 2,5 millions en 2018)

Auguste Magnin a travaillé sur le Relief de Genève en 1850 à ses frais de 1880 à 1890, en y consacrant 30 000 francs de sa fortune personnelle (à l'époque, le salaire annuel d'un facteur était d'environ 1 600 francs). Pour achever le travail (dont la moitié restait à faire) et se rembourser du travail déjà effectué, il vendit le Relief à la Ville de Genève. Au total, la maquette coûta 60 000 francs : 30 000 francs furent versés par le canton de Genève et la Ville de Genève ; 28 000 francs furent récoltés grâce à une souscription publique ; et les 2 000 francs restants furent apportés par Auguste Magnin, lui-même, qui se résolut à vendre son *Album des principaux édifices de la ville* [MAG90] à la Société auxiliaire des arts et lettres.

Donner au Relief de Genève en 1850 une immortalité numérique

En 2010, il a été décidé de créer un modèle 3D numérique de la maquette, afin de pouvoir la reproduire en cas de destruction accidentelle. De plus, on imaginait pouvoir utiliser le modèle 3D dans les musées, et, peut-être aussi, pour faciliter le travail des géomètres – notamment pour identifier les zones de la ville actuelle, où des excavations risquent de se heurter à d'anciens murs d'enceinte. Mais il fallait pour cela que la maquette se révèle assez précise...



La mesure du Relief

Étant donné que le Relief de Genève en 1850 est abrité dans les combles de la Maison Tavel, les ingénieurs géomètres ont commencé par s'assurer que le plancher ne bougeait pas. Pendant près d'un mois, ils ont surveillé, par des mesures automatiques, les éventuels mouvements du bâtiment avec un théodolite de haute précision (figure 4). Finalement, les lieux se sont avérés très stables (écarts constatés inférieurs à 0,3 mm), et le travail de numérisation a pu débuter. Le système de contrôle de stabilité a cependant été maintenu pendant toute la durée des mesures afin d'en assurer la validité.

Pour éviter d'endommager le Relief, les ingénieurs ont installé un portique au-dessus de la ville miniature, d'où ils ont pu piloter un système de photogrammétrie de précision (TRITOP), un scanner optique ATOS II et un appareil photographique haute définition (Canon EOS-1Ds Mark III, 21 MP). Ils ont aussi placé délicatement 1 268 cibles régulièrement réparties sur la maquette, pour disposer des points de repères nécessaires à des mesures précises (figure 5).

TRITOP, développé par la société Gom, est un système de métrologie photogrammétrique composé d'un appareil photographique numérique, de cibles codées et de deux règles étalons. Ce système est spécialement conçu pour la mesure de coordonnées 3D de points (cibles, points caractéristiques d'un



Figure 4. Vérification de la stabilité du Relief (TDA 5005)



Figure 5. Pose des cibles sur le Relief Magnin

objet, etc.). Il a permis de déterminer les coordonnées des 1 268 cibles. Une détermination indépendante réalisée sur 61 cibles avec un théodolite de précision Leica TDA 5005 a mis en évidence un écart moyen quadratique de 0,09 mm entre les deux méthodes de mesure.

ATOS II est un scanner 3D optique développé par la société Gom. Il est composé de deux capteurs photographiques numériques disposés de part et d'autre d'un projecteur de lumière structurée, le tout intégré dans un seul et même instrument de mesure. La synchronisation temporelle des trois éléments permet d'obtenir, par corrélation, un nuage de points y compris sur des surfaces à texture uniforme. Dans le cas du Relief, le scanner travaille à une distance d'environ 70 à 90 cm de l'objet avec un champ de mesure de l'ordre de 55 x 40 cm. Il a donc fallu multiplier les points de vue pour capturer l'ensemble du Relief et combler tous les masques.

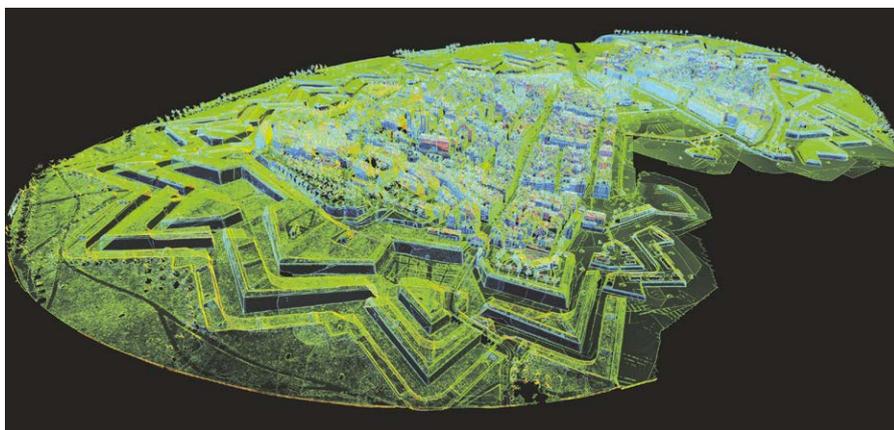


Figure 6. Nuage de points issu du scanner optique ATOS II

Chaque scan 3D élémentaire est recalé dans le système général grâce au réseau de cibles.

Pour travailler en sécurité au-dessus du Relief Magnin, il a fallu concevoir et mettre en place un bras articulé permettant de positionner et d'orienter le système ATOS II partout où une mesure était nécessaire.

En utilisant les 1 268 cibles mesurées avec le système TRITOP, le scanner optique ATOS II a finalement fourni un nuage de 77 millions de points d'une précision de 0,1 mm et une densité de l'ordre d'un point tous les 0,5 mm (figure 6).

Pour sa part, l'appareil photographique a délivré 1 280 images en très haute résolution (taille de pixel de l'ordre de 0,1 mm), qui ont toutes été orientées par un processus de photogrammétrie classique (Logiciel ImgSurveyor).

Démontrer que le Relief de Genève en 1850 est aussi un chef-d'œuvre de précision géométrique

Dans la première étape du projet, avant d'envisager une modélisation 3D, il fallait démontrer que la précision du Relief Magnin permettait de basculer l'ensemble du Modèle 3D à l'échelle 1:1 puis de le recalé en système national MN95.

Le système de coordonnées nationales suisses MN95 est basé sur le système de référence CH1903+ (ellipsoïde de Bessel 1841) et sur une double projection cylindrique conforme à un axe oblique dont le point fondamental se trouve à l'ancien observatoire astronomique de Berne.



► Ce cadre de référence est constitué de points fixes, maintenus, dans différentes classes de précision, par l'office fédéral de topographie (swisstopo) et par les différents cantons. Ce système est en vigueur dans toute la Suisse depuis fin 2016.

Pour réaliser ce recalage, des points homologues entre le Relief et la réalité de la ville en 2009 ont été identifiés en planimétrie et en altimétrie. Cette identification des points homologues a été le fruit d'un travail commun entre géomètres et historiens.

En altimétrie, une liste de 444 points communs entre les deux époques a permis de calculer par les moindres carrés, les paramètres les plus probables d'une transformation affine des altitudes du sol :

$$Z_{Sol\ 2009}(m) = Z_{Sol\ Relief}(mm) \times 0,10598 + 285,89$$

Il résulte de cette compensation un écart-type de 1,40 m en grandeur réelle soit 1,4 cm à l'échelle de la maquette. Si l'on utilise cette formule pour calculer l'altitude du lac à partir de la maquette, on obtient un écart de 0,68 m seulement avec la réalité actuelle !

Des vérifications ont également été faites sur les hauteurs des bâtiments ; elles donnent un écart-type comparable au précédent de 1,67 cm dans la maquette soit 3,34 m dans la réalité.

En planimétrie, ce sont 25 280 points qui ont pu être identifiés issus principalement des plans Céard (1837-1840) (figure 7) et Grange (1896-1911), mais également d'anciens plans militaires des fortifications de la ville.

Un premier calcul d'une transformation de Helmert sur l'ensemble de la maquette a montré un sigma 0 de 4,67 m ; cependant la cartographie des écarts a montré une très grande cohérence des écarts par bloc (entité élémentaire de construction de la maquette ; en général un bloc = un quartier de la ville). En réalisant les calculs par bloc on obtient un sigma 0 de l'ordre de 1,5 m, soit 0,75 cm à l'échelle de la maquette !

Auguste Magnin a donc réalisé son Relief avec une très grande précision, compte tenu des instruments de son époque. Il était donc possible d'utiliser la maquette pour produire un modèle 3D complet de Genève de 1850, calé sur le système de coordonnées nationales suisses. Et même mieux, il est possible de recréer une ville de Genève 1850 virtuelle, et l'ouvrir aux visites sur l'Internet.

Modélisation 3D de Genève 1850

18 mois de travail ont ensuite été nécessaires pour extraire du nuage de points acquis au scanner et des photographies orientées un modèle 3D précis du Relief de Genève en 1850.

Ce travail, réalisé sous 3dsMax, s'est également appuyé sur les milliers d'images d'archives du Centre d'iconographie de la Bibliothèque de Genève [CIG] : anciennes photos prises dans les rues de Genève dès 1848, plans et

dessins des bâtiments remarquables réalisés par Auguste Magnin lui-même, gravures et tableaux d'époque – sans oublier les plans topographiques et les cadastres du XIX^e siècle.

La modélisation a été faite manuellement. La forme générale des objets est créée à partir du nuage de points issu du système ATOS II à l'aide des fonctionnalités de modélisation native de 3dsMax. Le nuage étant injecté sous 3dsMax, il sert de référence à la modélisation.

Ce sont ensuite les images orientées qui prennent le relais pour extraire l'ensemble des détails. A cet effet un utilitaire de restitution photogrammétrique a été développé sous 3dsMax (dénommé Caméra Constrain). Cet utilitaire permet dans un premier temps de mettre une vue 3dsMax en concordance avec une image orientée et de placer cette image en fond de vue, la modélisation filaire se trouvant elle, au premier plan. On peut ainsi disposer d'une à quatre images orientées simultanément. Cela étant fait, il est possible de contraindre l'ensemble de la modélisation sur l'une des vues et de la modifier dans les autres vues. Le déplacement d'un sommet dans une vue non contrainte se fait alors le long du rayon optique (centre de perspective – point dans l'image) issu de la vue contrainte.

Par ailleurs, un grand nombre d'utilitaires de modélisation a été développé en script ou en C++ via le kit de développement de 3dsMax. Ces utilitaires permettaient entre autres, de créer et positionner l'ensemble des éléments répétitifs de la maquette (cheminées, chiens assis, épis, arêtiers, lampadaires, cadres de fenêtres, bossages, etc.), de créer des ouvertures courbées, de garder les façades planes, de calculer les attributs géométriques des objets (surface, volume, etc.) (figure 8).

Des outils de contrôles ont également été développés : contrôle topologique des géométries créées, contrôle du modèle de données (structuration en couches et nom des objets), contrôle de la précision de la modélisation.

C'est ainsi que furent modélisés les trois rangs de fortifications, les 2 000 bâtiments avec leurs 40 000 fenêtres et leurs

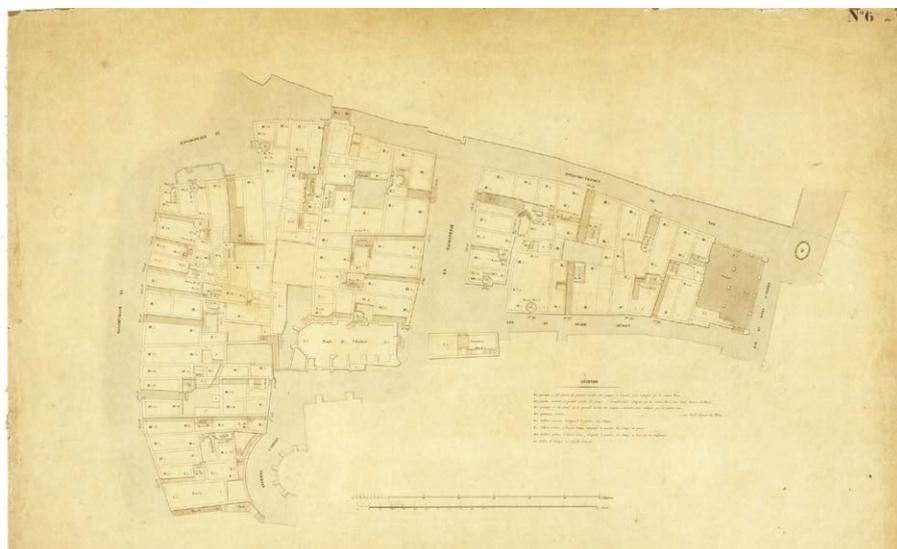


Figure 7. Plan Céard (1837-1840)

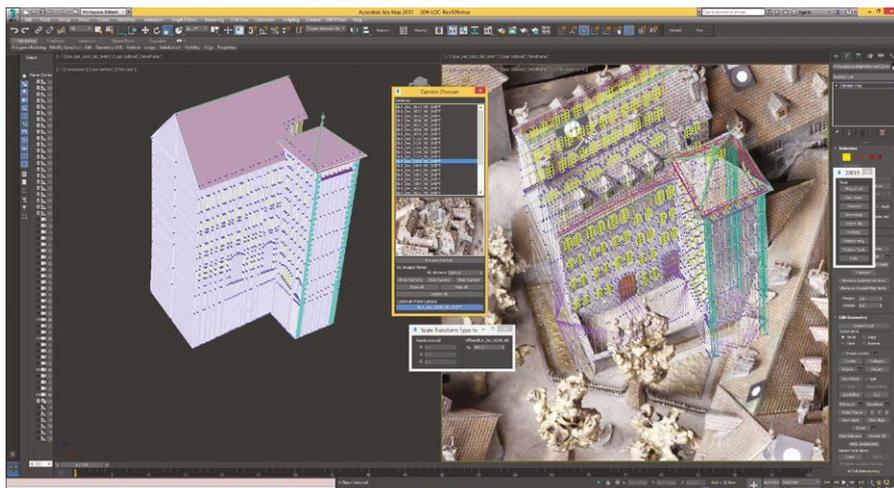


Figure 8. Technique de modélisation 3D sous 3dsMax



Figure 9. Maquette blanche

8 000 lucarnes – sans parler des cheminées, des escaliers, des fontaines, des arbres et des innombrables détails que comporte la ville miniature. Finalement, l'ensemble du Relief a été reproduit sous la forme d'un modèle 3D numérique, fidèle à l'œuvre de son créateur (figure 9).

Basculer le Relief de Genève en 1850 en MN95

Comme nous l'avons vu précédemment, le Relief fut construit avec 3 échelles de réduction différentes : 1/250^e pour le plan, 1/200^e pour les hauteurs des bâtiments, et 1/100^e pour les déclivités du terrain. Ce choix, dicté par des critères esthétiques et pédagogiques, a évidemment déformé les bâtiments et la topographie, surtout pour les quartiers construits dans la pente. La cohabitation de deux échelles distinctes pour la composante altimétrique ne pouvait se faire sans distorsion dans les parties basses des bâtiments. En effet, la partie des bâtiments située sous le Z maxi-

mal d'intersection avec le sol est en fait prisonnière de l'échelle du sol. Pour réussir sa maquette, Auguste Magnin a donc imaginé différentes astuces permettant de pallier cette impossibilité mathématique. En retour, il a fallu développer diverses stratégies pour ramener la maquette à l'échelle 1:1 de manière vraisemblable (figure 10).

Aucun outil informatique n'existait pour prendre en compte les trois échelles du Relief de Genève en 1850, ramener l'ensemble du modèle à l'échelle 1:1 et, finalement, recalculer le tout dans les coordonnées de la cartographie nationale suisse. Il a donc fallu écrire la plupart des programmes nécessaires. La trans-

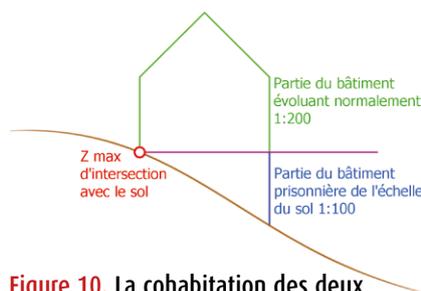


Figure 10. La cohabitation des deux échelles altimétriques

formation s'est faite en deux étapes ; la première permettait, en s'appuyant sur les points homologues planimétriques et la transformation affine globale du sol, de ramener chaque bloc en MN95 pour la planimétrie et l'altimétrie du sol ; la deuxième consistait à redéployer les bâtiments qui, ayant subi la même transformation que le sol, se trouvaient alors deux fois trop petits.

Travaillant bloc par bloc, les géomètres ont dû aussi surmonter une autre difficulté : les défauts d'ajustement existant entre les 118 blocs qui composent le Relief. En effet, Auguste Magnin a fabriqué sa maquette de 30 m² en plusieurs parties, qui ont été ensuite assemblées. Son but était, premièrement, de faciliter le travail minutieux des artisans qui façonnaient les bâtiments, et, secondement, de pouvoir déplacer l'ensemble. Étant donné que le Relief a été démonté et remonté plusieurs fois depuis son achèvement en 1896, les frontières des blocs ont souffert, et leur juxtaposition n'est aujourd'hui pas idéale.

Chaque bloc de la ville miniature a donc été traité séparément. Si une grande partie des opérations a pu être automatisée, de nombreux détails et raccords ont dû être réglés à la main. D'ailleurs, les géomètres n'y seraient pas parvenus sans l'aide des historiens spécialisés dans les monuments de la ville – ni sans l'aide de leurs collègues du... 19^e siècle. En effet, ils ont eu recours au très détaillé "Plan Céard" de 1840, soit 30 planches à l'échelle 1/250 dessinées par le géomètre François Janin. Ils ont aussi consulté l'album des principaux édifices de la ville, dessiné par Auguste Magnin lui-même, qui comporte toute une série de plans et de magnifiques dessins d'architecture.

Les 118 blocs du Relief ont ainsi été modélisés, contrôlés, transférés en système MN95 et finalement validés par la Direction de la mensuration officielle. On dispose donc, à ce stade, d'un modèle 3D complet de Genève 1850, tiré de la maquette d'Auguste Magnin, et parfaitement intégré dans le modèle numérique du territoire et le cadastre officiel. Il est ainsi possible de voir quels bâtiments ou quelles portions de fortifications ont disparu, lesquels ont été transformés et lesquels sont toujours en place.



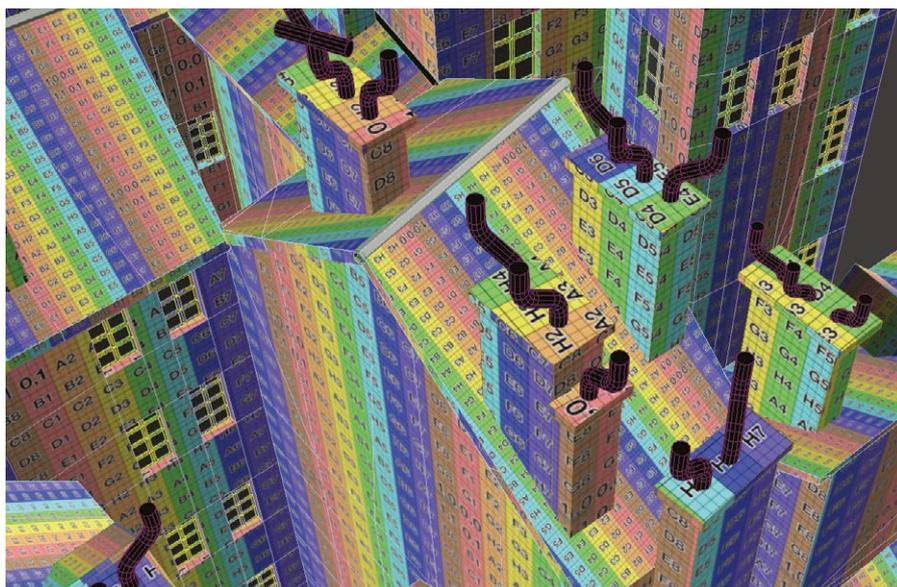


Figure 11. Génération automatique des coordonnées de texture uv sur l'ensemble de la maquette

Donner de la vie au modèle de Genève 1850 et l'entourer des paysages d'époque

Le modèle 3D de Genève 1850 est une ville "blanche" et lisse, sans textures ni couleurs, comme si elle avait été coulée dans le plâtre. Pour l'habiller et lui donner une ambiance conforme à son époque, des spécialistes de plusieurs disciplines ont collaboré : géomètres, géomaticiens, historiens et designers 3D.

Les spécialistes ont d'abord recherché et photographié sous tous les angles des bâtiments qui ont été très peu modifiés depuis 1850, afin de constituer une base documentaire pour la création des matériaux : pavés, tuiles, crépis, pierres de taille, bois des portes et des fenêtres, etc. Au total, une palette d'une cinquantaine de matériaux a été recréée numériquement. Chacun de ces matériaux a ensuite été décliné en trois variantes de vétusté : propre, un peu sale et très sale. En plus, une légère variation aléatoire a été appliquée, afin d'éviter que la ville virtuelle ait un aspect trop uniforme.

Des algorithmes informatiques ont été développés pour faciliter le travail répétitif, en particulier pour la génération des coordonnées de texture uv. Chaque élément de la maquette est représenté dans un espace en trois dimensions.

Les objets sont tous des maillages 3D triangulaires. Les textures, elles, qu'elles soient génériques ou basées sur des images, se développent dans un espace en deux dimensions. Dans cet espace les abscisses sont notées u et les ordonnées v. Ainsi chaque face 3D doit-elle être projetée dans l'espace uv des textures (figure 11). Pour passer de la 3D au plan, toutes les projections sont possibles et l'on peut même utiliser plusieurs projections au sein d'un même objet.

Comme les bâtiments de la ville sont particulièrement serrés et imbriqués, une partie du travail a été menée à la main avec – toujours sous les yeux – les nombreuses et précieuses images d'archives du Centre d'iconographie.

Les variétés d'arbres et la végétation qui poussaient dans la ville et ses fortifications ont été choisies avec l'aide des botanistes du Conservatoire et jardins botaniques de la Ville de Genève – toujours en s'appuyant sur les documents d'époque.

Lorsque le modèle 3D de Genève 1850 commença à prendre des couleurs (figure 12), les spécialistes se sont vite convaincus que la ville fortifiée gagnerait beaucoup à être entourée des paysages de son époque. Les montagnes n'étaient pas trop difficiles à reconstituer : la chaîne du Jura, le Mont-Salève et les Alpes n'ont guère changé depuis 1850. Par contre, une grande partie des campagnes peu peuplées qui entouraient autrefois Genève ont fait place à l'urbanisation... Et c'est encore d'un géomètre du XIX^e siècle que l'aide est venue : Jean-Rodolphe Mayer, qui a cartographié l'ensemble du canton de Genève entre 1828 et 1831 à l'échelle 1/15 000, en indiquant minutieusement sur ces plans non seulement les bâtiments, les chemins et les rivières, mais aussi la nature de ce qui occupait le sol : champs, forêts, vignes, hutins, gravières, prairies, jardins, etc. Les gravures et tableaux d'époque ont également servi de source d'information. Le travail a été grandement facilité par la richesse du Système d'information du territoire à Genève-SITG, qui contient de nombreuses cartes historiques calées dans le système cadastral actuel. Pour produire un décor de qualité : tous les éléments proches des fortifications de la ville existent en 3 dimensions.

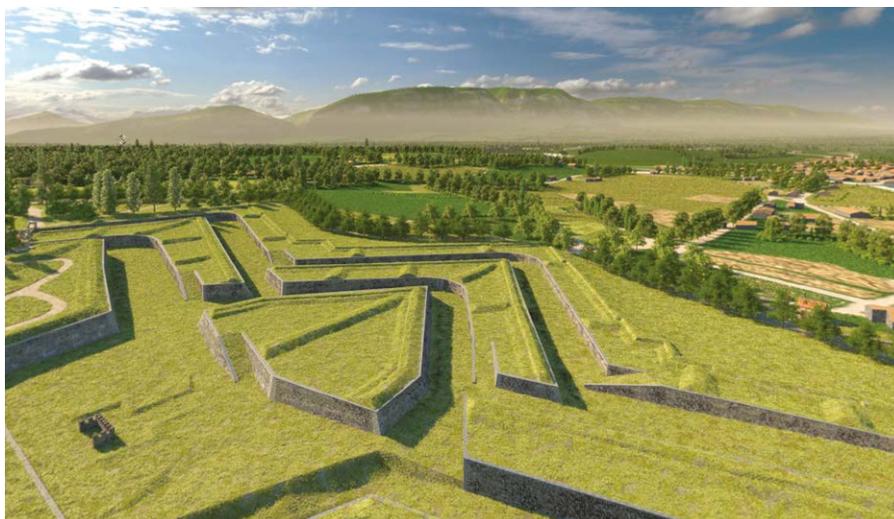


Figure 12. Le décor de Genève 1850



Ainsi, plusieurs centaines de milliers d'arbres et de buissons 3D ont été "plantés". Quant aux brins d'herbe 3D, ils se comptent par milliards...

Préparer Genève 1850 pour une promenade sur le web www.geneve1850.ch

Tandis que le modèle 3D de Genève 1850 s'habillait de texture réaliste, une équipe d'informaticiens a développé les outils web nécessaires à visiter l'ancienne ville fortifiée sur internet. Dénommée PromenAdd, leur technologie utilise à la fois la 3D en temps réel (employée pour les jeux vidéo) et la 3D précalculée (employée pour le cinéma). Pour la visite, l'internaute n'a pas besoin de télécharger de logiciel particulier : un ordinateur ordinaire avec une vitesse de connexion standard suffisent. Le déplacement dans la ville ressemble un peu à la navigation dans Google Street View. Cependant, dans Genève 1850, les pas sont beaucoup plus courts, les images sont mieux définies et on peut aussi se déplacer dans le ciel pour profiter d'une vue plongeante sur la ville et ses environs. Au total, l'internaute peut se promener le long de 1 333 chemins et s'arrêter sur 963 croisements qui sont autant de points d'intérêt.

Les différentes vues de Genève 1850, présentées aux internautes lors de leur

progression dans les rues et le ciel de la ville, sont au nombre de 200 000. Pour générer toutes ces images haute résolution à partir du modèle 3D, 16 puissants serveurs ont travaillé pendant six mois – une somme de travail qui représente l'équivalent de la production de deux longs métrages hollywoodiens en 3D. La lumière choisie pour éclairer la ville fortifiée et ses environs est celle du mois de juin à 10 h du matin.

Faire un grand pas dans l'ère des Humanités numériques

Bien sûr, le modèle 3D de Genève 1850 diffère par rapport à la réalité historique, puisqu'il est basé en grande partie sur la maquette d'Auguste Magnin. C'est une sorte de ville idéale dépeuplée (pour l'instant), dont tous les bâtiments ont une allure plutôt standard, notamment au niveau des portes, des fenêtres et des cheminées. Pour mieux se rendre compte de la réalité de l'époque, il faut regarder les photographies du XIX^e siècle, sur lesquelles on voit des maisons noircies par la fumée de charbon, des façades souvent décrépies arborant des publicités, des rues encombrées de marchandises et de linge à l'étendage, et des annexes en vieilles planches qui agrandissent les espaces de vie et

de travail. Néanmoins, le modèle 3D Genève 1850 offre une bonne idée de la ville fortifiée et de ses alentours. C'est aussi une base documentaire solide, et capable d'évoluer vers davantage de réalité historique, pour entrer de plein pied dans l'ère des Humanités numériques : dans le décor de la ville, on peut "accrocher" toute sorte d'informations liées à l'histoire des lieux et au développement de l'urbanisme. Comme déjà dit, des milliers d'images attendent d'être valorisées dans les archives du Centre d'iconographie de la Bibliothèque de Genève.

www.geneve1850.ch (figure 13) ébauche ainsi une étape dans l'histoire du web, démontrant qu'il est possible de réaliser une sorte de Wikipédia en 3D, où les informations se trouvent à leur place naturelle et où la navigation dans un monde virtuel est possible pour tous les internautes, même sans télécharger de logiciel particulier. Un petit pas a déjà été franchi dans ce sens : dans les rues et les fortifications, on pourra accéder d'ici la fin du 1^{er} semestre 2018 à une centaine de fiches explicatives (format pdf, en français seulement) pour obtenir des informations historiques sur les bâtiments et les ouvrages d'art remarquables. Il faut savoir que la liste des objets remarquables a été établie par Auguste Magnin lui-même.



Figure 13. Genève 1850 en 3D sur le web



Auguste Magnin (1841-1903)



Auguste (Jean-Henri) Magnin est l'auteur du Relief de Genève en 1850, auquel il a consacré une bonne partie de sa vie et de sa fortune. Il est né à Genève, le 13 décembre 1841, dans une famille plutôt modeste : son père était artisan (monteur de boîtes) dans une fabrique d'horlogerie. Le jeune Auguste a suivi sa scolarité et ses études secondaires à Genève, montrant très tôt une passion pour les maquettes qui va le guider naturellement vers l'architecture. Cependant, au cours de sa carrière, il ne construira apparemment qu'un seul "vrai" bâtiment ; son activité professionnelle sera partagée entre l'enseignement des disciplines de l'architecture et

la réalisation de maquettes. Outre son célèbre Relief, on sait qu'il a modélisé le château de Chillon (maquette disparue), l'Église anglaise de Genève (il en existe une photo datée de 1896) et le Palais du Trocadéro de Paris (maquette disparue). On ne connaît qu'un seul portrait photographique d'Auguste Magnin, pris en 1903, l'année de sa mort. Le portrait a sans doute été réalisé pour figurer aux côtés du Relief de Genève en 1850, qui était alors exposé à l'École de commerce.

Dates-repères

- 1841 : naissance à Genève, le 13 décembre.
- 1861 : il est admis à la Section d'architecture de l'École des Beaux-Arts, à Paris.
- 1863 : il abandonne l'École des Beaux-Arts, sans diplôme, et travaille vraisemblablement dans un atelier d'architecture.
- 1865 : retour à Genève.
- 1867 : il ouvre un atelier à la rue Bonivard 8, où il enseigne le dessin d'architecture, la perspective, la géométrie et l'arithmétique, le modelage et l'art des ornements.
- 1868 : il transfère son atelier à la Rue des Allemands 17 (aujourd'hui Rue de la Confédération), dans un immeuble (aujourd'hui démolie) dont il redessine la façade. Il conservera cet atelier jusqu'en 1898. Parallèlement à ses leçons particulières, il donne des cours au gymnase et à l'École d'art appliqué à l'industrie.
- 1869 : la Ville lui confie la construction de l'école enfantine de Saint-Gervais (c'est la seule construction qu'on lui connaisse).
- 1873 : il épouse Françoise Redard.
- 1876 : naissance de sa première fille, Julia (Aline).
- 1878 : premières réflexions sur le Relief de Genève en 1850.
- 1879 : naissance de sa seconde fille, Jeanne (Françoise).
- 1880-1896 : il travaille sur le Relief de Genève en 1850, avec une pause en 1893, faute de financement.
- 1896 : le Relief de Genève en 1850, tout juste achevé, est montré au public lors de l'Exposition nationale suisse, à Genève. Auguste Magnin y reçoit une médaille d'or pour son travail.
- 1896 : il complète la Maquette de Genève en 1815 de Pierre-David Matthey (1752-1826), en y ajoutant l'enceinte de défense et les glacis.
- 1903 : décès à Genève, le 13 mars.

Références

- [MAG90] : MAGNIN, Auguste. "Album des principaux édifices de la ville", 1890. Consultable au Centre d'icônographie de la Bibliothèque de Genève [CIG].
- [MAG92] : MAGNIN, Auguste. "Notice du Relief de Genève en 1850", 1892.
- [FOR90] : FORNARA, Livio. "Le Relief de Genève en 1850", Maison Tavel, Genève, 1990.
- [CIG] : Centre d'icônographie de la Bibliothèque de Genève. www.ville-geneve.ch/plan-ville/musees/centre-icônographie.
- [TAV] : Site internet de la maison Tavel, Musée D'art et d'Histoire de Genève. institutions.ville-geneve.ch/fr/mah/lieux-dexposition/maison-tavel/.

Contacts

- David DESBUISSON
(TPLM-3D – Chasse-sur-Rhône – France)
david.desbuisson@tplm-3d.fr
- Christian HALLER (HALLER-SA – Genève – Suisse) - christian@haller-sa.ch
- Pierre-Alain LINDEMAN
(Depth-SA – Monthey – Suisse)
pierre-alain.lindemann@depth.ch
- Pierre André MAGNIN
(inScience Communication – Genève – Suisse)
p-a.magnin@inscience.ch
- Thierry SANGOUARD (HALLER-SA – Genève – Suisse) - tsangouard@spatial-sa.ch

ABSTRACT

The Maison Tavel (Tavel House) in Geneva shelters the Magnin relief map ; an impressive representation of the city in 1850 build by the architect Auguste Magnin. The «Geneva 1850» project began in 2009 with a feasibility study concerning the relief map measurement for digital backup purposes. In 2010 the relief has fully be measured by photogrammetry and optical 3D scanner ; a second study concluded that it was possible to fully model it and to transform it into the swiss national coordinate system. This phase has begun in 2014 and led to the immersive web experience « www.geneve-1850.ch » after two and a half years of work in programming, 3D modeling, geometric transformation, texture and 3D rendering.

Navigation hybride en couplage serré associant amers célestes et terrestres par la méthode du Plan des Sommets

■ Yves ROBIN-JOUAN

La navigation par satellites (GPS puis GNSS¹) et son augmentation (SBAS¹) se sont imposées peu à peu comme technologies de base, dans le domaine de la Défense, puis dans le domaine des transports, notamment. Elles sont cependant soumises à des limitations significatives : pénalisation sur les routes maritimes qui s'ouvrent au nord des continents, indisponibilité relative dans les canyons urbains, les tranchées ouvertes, sous couverture végétale – sans parler des tunnels –, vulnérabilité au brouillage et au leurrage agressif. De plus elles sont inopérantes dans l'espace un peu au-delà des orbites des constellations². Il est donc pertinent de rechercher des aides aux GNSS par des moyens alternatifs³. La navigation au sol et la navigation côtière peuvent recourir aux moyens électromagnétiques (radar, mesures de balises actives à terre), mais aussi aux relevés optiques d'amers terrestres répertoriés dans des bases de données. La navigation en haute mer et la navigation aérienne en-route peuvent recourir aux moyens inertiels et à des relevés optiques d'amers célestes suivis par leurs éphémérides (y compris des satellites). Dans tous les cas, de tels relevés optiques constituent des aides réellement efficaces, au prix d'un effort d'intégration et d'automatisation de l'optronique. La dépendance stratégique par rapport aux GNSS s'en trouve réduite, mais il reste à faire le traitement adéquat en aval.

■ MOTS-CLÉS

Hybridation, MPS, Plan des Sommets, couplage serré, optronique, algorithmes, paramétrage

racines historiques, notamment dans les sections de la page suivante, et de dégager les principes sur lesquels repose la méthode du Plan des Sommets (MPS). Le détail de la mise en œuvre de la méthode a déjà été publié et il n'est pas productif de le reprendre ici. Quelques cas d'usage sont diversément traités pour montrer comment la méthode MPS sait faire le point par hybridation de relevés célestes et de visées terrestres. Ces cas d'usage et la conclusion reviennent sur des épisodes marquants du passé.

Principes de l'approche proposée

L'approche initiale remonte aux années 1990 [2], en partant d'une formulation propre à la navigation par satellites. Elle s'est focalisée sur la navigation astronomique avant de retourner à la navigation par satellites [3] puis d'être généralisée à la navigation aux amers terrestres [4,5]. Dans tous ces domaines, c'est une approche directe, capable de s'affranchir de toute position estimée ou supposée. L'ensemble a été conduit dans le respect de cinq principes fondamentaux :

1. rechercher la linéarité, pour la simplicité et l'aptitude à traiter indifféremment un grand nombre de mesures ;
2. fonder la méthode sur une base géométrique rigoureuse assurant efficacité et robustesse ;
3. privilégier les dimensions horizontales (2D) par rapport à l'altitude, qui parfois importe moins ;
4. adopter un paramétrage combiné en altitude et en temps (1D+T) pour d'éventuelles itérations (notamment avec des mesures de satellites) ;

Introduction

En réponse aux besoins du Navire Autonome comme du Véhicule Autonome, il est proposé un processus de navigation hybride directe, avec la méthode du Plan des Sommets comme base méthodologique commune. Cette approche travaille sur les données brutes issues des capteurs, pour une hybridation en couplage serré, qui peut éventuellement se passer de moyens inertiels. La formulation est globalisée sous forme d'une équation vectorielle unique intégrant les mesures de tous

les capteurs. Des informations vont être rappelées sur les caractéristiques analytiques des Sommets, pour 4 classes de cibles mesurées : astre, satellite, amer terrestre isolé ou couple d'amers distants.

Cet article est une version enrichie de la contribution de l'auteur au symposium sur la Navigation qui s'est tenu à *Mystic Seaport*, au bord de la côte est américaine, du 3 au 5 novembre 2017 [1]. De ce fait, il a conservé un peu de l'ambiance de "vieille marine" dans laquelle a baigné le symposium.

L'idée directrice est de rappeler les

1 GNSS = *Global Navigation Satellite Systems* et SBAS = *Satellite Based Augmentation Systems* (EGNOS en Europe).

2 Il n'est pas encore réaliste de déployer une constellation autour d'une planète pour faciliter son exploration ! Pour leur progression lente sur Mars, les robots actuels (rovers) font appel à des viseurs d'étoiles et à une hybridation avec des capteurs inertiels.

3 Les moyens alternatifs sont classés sous la rubrique APNT : *Alternative Positioning Navigation and Timing systems*, vocable introduit par l'Aviation américaine (FAA). Certains systèmes tactiques de navigation sont désormais spécifiés pour s'affranchir d'une indisponibilité du GPS pendant 18 heures.

5. permettre une hybridation directe, en couplage serré, sans forcément recourir aux moyens inertiels.

La méthode a été présentée de manière élogieuse mais concise, en transition avant d'aborder le GPS, dans l'ouvrage de référence du regretté Jean-José Ségeric sur la Navigation Astronomique [6].

■ Formulation linéaire

Il semble bien que la première tentative de formulation linéaire en navigation ait été faite par Antoine Yvon-Villarceau, horloger puis astronome et mathématicien au Bureau des longitudes, dans sa "Nouvelle Navigation Astronomique" [7]. L'objectif était de promouvoir l'utilisation des chronomètres de marine, "nouvelle" par rapport à celle des distances lunaires, et de justifier la méthode des droites de hauteur, développée par le commandant Marcq Saint-Hilaire en 1875. À cet effet, Yvon-Villarceau a repris les concepts de base de la navigation. Dans son 1^{er} chapitre théorique, il a défini en coordonnées cartésiennes les équations des plans supports des cercles de hauteur, auxquelles s'ajoute l'équation de la sphère terrestre (de rayon unité), sous la forme que voici :

$$e = a x + b y + c z \quad [e = \sin h]$$

$$e' = a' x + b' y + c' z \quad [e' = \sin h']$$

$$1 = x^2 + y^2 + z^2$$

où h et h' sont les hauteurs vraies de 2 astres au-dessus de l'horizon. Le calcul de x, y, z donne les coordonnées de la position inconnue.

Yvon-Villarceau écrit après que c'est généralisable à n observations.

Mais il ne recommande pas l'emploi de cette formulation directe, "à cause de la longueur des calculs qu'elle nécessite" ; en 1877 c'est compréhensible...



Antoine Yvon-Villarceau

La suite de l'ouvrage est recentrée sur l'emploi des coordonnées sphériques et le calcul des intercepts⁴, formulation différentielle, donc indirecte. L'erreur inhérente est analysée avec beaucoup de soin.

Le succès international de la méthode de Marcq Saint-Hilaire est dû à la simplicité de sa construction graphique sur la carte marine. Ce succès a été tel qu'il a masqué pratiquement pour un siècle toute tentative de retour à la formulation directe. En fait, c'est le passage en 3D avec l'orbitographie des satellites (notamment satellites scientifiques, puis TRANSIT), qui a réactivé l'intérêt des coordonnées cartésiennes.

En navigation astronomique, le premier à revenir aux équations linéaires, en introduisant une matrice de n par 3, a été Georges Bodenez, professeur à l'ENMM en 1976 [8]. Dans son mémoire de 65 pages, il se réfère d'ailleurs à Yvon-Villarceau. C'était émergent dans le contexte de cette époque car sur le même sujet, l'USNO a publié 2 pages fin 1978 [9], puis l'IMLA a suivi en 1981 [10]. Après validation à la mer, la méthode impulsée par Bodenez a été introduite dans le cours de l'École navale dès 1980.

Le défaut essentiel de ces méthodes linéaires – devenues classiques – est d'introduire parfois des singularités si l'on néglige de traiter parallèlement l'équation de la sphère terrestre (la 3^e équation d'Yvon-Villarceau), ou au moins l'équation d'un plan tangent qui en tient lieu au voisinage du point estimé.

La méthode du Plan des Sommets (MPS) élimine ce défaut, en intégrant le traitement des singularités, tout en se libérant complètement de l'estime ou de tout autre point d'appui. En

4 Partant d'une équation de trigonométrie sphérique, où les inconnues (latitude et longitude) sont implicites, Marcq Saint-Hilaire a inversé le problème en calculant les mesures attendues en un point d'appui connu (estimé ou arbitraire). Il en a ensuite déduit l'écart ou intercept pour rejoindre le lieu des points où la mesure devient exacte et l'azimut à affecter à cet intercept. C'est une méthode différentielle, liée étroitement à son point d'appui. A l'échelle de la carte marine, les lieux sont des droites tangentes aux cercles de hauteur (cf. ci-après). De ce fait, on parle de droites de hauteur.

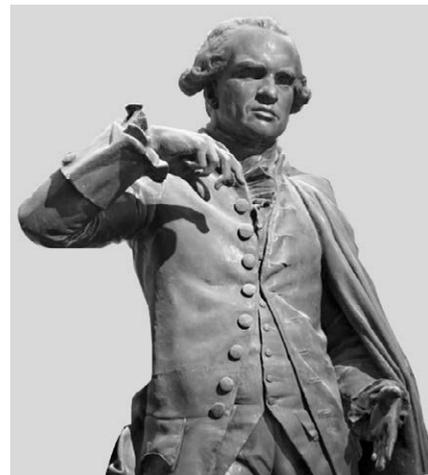
revanche, les résultats produits restent utiles au recalage du processus de l'estime, qui se déroule parallèlement.

■ Positionnement par intersections de cônes

Gaspard Monge, en son temps ministre de la Marine puis comte de Pérouse, est l'un des fondateurs de l'École polytechnique. Dans le cadre de sa Géométrie Descriptive, il est probablement le premier à avoir promu l'usage des cônes d'iso-mesure en positionnement, d'abord pour la topographie au-dessus d'un plan de sol en 1796 [11].

Monge a abordé ensuite le principe du passage de 2D en 3D avec des cônes-enveloppes pour résoudre un problème sur une sphère en particulier, sur un ellipsoïde ou sur les quadriques en général [12].

Monge était un prodigieux orateur, qui recourait souvent à une gestuelle évocatrice, comme en témoigne sa statue par Rude. Il suscitait l'admiration de ses élèves. Malgré son talent d'appréhension des situations en 3D, il était en pratique terrassé par le mal de mer ! Cette faiblesse inopportune l'a contraint à abandonner le cortège de savants qui accompagnait Bonaparte lors de la campagne d'Égypte.



Gaspard Monge

Le général Jean-Victor Poncelet, élève de Monge et plus tard son successeur, a poursuivi ses travaux d'application de l'analyse à la géométrie, notamment dans le célèbre manuscrit du camp de Saratoff. C'est en faisant des mathématiques que ce solide gaillard a occupé ses années de captivité après la retraite napoléonienne de Russie [13].

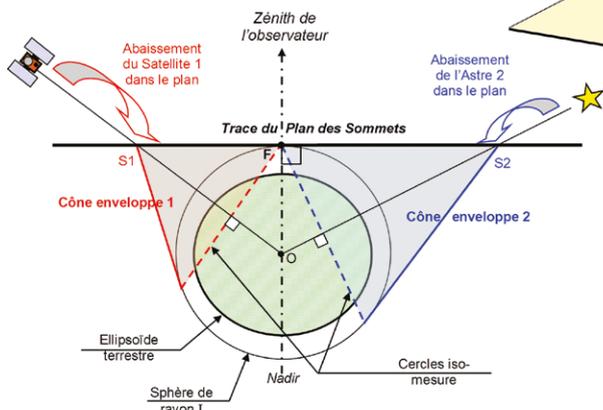


La méthode du Plan des Sommets se situe dans la même perspective : à la place de cercles au sol ou de lieux inscrits sur une surface d'altitude constante, elle considère en 3D les cônes-enveloppes d'une sphère de référence⁵. Cette sphère de référence est arbitraire et donc n'est pas forcément un modèle de la Terre. Elle est simplement concentrique et proche.

La méthode MPS repose sur 4 théorèmes de géométrie qui lui confèrent effectivement efficacité et robustesse. Ces théorèmes sont énoncés et démontrés dans la référence [3]. Le premier de ces théorèmes consiste à reconnaître le rôle important joué par les Sommets des cônes-enveloppes. Les cônes sont circulaires puisqu'ils circonscrivent une sphère. Les Sommets se situent tous dans le plan horizontal de l'observateur ou du dispositif de mesure, si les observations ou mesures sont exactes. De façon un peu imagée, les cibles sont abaissées sur l'horizon, comme on le ferait avec un sextant. Aux corrections près, les Sommets seraient les points de l'horizon visés par le sextant, à la fin de son balancement.

Le point de contact F du Plan des Sommets et de la sphère de référence est ainsi à la position où les mesures ont été effectuées. La réciproque de ce théorème est directement applicable

5 Sur une sphère de référence, le lieu à iso-mesure est un petit cercle. L'ensemble des plans tangents à la sphère suivant ce petit cercle engendre un cône circulaire de même axe, qui enveloppe la sphère. En navigation astronomique, le petit cercle est un cercle de hauteur et le demi-angle au sommet du cône-enveloppe est égal à la distance zénithale de la visée, c'est-à-dire à l'angle complémentaire de la hauteur.



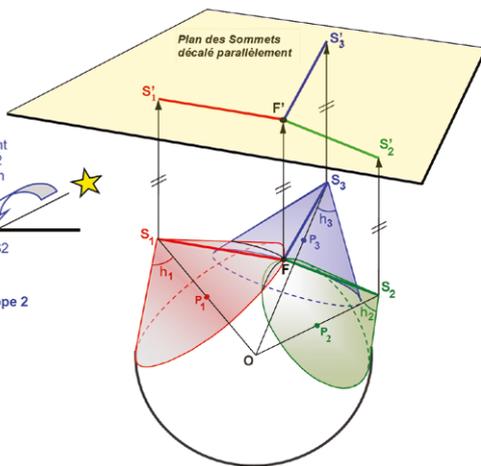
Coupes diamétrales articulées sur la verticale

en navigation : connaissant les coordonnées des Sommets des cônes, ce sont les composantes du vecteur normal au Plan des Sommets qui déterminent la position inconnue.

Il est clair que le résultat obtenu se confond avec l'intersection des plans supports des cercles de hauteur, suivant les méthodes classiques, tant que tout est exact. Il en va différemment en présence d'incertitude ou au voisinage des singularités, et les 3 autres théorèmes y sont consacrés. On démontre notamment des propriétés de conjugaison polaire des solutions par rapport à la sphère de référence.

■ **Priorité donnée aux dimensions horizontales**

En navigation astronomique, la méthode du Plan des Sommets travaille en 2 étapes : prédiction, puis correction. La prédiction se contente d'appliquer les théorèmes mentionnés et leurs réciproques. La correction consiste à traiter l'erreur non pas dans l'espace, mais dans le Plan des Sommets, qui se rapproche du plan de la carte marine. De cette façon, on contraint le point calculé à rester en 2D au voisinage de la Terre : cette contrainte qui est linéaire se substitue à la 3^e équation d'Yvon-Villarceau, qui était quadratique. Dans le cas de 3 observations, le résultat se confond avec le point le plus probable (MPP), ou point de concours des symédianes du triangle⁶, identifié par Émile Lemoine en 1873 [14]. La solution est



Vue en perspective (3 mesures)

généralisée à $n > 3$ observations par minimisation de la moyenne quadratique des n distances dans le Plan des Sommets.

En navigation par satellites ($n > 4$), on privilégie également les coordonnées horizontales. À court terme, l'altitude est paramétrée par l'intermédiaire du rayon I de la sphère de référence et ce paramètre est ajusté par itération (il ne s'écarte pas beaucoup de 1 au sol ou dans les limites de l'espace aéronautique). La convergence en 2D est plus rapide que la convergence sur la 3^e dimension.

■ **Rôle de l'altitude et du temps en navigation par satellites**

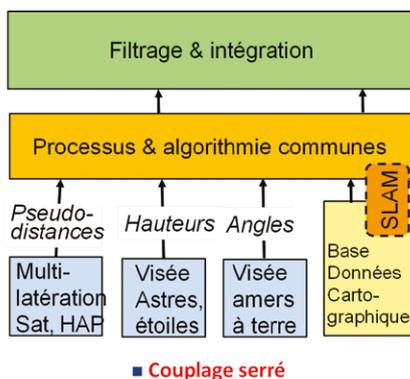
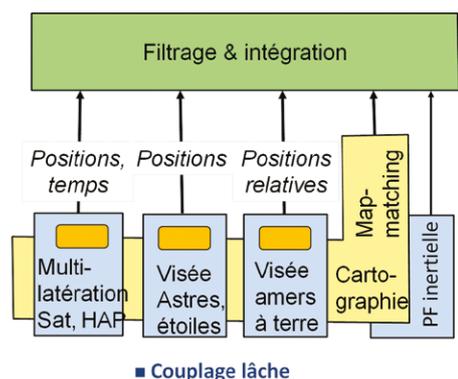
Avec des satellites, il est possible de faire mieux en associant la correction à déterminer de l'horloge locale avec le rayon I qui gouverne l'altitude. C'est ainsi que l'on est conduit à un paramétrage en $1D + T$. Les termes linéaires résiduels sur le temps sont éliminés paritaire-ment entre les n équations. En aval, la résolution itérative procède suivant 2 alternatives algorithmiques, aux propriétés contrastées :

- algorithme de relaxation : simple, mais relativement aveugle (ralliant plus ou moins vite la solution) ;
- ou algorithme d'incrémentation : plus lourd, mais bien contrôlé dans son cheminement, notamment par l'initialisation.

Avec l'un et l'autre, la convergence est assurée d'abord en horizontal 2D, et les valeurs de I et de la correction de temps s'ajustent ensuite progressivement⁷.

6 Dans un triangle plan la symédiane d'un angle est la symétrique par rapport à la bissectrice, de la médiane menée au côté opposé. Émile Lemoine a démontré le premier que le point de concours des 3 symédianes avait la propriété caractéristique de minimiser la moyenne quadratique des distances aux côtés du triangle. De ce fait, le point s'appelle Point de Lemoine ou MPP (*Most Probable Point*).

7 Soit à résoudre une équation $A.X = f(X)$ où f est une fonction non linéaire. Autour de la solution inconnue, qui constitue un point fixe, on peut mettre en œuvre différents algorithmes itératifs, qui mettent à profit la linéarité du premier membre :
- La relaxation consiste à calculer X_{i+1} dans $A.X_{i+1} = f(X_i)$ puis à injecter X_{i+1} au second membre et à poursuivre l'itération (en toute rigueur, il faut préciser que le paramètre de relaxation est ajusté ici à 1).
Suite de la note 7 en page suivante



► Rappel de principe sur l'hybridation

L'hybridation consiste à combiner divers capteurs ou récepteurs de mesure affectés à différentes sources, en tirant le meilleur parti de chacune. L'objectif est de compenser les défauts des uns par les qualités des autres et réciproquement. On peut ainsi s'affranchir de l'indisponibilité du GPS, tabler sur des relevés célestes au large et s'appuyer sur des visées d'amers terrestres en navigation côtière, voire même dans le cœur des villes. On pourrait ajouter le radar, le sondeur et la bathymétrie en navigation côtière. Le tout peut se faire avec ou sans moyens d'extrapolation tels que plate-forme inertielle ou odomètre et compas électrique.

Le principe du couplage lâche est de travailler en aval du traitement nominal des capteurs, représenté comme inclus dans chaque bloc sur le volet gauche de la figure ci-dessus. Il s'appuie au moins sur un ajustement cartographique (*map-matching*), voire sur des moyens inertiels ou de l'odométrie. Les échelles de temps réel peuvent être disparates entre les chaînes.

Le principe du couplage serré est de s'adosser directement aux capteurs, en exploitant les données brutes qu'ils délivrent. Une algorithmie commune est appliquée à l'ensemble, ce qui permet d'harmoniser le temps réel et

7 - L'incrémentation consiste à développer $f(X)$ en série par rapport à un ΔX faible devant X . On fait passer le terme linéaire en ΔX au 1^{er} membre et on se ramène à une équation aux différences du type $B_i \cdot \Delta X_{i+1} = g(\Delta X_i)$

La relaxation n'impose qu'une seule inversion ou pseudo-inversion de matrice. L'incrémentation en impose une par itération. Le critère d'arrêt des itérations peut être le maintien des résultats dans une boule d'incertitude de rayon prescrit.

de dépasser les limitations des traitements individuels : par exemple, la multilatération reste exploitable en dessous de 4 satellites ou autres HAP (Plates-formes à Haute Altitude) ; les relevés d'astres ou les visées terrestres le restent aussi, même s'ils sont uniques. On peut se passer de moyens inertiels. SLAM désigne la démarche éventuelle de localisation et de levé cartographique simultanés (par exemple pour l'exploration de Mars ou d'autres planètes).

La méthode du Plan des Sommets se prête bien à une hybridation directe en couplage serré. Rien n'empêche néanmoins d'inclure cette hybridation directe dans une boucle plus large en couplage lâche avec des moyens inertiels. C'est ce qui a déjà été proposé pour la navigation du véhicule autonome, notamment dans les canyons urbains [5].

Formulation unifiée de la MPS pour une navigation hybride directe

Quelle que soit la cible mesurée, on peut lui associer un cône-enveloppe de la sphère de référence. Le Sommet du cône est aligné sur la verticale fixe de la cible si elle est terrestre ou sur la direction donnée par ses éphémérides s'il s'agit d'un objet céleste, naturel ou artificiel. La distance ou rayon à l'origine $\Sigma = OS$ est directement fonction

de la mesure et en est complètement représentative. Chacun des n Sommets est ainsi parfaitement prépositionné et rassemble toute l'information utile de la mesure.

La prise en compte de chaque mesure se traduit par une condition d'appartenance du Sommet du cône associé, à un unique Plan des Sommets. Algébriquement cela s'écrit sous forme d'une équation linéaire où x, y et z désignent les composantes du vecteur unitaire normal au plan, mais aussi la solution du problème de navigation – à un facteur près –, du fait des propriétés de ce plan.

L'ensemble des mesures peut être regroupé sous forme d'une équation vectorielle, où la matrice du premier membre contient ligne par ligne, les coordonnées cartésiennes de chaque Sommet. Le second membre égale l'unité en navigation astronomique ou en navigation terrestre. Il prend une valeur paramétrée à 1 en navigation par satellites.

L'hybridation directe se manifeste simplement sous forme de bandes horizontales dans cette équation unique. Le repère cartésien utilisé $Oxyz$ est ortho-normé, avec l'origine au centre de la Terre (ECEF *Earth Centered Earth Fixed*) et :

- l'axe Oz dans la direction du Pôle Nord céleste ;
- l'axe Ox dans le plan du méridien de Greenwich.

En navigation par satellites, la résolution de cette équation a été programmée en 2012 sous Matlab™. L'hybridation avec des relevés astronomiques fait l'objet du programme NAVHYB, également sous Matlab™ [3]. En navigation astronomique, le logiciel ASTROLAB résout automatiquement l'équation, depuis sa création voilà 20 ans déjà. Il intègre un modèle du système solaire et des éphémérides

$$\begin{matrix} \text{Matrice des Sommets} \\ \begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 \\ X_2 & Y_2 & Z_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ X_i & Y_i & Z_i \\ \dots & \dots & \dots \\ X_m & Y_m & Z_m \\ X_n & Y_n & Z_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \dots \\ 1 \\ \dots \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{Bande des Satellites} \\ \text{\& HAP} \\ \text{Bande des Astres} \\ \text{Bande des Amers} \\ \text{terrestres} \end{matrix} \end{matrix}$$



“perpétuelles” (recalées en juin 2017 dans la version 3.2). Afin d’exploiter des salves de relevés au gré de l’opérateur, il offre un module de régression linéaire ou quadratique (la seconde destinée aux méridiennes). Il traite les corrections des hauteurs observées et les transports d’observation en fonction de la progression du porteur.

ASTROLAB a été écrit en BASIC (VB5), avec ses propres routines de calcul matriciel et des interfaces d’entrée-sortie (IHM Interface homme machine) purement alphanumériques. Le portage en est ainsi facilité sur de toutes petites machines, y compris des smartphones. La suite de l’article va montrer qu’il est applicable également à une hybridation entre relevés astronomiques et visées terrestres.

Caractérisation des Sommets suivant les cibles de mesure

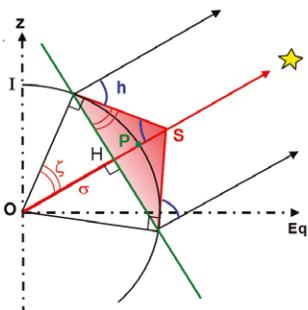
L’examen des caractéristiques des Sommets permet de mieux comprendre l’efficacité et la polyvalence de la méthode. Au stade actuel, 4 cas de cibles sont répertoriés et traités par la méthode du Plan des Sommets : 2 cas de cibles célestes et 2 cas de cibles terrestres. Dans chacun, le calcul de $\Sigma = OS$ ou de la distance zénithale dont il se déduit est explicité ci-après.

$\Sigma = I / \cos \zeta$, où ζ est la distance zénithale entre la cible et le point d’observation ou de mesure.

Dans le cas du satellite, ρ représente la pseudo-distance et τ le décalage de l’horloge de bord que multiplie la vitesse c de

◆ Cas ① avec un astre

■ Variable de mesure : h

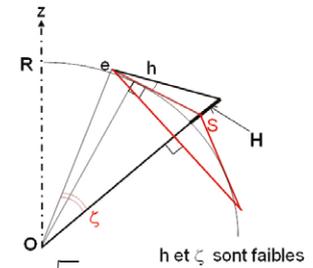


$$\Sigma = \frac{I}{\sin h} \quad \text{ou} \quad I = 1$$

$$= I \cdot \operatorname{cosec} h$$

◆ Cas ③ avec un amer terrestre isolé

■ Variable de mesure : h



h et ζ sont faibles

$$w = \sqrt{\frac{2e}{R}}$$

$$\zeta \approx \sqrt{h^2 + 2 \cdot \frac{H}{R} - 2h \cdot w - h + w}$$

la lumière. R_s est une simple notation à partir de la position du satellite, qui ne suppose rien sur la circularité de l’orbite :

$$R_s^2 = x_s^2 + y_s^2 + z_s^2$$

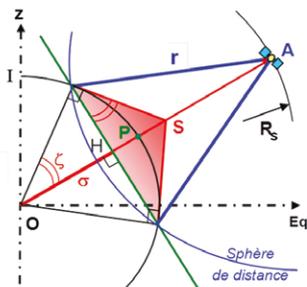
Dans le cas de l’amer isolé, le calcul de la distance zénithale ζ fait intervenir une valeur de R majorée pour rendre compte de la réfraction près de l’horizon. Au besoin, on peut adopter un modèle plus sophistiqué, où la réfraction est corrigée en température et en pression [15, 16]. Dans le cas du couple d’amers, la distance zénithale ζ est exploitée deux fois (pour le calcul de P , puis de la position inconnue).

Validation dans un cas canonique

Le cas canonique retenu correspond à la reconstitution idéalisée d’un point astronomique, lors de la première traversée historique de Paris à New York par Costes et Bellonte [17]. C’était au-dessus de l’Atlantique à bord du biplan Bréguet XIX Super Bidon Point d’Interrogation,

◆ Cas ② avec un satellite (ou HAP)

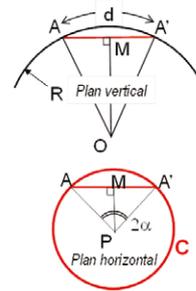
■ Variable de mesure : r



$$\Sigma = \frac{2 \cdot R_s}{1 + \frac{R_s^2 - r^2}{I^2}} \quad \text{ou} \quad r = \rho + c \cdot \tau$$

◆ Cas ④ avec un couple d’amers terrestres

■ Variable de mesure : ouverture 2α des amers



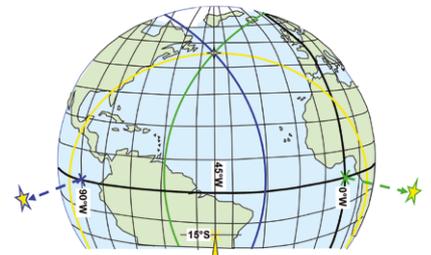
M : point milieu de AA'
 d : exprimé en radian

$$\sin \zeta = \frac{d}{2} \cdot \frac{1}{\sin \alpha}$$

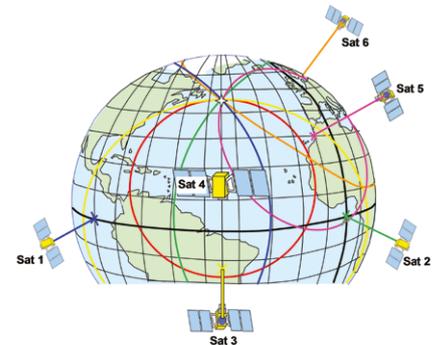
ζ faible sauf si α faible aussi

P est le centre de l’arc de C qui sous-tend α . La position de P se calcule par retour au cas ①

le 2 septembre 1930. Les positions des étoiles et les angles relevés ont été choisis de façon à rendre le calcul accessible à la main.



Point astronomique à 3 étoiles



Point aux satellites (avec 4 ou plus)

Voici dans le cas simple à 3 étoiles d’égale hauteur vraie (30°) comment on peut dérouler manuellement la méthode du Plan des Sommets :

Dans les formules qui suivent, les valeurs exactes de c et s sont déduites de celles correspondant à l’angle double (30°). La conversion finale de cartésiennes à longitude et latitude répond à l’hypothèse simple d’une Terre sphérique en navigation astronomique.

Bien entendu, le logiciel ASTROLAB délivre exactement le même résultat, et ce dès l’étape de prédiction puisqu’il n’y a aucune incertitude.

◆ Calcul des coordonnées cartésiennes des sommets S_1, S_2, S_3

- $S_1 : [\cos 0^\circ \cdot \cos 0^\circ, \cos 0^\circ \cdot \sin 0^\circ, \sin 0^\circ] / \sin 30^\circ = [2, 0, 0]$
- $S_2 : [\cos 0^\circ \cdot \cos 90^\circ, -\cos 0^\circ \cdot \sin 90^\circ, \sin 0^\circ] / \sin 30^\circ = [0, -2, 0]$
- $S_3 : [\cos 15^\circ \cdot \cos 45^\circ, -\cos 15^\circ \cdot \sin 45^\circ, -\sin 15^\circ] / \sin 30^\circ = [c\sqrt{2}, -c\sqrt{2}, -2s]$

◆ Système d'équations linéaires et résolution :

$$\begin{cases} \blacksquare & 2x & + 0 & + 0 = 1 \Rightarrow x = 1/2 & (1) \\ \blacksquare & 0 & - 2y & + 0 = 1 \Rightarrow y = -1/2 & (2) \\ \blacksquare & c\sqrt{2}x & - c\sqrt{2}y & - 2sz = 1 \Rightarrow \sqrt{2}c(x - y) - 2sz = 1 & (3) \end{cases}$$

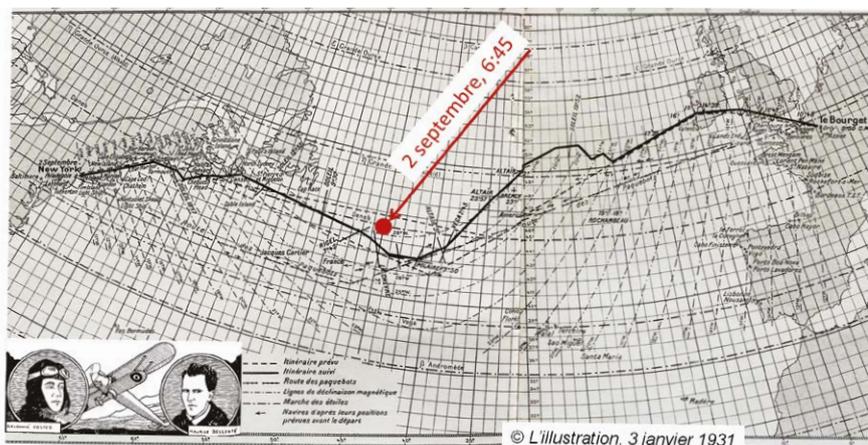
où $c^2 = (\cos 15^\circ)^2 = (2 + \sqrt{3})/4$ et $s^2 = (\sin 15^\circ)^2 = (2 - \sqrt{3})/4$

■ substitution de (1) et (2) dans (3) $\Rightarrow \sqrt{2}c - 2sz = 1$ (4)

■ dont la solution est $z = \sqrt{2}/2$ car on vérifie : $2(c - s)^2 \equiv 1$

◆ Retour aux coordonnées sphériques et résultat :

- Longitude = $\text{Arctg } y / x = -\text{Arctg } 1 = 45^\circ \text{ W}$
 - Latitude = $\text{Arcsin } z = \text{Arcsin } (\sqrt{2}/2) = 45^\circ \text{ N}$
- } **Position recherchée**



Position du cas canonique reportée sur la carte de Bellonte (projection de Kahn)



La version 3.2 d'ASTROLAB calcule en début d'exécution le coefficient de Dilution de précision (DOP⁸) lié à la géométrie du problème, comme c'est la règle en navigation par satellites ou en e-LORAN⁹. En l'occurrence, il est de 5,57

8 Le carré du coefficient DOP (Dilution Of Precision) est lié à l'inverse du volume délimité dans l'espace par les amers eux-mêmes (satellites ou amers terrestres) ou leurs projections sur un cylindre vertical (astres ou étoiles) [3]. Ce coefficient, qui rend compte de la géométrie de mesure, multiplie l'erreur efficace (RMS) intrinsèque du système de navigation. Quand c'est pertinent, il est décomposable en composantes horizontale et verticale et même en espace et en temps.

9 L'e-LORAN (*enhanced LONG RANGE Navigation system*) est une version numérique dérivée de l'ancien système hyperbolique LORAN-C. Il fonctionne aux mêmes fréquences basses (100 kHz), mais exploite la mesure de temps d'arrivée d'impulsions synchronisées et non plus la mesure de déphasage d'une onde entretenue. La précision peut atteindre 10 m à 100 nautiques des balises.

avec les 3 étoiles relevées. Il s'améliore à 1,69 si l'on ajoute une 4^e étoile, dont le pied est le même que celui du 4^e satellite de la planche précédente.

Bien après Costes et Bellonte, le même cas canonique peut être facilement extrapolé en navigation par satellites, avec 4 d'entre eux positionnés comme indiqué précédemment.

Les termes en τ sont éliminés de l'équation vectorielle au moyen d'une

transformation linéaire qui privilégie la direction du barycentre des satellites. Le paramétrage porte sur les termes quadratiques en I^2 et τ^2 qui sont calculés après chaque itération et réintroduits pour l'itération suivante.

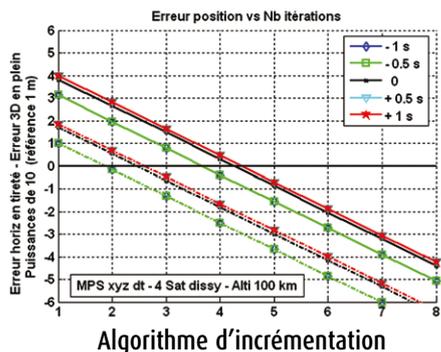
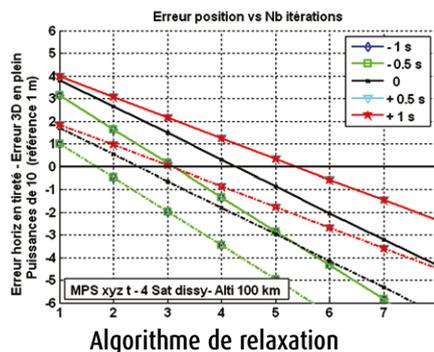
L'exercice est conduit avec l'aide du programme sous MatlabTM, pour une série de valeurs sur la dérive de l'horloge du récepteur. Les résultats sont analysés dans le repère cartésien Oxzy. L'ordre des itérations (de 1 à 8) est porté en abscisse.

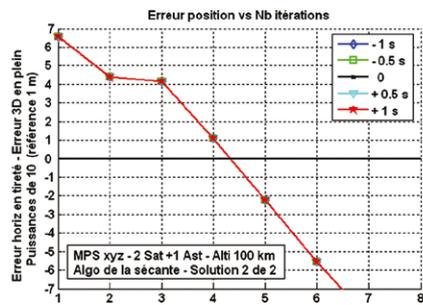
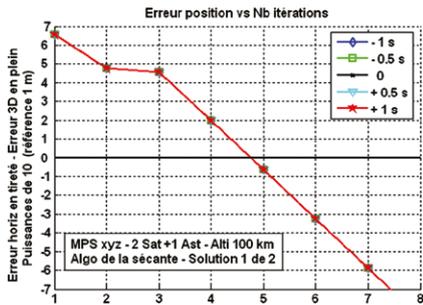
On constate que le processus itératif fait migrer le point calculé, le long d'une sorte de gouttière qui se projette suivant un faisceau de droites génératrices dans un diagramme plan. La forme de gouttière est suggérée par le fait que les droites remontent de part et d'autre du thalweg quand on fait varier l'horloge autour de la valeur exacte. La convergence en 3D au centimètre près est obtenue en 8 itérations avec l'algorithme de relaxation, et seulement en 6 itérations avec l'algorithme d'incrémentement. L'incrémentement fait gagner régulièrement plus d'un ordre de grandeur par itération.

Deux remarques s'imposent :

- l'erreur en 2D suivant les droites en pointillé est régulièrement très inférieure à l'erreur en 3D, de 2 ordres de grandeur. Cela vérifie bien le 3^e principe de l'approche adoptée ;
 - l'altitude du porteur importe peu : on conserve des diagrammes semblables entre 0 et 100 km ! Le paramétrage selon le 4^e principe fonctionne bien¹⁰.
- Pour aller au bout de ce cas canonique, il reste à traiter le cas de l'hybridation entre astres et satellites. L'hypothèse minimale

10 La conversion vers le référentiel WGS 84 (ellipsoïde ou géoïde pour la Terre) reste à effectuer en aval. Les règles en sont bien connues [3].





est de considérer 1 astre et 2 satellites. En effet, avec 2 astres on pourrait se passer de satellite, et avec 3 satellites on pourrait se passer d'astre, pour un porteur au sol ou à altitude connue. Dans cette hybridation, on reprend les positions 1, 2 pour les satellites et la position 4 pour l'astre. Le programme NAVHYB conduit aux résultats ci-dessus pour les 2 solutions possibles (la première étant la même que précédemment). On constate que les génératrices sont superposées, quels que soient les décalages d'horloge, mais ne deviennent des droites qu'au-delà des premières itérations. La superposition résulte d'un processus d'initialisation sophistiqué, qui est exposé dans la référence [3].

Exercice d'hybridation entre astres et amers côtiers

L'exercice choisi est inspiré d'un cas réel déjà ancien, mais recalé dans le temps présent. Un sous-marin nucléaire émerge en mer d'Iroise, afin de rallier en surface sa base dans la rade de Brest. Après un long périple en immersion, la centrale inertielle a subi une dérive importante. Le GPS est instable et douteux, car un chalutier hérissé d'antennes a été signalé dans les parages. Au crépuscule, on est encore loin des côtes mais les signaux optiques sont directement utilisables. Deux grands phares sont identifiables à l'horizon : Créach et Armen, validés par le comptage de leurs éclats. Le navigateur relève précisément l'angle d'ouverture entre les 2 faisceaux au moyen de son système optique. Il effectue ensuite une visée de Vénus, immanquable sur tribord arrière (on est proche de sa période de brillance maximale). À titre de confirmation, il ajoute une visée d'Altair qu'il croit reconnaître sur l'avant.

On est le 22 septembre 2016 à 18:00 UTC, et voici quelles sont les données issues des relevés :

- ouverture entre Créach et Armen : 84° 24,9', ce qui est une valeur particulièrement grande ;
- hauteurs astronomiques vraies : 10° 53,4' pour Vénus, 42° 40' pour Altair (dont la visée est difficile).

Le logiciel ASTROLAB v3.2 est exécuté en deux passes successives, comme indiqué antérieurement dans le cas N°4 pour les amers : la première passe sert à calculer la position du centre P de l'arc capable ; la seconde permet de déterminer le point, à partir de P et du pied de Vénus. Il y a 2 solutions possibles et le doute est levé par les données sur Altair ou un simple regard à l'extérieur. La solution rejetée serait proche de la Chaussée de Sein et le navigateur ne pourrait manquer de voir la bouée lumineuse qui en délimite l'ouest.

Le résultat obtenu est en 48° 15' N et 5° 24,5' W, à plus de 3 milles du point donné par la centrale inertielle. Voir ci-dessous la situation sur un fond de carte vectorielle dans l'environ-

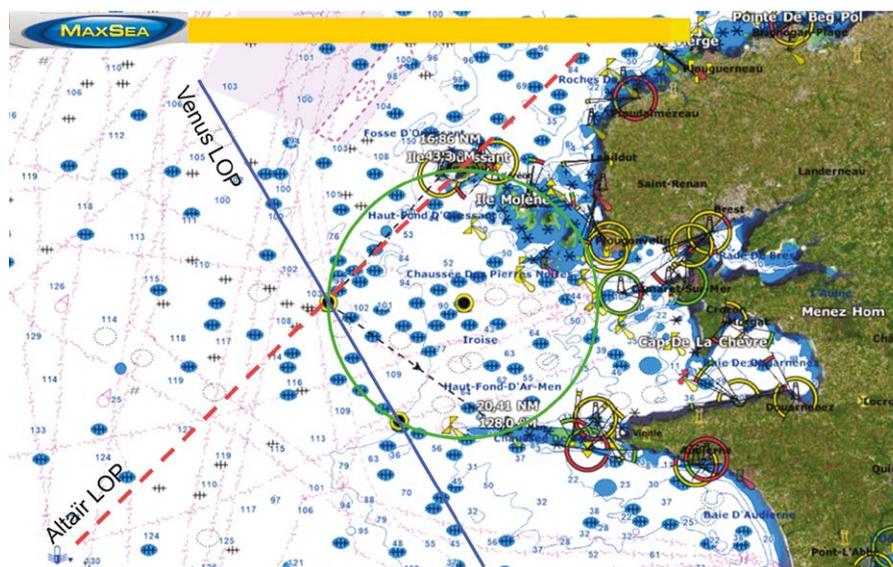
nement MAXSEA™. Le cercle et les droites de hauteur (*Lines of Position*) y ont été superposés pour une meilleure compréhension. Les droites sont également fournies par ASTROLAB, à la demande.

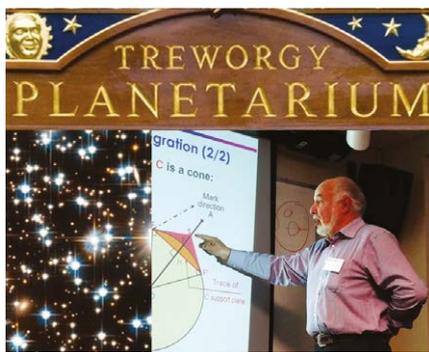
Il faut noter que la discrimination des 2 solutions serait plus évidente avec une ouverture réduite (10° à 40°) entre les phares, car le cercle aurait alors un rayon beaucoup plus grand.

Conclusion

Au cours de cet exposé, l'auteur a évité de rentrer dans les détails de la résolution mathématique et des algorithmes adoptés. Notamment, il faut noter que les singularités ou leur voisinage sont détectés au moyen des indicateurs DOP, et que le traitement en séquence constitue une spécificité puissante de la méthode du Plan des Sommets (MPS). Ces aspects n'ont pas été évoqués ici, mais ont fait l'objet de nombreuses mentions et d'un chapitre dans la référence [3], que le lecteur intéressé pourra consulter.

Les principes de l'approche ont été posés d'entrée et leur validation a pu être mise en évidence à travers des cas canoniques ou exercices décrits avec soin. La méthode est directe et on a pu vérifier qu'elle s'affranchissait de tout préalable sur l'estime. La polyvalence de la MPS et la portabilité du logiciel sont à souligner, comme l'auteur l'a fait au Symposium de *Mystic Seaport* le 5 novembre 2017.





L'auteur présentant la MPS à Mystic Seaport



Les racines historiques remontent au XIX^e siècle mais quelques souvenirs concrets du tournant du XX^e siècle permettent d'apprécier les énormes progrès accomplis en navigation depuis lors. Notamment, la vulnérabilité des supports traditionnels a été reconnue en situation réelle.

L'automatisation par la méthode du Plan des Sommets ne fait qu'apporter une pierre à l'édifice. Mais c'est une des technologies qui, grâce à l'hybridation directe, peut contribuer à l'autonomie des porteurs (navires, véhicules, drones...). ●



Vue de la galerie de poupe du HMS Calcutta à l'époque de la Nouvelle Navigation d'Yvon-Villarceau (depuis Portsmouth, James Tissot, 1877)



Documents de navigation de grands explorateurs, (dégradés par l'humidité et le ruissellement) : R. Scott (1912) et F. Worsley (1916), retour du Pôle Sud



ASTROLAB tournant sur portable, palm-top ou smartphone

Contact

Yves ROBIN-JOUAN
NAVECOM - Membre IFN, ION
Pôles PMB, MOV'EO, System@tic
yrobinjo@free.fr

Bibliographie

[1] Yves Robin-Jouan "Bilan du Symposium sur la Navigation à Mystic Seaport en novembre 2017", XYZ, N°154, 1^{er} trimestre 2018

[2] Yves Robin-Jouan "Le positionnement astronomique par la Méthode du Plan des Sommets, ou comment revisiter l'astro avec l'expérience du GPS", XYZ, N°75 et 76, 1^{er} et 2^e trimestres 1998

[3] Yves Robin-Jouan "Navigation aux Astres et aux Satellites par la Méthode du Plan des Sommets", Marines éditions, 256 pages + CD-ROM, INFOMER janvier 2013, ISBN 978-2-35743-088-4

[4] Yves Robin-Jouan "Navigation aux Astres, aux Satellites, aux Amers côtiers et Hybridation directe", conférence au Musée de la Marine, PARIS, 27 février 2017

[5] Yves Robin-Jouan "Navigation hybride aux amers célestes et aux amers terrestres, par la Méthode du Plan des Sommets", Navigation IFN, Vol 64 N°253, juin 2017

[6] Jean-José Ségeric "Histoire du point astronomique en mer", 442 pages, Marines Editions, Rennes 2006, ISBN 2-915379-41-6

[7] Antoine Yvon-Villarceau et Henri-Julien Aved de Magnac "Nouvelle navigation : théorie et pratique" respectivement, 435 pages, éditions Gauthiers-Villars, Paris 1877

[8] Georges Bodenez "Le problème de Douwes", 65 pages, Mémoire à l'Inspection Générale de l'Enseignement Maritime, avril 1976, dont accusé réception de l'IGEM le 11 mai 1976

[9] R. Watkins & P.M. Janiczek (USNO) "Sight reduction with matrices", the Institute's

professional forum, pages 447-448, Navigation ION, Winter 1978-1979

[10] B. Van Katwijk "A different view of the Star Fix", Stichting Hogere Zeewaartshoel ou Académie maritime Supérieure d'Amsterdam (HZA), International Maritime Lecturers Association newsletter N°2, July 1981

[11] Comte Gaspard Monge "Géométrie Descriptive", Séances des Ecoles Normales, Paris, Imprimerie du Cercle Social, Rue du Théâtre Français, N°4, 1^{er} Germinal de l'an IV de la République (21 mars 1796)

[12] Comte Gaspard Monge "Application de l'analyse à la géométrie, à l'usage de l'Ecole Impériale Polytechnique", 416 pages + planches, Bernard, Libraire de l'Ecole Impériale Polytechnique et de l'Ecole Impériale des Ponts et Chaussées, Paris 1807

[13] Général Jean-Victor Poncelet "Applications d'analyse et de géométrie", Editions Mallet-Bachelier, Paris 1862, suivant le manuscrit rédigé au Camp de Saratoff, après sa capture par les Cosaques en 1814

[14] Emile Lemoine "Note sur un point remarquable du plan des triangles", Nouvelles annales de mathématiques, deuxième série, tome 12, Paris 1873

[15] André Danjon "Astronomie Générale", seconde édition revue et corrigée, chapitre 9 "la Réfraction atmosphérique", 19 pages, Librairie Scientifique et Technique, Albert Blanchard, Paris 1993, ISBN 2-85367-068-6

[16] Marcel E. Tschudin "Refraction near the horizon - an empirical approach, part 1: terrestrial refraction of the dip", Applied Optics, Vol 55(12), 2016. "Part 2: variability of astronomical refraction at low positive altitude", to be published

[17] Maurice Bellonte "Le premier Paris New York : Costes et Bellonte", Editions Plon, Paris 1976, ISBN 2-259-00101-7

ABSTRACT

Starting from needs of Autonomous Ships & Vehicles, a hybridizing direct process is proposed which uses the Method of Coplanar Vertices (MPS) as a common algorithm for multi-sensor navigation. After the principles of MPS have been reminded, a global vectorial equation is settled for both celestial and terrestrial target probing. Details are provided about Vertex analytics for 4 classes of targets: star, satellite, lonely landmark and distant landmark pair.



Extension de fuseau de la projection de Mercator Transverse

Application au réseau géodésique primordial Algérien

■ Bachir GOURINE - Abdesselam DAOUADI - Hebib TAIBI - Ali BENAHMED DAHO - Mohamed PACHA

La projection UTM, qui a été adoptée pour habiller le système géodésique national Algérien (Nord Sahara 1959), couvre l'Algérie en quatre fuseaux. Les zones de jonction situées entre deux fuseaux, présentent un problème pour les applications géodésiques (triangulation) ainsi que pour la cartographie à grande échelle (travaux locaux), à cause d'altérations importantes. A travers cet article, un programme, dénommé TRANMERCAGE, a été réalisé pour permettre de projeter l'Algérie en un seul fuseau étendu. L'application et la validation de ce programme ont été effectuées sur une partie importante du réseau primordial bidimensionnel, composé de 239 points, qui s'étale sur la partie Nord de l'Algérie, en adoptant trois méthodes : la projection de Mercator Transverse, le passage par la sphère de courbure moyenne et la projection de Gauss-Krüger. Les résultats obtenus pour chaque méthode et leurs comparaisons sont illustrés et discutés.

MOTS-CLÉS

Projection UTM, projection Gauss-Krüger, projection Mercator Transverse, passage par sphère à courbure moyenne, fuseau étendu, passages direct et inverse, Nord Sahara 1959 (NS-59).

altérations importantes dans les zones de jonction entre les fuseaux.

Afin de remédier à ces problèmes, le présent travail s'intéresse à l'extension de fuseau aux limites du territoire national, en vue d'exécuter une compensation globale du réseau géodésique primordial en un seul bloc.

C'est dans cette optique, que s'inscrit l'objectif assigné à ce travail et qui consiste à élaborer une étude sur trois approches d'extension de fuseaux, notamment, la projection de Mercator Transverse, le passage par la sphère de courbure moyenne et la projection de Gauss-Krüger. L'aboutissement de ce travail a été couronné par la réalisation d'un programme (TRANMERCAGE) d'extension de fuseau, basé sur ces trois approches développées, exprimant ainsi un nouveau système de coordonnées, d'une manière à assurer la meilleure précision possible en transformation des coordonnées géographiques aux coordonnées projection et inversement.

L'application a concerné un réseau du canevas géodésique primordial (réalisé par l'IGN) qui est caractérisé par deux chaînes parallèles (Nord et Sud). Une description succincte des différentes méthodes, les résultats de leurs applications et leurs comparaisons, sont abordés et discutés.

Transformation en fuseau étendu

Le principal inconvénient des formules classiques de la projection UTM réside dans le calcul des coordonnées chaque fois que l'on travaille sur une zone qui s'étale sur plusieurs fuseaux, car elles sont exprimées dans divers systèmes dont chacun correspond à un fuseau déterminé. La résolution de ce

Introduction

L'Algérie est un pays vaste qui s'étend sur une longitude d'amplitude de 18° au Nord et de 20° au Sud et d'une latitude d'amplitude de 18°. La cartographie de notre pays a commencé, par les travaux de l'IGN-France, à l'époque coloniale. Dès lors des problèmes techniques et applicatifs surgirent. D'une cartographie expédiée en passant par l'établissement des réseaux géodésiques afin de mettre en place une cartographie d'état-major, jusqu'à l'adoption du système géodésique national Nord Sahara 1959 (NS-59) avec la projection UTM, la géodésie et la cartographie en Algérie n'ont pas cessé d'évoluer.

Néanmoins, outre sa vétusté, la caractérisation d'un tel système géodésique (NS-59), issu d'un artifice de calcul basé sur deux différentes sources de données : un réseau géodésique (1^{er} ordre et 1^{er} ordre complémentaire, Nord de l'Algérie) calculé dans le système ED50 (European Datum 1950) utilisant l'ellipsoïde international et un réseau astronomique (sud de l'Algérie), pose

un problème au niveau de la définition de l'origine (point fondamental mal défini ou n'existe pas). En conséquence, la méconnaissance de la position et de l'orientation de l'ellipsoïde dans l'espace se répercute sur la qualité des résultats (réseau géodésique). D'autre part, les moyens de calculs utilisés lors de la définition du système Nord Sahara 1959 étaient, à l'époque, assez rudimentaires et les calculs d'ajustement ont été exécutés par petits blocs de quelques points s'appuyant les uns sur les autres. Pour un pays étendu comme l'Algérie, ce type d'ajustement peut altérer la précision et l'homogénéité du système Nord Sahara (problèmes d'échelle et d'orientation). Il est rappelé que le système NS-59 s'appuie sur un autre système plus ancien : le système Voirol 1875 qui a connu un certain nombre de problèmes [Reyt, 1960].

En termes de projection UTM, l'Algérie est à cheval sur quatre fuseaux (29, 30, 31 et 32). L'inconvénient de cette projection, d'une part, est que le système de coordonnées est différent pour chaque fuseau et d'autre part, l'existence des

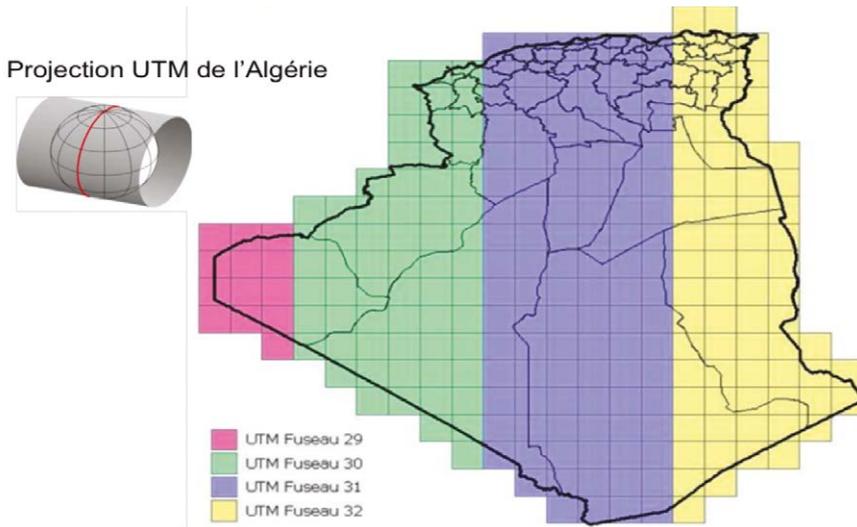


Figure 1. Fuseaux de la projection UTM de l'Algérie

► problème revient à unifier le système de coordonnées.

L'Algérie est à cheval sur quatre fuseaux UTM qui sont de l'Ouest à l'Est 29, 30, 31 et 32 (cf. figure 1). L'approche consiste à l'extension d'un fuseau dont le méridien central correspond à 0° en longitude, jusqu'aux limites du territoire national (-8°, +12°), en utilisant une méthode de projection qui permet de couvrir l'Algérie en un seul fuseau en assurant une déformation linéaire la plus minimale que possible. En d'autres termes, il s'agit d'assurer un calcul précis des coordonnées entre les passages direct et inverse, par l'utilisation de nouvelles formules de la représentation UTM.

Dans ce contexte, trois approches d'extension de fuseau ont été mises en œuvre. Elles se basent sur le principe de la projection de Mercator Transverse (MT) qui consiste à une double projections (c'est-à-dire, passer d'un ellipsoïde vers une sphère puis vers le plan). Ci-après une description succincte de ces approches, sans détailler leurs aspects théoriques. En annexe, sont explicités les algorithmes correspondant à chaque méthode.

■ Méthodes du passage au fuseau étendu utilisées

Les méthodes du passage au fuseau étendu proposées, sont basées sur l'utilisation des nombres complexes car elles sont des transformations conformes, d'après Riemann en 1851. Pour de plus amples détails sur ces transformations, il est recommandé de se référer au [Levallois, 1970]. Le détail

des algorithmes de chaque méthode est illustré, dans le mémoire d'ingénieur de [Daouadi, 2015].

La projection de GAUSS-KRÜGER

La projection de Gauss-Krüger (GK) est une projection conforme d'un ellipsoïde de la terre sur un plan en passant par une sphère où l'équateur et le méridien central sont une ligne isomorphe et un isomètre, respectivement, et dont le facteur d'échelle sur le méridien central est constant. La projection de GK se base sur le principe de la double projection. La projection de l'ellipsoïde sur la sphère, de rayon de courbure moyen, est connue sous le nom de la projection de Gauss-Schreiber (GS), elle est tangente à l'équateur. La deuxième projection est la

projection conforme de cette sphère sur le plan, c'est-à-dire de la projection de GS vers la projection de GK où l'échelle suivant le méridien central est rendue constante [Deakin et al., 2010].

Cette projection possède un ensemble d'équations qui assurent une précision du micron près (1µm) en tous endroits, dans un intervalle de 30° du méridien central. Le cœur de ces équations repose sur deux séries qui permettent de déterminer la relation entre la latitude rectifiée μ et la latitude conforme Φ . La première est une latitude sur la sphère de rayon rectifié A (rayon de parallèle de même circonférence d'une ellipse méridienne), la deuxième correspond à celle d'une projection conforme de l'ellipsoïde sur une sphère.

L'algorithme de ce programme, réalisé par [Karney, 2011], est basé sur le principe de la projection de Mercator Transverse et qui permet le passage direct et inverse vers un fuseau étendu. Les formules se basent sur des séries de Krüger, [Krüger, 1912], poussées jusqu'à l'ordre 8. Il contient deux fonctions, figure (2) :

Tranmerc_dir : pour le passage direct $(\lambda, \varphi) \rightarrow (X, Y)$.

Tranmerc_inv : pour le passage inverse $(X, Y) \rightarrow (\lambda, \varphi)$.

Approche de la sphère à courbure moyenne (SCM)

Notée SCM, cette approche se base sur

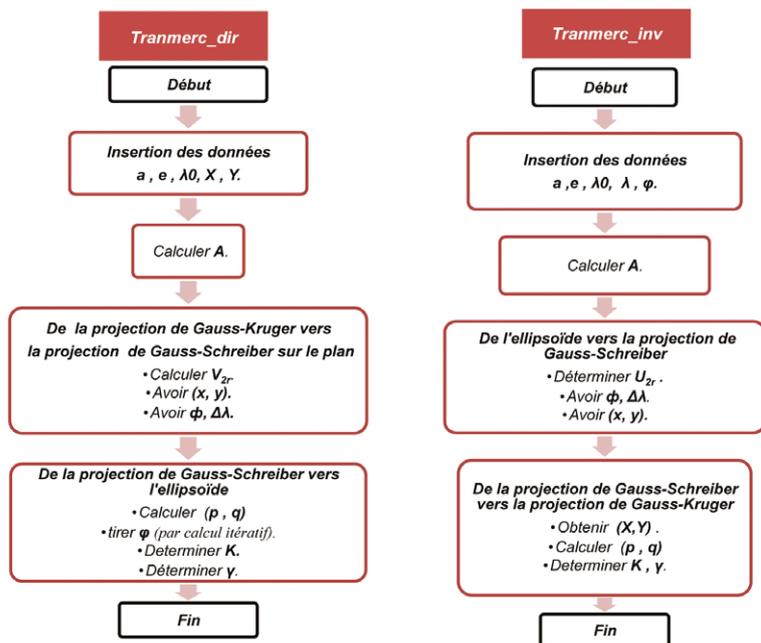


Figure 2. Organigrammes des passages direct et inverse de l'approche GK.



le passage par la sphère de courbure moyenne. C'est une représentation qui conserve le parallèle au point de contact de l'ellipsoïde et de la sphère. Il a sur l'ellipsoïde la latitude φ_0 et sur la sphère de rayon R , il aura la latitude Φ_0 , qui est donnée par :

$$N_0 \cotg \varphi_0 = R \cotg \Phi_0$$

Avec :

$$\begin{cases} \varphi_0 > \Phi_0 \\ \text{et} \\ R = \sqrt{\rho_0 N_0} \end{cases}$$

Pour plus de détails, consultez [Chirouf, 1987] et [Levallois, 1970].

Le programme de la méthode de passage par la sphère à courbure moyenne est inspiré du mémoire d'ingénieur d'état réalisé par Mr. Chirouf [Juin1987, CNTS]. Il contient deux fonctions, *figure 3* :

- SCM_étendu_dir : pour le passage direct $(\lambda, \varphi) \rightarrow (X, Y)$.
- SCM_étendu_inv : pour le passage inverse $(X, Y) \rightarrow (\lambda, \varphi)$.

Projection de Transverse Mercator de l'IGN [IGN, 1995]

Elle se base sur la double projection

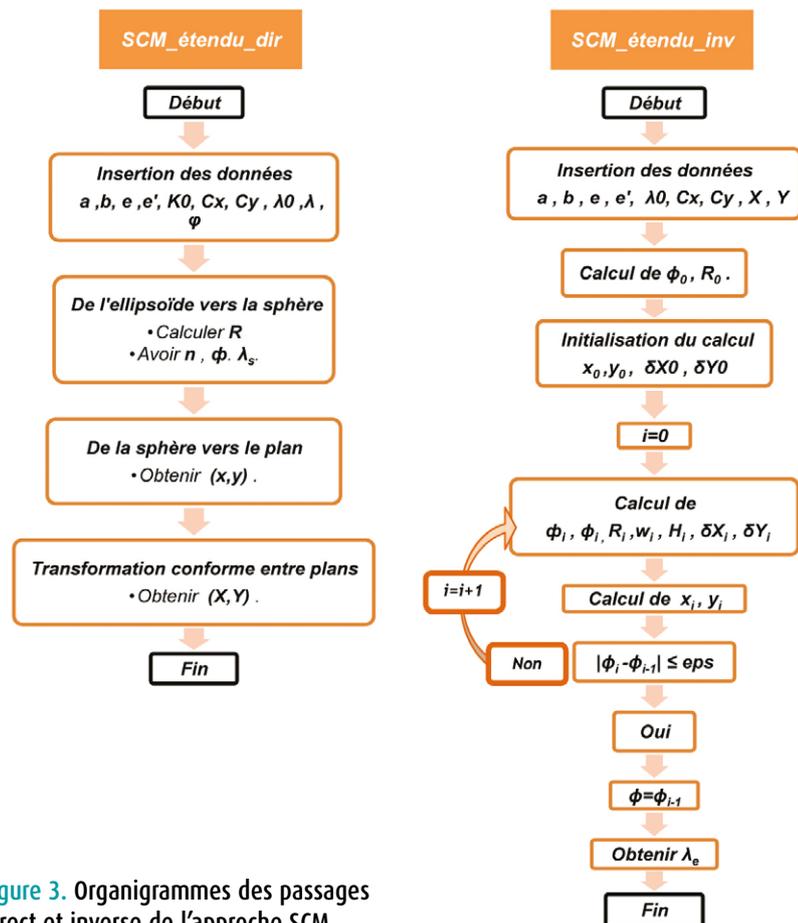


Figure 3. Organigrammes des passages direct et inverse de l'approche SCM.

où la sphère est tangente à l'équateur. L'algorithme de cette approche a été réalisé par IGN (France) en janvier 1995. La première édition contient un ensemble d'algorithmes avec quelques applications numériques.

Le programme développé se base sur cet algorithme, il contient deux fonctions, *figure 4* :

- MT_IGN_étendu_dir : pour le passage direct $(\lambda, \varphi) \rightarrow (X, Y)$.
- MT_IGN_étendu_inv : pour le passage inverse $(X, Y) \rightarrow (\lambda, \varphi)$.

Programme réalisé "TRANMAERCAFE"

Le programme "TRANMAERCAFE" (ou TRANsverse MERCAtor - Fuseau Etendu) a été réalisé sous MATLAB version 7.13, au niveau du Département de Géodésie Spatiale (CTS/Arzew), [Daouadi, 2015]. Il permet d'effectuer le passage direct des coordonnées géographiques en coordonnées cartésiennes (projection) et inversement, exprimées sur un fuseau étendu. Il permet aussi de représenter graphiquement les réseaux géodésiques

bidimensionnels (2D), selon les trois approches développées. Ces dernières basées essentiellement sur la projection de Mercator Transverse, trois programmes correspondants ont été réalisés : MT_IGN_étendu (MT_IGN), SCM_étendu (SCM) et Tranmerc (GK). Ci-après l'organigramme du programme TRANMAERCAFE et de ses modules (*cf. figure 5*).

Evaluation de la précision des approches utilisées

Prenant les limites de l'Algérie comme un jeu d'essai, ci-après la liste des points choisis et leur distribution géographique (*cf. figure 6 et tableau 1*).

Les points 5, 6, 7 et 8 désignent les limites extrêmes (exagérées) du réseau géodésique national.

Point	λ°	φ°
1	-12	38
2	-9	20
3	12	38
4	12	20
5	9	36
6	-3	36
7	9	32
8	-3	32

Tableau 1. Jeu d'essai en coordonnées géographiques.

Le tableau 2 illustre les écarts en coordonnées géographiques, exprimés en millimètres, entre les passages direct et inverse suivant les trois approches. Prenant :

$$\begin{cases} \lambda_0 = 0^\circ \\ \varphi_0 = 0^\circ \text{ (MT_IGN et GK)} \\ \varphi_0 = 34^\circ \text{ (SCM)} \\ Cx = 500\,000 \text{ m} \\ Cy = 0 \text{ m} \end{cases}$$

La différence entre les passages direct et inverse est nulle pour 10^{-13} rd.

Notant que le calcul des écarts en coordonnées géographiques exprimés en millimètres est donné par :

$$\begin{cases} d\lambda = (\lambda - \lambda_{inv}) \cdot R_{moy} \\ d\varphi = (\varphi - \varphi_{inv}) \cdot R_{moy} \cdot \cos\varphi \end{cases}$$

Avec : $R_{moy} = 6371 \cdot 10^6$ mm.

Comparaison entre les résultats des approches

L'approche de GK donne un résul-



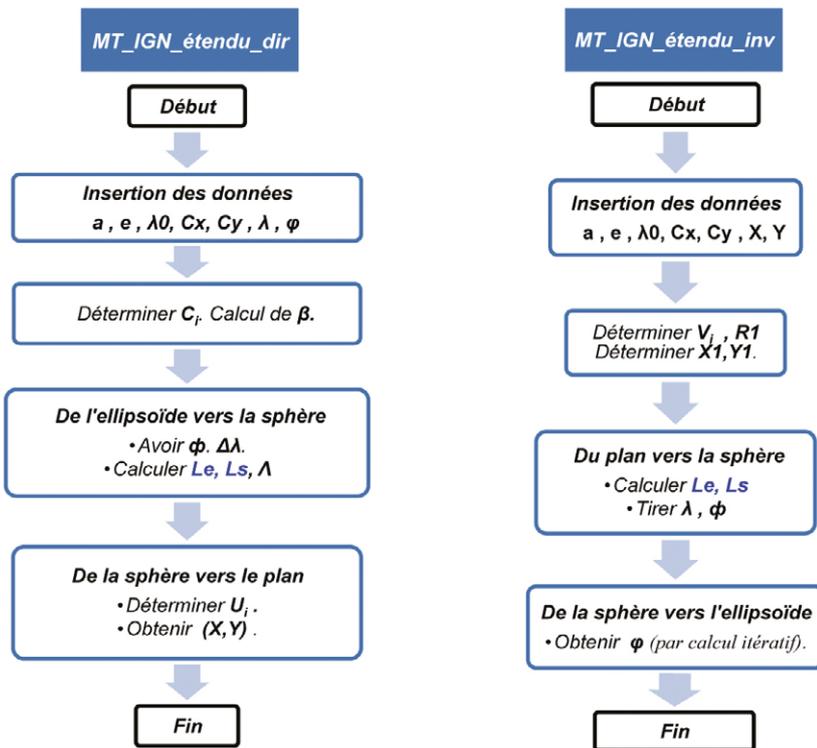


Figure 4. Organigrammes des passages direct et inverse de l'approche MT_IGN.

tat très fiable, de l'ordre de 10^{-6} mm en termes de différences entre les coordonnées géographiques (calcul développé et poussé au 8^e ordre), mais elle possède un facteur d'échelle variant en fonction du point (suivant

le parallèle du point), c'est-à-dire, tant que la latitude augmente le facteur d'échelle augmente. L'approche de MT_IGN fournit un calcul précis (10^{-3} mm) en termes de différences entre les coordonnées

géographiques, elle présente des formules finies et simples à manipuler. Pour ces deux approches, on remarque qu'elles assurent une grande précision de calcul entre les deux passages direct et inverse de l'ordre de 10^{-13} rd, en tout point de la région test. Néanmoins, les résultats obtenus par l'approche de SCM présentent des différences de calcul significatives entre les passages direct et inverse pour une amplitude de $\Delta\lambda = 12^\circ$ de part et d'autre du méridien central (cas du Sud de l'Algérie). Par contre pour une amplitude $\Delta\lambda = 09^\circ$ de part et d'autre du méridien central (cas du Nord de l'Algérie), les résultats sont satisfaisants de l'ordre du millimètre. Une comparaison entre les résultats des trois approches, selon les limites du réseau géodésique national, est illustrée suivant le tableau 3. Les approches utilisées pour l'extension d'un fuseau sont testées et validées par le passage direct et inverse pour une amplitude maximale $\Delta\lambda = 24^\circ$ (i.e., 12° de part et d'autre du méridien central), cela assure une couverture globale de l'Algérie.

Notant que les deux approches de GK et MT_IGN se basent sur le même principe qui est la transformation passant par une sphère tangente à l'équateur, la différence entre elles est la formulation mathématique utilisée. Cependant, l'approche de SCM utilise une sphère de courbure moyenne. Les critères de choix de l'une des approches sont comme suit :

- le champ d'application le plus étendu (Tableau 2),
- la variation des écarts en coordonnées géographiques entre le passage direct et inverse,
- la précision du calcul mathématique,
- la comparaison entre les résultats des trois approches (Tableau 3).

D'après l'analyse des résultats obtenus, les trois approches fournissent une précision satisfaisante pour une couverture du Nord de l'Algérie, assurant le millimètre dans le cas le plus défavorable (cas de l'approche de SCM).

En ce qui concerne la couverture totale du pays, les approches GK et MT_IGN sont à recommander.

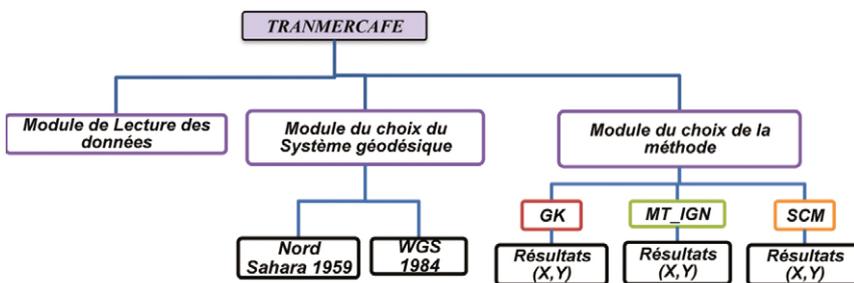


Figure 5. Organigramme des principaux modules du programme TRANMERCAFE.

Point	λ°	φ°	GK			MT_IGN		SCM	
			$d\lambda$ (10^{-6} mm)	$d\varphi$ (10^{-6} mm)	K	$d\lambda$ (10^{-3} mm)	$d\varphi$ (10^{-3} mm)	$d\lambda$ (mm)	$d\varphi$ (mm)
1	-12	38	0.0	0.0	1.0138	-0.6	0.8	1728	1 26
2	-9	20	0.1	0.3	1.0111	-0.1	0.7	258	13
3	12	38	0.0	0.0	1.0138	0.6	0.8	-1728	126
4	12	20	-0.1	0.3	1.0198	0.1	0.7	-1094	71
5	9	36	-0.1	0.0	1.0081	0.4	0.8	-414	23
6	-3	36	0.0	0.0	1.0009	-0.1	0.8	1	0.0
7	9	32	0.3	0.6	1.0090	0.3	0.7	-407	23
8	-3	32	0.0	0.0	1.0010	-0.1	0.8	1	0.0

Tableau 2. Écarts entre les passages direct et inverse des trois approches. Le facteur d'échelle K est calculé par l'équation dans l'annexe A4.



Figure 6. Distribution géographique des points tests.

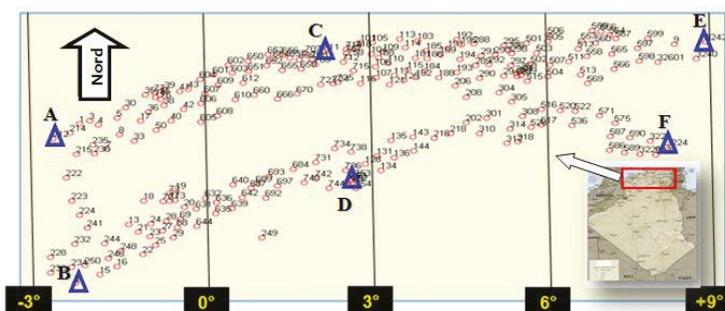


Figure 7. Réseau géodésique primordial national (IGN). Les points en triangles sont considérés comme points critiques utilisés dans le test des différentes méthodes.

point	λ°	φ°	SCM - MT_IGN		MT_IGN - GK		GK - SCM	
			ΔX (mm)	ΔY (mm)	ΔX (mm)	ΔY (mm)	ΔX (mm)	ΔY (mm)
5	9	36	414	23	4×10^{-4}	8×10^{-4}	414	23
6	-3	36	1	8×10^{-4}	1×10^{-4}	8×10^{-4}	1	8×10^{-4}
7	9	32	407	23	3×10^{-4}	7×10^{-4}	407	23
8	-3	32	1	8×10^{-4}	1×10^{-4}	8×10^{-4}	1	0

Tableau 3. Les écarts entre les trois approches exprimés en mm (cas du Nord de l'Algérie). Ces écarts sont des différences entre coordonnées issues de deux projections.

Application et résultats

L'application et la validation du programme TRANMERCAFE ont été effectuées sur le réseau primordial Algérien, réalisé par l'IGN/France en 1955. Le réseau disponible contient 239 points de 1^{er} ordre (cf. figure 7) s'étalant sur toute la partie Nord de l'Algérie, couvrant ainsi trois fuseaux UTM (30, 31 et 32). L'ellipsoïde de référence est celui du Clarke 1880 Anglais¹. Une étude comparative est faite entre chaque approche avec elle-même et avec les autres approches. Les tableaux ci-après donnent les statistiques des résultats des différentes méthodes.

Dans le tableau 4, on affiche les statistiques relatives aux différences en coordonnées géographiques (exprimées en mm), issues de l'aspect direct et inverse de chaque méthode. Les valeurs maximales des approches GK et MT_IGN, ne dépassent pas 10^{-3} mm. En revanche, des valeurs centimétriques, voire même décimétriques sont observées, dans le cas de la méthode SCM.

¹ Les paramètres de l'ellipsoïde de Clarke 1880 Anglais sont : $a = 6378249.145$ m et $1/f = 293.465$.

D'après le tableau 5, qui illustre les différences de coordonnées géographiques (aspect direct et inverse) aux points critiques, il est clair que les deux méthodes, GK et MT_IGN, donnent

les meilleures précisions de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-7} mm. Par contre, la méthode SCM exprime des écarts décimétriques, notamment aux points E et F (qui se trouvent à l'extrême Est du réseau). Cela s'explique par leur éloignement du méridien central à 9° de longitude.

Enfin, le tableau 6 donne les écarts absolus entre les différentes méthodes. D'après les résultats obtenus, les approches de GK et MT_IGN sont les plus appropriées pour le réseau géodésique primordial. Cependant, il s'avère que l'approche GK est celle dont la précision de calcul pour le champ d'application étendu (cas de l'Algérie) est la meilleure. Par conséquent, il est à recommander d'exprimer le réseau géodésique suivant cette projection.

	SCM		MT_IGN		GK	
	$\Delta \lambda$ (mm)	$\Delta \varphi$ (mm)	$\Delta \lambda$ (mm)	$\Delta \varphi$ (mm)	$\Delta \lambda$ (mm)	$\Delta \varphi$ (mm)
Max	0.8	28.1	5×10^{-4}	9.2×10^{-4}	4×10^{-7}	17×10^{-7}
Moy	-37.2	1.8	1×10^{-4}	8.5×10^{-4}	-0.1×10^{-7}	-1×10^{-7}
Min	-478.8	-17×10^{-7}	-1×10^{-4}	7.8×10^{-4}	-4×10^{-7}	-11×10^{-7}

Tableau 4. Statistiques des différences en coordonnées géographiques exprimées en mm, par approche.

Point	SCM		MT_IGN		GK	
	$\Delta \lambda$ (mm)	$\Delta \varphi$ (mm)	$\Delta \lambda$ (mm)	$\Delta \varphi$ (mm)	$\Delta \lambda$ (mm)	$\Delta \varphi$ (mm)
A	0.7	22×10^{-3}	-1×10^{-4}	8.8×10^{-4}	-4×10^{-8}	-5×10^{-7}
B	0.3	$10. \times 10^{-3}$	-0.8×10^{-4}	8.1×10^{-4}	4×10^{-8}	6×10^{-7}
C	-0.5	16×10^{-3}	1×10^{-4}	9.2×10^{-4}	8×10^{-8}	-5×10^{-7}
D	-1.6	50×10^{-3}	1×10^{-4}	8.5×10^{-4}	0	-5×10^{-7}
E	-478.8	29.1	5×10^{-4}	9.0×10^{-4}	4×10^{-7}	6×10^{-7}
F	-322.2	18.0	4×10^{-4}	8.4×10^{-4}	1×10^{-7}	0

Tableau 5. Différences en coordonnées géographiques exprimées en mm, aux points critiques du réseau primordial (cf. figure 7).

Point	SCM - MT_IGN		MT_IGN - GK		SCM - GK	
	$\Delta\lambda$ (mm)	$\Delta\varphi$ (mm)	$\Delta\lambda$ (mm)	$\Delta\varphi$ (mm)	$\Delta\lambda$ (mm)	$\Delta\varphi$ (mm)
A	0.712	0.021	1×10^{-4}	8.7×10^{-4}	0.69	0.021
B	0.28	0.009	7×10^{-5}	8.2×10^{-4}	0.299	0.009
C	0.53	0.015	1×10^{-4}	9.1×10^{-4}	0.529	0.015
D	1.57	0.049	1×10^{-4}	8.4×10^{-4}	1.569	0.049
E	478.76	29.09	4×10^{-4}	8.9×10^{-4}	478.779	29.089
F	322.19	17.9	3×10^{-4}	8.4×10^{-4}	322.199	17.9

Tableau 6. Écarts absolus entre les trois approches aux points critiques du réseau primordial.

Conclusion

La présente étude s'insère dans le cadre de l'application de la représentation du territoire Algérien suivant un seul fuseau en gardant une meilleure précision possible, en passant des coordonnées géographiques aux coordonnées cartésiennes (projection) et inversement. Cela était réalisé par le programme TRANMERCAGE.

La méthode de l'extension de fuseau permet d'avoir une précision millimétrique (± 1 mm), de part et d'autre du méridien central, pour une longitude d'amplitude de $\Delta\lambda = 18^\circ$ (cas de l'Algérie). Cette extension a été réalisée par trois approches : la projection de Mercator Transverse (MT_IGN), le passage par la sphère de courbure moyenne (SCM) et la projection de Gauss-Krüger (GK). Les approches de GK et MT_IGN fournissent une précision largement suffisante de l'ordre de (10^{-6} mm et 10^{-3} mm) respectivement, entre passages direct et inverse, elles sont par conséquent à recommander. Tandis que la 3^e approche de SCM permet d'atteindre une précision décimétrique lorsqu'on s'éloigne du méridien central ($C\Delta\lambda = 18^\circ$).

L'avantage majeur de l'extension de fuseau, c'est qu'il permet la matérialisation d'un système de référence, comme le Nord Sahara 1959, par un système de coordonnées unique permettant d'exprimer tout le réseau géodésique national Algérien, dans un même repère avec un gain en précision. Notre étude s'est limitée à la transformation des coordonnées géographiques en coordonnées fuseau étendu UTM et inversement, il serait intéressant de l'étendre, aux calculs

géodésiques tels que : le module linéaire ellipsoïde plan (m) ; correction de réduction à la corde (dv) et convergence des méridiens, pour des applications d'ajustement de réseaux et de cartographie. ●

Contacts

Bachir GOURINE - Abdesselam DAOUADI

Hebib TAIBI

Département de Géodésie Spatiale, Centre des Techniques Spatiales (CTS)

Arzew, Oran, Algérie.

bachirgourine@yahoo.com

bgourine@cts.asal.dz

Ali BENAHMED DAHO - Mohamed PACHA

Institut National de Cartographie

et de Télédétection (INCT)

Alger, Algérie.

Remerciements

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet de collaboration nationale (CTS/INCT) pour la réfection du réseau géodésique national (Nord Sahara 1959). Les auteurs tiennent à exprimer leur gratitude aux éléments, des deux institutions CTS et INCT, qui ont contribué à ce projet.

Bibliographie

Adams O. S., 1921 *Latitude developments connected with geodesy and cartography*, special publications n°67, USA, 1921.

Chirouf A., 1987 *Extension d'un fuseau UTM*. Mémoire d'ingénieur d'état, Centre National des Techniques Spatiales (CNTS) - Arzew, Juin 1987.

Daouadi A., 2015 *Ajustement d'un réseau géodésique étendu en utilisant le fuseau étendu de la projection UTM*. Mémoire d'ingénieur d'état, Centre des Techniques Spatiales (CTS, ex. CNTS) - Arzew, 17 mars 2015.

Deakin R.E., M. N. Hunter and C. F. F. Karney 2010 *The Gauss-Krüger projection*. Victorian Regional Survey Conference, Warrnambool - Australia, 10-12 September, 2010.

IGN, 1995 *Projection cartographique de Mercator Transverse (Algorithmes)*, Notes techniques NT/G76, IGNFrance, 1995.

Karney F., 2011 *Transverse Mercator projection with an accuracy of few nanometers*, Journal of geodesy, USA, 2011.

Krüger L., 1912 *Konforme Abbildung des Erdellipsoids in der Ebene (Conformal mapping of the ellipsoidal earth to the plane)*, Potsdam, 1912.

Levallois J., 1970 *Géodésie classique bidimensionnelle*, Tome2, Edition Eyrolles, 1970.

Reyt A., 1960 *Les principes étapes de la géodésie en Afrique du nord*, IGN - France, 1960.

ABSTRACT

Key-words: UTM projection, Gauss-Krüger Projection, Transverse Mercator Projection, Passage by sphere with mean radius, Extended zone, Direct and inverse passages, Nord Sahara 1959 (NS-59).

The UTM projection, which was adopted as grid projection of the Algerian national geodetic System (Nord Sahara 1959), covers Algeria by four zones. The junction zones located between two adjacent zones, present a problem in geodetic applications (triangulation) also for mapping in great scales (local works), caused by important alterations. In this paper, a program named TRANMERCAGE was developed and it permits to project Algeria in one extended zone. Both application and validation of this program were realized on important part of the primordial bi-dimensional geodetic network, composed of 239 points covering the northern part of Algeria, with adoption of three methods: the Transverse Mercator Projection, the use of the intermediate mean radius sphere, and the Gauss-Krüger Projection. The results obtained from each method and their comparisons are shown and discussed.



Annexe

❖ Algorithme de la projection de Gauss-Krüger (GK) :

➤ Cas direct : Tranmerc_dir

Pour réaliser cette transformation, on doit d'abord calculer :

- La longueur de l'arc d'un méridien β , suivant (A1.1).
- La longueur quadratique de l'ellipsoïde Q qui est la longueur d'un arc de méridien compté à partir de l'équateur jusqu'au pôle, elle est calculée à partir de la formule de β pour $\varphi = \pi/2$ tel que :

$$\beta\left(\frac{\pi}{2}\right) = Q = \frac{a\pi}{2(1+e)} C0$$

- Le rayon rectifiant A , qui est un rayon de parallèle qui a la même circonférence que l'ellipse méridienne.

$$A = \frac{2Q}{\pi} = \frac{a}{(1+e)} \left(1 + \frac{e^2}{4} + \frac{e^4}{64} + \frac{e^6}{256} + \frac{25e^8}{16384} + \dots \right)$$

- La latitude rectifiée μ déterminée par (A2).
- La latitude conforme ϕ exprimée dans (A3).

A- Passage de l'ellipsoïde vers la sphère (projection de Gauss-Schreiber) :

Les équations pour la projection de Transverse Mercator d'une sphère conforme sont exprimées en fonction de la latitude conforme, telles que:

$$\begin{cases} x = R \sinh^{-1} \left(\frac{\sin \Delta\lambda}{\sqrt{\text{tg}^2 \phi + \cos^2 \Delta\lambda}} \right) \\ y = R \text{tg}^{-1} \left(\frac{\text{tg} \phi}{\cos \Delta\lambda} \right) \end{cases}$$

On pose :

$$\delta = \sinh \left(e \cdot \text{tgh}^{-1} \left(\frac{e \cdot \text{tg} \phi}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 \phi}} \right) \right)$$

On obtient :

$$\text{tg} \phi = \text{tg} \varphi \sqrt{1 + \delta^2} - \delta \sqrt{1 + \text{tg}^2 \varphi}$$

B- Passage de la projection de Gauss-Schreiber vers la projection de Gauss-Krüger :

En utilisant la théorie de la conformité d'une projection et les fonctions complexes et on suppose que :

$$\frac{1}{A} Z = f(z)$$

$$\frac{1}{A} (Y + iX) = f(y + ix)$$

avec :

$z = y + ix$: la projection de Gauss-Schreiber sur le plan

$Z = Y + iX$: la projection de Gauss-Krüger sur le plan

A : rayon rectifiant.

où l'axe des X est l'image de l'équateur et l'axe des Y est l'image de méridien central.

$$Z = f(y + ix) = \frac{y}{R} + i \frac{x}{R} + \sum_{r=1}^{\infty} U_{2r} \sin(2rz)$$

Par séparation de la partie entière de la partie imaginaire, en s'arrêtant à l'ordre $r=8$, on obtient:

$$\begin{cases} X1 = A \left(\frac{x}{R} + \sum_{r=1}^{\infty} U_{2r} \cos(2r \frac{y}{R}) \sinh(2r \frac{x}{R}) \right) \\ Y1 = A \left(\frac{y}{R} + \sum_{r=1}^{\infty} U_{2r} \sin(2r \frac{y}{R}) \cosh(2r \frac{x}{R}) \right) \end{cases}$$

Les coefficients U_{2r} sont donnés par (A3.3). On aura finalement :

$$\begin{cases} X = K0 \cdot X1 + Cx \\ Y = K0 \cdot Y1 + Cy \end{cases}$$

- $(X1, Y1)$ sont comptées à partir de l'intersection de l'image de l'équateur et le méridien central de longitude λ_0 .
- (Cx, Cy) sont des constantes à ajouter afin d'avoir (X, Y) en coordonnées positives dans la zone d'étude. ($Cx = 500\,000$ m, $Cy = 0$).





► **Cas inverse : Tranmerc_inv**

A- Passage du plan de la projection de Gauss-Kruger vers la projection Gauss-Schreiber :

D'une manière similaire que pour le passage direct, on suppose que :

$$\frac{1}{a} z = \mathcal{F}(Z)$$

$$\frac{1}{a} (y + ix) = \mathcal{F}(Y + iX)$$

Où

$z = y + ix$ la projection de Gauss-Schreiber sur le plan

$Z = Y + iX$ la projection de Gauss-Kruger sur le plan

$$z = \mathcal{F}(Y + iX) = \frac{Y}{A} + i \frac{X}{A} + \sum_{r=1}^{\infty} V_{2r} \sin(2rZ)$$

Et on a $(X, Y), (Cx, Cy)$ et $K0$:

$$X1 = \frac{X - Cx}{K0} ; \quad Y1 = \frac{Y - Cy}{K0}$$

Par séparation de la partie entière de la partie imaginaire, jusqu'à $r=8$, on obtient :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{x}{a} = \frac{X1}{A} + \sum_{r=1}^{\infty} V_{2r} \cos(2r \frac{Y1}{A}) \sinh(2r \frac{X1}{A}) \\ \frac{y}{a} = \frac{Y1}{A} + \sum_{r=1}^{\infty} V_{2r} \sin(2r \frac{Y1}{A}) \cosh(2r \frac{X1}{A}) \end{array} \right.$$

C'est un passage entre deux plans, en passant ensuite au coordonnées sur la sphère par :

$$\text{tg } \phi = \frac{\sin(\frac{y}{a})}{\sqrt{\sinh^2(\frac{x}{a}) + \cos^2(\frac{y}{a})}}$$

$$\text{tg } \Delta\lambda = \frac{\sinh(\frac{x}{a})}{\cos(\frac{y}{a})}$$

B- Passage de la projection de Gauss-Schreiber vers l'ellipsoïde :

La longitude λ est déterminée par la formule suivante : $\lambda = \Delta\lambda - \lambda_0$

La latitude φ est obtenue après avoir déterminé la latitude conforme ϕ sur la sphère. Ce calcul se base sur une méthode itérative.

Posons :

$$\left\{ \begin{array}{l} t = \text{tg } \phi \\ t' = \text{tg } \phi \end{array} \right. \quad \text{alors} \quad t' = t\sqrt{1 + \sigma^2} - \sigma\sqrt{1 + t^2}$$

et

$$\sigma = \text{sinh} \left[e \text{tgh}^{-1} \left(\frac{e \cdot t}{\sqrt{1+t^2}} \right) \right]$$

La variable t peut être évaluée par la méthode de calcul itératif de Newton-Raphson pour les racines réels de l'équation $f(t) = 0$ telle que :

$$t_{i+1} = t_i - \frac{f(t_i)}{f'(t_i)}$$

$$f(t) = t\sqrt{1 + \sigma^2} - \sigma\sqrt{1 + t^2} - t'$$

et avec

$$f'(t) = \frac{d}{dt} [f(t)]$$

$$f'(t) = (\sqrt{1 + \sigma^2}\sqrt{1 + t^2} - \sigma t) \frac{(1-e^2)\sqrt{1+t^2}}{1+(1-e^2)t^2}$$

donc

Pour initialiser le calcul, on prend : $t_1 = t' = \text{tg } \phi$ et on détermine $\begin{cases} f(t_1) = f(\text{tg } \phi) \\ f'(t_1) = f'(\text{tg } \phi) \end{cases}$. Ce calcul s'arrête quand le critère d'arrêt sera satisfait $|t_{i+1} - t_i| \leq \text{eps}$. Par exemple : $\text{eps} = 10^{-13}$ rd.

A la fin, on obtient : $\varphi = \text{tg}^{-1}(t_{i+1})$.



❖ **Algorithme de la projection de Transverse Mercator de l'IGN [IGN, 1995]**

➤ **Cas direct : MT_IGN_étendu_dir**

Pour réaliser ce passage, il faut introduire les paramètres suivants :

$$a, e, Cx, Cy, \lambda_0, \lambda, \varphi, R1 \text{ et } \Delta\lambda, \text{ où } \begin{cases} R1 = k0 \cdot a \\ \Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 \\ Cx = 500\,000 \text{ m} \\ Cy = 0 \text{ m} \end{cases}$$

R1 : rayon de la sphère intermédiaire.

λ_0 : longitude du méridien central.

k0 : facteur d'échelle sur le méridien central (=0,9996).

CX, CY : Constantes de la projection Transverse Mercator suivant X et Y, respectivement.

A- Passage de l'ellipsoïde vers la sphère :

- Calcul de la longueur de l'arc d'un méridien β , à partir de (A1.2).
- Calcul de la latitude isométrique L_e et la latitude croissante L_s sont obtenues, à partir de (A3).
- Calcul de longitude sphérique Λ , telle que :

$$\Lambda = \text{arctg} \left(\frac{\sinh L_s}{\cos \Delta\lambda} \right)$$

B- Passage de la sphère vers le plan

Posons : $Z = f(z)$ c'est-à-dire $(Y + iX) = f(\Lambda + iL_s)$

Où : $z = (\Lambda + iL_s)$ les coordonnées sont exprimées sur la sphère.

$Z = Y + iX$ la projection de TM (sphère) sur le plan

Donc la formule générale, sous forme d'un polynôme de 1^{er} degré, sera :

$$Z = f(\Lambda + iL_s) = R1 U_1 z + R1 \sum_{r=1}^4 U_{r+1} \sin(2rz)$$

Avec : $\sin(2rz) = \sin(2r\Lambda) \cosh(2rL_s) + i \cos(2r\Lambda) \sinh(2rL_s)$

et

$$\begin{aligned} U_1 &= 1 - e^2/4 - 3e^4/64 - 5e^6/256 - 175e^8/16384 \\ U_2 &= e^2/8 - e^4/96 - 9e^6/1024 - 901e^8/184320 \\ U_3 &= 13e^4/768 + 17e^6/5120 - 311e^8/737280 \\ U_4 &= 61e^6/15360 + 899e^8/430080 \\ U_5 &= 49561e^8/41287680 \end{aligned}$$

Par séparation de la partie entière de la partie imaginaire, on obtient :

$$\begin{cases} X = \text{Im}(Z) + Cx \\ Y = \text{Re}(Z) + Cy \end{cases}$$

D'où :

$$\text{Im}(Z) = R1 [U_1 L_s + U_2 \cos(2\Lambda) \sinh(2L_s) + U_3 \cos(4\Lambda) \sinh(4L_s) + U_4 \cos(6\Lambda) \sinh(6L_s) + U_5 \cos(8\Lambda) \sinh(8L_s)] + Cx$$

$$\text{Re}(Z) = R1 [U_1 \Lambda + U_2 \sin(2\Lambda) \cosh(2L_s) + U_3 \sin(4\Lambda) \cosh(4L_s) + U_4 \sin(6\Lambda) \cosh(6L_s) + U_5 \sin(8\Lambda) \cosh(8L_s)] + Cy$$





➤ Cas inverse : MT_IGN_étendu_inv

A- Passage du plan vers la sphère :

- Calcul de $(X1, Y1)$: Posons $Z = Y1 + iX1$; ce qui fait que le passage inverse sera en fonction de z par :
 $z = \mathcal{F}(Z)$

Par conséquent, $z = \mathcal{F}(Y1 + iX1)$

$$Y1 = \frac{Y - Cy}{R1 V1} \quad ; \quad X1 = \frac{(X - Cx)}{R1 V1}$$

Où $V1$ est calculé en fonction de e , voir ci-après.

- Calcul de z : donné sous la forme d'un polynôme de 1^{er} degré, il s'exprime par :

$$z = Z - \sum_{r=1}^4 V_{r+1} \sin(2r Z)$$

Avec : $\sin(2r Z) = \sin(2r Y1) \cosh(2r X1) + i \cos(2r Y1) \sinh(2r X1)$

donc

$$\begin{cases} \text{Le} = \text{Re}(z) \\ \quad = Y1 - V2 \cos(2 Y1) \sinh(2 X1) - V3 \cos(4 Y1) \sinh(4 X1) \\ \quad \quad - V4 \cos(6 Y1) \sinh(6 X1) - V5 \cos(8 Y1) \sinh(8 X1) \\ \text{Ls} = \text{Im}(z) \\ \quad = X1 - V2 \sin(2 Y1) \cosh(2 X1) - V3 \sin(4 Y1) \cosh(4 X1) \\ \quad \quad - V4 \sin(6 Y1) \cosh(6 X1) - V5 \sin(8 Y1) \cosh(8 X1) \end{cases}$$

Où :

$$\begin{aligned} V1 &= 1 - e^2/4 - 3.e^4/64 - 5.e^6/256 - 175.e^8/16384 \\ V2 &= e^2/8 + e^4/48 + 7.e^6/2048 + e^8/61440 \\ V3 &= e^4/768 + 3.e^6/1280 + 559.e^8/368640 \\ V4 &= 17.e^6/30720 + 283.e^8/430080 \\ V5 &= 4397.e^8/41287680 \end{aligned}$$

• Calcul de (λ, ϕ) : la longitude λ et la latitude sphérique ϕ sont données par les formules suivantes :

$$\lambda = \lambda_0 + \text{arctg} \left(\frac{\sinh Ls}{\cos Le} \right)$$

$$\phi = \arcsin \left(\frac{\sin Le}{\cosh Ls} \right)$$

B- Passage de la sphère vers l'ellipsoïde

La latitude géographique ϕ est déterminée par procédé itératif. Tout d'abord, on calcule la latitude croissante Ls , puis on détermine la solution initiale de ϕ par :

$$\phi_0 = 2 \text{arctg}(e^{Ls}) - \frac{\pi}{2}$$

En incrémentant cette expression, on aura sa forme générale telle que :

$$\phi_i = 2 \text{arctg} \left[\left(\frac{1 + e \sin \phi_{i-1}}{1 - e \sin \phi_{i-1}} \right)^{\frac{e}{2}} e^{Ls} \right] - \frac{\pi}{2}$$

En calculant ϕ_i , pour i de 1 jusqu'à que le critère d'arrêt soit satisfait (i.e., $|\phi_i - \phi_{i-1}| < \text{eps}$), on obtient, finalement : $\phi = \phi_i$



❖ **Algorithme de la projection de la sphère à courbure moyenne (SCM) [Chirouf, 1987]**

➤ **Cas direct : SCM_étendu_dir**

A- Passage de l'ellipsoïde vers la sphère :

Cette représentation réduit considérablement les calculs par l'élimination des termes de l'excentricité. Les géodésiens considèrent que les deux surfaces (l'ellipsoïde et la sphère) sont voisines l'une par rapport à l'autre. Le rapport de similitude entre elles est très proche de l'unité et le calcul des longueurs sur l'ellipsoïde se déduit à partir de celui des longueurs correspondantes sur la sphère. Ce dernier est facile à déterminer grâce à la trigonométrie sphérique. Cette représentation vérifie les conditions suivantes :

- Les longueurs sur les parallèles centraux sont conservées.
- Les courbures géodésiques de ces parallèles sont égales.

L'égalité des courbures géodésiques des parallèles centraux permet d'écrire :

$$\frac{N_0 \cotg \varphi_0}{R \cotg \phi_0} = 1 \quad \text{donc} \quad \tg \phi_0 = \frac{R}{N_0} \tg \varphi_0$$

La conservation des longueurs sur les parallèles centraux nous donne :

$$\Delta \lambda_s R \cos \phi_0 = \Delta \lambda_e N_0 \cos \varphi_0 \quad \text{donc} \quad \frac{\Delta \lambda_s}{\Delta \lambda_e} = \frac{\sin \varphi_0}{\sin \phi_0} = n$$

On calcule également la longueur de l'arc ω sur la sphère correspondante à la longueur de la méridienne sur l'ellipsoïde, où ϕ est comptée en radians, et donnée par :

$$\omega = R \phi$$

Les coordonnées cartésiennes du plan sont données par :

$$\begin{cases} x = \frac{R}{2} \log \left(\frac{1 + \cos \phi \sin \Delta \lambda_s}{1 - \cos \phi \sin \Delta \lambda_s} \right) \\ y = R \operatorname{arctg} \left(\frac{\tg \phi}{\cos \Delta \lambda_s} \right) \end{cases}$$

B- Passage du plan (x,y) vers le plan (X,Y) :

On pose que : $Z = f(z)$ c'est-à-dire $(Y + iX) = f(y + ix)$

Cette transformation est réalisée grâce à la fonction analytique $Z = f(z)$ qui s'obtient par un développement limité de Taylor au voisinage du point $z_0 = \omega$ où z_0 est le point de l'axe y situé sur le parallèle du point donné.

Où : $z = (y + ix)$ Coordonnées exprimées dans plan de la projection de la sphère.

$Z = (Y + iX)$ Coordonnées de la transformée du plan.

$$Z = f(y + ix) = f(z_0) + \left(\frac{dZ}{dz} \right)_{z_0} (z - z_0) + \left(\frac{d^2 Z}{dz^2} \right)_{z_0} \frac{(z - z_0)^2}{2!} + \dots$$

Le développement de Z se réduit donc à :

$$Z = f(y + ix) = \beta + z - \omega + e'^2 \frac{\sin 2\varphi}{12 R^3 \sqrt{(1 + e'^2 \cos^2 \varphi)}} (z - \omega)^4 + \dots$$

Et par un changement de variables on trouve finalement :

$$Z = f(y + ix) = \beta + y - \omega + H \cos 4\theta + i(x + H \sin 4\theta)$$

avec
$$H = r^4 R e'^2 \frac{\sin 2\varphi}{12 \sqrt{(1 + e'^2 \cos^2 \varphi)}};$$

$$r = \frac{\sqrt{x^2 + (y - \omega)^2}}{R}$$

$$\theta = -\operatorname{arctg} \left(\frac{y - \omega}{x} \right)$$

$$\begin{cases} \delta Y = H \cos 4\theta \\ \delta X = H \sin 4\theta \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} Y1 = \beta + y - \omega + \delta Y \\ X1 = x + \delta X \end{cases}$$

Si $\Delta \lambda_s < 5^\circ$, on considère que l'amplitude est faible, on peut donc simplifier le calcul des corrections $\delta Y, \delta X$ comme suit :

$$\begin{cases} \delta Y = 4H \theta = -4H \frac{y - \omega}{x} \\ \delta X = H \end{cases}$$

Où la longueur d'un arc de méridien β est calculée par (A1.3).

Afin d'obtenir les coordonnées (X,Y), il suffit donc de multiplier les coordonnées (X1,Y1) par le facteur d'échelle K, (Cx,Cy) sont des constantes à ajouter. On aura donc :

On obtient donc :

$$\begin{cases} X = K \cdot X1 + Cx \\ \text{et} \\ Y = K \cdot Y1 + Cy \end{cases} \quad \text{où} \quad \begin{cases} Cx = 500\,000 \text{ m} \\ Cy = \begin{cases} 0 \text{ m pour } \varphi > 0 \\ 10\,000\,000 \text{ m pour } \varphi < 0 \end{cases} \\ K0 = 0.9996 \end{cases}$$



► **Cas Inverse : SCM_étendu_inv**

A- Passage du plan vers la sphère :

Les coordonnées planes (X1, Y1) sont obtenues par :

$$\begin{cases} X1 = \frac{X - Cx}{K0} \\ Y1 = \frac{Y - Cy}{K0} \end{cases}$$

Les coordonnées géographiques sur la sphère (λ_s, ϕ) sont obtenues par la transformation suivante :

$$\begin{cases} \phi = \arcsin\left(\frac{\sin\left(\frac{Y}{R}\right)}{\cosh\left(\frac{X}{R}\right)}\right) \\ \Delta\lambda_s = \arctg\left(\frac{\sinh\left(\frac{X}{R}\right)}{\cos\left(\frac{Y}{R}\right)}\right) \end{cases}$$

B- Passage de la sphère vers l'ellipsoïde :

A priori la valeur du rayon R est inconnue. Il faut donc procéder par itération. Pour le calcul itératif, les conditions initiales sont :

$$\begin{cases} x_0 = X1 \\ y_0 = Y1 \\ \delta x = 0 \\ \delta y = 0 \end{cases} \quad \text{et} \quad \begin{cases} \varphi_0 = Y1 \sin(0.1 \text{ dmgr}) \\ R_0 = a^2 / b(1 + e^2 \cos^2 \varphi_0) \end{cases}$$

À l'itération i, on calcule à partir de $x_{i-1}, y_{i-1}, R_{i-1}$:

$$\phi_i = \arcsin\left(\frac{\sin\left(\frac{y_{i-1}}{R_{i-1}}\right)}{\cosh\left(\frac{x_{i-1}}{R_{i-1}}\right)}\right)$$

En introduisant une variable auxiliaire ψ_i telle que : $\psi_i = \operatorname{arcsinh}(e' \sin 2\phi_i)/2$, on tire :

$$\varphi_i = \arccos\left(\frac{\cos\phi_i}{\cosh\psi_i}\right)$$

Alors :

$$\begin{aligned} R_i &= \frac{a^2}{b(1 + e^2 \cos^2 \varphi_i)} \\ \omega_i &= R_i \phi_i \\ H_i &= \left(\frac{x_{i-1}}{R_i}\right)^4 R_i e^2 \cdot \sin 2\varphi_i / 12 \end{aligned}$$

d'où :

$$\begin{cases} \delta Y_i = H_i \\ \delta X_i = -4 H_i \frac{y_{i-1} - \omega_i}{x_{i-1}} \end{cases}$$

On obtient donc :

$$\begin{cases} y_i = Y1 - \beta_i + \omega_i + \delta Y_i \\ x_i = X1 - \delta X_i \end{cases}$$

Ce calcul s'arrêtera une fois le critère $|\varphi_i - \varphi_{i-1}| < \text{eps}$ est satisfait.

Dès qu'on obtient les valeurs définitives de y, ϕ, R, φ , on déterminera donc :

$$\Delta\lambda_s = \arctg\left(\frac{\sinh\left(\frac{X}{R}\right)}{\cos\left(\frac{Y}{R}\right)}\right)$$

En introduisant le rapport entre longitudes ellipsoïdique et sphérique, donné par :

$$n = \frac{\sin \varphi}{\sin \phi}$$

On aura, finalement :

$$\Delta\lambda_e = \frac{\Delta\lambda_s}{n}$$



A1. Calcul de la longueur d'un arc de méridien :

La formule générale de la longueur d'un arc de méridien est donnée par :

$$\beta = \int_0^\varphi \rho \, d\varphi = \int_0^\varphi \frac{a(1-e^2)}{W^3} \, d\varphi$$

avec :

$$W = (1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}$$

1. Dans le cas de la méthode de la projection de Gauss-Krüger (GK), elle s'exprime par :

$$\beta = \frac{a}{(1+e)} [C_0 \varphi + C_2 \sin 2\varphi + C_4 \sin 4\varphi + C_6 \sin 6\varphi + C_8 \sin 8\varphi + C_{10} \sin 10\varphi + C_{12} \sin 12\varphi + C_{14} \sin 14\varphi + C_{16} \sin 16\varphi + \dots]$$

Où les coefficients C_{2i} sont déterminés, jusqu'à e^8 pour $i=0$ à 8:

$$\begin{aligned} C_0 &= 1 + e^2/4 + e^4/64 + e^6/256 + 25 e^8/16384 + \dots \\ C_2 &= -3 e/2 + 3 e^3/16 + 3 e^5/128 + 15 e^7/2048 + \dots \\ C_4 &= 15 e^2/16 - 15 e^4/64 - 75 e^6/2048 - 105 e^8/8192 - \dots \\ C_6 &= -35 e^3/48 + 175 e^5/768 + 245 e^7/6144 + \dots \\ C_8 &= 315 e^4/512 - 441 e^6/2048 - 1323 e^8/32768 - \dots \\ C_{10} &= -693 e^5/1280 + 2079 e^7/10240 + \dots \\ C_{12} &= 1001 e^6/2048 - 1573 e^8/8192 - \dots \\ C_{14} &= -6435 e^7/14336 + \dots \\ C_{16} &= 109395 e^8/262144 - \dots \end{aligned}$$

2. Dans le cas de la méthode de Transverse Mercator de l'IGN (MT_IGN), elle se calcule par :

$$\beta = C_1 \varphi + C_2 \sin(2\varphi) + C_3 \sin(4\varphi) + C_4 \sin(6\varphi) + C_5 \sin(8\varphi)$$

Où les coefficients C_i sont donnés, pour $i=1$ à 5 :

$$\begin{aligned} C_1 &= 1 - e^2/4 - 3 e^4/64 - 5 e^6/256 - 175 e^8/16384 \\ C_2 &= -3 e^2/8 - 3 e^4/32 - 45 e^6/1024 - 105 e^8/4096 \\ C_3 &= 15 e^4/256 + 45 e^6/1024 + 525 e^8/16384 \\ C_4 &= -35 e^6/3072 - 175 e^8/12288 \\ C_5 &= 315 e^8/131072 \end{aligned}$$

3. Dans le cas de la méthode du passage par la sphère de courbure moyenne (SCM), elle est donnée par :

$$\beta = \frac{a^2}{b} \left(C_0 - \frac{3}{2} e^2 C_2 + \frac{15}{8} e^4 C_4 - \frac{35}{16} e^6 C_6 + \frac{315}{128} e^8 C_8 \right)$$

Où, e est la deuxième excentricité et les coefficients A_r ($r=1,5$) sont calculés par:

$$\begin{aligned} C_0 &= \varphi \\ C_2 &= (C_0 + v)/2 \\ C_4 &= (3.C_2 + v.u)/4 \\ C_6 &= (5.C_4 + v.u^2)/6 \\ C_8 &= (7.C_6 + v.u^3)/8 \end{aligned}$$

avec :

$$u = \cos^2 \varphi \text{ et } v = \sin \varphi \cos \varphi$$

A2. Calcul de la latitude rectifiée μ :

D'après Adams [Adams, 1921], la latitude rectifiée μ est obtenue de manière que : "Si une sphère est déterminée de telle sorte que la longueur d'un grand cercle sur elle est égale en longueur à un méridien sur la terre, nous pouvons calculer les latitudes sur cette sphère telles que les arcs du méridien sont égaux aux arcs correspondants du méridien sur la terre". Elle est exprimée par :

$$\mu = \varphi + d_2 \sin 2\varphi + d_4 \sin 4\varphi + d_6 \sin 6\varphi + d_8 \sin 8\varphi + \dots$$

Les coefficients de d_{2i} sont calculés pour $i=1$ à 4:

$$\begin{aligned} d_2 &= -3 e/2 + 9 e^3/16 - \dots \\ d_4 &= 15 e^2/16 - 15 e^4/32 + \dots \\ d_6 &= -35 e^3/48 + \dots \\ d_8 &= 315 e^4/512 + \dots \end{aligned}$$

Dans le cas du calcul inverse, on peut calculer la latitude géographique, telle que:

$$\varphi = \mu + D_2 \sin 2\mu + D_4 \sin 4\mu + D_6 \sin 6\mu + D_8 \sin 8\mu + \dots$$

Les coefficients de D_{2i} pour $i=1$ à 4, sont:

$$\begin{aligned} D_2 &= 3e/2 - 27 e^3/32 - \dots \\ D_4 &= 21 e^2/16 - 55 e^4/32 + \dots \\ D_6 &= 151 e^3/48 - \dots \\ D_8 &= 1097 e^4/512 - \dots \end{aligned}$$





A3. Latitudes conforme(ϕ), isométrique (Le) et croissante (Ls) :

Soient à considérer les coordonnées suivantes :

- Λ, ϕ : longitude et latitude conforme sur la sphère, respectivement.
- λ, φ : longitude et latitude sur l'ellipsoïde, respectivement.
- Le : latitude isométrique sur l'ellipsoïde.
- Ls : latitude isométrique sur la sphère ou latitude croissante.

$$Le = \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \left(\frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi} \right)^{\frac{e}{2}}$$

$$Ls = \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)$$

Une projection conforme de l'ellipsoïde (surface du datum) sur la sphère (surface de projection) est obtenue en réalisant la condition de conformité. Ceci mène à l'égalité entre la latitude croissante et la latitude isométrique, c.-à-d., (Ls = Le). Par conséquent, on peut tirer la latitude conforme ϕ par :

$$\phi = 2 \cdot \operatorname{arctg} \left(\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \left(\frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi} \right)^{\frac{e}{2}} \right) - \frac{\pi}{2}$$

1. Dans le cas de la méthode de la projection de Gauss-Krüger (GK), la latitude conforme ϕ peut être exprimée sous la forme d'une série de Krüger [Krüger, 1912], telle que :

$$\phi = \varphi + g_2 \sin 2\varphi + g_4 \sin 4\varphi + g_6 \sin 6\varphi + g_8 \sin 8\varphi + \dots$$

Où les coefficients de g_{2r} pour $r=1$ à 4, sont:

$$g_2 = -2e + 2e^2/3 + 4e^3/3 - 82e^4/45 + \dots$$

$$g_4 = 5e^2/3 - 16e^3/15 - 13e^4/9 + \dots$$

$$g_6 = -26e^3/15 + 34e^4/21 + \dots$$

$$g_8 = 1237e^4/630 - \dots$$

2. D'une autre manière aussi, la latitude conforme ϕ peut être exprimée en fonction de la latitude rectifiée μ , suivant la série de Krüger développée jusqu'à l'ordre e^8 , telle que :

$$\phi = \mu + V_2 \sin 2\mu + V_4 \sin 4\mu + V_6 \sin 6\mu + V_8 \sin 8\mu + V_{10} \sin 10\mu + V_{12} \sin 12\mu + V_{14} \sin 14\mu + V_{16} \sin 16\mu + \dots$$

Les coefficients V_{2r} , pour $r=1$ à 8, sont:

$$V_2 = -e/2 + 2e^2/3 - 37e^3/96 + e^4/360 + 81e^5/512 - 96199e^6/604800 + 5406467e^7/38707200 - 7944359e^8/67737600 + \dots$$

$$V_4 = -e^2/48 - e^3/15 + 437e^4/1440 - 46e^5/105 + 1118711e^6/3870720 + 51841e^7/1209600 - 24749483e^8/348364800 + \dots$$

$$V_6 = -17e^3/480 + 37e^4/840 + 209e^5/4480 - 5569e^6/90720 - 9261899e^7/58060800 + 6457463e^8/17740800 - \dots$$

$$V_8 = -4397e^4/161280 + 11e^5/504 + 830251e^6/7257600 - 466511e^7/2494800 - 324154477e^8/7664025600 + \dots$$

$$V_{10} = -4383e^5/161280 + 108847e^6/3991680 + 8005831e^7/63866880 - 22894433e^8/124540416 - \dots$$

$$V_{12} = -20648693e^6/638668800 + 16363163e^7/518918400 + 2204645983e^8/12915302400 + \dots$$

$$V_{14} = -219941297e^7/5535129600 + 497323811e^8/12454041600 + \dots$$

$$V_{16} = -191773887257e^8/3719607091200 + \dots$$

3. Pour le calcul inverse dans (GK), la latitude rectifiée est exprimée en fonction de la latitude conforme, telle que [Deakin, 2010] :

$$\mu = \phi + U_2 \sin 2\phi + U_4 \sin 4\phi + U_6 \sin 6\phi + U_8 \sin 8\phi + U_{10} \sin 10\phi + U_{12} \sin 12\phi + U_{14} \sin 14\phi + U_{16} \sin 16\phi + \dots$$

Les coefficients U_{2r} sont déterminés par, pour $r=1$ à 8 :

$$U_2 = e/2 - 2e^2/3 + 5e^3/16 + 41e^4/180 - 127e^5/288 + 7891e^6/37800 + 72161e^7/387072 - 18975107e^8/50803200 + \dots$$

$$U_4 = 13e^2/48 - 3e^3/5 + 557e^4/1440 + 281e^5/630 - 1983433e^6/1935360 + 13769e^7/28800 + 148003883e^8/174182400 - \dots$$

$$U_6 = 61e^3/240 - 103e^4/140 + 15061e^5/26880 + 167603e^6/181440 - 67102379e^7/29030400 + 79682431e^8/79833600 + \dots$$

$$U_8 = 49561e^4/161280 - 179e^5/168 + 6601661e^6/7257600 + 97445e^7/49896 - 40176129013e^8/7664025600 + \dots$$

$$U_{10} = 34729e^5/80640 - 3418889e^6/1995840 + 14644087e^7/9123840 + 2605413599e^8/622702080 + \dots$$

$$U_{12} = 212378941e^6/319334400 - 30705481e^7/10378368 + 175214326799e^8/58118860800 + \dots$$

$$U_{14} = 1522256789e^7/1383782400 - 16759934899e^8/3113510400 + \dots$$

$$U_{16} = 1424729850961e^8/743921418240 + \dots$$



A4. Facteur d'échelle et convergence de méridiens :

Le Facteur d'échelle est donné par l'expression:

$$K = K_0 \left(\frac{A}{a} \right) \sqrt{q^2 + p^2} \left(\frac{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \phi} \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi}}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \phi + \cos^2 \Delta \lambda}} \right)$$

K_0 : facteur d'échelle suivant le méridien central (0,9996).

A : rayon rectifiant.

a : demi grand axe de l'ellipsoïde.

La convergence des méridiens est exprimée par :

$$\gamma = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{q}{p} \right) + \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{\operatorname{tg} \phi \operatorname{tg} \Delta \lambda}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \phi}} \right)$$

Avec les paramètres (p, q) sont:

$$p = 1 + \sum_{r=1}^{\infty} 2r U_{2r} \cos\left(2r \frac{y}{a}\right) \sinh\left(2r \frac{x}{a}\right)$$
$$q = - \sum_{r=1}^{\infty} 2r U_{2r} \sin\left(2r \frac{y}{a}\right) \cosh\left(2r \frac{x}{a}\right)$$

Les coefficients U_{2r} sont calculés jusqu'à l'ordre $r=8$, voir (A3.3).

Prix de l'AFT 2018 pour les Jeunes Ingénieurs diplômés en Topographie

Les étudiants des écoles d'ingénieurs sont invités à soumettre au comité de rédaction de la revue XYZ un article portant sur leur travail de fin d'études d'ingénieur géomètre-topographe. Les meilleurs articles seront récompensés et publiés dans la revue XYZ.

Un montant global de 2 000 euros est prévu en 2018, pour attribution en 2019.

Conditions de participation

- être âgé(e) de moins de 26 ans ;
- joindre l'attestation du diplôme d'ingénieur ;
- proposer au comité de rédaction de la revue XYZ un article de 6 pages au moins en français (environ 4000 mots, avec mots clés et un résumé en français et anglais), en vue d'une publication dans la revue, rajouter une présentation sommaire de son parcours (résumé du curriculum vitae) et suivre les consignes aux auteurs qui sont téléchargeables sur le site de l'AFT : www.aftopo.org ;
- soumettre le texte avec une proposition de mise en page (texte / illustrations) sous format PDF et joindre en fichiers attachés le texte seul en format modifiable (docx ou équivalent) avec les images et illustrations aussi en fichiers séparés intégrables (JPG ou équivalent) en résolution de 300 dpi minimum ;
- l'article doit être proposé et rédigé par le(la) candidat(e) seul(e). L'article soumis ne peut pas faire mention de "co-auteurs". Si le candidat souhaite signaler un travail mené en équipe dans le cadre d'un projet plus large, il ajoutera une note de remerciements introductive ou conclusive de son texte ;
- certifier que l'article n'a pas été soumis ou publié dans une autre revue ;

- la date limite pour la proposition des articles est le 31 octobre 2018 (pour les projets présentés dans les écoles cette année et les précédentes).

L'adhésion à l'AFT, dont l'abonnement à la revue XYZ, pour l'année 2019 sera offerte aux participants.

Comité d'attribution

Le comité de rédaction de la revue XYZ, assisté du conseil de l'association, est chargé de désigner le jury d'attribution du Prix de l'AFT et son président. Ce comité pourra associer un ou plusieurs représentants d'écoles françaises. La qualité du contenu scientifique et de la rédaction de l'article sont les critères essentiels retenus.

Publication des résultats

- les candidat(e)s seront informé(e)s individuellement des résultats au plus tard le 31 décembre 2018 ;
- les résultats du concours seront publiés dans la revue XYZ dans l'année suivant la publication des résultats ;
- le président du jury du prix ou son(sa) représentant(e) remettra le ou les prix à l'occasion d'une manifestation organisée par l'AFT.

Merci de transmettre votre proposition au président du jury du prix de l'AFT, par courriel à l'adresse suivante : [prixaft\(at\)aftopo.org](mailto:prixaft(at)aftopo.org)

Cartographie pour la réflexion sur un périmètre à irriguer dans le Sud Kivu

■ Anne GIRARDIN - Frank PICHEL

A travers le projet "Maji Ya Amani" (L'eau pour la paix), ZOA INTERNATIONAL a pour mission de raviver un schéma d'irrigation créé dans les années 50 à Luberizi dans le Sud Kivu en République démocratique du Congo (RDC). Des améliorations peuvent engendrer une hausse de la valeur immobilière ainsi qu'une potentielle spéculation foncière. Ces effets non désirés mettent en danger les petits paysans occupant les terres concernées. Pour éviter toute déviation et garantir les biens et les droits de chacun, l'ONG néerlandaise ainsi que les instances étatiques et coutumières, se font assister par la Fondation Cadasta pour la collecte et la documentation des 6 000 parcelles du schéma d'infrastructure d'irrigation et des droits fonciers, ceux-ci étant actuellement guidés par un système coutumier non documenté et entravés de tensions ethniques, des pressions migratoires et de violents conflits. Ainsi, des techniques de cartographie participative sont mises en place et combinées avec la Plate-forme Cadasta, l'application mobile ODK Collect et les récepteurs GNSS Trimble Catalyst. Le produit des travaux fournira une base de données appelée "Cartographie pour la réflexion", celle-ci devant aider les différents partenaires à analyser l'occupation actuelle des terres, à résoudre les conflits fonciers, à documenter la tenure foncière et à assurer un accès équitable et durable au système d'irrigation.

■ MOTS-CLÉS

Développement, irrigation, droits coutumiers, conflit foncier, système d'information, technologie mobile, ODK, Trimble Catalyst, GNSS, plate-forme Cadasta

cartographie participative, nous avons choisi le chemin de la patience, un peu comme un chemin de croix. Et lorsque nous aurons atteint l'objectif, je vous promets que les gens vont vite oublier la souffrance par laquelle nous serons passés. De toute façon, si on ne le fait pas maintenant, on risque de le faire dix fois plus tard. Honnêtement, qui, s'il se disait leader, pouvait s'opposer à un tel projet quand il voit tous ces paysans qui se sont efforcés pour cultiver, y ont mis leurs capitaux et leurs investissements, ces vaches divaguer pendant des kilomètres pour un peu d'eau à peine, ces jeunes filles et ces jeunes garçons prenant les vélos sous ce soleil pour aller puiser quelques litres ! Qui se dirait leader ? Donc moi je dis que Maji Ya Amani n'est pas un rêve, c'est une réalité vivante, un besoin, une demande de toutes les communautés d'avoir un accès équitable à l'eau, indistinctement des guerres de clocher." – Malembe Simplex, Conseiller chargé des questions foncières et dialogues démocratiques, ZOA RDC, bureau du Sud Kivu, Bukavu.

Maji Ya Amani L'eau pour la paix

"Maji Ya Amani en soit, n'est pas un slogan, mais toute une vie si les gens le comprennent de la même manière. Parce que selon que l'on soit négativiste ou pas, ce n'est pas l'eau pour la paix, mais Maji Ya Mijoso, l'eau des conflits. Je m'explique. L'histoire a fait que les communautés Bafulero et Barundi établies dans le périmètre du projet vivent aujourd'hui dans une guerre de pouvoir ayant mené à la violence et difficile à résoudre. Mais lorsque vous rentrez là-dedans avec une lecture plus ou moins apaisée, vous sentez tout de suite que la population n'est pas dans cette guéguerre-là. Qu'ils soient Barundi, Bafulero ou autres, ils disent à leurs leaders : "Nous avons besoin de l'eau, s'il-vous-plaît ! De l'eau d'irrigation, de l'eau pour nos bêtes et de l'eau

à boire ! Alors cessez vos bagarres et qu'on nous donne de l'eau !" Il existe une véritable cassure entre les leaders qui voudraient profiter du projet pour résoudre les problèmes de chefferie et la population qui ne demande que l'accès à l'eau. Le projet n'a pas vocation à résoudre les problèmes de pouvoir coutumier. Par contre, il a vocation à réaménager un schéma hydraulique pour le bien de chacun. Car en effet, avec les changements climatiques et la détérioration du système d'irrigation créé dans les années cinquante, les usages ont été fortement perturbés. Il existe aujourd'hui une superposition des droits ainsi que des conflits fonciers qu'il nous faut éclaircir si nous voulons avancer. On aurait pu demander à l'administration de résoudre la situation par la force mais cela n'aurait fait que créer plus de conflits. A travers la

Introduction

A travers le projet "Maji Ya Amani", L'eau pour la paix en Swahili, Zoa International a pour mission de raviver un schéma d'irrigation créé dans les années 50, dans une plaine d'au moins 500 hectares et 6 000 parcelles, à Luberizi dans le Sud Kivu en République démocratique du Congo (RDC). Or, l'amélioration d'un terrain comme celui-ci par un système d'irrigation peut engendrer une hausse de la valeur immobilière et une potentielle spéculation foncière de la part de gros concessionnaires. Ces effets non désirés mettent en danger les petits paysans (éleveurs et agriculteurs) occupant et utilisant actuellement les



terres concernées. A la demande du bailleur de fonds, l'ONG néerlandaise a entrepris un travail de documentation du schéma d'infrastructure d'irrigation et des droits fonciers existants en partenariat avec le Gouvernement Congolais, les autorités coutumières et les communautés locales. Les droits fonciers sont actuellement guidés par un système coutumier non documenté et entravés de tensions ethniques, de pressions migratoires et de violents conflits. Ainsi, il est important de mettre en action toute la chaîne foncière afin d'assurer une meilleure reconnaissance des droits existants par l'ensemble de la communauté et assurer la sécurisation des droits fonciers des petits paysans au niveau étatique.

ZOA International n'ayant pas le foncier comme vocation, l'ONG néerlandaise a fait appel à la Fondation Cadasta pour assister l'ensemble des partenaires à la collecte et la documentation des droits fonciers et de l'infrastructure d'irrigation du projet. Pour réaliser le travail de manière efficiente, la fondation a mis en place des techniques de cartographie participative. Ainsi, un ensemble de parties prenantes se sont rassemblées afin de comprendre l'histoire du périmètre à irriguer et son système coutumier en vigueur, discuter des lois nationales et provinciales à prendre en compte pour la reconnaissance de l'ensemble des droits fonciers, et se mettre d'accord sur le processus de cartographie participative à suivre. Lors des premières semaines d'échange et de formation, nous y avons parlé d'abord et surtout de foncier, ce qui a permis de préparer la technologie en toute discrétion, et non l'inverse.

Car en effet, pour réaliser l'exercice, Cadasta a mis à disposition un ensemble technologique comprenant la Plate-forme Cadasta, l'application mobile ODK Collect et des récepteurs GNSSTrimble Catalyst. Suivant les principes Cadastre 2014 de la Fédération internationale des géomètres (FIG), il convient de mettre en place des outils numériques qui visent à remplacer les systèmes manuels et papiers, afin d'améliorer la qualité et la gestion des données, de simplifier le géoréférencement des parcelles, et apporter de



Figure 1. Premier jour de collecte de données, les 6 équipes de collecte avec des exploitants

la transparence aux informations intégrées dans les systèmes fonciers. Le résultat de cet exercice sera une base de données appelée "Cartographie pour la réflexion" qui doit aider les différents partenaires à l'analyse de l'occupation actuelle des terres, à la résolution des conflits fonciers, à la documentation des droits, et à la réhabilitation du système d'irrigation afin d'assurer un accès équitable et durable au système de distribution d'eau.

Pourquoi la cartographie participative

Comme l'a si bien exprimé Malembe dans le préambule, le projet opère dans un contexte social complexe où les gens, malgré les efforts investis, possèdent peu et mal.

C'est ici, en amont de la rivière Luberizi qui se jette dans la rivière Ruzizi séparant la RDC de ses pays voisins du Burundi et du Rwanda, qu'en 1952 un barrage en terre a été construit. Des travaux d'entretien ont eu lieu dans les années 70, mais avec le temps, le barrage s'est érodé et effondré définitivement au début des années 2000. Depuis, le système d'irrigation s'est organisé grâce à des canaux qui amènent l'eau directement de la montagne. Mais en période sèche, l'eau manque. De plus, d'après les changements pluviométriques observés, les précipitations ne sont plus aussi régulières et l'accès à l'eau est de plus en plus disparate, même en saison des pluies.

A ceci s'ajoutent d'autres problèmes, comme l'espace qui se restreint au fur et à mesure de l'occupation des arrivants dans la zone où la fertilité des sols va s'amenuisant. Des ventes de terre qui s'opèrent par les chefs coutumiers dans l'ignorance la plus totale des petits paysans. Des coopératives se sont bien organisées mais leurs limites ne sont pas claires. Certaines pistes d'abreuvement ont été modifiées à mesure que les points d'eau se raréfiaient. Les pistes non utilisées sont à la merci des petits paysans en manque de terre. Des conflits réguliers éclatent entre agriculteurs et éleveurs laissant leurs vaches divaguer sur les terres cultivées. Des enfants sont régulièrement accidentés sur la route nationale (unique route carrossable) reliant les villages à la rivière. Finalement, quel paysan n'est pas tiraillé entre divers propriétaires ? Quel éleveur n'est pas menacé de perdre ses bêtes sous la colère des agriculteurs ? Quelle mère n'a pas pleuré un enfant sur cette route salubre menant à la rivière ?



Figure 2. Les gosses du village vont chercher de l'eau qu'ils transportent à l'aide de vélos



L'histoire coloniale a légitimement reconnu un groupe ethnique migrant du Burundi vers la plaine du Ruzizi il y a plus d'un siècle, les Barundi, traditionnellement éleveurs, alors qu'une autre ethnique était déjà établie depuis la nuit des temps dans les montagnes environnantes, les Bafulero, traditionnellement agriculteurs. Les conflits fonciers entre les deux ethnies se multiplient au fur et à mesure que la population grandit dans la zone, que les Barundi se mettent à cultiver cette zone et que les changements environnementaux se font ressentir. En 2014, un conflit violent a éclaté entre éleveurs et agriculteurs faisant 34 morts parmi les femmes et les enfants. Les populations sont fatiguées.

De plus, la législation fondamentale régulant le foncier en RDC porte la Loi n° 73-021 du 20 juillet 1973 sur le régime général des biens, régime foncier et immobilier et régime des sûretés (Loi dite Bakajika). Ce texte et ses décrets d'application font fonction de Code Foncier. Cependant, les Codes Agricole, Forestier et Minier régulent également la vente, l'achat et la location de terres. Ces Lois n'ayant pas été mises en concordance, offrent actuellement une législation foncière formelle non cohérente. De plus, il existe plusieurs superpositions de lois et parfois des contradictions entre les différents corps de loi. Enfin, cette législation formelle est superposée au système coutumier des droits fonciers qui ont été reconnus dans la Loi Bakajika, mais pour lequel les provisions légales stipulant ses rôles et statuts exacts manquent¹.

Dans cette partie du monde, le peu que les gens possèdent est donc en constante rémission. C'est dans ce contexte que le projet a décidé de choisir l'eau comme une opportunité de paix, et la cartographie participative comme un moyen de sécurisation formelle des droits coutumiers. Ainsi, les parties prenantes ont été mobilisées autour des thèmes concernant l'agriculture, l'élevage et l'eau potable.

1 Gillian Matthys, ZOA Phase 2 report, *Congolese land law and interventions into land conflicts and improving access to land for peasants*

Définition et objectif de la cartographie participative

L'Organisation internationale des bois tropicaux (OIBT) définit "la cartographie participative"² comme étant l'identification, sur le terrain et par les communautés concernées, des espaces et des ressources qui leur sont importants et leur positionnement sur une carte géoréférencée. Ces espaces peuvent inclure, entre autres, l'utilisation des ressources agricoles, l'influence des coutumes des différents groupes et ethnies ainsi que l'importance historique et culturelle de ces espaces. La cartographie participative se présente comme cet outil incontournable pour prévenir, minimiser et régler les conflits qui peuvent naître de la création d'un périmètre à irriguer. C'est un outil d'aide à la décision qu'il nous faut mettre au service du grand public, en particulier de ceux concernés par ce périmètre et les autres partenaires de la filière hydraulique. C'est un concept communautaire qui a fait son apparition dans les sillages des méthodologies d'évaluation rurale participative dans les années 1980 (FIDA, 2010).

L'objectif général de la cartographie participative est de réaliser avec l'aide des populations de la communauté concernée par l'étude et des villages avoisinants, une carte d'occupation spatiale de la zone sollicitée en vue de l'implantation d'un système d'irrigation équitable. La cartographie participative vise les objectifs spécifiques suivants :

- identifier (lister) les activités et les zones d'activités paysannes de la communauté villageoise concernée ;
- localiser (carte au sol) ces activités précédemment identifiées ;
- géoréférencer tout ce qui a été identifié ;
- délimiter le terroir et le finage villageois de la communauté concernée de manière consensuelle, c'est-à-dire en présence des représentants des villages voisins ;
- avoir une idée des distances parcourues par les membres de cette communauté, pour accomplir ces

2 Guide Pratique De Cartographie Participative, 2010, Organisation Internationale des Bois Tropicaux (OIBT)

différentes activités et des caractéristiques géographiques du milieu (relief, le type de culture, etc.) ;

- repérer et enregistrer le tracé des pistes empruntées pour vaquer aux différentes activités villageoises (pêche, chasse, élevage, etc.) ;
- avoir une idée du régime foncier entre communautés voisines ;
- identifier les éventuels conflits liés à l'utilisation des terres, leurs ressources et l'empiètement des terroirs.

Choix de la méthodologie

Au vu de la complexité foncière des lieux et des incertitudes face à la sécurisation légales des terres des petits exploitants, ZOA International a pensé qu'il serait bon d'étendre l'exercice de la cartographie participative aux services administratifs, afin de mieux préparer la reconnaissance des droits fonciers et de faire de l'État un partenaire à part entière. Ainsi ont été réunis :

- les représentants des communautés, des femmes et de la jeunesse,
- les représentants des exploitants et des éleveurs,
- les chefs coutumiers et leurs délégués,
- les représentants de l'État incluant le bureau domaniale, le cadastre, le Ministère de l'agriculture pour les questions d'accès à l'eau et la pastorale, ainsi que le Ministère des transports pour l'aménagement du territoire,
- les ingénieurs, techniciens et responsables de projet ZOA pour la maîtrise d'œuvre de l'exercice,
- une tiers-partie des Nations Unies pour observer les opérations de manière impartiale,
- la Fondation Cadasta pour la mise en route méthodologique et technique de l'exercice à la cartographie participative.

Quelques séances de travail initiales nous ont permis d'établir et de comprendre un certain nombre de choses essentielles à la configuration du système technologique à mettre en place. Tout d'abord connaître l'histoire du périmètre à irriguer et son système coutumier en vigueur. Cette séance



dictée par les sages des communautés a été l'occasion de comprendre la complexité des relations sociales et la frustration des exploitants, quant à leur occupation des terres. Puis sont venues les discussions autour des lois nationales et provinciales des droits fonciers, d'accès à l'eau, de la transhumance des bêtes, de la protection de l'environnement, et quelques autres encore. La Fondation Cadasta en a profité pour exposer les normes internationales développées pour la reconnaissance des droits fonciers coutumiers comme les Directives volontaires pour une gouvernance responsable des régimes fonciers de la FAO et ses méthodes de mise en application.

L'ensemble des débats a permis de lister un certain nombre d'informations à rassembler dans le système, afin de mettre à jour la situation foncière existante et s'accorder sur un processus de collecte et de documentation des droits fonciers. Ainsi, une méthodologie défi-

nie en 12 étapes (présentée ci-dessous) a abouti à une base de réflexion sur la résolution des conflits fonciers, l'aménagement des espaces, le déplacement de certains exploitants et enfin les mécanismes de sécurisation foncière. Cette douzième étape a été nommée "cartographie pour la réflexion".

La configuration des outils au processus de collecte des informations

■ La Plate-forme Cadasta

La Fondation Cadasta a vu le jour en 2015. Elle a pour but d'offrir des outils abordables techniquement et financièrement pour les gouvernements et les communautés de par le monde souhaitant clarifier la situation foncière des administrés ou des membres, en particulier des citoyens qui ont été exclus du système officiel d'administration foncière.

En effet, seulement 25 % de la population mondiale a le privilège de jouir d'un

titre foncier leur garantissant la sécurité de leur bien. Dans les zones rurales des pays en développement, cette sécurité n'est pas du tout garantie et y appliquer les réglementations d'administration foncière classique serait trop coûteux et inadaptés. Par exemple, à Luberizi, certains exploitants ne reconnaissent pas les titres de propriété délivrés par l'administration foncière à certains gros bonnets. Aussi, les petits exploitants n'ont pas les ressources financières pour s'offrir un titre foncier.

Cadasta a créé une plate-forme répondant au nouveau principe d'administration foncière dite "sur mesure". La plate-forme est normalisée selon le Modèle du domaine de la tenure sociale des terres (STDM) ; processus consistant à déterminer la relation sociale entre les individus et les terres, contribuant ainsi à la reconnaissance de l'ensemble du continuum des droits fonciers, du plus informel (incluant les droits coutumiers) au plus formel (titres de propriété enregistrés).

La Plate-forme Cadasta permet d'enregistrer des données relatives à la tenure foncière collectées sur le terrain au moyen d'une variété d'outils incluant les smartphones et tablettes, puis permet de télécharger ces données sur la plate-forme en ligne, afin de les diffuser à qui de droit selon des codes utilisateurs définis, et enfin permet de les éditer au moyen d'un transfert sur le logiciel libre de système d'information géographique Quantum GIS (QGIS). Les données spatiales sont géoréférencées dans le système WGS84 afin qu'elles correspondent à l'image satellitaire mise à disposition par Google partout dans le monde. L'accès à la Plate-forme Cadasta est libre d'accès pour les organisations qui s'y inscrivent et développent des projets de reconnaissance de droits fonciers. Ce sont ces informations collectées par ZOA et les parties prenantes à la cartographie participative à Luberizi, qui, rassemblées en une base de données appelée "Cartographie pour la Réflexion" et hébergées sur la Plate-forme Cadasta, va servir de réflexion à la formalisation des droits fonciers coutumiers. Encore faut-il configurer cette technologie correctement, afin de répondre

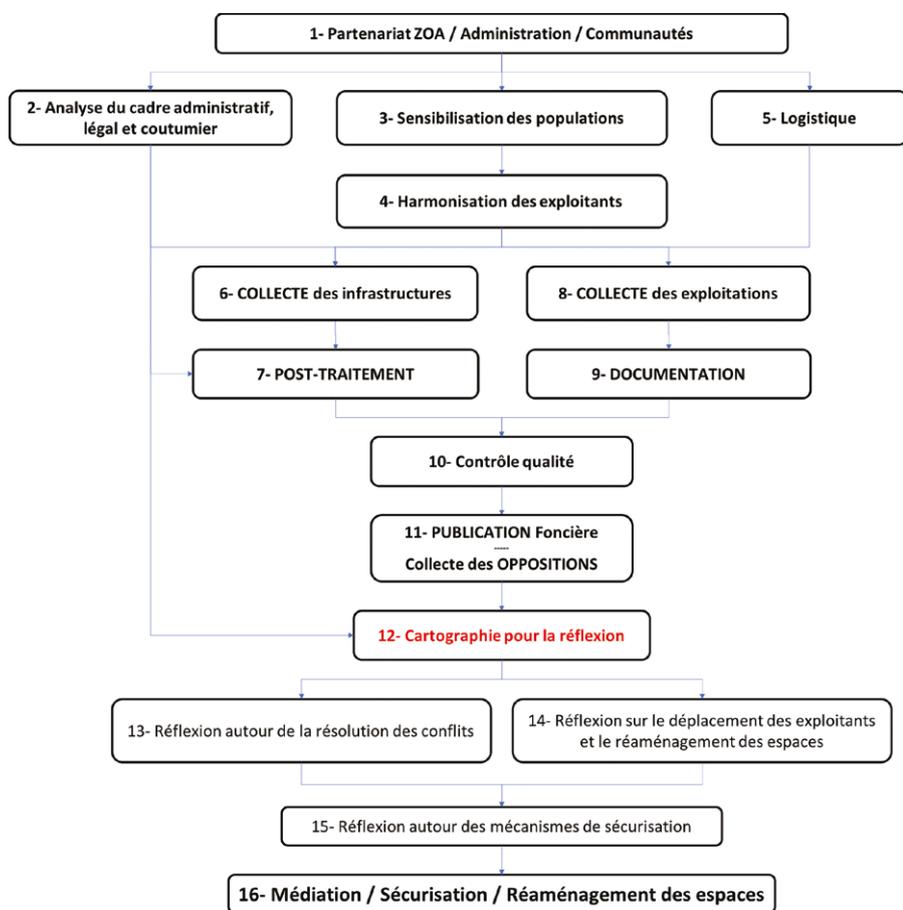


Figure 3. Schéma des étapes de cartographie pour la réflexion, base de sécurisation foncière à Luberizi

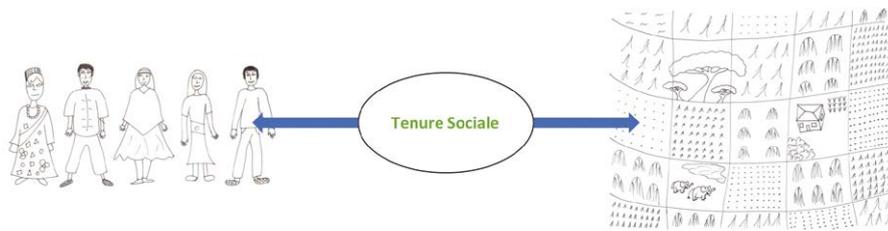


Figure 4. Représentation de la relation sociale entre les individus et leurs terres. Dessins réalisés par les élèves de 5^e du Collège de Liffol-le-Grand, France

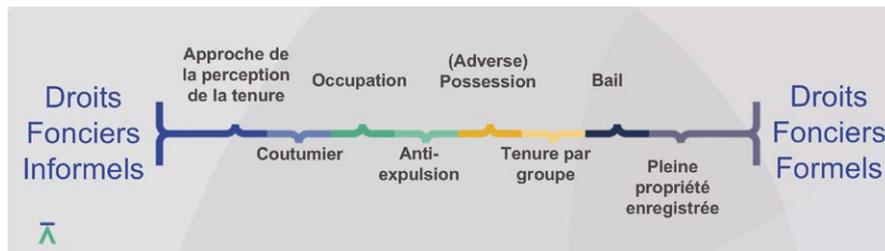


Figure 5. Continuum des droits fonciers

▶ parfaitement aux besoins du projet et d'atteindre les objectifs définis.

■ Le questionnaire d'enquête

La base de la configuration de la technologie Cadasta est la rédaction d'un questionnaire d'enquêtes terrain des données à intégrer dans la cartographie pour la réflexion, base d'analyse des relations foncières existantes. Ce questionnaire a été réalisé lors de la séance de travail initiale avec toutes les parties prenantes à la cartographie participative. Il a été ensuite formaté selon les contraintes techniques du fichier XLS utilisé par l'application mobile de collecte de données ODK Collect, en correspondance avec le projet créé sur la Plate-forme Cadasta. Le formatage du fichier peut être l'objet de nombreuses tracasseries. Pour éviter cela, la Fondation Cadasta a préparé des fichiers génériques. A Luberizi, nous avons utilisé celui créé spécifiquement pour les besoins des petits détenteurs fonciers (Smallholder Farmers) et structuré selon le modèle STDM en classant l'ensemble des informations en trois groupes : les personnes, les biens et les relations entre ces personnes et leurs biens. La compréhension du concept par les techniciens ZOA a été si rapide que ces derniers ont même réussi à créer un fichier XLS adapté au levé des exploitations et aussi des infrastructures existantes du périmètre (routes, canaux d'irrigation, etc.). Ces infrastructures jouant un rôle capital dans

l'utilisation de l'espace, leurs relations avec les exploitants de la zone doivent être déterminées.

Open Data Kit (ODK) Collect, est l'application mobile utilisée par Cadasta, fonctionnant sur des smartphones de type Android et remplaçant les questionnaires papier. Elle permet de collecter des données sémantiques, des lieux géoréférencés, des images, des clips audio ou vidéo et des codes-barres. ODK Collect suit la logique configurée dans le fichier XLS, permettant ainsi le contrôle de l'affichage des données à collecter et d'imposer des contraintes selon les réponses. Ainsi, les collecteurs de données, suivant qu'ils aient à faire à une coopérative ou à un exploitant individuel, vont être amenés à choisir des options qui vont les orienter vers des questions spécifiques à chaque type de relations entre personnes et biens.

■ La précision des données géographiques

Pour les besoins de l'exercice de cartographie participative à Luberizi, le choix des équipements de collecte terrain a été déterminé par la précision requise. Le Département du cadastre provincial à Uvira utilise comme échelle nominale le 1/2 000. Même si les données cadastrales de ce département ne sont pas géoréférencées pour l'instant, il était essentiel de respecter cette échelle nominale, afin de pouvoir faire correspondre les éventuels titres fonciers avec plans de bornages présents dans

le périmètre à irriguer. Il était également important de noter que la démarcation entre les rizières dans cette partie du monde dépend des digues qui sont construites entre elles, la précision de 20 cm par le cadastre peut être difficilement respectée. La précision des smartphones étant de 5 à 15 m, il était nécessaire d'avoir recours à des récepteurs GNSS munis d'antennes externes, plus précis. Le choix s'est orienté vers des récepteurs Trimble Catalyst qui sont plutôt raisonnables en prix d'achat initial et, plus important, qui offrent une souplesse d'accès à une précision requise au moyen de paiements d'abonnements au fur et à mesure des opérations.

Grâce au partage de position, le Trimble Catalyst fournit une position WGS84 à 1 Hz (une par seconde) dans le référentiel ITRF2014 Current Epoch, sous la forme d'une latitude, d'une longitude et d'une hauteur, ainsi qu'une estimation de l'erreur sur la position. Au moyen d'un abonnement mensuel et perché à 2 m de hauteur pour éviter les masques, cette erreur de positionnement peut aller jusqu'au cm. En Afrique, Trimble garantit cette erreur entre 30 à 70 cm. Mais les moyens techniques étant en constante progression, quelques tests nous ont été demandés. Pendant 2 semaines, les abonnements à 10 cm offerts par Trimble France ont affiché à Luberizi une erreur de positionnement géographique maximale de 24 cm, c'est-à-dire proche de l'échelle nominale du cadastre. Une fois les tests terminés, les abonnements à 30-70 cm commandés ont été installés et les récepteurs GNSS ont quasiment constamment affiché 30 cm d'erreur de positionnement. Bien sûr, on aurait dû contrôler cette erreur de positionnement affichée par l'application Trimble sur les smartphones par rapport à des points géodésiques connus du système congolais, mais cette opération aurait été un projet en lui-même. De plus, la Plate-forme Cadasta n'offre pas encore d'autres systèmes que le WGS84, mais le changement ne saurait tarder.

■ Le choix du smartphone

L'utilisation des récepteurs GNSS Trimble Catalyst requiert l'utilisation de certains types de smartphones ou



Figure 6. Les représentantes des villages et des femmes apprennent à se servir des unités de collecte. Les perches ont été fabriquées localement au moyen d'un tuyau PVC et d'un embout fileté permettant de visser le Catalyst sur la perche ; coût : 10 euros !

tablettes Android. Le choix s'est orienté vers des Samsung A5 2017. Après une courte séance de formation auprès des 6 équipes de terrain prévues par le projet, l'installation et la configuration des différentes applications mobiles nécessaires à la collecte terrain se sont faites quasiment sans encombre. Les problèmes rencontrés étaient essentiellement dus à la configuration des smartphones via l'option développeur, une option spécifique à chaque téléphone, nécessaire pour la déconnexion du système de positionnement du téléphone au profit de celui du Catalyst. Quelques recherches sur internet ont permis de trouver des solutions et de faire fonctionner l'ensemble.

■ L'accès au réseau internet

La technologie installée ne nécessite pas un accès au réseau internet lors de la collecte de données sur le terrain mais un accès régulier est cependant recommandé. Pour les besoins de l'exercice, un accès au réseau 3G congolais a été installé sur chacune des 6 unités de collecte mais le réseau congolais étant souvent perturbé et inaccessible dans les zones reculées

du périmètre, un accès à un réseau 4G burundais a été également mis en place au moyen d'un modem. Pour la petite histoire, le premier modem installé sur un promontoire permettant une meilleure connexion fut chapardé par un passant ! S'en procurer un nouveau coûta à l'un des techniciens une journée de pirogue au milieu de poulets, mangues, animaux et fruits en tout genre pour se rendre au Burundi situé de l'autre côté du fleuve.

■ L'électricité

Le talon d'Achille des nouvelles technologies en Afrique est l'accès à l'électricité. D'autant plus que les Catalyst sont très énergivores. Heureusement, cette partie de la RDC est plutôt bien desservie comparée au reste du pays. Pour pallier au maximum



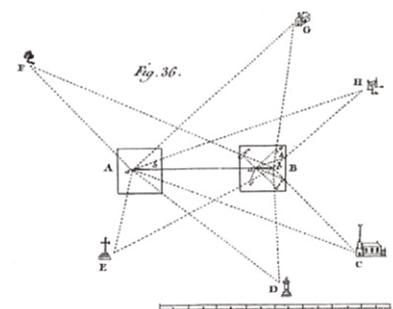
Figure 7. Unité complète de collecte sur le terrain comprenant bottes, pantalon et veste de pluie, couvre-chef, canne, récepteur GNSS Trimble Catalyst, smartphone, batterie externe, sac de rangement et modem 4G ; la boussole, toujours utile au repérage, restant discrètement dans la poche du géomètre

le manque d'électricité, de grosses batteries externes ont été achetées, remplaçant ainsi les petites batteries fournies par Trimble. Ces grosses batteries peuvent mettre une journée entière à charger mais sont utilisables plusieurs jours d'affilée sur le terrain malgré l'énergie requise par les Catalyst.

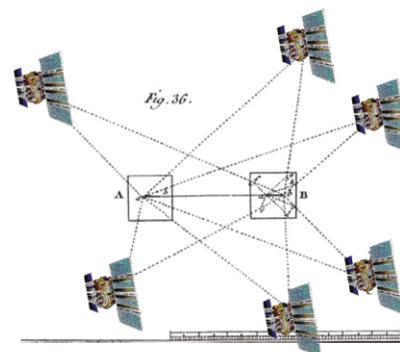
■ Appropriation des nouvelles technologies par les agents administratifs

Si la méthode de collecte des informations et le principe de réalisation de la cartographie pour la réflexion furent bien compris par les agents administratifs du gouvernement, il n'en fut pas de même en ce qui concerne la technologie mise en place. L'incompréhension résidait essentiellement dans le principe de fonctionnement du communément appelé GPS et la logique du questionnaire. Deux séances de travail ont été nécessaires avant le début effectif des opérations de terrain. Les ingénieurs ZOA se sont chargés de la formation sur la logique du questionnaire alors que la Fondation Cadasta s'est chargée de la formation sur le principe du GPS. La compréhension s'est opérée en faisant des rapprochements avec les méthodes manuelles. En ce qui concerne le GPS, la comparaison avec le levé à la planchette fut comme un tour de magie ! Par contre, nous n'avons pas osé expliquer la différence entre GPS et GNSS. Voir le directeur du cadastre s'acheter lui-même un smartphone pour s'habituer à ce genre de nouveau jouet était plus important.

Le GPS, c'est l'arpentage à la planchette du 21^{ème} siècle



A partir de points remarquables (points géodésiques, églises, mosquées, châteaux d'eau, points hauts...) on réalisait des cartes à grandes échelles



Aujourd'hui, les points remarquables sont remplacés par des satellites !

Figure 8. Diapo de formation pour l'explication du système récepteur GNSS

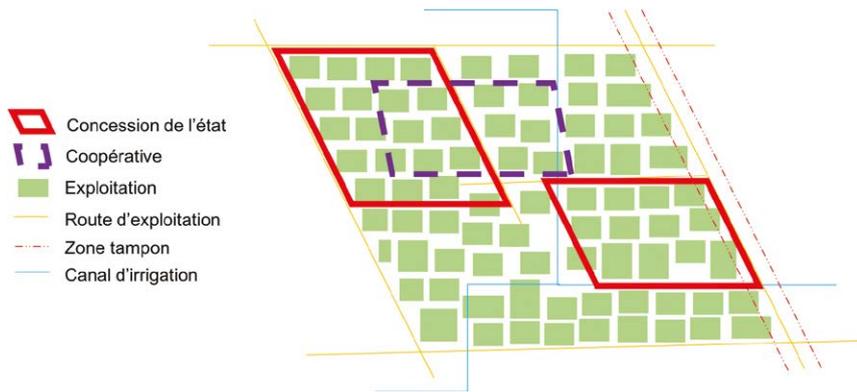


Figure 9. Schéma de réflexion sur la superposition des droits fonciers à Luberizi

■ **Appréhension quant aux superpositions de droits et conflits rencontrés sur le terrain**

Tout au long des séances de travail, les inquiétudes et débats intenses ont eu lieu, quant à la gestion des superpositions, des droits fonciers existants. Au départ, l'administration faisait réellement bloc face à la reconnaissance des droits des exploitants se situant dans des zones le long des routes normalement réservées aux accotements et à la collecte des eaux pluviales, ou aux exploitants refusant d'appartenir à une concession de l'état, ou encore à des zones de transhumance dégradées. Il a finalement été convenu qu'il était justement très important de connaître la situation foncière existante de manière claire et transparente afin de pouvoir réaménager l'espace en fonction des contraintes administratives, techniques et environnementales ; le réaménagement prenant en compte le déplacement de certains exploitants mal situés actuellement.

tés) formées à la collecte terrain ainsi que les trois ingénieurs ZOA formés à l'utilisation de la Plate-forme Cadasta et au traitement des données avec le logiciel QGIS. Il a été établi qu'à chaque fin de semaine, les données collectées seraient imprimées et publiées dans les villages pour vérification, complément d'information et résolution de conflits fonciers simples à dénouer. Il a aussi été établi que l'administration devait procurer à ZOA l'ensemble des titres délivrés et règlementations à respecter comme les zones tampon de chaque côté des routes.

Les premières séances de collecte et la densité des lieux ont permis d'estimer que les 6 000 parcelles pourraient être relevées en 17 semaines, une équipe étant dédiée à la collecte des infrastructures et une autre à la résolution des conflits. Une période finale de trois semaines a été envisagée afin de parfaire la cartographie pour la réflexion de toute erreur éventuelle

et clarification des inquiétudes résistantes. Mais de nombreux facteurs peuvent entraver le bon déroulement des opérations comme des problèmes sécuritaires (surtout en approchant de la montagne), des problèmes politiques où les notables et la chefferie bloquent parfois les opérations, les durées de transport dans les zones s'éloignant de la route principale, de fortes pluies, des problèmes techniques avec les téléphones, des problèmes de connectivité aux réseaux 3G/4G, la géométrie des parcelles par endroit compliquée et ralentissant la collecte, l'absence des exploitants n'ayant pas été correctement informés ou tout simplement absents par défaut, la lenteur ou l'absence d'un technicien, etc.

A ce stade de l'opération, Maji Ya Amani n'est encore qu'un rêve et le besoin de patience si bien décrit par Malembe pourrait s'avérer être un conseil avisé. Le 1^{er} février, la première publication foncière de 185 parcelles a eu lieu dans les villages. Le directeur de programme ZOA s'est exprimé tel quel à la Fondation Cadasta : "Le premier accouchement s'est passé avec beaucoup de fierté !" Les consultants Cadasta se sont évidemment amusés de cette réaction. Pourtant, derrière cette réflexion se cache réellement le rôle de sage-femme que la Fondation joue, afin de parfaire l'enfant jusqu'à maturité et préparer la mère à d'autres progénitures. Il est ainsi espéré que des leçons vont être apprises de cette

Conclusion

Au terme de deux missions très intenses à réfléchir à la méthodologie, à discuter (parfois fort) des lois et règlementations à respecter, à résoudre les problèmes techniques, à s'approprier la nouvelle technologie, à anticiper les situations sociales et foncières sur le terrain, à arpenter les petites digues chaotiques séparant les rizières pour collecter les premières informations, la Fondation Cadasta a laissé derrière elle six équipes de trois personnes (1 technicien ZOA, 1 représentant de l'état et 1 représentant des communau-

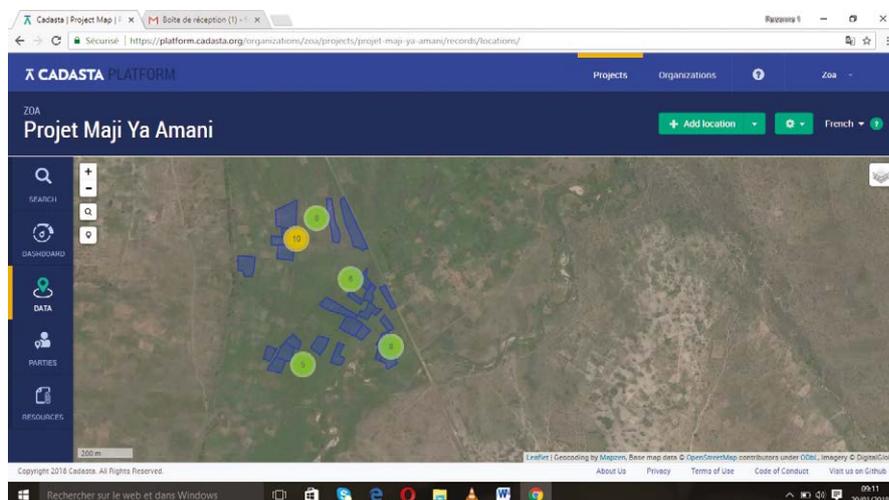


Figure 10. Résultat de la première journée de collecte terrain, 62 parcelles

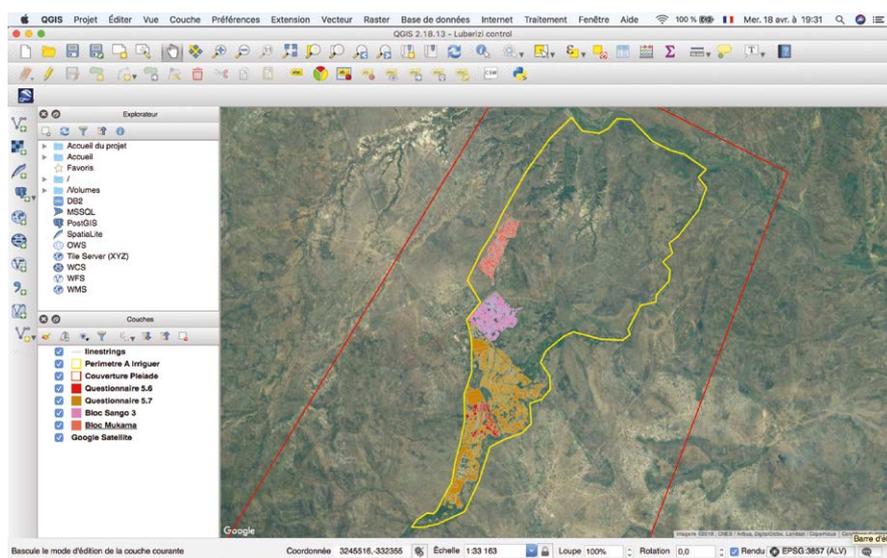


Figure 11. Capture d'écran des données collectées sur la plate-forme Cadasta au 18 avril 2018 et rassemblées dans QGIS pour analyse

première publication, non seulement de la part de ZOA et de la Fondation Cadasta mais surtout des populations, des autorités coutumières et des services administratifs impliqués dans ce projet de cartographie participative. Ce premier résultat ne représentait que 185 parcelles après 5 jours d'enquête au lieu des 450 espérées. Quels ont été les blocages auxquels les équipes ont fait face pour avoir un départ si lent ? Quelle satisfaction va être exprimée à travers ce premier affichage ? Mais aussi, quelles craintes vont surgir ? Vers quelle reconnaissance des droits fonciers nous orientons-nous ? La cartographie pour la réflexion est maintenant engagée. Elle va se parfaire au fur et à mesure de l'exercice, au fur et à mesure que les exploitations soient représentées, que les infrastructures soient dessinées, que les points d'eau apparaissent, que les pistes de bétail se dessinent avec de plus en plus d'évidence, que les routes soient réhabilitées, que le barrage se construise et que les canaux d'irrigation desservent les exploitations de manière plus équitable et efficace, que certains exploitants soient déplacés vers des endroits plus pratiques. Au fur et à mesure des embûches et des conflits fonciers réglés, l'administration pourra prendre ses dispositions pour assurer la reconnaissance des droits fonciers des petits exploitants. Au fur et à mesure, l'EAU sera peut-être PAIX.

Épilogue

Finalement, ce sera la chaleur écrasante qui aura raison du rythme de la collecte de données sur le terrain. À peine trois semaines après le début des opérations officielles, les collecteurs de données se sont sentis fatigués et déshydratés, certains ayant même été emmenés dans un dispensaire local pour une bonne surveillance. Rassurez-vous, tout le monde va bien ! L'équipe a ainsi décidé de s'organiser différemment et de réaliser une pose à la fin de chaque bloc (un bloc étant un ensemble de parcelles contiguës appartenant à des occupants différents mais gérées par un chef de bloc) afin de ménager la santé physique de chacun.

Ainsi, au 18 avril 2018, 1 376 parcelles ont été enregistrées sur la plate-forme Cadasta dont à peine une dizaine sont des concessions de l'État et des coopératives. Une brève analyse des données a permis de calculer que la superficie des parcelles était inférieure à 1 ha pour les particuliers et de 2,5 à 7,5 ha pour les concessions et coopératives. Aussi, la Fondation Cadasta se doit d'observer les différents mécanismes de résolution des conflits, déplacements de certains exploitants et sécurisation foncière mis en place afin de parfaire ses outils et services. A propos, une version 2.0 de la plate-forme est en cours de développement et devrait paraître dans les prochaines semaines. ●

Contact

Anne GIRARDIN
Spécialiste des Programmes
agirardin@cadasta.org

Frank PICHEL
CEO, Cadasta
fpichel@cadasta.org

Bibliographie

Congolese land law and interventions into land conflicts and improving access to land for peasants, Gillian Mathys, ZOA,
Guide Pratique De Cartographie Participative, 2010, Organisation Internationale des Bois Tropicaux (OIBT)
Documentation Trimble Catalyst FAQ v3

ABSTRACT

Keywords: Development, Irrigation, Customary Land Rights, Land Conflicts, Information System, Mobile Technology, ODK, Trimble Catalyst, Cadasta Platform

Through the project «Maji Ya Amani», Water for Peace in Swahili, ZOA INTERNATIONAL intends to revive an existing irrigation scheme created in the fifties in Luberizi, South Kivu, Democratic Republic of Congo. Recognizing that improving the land through irrigation will result in an increase in land value and potential speculation, jeopardizing those who occupy and use currently the land. In the project area, most of these rights are rooted in customary systems that are strained due to ethnic tensions, migratory pressure and violent conflict. The Cadasta Foundation is working to assist the DRC Government, the customary authorities, the local communities, and the Dutch NGO in mapping and documenting land rights and irrigation infrastructure across the estimated 6,000 parcels, using participatory mapping techniques, combined with the Cadasta Platform, the ODK Collect mobile application and the Trimble Catalyst GNSS receiver. The outcome of this exercise is a database called "cartographie pour la réflexion" (mapping for thinking) to help the different stakeholders in analysis of the current land occupation pattern, resolve land conflicts, document tenure rights and ensure equitable and sustainable access to the irrigation scheme.

Chen Zhen : Danse de la fontaine émergente

■ Jean-Pierre MAILLARD

Le Street art dont la rubrique "Art et géométrie" du n° 152 d'XYZ a présenté un exemple pourrait se traduire "l'art de la rue". En effet on constate de visu une expression graphique spontanée, indisciplinée et le plus souvent anonyme. On pourrait alors dire que l'art de la rue s'oppose à "l'art dans la rue", celui convenu par une volonté culturelle d'élus, d'artistes ou encore de mécènes. Dans ce cadre, l'art proposé au regard dans l'espace public, celui des statues des ronds-points, des fontaines dans les squares ou encore des photographies sagement alignées sur les grilles des monuments, s'affirme comme un art ordonné et revendiqué. De très nombreux sujets de la rubrique ont présenté l'art "dans la rue" et tout récemment celui "de la rue", des œuvres qui s'offrent à la vue des passants. Cependant il n'a pas encore été abordé celui du dessous de la rue, l'underground anglais. L'opportunité de détailler, voire d'analyser une réalisation à demi enterrée, qui peut également se comprendre comme un réseau, se trouve à Paris rue Paul Klee.

Paris Rive gauche - côté XIII^e arrondissement

Tout comme les générations se succèdent, au fil du temps, la ville se reconstruit sur la ville. Paris n'échappe pas à ce cycle même si la capitale garde précieusement les bâtiments classés de son passé multimillénaire. Au siècle dernier, le XIII^e arrondissement a commencé sa mue : des emprises de voies ferrées et le foncier de vastes secteurs d'ateliers ou d'entrepôts à l'utilisation déclinante ont fait place à une opération d'aménage-

ment d'ensemble. Le projet est porté par la société d'étude, de maîtrise d'ouvrage et d'aménagement parisienne (SEMAPA) créée en 1985 sous le statut de société d'économie mixte. Elle a muté en avril 2012 en une société publique locale d'aménagement. Le fleuron du territoire est sans conteste la bibliothèque nationale François Mitterrand qui profite du lien avec la Seine renforcé par la passerelle Simone de Beauvoir.

Le porteur public du projet, en lien avec la direction des affaires culturelles de la ville de Paris, a tenu à faire une place significative aux interventions artistiques. A cette fin la SEMAPA a commandé à trois artistes, Chen Zhen, Marin Kasimir et Hugues Reip, une réflexion globale sur l'articulation de telles interventions futures avec l'histoire et la géographie du quartier, l'objectif étant d'identifier des points de contact signifiants entre l'art et la ville. Outre la prévision de l'intégration d'interventions plastiques dès la phase de la conception urbaine, l'étude a également pris en compte la période de chantier. Cette démarche procède de la soumission volontaire de l'aménageur au respect d'une haute qualité artistique et culturelle (HQAC), un prolongement de l'esprit du 1 % culturel institué par un arrêté ministériel du 18 mai 1951.

La pompe à feu

Au XVII^e siècle une pompe à feu était implantée au droit de la rue Paul Klee pour assurer la défense incendie de l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière. L'installation se trouvait être des inventions mécaniques du temps jadis à l'instar de celle de Denis Papin : la machine à vapeur. La pompe à feu permettait à une prise d'eau dans la Seine d'alimenter des réservoirs. Depuis, une usine des eaux a remplacé

l'équipement d'origine jusqu'à être finalement escamotée pour permettre la construction d'une superstructure. Aujourd'hui toujours en service, après un dégrillage pour filtrer le prélèvement, l'installation produit de l'eau non potable servant au nettoyage des rues, à l'arrosage des espaces verts municipaux et encore de réserve incendie. Le souvenir de la pompe à feu est rappelé sur la façade par une silhouette du bâtiment d'origine.

Danse de la fontaine émergente

Comme sorti de nulle part, de verre et d'acier, un dragon démesuré puisqu'un homme peut quasiment tenir debout dans son corps sort de l'usine des eaux, s'avance sur la place publique puis s'enfuit, puis ressort et ainsi de suite, dans un mouvement soutenu et perceptible. Le sol en pavés de la place subit le passage du monstre légendaire mais sans qu'on ne voit sa tête. La planéité du sol est déformée de façon très réaliste, l'architecte Christian de Villiers ayant pris en compte le projet



La porte de l'usine des eaux à l'épreuve du dragon.



© Yvette Yelay

Le dragon serpente dans le plan vertical

de l'artiste. La particularité de la création de Chen Zhen est sa transparence et la place faite à l'eau, ce qui est plutôt paradoxal puisque dans l'imagerie populaire le dragon se manifeste dans un corps plein et crache du feu. Avec Chen Zhen le dragon devient réseau, un tuyau porteur d'eau claire irriguant symboliquement le corps et au-delà le développement urbain. Par ajustage et à heures fixes, l'eau sert une animation hydraulique, un morphing qui accentue la perception de mouvement, morphing complété par un éclairage adapté. L'eau du dragon est volontairement potable pour l'opposer à l'eau sale de la Seine, solution par ailleurs optimale pour entretenir les faces internes de la sculpture. La mise en circuit fermé de l'eau de la fontaine est aussi une réponse satisfaisante à l'entretien intérieur et extérieur de l'œuvre. En effet, l'eau, bien présente dans son réseau, n'est pas souillée comme celle des fontaines à ciel ouvert qui s'ouvrent sur un ou des bassins le plus souvent salopés, osons le mot, victime de l'incivisme.

Avant d'être une œuvre à part entière, le dragon de Chen Zhen procède d'une exécution de dessin industriel soignée et cotée. La dorsale du dragon est constituée d'une succession d'écaillés unitaires, toutes identiques, dont le dessin procède d'une définition précise des arrondis et des épaisseurs. Chaque anneau, d'un même diamètre, porte

un mécanisme hydraulique interne qui forme les jets et jeux d'eau réguliers. Le dragon est donc ordonné et prévisible...

Ainsi l'artiste Chen Zhen a inscrit son projet dans l'histoire locale de la maîtrise de l'eau jusqu'à la rendre visible rappelant utilement qu'en deçà du robinet il y a bien des tuyaux et de multiples installations.

Chen Zhen

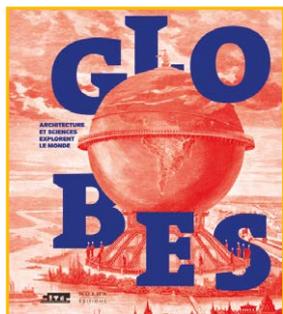
Né à Shanghai en 1955 sous Mao Zedong, Chen Zhen a grandi dans une famille de médecins pendant les années de la Révolution culturelle dont l'absurdité a entraîné la mort de centaines de milliers de personnes. C'est dans ce contexte que le jeune Chen Zhen va à l'encontre des règles en s'intéressant à la philosophie chinoise et à la culture occidentale. Il devient peintre et professeur à Shanghai à 25 ans au moment où il se découvre atteint d'une maladie rare et incurable. Il se tourne alors vers la médecine traditionnelle chinoise estimant que *"La médecine chinoise est, par sa façon de penser et de pratiquer, très proche de l'art"*. Il atteint un haut niveau d'analyse de la valeur du temps et de l'espace et considère sa maladie comme une expérience digne de valeur, dont il peut tirer son inspiration et méditation artistique.

Arrivé à Paris en 1986 il étudie aux Beaux-arts puis à l'Institut des hautes études en arts plastiques où il enseignera par la suite. Son passage d'un pays communiste à un autre plutôt libéral sert sa réflexion et son inspiration. Dans le même temps, il évolue de la peinture à l'installation notamment par la juxtaposition d'éléments traditionnels et contemporains, tout en mélangeant les cultures chinoise et occidentale ou encore des concepts cosmologiques et de médecine.

Chen Zhen, dont l'œuvre est reconnue jusqu'à être exposée au musée Guimet et même enfin avoir droit de cité à Shanghai, est décédé en 2000. C'est sa femme et collaboratrice, Xu Min, qui a suivi le projet de la Danse de la fontaine émergente à la mort de Chen Zhen, réalisation inaugurée en 2005.

La Seine n'a pas fini d'inspirer les artistes. Pour la Nuit Blanche 2016, avec son œuvre "Descension", Anish Kapoor a fait tourbillonner le fleuve en créant un vortex d'eau qui paraissait prêt à engloutir tout ce qui s'en approchait. Actuellement et jusqu'au 31 août 2018 c'est au tour de Stéphane Thidet de changer, avec son installation "Détournement", une petite partie du cours de la voie fluviale jusqu'à la faire traverser la Conciergerie...

Le *Land Art* n'est pas loin ! ●



■ Globes - Architecture et sciences explorent le monde

Sous la direction de Yann ROCHER

Préface de Guy AMSELLEM

Textes de 11 auteurs

Pour ses 10 ans, la cité de l'architecture et du patrimoine a organisé une exposition (soutenue notamment par ESRI France) qui a développé un panorama des projets architecturaux ayant pour thème la forme du globe, car représenter le monde, la planète et le cosmos est l'une des plus grandes utopies de l'architecture. Un très beau livre a été édité à cette occasion.

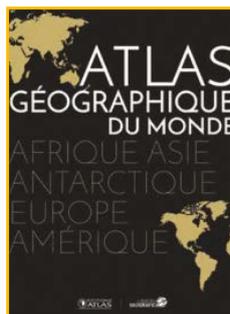
De l'antiquité à nos jours, quatre-vingt-dix projets, le premier "Varro, Ornithon, 1^{er} siècle av. J.-C., Casinum", le 90^e "Beaulieu, Building a New World et Great Globe Project, 1993-2020, Minneapolis et désert de Sonora", racontent une double histoire : comment les architectes participent, aux côtés des géographes, astronomes, mathématiciens et artistes, à la découverte de la Terre et du ciel, et à leur représentation. Et comment, en retour, la forme du globe hante l'architecture, ses humanistes et ses utopistes, d'Etienne-Louis Boullée, Claude Nicolas Ledoux et Alfons Mucha à George Lucas ou Rem Koolhaas.

Richement illustrés par une documentation en grande partie inédite, ces projets atypiques sont accompagnés d'approfondissements de spécialistes de différentes disciplines, de l'anthropologie et l'astronomie à l'histoire et la science-fiction, visant à montrer l'architecte comme témoin et acteur de la découverte du monde.

Guy Amselem est président de la cité de l'architecture et du patrimoine.

Yann Rocher est architecte, enseignant, ENSA-Paris-malaquais

► Coédition Éditions Norma / Cité de l'architecture et du patrimoine
45 € - 400 pages
ISBN : 9 782376 660101



■ Le nouvel atlas géographique du Monde

Afrique, Asie, Antarctique, Europe, Amérique

Collectif - Un atlas pour comprendre le monde qui nous entoure !

Conçu par les plus grands spécialistes internationaux de cartographie, l'Istituto Geografico De Agostini, dont LIBRERIA GEOGRAFICA a recueilli l'expérience, cet atlas est l'ouvrage de référence de toute la famille. Indispensable à tous ceux qui désirent s'ouvrir au monde extérieur, il rassemble 280 pages de cartes physiques et politiques. Grâce aux méthodes de pointe de la cartographie numérique, les territoires sont représentés à des échelles allant de 1 : 60 000 000 pour les continents du monde à 1 : 1 250 000 pour les zones terrestres plus restreintes tels les pays de l'Union européenne. Cette précision exceptionnelle est complétée par 32 pages de photographies satellite spectaculaires de la Terre. Cet atlas comporte un index toponymique de plus de 55 000 noms ou lieux, un lexique de près de 1 000 termes géographiques.

► GLÉNAT LIBRERIA GEOGRAFICA

29,99 € - 280 pages
ISBN : 9 782344 024355

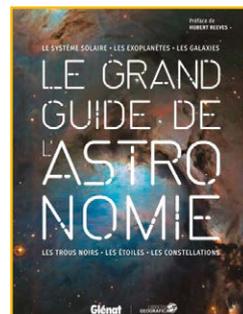
■ Le grand guide de l'astronomie

Collectif - Étoiles, galaxies et constellations : partez à la découverte des merveilles de l'Univers !

Préface de Hubert REEVES

Véritable voyage à travers l'espace, le Grand guide de l'Astronomie nous fait découvrir une multitude d'informations sur la configuration de notre Univers : du système solaire aux étoiles et galaxies, à la description des constellations.

Illustré par une impressionnante documentation d'archives, cet ouvrage de référence intègre les recherches spatiales les plus récentes, dont les dernières découvertes d'exoplanètes et la première détection d'ondes gravitationnelles. Une



section entière de ce guide répertorie les 88 constellations avec pour chacune d'entre elles une carte précise indiquant leur localisation dans l'espace ainsi que leur magnitude stellaire. Quant aux images satellites fournies par la NASA, elles offrent un véritable voyage à travers l'espace.

Elaboré par un collectif d'auteurs scientifiques spécialistes de l'astrophysique, les Éditions Glénat proposent, en collaboration avec LIBRERIA GEOGRAFICA qui a recueilli l'expérience cartographique de l'Istituto geografico De Agostini, cette réédition entièrement mise à jour du Grand Atlas de l'Astronomie.

Hubert Reeves est l'homme de science contemporain le plus célèbre de France. Il fut astrophysicien. Spécialiste de l'énergie nucléaire, Hubert Reeves mène aujourd'hui un combat pour la préservation de notre environnement.

► Glénat - 29,99 € - 288 pages
ISBN : 9 782344 029558

■ Cultiver l'engagement de vos équipes

Répondre aux 10 questions qui bloquent vos collaborateurs ?

Stéphane SIMARD

Est-ce que mon employeur s'intéresse vraiment à qui je suis ? Est-ce que mon travail me fera grandir ? Est-ce que mon manager me fait confiance ? Est-ce que mon entreprise se soucie de mon bien-être au travail ?... Des questions essentielles auxquelles tout manager devrait pouvoir répondre pour cultiver l'engagement de ses collaborateurs ! Mais comment répondre aux nouvelles attentes des salariés et donner un sens à leur travail ? C'est ce que vous découvrirez dans ce livre en répondant aux 10 questions fondamentales que se posent vos collaborateurs pour susciter l'envie de se dépasser. Dans un style pragmatique et avec humour, l'auteur vous fait découvrir des pratiques génératrices d'engagement concrètes et adaptées à la réalité des entreprises, pour (re)construire une relation de confiance entre vous et vos

La culture est toujours une forme de réponse au repli identitaire, à l'extrémisme, voire à l'obscurantisme.

Petite contribution de GSF entre technique et culture

■ Claire GALPIN

Chaque rencontre est l'occasion de nouer des partenariats et de récolter quelques fonds à dépenser dans des actions philanthropiques, humanitaires et culturelles. Outre le parrainage d'Olivier élève ingénieur en dernière année de l'ESGT, cette année aura été celle de la coopération avec le Mali.

La technique

Le Mali est dans un vaste programme de définition de la politique foncière et domaniale et fait dans le même temps face à un marché foncier immobilier très actif, mais souvent informel faute de pouvoir assurer le suivi des transactions. En effet, la gestion manuelle des attributions de parcelles de terrain par les collectivités territoriales est souvent source de conflit, notamment du fait de doubles emplois et d'empiètements. Cette situation compromet fortement la mobilisation des recettes liées à la gestion foncière pour l'État et pour les collectivités territoriales, voire la paix sociale, gage de tout développement économique durable. Ainsi, la mise en place d'un système d'information pour la gestion de l'attribution de ces titres provisoires devrait permettre de réduire considérablement les litiges et d'améliorer le recouvrement des recettes liées à la gestion du foncier. La capture d'informations correctement géoréférencées et d'une précision en rapport avec les objectifs poursuivis est la base du système d'information.

C'est pourquoi en partenariat avec la coopération française et grâce à l'engagement bénévole de Bernard Flacelière (AFT), GSF a dispensé à l'institut d'économie rurale de Bamako (IER) une semaine de formation sur les techniques GNSS pour appuyer la réforme foncière et expérimenter l'usage des technolo-

gies spatiales dans le rattachement des travaux fonciers à Bamako et dans le cercle de Kati. De l'avis général, la formation a déclenché une dynamique collective de partage des enjeux liés à la collecte de données géographiques pour dresser une cartographie de bonne qualité. Une cohorte de techniciens a été constituée et les membres formés aux concepts de base de la géodésie et du GNSS.

La culture

La capitale malienne a accueilli la 11^e biennale africaine de la photographie. Cette manifestation est organisée par l'Institut français, le Ministère malien de la culture, en partenariat avec l'hebdomadaire Jeune Afrique. Comme le souligne le magazine Jeune Afrique, "Bamako est une ville de musique qui n'a jamais cessé de vivre. Ses créateurs continuent d'enrichir le monde, bien au-delà du Mali".

GSF a soutenu Ange Frédéric Koffi, un jeune artiste franco-ivoirien et lui a permis de participer au festival off des Rencontres de Bamako dont le fil conducteur a tenu dans la formule



© A.F. Koffi



"Réinvestir les imaginaires". Durant 2 mois (décembre 2017 et janvier 2018), Ange Frédéric a exposé au Laico Hôtel de l'Amitié. Son travail photographique "Le grand voyage" est basé sur le mouvement, qui dans sa fragmentation "laisse entrevoir la fugacité d'une société malienne en effervescence perpétuelle. Le moyen de transport n'est plus seulement le sujet de la photographie. Il devient une figure allégorique et vivante..."

Pour ceux qui sont Alsaciens, allez à sa rencontre dans le off de la prochaine biennale de la photographie à Mulhouse dont le thème sera "Attractions" (2 juin au 2 septembre 2018). Ange Frédéric pousse le visiteur à convoquer son imaginaire et à créer ses propres liens entre les photos. La simplicité à la limite de la banalité pose, et vous invite à poser, un nouveau regard et offre une vision du quotidien africain. Il a rendu hommage à GSF dans la publication de son second livre d'artiste qui est sorti début mai 2018 et dont le titre "Sinner Man" interpelle : intrus, pêcheur ou polysémique pêcheur ? ●

A propos avez-vous vu que nos généreuses donatrices du Raid des Amazones ont remporté la médaille d'argent à seulement 46 petites secondes des premières. Par leur intermédiaire, GSF a reçu plus de 4 000 euros de dons. Merci les Amazones et félicitations pour la performance.

SIG 2018



Conférence Francophone Esri
10 & 11 octobre - Les Docks de Paris

Devenez acteur du premier événement consacré à la dimension géographique

Venez prendre la parole et échanger avec vos pairs !

<https://sig2018.esrifrance.fr>



Conférence organisée en partenariat avec :



GEOMAP-IMAGIS
Geo-Solutions Professionnelles



AUTODESK - when it has to be right





BIM

Infrastructure c'est nous !

Groupe GEODESIAL

Logiciels métiers d'étude et de conception
Géomatique - Urbanisme - Infrastructure - BIM

COVADIS

AUTOPISTE

1/7

Nouveautés

Voirie et Réseaux Divers

Nouveau module réseau d'assainissement en 3D dynamique
Bibliothèque d'objets en 3D : regard, déversoir, branchement ...

Nouveaux objets 3D trottoir : bordure, caniveau et bateau

Nouvelle coupe dynamique sur nuage de points

Nouveau module projet linéaire



Technologie BIM

Évolution de la technologie objet pour le BIM

Inter-portabilité des données avec Import/Export IFC et IMX

Échange avec le logiciel Revit (Autodesk)

Création d'une maquette paysagère avec InfraWorks (Autodesk)



Topographie & DAO

Le PCRS V2 nouvelle version : évolution de la norme

Création et gestion des états parcellaires avec import SPDC

Nouvel objet parcelle paramétrable

Nouvelle fonction de dessin automatisé sur nuage de points



Projet linéaire AutoPISTE

Nouveaux Giratoires circulaires et de formes complexes

Nouveau module bretelle/échangeur

Épure de giration dynamique



GEOMEDIA SAS

Tel 02 98 46 38 39

contact@geo-media.com

www.geo-media.com