

MYSTÈRE

**12^e JOURNÉES
DE LA TOPOGRAPHIE
DU 23 AU 25/09/15**



≡ Sommaire

Présentation - - - - -	p. 5
Programme - - - - -	p. 7
Mot de la déléguée de classe - - - - -	p. 8
Mot du directeur - - - - -	p. 9
Challenge de la topographie - - - - -	p. 10
Conférence sur le « Mystère BIM » - - - - -	p. 11
Ordre de passage des PFE - - - - -	p. 13
Résumés des PFE - - - - -	p. 21



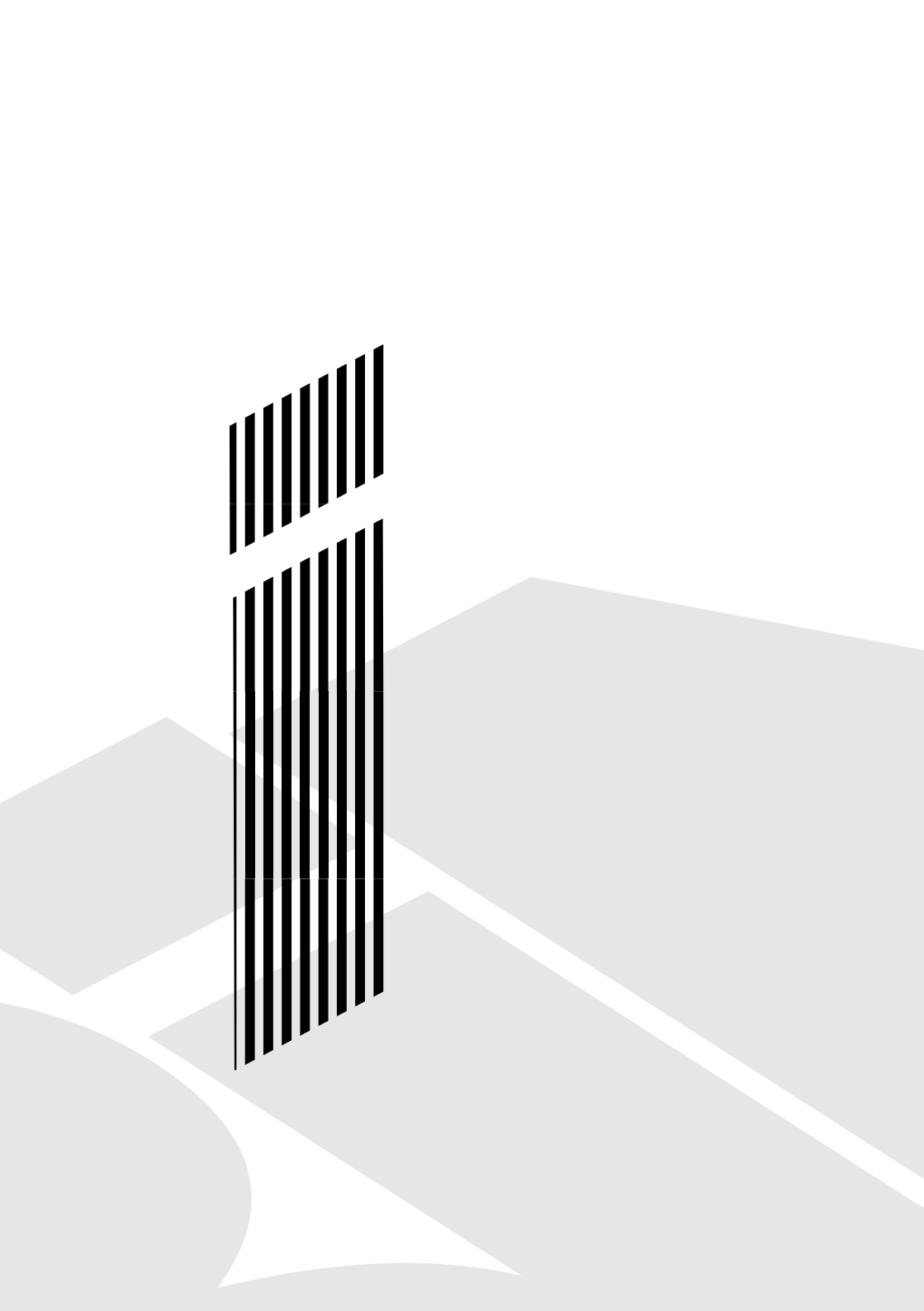
≡ Présentation

Depuis maintenant plusieurs années les Journées de la topographie (JDT) symbolisent le passage de flambeau entre les différentes promotions et l'aboutissement du cycle d'études d'ingénieur pour les futurs diplômés. Organisé autour des soutenances de Projets de fin d'études (PFE), cet événement est source de rencontres entre professionnels et amateurs de la topographie. SIG, BIM, géodésie, photogrammétrie, lasergrammétrie, GNSS: la diversité des sujets de thèse abordés en cette occasion suscitera votre intérêt et saura assouvir votre curiosité.

L'Ordre des géomètres-experts, partenaire privilégié, ainsi que l'Association française de Topographie seront présents lors de ce temps fort.

Cette année le thème du BIM (*Building Information Modeling*) sera le fil conducteur de ces trois jours d'échange et de partage. Mais qu'est-ce que le BIM? Quelles en sont les composantes? Comment le topographe peut-il jouer un rôle dans cette démarche?

La conférence ainsi que le challenge de la topographie perceront le mystère qui entoure le BIM en vous apportant réponses et précisions autour de cette nouvelle facette du métier.



Programme

MERCREDI 23 SEPTEMBRE

8 h

Accueil

8 h 30 - 11 h 30 et 14 h - 17 h

Soutenances de Projets de fin d'études (PFE)

JEUDI 24 SEPTEMBRE

8 h

Accueil

8 h 30 - 11 h 30

Soutenances de PFE

14 h 30 - 16 h 30

Challenge de la topographie

16 h 30

Présentation de l'Association française de topographie (AFT) et de son prix

17 h 30

Conseil de l'AFT

VENDREDI 25 SEPTEMBRE

8 h

Accueil

8 h 30 - 11 h 30

Soutenances de PFE

14 h - 15 h 30

Présentation de l'Ordre des géomètres-experts (OGE)

15 h 30 - 17 h 30

Conférence sur le « Mystère BIM »

17 h 30

Annnonce des résultats

18 h 30

Verre de l'amitié

≡ Mot de la déléguée de classe

Nous y voilà! Cette année 2015 marque pour notre promotion la fin du cycle de nos études et le début d'un autre: la vie active. Ces trois années d'apprentissage des théories et des pratiques de la topographie nous ont apporté les bases pour intégrer le monde professionnel. Elles ont été rythmées par différentes expériences, stages, projets et sont conclues par les désormais célèbres Journées de la topographie. En ces temps qui peuvent parfois paraître précaires, nous espérons pouvoir apporter un élan de fraîcheur, guidés par un dynamisme et une curiosité sans borne. Nous sommes persuadés que le partage de connaissances et de savoir-faire entre les différentes disciplines de la topographie permet de répondre aux enjeux économiques et techniques d'aujourd'hui. Notre génération incarne également la mobilité, plus importante que jamais, dans un contexte mondialisé qui voit l'émergence de nouvelles puissances et de nouveaux acteurs économiques. Nous sommes aujourd'hui conscients de tous ces enjeux et considérons, grâce à l'INSA, être tout à fait disposés à évoluer dans ce contexte. Faire partie du Groupe INSA est une chance pour valoriser notre formation.

Je pense pouvoir dire, au nom de mes amis et camarades, que nous abordons ce nouveau cycle avec envie, curiosité et impatience. Je souhaite également, au nom de tous, remercier les membres du comité d'organisation de la promotion 2016 qui vivront ces journées l'an prochain et les enseignants pour leur aide précieuse.

Pour finir, je vous souhaite de très belles Journées de la topographie.

≡ Mot du directeur

Moment clé de la formation des ingénieurs topographes de l'INSA de Strasbourg, les Journées de la topographie reviennent en force du 23 au 25 septembre 2015, dans leur 12^e édition. Organisées par les élèves ingénieurs, elles donnent notamment lieu à un rendez-vous inédit d'étudiants et de professionnels à l'occasion d'un « Challenge de la topographie » au cours duquel s'affrontent amicalement des équipes mixtes pour répondre à une problématique importante, certes tenue secrète jusqu'au moment de la compétition, mais qui sera probablement en lien avec le BIM. En effet, le *Building Information Modeling* sera au cœur des débats tout au long de ces journées. Enfin, de nombreux sujets d'actualité sont également traités dans le cadre des soutenances de projets de fin d'études de nos futurs diplômés.

Aussi, en tant que directeur de l'INSA de Strasbourg, je ne peux que me réjouir de ce rendez-vous marquant de la communauté des topographes. Grâce au partenariat avec l'Ordre des géomètres experts et l'Association française de topographie ainsi qu'à l'aide apportée par les professeurs de l'INSA, nos élèves ingénieurs ont à nouveau su relever le défi de l'organisation des JDT à la grande satisfaction de tous.

Je tiens enfin à remercier tous les acteurs à savoir les étudiants, l'équipe pédagogique et technique qui les encadre, ainsi que les professionnels qui leur font confiance, pour leur engagement au service d'une profession dynamique qui marque l'une des spécificités de notre établissement.

Challenge de la topographie

JEUDI 24 SEPTEMBRE DE 14 H 30 À 16 H 30
SALLE DE TOPOGRAPHIE

Le Challenge de la topographie conservera tout son suspense jusqu'au dernier instant.

Mais si nous devons donner quelques indices, sachez qu'il vous faudra faire preuve d'inventivité et utiliser tout votre savoir pour venir à bout de ce défi.

Pour rester dans le thème de ces journées, pas de mystère, il y aura du BIM.

La précédente édition des JDT a permis de mettre en place cette animation qui se veut un moment de réflexion, d'esprit d'équipe et de *fair play* sur un sujet de topographie...

Nous vous invitons à nous rejoindre pour vivre ce moment de partage. Ne soyez pas timides, et...

Laissez-vous prendre au jeu !

≡ **Conférence** **sur le « Mystère BIM »**

VENDREDI 25 SEPTEMBRE DE 15H 30 À 17H 30
AMPHITHÉÂTRE DE DIETRICH

Le BIM est sur toutes les lèvres. Le monde du bâtiment frémit à l'évocation de ces trois lettres dont la consonance trahit l'origine anglo-saxonne: *Building Information Modeling*, parfois francisé en « Bâti et informations modélisés ». Des réunions fleurissent pour nous expliquer de quoi il retourne, et en quoi cette technique va révolutionner notre façon de travailler. Mais au fait, de quoi s'agit-il vraiment ?

Les conférences organisées proposent plusieurs approches du sujet: nous aurons ainsi le point de vue du constructeur, de l'architecte et des géomètres, qui nous aideront à comprendre les différentes problématiques et solutions engendrées par le BIM, et cerner les relations existant entre tous ces acteurs.

De la plus généraliste à la plus technique, ces conférences vont contribuer à lever le mystère sur le BIM!



≡ Ordre de passage des PFE

MERCREDI 23 SEPTEMBRE

JURY 1

8 h 30 • Automatisation de chrono-analyses de grues de chantier par fusion de données hétérogènes • p. 23

- Étudiant : GOUJON Guillaume
- Entreprises : Pertuy construction/INSA Strasbourg
- Correcteurs : KOEHL Mathieu, ALBY Emmanuel

9 h 30 • Système d'information géographique pour la gestion de scènes de crime ou d'infraction • p. 27

- Étudiant : DAUDIGNY Hervé
- Entreprise : INSA Strasbourg
- Correcteurs : ALBY Emmanuel, KOEHL Mathieu

10 h 30 • Méthodes de cartographie de suivi de la consommation du sol agricole dans le Grand Genève • p. 31

- Étudiante : HALLÉ Marie-Laure
- Entreprise : Service de la mensuration officielle, Genève
- Correcteur : KOEHL Mathieu

14 h • Photogrammétrie et modélisation 3D par images drones • p. 35

- Étudiant : DUDKA Thibaut
- Entreprise : TPLM-3D
- Correcteurs : GRUSSENMEYER Pierre, KOEHL Mathieu

15 h • Valorisation des données acquises par drone sur le réseau ferré national • p. 39

- Étudiant : PEREIRA André
- Entreprise : SNCF
- Correcteurs : GRUSSENMEYER Pierre, KOEHL Mathieu

16 h • Modalités de représentation en 3D de données issues du SIG2D, pour la conception et la simulation • p. 43

- Étudiant : JEST Olivier
- Entreprise : Eurométropole de Strasbourg
- Correcteur : KOEHL Mathieu

MERCREDI 23 SEPTEMBRE (suite)

JURY 2

8 h30 • Détermination de la structure et de la biomasse combustible à partir de nuages de points acquis par un LiDAR terrestre • p. 47

- Étudiante : BORNUAT Élise
- Entreprise : Institut national de la recherche agronomique
- Correctrice : LANDES Tania

9 h30 • Intégration de caméras dans un système de lasergrammétrie mobile IGI SAM et optimisation des processus de traitement • p. 51

- Étudiant : ALLORANT Pierrick
- Entreprise : HELIMAP SYSTEM SA
- Correcteur : GRUSSENMEYER Pierre

10 h30 • Développement des activités d'une société de géomètre expert vers la conceptualisation de données de bâtiment en maquette numérique BIM • p. 55

- Étudiant : DUBREUIL Vincent
- Entreprise : MAGEO
- Correctrice : LANDES Tania

14 h • Étude de la qualité des données issues de relevés photogrammétriques par drones • p. 59

- Étudiant : BERSON Arnaud
- Entreprise : REDBIRD
- Correcteur : ALBY Emmanuel

15 h • Reconstruction d'arbres en milieu urbain à partir de nuages de points • p. 63

- Étudiante : BOURNEZ Elena
- Entreprise : ICube/INSA Strasbourg
- Correcteur : ALBY Emmanuel

16 h • Évolution des processus des prestations architecturales d'une société de GE vers la modélisation des données du bâtiment - BIM • p. 67

- Étudiante : GRAFFIN Violaine
- Entreprise : Cabinet Renfer & Venant
- Correcteur : ALBY Emmanuel

MERCREDI 23 SEPTEMBRE (suite)

JURY 3

8 h 30 • Évaluation des performances de capteurs topographiques pour la mesure de déformation • p. 71

- Étudiant : ASSÉMAT Julien
- Entreprise : Géosciences Rennes
- Correcteur : FERHAT Gilbert

9 h 30 • Audit des chantiers Cyclops et amélioration des calculs des moindres carrés • p. 75

- Étudiante : AUTIN Juliette
- Entreprise : SOLDATA
- Correcteur : FERHAT Gilbert

10 h 30 • Géodésie multi-technique pour la surveillance haute fréquence de mouvements de terrain • p. 79

- Étudiant : BOETZLÉ Pierre
- Entreprise : OMIV-EOST
- Correcteur : FERHAT Gilbert

14 h • Compensation et design de grands réseaux lasergrammétriques d'intérieurs industriels • p. 83

- Étudiant : CLEDAT Emmanuel
- Entreprise : EDF
- Correcteur : FERHAT Gilbert

15 h • Lasergrammétrie sous-marine : quel apport pour les métrologies et l'exploration production ? • p. 87

- Étudiant : MOREL Yann
- Entreprise : TOTAL
- Correcteur : FERHAT Gilbert

16 h • Méthodes de calcul GNSS cinématique précis • p. 91

- Étudiante : CADIEU Claire
- Entreprise : FUGRO Geoid SAS
- Correcteur : LEDIG Jacques

JEUDI 24 SEPTEMBRE

JURY 1

8 h 30 • Conception d'un outil de calcul et d'optimisation d'itinéraires de convois exceptionnels à l'aide d'un système d'information géographique • p. 95

- Étudiant: BOUDHAIM Marouane
- Entreprises: Transport Europe Services/INSA Strasbourg
- Correcteurs: LEDIG Jacques, KOEHL Mathieu

9 h 30 • Conception de processus visant à améliorer le géoréférencement de données coproduites sur des plateformes de partages - appliqué à la thématique voirie/adresse • p. 99

- Étudiant: MALAN Benjamin
- Entreprise: Région Alsace - Service de l'information géographique, statistique et cartographique
- Correcteur: KOEHL Mathieu

10 h 30 • Utilisation des spécifications techniques INSPIRE Annexes I, II & III pour guider l'évaluation de la qualité de bases de données géographiques • p. 103

- Étudiante: PERRIN Justine
- Entreprise: SIRS
- Correcteur: KOEHL Mathieu

JURY 2

8 h 30 • Développement d'une approche automatisée pour rectifier verticalement des photos obliques et pour déterminer la présence de glace sur l'océan à proximité d'infrastructures maritimes • p. 107

- Étudiant: LATAPIE Romain
- Entreprise: INRS
- Correcteur: GRUSSENMEYER Pierre

9 h 30 • Mise en œuvre d'une méthode de monoplotting dans 3D Reshaper • p. 111

- Étudiante: BATTAGLIA Catherine
- Entreprise: TECHNODIGIT
- Correcteurs: GRUSSENMEYER Pierre, ALBY Emmanuel

10 h 30 • Suivi géomorphologique du chenal artificiel du Bauerngrundwasser par combinaison de méthodes d'imagerie terrestres et aériennes • p. 115

- Étudiant: SUPPER Étienne
- Entreprise: Live/INSA Strasbourg
- Correcteur: GRUSSENMEYER Pierre

JEUDI 24 SEPTEMBRE (suite)

JURY 3

8 h 30 • Étude et implémentation d'une méthode de détection des changements dans des séries temporelles d'images satellites optiques

- Étudiante: RUIZ Mai-Linh
- Entreprise: SERTIT
- Correctrice: LANDES Tania

9 h 30 • Suivi de l'enneigement saisonnier sur un site de haute altitude par balayage laser terrestre • p. 119

- Étudiant: RICHARD Aymeric
- Entreprise: Centre national de Recherche météorologique
- Correctrice: LANDES Tania

10 h 30 • Qualification de la précision de données topographiques issues d'acquisitions par méthode scanner laser dynamique ferroporté • p. 123

- Étudiante: JACQUIN Audrey
- Entreprise: SNCF
- Correcteurs: FERHAT Gilbert, LANDES Tania

VENDREDI 25 SEPTEMBRE

JURY 1

8h30 • Enrichissement des géodonnées spatio-temporelles de référence de la direction de la mensuration officielle à partir des archives existantes, des données en projet et de la 3D • p. 127

- Étudiant : ROUSSEL Félix
- Entreprise : Arxit
- Correcteur : KOEHL Mathieu

9h30 • Étude technico-économique de la gestion de la végétation à partir d'outils topographiques dans le domaine des lignes électriques aériennes à très haute tension • p. 131

- Étudiant : VOGLIMACCI Laurent
- Entreprise : Entreprise d'électricité et d'équipement
- Correcteur : KOEHL Mathieu

10h30 • Analyse de l'évolution des performances des missions altimétriques pour le suivi des niveaux d'eau dans les bassins de la Garonne et du Mékong • p. 135

- Étudiante : LELEU Anne-Sophie
- Entreprise : GHOS LEGOS
- Correctrice : LANDES Tania

JURY 2

8h30 • Exploration des capacités d'une caméra 3D temps de vol • p. 139

- Étudiante : LABBE Marion
- Entreprise : CEREMA
- Correcteur : GRUSSENMEYER Pierre

9h30 • Apport de l'information radiométrique à la segmentation et à l'extraction de contours à partir de nuages de points • p. 143

- Étudiante : ROY Marion
- Entreprise : INSA Strasbourg
- Correcteur : ALBY Emmanuel

10h30 • Mise en œuvre d'un processus global de gestion technique d'informations géographiques d'urbanisme en vue de la production d'une simulation d'aide à la décision concernant le potentiel d'urbanisation d'une commune • p. 147

- Étudiant : TEUMA Rémi
- Entreprise : Métropole Nice Côte d'Azur
- Correcteur : ALBY Emmanuel

VENDREDI 25 SEPTEMBRE (suite)

JURY 3

8 h 30 • Mesure des mâts réacteurs A320neo-PW au sein d'Airbus Opérations SAS. Étude de faisabilité de la mesure en salle automatisée 3D • p. 151

- Étudiant: FARIGOULE Laurent
- Entreprise: AIRBUS
- Correcteur: LEDIG Jacques

9 h 30 • Validation des performances et des fonctionnalités d'un produit GNSS topographique de type smart antenna et développement d'un accessoire innovant de levé de points déportés • p. 155

- Étudiant: BAHNA Amir
- Entreprise: Trimble
- Correcteur: FERHAT Gilbert

10 h 30 • Étude de processus de création de modèles BIM à partir d'acquisition de nuages de points • p. 159

- Étudiant: PERDREAU Robin
- Entreprise: FIT Conseil
- Correcteur: LEDIG Jacques

Projets de fin d'études soutenus au mois d'avril et juin 2015

***Gleismonitoring mittels Laserscanning-Verfahren
Eine Machbarkeitsstudie am Beispiel Stuttgart 21*** • p. 163

- Étudiant: DE TURCKHEIM Thaïs
- Entreprise: Karlsruher Institut für Technologie Intermetric GmbH

**Évaluation de la technologie des caméras 3D (Kinect 2)
pour la mesure et la reconstruction d'objets
à courte portée** • p. 167

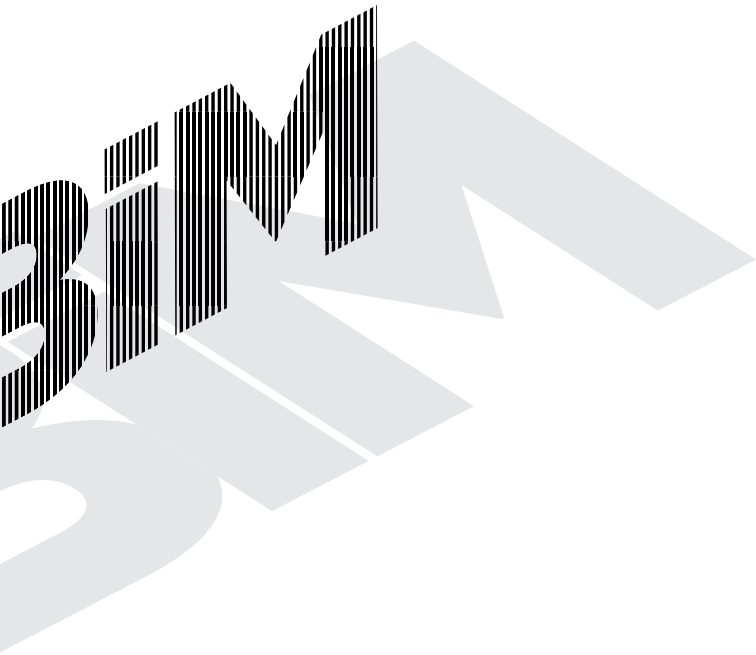
- Étudiante: LACHAT Élise
- Entreprise: Laboratoire ICube, INSA groupe PAGE

**Procédure d'extraction d'objets urbains
à partir d'un nuage de points terrestre** • p. 171

- Étudiant: BLANC Corentin
- Entreprise: FIT Conseil

**Mise en place d'une application partagée de saisie
des opérations sur les rivières** • p. 175

- Étudiante: SIMERAY Léa
- Entreprise: Conseil départemental du Haut-Rhin



/// **Résumés des PFE**

Automatisation de chrono-analyses de grues de chantier par fusion de données hétérogènes

PFE présenté par : **Guillaume Goujon**
Société d'accueil : **Pertuy Construction**
Directeur de PFE : **Denis Jung**
Correcteurs : **Mathieu Koehl**
Emmanuel Alby



1. Introduction

Les grues de chantier sont indispensables dans le domaine de la construction. Elles sont précieuses dans la manutention de charges importantes, qui serait impossible sans leur utilisation. Dans l'optique d'améliorer la productivité sur le chantier, des campagnes de chrono-analyses pour les grues de chantier sont régulièrement effectuées par Pertuy Construction. Celles-ci ont pour but d'analyser les différentes tâches effectuées par la grue ainsi que le temps mis pour réaliser chaque opération. On peut alors distinguer deux points au sein du procédé de chrono-analyse : le chronométrage de chaque activité de la grue et leur identification, c'est-à-dire le type d'objet qui est mis en œuvre. Une chrono-analyse permet également d'avoir connaissance des temps d'inactivité de la grue, temps qui pourraient être utilisés pour d'autres tâches. Ceci nous amène directement à l'objectif final d'une chrono-analyse, qui est d'optimiser l'activité de la grue grâce à l'analyse de ces résultats. En plus de cet objectif, elle peut être planifiée en vue de trouver une explication à un problème sur le chantier (retard, erreur...), ou encore, dans l'optique d'obtenir un retour d'expérience sur l'utilisation de nouvelles techniques ou nouveaux matériaux.

A l'heure actuelle, ces campagnes sont réalisées manuellement, par les soins d'un opérateur qui note, toutes les deux minutes, l'activité de la grue. Cette opération, réalisée sur le chantier, est ensuite analysée de façon à estimer la productivité actuelle et à envisager sa possible amélioration. La chrono-analyse a donc tout son sens dans le but d'accroître le rendement sur le chantier. En effet, ce point est au cœur de toutes les recherches développées au sein des entreprises. Mais la chrono-analyse, permettant dans notre cas d'étudier la question du rendement, nécessite la présence d'un opérateur sur place, afin de noter l'activité de la grue tout au long de la durée de la campagne d'observations planifiée.

L'idée de rendre automatiques les campagnes de chrono-analyses découle de l'automatisation présente déjà dans diverses applications. C'est dans l'optique de répondre à cette problématique qu'une collaboration est née entre le groupe Pertuy Construction et l'INSA de Strasbourg sur ce sujet. Ce projet a débuté en 2014 avec un premier PFE réalisé par Charron (2014) au cours duquel une application a été développée, et qui a servi de base à ce PFE. L'interface de cette application est présentée dans la figure 1 ci-dessous.

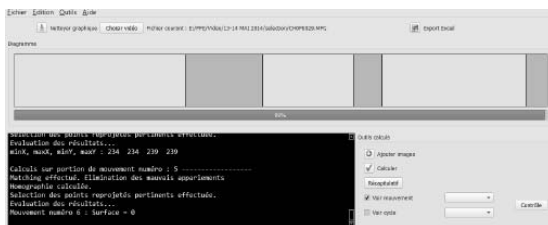


Figure 1 : Interface de l'application

2. Objectifs et moyens

L'objectif prioritaire fixé par l'entreprise a été de fournir une application opérationnelle la plus fiable possible, en améliorant l'application existante. Quelques contraintes ont été imposées concernant le développement de l'application. L'utilisation de celle-ci doit être la plus simple et la plus automatisée possible, de façon à limiter l'intervention de l'utilisateur. L'entreprise a également une certaine organisation des fichiers et des résultats de chrono-analyse qu'il convient de respecter. De plus, un traitement en temps réel était souhaité à l'origine du projet, mais cette idée est mise de côté pour le moment pour des raisons techniques. En revanche, il a été demandé de pouvoir traiter au minimum une journée entière de travail.

Pour répondre à ces attentes, divers éléments sont à notre disposition. Tout d'abord, l'application développée par Charron (2014). Il s'agit d'une application de traitement d'images à partir de vidéos. En effet, une caméra est placée au dessus du crochet de la grue, au niveau du chariot, offrant ainsi une vue de dessus de l'objet en charge. Cette configuration est illustrée dans la figure 2 ci-dessous. En dehors des vidéos, un nouveau type de données est fourni pour cette étude. Il s'agit notamment de données de masse et d'orientation de la grue qui sont mesurées par un « data logger ».

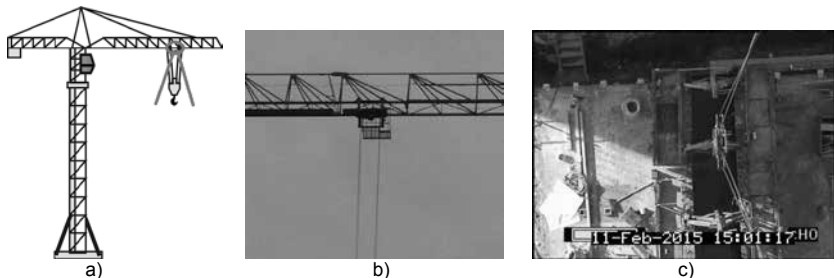


Figure 2 : a) Position de la caméra sur la grue b) Chariot portant la caméra c) Image extraite d'une vidéo acquise par la caméra

L'application a été développée dans le langage de programmation C++ avec les outils suivants :

- « Qt Creator » comme environnement de programmation C++ permettant la création assez simple d'interfaces graphiques et l'utilisation combinée d'OpenCV.
- « OpenCV » qui est une bibliothèque graphique libre pour le traitement d'images.

3. Développement de l'application

Une grande partie du travail a été d'analyser en détail la version précédente de l'application et d'en identifier les points à améliorer. La nouvelle version utilise comme données d'entrée un fichier vidéo et un fichier .csv contenant les données de masse et d'orientation enregistrées par le « data logger ». Le résultat de chrono-analyses est fourni sous forme d'un fichier .csv. Deux grandes étapes de traitement se distinguent, comme illustrées dans la figure 3.

Détection des débuts et fins de cycles : Il s'agit du choix temporel du début et de la fin de chaque cycle. Un cycle débute à l'accrochage d'un objet et se termine au décrochage de celui-ci. Cette première étape se déroule elle-même en deux parties :

- *Détermination des périodes de mouvement et d'arrêt par traitement d'images.*
Une fois déterminées, les périodes inférieures à quinze secondes sont vérifiées avec les données d'orientation afin de s'assurer qu'il s'agisse bien d'un mouvement ou d'un arrêt. En effet, il peut y avoir de fausses déterminations de mouvement à cause de tremblements du crochet de la grue par exemple.
- *Définition des cycles.*

Pour cela, il faut distinguer les périodes de manutention et les périodes à vide grâce aux données de masse. Pour la définition des cycles, il est nécessaire de savoir ce qui se passe au sein de chaque période (chargement, déchargement, vol chargé ou à vide...). Ainsi, à partir d'une analyse de masses des périodes au regard les unes des autres, une étiquette sous forme de code est attribuée à chaque période afin de savoir ce qu'il s'y passe. Les débuts et fins des cycles peuvent alors être définis à partir des étiquettes en sachant qu'un cycle débute par un chargement et se termine par un déchargement. Plusieurs cas particuliers ont dû être pris en compte. Les périodes de mouvements à vide sont appelées « Hors Cycle ».

Identification des cycles : Une fois les cycles bien délimités, il s'agit de déterminer quel type d'objet est pris en charge par la grue au cours de ceux-ci. Cette détermination se fait par le biais d'une classification supervisée. Pour cela, une base de données est établie avec des images caractérisant chaque classe. Six classes sont considérées dans cette étude. Des images extraites au cours des cycles sont alors comparées aux images de la base de données. Enfin, un classifieur SVM prend la décision de la classe à laquelle appartiennent les cycles, décision prise à partir de caractéristiques de forme et de couleur.

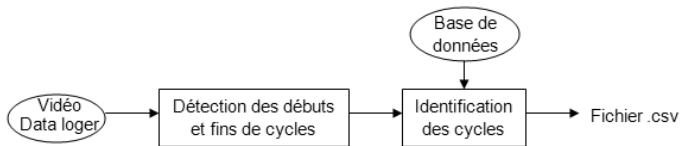


Figure 3 : Schéma de fonctionnement de l'application

Ainsi, à ce stade, un résultat complet de chrono-analyse est fourni, à savoir les activités de la grue sont identifiées et chronométrées. Il est également offert à l'utilisateur la possibilité de contrôler et corriger la classe de cycle déterminée par l'application. Pour cela, une information sur la masse en charge au cours du cycle est fournie dans le fichier de résultat ainsi qu'une image extraite de la vidéo. Cette image permet un contrôle visuel rapide de la classe du cycle en question.

Pour la partie « Identification des cycles », il était également question d'étudier l'apport potentiel de caractéristiques tridimensionnelles des objets en charge. Pour cela, un traitement photogrammétrique se présente comme une évidence puisqu'il est possible d'extraire des images à partir des vidéos. Il faut néanmoins obtenir des images offrant différents points de vue de l'objet afin de pouvoir construire un nuage de points par photogrammétrie. C'est ici que se trouve la plus grande difficulté puisque la caméra n'offre qu'une vue au dessus de l'objet et le suit continuellement. La sélection des images est faite, pour le moment, manuellement afin d'offrir le plus de chances de réussite lors des premiers tests. Les images les plus intéressantes, offrant les différents points de vue souhaités, s'avèrent être au moment où la grue s'approche de l'objet pour l'accrocher ou lorsqu'elle s'en éloigne après l'avoir déposé. Après avoir obtenu un nuage de points à partir de ces images, une mise à l'échelle est effectuée à partir de dimensions données par le constructeur du matériel.

Les tests effectués ont donné des écarts planimétriques satisfaisants, de l'ordre de quelques centimètres, ce qui peut suffire pour discriminer certains objets. En revanche, des problèmes importants interviennent au niveau altimétrique avec des écarts de plusieurs mètres. Ceci est contraignant puisque la hauteur des objets ne peut pas être déterminée, et permet difficilement de les différencier. En effet, il s'agit de la dimension la plus importante pour la distinction des objets. Il apparait donc que la configuration actuelle, avec une caméra positionnée au dessus de l'objet ne semble pas adéquate pour la photogrammétrie. L'utilisation d'une deuxième caméra placée sur la tour de la grue, comme illustrée dans la figure 4, pourrait permettre d'avoir des vues de côtés de l'objet et ainsi construire un meilleur modèle d'un point de vue altimétrique.

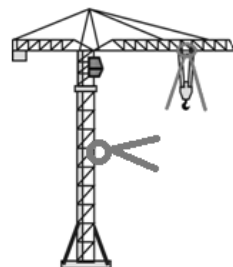


Figure 4 : Configuration envisagée

4. Conclusion et perspectives

Malgré la difficulté de reprendre le développement d'une application réalisée par une autre personne, celle-ci a bel et bien été améliorée. En effet, les nouvelles données issues du « data logger » ont apporté un plus pour la détermination des débuts et fins de cycles qui peut dorénavant être faite plus finement. L'application développée fournit de réelles satisfactions :

- Traitement d'une journée entière possible.
- Traitement entièrement automatisé. Seules quelques étapes préalables sont nécessaires pour préparer les fichiers.
- Gain de temps de traitement par rapport à la version précédente
- Gain de temps également par rapport au traitement manuel. (1h20min de traitement pour 3h51min de vidéo par exemple)
- 85% de succès pour la détection des débuts et fins de cycles. Les oublis sont causés, en général, par des masses trop faibles. Les périodes en question sont alors considérées comme étant à vide.
- 64% de succès pour l'identification des cycles.
- Mais les classes identifiées pour chaque cycle peuvent être corrigées rapidement grâce aux images extraites. Ainsi un résultat correct est obtenu. La forme du résultat est présentée dans la figure 5 ci-dessous.



Figure 5 : Forme du résultat

A la vue de ces différents points, nous pouvons dire que l'application remplit la majeure partie de ses objectifs. En effet, elle fournit un résultat fiable et sans intervention de la part de l'utilisateur mis à part au début pour la préparation des fichiers de données en entrée et à la fin pour la correction des classes attribuées aux cycles.

La partie « Identification des cycles » reste le point auquel il faudrait apporter des améliorations si l'automatisation totale, sans aucune intervention de l'utilisateur, est souhaitée. Dans cette optique, l'utilisation de caractéristiques tridimensionnelles semble être liée à un changement de configuration avec l'ajout d'une deuxième caméra, même si ceci ne présente aucune certitude à l'heure actuelle. En revanche, des critères statistiques, tels que la durée des cycles ou la masse, pourraient permettre d'éliminer certaines classes et limiter ainsi le nombre de classes lors de la classification.

Système d'information géographique pour la gestion de scènes de crime ou d'infraction



PFE présenté par : **Hervé Daudigny**
Société d'accueil : **IRCGN,**
Gendarmerie Nationale
Laboratoire ICUBE,
INSA de Strasbourg
Directeur de PFE : **M. KOEHL Mathieu**
Correcteurs : **M. ALBY Emmanuel**
M. KOEHL Mathieu



1. Contexte de l'étude

Ce projet de fin d'étude a été réalisé au sein du laboratoire de recherche ICUBE de l'INSA de Strasbourg. Le sujet a été proposé par l'Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale (IRCGN). Il a été initié suite à un constat récurrent sur scène de crime ou d'infraction réelle : certains traitements de l'information sur site et *a posteriori* sont complexes, voire impossibles à réaliser avec les méthodologies actuelles. En effet, lorsqu'une scène d'infraction complexe doit faire l'objet d'investigations *in situ*, celle-ci implique une collecte, une intégration, un traitement et une diffusion des informations afférentes. En gendarmerie, l'outil informatique est actuellement très peu utilisé dans ce cadre, ce qui complique les actions à réaliser. En corollaire direct, le rythme judiciaire peut en être ralenti. Par conséquent, une solution informatique, à disposition des différents échelons de la chaîne judiciaire et criminalistique, doit être mise en place.

2. Enjeux

Une scène de crime ou d'infraction est constituée d'un ou plusieurs lieux de commission des faits : c'est la qualification judiciaire des faits qui détermine s'il s'agit d'une scène criminelle ou délictuelle. Une scène d'infraction peut également s'étendre, en terme criminalistique, aux accidents aériens, ferroviaires, maritimes et terrestres. Qu'il s'agisse d'une scène de crime ou d'infraction, ces dernières contiennent des vestiges de l'action passée.

Les opérations de fixation de l'état de la scène de crime ou d'infraction sont d'une importance cruciale. En effet, un défaut de constatations peut constituer un manque grave pouvant aller jusqu'à la non résolution de l'affaire. Les caractéristiques des éléments en présence doivent être collectées et enregistrées (positionnement, nature, etc.). En particulier, la localisation des traces revêt un caractère fondamental.

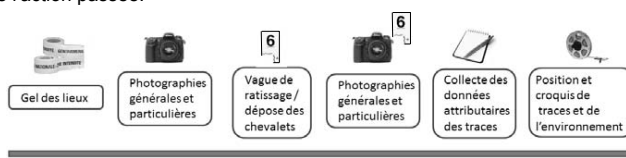


Figure 1 : Etapes de la fixation de l'état des lieux

Les caractéristiques des éléments en présence doivent être collectées et enregistrées (positionnement, nature, etc.). En particulier, la localisation des traces revêt un caractère fondamental.

3. Problématique

Il s'agit de mettre en place un système d'information géographique (SIG) à l'aide de données multi-sources, disponibles au sein de la chaîne judiciaire et criminalistique.

La collecte : La procédure actuelle pour la saisie d'informations sur scène de crime passe par le format papier. En gendarmerie, il n'existe pas de systèmes permettant de s'affranchir de la collecte des données sous cette forme. Un décalage apparaît ici entre la forme initiale de la collecte et la procédure judiciaire qui est systématiquement informatisée. La saisie papier puis la retranscription

sous forme numérique pose un triple problème. Premièrement, le temps de travail des techniciens et des experts est doublé sur cette phase. Deuxièmement, et en corollaire direct, la mise à disposition des informations intervient plus tard dans le temps judiciaire. Troisièmement, cette double opération est génératrice d'erreurs difficiles à détecter et à corriger. Il est donc nécessaire de faire évoluer les méthodologies de collecte.

L'aide à la gestion sur scène : Les opérateurs, notamment sur des scènes complexes, ne s'entourent pas, sur site, d'aide informatique pour guider leurs actions : recherche de zones de prélèvements, priorisation des analyses, etc. A l'aide d'un outil adapté, ces opérations pourraient donc gagner en efficacité.

L'aide à la compréhension : Malgré l'informatisation des pièces de procédure, l'analyse de la scène et sa compréhension ne sont pas triviales. En effet, à l'issue de la phase d'analyse des prélèvements, les informations traitées sont retranscrites dans différents rapports et/ou expertises qu'il faut regrouper et traiter. De plus, les analyses sont souvent réalisées par domaine criminalistique. Le spectre de l'hyperspécialisation des experts, conduisant à un cloisonnement des informations, et donc à un potentiel ralentissement du rythme judiciaire, se dessine. La mise en place d'un SIG permettrait de pallier ces problèmes.

4. Etat de l'art

Afin de constater si des solutions informatiques existantes pouvaient être prises en compte, un état de l'art a été réalisé. Une recherche des solutions SIG adaptées à la scène de crime a été effectuée : il apparaît que ces solutions sont peu répandues. Aucune solution n'a été transposable en l'état. Afin de pouvoir apprécier l'intérêt du SIG en criminalistique, les solutions SIG présentes en archéologie, discipline jumelle, ont été étudiées, laissant présager une plus-value certaine. Une solution informatique doit être réalisée afin de permettre la résolution des problèmes cités au paragraphe 3. Ainsi, afin de ne pas implémenter une solution déjà codée, de nombreux algorithmes et solutions informatiques ont été recherchés et testés. Pour la collecte des données, le langage Java et des exemples adaptés au codage sous Android ont été étudiés. Pour les phases d'intégration, de traitement et de diffusion, des extensions développées pour le SIG libre QGIS ont été étudiées. Les solutions existantes retenues sont présentées dans le paragraphe 6.

5. Cadre de l'étude

Niveaux :	Utilisateurs potentiels	Compétence
Niveau 1	Magistrat Enquêteur	Visualisation des données Pas de traitement des données
Niveau 2	Technicien en identification criminelle	Visualisation des données Traitement élémentaire des données Utilisation du plugin Gendcad de QGIS Utilisation élémentaire de l'application Trace Export de la base de données Réalisation d'une jointure entre une couche Vecteur et une table avec QGIS Manipulation de la symbologie avec QGIS (unique, catégorisé, etc.) Export et visualisation des données
Niveau 3	Experts de l'IRCGN Coordinateur criminalistique Analyste criminel Certains directeurs d'enquête	Utilisation du plugin Gendcad Utilisation avancée de l'application Trace Export et mise à jour de la BDD Traitement des données de la BDD par requêtes Manipulation avancée de QGIS : traitements avancés des données Vecteur et Raster Gestion de l'affichage Export et visualisation des données

Figure 2 : Compétences des niveaux utilisateurs

Les utilisateurs potentiels sont divisés suivant 3 groupes. L'étape de visualisation commune à ces trois niveaux doit être accessible sans connexion internet et sans installation de logiciels. Dans un contexte économique contraint, et afin de développer une solution pertinente, le matériel informatique à disposition de ces utilisateurs a été étudié. Il s'agit d'unités fixes et portables fonctionnant sous Linux. Certains postes sous Windows demeurent toutefois. En 2016, des tablettes et smartphones sous Android seront également à disposition des unités.

6. Étapes préalables à la mise en place d'une méthodologie

Le choix de la solution SIG s'est appuyé sur quatre aspects : le projet ne dispose pas de financement propre (contrainte financière), le SIG choisi doit être validé par le STSI2, organisme central informatique de la gendarmerie (contrainte de déploiement), il doit être facile à prendre en main (contrainte de formation) et devra pouvoir être modifiable en fonction des besoins de la gendarmerie

(contrainte d'adaptabilité). En définitive, le choix de la solution SIG s'est tourné vers le logiciel libre QGIS répondant à ces quatre contraintes.

Avant de s'intéresser à la méthodologie à choisir, il a été nécessaire de structurer les données pour permettre la construction d'une base de données criminalistique (BDDC). Les indices ont dû être caractérisés. Cette catégorisation a été réalisée à l'aide de travaux universitaires et des avis des experts de l'IRCGN. Les liens entre ces indices ont été déterminés en réalisant un modèle logique de données. En raison de sa comptabilité avec Android et QGIS, le format SQLITE a été choisi pour la réalisation de la BDDC.

7. Méthodologie

Une méthodologie, suivant six étapes, a été définie : la **collecte**, l'**intégration**, la **mise à jour**, le **traitement**, la **diffusion** et la **visualisation** des données. Comme cela a été explicité au paragraphe 6, QGIS a été choisi comme colonne vertébrale du projet.

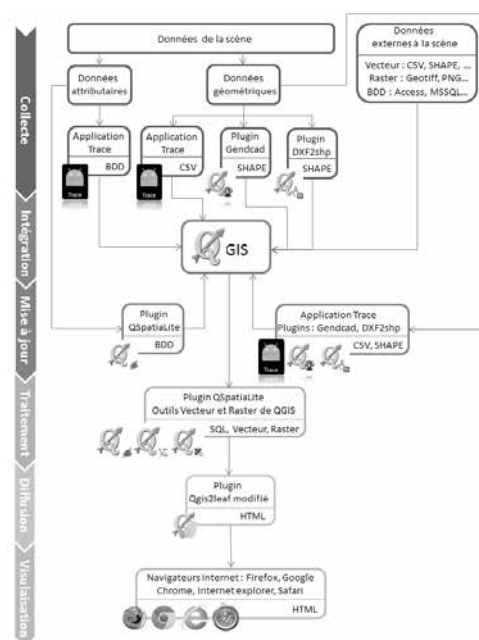


Figure 3 : Méthodologie générale du projet

Afin d'optimiser l'étape de **collecte**, deux applicatifs métiers ont été codés : l'application Android Trace et le plugin QGIS Gendcad. La collecte des données sur scène est désormais possible à l'aide de l'application Android Trace développée en langage Java à l'aide du logiciel gratuit Android Studio. Cette application permet la saisie des informations attributaires et géométriques directement sur scène. De plus, les capteurs du mobile (GPS, appareil photographique) peuvent être utilisés. Afin de pouvoir réaliser de croquis de scènes sur ordinateur fixe à l'aide de QGIS, le plugin QGIS Gendcad a été implémenté en langage Python. Il permet l'intégration des données collectées avec l'application Trace pour l'automatisation de la réalisation de croquis. Les étapes d'**intégration**, de **mise à jour** et de **traitement** des données se sont appuyées sur le plugin existant QSpatialite. Cette extension de QGIS permet la gestion et la réalisation de requêtes SQL sur la BDDC. Des outils de traitement de données Vecteur et Raster de QGIS ont été utilisés pour la réalisation de traitements complexes. Des données exogènes et endogènes peuvent être intégrées de manière complémentaire (à l'aide du plugin de QGIS DXF2shp

notamment). La **diffusion** des données a été traitée à l'aide du plugin Qgis2leaf : il permet d'exporter les calques de QGIS dans un format html lisible par un navigateur web. Son code a été modifié pour permettre la **visualisation** sans connexion internet.

8. Tests de la méthodologie

Différents tests ont été réalisés à partir de données fictives (simulation de Home Jacking, de scènes "balistique" ou "d'accident aérien") et réelles. Concernant la simulation de Home Jacking, l'analyse sur scène à l'aide de QGIS a guidé la détermination des zones de prélèvements et la priorisation des analyses. Les traitements effectués lors du retour des résultats d'analyse ont permis, en particulier, de déterminer le nombre de tirs minimum effectués, ainsi que les ADN présents. Les traitements ont aidé à la compréhension du déroulement de la scène et aiguillé les enquêteurs dans leurs actes d'enquête, tout comme pour les scènes fictives "balistique" et "d'accident aérien". Le plugin Gendcad a été testé en condition opérationnelle sur une scène réelle : il apparaît comme étant efficace notamment par

l'outil d'automatisation de création de point. L'application Trace a également été testée : elle est simple à mettre en œuvre.

9. Analyse des résultats

Les aspects informatiques ont pris une grande part du projet. Les difficultés d'apprentissage de langages informatiques inconnus (Python et Java) ont été nombreuses. Toutefois, sitôt cette barrière levée, les développements ont pu être réalisés dans le temps du projet.

Pour chacune des phases de l'étude, une solution opérante a été trouvée. Pour l'étape de **collecte**, les tests réalisés montrent que les deux applicatifs métiers développés sont conformes aux attentes. En effet, le Plugin QGIS Gendcad est opérationnel en l'état. Il permet de gagner la moitié du temps nécessaire pour la réalisation de croquis en comparaison avec la méthode actuellement utilisée au sein de la cellule d'investigation criminelle de Strasbourg. Les premiers retours de l'application Android Trace sont prometteurs : elle permet la collecte et l'export des données attributaires et géométriques. En outre, l'association du plugin Gendcad et de l'application Trace minimise les efforts et le temps par rapport aux méthodologies actuelles. L'**intégration** et la **mise à jour** des données dans QGIS sont facilitées par l'utilisation du format de la base de données SQLITE choisi. Cette méthodologie est donc applicable en l'état pour les CIC. Concernant l'aspect de **traitement** : les requêtes SQL et les outils de QGIS utilisés permettent d'échafauder des hypothèses. Des traitements avancés sont envisageables alors que ces derniers étaient impossibles avant le projet de fin d'étude. La **diffusion** et la **visualisation** des données sont facilitées. Le format html choisi rend la solution facilement utilisable même par des non spécialistes. Cette solution peut fonctionner en mode local : aucune connexion internet ni installation de logiciel ne sont requises.

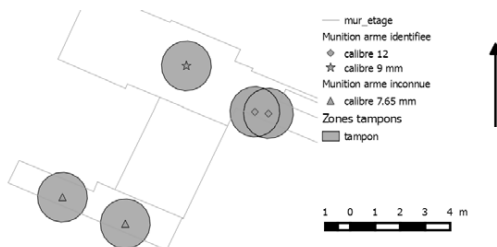


Figure 4 : Exemple de traitement avancé : Zones de tir représentées par des zones tampons

Les étapes pouvant être les plus soumises à amélioration sont la réalisation de croquis de scènes d'intérieur et la mise à jour des données. Malgré ces points à améliorer, il est à noter que la méthode permet la gestion des actions sur scène et une compréhension avancée lors du retour des résultats d'analyses. La méthodologie proposée permet un gain de temps de facteur 2 en comparaison avec les opérations effectuées actuellement.

10. Conclusion

L'objectif du projet de fin d'étude était la mise en place d'un système d'information géographique pour la gestion de la scène de crime ou d'infraction à destination des CIC, de l'IRCGN et de certains acteurs judiciaires. Les contraintes de ce projet étaient fortes et en particulier la contrainte financière. Premièrement, une solution gratuite, en termes de coût logiciel, a dû être trouvée. Deuxièmement, le système fourni devait suivre les préconisations du STS12 en vue d'un futur déploiement. Troisièmement, la solution choisie devait être la plus simple possible afin de pouvoir prendre en compte la problématique de la formation continue en gendarmerie. Quatrièmement, la solution devait être adaptée et adaptable aux besoins spécifiques de la gendarmerie et en particulier de la criminalistique.

Après l'analyse de résultats, il apparaît que la méthodologie proposée répond à ces objectifs. La solution est opérationnelle en l'état et permet la réalisation de nouveaux traitements. En outre, elle permet de gagner du temps (facteur 2) par rapport aux méthodologies actuelles. Facteur qu'il est possible d'améliorer avec l'expérience des utilisateurs notamment.

Les perspectives d'emploi touchent des domaines variés : les scènes d'explosion, les analyses informatiques de mobiles et de calculateurs véhicules, etc. Le domaine de la scène de crime ou d'infraction n'est pas le seul concerné. En effet, toutes les unités judiciaires traitent des données, et notamment le service central de renseignement criminel, sont des utilisateurs potentiels.

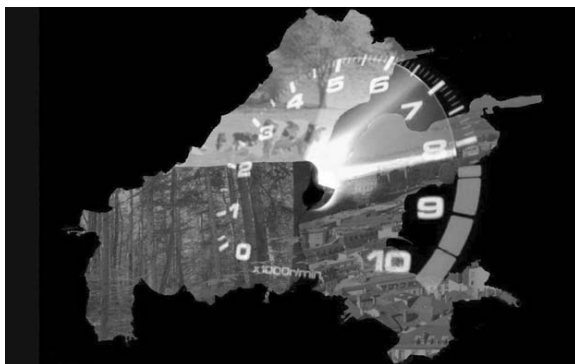


Méthode cartographique de suivi de la consommation du sol agricole dans le Grand Genève

PFE présenté par : **Marie-Laure HALLE**
Société d'accueil : **arx IT**
Directeur de PFE : **David BENI**
Correcteurs : **Mathieu KOEHL**



**“Protéger les espaces agricoles et les surfaces forestières”
Un objectif qui dépasse les frontières.**



1. Le contexte

Le Grand Genève est une agglomération transfrontalière dynamique et attractive. Elle regroupe le district de Nyon et le Canton de Genève, côté suisse, ainsi qu'une partie des départements de l'Ain et de la Haute-Savoie, côté français.

Les partenaires français, genevois et vaudois ont élaboré le projet d'agglomération franco-valdo-genevois – vision 2030 - afin d'offrir à la population une qualité de vie et un développement territorial équitable sur ce territoire. Ce projet préconise une agglomération multipolaire, compacte et verte. Multipolaire par sa répartition des gouvernances, compacte dans son urbanisation vers l'intérieur et verte, autant par l'accès au paysage que par le maintien des espaces agricoles.

Des outils ont été mis en place pour lutter contre la consommation de sol et les réserves mal maîtrisées, comme par exemple GeoAgglo, le portail cartographique des données de l'agglomération. Dans ce cadre, le projet consiste en la mise au point d'un outil cartographique transfrontalier. L'enjeu est le suivi des espaces agricoles consommés par l'artificialisation et la reforestation dans le Grand Genève. La problématique est de résoudre différentes questions relatives à la donnée telles que la disponibilité variable suivant les territoires, l'accès aux sources, la fréquence d'actualisation, l'harmonisation et le traitement.

Le projet s'inscrit en deuxième étape d'un processus orchestré par un groupe de travail sur la consommation de sol. L'étape précédente a permis de cerner les attentes des partenaires et de définir le besoin. Cette deuxième étape s'articule en trois missions.

Dans un premier temps, l'état de l'art de différentes méthodes inventorie les couvertures du sol, les cartographies et les types d'indicateurs existants chez les partenaires du Grand Genève.

Dans un second temps, le choix de méthodes répond aux objectifs. Ces méthodes sont testées et validées grâce à un prototype sur un périmètre test franco-suisse.

Dans un troisième temps, des recommandations visent à permettre l'application et la pérennisation de ces méthodes à l'ensemble du Grand Genève. La troisième étape du processus est la mise en place effective de ces méthodes.



2. Le besoin et inventaire des données, des méthodes

a. Les besoins techniques

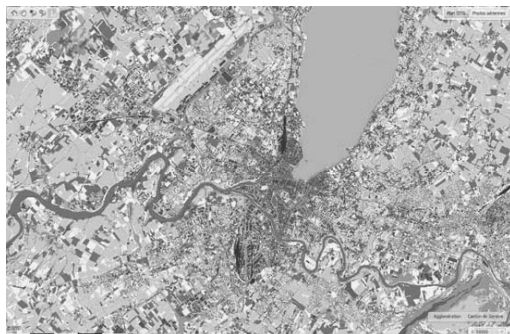
L'étude s'inscrit dans un projet plus global de monitoring et de maîtrise de l'aménagement du territoire dans le Grand Genève. Elle doit répondre aux attentes des différentes collectivités et des partenaires. Aussi le projet doit remplir différents critères :

- Il doit être un outil cartographique, accessible à l'ensemble des partenaires, et être homogène sur tout le territoire du Grand Genève.
- Il doit s'appuyer sur les données et méthodes existantes qui pourraient s'étendre dans le Grand Genève. Enfin la précision attendue est au niveau parcellaire et l'accès à la donnée doit être gratuit.

Les terminologies à considérer sont redéfinies pour tout le territoire :

Affectation	Attribution légale du sol	Ex : zone agricole, viticole
Utilisation	Décrit la 'fonction' <i>usuelle</i> du sol	Ex : espace cultivé SDA
Couverture	Ce qui est <i>effectivement</i> présent sur le sol à une date t	Ex : espace de culture de céréales
Consommation des sols agricoles	Passage de l'état du sol qui a été cultivable à l'état du sol construit ou réemployé en forêt	
Artificialisation	Passage de l'état du sol qui a été cultivable à l'état du sol construit	Ex : L'agriculteur X a vendu sa terre à un promoteur, elle sera construite
Reforestation – Renaturation	Passage de l'état du sol qui a été cultivable à l'état de réemploi en forêt ou milieu naturel	Ex : Un point d'urbanisme veut épaissir l'espace forestier entre les champs cultivés

b. L'inventaire des couvertures



Sur GeoAgglo, la couverture du sol (CCSA) est initiée en 2005 par la direction de la mensuration officielle (DMO). Elle s'appuie sur une acquisition Lidar et des images aériennes, complétée d'images satellites. Grâce à des traitements semi-automatisés et des interprétations photographiques, elle représente l'occupation du sol.

Elle sert également de base structurelle aux mises à jour annuelles des autres bases de données métiers du Canton de Genève. Par exemple le Cadastre, l'interface cartographique.



La cartographie des milieux naturels (MNCS) est sous la responsabilité de la Direction Générale de la Nature et du Paysage du Canton de Genève. Le CJBG - Conservatoire et Jardin Botanique de la Ville de Genève - est l'acteur principal pour sa réalisation et sa mise à jour. Cette couverture se distingue de la précédente, tout en lui étant complémentaire. Elle est une description exhaustive de la biodiversité dans le Canton de Genève.



c. L'inventaire des méthodes de suivi

La méthode du différentiel agricole inventorié (DAI) est disponible auprès de la DREAL et est issue d'une méthode mise au point par la Direction Départementale des Territoires de Haute-Savoie (DDT74). Elle s'appuie sur les déclarations des parcelles agricoles, par les agriculteurs français, à la PAC. L'ensemble constitue le registre parcellaire graphique (RPG), publié annuellement sur le site data.gouv.fr.

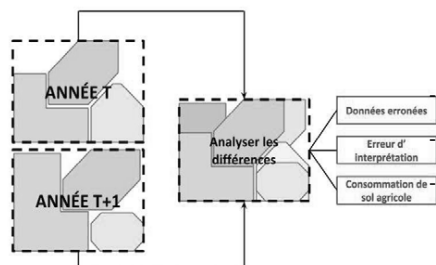
Pour le suivi des espaces agricoles, la DDT74 complète ces données par recoupement avec d'autres bases de données (MAJIC, permis de construire...) et par photo-interprétation. L'étude des différences d'une année à l'autre permet de suivre la consommation du sol agricole.

A Genève, la méthode de la Surface Appropriée à la Production Agricole (SAPA) utilise plusieurs données concernant l'espace agricole (utilisation, affectation, ou encore protection). La SAPA présente la cartographie de l'utilisation des espaces agricoles, à un instant donné. La différence entre deux états permet d'étudier la consommation du sol. Cette méthode qui lie les différentes définitions de l'espace agricole n'est pas annuelle.

3. Les méthodes, les prototypes

Pour répondre aux exigences du cahier des charges, deux méthodes sont proposées. Les deux prototypes sont ensuite développés sur un périmètre test. Ils permettent respectivement *un suivi annuel de la consommation du sol agricole* et *un suivi de l'évolution décennale de l'utilisation des sols*.

a. Le suivi annuel de la consommation du sol agricole



L'objectif de cette méthode est de différencier trois espaces dans le Grand Genève et de les comparer entre deux états avec une année d'écart :

- L'espace bâti (rouge) qui est l'espace anthropisé
- L'espace agricole (jaune) dédié à l'activité de production
- L'espace naturel (vert) réduit à l'espace forestier

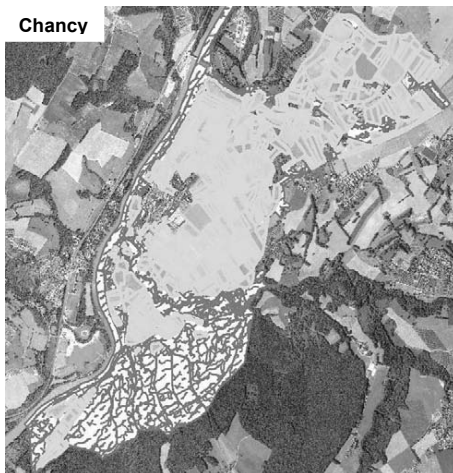
Les différences entre deux états s'expliquent suivant trois types d'écart. Soit l'écart vient de la donnée, il est vérifié par recoupement d'autres bases de données. Soit il vient de l'interprétation faite au préalable, et est corrigé par photo-interprétation, soit il traduit la consommation de sol agricole à mesurer.

Cette consommation de sol est enregistrée sous forme de couches de données thématiques. Les attributs répondent aux demandes des partenaires et aux contraintes de GeoAgglo.

La méthode est testée sur le périmètre couvrant les communes de Chancy, en Suisse et Valleiry, en France. Il s'agit de petites communes très agricoles et situées à proximité de la frontière.

Le prototype 1 est développé avec les outils ESRI. Les résultats présentent la consommation de sol agricole à Valleiry vingt fois supérieure à celle de Chancy.

La cartographie permet de développer des indicateurs statistiques. Ils alimenteront les publications du site du Grand Genève sous forme d'un "chiffre du mois".





b. Le suivi de l'évolution décennale de l'utilisation des sols



L'objectif de cette méthode est de comparer deux couvertures du sol disponibles sur le canton de Genève entre 2005 et 2015. Cette comparaison s'effectue en plusieurs étapes :

D'abord généraliser les nomenclatures en 6 classes comparables, puis convertir ces couches en raster. Utiliser l'analyse spatiale, et la calculatrice raster, pour affiner les classements des pixels. Enfin, établir une table de correspondances des écarts pour analyser la tendance d'évolution de l'occupation du sol à Genève, en dix ans.

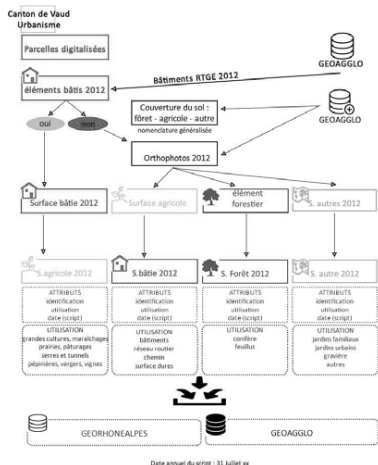
Les principales difficultés de cette méthode sont d'acquérir la donnée et de généraliser les classes. Cela implique une connaissance à la fois des objets réels et de leur traitement technique possible dans Spatial Analyst.

Le prototypage sur le périmètre test met en avant une croissance importante des espaces anthropisés et en dents creuses. Cependant, les trop grands écarts entre ces deux couvertures ne permettent pas de localiser précisément les espaces en évolution. Pour obtenir des résultats plus proches de la réalité, il faudrait acquérir une couverture du sol actuelle sur l'agglomération. Suite à ce constat, une nouvelle couverture du sol devrait être réalisée.

4. Les recommandations

Les recommandations permettent une extension de ces méthodes dans le Grand Genève et des améliorations à envisager pour la pérennisation de ces méthodes.

a. Processus dans l'Ain et le canton de Vaud



Les données concernant l'espace agricole sont très abondantes pour Genève, mais elles restent très incomplètes dans le canton de Vaud ou dans l'Ain. Dans le cadre du projet, différents processus permettent de proposer une succession d'étapes à réaliser par ces partenaires pour pouvoir exploiter et mettre en place les méthodes développées. Le processus prend en compte une connaissance des données actuellement disponibles et des acteurs responsables. Il s'adapte aux partenaires, répartit les tâches et fixe les délais.

Le succès de cette étape dépend également de la formation à apporter aux partenaires autour de ces processus.

b. Amélioration de la communication externe : La StoryMap

Dans le but d'optimiser la communication interne au Grand Genève et faciliter certaines démarches administratives, un outil s'est imposé : La StoryMap. Cette nouveauté d'ArcGIS Online est utilisée comme moyen de vulgarisation de concepts scientifiques. Grâce à cela, les représentations cartographiques et les méthodes techniques proposées sont comprises par les interlocuteurs impliqués, quelle que soit leur formation. De plus, cet outil disponible en ligne ne nécessite aucune installation, aussi il pourra être mis en place pour les supports de réunion ou comme communiqué à travers le site du Grand Genève.

Un storyMap d'expérimentation retrace l'ensemble de cette étude, à travers une présentation visuelle et dynamique. Elle est accessible sur le serveur ArcGIS Online <http://arcg.is/1MBLQf> et fera l'objet d'une communication lors de la conférence SIG 2015, organisée par ESRI.

Un storyMap d'expérimentation retrace l'ensemble de cette étude, à travers une présentation visuelle et dynamique. Elle est accessible sur le serveur ArcGIS Online <http://arcg.is/1MBLQf> et fera l'objet d'une communication lors de la conférence SIG 2015, organisée par ESRI.

Photogrammétrie et Modélisation 3D par images drones au sein de TPLM-3D

PFE présenté par : **Thibaut Dudka**
Société d'accueil : **TPLM-3D**
Directeur de PFE : **Stéphane Hopp**
Correcteurs : **Pierre Grussenmeyer**
Matthieu Koehl



1 - Introduction

Ces dernières années, les drones sont au cœur de l'actualité. Les enjeux sont à la fois militaires, mais également civils. Ils révolutionnent les méthodes de prises de vues aériennes. La société TPLM-3D est reconnue pour son expertise dans la topographie et dans la modélisation 3D. Elle utilise régulièrement la lasergrammétrie et la photogrammétrie dans le cadre de ses différents travaux topographiques.

En continue recherche d'innovation, l'entreprise cherche à offrir de nouvelles prestations à ses clients. L'utilisation d'un drone pour réaliser des prises de vues aériennes d'une zone peu accessible avec les techniques de photogrammétrie serait un atout pour la société. TPLM-3D souhaite également utiliser un nouveau logiciel pour ce type de traitements photogrammétriques. Ce projet a donc abouti :

- au choix d'un nouveau logiciel adapté aux besoins de l'entreprise
- à la rédaction d'un mode opératoire et à la formation des employés à la solution choisie
- à la rédaction d'un cahier des charges pour le « prestataire drones » choisi.

Le chantier test de cette étude a été réalisé sur un site test. Nous avons fait appel à deux prestataires ayant des matériels et modes opératoires différents.

Afin de mener à bien ce projet, nous nous sommes intéressés à l'état de l'art dans le domaine de la photogrammétrie. Les solutions les plus adaptées à notre problématique ont été sélectionnées. Nous avons choisi d'étudier les logiciels commerciaux Photoscan, Photomodeler et Pix4D, ainsi que MicMac, logiciel libre développé par l'Institut Géographique National. Les performances de ces logiciels ont été comparées suivant quatre axes :

- Orientation externe
- Qualité du nuage de points
- Qualité de l'orthophotographie
- Informations disponibles sur les paramètres des calculs

Le logiciel donnant les meilleurs résultats est ainsi sélectionné. Dans un deuxième temps, les images prises par les deux prestataires ont été traitées avec le logiciel choisi. Les résultats ont ensuite été comparés selon la même méthodologie.

Nous pouvons ainsi déterminer la meilleure combinaison prestataire/logiciel pour les travaux photogrammétriques de TPLM-3D.

2 – Chantier test

Afin d'analyser les forces et les faiblesses de chaque logiciel il est nécessaire de les comparer avec les mêmes données d'entrée. Notre chantier test est la chapelle Saint Vincent, située sur les hauteurs du village de Saint Laurent d'Agnay, dans le département du Rhône. Cette chapelle a été sélectionnée à cause du terrain varié : bâtiment, escaliers, enrochements...

Deux vols ont été effectués avec chacune des solutions : un vol nadiral, et un vol de façade.



Figure 1 : Chapelle St Vincent et localisation des points de calage sur la façade

Les coordonnées d'un certain nombre de points ont été relevées au sol. On distinguera deux catégories :

- les points de **calage** sont connus en coordonnées et utilisés par le logiciel pendant les calculs. On en compte 13 sur la façade et 8 sur le vol nadiral.
- les points de **contrôle** sont des points connus en coordonnées mais non utilisés pendant les calculs. Les coordonnées calculées sont comparées avec les coordonnées terrain afin de nous donner une précision réelle. Ils sont au nombre de 5 sur le vol nadiral.

Les cibles au sol ont été relevées à l'aide d'une station Leica TCRA1205, avec centrage forcé. La polygonale entre les différentes stations a été compensée en utilisant le logiciel LTOP de SwissTopo. Ce logiciel nous a fourni une erreur pour chaque station. Connaissant la précision du matériel, fournie par le fabricant, on peut calculer par transmission d'erreurs moyennes quadratiques les erreurs sur les points :

	Moyenne pour les points au sol (mm)		
	Emq plani	Emq alti	Emq 3D
Tous points	1,6	0,9	2,0
Façade	1,5	1,2	2,0
Nadiral	1,7	0,5	1,8

Figure 2: Erreurs sur les points relevés, calculées par transmission d'erreurs moyennes quadratiques

Un côté de la chapelle a également été scanné avec un scanner Leica HDS6100. Les scans ont été consolidés grâce au logiciel Cyclone Register. Celui-ci nous annonce une précision moyenne de 1mm

3 – Les solutions drones

Nous avons testé deux prestataires, ayant tous deux des solutions différentes. Celles-ci mettaient en jeu des drones hexa et quadricoptères. Le cahier des charges prévoyait une taille de pixel au sol de 1cm. Celle-ci a globalement été respectée par le prestataire B. Le prestataire A a quant à lui pris des photos avec une taille de pixels bien inférieure (de l'ordre de 0.4cm).

Les principales caractéristiques des deux solutions, et une représentation des deux vols nadiraux :

A	Solutions	B
U830 Novadem	Drone	DS6 City Dronesys
Sony ILCD-7R	Camera	Nikon 1V3
25 m	Hauteur de vol	45 m
35 mm	Focale	10 mm
7360x4912	Taille de capteur	5232x3488
Variable	Temps d'exposition	1/1250
Fixe	Ouverture	Variable
100 ISO	Sensibilité	400 ISO
79	Nombre d'images de façade	50
82	Nombre d'images nadirales	33
9	Bandes nadirales	4
15 Mo	Taille des images	10 Mo

Figure 3: Résumé des deux solutions drone



Figure 4: Représentation des deux vols nadiraux vus du dessus – Solution A en rouge, Solution B en bleu

Les deux prestataires ont donc du matériel ainsi que des modes opératoires très différents. Il est cependant important de noter que ceux-ci ont tenu compte de nos remarques tout au long de l'étude afin de réaliser à l'avenir les clichés les plus conformes possible à nos attentes.

4 – Processus de comparaison

La comparaison des logiciels et des solutions se fera en deux étapes :

- Dans un premier temps tous les résultats obtenus à partir des différents logiciels sont comparés entre eux. Les données de la solution B sont utilisées pour cela.
- Dans un second temps les résultats issus des données des deux solutions sont comparés entre eux. On traitera les données de la solution B.

La première étape de la comparaison des logiciels entre eux est la comparaison des fichiers de calibration des différents projets.

Il est également possible d'analyser la position des caméras calculées. Il est bien entendu impossible d'avoir les valeurs vraies de ces positions. On compare donc les valeurs données par les logiciels à la moyenne de tous les logiciels.

Nous avons également analysé la qualité de l'orientation sur les points de contrôle. En effet, ceux-ci n'étant pas utilisés lors de la compensation, cet écart donne une indication sur la validité du nuage de points. Nous avons donc prêté attention à l'écart entre les coordonnées théoriques de ces points, relevés au tachéomètre, et les coordonnées calculées. Nous avons cliqué les points de calage sur un nombre de photos de plus en plus important. Les résultats de ce test sont dans le tableau ci-contre.

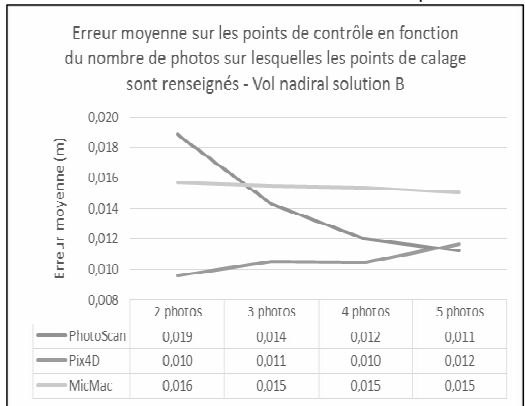


Figure 5 : Test d'erreur sur les points de contrôle

Une fois le projet orienté, il est possible de densifier le nuage de points. Nous avons évidemment porté attention à la qualité de ce nuage. Nous nous sommes intéressés à la différence entre ce nuage généré par photogrammétrie et celui habituellement généré par scanner laser chez TPLM-3D. Nous avons porté notre attention sur le nuage de façade, car il ne présente pas de végétation (herbe). Le logiciel Cloud Compare a été utilisé. Celui-ci permet de donner la distance entre deux nuages de points. Cloud Compare nous permet également d'analyser un histogramme des écarts. Il est ainsi possible de savoir par exemple quel est l'écart maximum de 90% des points avec la valeur de comparaison, ou de 50% des points... Les zones du toit ou les extrémités du nuage ont été enlevées de l'étude. Voici la zone traitée et les résultats correspondants :

		Distance entre les points des nuages issus de la photogrammétrie et ceux du nuage scanné - Façade - Solution B (mm)		
		Pix4D	MicMac	PhotoScan
	Nombre de points	2 619 305	2 271 321	2 077 578
	Moyenne	2,26	2,83	3,41
	Écart type	2,19	2,55	2,78
Seuils	50,00%	1,8	2,2	2,9
	90,00%	4,0	5,4	5,6
	96,00%	5,8	7,6	7,6

Figure 6 : Résultats de la comparaison nuage/nuage avec CloudCompare



Figure 7 : Zone analysée lors de la comparaison nuage/nuage

Avec un nombre de points équivalent dans les trois nuages, le logiciel Pix4D est plus précis. La majorité des écarts ont été trouvés à proximité de la porte ou des fenêtres, les zones de la façade les plus difficiles à représenter.

Nous ne pouvons pas avec nos données estimer de manière numérique le bruit dans les nuages de points. Il aurait fallu pour cela disposer d'une surface parfaitement lisse sur laquelle analyser les nuages de points.

Nous avons néanmoins cherché un moyen d'estimer la différence de bruit entre les différents nuages. Nous avons découpé deux zones, quadrilatères d'une vingtaine de centimètres de côté dans chaque nuage. Ces zones, relativement planes, se trouvent sur la plus haute marche d'un escalier et sur un muret. Nous avons ensuite calculé le plan correspondant le mieux à chaque nuage à l'aide du logiciel Cloud Compare. Plus l'erreur est petite, plus les points sont répartis autour de ce plan. Ainsi une grande erreur sera signe d'un bruit plus élevé.

		Solution B				Solution A
		Scanner	Pix4D	MicMac	PhotoScan	Pix4D
Zone 1 : Muret	Nombre de points	428	257	138	147	668
	RMS (mm)	2,9	12,6	8,4	4,3	2,6
Zone 2 : Escalier	Nombre de points	330	166	96	107	408
	RMS (mm)	1,4	8,9	11,3	3,8	2,0

Figure 8 : Résultats du test de bruit

Les résultats du scanner par rapport à la photogrammétrie (particulièrement par rapport à la solution A), peuvent s'expliquer par le fait que les zones étudiées soient rasantes pour le scanner, ce qui est donc un cas défavorable. Au contraire, elles offrent un cas favorable à la photogrammétrie, car les images sont prises de façon nadirale.

La dernière étape de nos tests est la comparaison des orthophotographies issues des différents logiciels et solutions. Nous considérons principalement deux zones, qui ont beaucoup posé problème.

De plus la qualité de la normalisation radiométrique est un facteur important à prendre en compte. En effet, cet aspect est, de l'aveu même de ses concepteurs, un point faible de MicMac.

Voici ci-contre la localisation des deux zones :



Figure 9 : Zones de comparaison des orthophotos

5 – Conclusion

A l'issue de tous ces tests, nous avons déterminé le logiciel le plus adapté aux travaux photogrammétriques de TPLM-3D. Pix4D a été choisi

Nous avons rédigé un mode opératoire afin de permettre au personnel de prendre en main et d'utiliser ce logiciel. Une formation a également été effectuée.

Un mode opératoire du logiciel MicMac a également été rédigé. En effet, même s'il n'est pas utilisé en phase de production, il était important de conserver ce savoir-faire dans l'entreprise.

Pour finir un cahier des charges a été créé à destination des prestataires qui effectueront les acquisitions par drone. Il comporte des instructions sur les paramètres de caméra à utiliser, le plan de vol ainsi que sur la sécurité. Nous avons en effet noté les spécificités du vol de drone par rapport à la photogrammétrie aérienne traditionnelle et recommandons par exemple la prise de photos nadirales mais également obliques.

Valorisation des données acquises par drone sur le réseau ferré national

PFE présenté par : **André Pereira**
Société d'accueil : **SNCF**
Directeur de PFE : **M. Flavien Viguier**
Correcteurs : **M. Pierre Grussenmeyer,**
M. Mathieu Koehl



1. Introduction

Afin d'assurer la sécurité des biens et des personnes empruntant le Réseau Ferré National, SNCF effectue quotidiennement des travaux de contrôle et de surveillance des installations. Ces inspections permettent de détecter les problèmes structurels des ouvrages ou encore de maîtriser la végétation présente dans les emprises et d'ainsi déclencher les opérations de maintenance nécessaires. Bien que très efficaces (très peu d'incidents ou d'accidents sont à déplorer sur le réseau français), les méthodes de contrôle peuvent être optimisées. En effet, elles sont principalement fondées sur l'Homme, ce qui induit des contraintes sécuritaires et économiques.

Les drones se posent aujourd'hui comme un outil d'aide à la maîtrise et la connaissance du réseau. Leur capacité à réaliser des acquisitions de manière non intrusive sans perturber les circulations ferroviaires ouvre de nombreuses perspectives pour la surveillance et la maintenance. En effet, les aéronefs télépilotés permettent d'effectuer des mesures aériennes, à partir d'une grande variété de capteurs sans nécessité d'accès aux emprises. Bien que la plupart des relevés soient réalisés par photogrammétrie, il est également possible de déployer des systèmes équipés de scanners laser, de caméras thermiques et multi spectrales, ou de tourelles optroniques (Electro-Optique Infra-Rouge).

Consciente des possibilités offertes par cette technologie, SNCF a mis en place dès 2014 un pôle dédié, chargé d'intégrer ce nouveau savoir-faire au service du ferroviaire. Afin de pouvoir exploiter les avantages de ce nouvel outil, le Pôle Drones s'est doté d'un ensemble de moyens techniques permettant la réalisation d'acquisitions (drone de type avion, hélicoptère et multicoptère). Par leur capacité à réaliser du vol stationnaire, les drones à voilure tournante permettent la réalisation d'opérations d'auscultation d'ouvrages et d'observation des zones inaccessibles. Les drones à voilure fixe, bénéficiant quant à eux d'une meilleure autonomie, sont déployés dans le cadre d'interventions sur de grands linéaires.

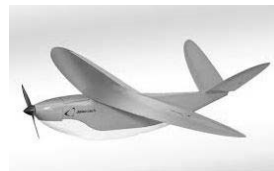


Figure 1 : le drone DT26X

Afin d'exploiter au maximum le potentiel de la technologie drone, ce projet de fin d'études vise à mettre en place des procédures d'acquisition, d'analyse et de traitement des données acquises à l'aide d'aéronefs télépilotés. Notre étude se focalise sur l'utilisation de la photogrammétrie car cette technologie est actuellement la plus déployée lors de l'utilisation de drones. Pour permettre la validation de la qualité des acquisitions et des livrables, de nombreuses expérimentations ont été menées (mesures à différentes échelles, modification des processus d'acquisition, utilisation de plusieurs solutions de traitement de données, analyse comparative des livrables avec des technologies déjà déployées, ...). Ces tests et expérimentations ont été mis en œuvre afin d'établir les domaines de pertinence de chacune des méthodes (précision, qualité, coût), tout en permettant la validation de l'intégration de ce nouveau savoir-faire dans les méthodologies de surveillance et de contrôle SNCF.

2. Mise en place de procédures d'acquisitions photogrammétriques

Dans le cadre de ses missions, SNCF peut réaliser des travaux de surveillance sur de longs linéaires (≥ 1 km) ou des travaux d'inspection sur des zones plus localisées (≤ 1 km). Ces deux types de missions, bien qu'en grande partie similaires impliquent des contraintes de déploiement et des précisions distinctes. Afin de mettre en place une chaîne de travail efficace permettant de répondre aux objectifs d'intervention et de productivité SNCF, une expérimentation pour chaque type de

chantier a été menée : une mise en situation dans une zone localisée (150m de longueur environ) ainsi qu'une étude sur un linéaire de plus d'un kilomètre.

Expérimentation	1 : Zone courte	2 : Long linéaire
Drone	Voilure tournante AscTech Falcon 8	Voilure fixe Delair-Tech DT-18
Capteur	Sony Alpha NEX-7 6000x4000, pixel 3.9µm	DT-3BANDS 2448x2048, pixel 3.45µm
Focale	16mm	12mm
Hauteur de vol	45m	120m
Résolution théorique	1.1cm	3.5cm
Résolution à 150m	3.7cm	4.3cm

Tableau 1 : présentation des expérimentations

Toute opération peut être divisée en trois étapes fondamentales : la préparation de la mission, la phase d'exécution, et enfin le traitement des données. Pour les opérations de photogrammétrie, le contenu des étapes peut différer en fonction du drone utilisé, même si le principe général reste identique. Afin de réaliser un traitement photogrammétrique optimal, certains principes doivent être rigoureusement respectés :

- connaissance des paramètres d'orientation interne du capteur utilisé afin de fournir des livrables de qualité ;
- recouvrement entre clichés afin d'optimiser la détection automatique de points homologues et la corrélation d'images ;
- utilisation de points de contrôle au sol correctement répartis afin d'assurer le géoréférencement précis des données.

Les drones présentent l'avantage de pouvoir automatiser la phase d'acquisition des clichés en établissant au préalable le plan de vol. Celui-ci est configuré à partir des propriétés du capteur utilisé, du recouvrement et de la résolution spatiale souhaités, ainsi que des caractéristiques de la zone d'étude (topographie, zone à couvrir, ...).

Il peut s'avérer fastidieux de réaliser l'étalonnage de l'appareil photo car, dans notre cas, les appareils sont solidaires des drones. Il est donc préférable d'effectuer l'optimisation des paramètres internes *in-situ*. C'est pour cela que lors des opérations de mesure, il faut positionner avec soin sur l'ensemble de la zone d'étude, des points de contrôle au sol qui seront mesurés par méthodes tierces (acquisition à l'aide de capteurs GNSS, topographie classique). Ces points seront alors utilisés pour déterminer précisément les paramètres de calibration du capteur.

Le traitement des données est ensuite réalisé via des solutions logicielles de photogrammétrie pour le calcul automatique à partir d'algorithmes performants (détecteur *SIFT*, corrélation multi-images). *Pix4D* et *Correlator3D* sont les solutions retenues par le Pôle Drones car elles ont été conçues à l'origine pour le traitement de données acquises par drones et sont pertinentes pour un usage industriel (traitements semi automatisés permettant d'accéder rapidement à des résultats adaptés aux besoins).

Une étude comparative de ces deux solutions a été menée et nous a permis d'établir les conclusions suivantes :

- *Correlator3D* est plus efficace en termes de rapidité de calculs et de volume de données pouvant être traité (4 fois plus rapide que *Pix4D* pour des données de plusieurs Go) ;
- *Pix4D* semble plus flexible dans le paramétrage des données exportables et est plus simple d'utilisation et peut donc s'intégrer plus rapidement dans un outil de production.

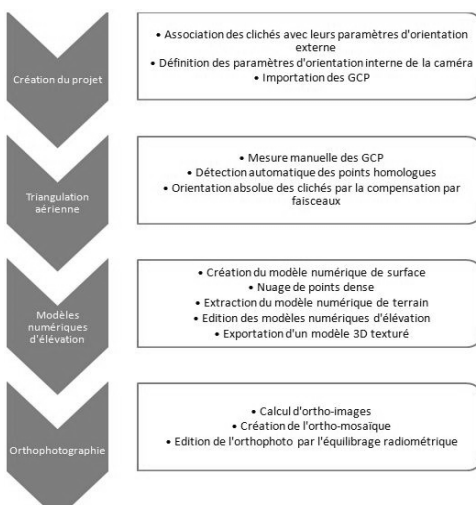


Figure 2 : chaîne de traitement informatisé

3. Étude comparative des données acquises

Une fois les forces et les faiblesses des suites logicielles identifiées (vitesse de calcul, paramétrages possibles, ...), nous avons démarré une étude comparative des résultats fournis. Dans un premier temps, nous avons analysé les étapes de traitements permettant de calculer les paramètres d'orientation des clichés, puis dans un deuxième temps, les méthodes visant à optimiser l'orientation absolue ont été étudiées. L'étude a été finalisée en se focalisant sur la comparaison de nuages de points en confrontant des données acquises par photogrammétrie et lasergrammétrie (méthode dont la précision, de l'ordre d'un centimètre, a été validée précédemment par [Fievet, 2011]). Ces trois niveaux d'analyses nous permettent de contrôler l'ensemble des phases de traitement/calcul nécessaires à l'obtention de données de qualité.

- Contrôle des traitements informatisés

La calibration de l'appareil photo numérique permet de déterminer de façon précise les paramètres d'orientation interne du capteur. Pour valider les paramètres déterminés par *Pix4D* et *Correlator3D* une étude sur un polygone d'étalonnage a été menée. Les résultats obtenus ont été comparés aux paramètres calculés par le logiciel *Photomodeler* précédemment (logiciel validé par SNCF). Les résultats convergent au pixel près entre les paramètres issus de *Photomodeler* et *Pix4D* mais les paramètres calculés sous *Correlator3D* ne sont pas cohérents. Celui-ci ne semble pas être adapté aux traitements par photogrammétrie terrestre c'est pourquoi nous avons prolongé nos investigations en réalisant une calibration *in-situ*. Malgré ce nouveau traitement le constat est resté similaire : les paramètres déterminés par *Correlator3D* diffèrent des résultats de *Pix4D* malgré des résidus satisfaisants (moins d'un demi pixel). Fort de ce constat, nous pouvons affirmer que les paramètres d'orientation approchés ainsi que les coordonnées des points de calage doivent être fournis avec la plus grande précision au logiciel *Correlator3D* pour obtenir des résultats de qualité. Pour nos différents projets, les paramètres internes seront donc calculés sous *Pix4D* puis intégrés dans *Correlator3D*.

- Choix d'une configuration optimale des points de calage

Afin d'optimiser l'orientation absolue du modèle photogrammétrique, une étude sur le nombre et la répartition des points de calage a été menée. Bien que les règles de l'art prescrivent une répartition cohérente et régulière des points sur la zone d'étude, l'environnement ferroviaire impose une répartition linéaire des points de calage ce qui peut engendrer des impacts non négligeables sur la qualité des livrables produits (rotation du modèle, déformation transversale, ...). Pour quantifier les erreurs liées à cette répartition linéaire, une étude de positionnement des points de contrôle a été menée en analysant différentes configurations de répartition des points de calage (répartition cohérente sur l'ensemble de la zone, répartition linéaire, points en quinconce, points encadrant la zone d'étude).



Figure 3 : configurations de répartition de points de calage (sans échelle)

Les résultats montrent que le positionnement des points d'appui en quinconce (voir Figure 3C) fournit les résultats les plus pertinents. En effet, sur la zone test, cette configuration nous permet d'obtenir des résidus inférieurs à un centimètre en altimétrie (pour une distance maximale entre GCP de 50m) tandis que les autres configurations fournissent des écarts minimums compris entre 2 à 5cm. Au regard des contraintes du ferroviaire, ces résultats incitent à l'établissement d'une telle configuration pour les travaux linéaires, celle-ci pouvant facilement être déployée sur le terrain.

- Comparaison des nuages de points

Les traitements informatisés des projets de photogrammétrie par drone permettent aujourd'hui d'obtenir des nuages de points denses géoréférencés. Afin d'évaluer leur précision, nous avons réalisé un levé scanner terrestre permettant d'obtenir un nuage de référence. La comparaison de nuages de points issus de données hétérogènes étant complexe (différence de densité des nuages, masques plus ou moins importants), nous avons d'une part utilisé des méthodes de comparaison nuage/nuage (distance de Hausdorff via le logiciel *CloudCompare* puis un algorithme fondé sur un appariement de points homologues), et d'autre part étudié les écarts à partir de coupes longitudinales.

De plus, nous avons comparé les nuages de points issus des acquisitions par drones à voilure fixe et à voilure tournante. Pour cette observation, les paramètres de vol mais surtout le capteur utilisé vont déterminer la qualité et la précision du nuage de points. Ainsi, nous confirmons que le drone à voilure tournante (équipé d'un Sony Alpha NEX-7), pouvant voler à une altitude plus basse, modélise d'une meilleure façon les détails (rupture de pente, rails) et la résolution spatiale est logiquement plus grande, tandis que le drone à voilure fixe présente beaucoup moins de masques car la géométrie des prises de vue est meilleure (base entre les clichés plus courte et corrélation plus performante).

4. Perspectives : le LiDAR embarqué sur drone

Bien que très pertinentes pour la modélisation de l'environnement ferroviaire, les méthodologies de mesures photogrammétriques montrent leurs limites en présence de végétation (problèmes de corrélation au niveau des zones végétalisées, absence de données au niveau des sols nus, ...). Afin d'approfondir nos analyses et de pallier les problèmes liés à la photogrammétrie par drone nous avons décidé d'étudier des données lasergrammétriques acquises à l'aide d'un LiDAR *Riegl VUX-1* (Lidar multi-échocs pesant 3 kilogrammes destiné au déploiement sur drone). En effet, le Pôle Drones souhaitant intégrer ce capteur dans l'un de ses aéronefs, cette étude nous a permis de valider la précision et la pertinence de cet outil pour le relevé du couvert végétal. La qualité des nuages de points obtenus (précision de l'ordre de 5 centimètres) nous a permis de valider les spécifications techniques fournies par le constructeur. Une fois la précision globale validée nous avons comparé les nuages de points photogrammétriques et lasergrammétriques.

Cette analyse nous a permis de constater un lissage global du nuage de points photogramétrique : les clôtures, les installations caténaïres et la végétation moyenne sont soit sous-représentées soit totalement absentes. Au regard de ces résultats nous pouvons affirmer que l'utilisation de la lasergrammétrie aérienne est à privilégier dans le cadre d'études de la végétation. Sur la base de ce constat nous avons mené une étude sur l'extraction d'informations géométriques sur le couvert végétal (calcul des hauteurs de végétation, individualisation d'arbres, calcul de distances à l'infrastructure, ...). Pour cela nous avons tout d'abord mis en œuvre une classification automatique à l'aide du logiciel *Terrasolid* afin d'extraire un modèle numérique de terrain. Dans un deuxième temps, deux classifications supervisées ont été mises en œuvre afin d'extraire d'une part la végétation dense (*Canupo*) et d'autre part les troncs d'arbres (*Computree*). Bien que les résultats obtenus nous aient permis de valider la pertinence de la méthode (voir Figure 4) nous ne pouvons pas, à ce jour, nous projeter sur un déploiement industriel de ces outils. En effet, de nombreuses étapes ont été réalisées de manière semi-automatique ce qui est incompatible avec le traitement de plusieurs Go par kilomètre mesuré. Des travaux sur l'automatisation des traitements seront donc menés par le Pôle Drones dans les prochains mois.

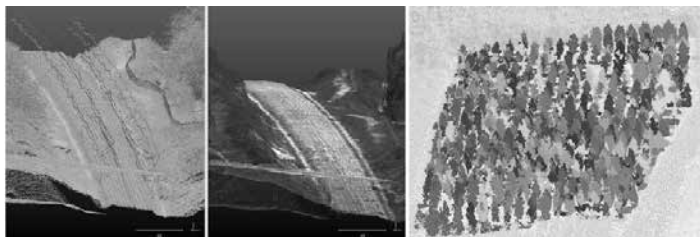


Figure 4 : analyse visuelle des nuages de points LiDAR et photogrammétrique (gauche et centre). Individualisation d'arbres (droite)

5. Conclusion

Les travaux menés nous ont permis de valider l'utilisation de la photogrammétrie pour la caractérisation précise du réseau ferré. La qualité des données permet de répondre aux exigences de surveillance et de maintenance du RFN, notamment pour l'inspection des emprises ferroviaires comme l'ont montré nos expérimentations. La maturité de cette technologie permet d'enrichir la base de données de l'ensemble du réseau ferroviaire français. De plus, de nouvelles perspectives sont offertes par l'intégration de LiDAR dans les drones. Le faible coût d'exploitation ainsi que la rapidité de mise en œuvre des systèmes drones leur permettent de se positionner comme une alternative intéressante aux techniques traditionnelles de mesures par méthodes aériennes (mesures hélicoptères ou aéroportées). Les drones seront donc voués à être déployés massivement dans les prochaines années.

Modalités de représentation en 3D de données issues du SIG2D, pour la conception et la simulation.

PFE présenté par : **Olivier JEST**
Société d'accueil : **Eurométropole de Strasbourg**
Directeur(trice) de PFE : **Philippe SLISSE**
Correcteurs(trices) : **Mathieu KOEHL**



1. Introduction

Ce projet de fin d'étude (PFE) a été proposé par le service Géomatique et Connaissance du Territoire qui fait partie de la Direction de l'Urbanisme, de l'Aménagement et de l'Habitat (DUAH) de l'Eurométropole de Strasbourg. Les travaux réalisés lors de ce PFE forment une étape de la feuille de route du projet SIG3D dont l'objectif est de doter l'Eurométropole d'un système d'information géographique en trois dimensions.

Un précédent PFE, réalisé par Guillaume Terrasse (2013), a permis de créer le socle de la maquette 3D. Ce socle est composé d'un MNT (Modèle Numérique de Terrain) et des modèles des bâtiments, le tout texturé avec des orthophotos et des obliques.

L'objectif de ces travaux est l'exploitation de données issues du SIG2D ainsi que leur représentation 3D pour enrichir la maquette de façon réaliste. Cet objectif est réalisé en deux étapes distinctes mais néanmoins liées : l'extraction, la transformation et le complément des données issues du SIG2D, et la constitution d'une bibliothèque de symboles 3D adaptés à nos besoins. Ces deux étapes permettent de créer les données 3D contenues dans la maquette. Nous séparons l'intégration de la végétation et l'intégration du mobilier car les exigences ne sont pas les mêmes.

L'Eurométropole dispose d'une importante quantité de données contenues dans un SIG (Système d'Information Géographique). Ces données sont variées et concernent l'organisation des travaux des services, des données métiers et des données de référence cartographiques. Ces dernières données vont particulièrement nous intéresser pour enrichir la maquette 3D avec des classes d'objets meublant l'espace public comme les arbres, le mobilier urbain, l'éclairage public,... L'enrichissement de la maquette est nécessaire pour en développer les usages.

2. Etat de l'art

Les maquettes urbaines ne sont pas une nouveauté. De plus en plus de villes et collectivités investissent dans la constitution de tel outils. Plusieurs PFE traitent notamment de ce thème (Minery (2011), Terrasse (2013), Beauvais (2014)). Les premiers traitent de la création du socle de la maquette avec un MNT et l'intégration du bâti. Puis les travaux s'orientent vers l'amélioration de la qualité de la géométrie et du rendu visuel de ces socles ainsi que de l'automatisation de leur création, accompagnée par une évolution technologique des logiciels et des moyens informatiques. Ces améliorations permettent le développement des usages internes et externes aux collectivités, ce qui pose une série de problèmes sur les possibilités d'échanges des données 3D de la maquette et leur normalisation.

De tous ces exemples et travaux, on peut considérer que le socle 3D de la maquette est maîtrisé de sa création, automatique ou non, à l'échange des données. Mais la maquette peut être enrichie par de nombreux éléments permettant de modéliser l'espace urbain. Pour une maquette 3D urbaine, les éléments importants évoqués dans les articles sont en premier lieu la végétation et notamment les forêts, puis les données thématiques comme le mobilier urbain et enfin les données de sous-sol comme les réseaux ou les galeries souterraines. A ces éléments physiques s'ajoutent des données immatérielles comme par exemple des données administratives ou cadastrales.

L'enrichissement de la maquette avec le mobilier n'est pas encore arrivé à maturité et peu de documents y sont consacrés, mais cet enrichissement se développe, poussé par les usages toujours plus nombreux créés par une demande des utilisateurs de plus en plus sensibilisés à l'usage de la 3D.

3. Extraction et transformation des données issues du SIG2D

Les données présentes dans le SIG2D sont sous forme de point, de ligne et de polygone, soit des objets de dimension 0, 1 et 2 représentés et géolocalisés dans un univers en deux dimensions. La création de la valeur d'altitude sur ces données permet de géolocaliser ces données dans un univers en trois dimensions mais ces données restent de dimensions 0,1 ou 2. On obtient des données en 2,5D. Cela ne suffit pas à créer de la donnée 3D pour la maquette.

L'on souhaite intégrer la végétation et le mobilier en 3D comme les bâtiments qui sont des objets 3D. Un objet 3D est un solide avec une hauteur, une largeur et une épaisseur, positionné et orienté dans un univers en trois dimensions. Pour cela nous avons besoin de données supplémentaires pour choisir un symbole 3D, l'orienter et le mettre à l'échelle.

Pour créer des données 3D à partir des données contenues dans le SIG 2D nous avons besoin de différents éléments : une géométrie d'insertion (point ou ligne), des symboles 3D à placer sur les géométries d'insertion et des informations permettant le choix du symbole, la mise à l'échelle et l'orientation de celui-ci. Pour les mobiliers nous procédons de la façon suivante :

- **Extraire les géométries** du SIG2D (points, lignes, polygones).
- **Choisir la géométrie d'insertion**, des points pour le mobilier (banc, lampadaires,...), des lignes pour les murs et les haies, et des polygones pour les surfaces de couverture. Ces géométries sont ensuite drapées sur le MNT. On convertit les géométries du SIG2D en géométries d'insertion.
- **Récupérer des informations supplémentaires** permettant le choix du symbole, sa mise à l'échelle et son orientation. L'orientation est nécessaire pour certains objets comme les bancs, les feux de signalisation et les lampadaires. Les informations de mise à l'échelle sont inutiles pour les mobiliers car ils correspondent à des modèles standardisés, mais sont nécessaires pour les haies et les murs. Les informations supplémentaires peuvent être récupérées par différentes méthodes. Soit ces informations sont contenues dans les attributs des géométries du SIG2D (le type de feu tricolore est une information attributaire), soit nous devons les créer. On peut les créer par l'utilisation de données 3D comme le Modèle Numérique d'Élévation (la hauteur des haies est calculée par différence du MNT et MNE), par l'utilisation d'autres données du SIG2D et de règles énonçant le comportement des objets entre eux (un banc proche d'un mur aura son dossier contre le mur, un lampadaire est orienté vers la route).
- **Intégration dans la maquette.** Le logiciel va assembler les différents éléments pour créer la 3D.

4. Bibliothèque 3D

Pour créer les données 3D de la maquette nous avons besoin de symboles 3D adaptés et réalistes. Ces modèles seront conservés dans la bibliothèque de symboles 3D de l'Eurométropole.

Le format utilisé est le format OBJ. Ce format de modèle 3D est un format d'échange courant, utilisé en lecture et en écriture par la plupart des logiciels de CAO 3D. C'est aussi le format standard d'échange des données 3D utilisé au sein du projet SIG3D. De plus ce format est composé de deux fichiers ASCII, l'un contenant la géométrie des symboles (le fichier OBJ) et l'autre contenant les informations des matériaux et les liens vers les textures (le fichier MTL). Ce sont des fichiers textes facilement contrôlables et modifiables dans un outil de traitement de texte.

Par analogie avec les bâtiments respectant la norme CityGML, les modèles présentent plusieurs niveaux de détails. Les modèles de premier niveau de détails (LOD1) sont des modèles simplifiés des objets composés d'un maillage fermé pour leur utilisation par les logiciels de simulations. Les modèles de deuxième niveau de détails (LOD2) sont des modèles détaillés et texturés dont on cherche à optimiser le poids tout en conservant le réalisme des modèles par des géométries simples, des textures et des textures d'effets.

A l'occasion de la création de la bibliothèque, une nomenclature des noms des symboles 3D, des matériaux et des textures a été conçue. Cette nomenclature a trois objectifs. Le premier est de créer un nom unique pour chaque symbole ou version de symbole, un nom unique pour chaque matériau et pour chaque texture. Les noms des textures, des matériaux et des symboles sont liés entre eux pour permettre de connaître les liens d'appartenance. Le deuxième objectif est de créer des noms codés pour éviter au maximum que les matériaux entrent en conflits dans les logiciels avec d'autres matériaux, provenant notamment de données échangées avec les architectes. Le troisième objectif est que le nom délivre toutes les informations nécessaires sur l'utilisation du symbole 3D.

5. Cas de la végétation

Le cas de la végétation est un cas à part. Il s'agit de la première classe d'objet à intégrer au vu de son impact sur la maquette. Les arbres sont, après les bâtiments, les objets les plus importants en termes de volume et d'occupation du volume de l'espace public. Ils ont un impact fort sur l'aspect visuel de la maquette (figure 1, p4) mais aussi sur les calculs d'ensoleillement et de visibilité.

Contrairement au mobilier, la végétation n'est pas standardisée avec plus de 600 essences d'arbres répertoriées et est très complexe à traiter pour deux raisons. La première raison est la quantité importante d'informations à utiliser : la diversité des essences, mais aussi le port des arbres (libre, lié à la génétique ou architecturé, taillé par l'homme), l'évolution des arbres au cours des saisons (fleurs, fruits, feuilles), les données géométriques (hauteur de l'arbre, diamètre du tronc, largeur de la couronne) qui évoluent avec le temps (l'arbre est vivant). La deuxième raison est la non-exhaustivité de ces informations mais aussi de la connaissance même des arbres du territoire de l'Eurométropole. On peut classer les arbres en trois catégories, les arbres SEVN (Service des Espaces Verts et Naturels) dont la localisation est connue et accompagnée d'un certain nombre d'informations issues de l'inventaire du SEVN, les arbres BDTopo, dont la localisation est connue sans aucune autre information, et les arbres AUTRES, dont la connaissance de la localisation est inconnue. Il s'agit d'arbres présents au milieu des îlots d'habitation en ville ou d'arbres dans les zones agricoles et naturelles comme les forêts.

Extraction des géométries d'insertion

Les arbres SEVN et BDTopo sont extraits du SIG2D comme les mobiliers. Les points d'insertions sont drapés sur le MNT et les informations supplémentaires sont récupérées de façon similaire au mobilier.

Création des géométries d'insertion des arbres manquants

La création des points d'insertions des arbres AUTRES est un traitement important qui doit créer efficacement des points aussi bien pour les arbres isolés en ville et dans les champs que pour les arbres regroupés en bosquets et forêts. La première étape est de déterminer des zones dans lesquelles on peut planter des arbres. Pour cela on utilise les emprises des bâtiments, des routes, des arbres SEVN et BDTopo (on ne va pas doubler les arbres), ainsi qu'un zonage issu d'une classification d'images aériennes. La deuxième étape consiste à créer une grille de points espacés d'un mètre dans ces zones. Pour chacun de ces points on détermine la différence du MNE et du MNT ce qui nous fournit une hauteur par point. Les points sont ensuite groupés par strate selon leur hauteur calculée. La troisième étape est un traitement itératif de la strate la plus haute vers la strate la plus basse. L'espace est découpé en polygones par application d'un diagramme de Voronoï sur les points de la strate. Les polygones sont évalués, fusionnés et découpés pour former des polygones représentant l'espace occupé par un arbre de la strate. Les polygones permettent de créer les points d'arbres et de nettoyer les strates inférieures. Ce fonctionnement en strate permet de créer le nombre minimum d'arbres nécessaire à la reconstitution de la canopée fidèle au MNE sans perte de données car les points refusés dans une strate rejoignent les points de la strate inférieure. Cette technique est aussi très efficace pour les arbres isolés.

Création d'une bibliothèque de modèles d'arbre

Nous avons décidé de créer l'ensemble des symboles 3D des arbres. En effet il est difficile de trouver des modèles gratuits ou payants permettant de répondre à nos impératifs de représentation des arbres. Nous avons besoin de modèles d'arbres pour chacune des saisons avec et sans fleurs. Nous avons besoin de six modèles de catégorie de hauteur différente pour une même essence. Cela permet de limiter la déformation subie par les textures lors de la mise à l'échelle des modèles. Nous avons besoin de modèle d'arbre scindés en deux parties indépendantes : le tronc et le houppier, pour permettre l'exploitation des données de diamètre du tronc et de la largeur de la couronne de l'inventaire du SEVN. En plus des modèles des arbres par essences nous avons besoin de modèles pour les arbres au port architecturé comme les arbres taillés en rideau. Avec plus de 600 essences d'arbres répertoriées sur le territoire de l'Eurométropole et 870 combinaisons port-essence, le besoins en modèles est de l'ordre de 310000 modèles pour compléter la bibliothèque des arbres. Une chaîne de traitement automatique a été mise en place avec des scripts VBA dans Excel et dans Rhinocéros. Cette chaîne permet de créer trois types d'arbre : les feuillus, les conifères et les taillés. Cette chaîne crée les modèles d'arbres par assemblage et dimensionnement de différents blocs éléments pour constituer l'intégralité de la bibliothèque en environ quinze jours de temps de calculs, soit 16 modèles

à la minute. La constitution des textures reste manuelle et très chronophage. Cette étape parallèle à la constitution automatique des géométries est évaluée à 1800 heures de travail.

Choix des modèles

Le choix des modèles pour les arbres BDTopo et AUTRES utilise un modèle statistique qui permet de choisir l'essence et le port les plus cohérents en fonction de la typologie du lieu de plantation de l'arbre (bord de l'eau, de route, de tram, parcs, forêts, champs, jardins,...) et de la hauteur des arbres (un arbre de 46 mètres de haut ne peut être un pommier commun). On veille aussi à conserver une cohérence géographique (tous les arbres d'une même rue auront la même essence, et auront la même essence que les arbres SEVN présents dans la rue le cas échéant). Ce modèle a été créé par l'étude des données d'inventaire des arbres gérés par le SEVN et de données de l'IGN pour les forêts.

6. Usages de la maquette

Les usages d'une maquette urbaine pour une collectivité sont nombreux mais les plus importants sont la conception et l'aide à la décision dans les projets d'aménagement et d'urbanisme, la communication notamment au public ainsi que la gestion en interne du patrimoine des collectivités.

Mais la maquette enrichie peut en premier lieu servir en interne à la recherche des erreurs et à la vérification des données. Il est très facile d'un seul coup d'œil de se rendre compte qu'un lampadaire a été classifié en potelet ou qu'une valeur de couronne d'arbre est aberrante.

Une maquette enrichie permet la simulation plus fine de phénomènes tels que l'ensoleillement, l'écoulement de l'air et en général toutes études environnementales où la végétation et les grands mobiliers urbains jouent un rôle aussi important que les bâtiments

La conception de projet d'urbanisme et la prise de décision est facilitée par cet outil qui permet de simuler directement l'impact réaliste d'un projet urbain dans l'existant. Dans une collectivité les participants à ces projets ne sont pas tous des gens du métier de l'urbanisme et du bâtiment, l'utilisation de la 3D permet à tous d'appréhender les projets de manière plus homogène et de faciliter la compréhension et les débats. L'enrichissement réaliste de la maquette permet une présentation plus efficace des projets au public par une meilleure visualisation et immersion dans les projets et l'environnement des projets connus de ce public.

7. Conclusion

L'enrichissement de la maquette urbaine est une nécessité au vu des nouvelles applications et des possibilités de l'outil SIG3D. L'intégration des données issues du SIG2D permet cet enrichissement de manière rapide (figure 1). Mais l'intégration efficace de ces données nécessitera une nouvelle façon de penser et de créer la donnée pour obtenir les informations nécessaires à une intégration du mobilier dans une maquette réaliste et de qualité permettant la visualisation piétonne. Un SIG se doit de contenir toutes les informations possibles, ainsi il reste un travail d'intégration des données invisibles comme les réseaux dans le sous-sol et des données immatérielles comme les données administratives ou foncières.

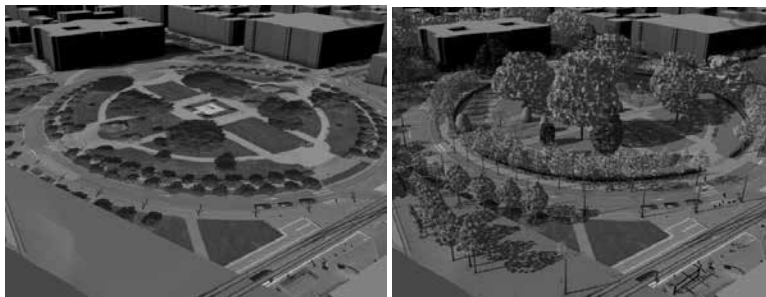


Figure 1 : Extrait de la maquette (place de la République, Strasbourg) à gauche avant le PFE composée du socle 3D (ici : MNT et bâti LOD1 non texturé) et à droite après le PFE avec l'intégration de la végétation, du mobilier et la reconstruction des textures de la place.

Détermination de la structure et de la biomasse combustible à partir de nuages de points acquis par un LiDAR terrestre

PFE présenté par : **Elise BORNUAT**
Organisme d'accueil : **INRA Avignon**
Projet réalisé au sein de : **URFM - Equipe PEF**
Directeur de PFE : **M. François PIMONT**
Correctrice : **Mme Tania LANDES**



1. Introduction

Chaque année en France, plus de mille incendies de forêt sont recensés en zone méditerranéenne, détruisant des milliers d'hectares de végétation. Afin d'améliorer les méthodes de prévention et de lutte contre ces incendies, il ressort un besoin de quantifier la biomasse combustible (composée des feuilles et des rameaux fins). En effet, la quantification de la biomasse sert à cartographier le risque, dont l'une des composantes est l'intensité du feu qui dépend de la quantité de combustible disponible. Cette quantité varie avec le type de combustible (espèces présentes, âge du peuplement, conditions stationnelles, etc.). Les méthodes actuelles de mesure du combustible sont onéreuses et particulièrement chronophages. De plus, elles ne permettent ni de caractériser ni de spatialiser la biomasse. Plusieurs études antérieures ont montré l'intérêt que présentait le scanner laser terrestre dans la détermination de la biomasse.

La finalité de ce Projet de Fin d'Etudes est donc de fournir une méthode d'estimation de la biomasse combustible à partir d'un scanner laser terrestre et d'en analyser la qualité.

Le projet s'inscrit dans la continuité des travaux réalisés par l'équipe d'accueil depuis 2013. L'étude menée a permis de mettre en évidence la corrélation entre quantité de biomasse et densité relative de points LiDAR (rapport du nombre de retours interceptés par la végétation (N_i) par le nombre de points émis par le scanner laser (N_t)). Le travail de quantification de la biomasse se base donc sur ce principe. La calibration permet ainsi de déterminer la relation entre quantité de biomasse et indices de densité relative de points. Cette relation est ensuite appliquée aux arbres entiers.

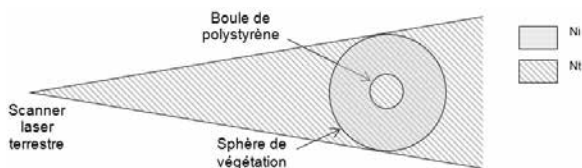


Figure 1: Classification des retours laser

Ainsi, le PFE se décompose en plusieurs objectifs :

- Réaliser un inventaire des travaux précédents portant sur le sujet
- Etablir un protocole d'acquisition de données pour une calibration en laboratoire
- Déterminer les paramètres de calibration
- Appliquer la méthode sur des arbres entiers, sur le terrain
- Evaluer qualitativement la méthode par scanner laser terrestre par comparaison avec la méthode destructive

Ce travail porte sur le cas du Pin d'Alep, espèce caractéristique des forêts méditerranéennes.

2. Schéma de travail

Les étapes de travail peuvent être représentées de la manière schématique suivante :

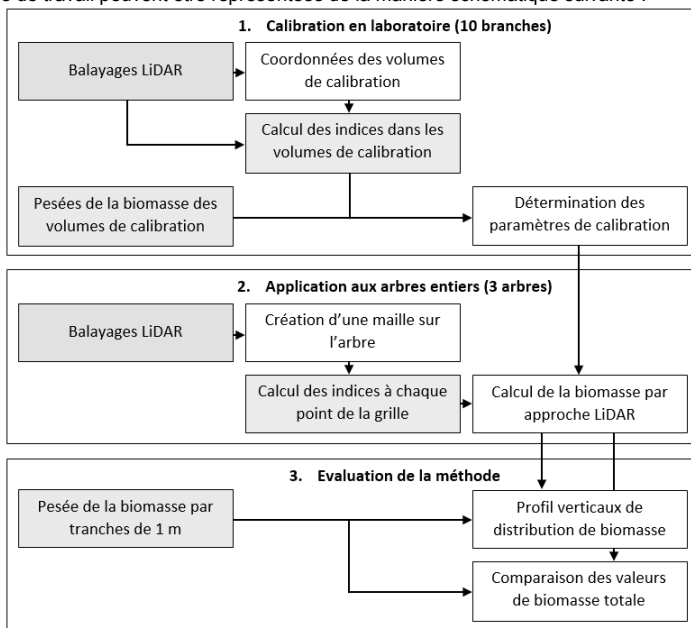


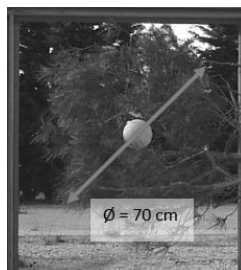
Figure 2: Schéma directeur du travail

3. Calibration en laboratoire

Avant de commencer la calibration, une première étape a consisté en la détermination des paramètres de scannage à utiliser pour la suite du projet.

La calibration a pour objectif de déterminer les paramètres reliant la biomasse de feuilles avec les indices (Ni, Nt) obtenus par LiDAR. Pour cela 10 branches de Pin d'Alep ont été scannées à différentes distances. Les branches sont préparées de manière à ne garder qu'un volume de calibration de 70 cm de diamètre. La biomasse est ensuite pesée (aiguilles, rameaux).

Figure 3: Volume de calibration



Une fois les données acquises, celles-ci sont post-traitées. Le post-traitement s'effectue en deux parties, une première sous le logiciel FARO Scene 5.3 et une seconde sous Matlab :

Sous FARO Scene	Import des numérisations et vérification des paramètres de scannage
	Extraction des coordonnées du centre des volumes de calibration
	Export des numérisations en valeur d'intensité, au format .ptx
	Colorisation des numérisations
	Export des numérisations en couleurs au format .ptx
Sous Matlab	Lecture et fusion des .ptx « intensité » et .ptx « couleurs » en un fichier .xyzirgbn regroupant les deux informations
	Calcul des indices Ni, Nt pour chaque sphère de végétation

Plusieurs méthodes de séparation bois/feuilles ont été étudiées. Une première, se basant sur la distribution de l'intensité retour du laser, ne présente pas de résultats satisfaisants. Une seconde méthode, employant l'indice couleur de végétation Excess Green, calculé à partir des valeurs RGB issues des photographies couleur, a été retenue.

Pour cela, trois indices ont été calculés (I, If1 et If2). Le premier, I, est défini par la fraction de retours de végétation (Ni/Nt). Il permet une corrélation entre la biomasse de feuilles et la densité de points totale (bois et feuilles confondus), sans correction liée à la présence de bois.

Le deuxième, If1, est calculé de telle sorte que les points de bois sont supprimés, à l'aide de l'indice Excess Green. Cependant, il ne prend pas en compte l'occlusion des feuilles sur le bois et devrait donc surestimer la biomasse de feuilles.

Le dernier indice, If2, est établi par une formule prenant en compte l'occlusion et est celui qui devrait donc le mieux estimer la biomasse. Il est également calculé à l'aide de l'indice Excess Green.

La densité de biomasse obtenue à partir des indices (I, If1 et If2) est corrélée à celle obtenue suite aux pesées et les coefficients de calibration pour chaque indice sont calculés.

La figure 4 présente les résultats de calibration obtenus pour l'indice If2. En abscisses, les valeurs d'indices LiDAR et en ordonnées la densité de biomasse obtenue par méthode destructive (pesées).

La relation liant ces deux grandeurs est définie par la formule suivante :

$$coef = \frac{\text{densité de biomasse } (\rho)}{\text{indice } (I, If1, If2)}$$

← Calculée à partir des pesées
← Calculé à partir des mesures LiDAR

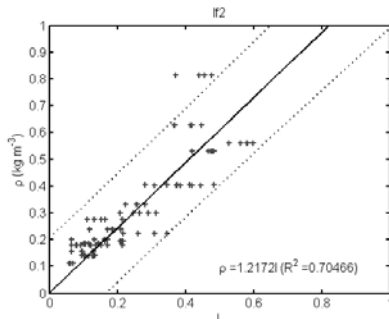


Figure 4: Détermination des coefficients de calibration - Exemple pour If2

Au cours de la calibration, des recherches sur l'effet que joue la distance sur les retours laser ont également été menées.

4. Application aux arbres entiers

La première étape de l'application aux arbres entiers consiste en l'acquisition des données sur le terrain. Trois Pins d'Alep ont été numérisés dans le massif du Petit Luberon. Ceux-ci ont été choisis de sorte à avoir des arbres de caractéristiques variées : différences de tailles et de densités de feuillage. Les arbres sont numérisés à partir de six positions de scannage autour de l'arbre. Une fois l'arbre numérisé, sa biomasse est prélevée par tronçons d'un mètre de hauteur.

De même que pour les données de calibration, les données « arbres » sont post-traitées sous Scene puis sous Matlab.

Sous FARO Scene	Import des numérisations et vérification des paramètres de scannage
	Consolidation des numérisations
	Extraction des coordonnées du pied de l'arbre
	Export des numérisations en valeur d'intensité, au format .ptx
	Colorisation des numérisations
	Export des numérisations en couleurs au format .ptx
Sous Matlab	Lecture et fusion des .ptx « intensité » et .ptx « couleurs » en un fichier .xyzirgbn regroupant les deux informations
	Création d'une grille régulière autour de l'arbre
	Calcul des indices Ni, Nt pour chaque point de la grille

La densité de biomasse de chaque point de la grille est ensuite estimée à partir de la formule suivante :

$$\text{densité de biomasse } (\rho) = \text{coef} \times \text{indice } (I, I_f1, I_f2)$$

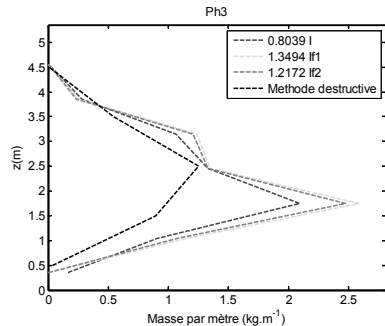
↑
Obtenu par calibration
←
Calculé à partir des mesures LiDAR

Pour obtenir la biomasse en chaque point de la grille, il ne reste alors plus qu'à multiplier la densité de biomasse par le volume.

Cette biomasse est sommée pour chaque tranche de 70 cm de hauteur, pour pouvoir tracer les profils verticaux.

En figure 5, exemple de profil obtenu pour le troisième Pin d'Alep. (En abscisses : biomasse par hauteur de tranche, en ordonnées : hauteurs).

Figure 5: Profil vertical pour l'arbre 3



L'analyse de la qualité de la méthode par approche LiDAR passe par la comparaison aux profils verticaux produits par la méthode destructive, et également par comparaison des estimations de biomasse totale de l'arbre suivant les deux méthodes.

5. Conclusion

La méthode mise au point permet une grande réduction du temps et du coût de mesure de la biomasse combustible. Cependant, les résultats obtenus mettent en évidence une surestimation de la biomasse de feuilles par la méthode laser, qu'il faudra tenter d'expliquer et de corriger.

De plus, certaines contraintes viennent perturber la mesure, notamment le vent qui a un effet difficilement maîtrisable, ou encore la présence de végétation au sol qui pose problème dans le cas de petits arbres ayant de la biomasse très proche du sol.

La suite des travaux consisterait à effectuer les mêmes opérations pour le Chêne vert (autre espèce représentative des forêts méditerranéennes), puis d'appliquer la méthode à des placettes entières et non plus seulement à des arbres individuels.

Intégration de caméras dans un système de lasergrammétrie mobile IGI SAM et optimisation des processus de traitement

PFE présenté par : **Pierrick Allorant**
Société d'accueil : **Helimap System SA**
Directeur(trice) de PFE : **MM. Julien Vallet et Philipp Schaefer**
Correcteurs(trices) : **M. Pierre Grussenmeyer**



1. Contexte et objectifs de l'étude

La société Helimap System SA est basée à Lausanne, dans le canton de Vaud en Suisse romande. Elle est spécialisée depuis sa création dans le lever lidar aérien, à l'aide d'un système tout-en-un installable dans la plupart des hélicoptères.

Ce système a été conçu en interne et permet, outre une grande flexibilité de déploiement, d'obtenir des levés à très haute densité, entre des levés par scanner terrestre et des levés lidar par avion classiques.

En 2013, Helimap a souhaité s'équiper d'un système de lasergrammétrie mobile terrestre pour élargir ses compétences. Le but de ce système est notamment de pouvoir proposer des levés du dessous de ponts ou de l'intérieur de tunnels dans des zones montagneuses en complément des levés aériens.



Illustration 1: Le système IGI SAM

Helimap System s'est tourné vers le système IGI SAM développé par les sociétés IGI GmbH et 3D Laser Mapping. Celui-ci propose une partie navigation de qualité associée à un ou deux scanners Faro Focus X330 démontables pour moduler le prix et permettre d'utiliser les scanners en mode statique.

Le système n'a pas été conçu à l'origine pour intégrer des caméras, mais sur demande il a été adapté 2 caméras 8MP à optique Fisheye sur le système. Celles-ci sont synchronisées avec le reste du système et on dispose donc du temps GPS de prise de chaque photo.

Rien n'ayant été proposé de particulier pour l'intégration logicielle, mon rôle a donc été d'intégrer les photos dans le processus de traitement, d'optimiser leur apport à la mesure, et de proposer de nouveaux usages, celles-ci étant la plupart du temps utilisées uniquement dans un but de documentation.

2. Etat de l'art

Les systèmes de mesure dynamiques, quels qu'ils soient, sont toujours composés de 2 parties :

- Une partie navigation, essentielle pour la précision du géoréférencement, qui comprend :
 - Un récepteur GPS/GNSS cadencé à 1 ou 2Hz
 - Une centrale inertielle mesurant des accélérations et des vitesses de rotation le long/par rapport aux 3 axes à des fréquences élevées (100 à 500Hz)
 - Sur la plupart des systèmes terrestres : un odomètre
- Une partie acquisition constituée des instruments de mesure proprement dits :
 - Un ou plusieurs scanners laser
 - Une ou plusieurs caméras
 - Un ou plusieurs capteurs hyperspectraux

Le traitement des données comprend alors 2 phases :

- Calcul de la trajectoire, ceci se fait en combinant les informations fournies par la partie navigation :
 - Position absolue de l'antenne GPS connue toutes les secondes ou demi-secondes
 - Information de position donnée par double-intégration des mesures données par les accéléromètres contenus dans la centrale inertielle
 - Information d'orientation obtenue par intégration des vitesses de rotation données par les gyromètres (centrale inertielle)
 - Vitesse et distance de roulage données par l'odomètre

Ces informations sont traitées par un filtre de Kalman pour obtenir une trajectoire donnant la position et l'orientation du système en fonction du temps.

- Géo-référencement des données acquises :
 - Pour les données lidar : chaque point P a été enregistré dans le repère interne du scanner. Ses coordonnées dans le repère dans lequel est exprimée la trajectoire sont calculées ainsi :

$$\left(\overrightarrow{OP}\right)_{objet} = \left(\overrightarrow{OO}_{IMU}\right)_{objet} + R_{IMU}^E \cdot \left(\left(\overrightarrow{OO}_{IMU} \overrightarrow{O}_{SCAN}\right)_{IMU} + R_{SCAN_o}^{IMU} \cdot R_{SCAN}^{SCAN_o} \cdot \left(\overrightarrow{O}_{SCAN} \overrightarrow{P}\right)_{SCAN} \right)$$

- Pour les images capturées : chaque caméra est montée de façon rigide sur le système. L'orientation se calcule donc ainsi :

$$\left(\overrightarrow{OO}_{CAM}\right)_{objet} = \left(\overrightarrow{OO}_{IMU}\right)_{objet} + R_{IMU}^{OBJET} \cdot \left(\overrightarrow{OO}_{IMU} \overrightarrow{O}_{CAM}\right)_{IMU}$$

$$R_{CAM} = R_{IMU}^{OBJET} \cdot R_{CAM}^{IMU}$$

Très souvent, l'exploitation du nuage de points Lidar est mise en avant au détriment des photos, qui ne sont enregistrées que dans un but documentaire et/ou pour faciliter l'interprétation du nuage de points.

3. Orientation et étalonnage des caméras

Étalonnage des caméras

La chaîne de traitement utilisée par Helimap comprend de nombreux logiciels différents. La définition des paramètres de calibration étant très souvent différente d'un logiciel à l'autre (et parfois mal définie), la question de l'interopérabilité se pose.

Après une étude empirique, la solution préférée a été de corriger une fois pour toutes les images de façon à pouvoir ensuite s'en servir de façon indifférente dans n'importe quel logiciel en laissant les paramètres de distorsion à zéro.

Sauf exception, les logiciels de photogrammétrie ne sont conçus nativement que pour le modèle de projection gnomonique :

$$r = f \cdot \tan(\theta)$$

Autrement dit : le rayon qui arrive sur la lentille avec un certain angle d'incidence ressort avec le même angle.

Dans le cas d'une optique Fisheye, les choses ne fonctionnent plus de la même façon :

$$r = \text{fonction}(f, \theta) \Leftrightarrow \theta_{\text{sortant}} \neq \theta_{\text{entrant}}$$

Et cette fonction sera tant bien que mal modélisée par un polynôme approchant, usuellement un modèle de Brown.

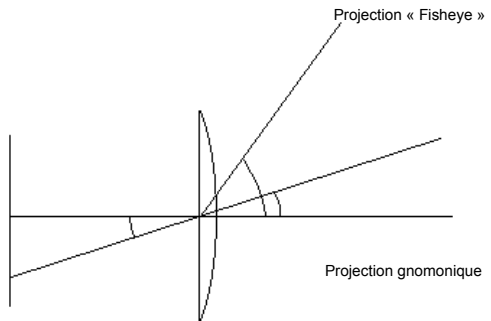


Illustration 2: Déformation des angles induite

L'étalonnage a dû se faire en deux fois :

- correction de l'essentiel des distorsions de type radial engendrées par l'optique Fisheye via un logiciel utilisant des algorithmes issus de la *Computer-Vision*
- étalonnage des images grossièrement corrigées à l'aide d'un logiciel proposant des modèles de distorsion plus évolués : *GIP Bingo*

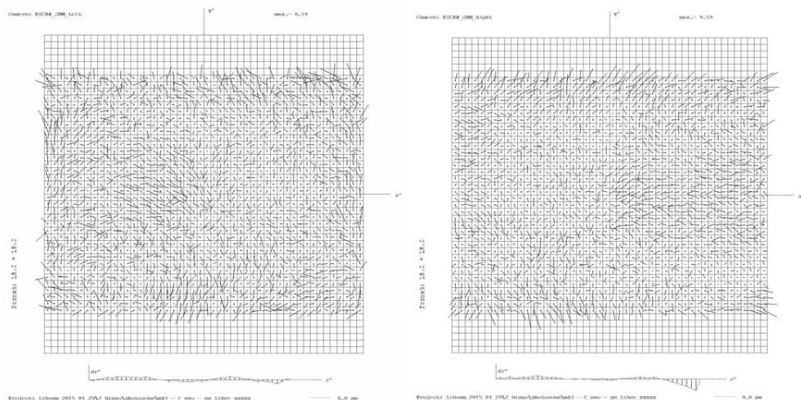


Illustration 3: Grilles de déformation obtenues sous Bingo

Cette calibration en 2 fois a été rendue nécessaire parce que *Bingo* n'arrivait pas à gérer les distorsions très importantes de l'image initiale.

Orientation des images

Pour orienter les images, il faut définir 2 paramètres :

- le vecteur $\overline{O_{IMU}O_{CAM}}$: autrement nommé *Leverarm*
- la matrice de rotation entre le repère de l'IMU et le repère de la caméra : appelée *Boresight*

Le *Leverarm* a été obtenu à 0.5cm près par mesure sur les plans CAO fournis par le constructeur. Le niveau de précision ainsi atteint est suffisant, les calculs d'aérotriangulation ne permettant pas d'obtenir une meilleure précision.

Le *Boresight* a été obtenu grossièrement à l'aide des plans de montage, puis affiné par calcul d'aérotriangulation dans la suite *Terrasolid*.

4. Traitement des images : apport et optimisation

Intégration des images sous Terrasolid : colorisation et classification

Boresight et *Leverarm* calculé, l'import des photos dans Terrasolid se fait rapidement : une fois la trajectoire chargée, l'horodatage des photos permet de calculer automatiquement leur orientation.

Une fois les photos orientées, le logiciel colorise le nuage de points. C'est un premier apport qui permet d'éviter nombre d'erreurs d'interprétation lorsque l'on digitalise sur le nuage de points.

La colorisation permet aussi d'optimiser les routines de classification automatique par un critère sur la colorimétrie de façon à séparer la végétation et le mobilier urbain/routier.

Approche SIG : utilisation d'Orbit GIS

L'un des facteurs limitants de la démocratisation des nuages de points réside dans le fait qu'ils ne sont souvent pas un livrable exploitable pour les clients.

Les images sont par contre beaucoup plus intuitives. Orbit GIS propose une solution innovante pour sélectionner des objets sur une image, et obtenir les coordonnées de ces objets en faisant appel au nuage de points en arrière plan.

Cela permet, dans le cadre d'un inventaire urbain notamment, de proposer au client de faire lui-même son inventaire sur les données brutes, sans devoir passer par des sociétés spécialisées dans la digitalisation.

Cela permet aussi d'éviter un coûteux retour sur le terrain s'il manque un élément dans le nuage : on peut le pointer sur les images et calculer ses coordonnées.

Il a donc été défini une procédure d'export des données lidar et photo vers Orbit GIS, et un accord a été passé avec l'éditeur pour proposer la fourniture de licences aux clients qui le souhaiteraient.

5. Conclusion

Le projet a atteint ses objectifs : les caméras Fisheye sont étalonnées, orientées par rapport au système. Le processus de traitement permet de les orienter rapidement dans Terrasolid, et d'exporter le jeu de données complet vers Orbit GIS.

Surtout, ce travail fait une fois pour les caméras d'origine pourra être refait pour d'autres caméras, à la colorimétrie de meilleure qualité. Une grande marge de progression reste maintenant dans le domaine logiciel pour valoriser au mieux les images.

Développement des activités d'une société de Géomètre-Expert vers la conceptualisation de données de bâtiment en maquette numérique "BIM (Building Information Modeling)"

PFE présenté par : **Vincent Dubreuil**
Société d'accueil : **MA-GEO MOREL Associés**
Directeur de PFE : **Jean François MOREL**
Correctrice : **Tania LANDES**



1. Introduction

La modélisation 3D est un phénomène qui tend à se généraliser dans notre quotidien. Ainsi nous la retrouvons dans de nombreux domaines et de plus en plus dans le secteur du bâtiment et de la topographie. En France, la conception et l'utilisation d'une maquette numérique 3D sont déjà bien installées dans le secteur de l'industrie. Depuis peu, cette nouvelle méthode de travail se développe pour les métiers du bâtiment. Cette technique, appelée BIM, provient des pays anglo-saxons et implique la construction d'une maquette numérique 3D intelligente du bâtiment.

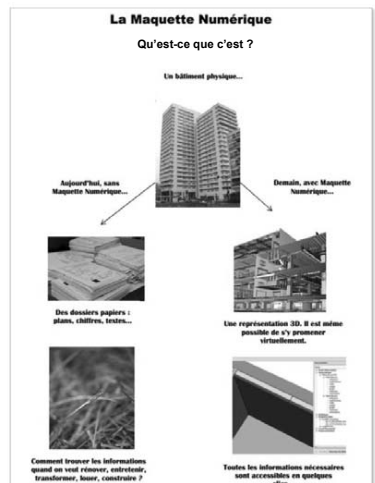
L'engouement autour de cette nouvelle façon de travailler incite les Géomètres-Experts à s'intéresser au sujet du fait de leur capacité à acquérir et à traiter des données 3D. Concernant la conception de maquette numérique, peu de cabinet ont franchi le pas car le marché commence à peine à se développer. De plus, les maîtres d'ouvrages privés ou publics n'ont pas encore totalement pris la mesure de l'importance de la modélisation 3D.

C'est dans ce contexte que la société MA-GEO MOREL Associés a décidé de se lancer dans l'aventure en anticipant le marché. Depuis 2010, le cabinet possède un scanner laser 3D Faro Photon 120. Il est principalement utilisé pour effectuer des levés sur sites industriels et parfois pour de l'auscultation. Mais toutes les possibilités qu'offre la possession d'un scanner laser 3D ne sont pas exploitées et une modification des habitudes de travail et un élargissement des marchés accessibles s'amorcent avec la mise en place de ce Projet de Fin d'Etudes.

2. Présentation de ce qu'est la maquette numérique BIM

Statistiquement dans un projet de construction de bâtiment, les informations sont saisies en moyenne sept fois. Ce chiffre surprenant s'explique par le fait que chacun des acteurs du projet possède son propre logiciel, et ceux-ci ne sont pas forcément compatibles entre eux. C'est la principale cause de ce phénomène de ressaisie, qui provoque des pertes d'informations ainsi que des erreurs, entraînant alors une augmentation des coûts de production.

Le BIM est lui un fichier unique, propre à chaque projet. Le schéma d'organisation ressemble à celui d'un SIG sauf que pour le BIM, il est obligatoire de travailler dans les trois dimensions. Nous ne nous rapportons qu'à un seul bâtiment, ce qui permet d'avoir beaucoup plus de détails sur les éléments le constituant. Par son principe de partage des informations et des données et du travail collaboratif mis en place, le BIM permet une meilleure communication entre les différents corps de métiers concernés par un même projet.



La maquette numérique intervient donc comme étant un support permettant de stocker les données et les informations dans une représentation en trois dimensions de l'ouvrage. Elle se doit d'être accessible à tous les intervenants quel que soit le logiciel utilisé. Pour remédier à cette question essentielle au bon déroulement d'un projet, le format IFC a été initié par l'International Alliance for Interoperability (devenu BuildingSMART) dans le but de permettre d'échanger la maquette numérique quel que soit le logiciel BIM utilisé par les différents intervenants. Ce format ouvert apporte une garantie d'universalité, d'autonomie et de continuité.

3. Le rôle du Géomètre-Expert dans le processus BIM.

A terme une maquette numérique pourra être réalisée pour la conception, ou bien pour la gestion patrimoniale des bâtiments et infrastructures, ce qui nécessite l'implication des interlocuteurs habituels du Géomètre-Expert.

Au vu de la définition du BIM et des ouvrages concernés, le Géomètre-Expert aura pour rôle de veiller à ce que les bonnes pratiques soient mises en œuvre dans l'élaboration d'une maquette numérique. Par ses compétences techniques, juridiques et sa connaissance des instruments de mesures topographiques, le Géomètre-Expert peut fournir une maquette numérique dont les données sont en trois dimensions, fiables et géoréférencées.

Ces connaissances font du Géomètre-Expert un interlocuteur précieux dans le cadre de projets BIM de réhabilitations par le fait qu'il maîtrise la justesse des données composant la maquette numérique, qu'il est le seul acteur de la filière du bâtiment qui par sa double compétence technique et juridique est capable de vérifier des informations juridiques pour les intégrer dans un plan 3D. Il est aussi celui qui peut sensibiliser les maîtres d'ouvrages sur la nécessité de rendre systématique le géoréférencement de la maquette numérique, afin qu'elle ne soit plus une simple maquette « flottant » dans un espace quelconque mais bien la maquette d'un ouvrage contenant toutes les informations concernant son environnement immédiat.

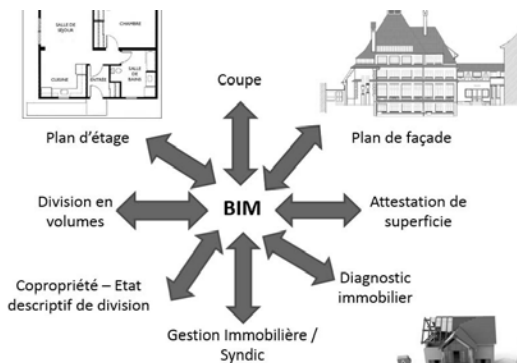


Figure 2 : Prestations descriptives et juridiques du Géomètre-Expert dans le processus BIM (source : contribution OGE à la Mission Numérique Bâtiment)

4. Audit de l'entreprise.

La définition de la maquette numérique BIM et du rôle du Géomètre-Expert dans le processus ayant été définis, le premier objectif a été d'évaluer le fonctionnement actuel du cabinet, afin d'estimer son potentiel avec cette nouvelle technologie. Pour cela un audit des marchés de l'entreprise sur l'année qui venait de s'écouler a été réalisé ainsi qu'un audit des méthodes.

Il est ressorti de l'audit des marchés que les principaux acteurs participant à l'utilisation de la maquette numérique BIM, les maîtres d'ouvrage, les maîtres d'œuvre et les entreprises de construction représentaient une part importante de la clientèle actuelle de MA-GEO. Les parts de marchés des dossiers potentiellement "BIM" pourraient atteindre 10% du chiffre d'affaire du département topographie-foncier du cabinet.

L'audit méthodes quant à lui a mis en évidence que le cabinet emploie sur le terrain trois méthodes de levés qui varient en fonction du contexte (caractéristiques de l'ouvrage et demandes du client).

Ces trois méthodes sont :

- Le lever d'intérieur avec un distancemètre couplé avec une tablette PIC (Plan d'Intérieur Compensé) parfois associé à un lever tachéométrique extérieur. Les données recueillies sur le terrain sont ensuite exploitées avec le logiciel de dessin AutoCAD.
- Le lever d'intérieur et extérieur tachéométrique associé à un traitement des données également avec le logiciel AutoCAD.
- Le lever d'intérieur et extérieur au scanner laser 3D dont les données sont traitées premièrement avec le logiciel de traitement de nuages de points Faro Scene avant d'être exploitées avec les logiciels AutoCAD ou PolyWorks.

5. Mise en œuvre au sein du cabinet.

Au vu des méthodes de travail pratiquées au sein de l'entreprise, il a fallu choisir un logiciel de modélisation BIM, répondant aux critères fixés par les attentes du cabinet ainsi que celles des clients potentiels. Le choix s'est porté sur le logiciel Revit d'Autodesk.

Revit est un logiciel de modélisation 3D. Il permet l'intégration de nuages de points sur lesquels on pourra s'appuyer par la suite pour modéliser l'ouvrage. L'import et l'export facile de fichiers aux formats .dxf et .dwg permettent d'utiliser aisément ses fonctionnalités de passage d'un modèle 3D à des plans 2D (plans de niveaux, plans de façades, coupes...). Cependant Revit est un logiciel orienté conception, il est rapide et facile d'utilisation dans le cas d'ouvrages simples mais la modélisation peut s'avérer plus fastidieuse dans le cas de bâtiments anciens ne présentant pas des formes régulières. Il demande donc dans ces cas d'avoir une connaissance étendue des fonctionnalités du logiciel.

Ainsi, afin de prendre en main le logiciel et de réaliser des notices d'utilisation destinées aux collaborateurs, futurs manipulateurs du logiciel, des tests de constructions de maquettes numériques ont été réalisés.

Chaque maquette avait une particularité :

- La maquette d'un bâtiment à réhabiliter dont le lever avait été réalisé avec un tachéomètre et les plans dressés sur AutoCAD.
- La maquette d'un bâtiment dont le lever avait été réalisé avec un scanner laser 3D.
- La maquette d'un bâtiment industriel comportant de nombreux réseaux et galeries s'appuyant sur des plans AutoCAD.

Ces maquettes tests avaient donc l'intérêt de s'initier à l'utilisation du logiciel et de rédiger les notices correspondantes. Elles ont permis d'évaluer les méthodes de lever terrain en répertoriant les informations manquantes ou incomplètes pour l'établissement de la maquette numérique 3D BIM, puis de rédiger des notices de lever en fonction des méthodes et des attentes du demandeur afin d'établir une maquette numérique qui soit la plus complète et la plus fidèle possible.

6. Conclusion et perspectives.

Ce projet avait pour objectif de mettre en place une démarche d'établissement de maquettes numériques BIM de bâtiments au sein du cabinet MA-GEO MOREL Associés et d'enclencher la phase de développement de l'entreprise vers ce nouveau procédé et de positionner l'entreprise dans un marché émergent.

Dans un premier temps, il a fallu évaluer le potentiel d'intégration dans ce nouveau marché du cabinet, en évaluant les méthodes de travail ainsi que la clientèle. Il est ressorti de cette étude que MA-GEO MOREL Associés possédait déjà la clientèle intéressée par ce nouveau type de prestation.

Dans un second temps, l'objectif était d'établir des méthodes de travail adéquates tant sur le terrain qu'au bureau pour réaliser des maquettes numériques 3D BIM qui soient les plus complètes possible. Pour cela, MA-GEO MOREL Associés a acquis le logiciel de modélisation Revit. Les tests effectués sur le logiciel ont mis en évidence que la méthode de lever tachéométrique n'était pas adéquate à l'utilisation du logiciel. De plus, de par la fonction principale de Revit qui est un logiciel de conception, il apparaît que dans le cas du traitement de données scanner laser 3D, un logiciel d'aide à la modélisation tel que PointSense for Revit peut être utile.

L'utilisation du logiciel a aussi ouvert des perspectives vers son exploitation dans le domaine du foncier et notamment pour les copropriétés et divisions en volumes. Cependant cela nécessite une meilleure maîtrise des capacités du logiciel, qui peut s'avérer très chronophage. Toutefois, MA-GEO MOREL Associés a intérêt à monter en compétence car le gain de temps concernant à la fois le dessin de plans 2D et la réalisation de vues 3D n'est pas négligeable, c'est pourquoi il est intéressant que le cabinet continue de se développer en ce sens pour garantir sa pérennité économique et faire face à la concurrence.

Etude de la qualité des données issues de relevés photogrammétriques par drones.

PFE présenté par : **Arnaud Berson**
Société d'accueil : **Redbird**
Directeur de PFE : **Emmanuel de Maistre**
Correcteur : **Emmanuel Alby**



1. Contexte de l'étude

Développée et utilisée dans un cadre militaire pour des missions de surveillance et de renseignement, la technologie des drones a été adaptée depuis quelques années au monde civil et industriel. Profitant des progrès de la robotique, les prix des aéronefs ont considérablement baissé ces dix dernières années et sont désormais accessibles au plus grand nombre. Cette diminution des coûts, combinée à l'essor de la photographie numérique et des algorithmes de méthodes automatiques de corrélation, a poussé les métiers du « monde de la Mesure » à utiliser ces appareils capables de réaliser des acquisitions rapides sur de grandes surfaces.

Bien consciente de cette révolution aéronautique, la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) a rapidement légiféré afin d'accompagner le développement des drones civils. Cette législation offre un cadre réglementaire à l'utilisation d'aéronefs légers permettant la création de sociétés opératrices de drones civils. C'est le cas de Redbird. Créée fin 2012, la start-up a consacré ces deux dernières années au développement de ces solutions. La société est un fournisseur de données acquises par drones civils. Intégrateur et développeur de technologies, Redbird propose ainsi des solutions innovantes au travers de ses Business Units dédiées : Network Supervision (transport, énergie), Geospatial (monitoring de mines et carrières, inspection d'ouvrages d'art) et Agribusiness (optimisation de la fertilisation azotée, érosion des sols).

Comme toute nouvelle méthode d'acquisition, la photogrammétrie par drone n'est pour l'instant pas entièrement maîtrisée par les utilisateurs et nombre de questions subsistent. Ce projet de fin d'études intitulé « Etude de la qualité des données issues de relevés photogrammétriques par drones » s'inscrit dans la volonté de Redbird de certifier leurs données (nuages de points et orthomosaïques) ainsi que de proposer des pistes et moyens à mettre en œuvre afin d'améliorer leurs travaux et d'obtenir des données de la meilleure qualité possible. De plus, cette étude permettra à l'entreprise de pouvoir rassurer ses clients quant à la fiabilité des acquisitions. En effet, étant donné la nouveauté de ce mode de mesures, les clients peuvent parfois se montrer réticents à les employer.

2. La législation française

La France est le premier pays au monde à avoir encadré l'utilisation des drones civils. Le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie a mis en place le 11 avril 2012 deux arrêtés ministériels, issus de la réflexion de la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC), définissant un cadre réglementaire à la conception et à l'utilisation des drones à usages civils.

Le premier arrêté « relatif à la conception des aéronefs civils qui circulent sans aucune personne à bord aux conditions de leur emploi et sur les capacités requises des personnes qui les utilisent » expose les différentes catégories de drones ainsi que les divers scénarii de vols dans lesquels ils peuvent évoluer. Il présente également les multiples documents nécessaires au télépilote afin de faire évoluer un drone dans les différents scénarii exposés. Le deuxième arrêté « relatif à l'utilisation de l'espace aérien par les aéronefs qui circulent sans personne à bord » énonce les différentes hauteurs de vols autorisées en fonction des infrastructures aéronautique existantes à proximité ou dans la zone de vol. Ces arrêtés permettent de maîtriser les risques liés aux vols de drones tout en facilitant l'émergence d'une filière pleine d'avenir.

3. Protocole de qualification de la précision des données

Afin de mieux comprendre les travaux réalisés, il est nécessaire de présenter la flotte de l'entreprise. Cette flotte est composée de deux drones à voilure fixe (le DT-18 de Delair Tech et le Gatewing X100 de Trimble) ainsi que d'un drone à voilure rotative (le U130 de Novadem).



Figure 1 – Flotte de l'entreprise (de gauche à droite : DT-18, X100 et U130)

Chacun de ces appareils a ses spécificités et réalise des missions qui lui sont propres. Le tableau 1 résume les différentes caractéristiques de ces aéronefs sans pilote.

Drone	Type	Appareil photographique	Scénario de vol	Type de mission courante	Hauteur de vol courante
DT-18	Voilure fixe	DT-3 Bands et DT-4 Bands (capteurs spécifiques au drone)	S2 et S4	Réseaux de transports ou d'énergie (levé en plan)	100-140 m
X-100	Voilure fixe	Ricoh GR Digital IV	S2 et S2+	Carrière et secteur agricole (levé en plan)	100-140 m
U130	Voilure rotative	Sony RX 100	S1 et S3	Relevés architecturaux ou inspections d'ouvrages (levé en élévation)	De 3 à 30 m de l'objet selon les besoins de la mission

Tableau 1 – Caractéristiques des drones

Afin de qualifier la qualité des données issues des vols des drones, nous avons choisi de mettre en situations réelles les différents appareils de la flotte présentés ci-dessus. Nous avons pour cela entrepris des relevés photogrammétriques tests, ainsi qu'un relevé au scanner laser terrestre (FARO Focus 3D X330) dont la pertinence de la précision des données a déjà été démontrée par le passé. Ce relevé réalisé au scanner laser terrestre nous a permis d'obtenir des données de comparaison fiables.

Le but de la manipulation était de tester chacun des drones dans le contexte de vol qui lui est propre. Nous avons donc entrepris des vols surfaciques sur une zone test (50 hectares) avec le DT-18 (vols effectués à 100 m de hauteur et utilisation des deux capteurs) et le X-100 (vols à 100 et 140 m de hauteur) ainsi que des vols en élévation avec le U130 (vol à 5 m de l'objet) autour de l'église présente dans la zone afin de simuler un relevé architectural (vol à vitesse lente et proche de l'objet). La taille de la zone étant importante, nous avons concentré notre relevé au scanner laser terrestre (SLT) autour de l'église (figure 2).



Figure 2 – Nuage de points (de gauche à droite : Nuage « Scanner », « X-100 » et « U130 »)

4. Traitement et analyse des résultats

Nous nous sommes tout d'abord intéressés aux vols surfaciques. La trentaine de points d'appui (cibles et points remarquables au sol) répartis sur toute la zone et relevés avec un récepteur GNSS, nous ont permis d'étudier l'influence et le placement du nombre de GCP (Ground Control Point). Après avoir déterminé à 10 le nombre de GCP optimal, étudié l'influence du logiciel de traitement photogrammétrique ainsi que l'exactitude du nuage issu du SLT, nous avons pu comparer les nuages issus des vols du X-100 et du DT-18 avec celui obtenu par lasergrammétrie terrestre. Nous avons décidé de comparer séparément les différents types de surfaces et objets présents sur la zone. Nous avons alors utilisé la méthode « nuage à nuage » pour comparer l'église et les zones herbeuses, et la méthode « nuage à maillage » pour comparer la terre, l'enrobé ainsi que le gravier (tableau 2).

Donnée	Nuage / Nuage						Nuage / Maillage			
	Gravier		Enrobé		Terre		Eglise		Herbe	
	Δ (cm)	σ (cm)	Δ (cm)	σ (cm)	Δ (cm)	σ (cm)	Δ (cm)	σ (cm)	Δ (cm)	σ (cm)
DT-18 / DT-3Bands	-1.3	2.7	-2.5	2.5	0.5	2.4	4.4	5.1	4.8	3.8
DT-18 / DT-4Bands	-2.5	5.1	-4.3	2.7	-3.6	3.5	8.8	7.2	5.6	4.4
X-100 / 100m	-0.7	2.6	1.1	2.6	1.1	2.6	4.7	5.3	3.8	3.5
X-100 / 140m	2.7	4.5	4.2	2.8	4.3	2.9	5.8	5.7	4.3	3.9

Tableau 2 – Récapitulatif des écarts (avec Δ = moyenne des écarts et σ = écart-type)

Les moyennes des écarts et écarts-types sont principalement influencés par la qualité du capteur ainsi que par la hauteur de vol. Par ailleurs, plus le capteur sera de bonne qualité avec une taille de pixel (GSD) fine, plus le nuage sera dense et peu bruité. Les orthomosaïques, quant à elles, ont été contrôlées à partir des points d'appuis non utilisés en tant que GCP pour les calculs d'aérotriangulation. Nous constatons des écarts-types allant de 2 à 4 cm.

Concernant le relevé en élévation réalisé avec le U130 autour de l'église, deux traitements ont été effectués : le premier sans utiliser de GCP mais seulement une mise à l'échelle avec 4 distances mesurées au ruban sur les façades de l'édifice ; le deuxième avec 10 points d'appuis, relevés au tachéomètre, répartis tout autour de l'église. A partir du nuage de points issu de ce dernier traitement photogrammétrique, nous obtenons une moyenne des écarts de 2.4 cm ($\sigma = 2.5$ cm) avec le nuage lasergrammétrique contre 3.2 cm ($\sigma = 3.1$ cm) avec le nuage issu de la simple mise à l'échelle en utilisant la méthode « nuage à nuage ». Ces comparaisons nous confirment qu'une simple mise à l'échelle peut suffire pour ce type de levé même si les GCP permettent d'optimiser les résultats et d'obtenir un géoréférencement du modèle 3D. Etant dans la situation d'un vol proche de l'objet à mesurer, les nuages ne sont quasiment pas bruités.

Les deux orthomosaïques de la façade Sud de l'église, issues des deux traitements, ont été contrôlées en utilisant les distances obtenues par lasergrammétrie. Nous obtenons un écart-type de 3.6 cm avec l'orthomosaïque issue de la mise à l'échelle et de 2.3 cm avec la seconde.

5. Limites et contraintes de la photogrammétrie par drone

Suite à nos tests et à l'étude d'autres relevés réalisés par Redbird, nous pouvons tirer certaines conclusions liées aux limites et aux contraintes d'acquisition par drone. Quel que soit le type d'aéronef, l'autonomie (variant de 15 à 45 minutes), ainsi que la législation posent un réel souci d'acquisition, tout comme le traitement des données qui, sans matériel informatique performant, peut prendre des jours selon la complexité des relevés réalisés.

Concernant le nuage de points issu des vols surfaciques, les façades de bâtiments ne sont pas reconstruites correctement. De plus, le bruit peut-être important et difficilement nettoiable en totalité même avec un logiciel

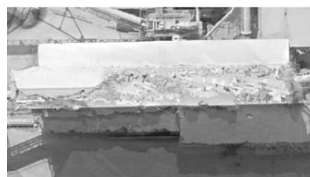


Figure 3 – Toit de bâtiment

performant comme 3DReshaper. Il est d'ailleurs la source de la mauvaise qualité visuelle des orthomosaïques. La plupart des logiciels de traitements dédiés aux drones projettent les clichés sur le MNS et non le MNT (orthophotographie vraie), or le MNS est bruité du fait qu'il se base sur le nuage de points dense. Les bâtiments ou bien encore la végétation sont donc mal reconstruits (figure 3). Néanmoins cela peut être estompé par une dégradation de la résolution de l'orthomosaïque. Dégradation permettant aussi de dissimuler les nombreuses lignes de raccord dues aux faibles fauchées de prise de vues (par exemple : nous obtenons une fauchée de 127x95 m avec le Ricoh GR Digital IV à 100 m de hauteur).

6. Perspectives d'évolution

Un manque ou une mauvaise répartition des GCP peut vite entraîner des erreurs planimétriques et surtout altimétriques importantes. Une des solutions serait l'utilisation d'un drone utilisant la technologie de positionnement RTK ou bien PPP. Ces systèmes, permettant théoriquement un géoréférencement direct, combinés à des points d'appui judicieusement placés minimiseraient de telles erreurs.

Concernant les capteurs, les appareils photographiques grand public utilisés aujourd'hui par les différents drones sont bien différents des caméras numériques aériennes utilisées en photogrammétrie aéroportée et ne répondent pas aux mêmes exigences (stabilité géométrique, qualité du capteur...). Or, utiliser des caméras plus performantes lors d'acquisitions par drone permettrait d'améliorer la qualité des données finales (meilleure résolution des images, diminution du bruit...). Des caméras photogrammétriques destinées aux drones, dont le poids (environ 700 grammes) est cependant trop important pour la plupart des aéronefs aujourd'hui, sont déjà disponibles sur le marché. D'autres, comme la caméra AR CAMLIGHT de l'IGN, ne pesant que 300 grammes, verront bientôt le jour.

Cependant ces appareils ne disposent que d'un seul capteur, à l'inverse de certaines caméras utilisées en photogrammétrie aéroportée. L'utilisation de trois ou quatre capteurs permettrait de disposer d'images sur lesquelles il est possible de mesurer des objets peu visibles sur des prises de vues aériennes à axe vertical comme les façades de bâtiments.

Pour finir, les systèmes LiDAR permettent d'obtenir une meilleure définition du modèle de terrain des zones masquées par la végétation. Installer un LiDAR sur un drone serait donc un bon complément aux méthodes actuelles. Certains constructeurs ont déjà lancé leur système spécifique aux drones. Cependant il faut encore se montrer prudent quant aux précisions annoncées par les fabricants. Une étude est d'ailleurs en cours sur le système Yellowscan de L'Avion Jaune.

7. Conclusion

Grâce à leur rapidité d'acquisition et à la possibilité de réaliser des relevés à partir de points de vue jusque-là inaccessibles, les drones présentent un réel potentiel et une alternative aux méthodes de mesures classiques. L'étude des différentes données a permis de montrer tout le potentiel de ces appareils et d'en tirer les limites actuelles. Elle a également pu mettre en avant certaines améliorations et modifications des chaînes d'acquisitions et de traitements pouvant être mises en place.

Les résultats des travaux sont concluants, cependant il est nécessaire que l'étude soit poursuivie afin de compléter et de renforcer ces premiers résultats obtenus. Il serait intéressant d'étudier l'influence de tous les paramètres d'acquisition et de traitement un à un (recouvrement, précision des GCP...) ainsi que d'expérimenter les nouvelles technologies présentes ou arrivant sur le marché comme les puces GPS de haute précision ou bien encore la caméra de l'IGN.

Malgré des résultats très satisfaisants, les aéronefs légers ne remplaceront pas les outils de mesures topographiques classiques mais en seront un complément de plus en plus performant car s'améliorant au fil des ans.

Reconstruction d'arbres en milieu urbain à partir de nuages de points

PFE présenté par : **Elena BOURNEZ**
Organisme d'accueil : **Laboratoire ICube**
Equipe TRIO / INSA Groupe PAGE
Directeur de PFE : **M. Georges NAJJAR**
Encadrant : **Mme Tania LANDES**
Correcteur : **M. Emmanuel ALBY**



1. Contexte de l'étude

Le but de ces travaux est de réaliser, dans le cadre de recherches sur le climat urbain, des modèles numériques précis d'arbres afin d'étudier l'apport de ces arbres sur le climat urbain.

Ce projet a vu le jour grâce à la collaboration de deux équipes : TRIO du laboratoire ICube à Strasbourg et UMR PIAF du laboratoire de l'INRA à Clermont-Ferrand. Chacune d'elles travaille sur une thématique spécifique :

- L'équipe d'ICUBE a pour objectif de démontrer l'impact de la végétation sur le climat.
- L'équipe de l'INRA a pour objectif de comprendre et de structurer la spatialisation de l'arbre et son processus de photosynthèse (position et localisation des feuilles..).

Pour pouvoir répondre à leur demande, ils ont fait appel à des topographes, car ceux-ci sont habitués à différentes formes de modélisations qui pourraient être intéressantes pour résoudre leurs problèmes, telles que la modélisation tridimensionnelle d'objets ou de scènes. Mais le challenge reste de taille, car l'arbre n'est pas un objet d'étude habituel. Dans ce projet, ceux étudiés par les climatologues et les topographes sont des tilleuls argentés, taillés en forme de « tête de chat », implantés dans le Jardin du Palais Universitaire à Strasbourg (figure 1).

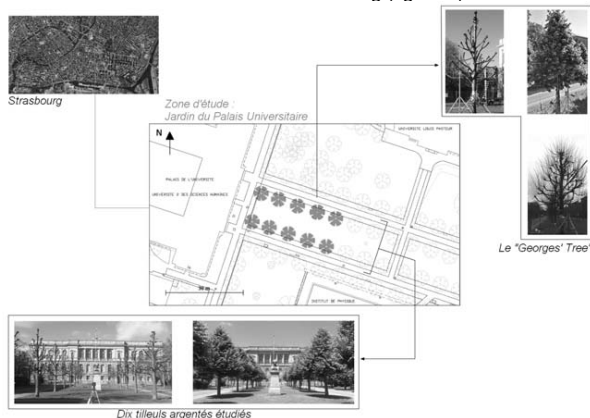


Figure 1 : Plan de situation des arbres étudiés

Une première étude, menée par Hayot (2014), a permis de mettre en place toute une chaîne de traitements dans le but de reconstruire en 3D la géométrie d'un arbre, nommé le « Georges' Tree ». Celui-ci a été étudié lorsqu'il était « nu » c'est-à-dire sans pousse ni feuille, et lorsqu'il possédait uniquement des pousses. L'étude s'est donc portée sur plusieurs périodes de l'année.

Le premier choix méthodologique s'est porté sur le capteur permettant d'acquérir les données 3D de l'arbre sur le terrain. Plusieurs stations de scanner laser terrestre ont été effectuées autour de l'élément étudié. Puis, les phases de traitements informatiques de ces données ont été mises en place, telles que la consolidation de la scène balayée et la préparation du nuage de points de l'arbre. C'est en partant de cette donnée qu'a été développée une solution permettant de reconstruire la géométrie de l'arbre (tronc, branches, pousses). L'algorithme, nommé ArbreSQUEL, développé dans le logiciel Matlab, permet d'extraire du nuage de points un squelette représentant l'objet étudié en 3D. Ce type de représentation filaire a été choisi à la suite de recherches sur les différents types de modélisation. Les données qui sont extraites du squelette sont : le nombre de branches et leur longueur, le nombre de pousses et leur longueur, et la position 3D des points du squelette. Grâce à ce résultat, l'INRA effectue plusieurs déterminations, comme par exemple une estimation du nombre de feuilles dans l'arbre.

L'objectif de ce nouveau PFE est d'améliorer les résultats précédents, en ce qui concerne la reconstruction 3D de la structure de l'arbre (tronc, branches) et des pousses. De plus, nous devons développer une méthode pour déterminer le volume de la canopée, qui est la partie feuillue de l'arbre, afin de répondre au besoin des chercheurs. Ainsi pour cette nouvelle étude, non plus un mais dix tilleuls argentés vont être étudiés, à l'état « nu », « avec pousses » et « feuillu ».

Les principaux travaux effectués lors de notre étude vont être présentés dans les parties suivantes. Nous commencerons par exposer les améliorations apportées à la reconstruction 3D de la structure de l'arbre. Puis, nous verrons les solutions développées, qui permettent d'extraire de l'arbre les paramètres tels que les pousses et le volume de la canopée.

2. Amélioration de la reconstruction 3D de la structure de l'arbre

L'algorithme utilisé pour modéliser la structure de l'arbre en 3D est scindé en deux parties. La première, nommée ArbreSQUEL 1 s'appuie sur les travaux de Cao et al. (2010) et la deuxième, ArbreSQUEL 2 a été développée par Hayot (2014). Les résultats obtenus sur la structure des arbres sont très prometteurs contrairement à ceux obtenus sur les pousses. C'est pourquoi nous avons remplacé cette dernière solution de reconstruction des pousses par une nouvelle solution présentée dans la prochaine partie. En ce qui concerne la modélisation du tronc et des branches, plusieurs améliorations ont été apportées à l'algorithme au cours de cette étude (figure 2).

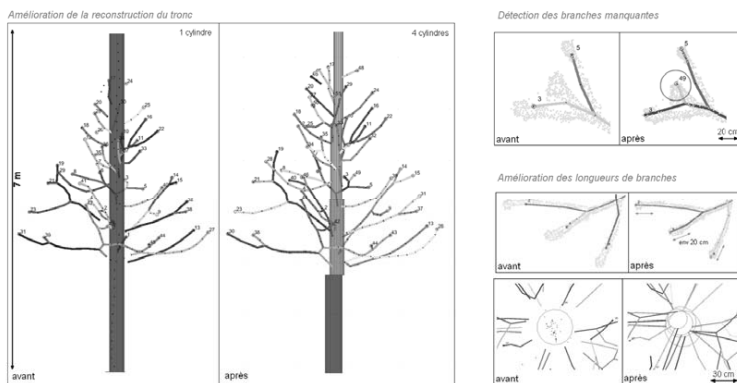


Figure 2 : Améliorations de l'algorithme ArbreSQUEL

Premièrement, la modélisation du tronc, qui est le seul élément non représenté par un squelette, n'est plus constituée d'un cylindre mais de quatre, permettant une représentation plus fidèle à la réalité. En effet, le tronc pouvant avoir une forme courbée et amincie à son extrémité, il est nécessaire d'utiliser plusieurs cylindres disposant de paramètres variables (diamètre, position, hauteur) suivant la position dans le tronc.

Deuxièmement, l'algorithme détecte maintenant plus de branches présentes dans l'arbre qu'auparavant. Après amélioration, le nombre de branches détectées est passé de 82% à 90% par

arbre (91% à 98% si les branches difficilement reconnaissables faisant partie du sommet sont comptées).

Dernièrement, toujours dans le but d'effectuer des améliorations, la longueur squelettisée pour chaque branche a été étudiée. En effet le squelette d'une branche ne se poursuivait pas jusqu'au bout de la branche et n'était pas raccordé aux cylindres représentant le tronc. Le gain de longueur de branche entre l'ancienne et la nouvelle version de l'algorithme est de + 23% par arbre.

Pour conclure sur cette partie, l'algorithme permettant de reconstruire la structure de l'arbre en 3D fournit de meilleurs résultats visuels et quantitatifs. Cependant, il reste encore des travaux à effectuer. Par exemple, il faudrait automatiser la détermination des paramètres liés aux cylindres, représentant le tronc, ou encore éviter une intervention de l'utilisateur au milieu du lancement d'ArbreSQUEL 2, qui a été ajoutée avec ces améliorations.

3. Solution d'extraction de paramètres liés à l'arbre

Une autre partie des travaux effectués au cours de cette étude s'est portée sur l'extraction de certains paramètres liés aux arbres.

3.1. Extraction des pousses

Comme il a été précisé dans la deuxième partie de ce résumé, la modélisation des pousses par la squelettisation n'a plus été étudiée, à cause de sa complexité. Une solution de détermination indirecte a été développée. Cette nouvelle solution de reconstruction des pousses a été testée uniquement sur le « Georges' Tree ».

Nous sommes partis d'une hypothèse, venue après observation de la topologie des arbres sur le terrain. Elle suppose l'existence d'une corrélation entre le volume d'un moignon et le nombre de pousses qui en ressortent et une autre corrélation entre ce même volume et la longueur totale de pousses qui en ressortent. Ainsi, deux relations linéaires ont été déterminées à partir de données extraites manuellement d'un échantillon de tête de chat assez représentatif de l'arbre (15 têtes de chat sur 52). L'obtention de ces données a été réalisée avec plusieurs étapes manuelles et chronophages (figure 3), réalisées dans différents logiciels comme : Cloud Compare, 3D Reshaper, Autocad et Matlab.

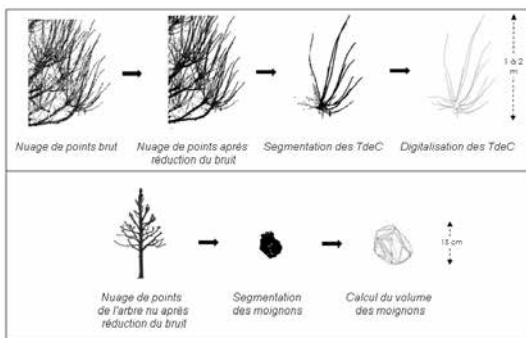


Figure 3 : Etapes de préparation des données en entrée pour définir la corrélation

Une application des relations de corrélation sur la totalité des moignons de l'arbre, puis une comparaison des résultats avec un jeu de données de référence ont été réalisées. Ce dernier est une digitalisation manuelle de l'ensemble des pousses présentes sur toutes les têtes de chat de l'arbre. Pour pouvoir déterminer l'imprécision des résultats obtenus, un bilan des erreurs des données en entrée pour la détermination de la corrélation a été effectué. Il permet de définir une tolérance en dessous de laquelle les résultats obtenus sont retenus.

Cette nouvelle solution permet en moyenne d'extraire 96% du nombre de pousses et 71% de la longueur totale de pousses, le tout par tête de chat. Ces résultats sont satisfaisants et obtenus automatiquement, si nous considérons déjà connaître les relations de corrélation. Cependant, cette méthodologie ne permet pas de déterminer la position tridimensionnelle de chaque pousse. Ainsi, une

des perspectives à envisager pour améliorer ce résultat serait l'étude de la spatialisation (direction, courbure) des pousses.

3.2. Extraction du volume de la canopée

Une dernière partie de notre étude se concentre cette fois-ci sur l'arbre feuillu. Elle consiste à extraire le volume de la canopée du nuage de points de cet arbre.

Pour effectuer cette opération, une solution totalement automatique a été créée, et plus précisément un algorithme nommé ArbreVOL. Il permet d'extraire trois volumes liés à la canopée (figure 4) : la canopée entière, la canopée vide de feuilles et la canopée contenant des feuilles (vert foncé).

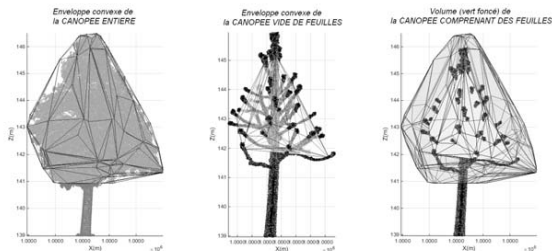


Figure 4 : Présentation des trois volumes recherchés

Pour définir les deux derniers volumes, nous sommes partis d'une hypothèse qui met en avant le fait que les feuilles présentes dans l'arbre se situent surtout sur la couche extérieure de celui-ci. Il y aurait donc un volume avec peu de feuilles à l'intérieur, que l'on appelle le « volume vide de feuilles ».

Cet algorithme a été appliqué sur les dix tilleuls argentés. Faute de données de référence, nous pouvons en ressortir uniquement que 76 % du volume de la canopée entière contient des feuilles.

Cette solution nous permet aussi d'avoir des données sur l'évolution de la canopée au cours de l'année. Au début de la pousse des feuilles (mi-avril), le volume de la canopée entière est d'environ 50m³, et lorsque les pousses sont arrivées à maturité (automne) ce volume double.

Cette solution d'extraction de différents volumes liés à la canopée fournit des résultats cohérents. Cependant, il faudrait obtenir une donnée de référence pour chaque volume par arbre, afin de connaître l'exactitude de cette méthode. Il serait aussi intéressant d'extraire d'autres paramètres concernant la canopée, tels que son diamètre, son enveloppe convexe, etc...

4. Conclusion

L'ensemble des travaux effectués au cours de ce Projet de Fin d'Etudes était dans l'optique de reconstruire la géométrie en 3D d'arbres, sous trois formes : « nu », avec pousses et avec feuilles. Pour chaque partie de l'arbre à représenter, une solution a été développée ou améliorée :

- La squelettisation de la structure de l'arbre
- La détermination de paramètres liés aux pousses par une relation de corrélation
- L'extraction automatique de trois volumes relatifs à la canopée.

Des tests ont été réalisés pour reconstruire la géométrie d'autres espèces d'arbres. Les résultats sont prometteurs, mais pas aussi satisfaisants qu'avec les tilleuls argentés. Enfin, beaucoup de perspectives d'amélioration sont à envisager pour une prochaine étude, en commençant par la création d'une interface pour gérer toutes les données en entrée des algorithmes.

Références

Cao, J., Tagliasacchi, A., Olson, M., Zhang, H., et Su, Z., 2010. Point cloud skeletons via Laplacian based contraction. Shape Modeling International Conference (SMI), pp. 187-197.

Hayot, C., 2014. Etude des solutions de modélisation d'un arbre en milieu urbain, en vue de son intégration dans les modèles météorologiques, Mémoire de soutenance de diplôme d'ingénieur, Institut National des Sciences Appliquées de Strasbourg, 79 pages.

Évolution des processus des prestations architecturales d'une société de Géomètres-Experts vers la modélisation des données du Bâtiment – BIM –

PFE présenté par : **Violaine Graffin**
Société d'accueil : **RENER & VENANT**
Directeur(trice) de PFE : **Hervé Crance**
Correcteurs(trices) : **Emmanuel Alby**



RENER & VENANT
Géomètres - Experts

5 boulevard Edgar Quinet
BP 54
92703 Colombes cedex

Téléphone : 01 42 42 02 18
Télécopie : 01 42 42 25 95
colombes@rener-venant.fr

1. Le Building Information Modeling (BIM) ou Bâtiment et Informations Modélisés

Le Building Information Modeling (BIM), francisé en « Bâtiment et Informations Modélisés » est un outil de gestion d'un ouvrage. Le principe est de créer et de travailler sur un modèle en 3D intelligent. C'est à dire qu'en plus de la maquette numérique simple contenant seulement des formes géométriques, le BIM est un modèle paramétrique qui contient l'ensemble des composants techniques de l'ouvrage. Chaque objet composant l'ouvrage est lié à ses caractéristiques (sa composition, ses propriétés, etc.). Chaque pièce est associée à son utilisation (bureau, chambre, circulation, etc.), à sa surface, à son revêtement, chaque fenêtre est associée à sa surface vitrée, son matériau, son type d'ouvrant, etc.

Le processus BIM permet de modifier la façon de planifier, concevoir et livrer des projets. Il peut être mis en œuvre pour 3 grands types de projet : les infrastructures (routières, ferroviaires, etc.), les bâtiments (construction et rénovation) et les modèles urbains complets. Trois niveaux ont été définis au fur et à mesure dans la mise en place du BIM :

- Au premier niveau, chaque corps de métier est propriétaire de sa maquette. Chacun possède son exemplaire. Il y a donc autant de maquettes que d'intervenants et tous les avantages liés au BIM ne sont pas atteints.
- Au deuxième niveau, les maquettes de chaque corps de métier sont regroupées en une seule contenant toutes les informations. La maquette finale est établie et gérée par le BIM Manager. Déjà à ce niveau, une grande partie des avantages est atteinte. Ce niveau est en cours d'élaboration, il est déjà possible mais peut-être encore amélioré.
- Au dernier niveau chaque intervenant modifie la maquette unique en temps réel. C'est le niveau le plus poussé qui n'est encore que très peu développé. Il consiste à ce que l'ouvrage soit entièrement reconstitué à chaque époque de sa vie par une maquette numérique unique entièrement renseignée et que les intervenants modifieraient en temps réel. Le BIM devient l'outil de travail collaboratif par excellence.

Le BIM doit couvrir l'ensemble du cycle de vie d'un projet afin de mieux le représenter, anticiper et optimiser les options. Il couvre donc les phases de planification, de conception, d'analyse et de simulation, de documentation, de fabrication, de construction, d'exploitation, de maintenance et de destruction. On pourra associer un ND (« Niveau de développement » ou « Niveau de détail ») aux différentes phases. Le ND représente le niveau des renseignements attendus en rapport avec les niveaux d'avancement du projet.

Les avantages liés au BIM sont multiples. La collaboration des différents acteurs est facile, leurs données sont toutes correctement conservées dans la maquette et ne sont produites qu'une seule fois (aujourd'hui on va jusqu'à reproduire sept fois le même document). Ce qui apporte une meilleure productivité, une baisse des coûts globaux liés à l'ouvrage, une meilleure compréhension du projet, une meilleure prédiction des coûts. En résumé : une meilleure connaissance du projet et donc une meilleure gestion de celui-ci.

Lorsque le client ne connaît pas les avantages du BIM, il ne comprend pas pourquoi il devrait fournir dès le début l'argent nécessaire à l'élaboration de la maquette BIM. En effet avec le BIM,

l'effort financier le plus important est demandé en début d'étude. Il faut donc lui démontrer qu'en cas d'études classiques sans BIM, lui-même supporte une grande partie du coût habituel dû à la non interopérabilité. Comme il sera par la suite propriétaire de la maquette, il possèdera une base de données complète et ordonnée.

Depuis une vingtaine d'années de recherche, des logiciels et des formats de partages ont été développés et permettent aujourd'hui de travailler en BIM à certains degrés de maturité. Quelques-uns sortent du lot. Le format IFC (Industry Foundation Classes) est un format ouvert de données orientées objets qui apporte un langage commun pour l'utilisation du processus BIM pensé par l'association BuildingSmart. Le logiciel Revit de la suite d'Autodesk est un logiciel permettant de créer une maquette numérique BIM d'un bâtiment. Les progrès dans ce domaine continuent en permanence.

Les logiciels de BIM possèdent une bibliothèque d'objets. C'est un répertoire proposant des familles d'objets rangées en catégories. Une famille contient un type d'objet déjà modélisé et disponible dans diverses dimensions. Il existe par exemple plusieurs familles de fenêtre, et dans la catégorie fenêtre, il existe plusieurs fenêtres de toit, plusieurs fenêtres à ouvrant simple, plusieurs fenêtres avec imposte, etc. Lors de l'installation de Revit, de nombreuses familles sont répertoriées et peuvent ainsi être chargées dans un projet. D'autres objets sont proposés sur des sites internet, comme Polantis ou BIM Object. Il est aussi utile parfois de créer de nouvelles familles.

Si le principe du BIM est louable, il reste récent et des problèmes fondamentaux ne sont pas encore résolus : en effet, des professionnels vont devoir se baser sur une maquette conçue par d'autres, ils pourront être amenés à se demander : Qui la commande ? Qui la finance ? A qui appartient-elle ? Qui lui assure la fiabilité des données ? Quelle était la mission de base et donc sa précision ? Qui en est responsable en cas de contentieux ? A-t-elle une valeur juridique dans un contrat ? Il faudra répondre rapidement à ces questions car l'Europe veut encourager l'utilisation de ce processus et la France a choisi de rendre obligatoire à partir de 2017 la maquette numérique dans les marchés publics d'Etat supérieurs à 2 000 m².

2. L'implication d'un cabinet de géomètres dans le BIM

Le BIM touche tous les professionnels du BTP, aussi bien dès la phase de conception d'un ouvrage nouveau que pour un ouvrage déjà existant. Les géomètres pourront modéliser eux-mêmes les bâtiments existants essentiellement pour la partie « architecture » plutôt que les parties « structure » ou « MEP » (éléments mécaniques, électriques, et de plomberie). En effet leur connaissance approfondie des outils de lever du bâti, comme la lasergrammétrie et la photogrammétrie, leur donne une place de choix. De plus, ils pourront apporter leur expertise : leur connaissance des systèmes et méthodes de géoréférencement, du cadastre, des actes publiés aux hypothèques (ventes, servitudes), ou encore des copropriétés. Pour les géomètres, les avantages sont nombreux, le BIM valorise leur profession, leur ouvre de nouveaux marchés, permet la dématérialisation des actes et apporte tous les avantages généraux obtenus grâce à l'interopérabilité du BIM. L'Ordre des Géomètres-Experts soutient cette nouvelle technologie et cherche à faire valoir ses intérêts pour la développer au sein des cabinets de GE.

Le cabinet de Géomètres-Experts Renfer et Venant s'est tourné vers cette innovation. Le cabinet a décidé de faire évoluer dans un premier temps le processus de prestations architecturales. Celles-ci comprennent les travaux de représentation d'un bâtiment existant, avec l'élaboration des plans des intérieurs, des coupes, des façades, des élévations et des héberges. Aujourd'hui cette activité représente 34% de la production du cabinet. Dans l'avenir, quand cette partie sera entièrement maîtrisée, le BIM pourra aussi se tourner vers les activités de topographie et de copropriété en fonction des avancées technologiques.

Le cabinet possède déjà des outils nécessaires à la production BIM : un scanner FARO FOCUS^{3D} S 120 et le logiciel de traitement de nuage de points RealWorks de Trimble. Mais il a fallu investir dans un logiciel de modélisation BIM : les nombreux avantages de la « Building design suite » Premium d'Autodesk, ont emporté le choix de l'entreprise.

En effet le logiciel Revit contenu dans cette suite est le plus avancé et le plus puissant. Par rapport aux autres leaders proposés sur le marché, Revit était le seul à permettre la détection de collision et la conversion de nuages de points au moment du choix. Revit permet aussi de personnaliser infiniment les objets sans avoir recours à la programmation.

Le logiciel conserve une interface dessin, mais elle est moins poussée que celle d'AutoCAD pour la bonne raison que ce n'est pas son but définitif. L'interface utilisateur est faite de façon à accéder très facilement aux différentes vues du projet : les vues des niveaux, les vues des plafonds, les élévations, les coupes, les vues en 3D et les nomenclatures. Les vues peuvent être ouvertes en même temps dans différentes fenêtres. Lorsqu'un élément de la maquette est changé à partir de l'une d'elles, les autres sont automatiquement mises à jour.

Une maquette BIM modélisée par des géomètres aura tout de même certaines limites. Les formations des géomètres ne permettent pas de maîtriser des éléments essentiels de la maquette. Les structures par exemple, ou les éléments de MEP, ainsi que les matériaux des objets ne pourront pas être renseignés correctement dans la maquette. Les leviers au scanner comme avec les autres appareils de topographie, permettent de ne relever que les éléments visibles. En dehors de certains cas spécifiques (une maquette pour la gestion de patrimoine par exemple), d'autres professionnels pourront être amenés à compléter les informations manquantes de la maquette. Il est aussi nécessaire de donner la précision avec laquelle une maquette reproduit l'existant avec fidélité. Pour cela l'ensemble des imprécisions pouvant entacher la maquette à chaque étape de sa réalisation a été listé.

3. L'application au cabinet Renfer et Venant

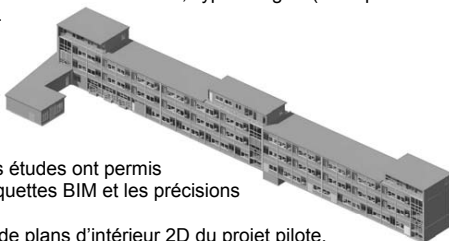
Après les premières études du BIM et l'acquisition du matériel nécessaire à l'activité BIM, le cabinet a eu une première approche concrète des enjeux liés à cette évolution en réalisant un projet pilote. Une école située à Colombes d'environ 3270 m² a fait l'objet d'un lever entièrement réalisé au scanner, complété au tachéomètre par un géoréférencement planimétrique et altimétrique (s'appuyant sur les repères de la ville de Colombes du système RGF93 dans la projection CC49) et un contrôle du contour du bâtiment. Puis pour la comparaison, les plans d'intérieur des 4 niveaux de l'école ont été établis au 1/100 sous AutoCAD et sous Revit. Les éléments représentés sur les plans sont les éléments que l'on trouve habituellement : les murs, les portes, les fenêtres, les escaliers, la désignation des pièces, etc.

Ce premier projet a permis de tester bon nombre de commandes Revit. Il a permis de comprendre et de se familiariser avec les grands principes de fonctionnement du logiciel. Ainsi les « niveaux » (équivalents à la définition des étages du bâtiment), les visibilités, les niveaux de détails des « vues », les familles d'objets, les imports de fichiers de formats différents ont été parcourus. Une fois les murs, sols, plafonds, escaliers et toits modélisés, la diversité du bâtiment a permis de tester divers outils :

- la création de murs rideaux, de poteaux par extrusion, d'une famille de fenêtre paramétrable, de marches, de symboles d'annotation, de garde-corps, de trémies,
- l'insertion de différents types de portes, fenêtres et même de meubles d'habillage,
- la liaison d'objets entre eux, tels qu'un mur et une dalle de sol,
- la détermination des « pièces » et de tableaux de données.

Et enfin différents types de rendus ont été essayés. Il est possible d'exporter n'importe quel plan, coupe, façade, élévation très rapidement et de créer des rendus 3D, type images (exemple de la figure 1) ou vidéos de navigation dans le bâtiment.

Figure 1 : aperçu de la réalisation de la maquette sous revit, avec un style d'affichage « réaliste »



Avec toutes les données du projet, différentes études ont permis de déterminer les coûts de revient a priori des maquettes BIM et les précisions du modèle réalisé.

L'étude de coût s'est basée sur la réalisation de plans d'intérieur 2D du projet pilote. La comparaison des heures passées sur le dessin informatisé sur AutoCAD, par rapport à la modélisation sur Revit a permis de mettre en évidence que le post-traitement sur Revit a demandé près de 75% de temps supplémentaire. Ce temps impacte une hausse du Prix de Revient du Chantier (PRC) de 41% pour ce chantier. Des études ont montré qu'au bout de 6 mois de pratique du logiciel, la conséquence négative sur la rentabilité n'atteint plus que 17%. L'étude a montré aussi que pour ce dossier, le PRC aurait été similaire si la réalisation des plans s'était appuyée sur un lever au distance-mètre plutôt qu'au scanner-laser.

L'étude de précision effective de la maquette du projet pilote a combiné les erreurs du lever, du recalage et de la modélisation.

Ensuite, avec des connaissances plus concrètes du logiciel, toute la configuration propre au cabinet a été mise en place. Un cartouche, un gabarit de projet et un gabarit de vue ont été créés. Malgré une définition précise des affichages, des éléments restent mal représentés sous Revit : les escaliers ne correspondent pas aux représentations classiques, les fenêtres et portes diverses ont une représentation trop détaillée (même au niveau de détail le plus faible), les intersections entre les éléments sont mal représentées, etc. La plupart de ces problèmes sont solvables, mais les seules connaissances actuelles du logiciel par le cabinet représentent un frein à une mise en place rapide d'une configuration optimale. Il manque encore la connaissance d'astuces qui permettront d'arriver au résultat voulu. Une première solution pour simplifier la représentation des fenêtres et portes serait de créer de nouvelles familles d'objets très simples. Certaines font déjà office de tests, et correspondent à la charte graphique du cabinet. Des journées de formations sont encore prévues, l'avantage est que la liste des problèmes est dressée et que la formation sera ainsi bien orientée.

En attendant, l'export au format CAO a été adapté par la correcte nomination des calques d'export. Une solution provisoire est donc de modifier les plans exportés à partir de la maquette, sous AutoCAD.

Une étude de suite de développement de l'activité BIM au sein du cabinet a été effectuée. Plusieurs cas seront possibles une fois la configuration finalisée :

- L'utilisation du BIM à son premier niveau (c'est-à-dire que la maquette ne sert qu'en interne, comme une méthode de production de plans 2D), ne peut pas être facturée à un tarif plus élevé au client, puisque pour lui le rendu est le même. Avec l'expérience grandissante des modélisateurs du cabinet sur Revit, cette activité sera rentable dès que les dossiers comporteront des rendus tels que des façades ou des coupes, l'expérience donnera une idée de la quantité de documents supplémentaires à fournir qui sera nécessaire pour y arriver.
- L'utilisation du BIM lorsque la maquette en elle-même apporte un rendu particulier en plus constitue une plus-value pour le client pouvant être facturée. Le travail à fournir en interne est le même que pour l'utilisation du BIM niveau I, mais le dossier est plus rentable. Le cabinet cherchera à étendre cette activité.

Enfin, des moyens ont été mis en place pour communiquer ces nouvelles démarches du cabinet. Deux articles ont été écrits sur le BIM sur le site internet du cabinet, un mot concernant le BIM a été rajouté dans les signatures automatiques de mails, et enfin l'entreprise sollicite les clients potentiels en démarchant.

Conclusion et perspectives

L'étude a permis de développer les connaissances sur le BIM du Cabinet Renfer et Venant. Après la première expérience du projet pilote, des éléments ont été mis en place pour la réalisation de maquette BIM dans le domaine du bâtiment. Si aujourd'hui la production complète des documents architecturaux n'est pas encore possible directement à partir de Revit, les futures formations le permettront bientôt. Il sera néanmoins nécessaire de faire des compromis car certaines commandes, parfois indispensables pour les géomètres n'ont pas encore été adaptées à Revit (ni à aucun autre logiciel BIM), comme le carroyage automatique. Des calculs de coût de revient et de précision de la maquette ont été réalisés et permettent de mieux maîtriser cette activité. Enfin une fiche de première approche de Revit a été publiée à l'intention des techniciens du cabinet. Il faudra encore mettre en place une fiche type présentant les éléments de la maquette que le cabinet certifie et ceux qui sont donnés à titre indicatif.

Lorsque ces premiers types de réalisations seront maîtrisés, beaucoup de développements de l'activité BIM seront possibles. De nombreux logiciels complémentaires sont proposés comme VirtuSurv de Kubit permettant de cliquer directement sur les visualisations panoramiques des scènes scannées et de voir simultanément les éléments se construire dans Revit. Il est aussi envisageable d'étendre les connaissances à la détection de réseaux ou à la maîtrise d'éléments de structures. Ces choix dépendront des avancées du cabinet mais aussi du développement du marché français du BIM.

Évaluation des performances de capteurs topographiques pour la mesure de déformation

PFE présenté par : **Julien Assémat**
Société d'accueil : **Géosciences Rennes**
Directeurs de PFE : **Laurent Longuevergne**
Stéphane Durand
Correcteur : **Gilbert Ferhat**



1. Introduction

• Contexte

Les milieux souterrains sont largement utilisés pour l'exploitation des ressources qu'ils contiennent et le stockage d'énergie ou de déchets à court et long terme. Ces usages se traduisent par des variations de pression sur des volumes importants, et se heurtent à des risques de déstructuration des milieux et de migration de fluides vers la surface. Il en résulte une déformation de la surface, dont les mesures sont utilisées dans de nombreux domaines, par exemple pour la prévention des risques d'éruption en volcanologie ou d'affaissements et effondrements, dans le cadre d'exploitations minières. En sismologie, les variations du sol sont une des pistes de recherche afin de comprendre le mécanisme de rupture au foyer. Cette surveillance est aussi indispensable dans le cas d'injection de CO₂ ou d'extraction, par exemple de pétrole. En hydrologie, le domaine de ce stage, la déformation de la surface associée à des variations de pression du fluide permettent de mieux connaître les structures responsables des écoulements, et ainsi améliorer les capacités prédictives des modèles hydrologiques. Sa mesure est très utilisée, car son acquisition se fait à distance et de manière non invasive (elle ne nécessite pas d'opérations préalables particulières).

Selon les processus étudiés et les applications observées, l'amplitude, le support spatial et la durée des mouvements peuvent varier sur différents ordres de grandeur. Des mouvements métriques pourront être enregistrés en volcanologie alors qu'en hydrologie ils seront plutôt submillimétriques. C'est pour cela que les techniques géodésiques sont largement plébiscitées dans la mesure de déformation, que ce soit les systèmes GNSS ou InSAR, des systèmes plus spécifiques comme les inclinomètres et jauges de déformation ou des techniques plus classiques comme le nivellement direct ou la tachéométrie.

Bien que ces techniques géodésiques soient parfaitement adaptées, et que les progrès technologiques de ces dernières décennies aient théoriquement permis d'atteindre de très grandes précisions de mesure, des erreurs comme les erreurs environnementales affectent encore ces précisions, et la capacité de mesurer des signaux millimétriques. L'impact environnemental influe sur la totalité du cycle de mesures notamment pour celles réalisées dans la basse atmosphère. Les effets peuvent être directs (réfraction du trajet optique) ou indirects (dilatation des supports). Si les outils de modélisation sont bien maîtrisés, l'exploitation des mesures reste un enjeu d'avenir.

• Problématique

La problématique de cette étude s'inscrit dans la volonté pour Géosciences Rennes de vouloir utiliser des techniques géodésiques pour la mesure de déformation en surface, dans le cadre d'études hydrologiques. Le développement de ces méthodes d'observation s'inscrit dans le cadre du projet d'investissement d'avenir EQUIPEX CRITEX « outils innovants pour le suivi spatio-temporel de la zone critique », dans lequel Géosciences Rennes et le laboratoire GeF de l'ESGT sont partenaires. Ce Projet de Fin d'Études consiste à qualifier les instruments et méthodes d'auscultation topographiques comme outils pour le suivi des systèmes hydrologiques. Il s'agit notamment de séparer dans les mesures topographiques l'impact de l'atmosphère des déformations millimétriques de la surface du sol (liées à des processus souterrains), et de définir la méthodologie de mesure adéquate.

Les besoins en hydrologie sont particuliers. Géosciences Rennes a mené une expérience de pompage dans un aquifère fracturé en Bretagne. L'arrêt des pompes d'une station d'alimentation en eau (120 m³/h) pendant 2 jours a induit une augmentation de pression de 10 mètres en sous-sol dans une fracture verticale de plusieurs centaines de mètres de long. En surface, ceci s'est traduit par des déformations allant jusqu'à 3 mm sur des distances d'environ 200 mètres. Cette expérience a été suivie par plusieurs outils géodésiques et particulièrement des mesures GNSS et de nivellement

direct, afin de mesurer les déformations de la surface. L'utilisation de la technique GNSS a montré ses limites. En effet, les déformations verticales n'ont pas pu être enregistrées, la précision de mesure de ces appareils étant insuffisante par rapport à l'ordre de grandeur des mouvements qui se sont formés. A l'inverse, la mise en place de cheminements par nivellement direct a été, quant à elle, suffisamment précise pour capturer les mouvements du sol, et a permis d'observer, à partir de mesures de surface, la diffusion de la pression dans ces milieux fracturés. Cette technique a pour désavantage d'avoir un temps d'acquisition des données trop important, comparé à l'évolution rapide de la pression dans les milieux souterrains.

Ce type d'expérience a poussé l'équipe de Géosciences à se tourner vers la solution de la tachéométrie afin d'avoir un meilleur échantillonnage temporel sur des surfaces relativement larges. C'est dans ce sens que la station Leica Nova TM50 a été acquise. Cette dernière offre l'avantage d'être une véritable station d'auscultation et de permettre l'acquisition de données avec de grandes précisions (0.5" en mesure angulaire et 0.6mm+1ppm en mesure de distance).

Les stations totales permettent aujourd'hui de faire des mesures avec des précisions submillimétriques. Cependant, leur exactitude et leur fiabilité semblent limitées, en raison de facteurs extérieurs, comme de nombreux phénomènes physiques. Celui qui a le plus d'effet est lié à la réfraction atmosphérique. Ce terme regroupe tous les effets de l'atmosphère sur les mesures. Le principe de base est celui-ci : la trajectoire d'une onde électromagnétique est déviée quand elle traverse un milieu hétérogène. Ce phénomène est celui qui est à l'origine des mirages atmosphériques. La réfraction dépend de l'indice de l'air qui est lui-même fonction de la température, de la pression, de l'humidité relative (ou la pression partielle de vapeur d'eau) et de la teneur en CO₂.

Les mesures de déformation sont faites dans la basse atmosphère, zone où se retrouvent des variations spatio-temporelles potentiellement rapides des gradients de température. De plus, les visées faites dépassent très rarement une centaine de mètres, et sont en général proches de l'horizontale. Ainsi, il est important de quantifier l'effet de l'erreur de réfraction atmosphérique, afin d'établir une procédure qui la prenne en compte.

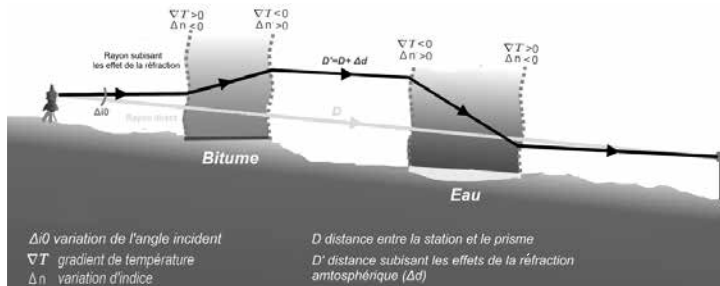


Figure 1 : illustration de l'influence de la réfraction atmosphérique sur le trajet d'un rayon

La figure 1 illustre les effets de la réfraction atmosphérique sur le trajet optique, entre la station et le réflecteur. Ainsi, les différentes surfaces du sol : herbe, bitume, eau... ne réagissent pas de la même façon au rayonnement solaire, ce qui modifie la température du milieu au voisinage de ces zones. Ces variations de température entraînent un changement de l'indice de réfraction, qui va à son tour entraîner la modification du trajet optique. Ce dernier n'est plus linéaire, ce qui affecte l'angle et la distance mesurés.

De nombreux scientifiques se sont intéressés à ce problème. En ce qui concerne l'influence sur les mesures angulaires, les travaux de Ciddor (1996) sont à retenir. Pour l'effet sur les distances ce seront plutôt les travaux J.M. Rüeger (2012).

2. Mise en évidence de l'erreur de réfraction atmosphérique

Un des axes qui a été développé consiste à confronter les mesures classiques de réfraction par méthode topographique à des mesures plus directes de l'état de l'atmosphère, à partir de capteurs météorologiques. Il faut cependant distinguer :

- les effets à court terme, associés aux turbulences dans l'atmosphère, qui sont par essence difficiles à mesurer, et provoquent des résidus importants sur les données
- les effets à plus long terme, que nous souhaitons appréhender à partir de mesures directes, dans le but de mettre en place des corrections.

- **Mise en œuvre expérimentale**

La méthode topographique choisie est dite des visées réciproques : deux instruments se visent mutuellement et réalisent simultanément leurs mesures. Ainsi, puisque le milieu traversé sera identique pour chacun d'eux, un coefficient moyen de réfraction atmosphérique pourra être déterminé le long du trajet optique. Pour réaliser cette expérience, les stations Leica TM50 et TM30, qui ont des précisions angulaires identiques (0.5") sont utilisées. Des études comme celle de Hirt *et al.* (2010), réalisées avec cette technique, ont montré que le coefficient de réfraction mesuré pouvait varier de -2 à 15 durant des jours ensoleillés.

L'acquisition des données météorologiques consiste quant à elle à mesurer les facteurs agissants sur le coefficient de réfraction atmosphérique, et tout particulièrement la température, puisque les variations spatio-temporelles de son gradient sont le facteur qui a le plus d'influence.

Parallèlement à ces opérations, un travail de modélisation a été mis en place, dans deux buts bien précis. D'une part, déterminer un ordre de variations a priori du coefficient de réfraction. D'autre part, tester les formules et modèles existants concernant la réfraction atmosphérique. Pour cela, un code Matlab de tracé d'un rayon lumineux dans un milieu hétérogène a été écrit en utilisant la méthode des différences finies, et un travail a été fait sur la façon d'apporter les corrections sur les données acquises.



Figure 2 : photographie de l'expérience

L'expérience des visées réciproques simultanées a été réalisée en laboratoire et en extérieur, le sol étant supposé stable dans les deux situations. Les instruments ont été séparés par environ 50m, un dispositif spécialement conçu a permis de positionner prismes et instruments sur les mêmes axes (figure 2). Les capteurs météorologiques ont quant à eux été répartis de façon homogène sur la zone.

Les jeux de données ainsi recueillis couvrent une période de 20 heures en laboratoire. Le jeu de données extérieur est quant à lui plus court (6 heures d'acquisition), et a été acquis sur un site présentant une légère dénivelée, durant une journée ensoleillée.

- **Outils d'interprétation**

Les outils utilisés sont les outils classiques de traitement du signal, notamment la corrélation, qui représente les relations mutuelles entre des signaux, ou encore la cohérence, qui est une variation de la méthode précédente, appliquée à l'analyse spectrale.

3. Résultats et discussions

Les mesures topographiques ont permis de détecter des variations de position avec des écarts types prometteurs pour détecter des déformations en hydrologie : $\sigma_{xy} \approx 0,3\text{mm}$ et $\sigma_z \approx 0,2\text{mm}$. En ce qui concerne la détermination de l'influence de la réfraction sur les mesures, les valeurs obtenues ont un niveau de bruit important et l'application d'une correction directe sur les angles verticaux entraîne de trop fortes variations de la coordonnée z.

Les données météorologiques enregistrées permettent de définir le milieu dans lequel le signal se propage. Les variations de température observées dépassent 2°C en intérieur, et atteignent les 5°C en extérieur. La modélisation a permis de montrer que les variations d'indice (angle de réfraction) et du gradient de température étaient liées par un facteur 10^{-6} . L'effet sur la mesure de distance est quant à lui légèrement plus important puisque correction et température sont liées par un facteur allant de 10^{-5} à 10^{-4} .

Il est alors intéressant de mettre en évidence les liens qui peuvent exister entre modélisation et pratique, en considérant par exemple les jeux de données obtenues en laboratoire et en extérieur. La corrélation entre ces séries est faible (0,58 entre température moyenne et angle de réfraction en extérieur et 0,40 en laboratoire). L'étude de la

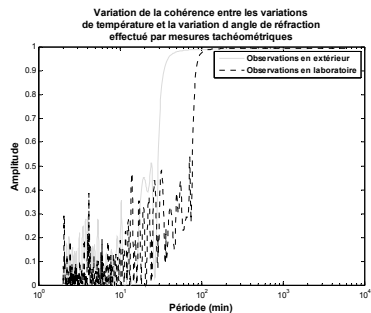


Figure 3 : variation de la fonction de cohérence entre angle de réfraction et température lors de l'expérience des visées réciproques simultanées

cohérence permet de mettre en évidence plusieurs liens. Les valeurs obtenues sont présentées par la figure 3, qui montre que sur des périodes supérieures à la demi-heure en extérieur, et supérieure à l'heure en laboratoire, température et angle de réfraction mesurés sont cohérents (valeur égale à 1). Ceci signifie qu'il existe bien une relation entre les deux signaux, mais avec un certain déphasage. Sur le signal obtenu, à haute fréquence, les erreurs de mesure et l'impact des instabilités à petite échelle de l'atmosphère sont enregistrées, alors qu'à basse fréquence ce sont les conséquences des variations de température et de déformation du réseau.

De plus, après avoir appliqué un filtre aux basses fréquences, que nous considérons comme du bruit de mesure, des relations liant réfraction atmosphérique (angle de réfraction δ) et variations météorologiques (température T) peuvent être déduites. On obtient ainsi :

- $\delta = 2.4 \times 10^{-6} \cdot T^{-1}$ lors d'observations en laboratoire
- $\delta = 1.5 \times 10^{-6} \cdot T^{-1}$ lors d'observations en extérieur
- $\delta = 1.0 \times 10^{-6} \cdot T^{-1}$ en théorie

Ces différences peuvent s'expliquer de plusieurs façons, tout d'abord par les échanges de température, d'insolation ou d'autres phénomènes naturels qui existent entre intérieur et extérieur. Ensuite, les variations entre pratique et théorie paraissent plutôt dues à la façon dont l'expérience est mise en œuvre, ou encore à l'échantillonnage spatial des variations de température, qui mériterait d'être adapté.

Quelques précisions sont à apporter quant à l'influence de la réfraction sur les distances. Sur les mêmes jeux de données que ceux utilisés précédemment, deux types de corrections ont été appliqués, en utilisant une température moyenne et en considérant chaque capteur de température qui était présent. Dans le second cas, c'est-à-dire en appliquant plusieurs corrections sur la distance mesurée, les valeurs de correction obtenue varient entre $-4,4$ à $4,8 \times 10^{-5}$ m. A l'inverse, en n'appliquant qu'une seule correction basée sur une température moyenne de notre zone les variations constatées sont de $-1,2$ à $4,1 \times 10^{-5}$ m. On constate donc des variations, mais leur facteur reste faible.

4. Conclusion et perspective

Cette étude a permis de mettre en évidence les effets que pouvait avoir l'atmosphère sur des mesures topographiques. Ainsi, dans notre contexte (courte portée, près du sol), les effets de la réfraction s'avèrent être plutôt négligeables, ou du moins ne nécessitent pas, dans la majeure partie des cas, l'installation d'un dispositif spécifique afin d'enregistrer les variations de l'atmosphère.

D'autres études ont été réalisées au cours de ce stage, mais ne sont pas développées dans ce résumé, comme la combinaison des techniques de nivellement direct et indirect. Cette comparaison met en évidence le fait que, sur de courtes portées les résultats entre ces deux méthodes de nivellement sont relativement similaires. Un autre point abordé est l'utilisation des données du compensateur de la TM50 comme outil de vérification, voire de correction des mouvements du support de l'instrument.

Ainsi les travaux effectués prouvent que la Leica Nova TM50 est parfaitement adaptée pour l'observation de «petites» déformations (de l'ordre du millimètre), l'ensemble des recherches permettra à l'avenir d'utiliser cette solution comme un nouveau moyen d'acquérir l'information de déformation en hydrogéologie.

5. Bibliographie

- Ciddor, P.E., 1996, *Refractive index of air: new equations for the visible and near infrared*, *Applied optics* (35): 1566–1573
- Hirt, C., et al., 2010, *Monitoring of the refraction coefficient in the lower atmosphere using a controlled setup of simultaneous reciprocal vertical angle measurements*, *Journal of Geophysical Research* (115), D21: D21102.
- Rüeger, J.M., 2012, *Electronic distance measurement: An introduction*, Edition Springer Science & Business Media, Berlin. ISBN 978-3540515234

Audit des chantiers CYCLOPS et amélioration des calculs des moindres carrés

PFE présenté par : **Juliette AUTIN**
Société d'accueil : **SOLDATA**
Directrices de PFE : **Mme Marie-Laure EL-GAMMAL**
Mme Anaëlle LELEU
Correcteurs : **M. Gilbert FERHAT**



1. Introduction

Avec l'arrivée des stations totales robotisées et de la recherche automatique des cibles (ATR), Soldata a développé un système d'auscultation autonome pour suivre en temps réel les mouvements des structures sensibles sur des chantiers de types traversée sous voies, creusement de nouvelles lignes de métro...

Les mesures d'auscultation automatique requièrent l'utilisation de plusieurs logiciels afin d'aboutir aux coordonnées compensées finales. Ces logiciels ont été pour la plupart développés en interne. Le logiciel de compensation, Comp3D, a lui été développé par l'IGN. Chaque logiciel a de multiples paramètres, la plupart de ces paramètres ont des valeurs par défaut qui ont été choisies d'après des calculs et des retours des chantiers et qui datent de quelques années. Actuellement Soldata est en train de développer un nouveau logiciel qui permettra l'amélioration et l'optimisation de leur chaîne actuelle et des paramètres par défaut proposés. C'est dans ce but précis que la société a souhaité une étude approfondie de l'influence de chaque paramètre présent dans la chaîne pour estimer la précision des calculs et la rédaction de préconisation utilisateur afin d'obtenir les résultats les plus proches possible de la réalité. Soldata souhaite auditer plus en profondeur son processus et quantifier l'impact qualité des données si certains paramètres d'entrée étaient modifiés.

2. Topographie et chaîne de traitement automatique chez Soldata

Dans tous les chantiers d'auscultation, la zone susceptible de subir une déformation est définie, elle est appelée « zone d'influence ». Cette zone sera donc suivie avec attention pendant la durée des travaux.

Les cibles d'auscultation sont positionnées dans la zone d'influence, la station totale est placée proche de ces cibles et donc dans cette zone. Les cibles de référence sont positionnées hors de la zone et tout autour de l'appareil en essayant de varier au maximum les hauteurs pour avoir la meilleure configuration possible. En effet étant donné que l'appareil est dans la zone d'influence, ses coordonnées ne peuvent pas être considérées comme fixes au cours du temps, elles seront recalculées régulièrement grâce aux visées de références suivant la méthode d'une station libre. Cela permet d'éviter qu'un déplacement de l'appareil impacte les coordonnées finales des prismes d'auscultation.

Comme les coordonnées des prismes sont ensuite calculées par points lancés depuis la station, leurs précisions découlent directement de la précision des coordonnées de la station. Il est donc essentiel de réaliser une bonne configuration, c'est à dire de placer les cibles de références tout autour de l'appareil et à différentes hauteurs.

Dans le logiciel TACT un job doit être créé pour le fonctionnement de l'appareil, il répertorie les paramètres de communication avec le théodolite ainsi que le nom et l'orientation de la station. Une fois la station orientée, un premier levé des cibles est réalisé manuellement. Cela permet de leur attribuer les lectures qui correspondent à leur position initiale : c'est la phase d'apprentissage (Learn). Un cycle de mesure est ensuite lancé afin d'obtenir des mesures de chaque cible, il est en répétition continue afin d'avoir des mesures à intervalles rapprochés réguliers.

Les fichiers qui correspondent à chaque cycle sont ensuite envoyés via une connexion internet sur les serveurs de Soldata afin d'être traités par la chaîne de calcul des moindres carrés. Une fois les coordonnées compensées calculées, elles sont affichées dans un logiciel de visualisation des données, Geoscope, accessible aux clients.

L'élément principal de la chaîne de calcul est le logiciel Comp3D. C'est un programme de compensation micro-géodésique qui permet d'ajuster simultanément des observations planimétriques et altimétriques. Il est particulièrement adapté pour les réseaux de surveillance, et plus précisément la détermination de coordonnées et la détection de mouvements.

Pour le calcul, Comp3D a besoin de données d'entrée à savoir :

- d'un fichier « .cfg » qui est le fichier de configuration comprenant les unités, le nombre de chiffres significatifs, le coefficient de réfraction, la latitude moyenne du chantier et le type de calcul à réaliser.
- d'un fichier « .cor » contenant les coordonnées approchées de chaque point et les coordonnées des points connus et leur précision. Comp3D fonctionne en coordonnées sphériques, il détermine le rayon de la sphère d'approximation avec la latitude moyenne du chantier ($z=0$ à la surface de la sphère).
- d'un fichier « .obs » avec les observations et leur précision ainsi que les hauteurs de station et de voyant (toujours nulles).

Comp3D fait une compensation du réseau 3D par la méthode des intermédiaires, les observations sont considérées indépendantes et donc la matrice des poids est diagonale. Le poids est déterminé par la précision fournie dans le .cor et celle du .obs.

Le logiciel crée en sortie le rapport en « .XML » avec un rappel des précisions a priori sur coordonnées a priori et des observations, les itérations, les coordonnées compensées et leur précisions, les résidus, le sigma zéro, la taille des axes de l'ellipsoïde de chaque point.

3. Modalité de recherche sur l'influence des données d'entrée de Comp3D sur le calcul

Les paramètres introduits dans les différents fichiers d'entrée ont des valeurs par défaut fixées en interne mais ils sont modifiables pour s'adapter au mieux à chaque chantier. Les conditions du chantier et les changements d'appareil pour maintenance amènent à se poser la question de la nécessité de mise à jour régulière ou pas des valeurs adoptées en début de chantier.

Différents tests ont donc été mis en place avec un protocole défini afin de quantifier l'effet de chaque paramètre sur les coordonnées finales et sur les facteurs qualité. Pour procéder aux expérimentations, et avoir des résultats cohérents, un jeu de données a été choisi pour être rejoué. Ce jeu de données a pour particularité d'avoir des cibles d'auscultation réparties sur une zone étendue (10m-3km), mais aussi des données avec des angles verticaux variables (10 gon à 95 gon).

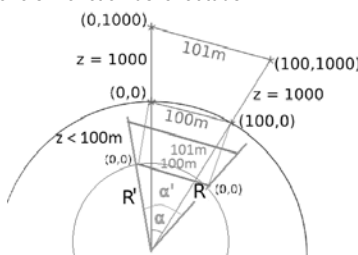
Le fichier est extrait d'un chantier existant encore en service et a été choisi pour être représentatif de la majorité des chantiers Soldata. Le jeu de données est rejoué dans la chaîne avec un paramètre modifié afin d'étudier l'influence de cet unique paramètre.

Les paramètres choisis pour les tests sont ceux susceptibles de jouer sur les résultats de la compensation et qui sont modifiables dans les données d'entrée, comme le coefficient de réfraction atmosphérique, l'altitude du chantier, la latitude du chantier, la correction météo, la précision a priori sur les coordonnées et sur les observations...

Le but est d'étudier l'influence d'une petite variation, par exemple à l'échelle de la journée, et l'influence max pour des valeurs extrêmes, les chantiers Soldata tournant à l'année et dans le monde entier.

Grâce au fichier xml, des comparaisons sont réalisées entre les coordonnées compensées, le sigma zéro et les ellipsoïdes entre le fichier avec les paramètres par défaut et le même fichier avec un paramètre modifié.

Quelques uns des paramètres étudiés sont dans le tableau n°1 :

Paramètres	Présentation de l'influence	Tests effectués
Coefficient de réfraction	<p>Il a une valeur moyenne au niveau de la mer à 20°C = 0.16, la plus basse = 0.11 atteinte pour les heures les plus chaudes de la journée, la plus haute= 0.25.</p> <p>Il se calcule avec le rayon terrestre moyen Rn et le rayon de courbure du rayon lumineux R'.</p> $mra = \frac{Rn}{R'}$ <p>Il peut être déterminé expérimentalement sur chantier à un moment t par des visées réciproques à l'aide de la formule suivante :</p> $mra = 1 + \frac{\pi}{200} * \left(\frac{(Rn + Hm)(200 - Va - Vb)}{Di * \cos\left(\frac{Va - Vb}{2}\right)} \right)$ <p>Il influe sur le calcul de la distance horizontale à partir des observations (Dincl, V, Hz).</p>	<p>Les tests se sont donc portés sur l'écart maximum qu'il pouvait y avoir, mais aussi sur de plus petits écarts afin de voir à partir de quelle précision le coefficient de réfraction influe sur les résultats.</p> <p>La valeur est changée dans le .cfg.</p>
Latitude du chantier	<p>Elle permet à Comp3D de faire une approximation sphérique de la Terre dans la zone du chantier. Le rayon de la Terre varie donc en fonction de la latitude.</p>  <p>Figure 1: Schéma de la représentation de la Terre par Comp3D</p> <p>Elle joue donc sur les coordonnées des points.</p>	<p>Le fichier test a donc été situé à des endroits éloignés (France-Hong Kong) mais aussi à l'échelle de la France (Lille-Marseille).</p> <p>La valeur est changée dans le .cfg.</p>
Altitude du chantier	<p>Les coordonnées du chantier sont exprimées dans un référentiel local, fictif la plupart du temps car c'est le relatif qui nous importe. Comp3D compense en local mais en prenant une approximation de la Terre sphérique, les coordonnées X et Y dépendent donc de l'altitude.</p>	<p>Une variation d'altitude de 10m, 50m, 100m et 200m a été effectuée afin de quantifier les erreurs.</p> <p>Des tests ont été réalisés sur les écarts entre deux fichiers consécutifs afin de voir si ces derniers changeaient car sur les chantiers c'est le relatif qui est important.</p> <p>La valeur est changée dans le .cor.</p>
Précision a priori sur les coordonnées approchées et les observations	<p>La précision a priori des cibles de références influe directement sur la précision de détermination de la station, et donc influe sur celle des points rayonnés depuis cette station. Elle influe sur le calcul de compensation car les précisions a priori sont liées au poids de l'équation de contrainte associée dans le cas des coordonnées ou à celle d'observation dans le cas de la précision des observations.</p>	<p>Une comparaison a été réalisée entre plusieurs précisions a priori afin de voir l'effet que cela peut engendrer sur le calcul et les résultats.</p> <p>Elles ont été modifiées dans les fichiers .cor et .obs.</p>

<p>La correction météorologique</p>	<p>Elle permet de corriger les variations de distance dues aux changements de température, pression et humidité au cours du temps. La correction est nulle pour 12°C, 1013 mbar et 60% d'humidité. Les capteurs de température utilisés actuellement sur les chantiers ont une précision de 2°C à 3°C. Suite à une étude faite en interne au préalable, l'humidité est négligeable.</p>	<p>Afin de quantifier l'impact de la précision du capteur et de la fréquence de mesure météorologiques, le fichier a été calculé avec une correction météo à même précision mais un écart en température de 2°C et 3°C. La pression a aussi été étudiée afin de voir l'influence de sa variation au cours de la journée et sur l'année. De nouvelles données ont été introduites dans le module de calcul de la correction météorologique de la distance.</p>
<p>Gestion de la redondance des cycles</p>	<p>La redondance peut être gérée à plusieurs stades du calcul, soit avant le calcul de Comp3D soit après ou même dans le calcul.</p>	<p>(Avant) Une médiane ou une moyenne a été réalisée sur chaque observation à partir des fichiers issus des cycles. Un fichier contenant l'ensemble des médianes ou moyennes peut être alors envoyé à Comp3D. (Pendant) Ou les cycles ont été mis dans un même fichier « .obs » puis c'est Comp3D qui gère la redondance. (Après) Ou à la sortie de Comp3D effectuant une médiane ou une moyenne sur les coordonnées compensées obtenues. Les coordonnées compensées peuvent alors être comparées.</p>

Tableau n°1 : Paramètres étudiés

4. Conclusion et perspectives

Les tests effectués sur des paramètres pouvant influencer sur les résultats donnés par Comp3D mettent en évidence que seuls certains paramètres ont une influence significative. Ces derniers doivent donc être surveillés de près lors de configuration de chantiers. Certains paramètres par défaut doivent être changés afin d'obtenir des calculs plus proches de la réalité mais d'autres doivent être adaptés en fonction du chantier comme la latitude ou l'altitude. Dans certains types de travaux seuls les écarts mesurés en partant d'un état initial mis à 0 sont pris en compte, certains paramètres peuvent ne pas être au plus juste, les mouvements restent les mêmes. Promouvoir des simulations poussées avant chantier pour choisir les paramètres les mieux adaptés permettrait un démarrage du chantier dans les meilleures conditions.

L'intégration de données provenant d'autres types de mesures comme les données GPS ou celles issues d'un nivellement peut être à terme une solution intéressante pour mettre à jour les coordonnées automatiquement.

Un travail de développement reste à faire pour obtenir un logiciel qui puisse intégrer toutes ces nouvelles données. Le monde de la mesure évoluant constamment en précision, l'amélioration des techniques est permanente et donc il existe des besoins en matière de logiciel.

Géodésie multi-technique pour la surveillance haute fréquence de mouvements de terrain.



PFE présenté par : **Pierre BOETZLE**
Société d'accueil : **EOST-OMIV**
Directeur de PFE : **Jean Philippe MALET**
Correcteurs : **Gilbert FERHAT**



1. Contexte et objectifs

Contexte :

Les glissements de terrains sont un des aléas et risques naturels qui se produisent régulièrement en France et dans le monde, principalement en régions de montagne. Ces phénomènes sont complexes et difficiles à étudier car de nombreux facteurs contrôlent leur déclenchement et leur propagation (relief, lithologie, facteurs hydro-climatiques, nature du sol). De fait, il est difficile de prévoir où, quand et comment de tels phénomènes peuvent se produire.



Figure 1 : vue du glissement de Super-Sauze

En France, les glissements de terrain peuvent avoir des conséquences importantes comme le glissement-coulée de Gazost (Hautes-Pyrénées) en février 2015 qui a privé le village de tout accès, ou plus récemment l'éroulement rocheux du Chambon (Isère) qui nécessite la mise en place de rotations d'hélicoptères pour assurer le déplacement des habitants. La surveillance et la prévision d'un mouvement de terrain est donc un enjeu majeur. Il est essentiel de préserver les populations et les infrastructures alentour.

Une meilleure connaissance des glissements de terrain nécessite la mise en place d'une stratégie de surveillance multi-paramètre, multi-technique en surface et en profondeur. La surveillance haute fréquence (temporelle et spatiale) de glissements connus permet de mieux comprendre les processus physiques élémentaires de contrôle du phénomène, de quantifier la réponse cinématique du versant aux forçages internes (circulation de fluide, sismicité) et externes (pluviométrie), de proposer des modèles numériques de comportement, et de définir des mesures de protection. En France, l'observatoire national OMIV (Observatoire Multidisciplinaire des Instabilités de Versants) est dédié à la surveillance des mouvements de terrain depuis 2007, et regroupe cinq équipes de recherche à Strasbourg, Grenoble, Nice, Besançon et Avignon.

L'EOST (Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre), qui coordonne l'ensemble des mesures géodésiques pour l'observatoire OMIV, accueille ce projet de fin d'études, dont les objectifs, qui ont fait appel à plusieurs techniques (géodésie, topographie, photogrammétrie et informatique), sont présentés ci-après :

Objectifs :

- 1) Tester les potentialités de la méthode de calcul de positionnement GNSS PPP (Precise Point Positioning) en comparant plusieurs algorithmes en vue de son intégration dans une chaîne de traitement automatique pour le suivi en quasi temps réel des versants instables. Une fois la méthode validée, recalculer les solutions de positionnement pour les observations GNSS bi-fréquence existantes (2008 -2015) pour les cinq glissements de terrain OMIV.
- 2) Mettre en place une solution automatisée de calcul des séries temporelles de positions et de variations de lignes de base des stations permanentes de terrain OMIV.
- 3) Prendre en main et tester les performances de récepteurs GNSS à bas coût mono-fréquence GEOMON, puis les mettre en place pour un test en conditions réelles sur le glissement de terrain de Super-Sauze. Les GEOMON sont actuellement en cours de développement, ce qui implique un lien étroit avec la société suisse qui les développe, InfraSurvey.
- 4) Tester des algorithmes de reconstruction photogrammétrique open source pour la génération automatique de nuages de points à partir de couples de photographies stéréo issues d'appareils installés de façon permanente sur le glissement de Super-Sauze.

2. Comparaison de solutions de traitement GNSS PPP

Jusqu'à présent les séries temporelles (de position et de variation de lignes de base) étaient calculées avec le logiciel GAMIT GLOBK en mode différentiel. Cette solution offre des résultats précis et stables, cependant elle est surtout adaptée au calcul de stations permanentes dont le mouvement est faible. En effet, le calcul repose sur l'emploi d'un filtre prédictif de Kalman. Or les déplacements observés sur les glissements de terrain peuvent être importants, et surtout, très variables d'un jour à l'autre avec de fortes accélérations. Tout l'intérêt de cette première partie du projet est donc de répondre à la problématique suivante : une méthode de traitement des observations GNSS en PPP est-elle plus adaptée au suivi de glissements de terrain que les méthodes en mode différentiel avec GAMIT GLOBK ?

Pour répondre à cette question, plusieurs tests ont été réalisés avec trois algorithmes de calcul en PPP : SCRS PPP, gLAB et RTKLIB. Après analyse, il apparaît que SCRS PPP convient tout à fait au traitement des observations pour le suivi de glissements de terrain. Pour valider le choix de SCRS PPP, une comparaison a été réalisée avec les résultats obtenus avec le logiciel GAMIT GLOBK. La figure 2 permet de constater que les deux logiciels donnent des résultats très proches (quelques centimètres).

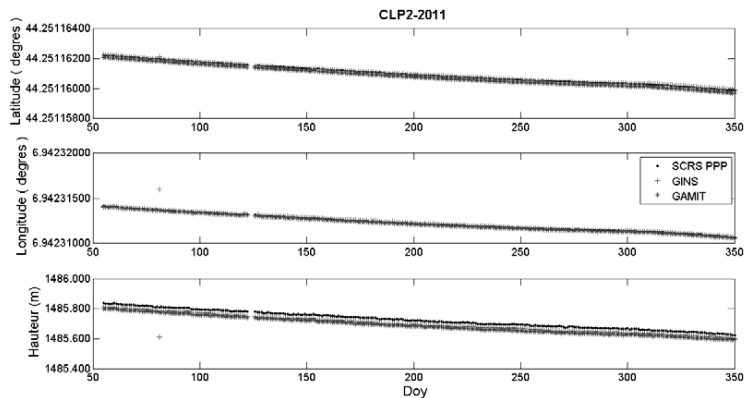


Figure 2 : Série temporelle de positions pour la station CLP2 (glissement de terrain de La Clapière) pour l'année 2011, obtenue avec trois algorithmes différents (GAMIT GLOBK, GINS et SCRS PPP).

SCRS PPP est un logiciel gratuit développé par le service des ressources naturelles du Canada. Dans la suite du projet, les options de traitement proposées par SCRS PPP ont été testées de manière à sélectionner la méthode de traitement optimale pour l'étude de la cinématique des mouvements de terrain. Ainsi les options « static/ kinematic », « L1 only », le choix des types de données complémentaires pour le calcul en PPP (orbites rapides ou finales) ont été étudiés et l'influence de la durée d'observation sur les résultats a été quantifiée.

3. Automatisation du traitement des observations GNSS en mode PPP

Après avoir défini le traitement PPP optimal avec SCRS PPP, un script de traitement automatique a été développé pour calculer, chaque jour, une position pour chacune des stations GNSS permanentes OMIV. Cette automatisation nécessite la préparation des données d'entrée c'est-à-dire le téléchargement automatique de données complémentaires nécessaires au calcul en PPP (orbites des satellites, biais d'horloge des satellites, etc.), le calcul des positions puis le traitement des résultats de façon à obtenir des fichiers standardisés de position et de variations de lignes de base,

4. Mise en place d'un réseau de récepteurs à bas coût sur un glissement de terrain

Les récepteurs GNSS permanents installés sur les glissements de terrain, notamment les glissements rapides ont un inconvénient non négligeable car ils sont exposés à un fort risque de perte et de casse si les déformations sont importantes. L'utilisation de récepteurs GNSS bas coût est donc nécessaire pour une surveillance long-terme ou pour une densification des réseaux de surveillance. Cependant, le prix intéressant de ce type de récepteur a une conséquence au niveau de la technologie : il s'agit de récepteurs mono-fréquence. Le but des tests grandeur nature réalisés au cours de ce PFE était donc de vérifier si ces récepteurs permettent d'atteindre la précision exigée pour le suivi de mouvements de terrains (précision centimétrique).

Après une première phase de prise en main et de test des communications radio entre récepteurs, six récepteurs GNSS GEOMON (voir figure 3) et une station « mère » réceptionnant les données ont été installées en juin 2015 sur le glissement de Super-Sauze (Alpes-de-Haute-Provence).



Figure 3 : A gauche, présentation d'un récepteur GEOMON installé sur le glissement, à droite, présentation du récepteur GEOMON situé hors glissement et servant actuellement de référence.

5. Traitements photogrammétriques

Après avoir étudié les potentialités du GPS pour le suivi de versants instables, il semblait intéressant de voir l'apport que pouvait avoir la photogrammétrie pour quantifier les champs de déplacement. Plusieurs glissements dont celui de Super-Sauze sont équipés d'appareils photographiques

permanents. De plus, la photogrammétrie permet d'obtenir des résultats avec une forte résolution spatiale et à moindre coût.

L'objectif de cette partie était de calibrer deux appareils photographiques puis de générer des images épipolaires. A partir de ces images, il est possible de déterminer une profondeur pour chaque pixel, profondeur qui est liée au décalage des coordonnées x entre les deux photographies. Les coordonnées en X , Y et Z découlent de ces profondeurs. L'ensemble du traitement permet donc d'obtenir un MNT.

Il a été choisi d'utiliser une solution opensource existante, `opencv`, et d'identifier ce qu'il était possible d'obtenir avec cette bibliothèque de programmes disponibles en C++ ou en Python.

7. Conclusion

En France, le suivi de mouvements de terrain est assuré par le laboratoire national OMIV. Ces phénomènes sont complexes et de nombreuses sciences interviennent dans leur compréhension. Pour étudier les déplacements en surface, plusieurs méthodes sont utilisées dont le GNSS et la photogrammétrie.

Afin de vérifier si la méthode PPP est adaptée au suivi de glissements de terrain, et si elle offre une bonne alternative aux méthodes de calcul en différentiel, le logiciel SCRS PPP a été sélectionné. Après sa prise en main, de nombreux tests ont été réalisés. Ces derniers ont permis de valider le choix de la méthode PPP pour son application à l'étude de la cinématique de glissements de terrain, mais également de déterminer la meilleure combinaison d'options possibles.

Suite à ces premières analyses, une chaîne de traitement automatique a été développée et le calcul en PPP y a été intégré, dans le but de proposer une solution quotidienne de position et de variation de lignes de base pour les stations OMIV. Le processus fonctionne pour l'instant de façon locale. Il n'a pas encore été mis en place sur le serveur de l'EOST. De plus, le traitement automatique des données d'observation en amont du calcul PPP, c'est-à-dire la conversion des fichiers bruts en fichiers Rinx reste à faire, de même que l'affichage des résultats sur le site internet d'OMIV.

Il serait également intéressant par la suite d'optimiser le traitement, d'une part en réduisant au maximum le temps du processus (minimiser autant que possible le nombre de téléchargements, etc.) et l'espace mémoire nécessaire au stockage des données (ne garder que le strict minimum) et d'autre part en garantissant sa fiabilité (intégration de tests internes au traitement).

Enfin il est envisageable de mettre en place un système d'alerte qui viendrait envoyer un message si un déplacement d'une vitesse supérieure à un seuil fixé était détecté sur quelques jours.

En parallèle, une étude a été menée sur des récepteurs à bas coût GEOMON. Ces derniers constitueraient en effet une alternative intéressante aux récepteurs bi-fréquence haut de gamme utilisés actuellement et qui sont très coûteux. Un réseau de six GEOMON a été installé sur le glissement de Super-Sauze et plusieurs tests ont été menés. Pour le moment, la validation du logiciel de calcul des données reste en suspens du fait des mauvais résultats obtenus sur certains calculs avec RTKLIB. Une fois le problème résolu, il serait opportun d'intégrer le calcul en différentiel des récepteurs bas coûts et celui en PPP des récepteurs bi-fréquence dans le même traitement automatique, de manière à proposer une solution encore plus complète aux utilisateurs des données OMIV.

Enfin, un dernier travail a été réalisé sur des données photographiques. L'objectif à terme est d'intégrer le traitement dans un processus automatique, de façon à générer régulièrement des MNT de certaines zones de glissements de terrain à partir de couples de photographies stéréo. Il serait alors possible de proposer des cartes de déplacements. Pour le moment, les solutions open source testées n'ont pas pu être retenues. La solution réside peut-être dans le choix d'autres algorithmes libres, voire directement dans le développement d'un programme au niveau de l'EOST.

Les traitements et analyses qui ne sont pas encore validés et les améliorations éventuelles seront réalisés postérieurement à ce stage.

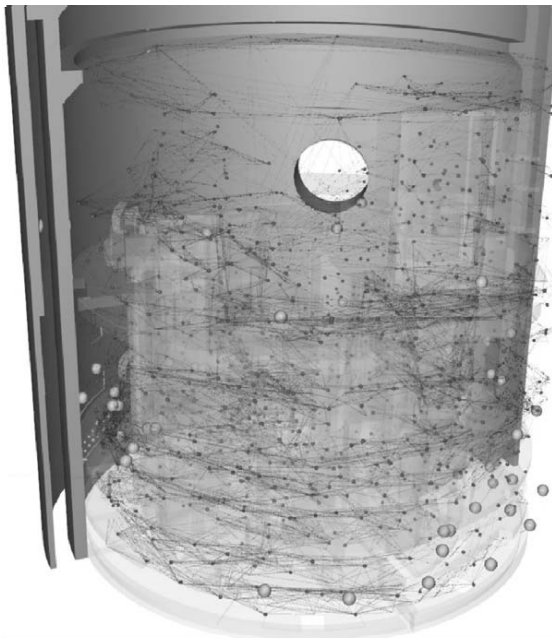
Compensation et design de grands réseaux lasergrammétriques d'intérieurs industriels

PFE présenté par : **Emmanuel CLEDAT**
Société d'accueil : **EDF**
Directeurs de PFE : **Jean-François HULLO et Guillaume THIBAULT**
Correcteur: **Gilbert FERHAT**



1. Contexte

Pour préparer et simuler des opérations de maintenance réalisées sur ses installations, EDF utilise depuis 20 ans des outils numériques utilisant des données 3D Telles-Que-Construites (c'est-à-dire créées à partir de numérisation de l'existant) numérisées avec un scanner laser terrestre, un instrument effectuant un nuage de points de l'environnement qui lui est visible. Pour obtenir un nuage de points de l'ensemble de l'installation, un millier de stations doivent être effectués. Le but de ce stage est -d'une part- de concevoir des algorithmes qui assemblent les différents nuages de points des différentes stations en un seul nuage de points global, décrivant l'intégralité du bâtiment ; et -d'autre part- d'établir des estimateurs qui quantifient la précision et la fiabilité des résultats que l'on produit.



Il existe quatre grandes difficultés auxquelles nous sommes confrontés :

Le réseau de compensation (graphe incluant les stations de scan et leurs relations) est tridimensionnel (fortement multi-étage), très complexe (contenant plus de 1000 stations), contraint sur des points de références non uniformément répartis dans l'installation, et enfin, la tolérance est faible (3 cm) comparée à la taille de l'installation (plusieurs dizaines de mètres).

Réseau lasergrammétrique d'une installation de EDF utilisé pour les tests au cours de ce PFE

2. Formulation du problème

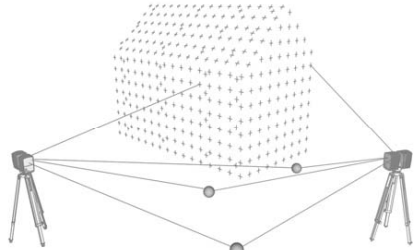
Le résultat du calcul de compensation doit décrire les paramètres de poses des stations (par exemple, pour la station α , un vecteur de position \vec{P}_α et une matrice de rotation R_α . Ainsi, un point mesuré par la station α , dont la lecture est représentée par un vecteur dans le repère de la station : $\vec{l}_\alpha^{\text{point}}$, aura pour coordonnées dans le repère global :

$$\vec{P}_\alpha + R_\alpha \vec{l}_\alpha^{\text{point}}.$$

Pour établir la position relative d'une station par rapport à une autre, il faut mettre en correspondance des objets visibles sur les deux nuages de points. C'est à cet effet que les topographes travaillant sur le terrain positionnent des sphères qui servent de référence commune. Ces sphères sont reconnues automatiquement dans le nuage de points des stations, ce qui nous

permet d'avoir une estimation du centre \vec{l}_α dans le repère de la station, avec une précision millimétrique. Par une simple relation de Chasles, on peut établir la condition induite par une sphère entre les paramètres de pose de deux stations α et β :

$$\vec{P}_\alpha + R_\alpha \vec{l}_\alpha = \vec{P}_\beta + R_\beta \vec{l}_\beta$$



Assemblage de deux nuages de points en utilisant des contraintes induites par des sphères

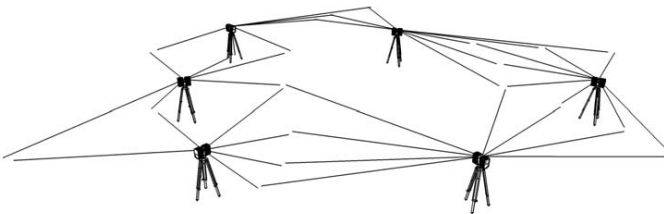
3. Présentation des différents axes d'études

Le problème étant ainsi formulé, le travail effectué au cours de ce PFE s'est scindé en trois étapes.

- 1.) L'appariement des sphères : cette première étape consiste à reconnaître, pour chaque sphère réelle, son image dans la numérisation de tous les scans dans lesquels elle apparait.
- 2.) La seconde étape est la consolidation, c'est-à-dire trouver la position et l'orientation des stations qui permettent de faire coïncider ces sphères de manière optimale.
- 3.) La dernière étape consiste à donner des estimateurs de précision et de fiabilité qui quantifient la qualité du résultat annoncé.

4. Appariement des sphères

Le problème est ici d'établir des correspondances entre les images des sphères par les différentes stations. Pour chaque sphère réelle doit correspondre au plus une image dans le nuage de point de chaque station.



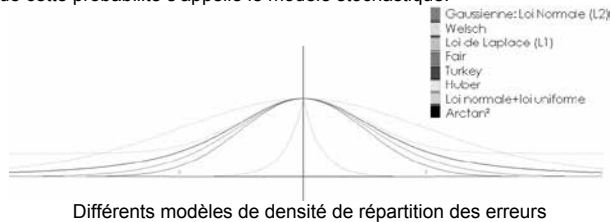
Appariement des sphères de 6 stations

Pour bien comprendre les problématiques soulevées, le problème de l'appariement des sphères peut s'illustrer par le problème de la résolution du puzzle. Une combinatoire complexe doit être résolue.

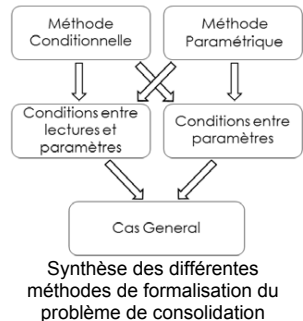
5. Consolidation

Le principe de la consolidation est de trouver la position et l'orientation des stations permettant de faire correspondre les sphères de la manière la plus probable.

Pour définir cette notion de probabilité maximale, il a fallu revenir aux axiomes des théories probabilistes. L'hypothèse usuellement utilisée décrit le comportement des erreurs en utilisant une loi gaussienne. Sa légitimité est réinterrogée en proposant d'autres modèles de répartition des erreurs. La description de cette probabilité s'appelle le modèle stochastique.



D'autre part, la formulation du problème usuellement utilisée est la méthode paramétrique. Cette méthode requiert une fonction permettant de simuler les mesures à partir des paramètres que nous souhaitons estimer. Dans le problème de la consolidation de réseau lasergrammétrique, formaliser notre problème de manière paramétrique conduit à estimer des paramètres qui nous sont inutiles (les positions des sphères), et donc à effectuer un algorithme non optimal. C'est pourquoi il a fallu étudier d'autres méthodes qui généralisent la méthode paramétrique, comme par exemple la méthode de Gauss-Helmert, qui requiert la formulation de conditions entre les lectures (ou observations) et les paramètres à estimer. Cette mise en équation des conditions auxquelles doit satisfaire le réseau s'appelle le modèle fonctionnel.

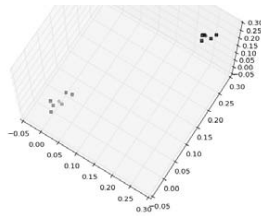


Le principe de la consolidation est de satisfaire le modèle fonctionnel tout en maximisant la probabilité décrite par le modèle stochastique. Pour cela, 5 méthodes ont été développées à partir de la littérature, puis implémentées et testées. Ces méthodes sont toutes itératives, c'est-à-dire qu'elles partent d'une situation approchée pour l'améliorer peu à peu jusqu'à obtenir la situation finale.

6. Outils d'analyse des résultats

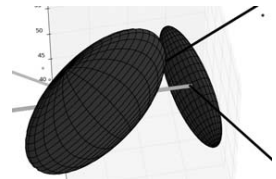
Plusieurs outils d'analyse des résultats ont été étudiés. Certains effectuent une analyse du réseau au niveau local, et d'autres au niveau global.

Les outils d'analyse locale décrivent le réseau de manière atomistique, c'est-à-dire au niveau des contraintes induites par les sphères. Par exemple, il faut pouvoir détecter si une sphère a bougé entre deux jeux de mesures, pour éviter d'établir des contraintes fausses.



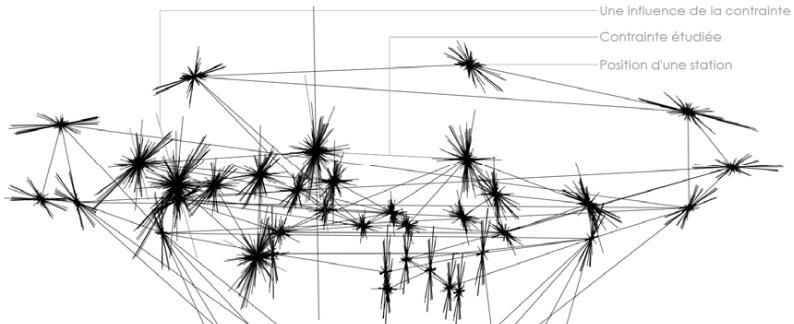
Etude du mouvement d'une sphère. Les points bleus représentent les différentes estimations de la position des sphères, et les points rouges sont les centroïdes des deux sous-ensembles de sphères (unité: mètre)

Les outils d'analyse globale permettent d'avoir une vision d'ensemble sur l'intégralité du réseau. Au cours de ce PFE ont été développés d'une part des outils utilisant la théorie des graphes, qui permettent d'effectuer une analyse strictement qualitative, basée sur des arguments topologiques ; et d'autre part des outils donnant des arguments quantitatifs décrivant la précision et la fiabilité. Il est par exemple possible de visualiser un ellipsoïde d'erreur. C'est un domaine de l'espace qui contient un point considéré avec une probabilité donnée.



Représentation des ellipsoïdes d'erreur de la position de deux stations.

Un autre outil d'analyse globale est la fiabilité externe. Elle étudie, pour chaque contrainte, l'influence maximale de la plus grande faute non détectable sur la position d'un point.



Influence maximale de la plus grande faute non détectable entachant des contraintes (représentées par les liens entre les stations), sur la position des stations.

7. Synthèse du travail effectué

Pour chacune des trois grandes problématiques : l'appariement, la consolidation et l'analyse des résultats, des techniques trouvées dans la littérature ont été adaptées, redémontrées et comparées. Enfin, ces méthodes ont été implémentés en Python, de manière à les tester sur des exemples simulés ou sur des données réelles, et à les comparer avec certains logiciels de compensations tels que Jag3D et Trinet+.

Les méthodes développées lors de ce travail de fin d'étude contribuent à améliorer l'assemblage du nuage de point global des installations numérisées, et permettent de décrire la qualité de ce résultat.

Lasergrammétrie sous-marine : Quel apport pour les métrologies et l'Exploration Production ?

PFE présenté par : **Yann Morel**
 Société d'accueil : **TOTAL**
 Directeur de PFE : **Frédéric Auger**
 Correcteur : **Gilbert Ferhat**



1. Contexte et objectifs de l'étude

En topographie, la lasergrammétrie est une technologie très largement utilisée pour les opérations terrestres et aériennes. Elle connaît cependant un récent développement pour son déploiement sous-marin.

L'objectif de ce projet est d'étudier ce que la lasergrammétrie sous-marine peut apporter au sein de l'Exploration Production du groupe Total. La métrologie est l'application la plus largement abordée car elle représente un véritable enjeu au niveau du temps des opérations. Une métrologie sous-marine a pour but de définir le positionnement relatif d'un hub par rapport à l'autre dans le but de concevoir les conduites (*jumpers* ou *spools*) reliant les différentes structures installées sur le fond marin. Les mesures ainsi recherchées sur les deux structures sont :

- Attitudes des deux hubs (roulis, tangage)
- Distance horizontale séparant les centres des deux hubs
- Différence de hauteurs entre les centres des deux hubs
- Altitude des hubs par rapport au fond de mer
- Différences angulaires entre les directions des connecteurs et la ligne passant par les centres des hubs (α et β)
- Profil bathymétrique du fond de mer le long de la future conduite.

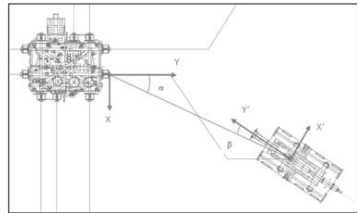


Figure 1 – Mesures requises pour une métrologie (Procédure Total)

Actuellement, il existe plusieurs techniques de métrologie sous-marine. La plus utilisée est la méthode acoustique (*LBL – Long BaseLine*) mais une métrologie peut aussi être effectuée à l'aide d'une centrale inertielle, par photogrammétrie, à l'aide d'un sonar 3D ou bien par la technique du *Taut Wire* (« fil tendu »). Dans mon mémoire, je décris ces différentes méthodes de mesure, en listant les avantages et les inconvénients de chacune d'entre elles.

Le Guide opérationnel de l'IMCA S019 fournit une idée des tolérances typiquement établies pour les métrologies :

Point	X	Y	Z	Pitch	Roll	Heading
Unit	mm	mm	mm	Degrees	Degrees	Degrees
Hub to hub relative distances	50 to 150	50 to 150	50 to 150			
Hub to hub relative angles				0.5 to 1.0	0.5 to 1.0	0.5 to 2.0

Figure 2 - Précisions typiques requises lors d'une métrologie, [IMCA, 2012]

2. Particularités du scanner laser sous-marin

Deux types de scanners laser ont pour le moment été développés. En effet, à l'image des débuts de la lasergrammétrie terrestre, les premiers scanners sous-marins reposent sur les principes de la triangulation et du « temps de vol ». Pour les scanners à triangulation, la détermination des distances repose sur la géométrie du faisceau ainsi que sur la position de l'émetteur et du récepteur, alors que

les scanners lasers « à temps de vol » utilisent la vitesse de la lumière. Cette vitesse étant directement liée au milieu de propagation, une sonde CTD (*Conductivity, Temperature, Depth*) est utilisée pour la détermination des différentes caractéristiques de l'eau de mer. Contrairement aux scanners terrestres qui utilisent principalement des lasers possédant des longueurs d'onde situées dans le proche infra rouge et dans le rouge visible, les scanners sous-marins travaillent dans le vert ou le bleu visible. Ceci est dû au fait que ces couleurs se propagent mieux dans l'eau de mer. Les différents facteurs influençant l'atténuation de la propagation des ondes lumineuses dans l'eau sont décrits dans le mémoire.

De plus, les ondes lumineuses possèdent des propriétés complètement différentes des ondes acoustiques. En effet, les longueurs d'onde de la lumière sont près de 10^8 fois plus petites que les ultrasons. Cette différence permet une meilleure résolution pour un balayage laser qu'avec un sonar 3D.

La plupart des techniques actuellement utilisées pour les métrologies nécessitent la mise en place de différentes interfaces sur la structure, visant à accueillir soit des appareils de mesure (centrale inertielle par exemple) soit des cibles (transpondeurs pour une métrologie acoustique par exemple). Ceci est donc une source d'erreur supplémentaire. Le scanner ayant une portée pouvant aller jusqu'à près de 50m pour des eaux très claires, lors d'une métrologie laser aucun contact n'est nécessaire entre l'appareil et la structure et, de plus, aucun objet n'est à installer préalablement sur la structure.

3. Mise en place d'un cas concret en Angola

Afin d'évaluer la technologie laser, une mission a été organisée en Angola. La métrologie a été réalisée sur le champ pétrolier de CLOV (*Cravo, Lirio, Orquidea, Violeta*). La zone d'étude a été choisie de façon à traiter un connecteur vertical d'un côté et un connecteur horizontal de l'autre. Ainsi, cette métrologie permet de traiter les deux cas auxquels la société Total peut être confrontée, et cela a permis, par la suite, d'évaluer les différentes contraintes, tant au niveau de l'acquisition qu'au niveau du traitement des données.

Une métrologie inertielle a d'abord été effectuée avec ZUPT, qui est une entreprise américaine basée à Houston. ZUPT est spécialisée dans l'intégration de la technologie inertielle pour les études sur terre et en mer. Cette technologie ayant déjà fait ses preuves, les résultats obtenus ont ainsi permis d'évaluer les performances du scanner laser. La centrale utilisée est le C-PINS et les opérations ont duré 13h20. Une telle métrologie se réalise en différentes étapes. En effet, le C-PINS réalise plusieurs « boucles » entre les hubs afin de déterminer la position et les orientations de ceux-ci. Ensuite, un capteur de pression (digiquartz) est utilisé afin de calculer les différentes profondeurs recherchées.

La métrologie laser a été réalisée par l'entreprise américaine UTEC. Cette entreprise est l'une des premières à avoir réalisé des métrologies laser (dans le Golfe du Mexique). Le scanner utilisé est un SL1 développé par la société 3D@Depth. Des contacts réguliers ont été établis avec UTEC et 3D@Depth afin de préparer au mieux cette mission et d'en garantir le bon déroulement. Le SL1 reposant sur le principe du temps de vol, il convient de déployer une sonde CTD afin de déterminer les différents facteurs environnementaux nécessaires à la détermination de la vitesse de la lumière (pression, salinité, température). Le SL1 scanne des fenêtres de $30^\circ \times 30^\circ$. Depuis une seule station, différents balayages sont effectués (environ une vingtaine), ce qui permet d'obtenir une vue panoramique de la zone étudiée (environ 180°). Le pas de balayage a été réduit au niveau des hubs pour une plus grande densité de points.

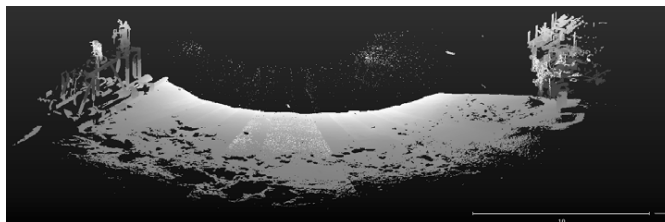


Figure 3 - Jeu de données obtenu pour la station SP02 (CloudCompare) colorisé selon la bathymétrie

Une deuxième station a été effectuée, placée de l'autre côté des structures, afin d'obtenir un recouvrement maximum.

Un inclinomètre (Minisense3) est intégré au sein du SL1. Cet inclinomètre fournit les valeurs de roulis/tangage du scanner au moment de l'acquisition des données avec une précision de 0.04° à 1σ . Il faut ainsi veiller à bien faire pivoter le nuage de points afin de « niveler » le scanner et ainsi obtenir la vraie verticale du lieu.

4. Résultats et analyses

La mission a permis de constater que l'un des principaux défauts du SL1 est le champ vertical de seulement 30° . En effet, dès la première station, nous avons perdu près d'une heure et demie à positionner correctement le robot sous-marin (*Remote Operated Vehicle, ROV*), car celui-ci était, dans un premier temps, trop proche de la structure. Malgré cette perte de temps, qui aurait pu être évitée en anticipant la position du ROV, il apparaît clairement que le laser représente un gain de temps dans l'acquisition des données. En effet, la durée totale a été de 8h contre 13h20 pour la métrologie inertielle.

Deux logiciels fournis par 3D@Depth, *2D Viewer* et *3D Cloud* permet la visualisation des données obtenues directement après chaque balayage, ce qui permet de valider ou de recommencer les mesures. Cela nous a été utile à plusieurs reprises du fait de turbulences dans les données ou d'angles de vue mal orientés.

En ce qui concerne le traitement des données, il s'effectue avec les mêmes logiciels que ceux utilisés pour les scanners terrestres. Une fois que les nuages de points sont préparés, il convient de modéliser les hubs et d'effectuer tous les traitements nécessaires. Le mémoire développe en détail les différents traitements effectués. J'ai pu constater que les résultats dépendent fortement des choix effectués dans les données utilisées. En effet, il existe différentes façons de traiter les données. Certaines personnes préfèrent traiter les deux jeux de données séparément alors que d'autres préfèrent les consolider afin d'exploiter au mieux le recouvrement obtenu lors de l'acquisition. De plus, le traitement étant basé sur les contrôles dimensionnels des structures (effectués sur le chantier de construction) chaque personne n'utilise pas forcément les mêmes points de référence. Les principales sources d'erreurs qui ont été constatées sont le choix d'utiliser des points mal définis sur les données brutes et le choix de surfaces qui ne sont pas strictement alignées par rapport à la structure.

Le résultat obtenu après traitement (consolidation des deux positions grâce à la méthode ICP, *Iterative Closest Point*, définition de la verticale) et qui m'a permis d'extraire toutes les mesures nécessaires à la métrologie (modélisation des hubs, définition des systèmes de coordonnées, création du profil) est le suivant :

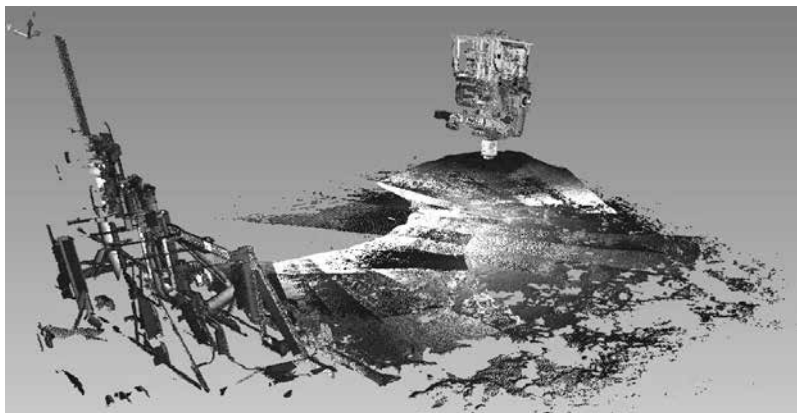


Figure 4 - Vue perspective du nuage consolidé (*FlowLine End Termination, FLET* au premier plan, *Christmas Tree, XT* au second plan) (*Polyworks, sans échelle*)

Nous avons demandé à UTEC de nous fournir les résultats et des précisions par rapport aux traitements qu'ils ont effectués à l'aide du logiciel *Leica Cyclone*, et j'ai moi-même réalisé le traitement des données avec le logiciel *Polyworks* afin que nous puissions comparer les résultats avec ceux obtenus par ZUPT.

Le tableau suivant résume les différents résultats :

Mesure	Variable	Total	UTEC 1	UTEC 2 (traitements séparés : moyenne)	Différence maximale entre les résultats du laser	ZUPT
		Laser	Laser	Laser		INS
Distance Horizontale (mm)	L	25693	25681	25698	17	25732
Angle XT-Jumper (°)	α	68,80	68,65	68,18	0,63	69,14
Angle FLET-Jumper (°)	β	68,65	69,37	68,75	0,72	68,81
Hub FLET Pitch (°)	RX1	-0,32	0,47	-0,33	0,80	-0,58
Hub FLET Roll (°)	RY1	-2,84	-3,48	-2,92	0,64	-3,05
Hub XT Pitch (°)	RX2	-0,21	-0,02	-0,34	0,32	-0,26
Hub XT Roll (°)	RY2	-0,13	-0,33	0,20	0,53	-0,22
Différence de profondeur (mm)	Z	1134	1165	1159,5	31	1141
Altitude par rapport au fond marin (mm)	Hub XT	3330	3315		15	3480
	Hub FLET	3260	3121		139	3330

Figure 5 - Récapitulatif des résultats obtenus

Ce tableau permet de constater que les résultats obtenus peuvent nettement varier d'un traitement à l'autre. En effet, par exemple, un écart maximal de 0.80° au niveau du pitch du côté du FLET est constaté entre les deux traitements différents de UTEC.

5. Bilan et perspectives

Cet essai a donc permis de confirmer que la lasergrammétrie est une technique tout à fait opérationnelle pour la réalisation de métrologies sous-marines. Par le biais de cette étude, certains points, pour lesquels la technologie laser peut encore réaliser quelques progrès, ont pu être relevés. Que ce soit au niveau des performances du système ou au niveau du traitement des données obtenues, cette technique peut donc nettement s'améliorer dans les années à venir.

La lasergrammétrie sous-marine permet de plus d'obtenir les modèles en trois dimensions des différentes structures et d'avoir une cartographie complète du fond de mer. Ceci est un avantage certain puisque cela permettra à Total d'éviter de revenir effectuer des mesures dans certains cas.

Ainsi, nous pouvons comparer les débuts de la lasergrammétrie sous-marine avec ceux de la lasergrammétrie terrestre. En effet, à l'image des scanners terrestres, deux types de scanners ont pour le moment été développés, l'un reposant sur le principe de la triangulation et l'autre étant un scanner à impulsions, couvrant un champ angulaire de 30°x30° (contre 40°x40° à l'époque pour son semblable terrestre). Nous pouvons donc imaginer que le développement des scanners sous-marins suivra le même chemin, et que dans les années à venir, les scanners panoramiques (champ de vision de 360° dans le plan horizontal et au moins 180° dans le plan vertical) feront leur apparition. De même, à l'image des scanners terrestres, le développement sous-marin de scanners laser à différence de phase serait une nette avancée technologique et représenterait un gain de temps considérable au niveau de l'acquisition des données.

Actuellement, certains développements sont en cours afin d'associer le système laser avec une centrale inertielle. Ainsi, il sera possible d'effectuer des relevés laser à l'aide d'un véhicule autonome (AUV) qui pourra « survoler » la zone d'étude, tout en la scannant.

Ce résumé accompagne un mémoire, plus détaillé, présenté le 23 septembre 2015.

Méthode de Calcul GNSS cinématique précis

PFE présenté par :
Entreprise d'accueil :
Directeur de PFE
Correcteur :

Claire Cadieu
FUGRO GEOID SAS
M. Sylvain LACOMBE
M. Jacques LEDIG



1. Introduction :

L'entreprise FUGRO GEOID, qui a été fondée en 1986, réalise l'essentiel de ses prestations dans le domaine de la géodésie, des levés hydrographiques, du geomonitoring et des levés aéroportés, se spécialisant notamment dans les levés et traitements GPS de précision afin de pouvoir répondre aux projets d'envergure aussi bien sur le territoire national qu'à l'international.

En constante évolution, FUGRO GEOID souhaite à ce jour évaluer un ensemble de solutions afin de pouvoir calculer la trajectoire d'un mobile dans un contexte défavorable tel que l'absence de station de référence proche ou bien un mobile se déplaçant à vitesse élevée.

Les solutions post-traitées suivantes ont été identifiées :

- a) Le mode cinématique post-traité (PPK) pour un positionnement relatif :

L'entreprise dispose de deux logiciels commerciaux : Trimble business Center (TBC) et PosPAC MMS, ce dernier pouvant intégrer les données inertielles aux calculs. FUGRO GEOID dispose également du logiciel scientifique GAMIT-GLOBK et plus particulièrement du module TRACK développé par le MIT (Massachusetts Institute of Technology) pour des calculs cinématiques impliquant de longues lignes de base.

- b) Le positionnement de point précis (PPP) pour un positionnement absolu :

Deux logiciels offrent un intérêt particulier pour ce projet :

- Le logiciel SCRS-PPP de l'organisme canadien NRCan dont le département des Géosciences de l'Université de Montpellier dispose du code source ;
- Le logiciel développé par FUGRO INTERSITE.

2. État de l'art actuel des méthodes cinématiques PPK et PPP.

Le PPK : Post Processed Kinematik

Le PPK : « Post Processed Kinematik » utilise les mesures sur les pseudo-distances (code C/A) et sur les phases porteuses L1 et L2. C'est un mode différentiel, c'est-à-dire que l'on utilise les données provenant d'au moins un récepteur pour le calcul du vecteur tridimensionnel associé à chaque mesure. Cette méthode nécessite donc de connaître le nombre entier de cycles entre le satellite et le récepteur, appelé ambiguïté entière. Cette résolution des ambiguïtés entières nécessite alors un temps d'initialisation. Cette résolution s'effectue à chaque nouveau satellite observé et la perte d'un signal ou d'un satellite entraîne un second temps d'initialisation. Il est donc important de veiller à effectuer les mesures dans un environnement optimal afin d'éviter une nouvelle résolution des ambiguïtés entières.

Le PPP : Precise Point Positioning

Le principe du PPP est un positionnement absolu qui n'exige pas de station de base mais une connaissance précise de la position et des horloges des données d'orbites qui ont à ce jour une précision équivalente au centimètre. Cette technique, attrayante pour de nombreux utilisateurs, a l'avantage de simplifier le mode opératoire, diminuer les coûts et le temps de travail par rapport aux

techniques classiques comme le PPK qui nécessite des stations de base ou le RTK obligeant à accéder aux observations de stations de bases à l'aide d'un moyen de transmission. Depuis la combinaison des systèmes satellitaires (GPS, Glonass, Galiléo), la performance des récepteurs et des antennes GNSS, la solution PPP n'a cessé d'évoluer. Cependant, ce mode de calcul exige une période de convergence de plusieurs dizaines de minutes et dépend des conditions d'observations (nombre de satellites observés, géométrie, et taux d'échantillonnage des observations).

3. Description des données analysées :

Ci-dessous, le tableau 1 décrit les différentes données analysées au cours de ce projet de fin d'études. Chacune d'entre elles dispose de particularités permettant d'établir une méthode de calcul selon les conditions d'acquisition. En effet, FUGRO GEOID peut être confronté à de nombreux types d'observations selon la localisation du projet et le matériel utilisé.

	Stations Permanentes		Drone	Hélicoptère	Train
Localisation	P494 El centro Californie	MTP2 Montpellier Hérault	Espiguette Gard	Champagnier - Serre-Ponçon (Isère et Hautes- Alpes)	Utrecht - Venlo (Pays-Bas) 6 trajets
Date d'acquisition	4 avril 2010	1 mai 2015	5 mai 2015	22 avril 2015	3, 4 et 26 avril 2014
Temps d'acquisition	24 heures	24 heures	15 min	3h10	de 2h15 à 5h10
Centre de données	Unavco	RENAG			
Récepteur	Trimble NETRS	Trimble NETR9	Trimble APX-15	Javad	Novatel
Antenne	Trimble Zephyr Geodetic	Trimble Zephyr Geodetic GNSS modèle II	Tallysman	AeroAntenna	Novatel
	TRM41249.00	TRM55971.00	TW3870+GP	AERAT1675_80	NOV702GG
Système satellite	GPS	GPS et Glonass	GPS et Glonass	GPS et Glonass	GPS et Glonass
Fréquence maximale GPS	1 Hz et 5 Hz	1 Hz	20 Hz	1hz	5 Hz
IMU			APX15	Ixblue AIRINS	
Fréquence IMU			100 Hz	200 Hz	

Tableau 1 : Caractéristiques des différentes données cinématiques

Les stations permanentes :

Le choix s'est porté sur l'analyse des données de deux stations permanentes sur 24h. Tout d'abord, la station permanente MTP2 supposée statique dont les coordonnées sont connues, ce qui permettra d'évaluer les différents logiciels PPP et PPK. Ensuite, la station p494 qui a subi un tremblement de terre à 22h40 au nord du Mexique d'une magnitude de 7,2. Pour le calcul PPP, le temps d'observation est largement suffisant pour que le temps de convergence sur les mesures soit établi.

De plus, la station MTP2 a l'avantage de bénéficier des derniers systèmes d'observation GNSS tandis que la station p494 ne dispose que des observations GPS.

Le drone :

Le levé de drone a été réalisé en collaboration avec la société l'Avion Jaune, spécialisée dans l'imagerie aérienne à très haute résolution et le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM). Cette très courte acquisition, ne permettant pas d'étudier la trajectoire en mode PPP, a quand même l'avantage d'avoir une fréquence d'acquisition très élevée (20Hz) et une centrale

inertielle, légère et compacte, développée spécialement pour les drones. La trajectoire du drone sera analysée par rapport à un levé scanner laser de la zone de levé établi dans la même journée. De plus, un cheminement polygonal fermé a été réalisé pour lever les cibles mises en place comme points de calage.

L'hélicoptère :

Le levé en hélicoptère a été réalisé en collaboration avec l'entreprise suisse Hélimap. La température durant le vol était en moyenne de 14° avec une vitesse moyenne du vent de 5 nœuds (environ 9km/h) pour une hauteur de vol de 250 mètres par rapport au sol. Cette trajectoire a été observée à la fréquence d'un Hertz mais dispose d'un temps d'observation suffisant pour une étude en PPP. Le levé d'hélicoptère a également fait l'objet d'un levé de grille de contrôle en PPK sur certaines zones de la trajectoire correspondante.

Le train :

Les données du train proviennent de l'entreprise FUGRO RailData qui a développé un système embarqué à l'avant du train, permettant ainsi le positionnement relatif et absolu. Couplé avec un système LIDAR, cette solution permet de contrôler les voies ferroviaires. Ce jeu de données représentant une distance de plus de 130 kilomètres permet alors d'établir une méthode de calcul dans des conditions environnementales défavorables. En effet, il apparaît que ces données ont de nombreux sauts de cycles durant le temps d'observation, conséquence très probablement liée aux nombreux masques (ponts, fossés, végétation). La trajectoire sera donc analysée par rapport à une trajectoire moyennée par les 6 allers-retours qui nous ont été transmis.

4. Résultats préliminaires

Station permanente MTP2 :

Un calcul cinématique sous les logiciels TBC et Track a été effectué à partir des stations SGIL et GLRA distantes respectivement de 46 et 143 kilomètres de la station de Montpellier.

Les premiers résultats montrent que le logiciel TBC est moins performant pour calculer un levé cinématique avec une longueur de ligne de base importante. En effet, sur la figure 1, le tracé noir correspond au traitement des lignes de bases à partir de la station la plus éloignée : GLRA. Ce logiciel permet alors de douter de ses capacités à calculer ce type d'observation.

Calcul Cinématique de la station MTP2 avec le logiciel TBC

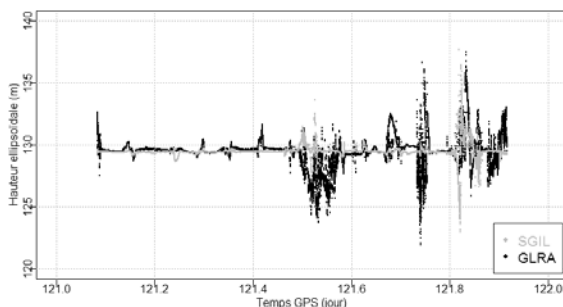
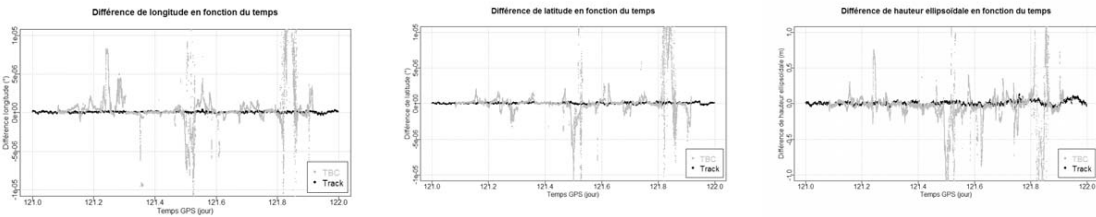


Figure 1 : Calcul cinématique depuis la station SGIL (gris) et la station GLRA (noire)

De plus, une comparaison a été effectuée entre ces deux logiciels avec la station permanente SGIL. La figure 2 illustre les écarts entre les valeurs vraies (longitude, latitude et hauteur ellipsoïdale) de la station de Montpellier et celles calculées à chaque époque, les valeurs vraies étant celles déterminées par l'organisme de l'IGN.



**Figure 2: Différence entre la valeur vraie et le calcul depuis la station SGIL - (1- Longitude
2- Latitude, 3- Hauteur ellipsoïdale) - TBC (gris) et Track (noir)**

	Longitude (seconde)			Latitude (seconde)			Hauteur ellipsoïdale (m)		
	écart minimal	écart maximal	écart type	écart minimal	écart maximal	écart type	écart minimal	écart maximal	écart type
Track	1.6E-06	0.00145	0.00024	1.6E-06	0.00130	0.00023	0	0.14	0.02
TBC	1.6E-06	0.17271	0.01419	1.6E-05	0.12444	0.00884	0	8.24	0.44

Ainsi, ces premiers résultats nous montrent qu'il est possible d'atteindre une meilleure précision sur la position cinématique d'un mobile avec le logiciel Track. Toutefois, ce logiciel intègre plusieurs paramètres qu'il est indispensable de maîtriser pour obtenir un bon résultat. En effet, avec la station GLRA, l'introduction d'une mauvaise valeur des paramètres a permis d'obtenir de très bons résultats sur les résidus mais une mauvaise fixation de la valeur des ambiguïtés entières. En conséquence, nous obtenons un résultat précis mais faux.

5. Conclusion et perspectives

Chaque logiciel ayant ses faiblesses et des capacités de calcul différentes, ce projet de fin d'études aura permis d'établir une procédure d'acquisition et de calcul cinématique en fonction du type de chantier et de la précision demandée.

Par comparaison :

Le logiciel TBC a l'avantage d'automatiser les calculs, laissant à l'utilisateur le choix de définir les paramètres indispensables à un calcul demandant de la précision (type de récepteur et d'antenne, degré du masque d'élévation, type de projection...).

Le logiciel POSpac MMS quant à lui offre les mêmes fonctions mais intègre les données inertielles permettant ainsi de « lisser » les trajectoires et d'aboutir à un projet jusqu'au traitement des données annexes telles que les données photogrammétriques ou LiDAR.

Concernant le logiciel Track du MIT, il a démontré sa supériorité en terme de précision avec des longueurs de ligne de base importantes, mais nécessite une plus grande expérience en GNSS car il est facilement possible d'obtenir des résultats faux.

Enfin, les logiciels PPP c'est-à-dire ceux du NrcAN et de Fugro ont l'avantage de permettre à l'utilisateur de modifier des paramètres tels que les modèles océaniques ou, pour le logiciel de Fugro, le degré d'interpolation des données orbitales.

Ce projet non finalisé au moment d'écrire le résumé mettra en comparaison les différentes trajectoires avec des données de référence telles qu'un levé au scanner laser pour le drone, des grilles de contrôle pour le levé d'hélicoptère, des données provenant d'un sismographe pour le séisme et une trajectoire moyennée par 6 allers-retours pour les données du train.

Conception d'un outil de calcul et d'optimisation d'itinéraires de convois exceptionnels à l'aide d'un Système d'Information Géographique.

PFE présenté par : **Marouane Boudhaim**
Société d'accueil : **Transport Europe Services**
Directeur de PFE : **Hervé Kautzmann**
Correcteurs : **Mathieu Koehl**
Jacques Ledig



1. Introduction

Le transport exceptionnel désigne le déplacement de véhicules aux dimensions très particulières, supérieures aux limites stipulées dans le code routier pour la masse (R. 312-4), la longueur (R. 312-11) ainsi que la largeur (R. 312-10). Pour les transports de marchandise, celle-ci doit en outre être une charge indivisible afin de limiter au maximum le nombre de convois exceptionnels, car non seulement ils causent une gêne pour le trafic routier, mais engendrent des dégâts très importants à la structure routière.

Les convois exceptionnels sont décrits comme : «

- à moteur (ou remorque) transportant des charges indivisibles (qui ne peuvent être divisées en plusieurs chargements ou transportées par un véhicule aux dimensions réglementaires),
- agricole ou forestier, machine agricole automotrice ou remorquée dont les dimensions dépassent 25 m de long ou 4,50 m de large,
- à moteur ou remorque à usage forain,
- ensemble forain dont la longueur dépasse 30 m,
- engin spécial, ou matériel de travaux publics. » (vosdroits.service-public@, 2015)

Ils sont divisés en trois catégories selon la législation française :

	Longueur (mètres)	Largeur (mètres)	Masse (kg)
1ère catégorie	$L \leq 20$	$l \leq 3$	$M \leq 48\ 000$
2ème catégorie	$20 < L \leq 25$	$3 < l \leq 4$	$48\ 000 < M \leq 72\ 000$
3ème catégorie	$L > 25$	$l > 4$	$M > 72\ 000$

Les trois catégories de transport exceptionnel

La caractéristique la plus défavorable (grande) est celle qui régit la classification finale. (Exemple : Un camion de 73 tonnes est forcément en troisième catégorie, quelle que soit sa longueur ou sa largeur.) Ces catégories déterminent les restrictions et conditions auxquelles doivent répondre ces véhicules. Il peut par exemple être exigé d'avoir une escorte par la gendarmerie, un équipement spécial ou une limitation de circulation à une plage horaire donnée et à une certaine vitesse maximale.

Ces transports font l'objet d'une réglementation très stricte en France. Les itinéraires qu'ils peuvent emprunter sont limités et font l'objet d'une demande d'autorisation auprès des directions départementales des Territoires.

Pour les convois exceptionnels, le recours à des professionnels de ce service est donc indispensable en France étant donnée la très lourde réglementation en vigueur.

Transports Europe Services est une entreprise chargée du calcul d'itinéraires des transports exceptionnels en France ainsi que la demande préalable des autorisations départementales pour le passage des convois et les études des ouvrages d'art concernés par leur passage.

2. Description du système actuel

Globalement, les convois exceptionnels sont des véhicules dont les dimensions particulières ne permettent pas un déplacement fluide dans le trafic routier et nécessitent une structure routière adaptée. Ces convois ont donc des possibilités limitées d'itinéraires en France.

Transport Europe Services (TES) est une compagnie qui s'occupe de calculer les itinéraires selon les dimensions du convoi de client. Elle prend en compte plusieurs critères, notamment le poids, le poids aux essieux, la longueur et la largeur pour traverser les routes.

À ces critères s'ajoutent la hauteur qui peut être limitée si un pont est présent sur le parcours. Les hauteurs des ponts sont actuellement référencées dans l'ouvrage La Girafe. Ces hauteurs officielles, qui comportent cependant une marge de sécurité d'approximativement 15cm, peuvent s'avérer très gênantes et impliquer de longs détours. La direction départementale des territoires (DDT) autorise les compagnies qui calculent les itinéraires de convois exceptionnels à passer outre cette marge de sécurité s'ils effectuent eux-mêmes un levé du pont. TES utilise actuellement des voitures munies d'un dispositif à ultra-son, qui permettent de calculer les distances selon l'axe zénithal à une précision d'1 cm. Certains ponts bénéficient de voies alternatives spécialement aménagées pour les convois exceptionnels mais qui nécessitent de démonter la glissière. Ces voies aussi peuvent être éventuellement limitées en hauteur.

Le passage au-dessus d'un pont nécessite une étude de structure. Cette étude peut être payante selon le gestionnaire. Elle se base sur les dimensions du convoi ainsi que sur sa géométrie. L'espacement des essieux notamment est pris en compte. Une étude par convoi et par pont doit être commandée. Par conséquent deux convois totalement similaires devront faire l'objet de deux études distinctes.

En sus des ponts, les ronds-points peuvent aussi faire office d'obstacle. Le passage d'un convoi par un giratoire peut être limité par la longueur et la largeur du convoi, surtout s'il contient des éléments gênants comme des panneaux de signalisation. Une étude sur le terrain est faite pour voir si, de façon expérimentale, un convoi peut emprunter ce giratoire.

En marge des dimensions du véhicule, les préfetures délivrent aussi des prescriptions à respecter. Ces dernières imposent des contraintes supplémentaires comme une limite aux dimensions du véhicule, la nécessité d'avoir une escorte par la gendarmerie, la limitation de la circulation à certains horaires, etc... Certaines communes peuvent aussi donner des autorisations à titre exceptionnel pour certains convois exceptionnels, à condition qu'il y ait des études spécifiques menées par TES qui garantissent le passage du convoi sans encombre.

Une fois que TES a déterminé un itinéraire, la décision de le valider revient à la DDT. Anciennement, TES communiquait les itinéraires à la départementale des territoires de chaque département traversé. Fin 2014, un nouveau portail a été mis en ligne par le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, et le ministère du Logement, de l'Égalité des territoires et de la Ruralité. Ce portail permet à TES de spécifier les caractéristiques du véhicule, et les tronçons de l'itinéraire à emprunter. Cet itinéraire est à travers ce portail, transféré à la DDT du premier département traversé, qui s'occupera de transférer les dossiers aux autres DDT. À l'issue de l'étude de la DDT, l'itinéraire peut être soit validé, soit refusé, avec éventuellement une proposition d'itinéraire alternatif.

L'objectif du PFE est l'étude et la mise en place d'un système de calcul d'itinéraires reposant sur les fonctionnalités d'un SIG et permettant de prendre en compte les restrictions liées aux transports exceptionnels.

3. Données disponibles

Les données utilisées sont issues de la base de données ROUTE 500 (BD ROUTE 500) de l'IGN et de données relevées par TES. La BD ROUTE 500 comporte essentiellement la géométrie des routes, ainsi que les principales informations administratives telles que les numéros de route ou le nom dans

le réseau européen. Les données de TES sont principalement des données des limitations routières des convois exceptionnels.

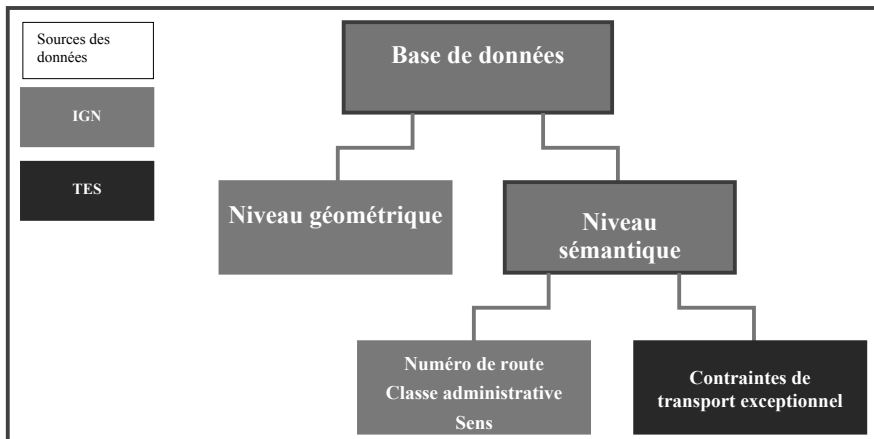


Schéma illustrant les différentes données ainsi que leur provenance

4. QGIS

QGIS (aussi connu sous le nom de "Quantum GIS") est un système d'informations géographique multiplateforme libre et gratuit permettant la visualisation, l'édition et l'analyse de données. QGIS permet, de par sa nature ouverte, de créer des extensions en python en se basant sur l'intégralité des modules qui le composent.

La principale librairie de QGIS utilisée durant cette étude est *Network Analysis*, basée sur l'algorithme de Dijkstra. Il sert essentiellement à la création et la résolution de graphes. Il permet donc de retrouver le chemin le plus court entre deux points. La librairie n'est pas très documentée et son concepteur ne répond pas à mes courriels. Mais la facilité de développement sur QGIS ainsi que son importante communauté de développeurs et d'utilisateurs permettent de développer les outils nécessaires pour combler le manque de possibilités offertes nativement, car bien évidemment la librairie ne prend pas en charge les restrictions des convois exceptionnels.

5. Algorithmes développés

Mise à jour de la base de données

Cet algorithme cherche principalement à faciliter la mise en place et la mise à jour des caractéristiques des tronçons routiers. QGIS permet de le faire de façon native, mais étant donné le très grand nombre de tronçons routiers (280 000 sur toute la France), le développement d'une solution pour faciliter cela s'avère nécessaire.

L'idée principale a été de permettre la sélection de plusieurs tronçons avec un minimum d'interventions de l'utilisateur. Cela s'appuie sur le calcul du chemin le plus court entre deux points. Par exemple, pour modifier la route D83 du département du Haut-Rhin, il faut sélectionner 63 tronçons, alors qu'avec le module développé, il suffit de cliquer sur le point du début de la D83 et le point final.

En plus de cette multi-sélection le programme propose un mode de sélection « simple ». Il suffit de cliquer sur le tronçon en question. Cette fonction est surtout utile pour les ouvrages d'art, qui se trouvent dans la base de données sous forme de tronçons routiers, et ont des caractéristiques indépendantes des tronçons voisins.

Une fois les tronçons sélectionnés, l'interface affiche les différents attributs modifiables. Si un seul tronçon est sélectionné, elle affiche aussi les attributs déjà saisis. Il suffit de rentrer à cette étape les paramètres connus, comme la catégorie de la route ou le poids maximum possible.

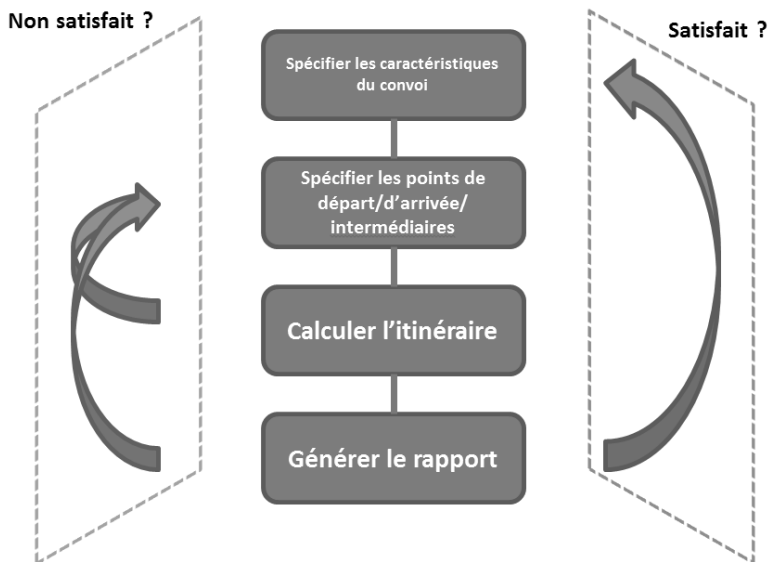
Une fois les données saisies, on peut cliquer sur le bouton mise à jour. Dès lors le programme procède à une mise à jour en vérifiant s'il n'y a pas des données déjà présentes. Si les nouvelles données sont plus contraignantes que les anciennes, par exemple l'ancien poids maximum est de 72t et le nouveau de 48t, le programme notifie cela à l'utilisateur grâce à une fenêtre de confirmation. L'utilisateur est alors libre de choisir de mettre à jour cette donnée ou non.

Création d'itinéraire

Cet algorithme sert à l'exploitation des données mises en place. Il permet le calcul d'itinéraire d'un point A à un point B, et le passage par d'autres points au cours de l'itinéraire. Ainsi on peut calculer un itinéraire qui va de Strasbourg à Lyon en passant par Brest.

La spécificité de cet algorithme, par rapport aux autres applications de calcul d'itinéraire comme Google Maps par exemple, est qu'il tient compte des caractéristiques du convoi exceptionnel. Ainsi il permet de restreindre, si souhaité, l'itinéraire calculé aux seules routes compatibles avec le convoi exceptionnel en question.

Une fois l'itinéraire calculé, on peut générer un rapport qui contient les noms des routes, avec la longueur totale ainsi que d'éventuels coûts calculés pour les études d'ouvrage d'art, les communes, les ronds-points et les échangeurs traversés. Cela permet à l'utilisateur de s'assurer de la validité de l'itinéraire pour les paramètres que ne gère pas le SIG. Par exemple certaines communes restreignent les horaires de passage des convois exceptionnels, ce sera à l'utilisateur de décider si passer par de telles communes est la solution optimale



Algorithme de la fonction de calcul d'itinéraire.

6. Conclusion

Dans le monde du SIG plusieurs solutions de calcul d'itinéraire sont disponibles, mais celle retenue est QGIS pour sa gratuité et sa modularité. Le développement ne porte donc pas sur la mise en place d'algorithmes de calcul d'itinéraires, mais utilise ceux nativement présents. Il est donc axé sur la mise en place d'une surcouche pour les contraintes des convois exceptionnels, et munie d'une interface adaptée à des utilisateurs novices en SIG. Cette surcouche devra comprendre de manière exhaustive les outils nécessaires au calcul d'itinéraire, allant de la création et la mise en place de la base de données à son exploitation et à la création d'un itinéraire.

Conception de processus visant à améliorer le géoréférencement de données coproduites sur des plateformes de partages - appliqué à la thématique Voirie / Adresse.

PFE présenté par : **Benjamin MALAN**
Société d'accueil : **Région Alsace - Service**
Systèmes d'Informations
Géographiques et Statistiques
(SIGS)
Directeur de PFE : **M. KLIPFEL Jean-Pascal**
Correcteur : **M. KOEHL Mathieu**

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
STRASBOURG



1. Introduction

En France et particulièrement en Alsace, des enjeux ont été identifiés pour disposer d'une connaissance fine des adresses sur le territoire. L'adresse postale est notamment liée à des questions de sécurité (SDIS par exemple) mais également impliquée dans le développement économique. Un répertoire d'adresses permettrait le croisement avec de nombreuses données non géo-localisées (géocodage), apportant une valeur ajoutée à beaucoup de données métiers.

Le contexte national a favorisé les démarches de la Région Alsace sur la question. Jusqu'à début 2015, il n'existait nulle part de base de données nationale regroupant les adresses postales. Pour être plus précis, il en existait beaucoup, sans qu'aucune ne fasse foi, ou ne soit reconnue comme base de données officielle pour l'Adresse en France. En effet, de nombreux acteurs de l'information géographique, qu'ils soient publics, semi-publics, ou privés, possèdent leur propre base de données Adresse. La Poste, l'IGN, les Services Départementaux d'Incendie et de Secours (SDIS), certaines agglomérations et métropoles, des entreprises privées de navigation (TomTom, NAVTEQ, ...), ou encore d'autres géants d'internet... Des protocoles et conventions de partages existent entre certains d'entre eux, lorsque l'emprise géographique est commune. Pour autant, les saisies multiples de création, modification ou suppression d'adresse ou de voirie est un frein économique, en plus d'être une perte de temps.

C'est dans ce contexte que le Secrétariat Général pour la Modernisation de l'Action Publique (SGMAP), par le biais de l'Administrateur Général des Données (AGD) Henri Verdier, s'est engagé à constituer une Base Adresse Nationale (BAN). Cette volonté s'inscrit dans la politique Open Data de l'Etat Français. En Novembre 2014, plusieurs acteurs nationaux de l'adresse ont déclaré leur intention de créer ensemble cette base en partageant leurs données, selon certaines modalités de licences qui restaient alors encore à éclaircir. Les acteurs étaient SGMAP, la mission Etalab, le groupe La Poste, l'IGN, et OpenStreetMap (OSM).



etalab gouv.fr

IGN
INSTITUT NATIONAL
DE L'INFORMATION
GÉOGRAPHIQUE
ET FORESTIÈRE



Suite à cette déclaration d'intention, une première version de la BAN a été rendue disponible au téléchargement, avec une licence pseudo-OpenData. Un portail Web SIG à destination des

mairies, agglomérations et collectivités territoriales a vu le jour, afin de donner la possibilité aux gestionnaires de données Adresse de mettre à jour la BAN directement via internet.

Plusieurs collectivités locales ont décidé de suivre l'élan national autour de cette donnée de référence qu'est l'Adresse. Des initiatives régionales ont émané afin de coordonner les différents créateurs et utilisateurs de l'Adresse sur leur territoire. La Région Alsace, grâce au partenariat Coopération pour l'Information Géographique en ALSace (CIGAL), a mis en place un schéma d'action afin de faire de l'adresse une véritable donnée de référence, accessible à tous, fiable et ne demandant pas de saisie multiple chez les différents gestionnaires de bases Adresse. L'approche du SIGS a d'abord commencé par l'analyse des processus de production des données Voirie / Adresse au sein des services producteurs en Alsace. Une solution Web de partage des données Voirie / Adresse, développée par la GéoBretagne, semblait s'inscrire dans le plan d'action du SIGS. La possibilité de créer une base de données Adresse réellement OpenData pour toute l'Alsace est à explorer. Les partenaires CIGAL souhaitaient également intégrer au mieux les avancées nationales par rapport à la donnée de référence Adresse.

2. Partenaires alsaciens - chercher l'information

Ce sont les mairies qui ont la compétence juridique pour attribuer, modifier ou supprimer des adresses et nommer, renommer, supprimer des voies sur leur commune. Lorsque les communautés de communes ou agglomérations sont de grande ampleur, leur service SIG maintient une base Voirie / Adresse qui fait foi pour le territoire. Cependant, aucune n'est basée sur le même modèle logique de données. Plusieurs visites des services SIG de Mulhouse Alsace Agglomération (M2A), de Strasbourg Eurométropole (ex-CUS), de la communauté d'Agglomération de Colmar (CAC), des SDIS 67 et 68, ainsi que de la communauté de communes du Kochersberg, ont permis de mettre en évidence les points forts et les défis des différents modèles. Les enjeux pour ces services ont pu être identifiés : la récupération de l'adresse et de la voirie, tant au niveau sémantique (attributs) que géométrique, est le défi principal. Pour les communes centrales (Colmar, Mulhouse, Strasbourg), les processus de partage sont rodés, mais ce n'est pas du tout le cas des autres communes des agglomérations.

Lors de la création, modification ou suppression d'une adresse / voirie, un document officiel (délibération) émane de l'autorité compétente, à savoir la mairie. Ces délibérations contiennent l'information sémantique et géographique de l'Adresse / Voirie. Mais le flux de circulation de ces délibérations n'est pas systématique, et dépend de la bonne volonté des mairies, parfois limitées en termes de moyens.

Ces visites et contacts avec les acteurs locaux ont permis de mobiliser à nouveau sur les enjeux OpenData, en aboutissant notamment à la mise à jour de données libres, voire à une première ouverture des données en temps réel (mise à jour quotidienne du jeu de données disponible).

Les SDIS se placent beaucoup plus en tant qu'utilisateurs de la donnée Adresse / Voirie, et leurs bases se composent de croisements entre des bases IGN achetées, des données cadastrales, et des données OpenData des agglomérations. Leur potentiel de création ou de modification réside beaucoup dans leur capacité d'observation du terrain.

Au niveau national, les bases de données sont mises à jour grâce à des relevés sur le terrain. L'IGN envoie des collecteurs pour mettre à jour leur plan topographique, et en profite pour récolter les adresses et voiries. Les administrations du cadastre possèdent cet avantage de recevoir systématiquement les délibérations pour des communes de plus de 2000 habitants. Le cadastre possède ainsi énormément de donnée Adresse / Voirie, mais pas nécessairement très à jour.

OpenStreetMap avait lancé, début 2014, une Base Adresse Nationale Ouverte (BANO) basée essentiellement sur une extraction des données cadastrales. Les contributions d'OSM à la constitution de leur BANO ont donné un élan national suffisant pour enclencher les accords de Novembre, et finalement la sortie de la BAN officielle version 1.

3. Région Alsace - le plan d'action pour l'Adresse / Voirie

Suite à la convention de Novembre 2014, signée par les grands acteurs nationaux de l'information géographique, les partenaires CIGAL ont créé un groupe de travail pour la Voirie et Adresse. Ce groupe de travail est constitué des agglomérations de Colmar, Mulhouse, Strasbourg, de

la Région Alsace, ainsi que des deux SDIS alsaciens. La Région s'occupe de coordonner les actions menées.

Le groupe de travail Adresse (GTA) a défini 3 axes de travail autour de la thématique :

- Constituer une Base Adresse Régionale
- Installer et améliorer l'outil de signalement d'adresses développé par GéoBretagne.
- Suivre l'actualité nationale de la BAN, et de l'outil WEB SIG de l'IGN à destination des communes.

a. Base Adresse Régionale

La Base Adresse Nationale (BAN) est le fruit de la fusion de bases de travail (celles de l'IGN et celles de La Poste). L'IGN se porte garant de la fiabilité de l'information géographique (positionnement), et La Poste de la fiabilité de l'information sémantique de l'adresse (numéro, nomenclature de nommage). Cependant, les héritages économiques de ces deux structures ont eu pour conséquence d'astreindre une licence dite « de repartage ». Toute la BAN est accessible gratuitement au téléchargement, ce qui laisse supposer que les données sont en OpenData. Cependant, les personnes qui téléchargent la BAN sont soumises à l'obligation de repartager à l'IGN / La Poste l'ensemble de leurs données, du moment qu'elles ont été croisées ou mélangées à la BAN. Ce type de licence est contraignant pour des entreprises qui souhaiteraient développer leur activité grâce à cette BAN, puisqu'ils doivent absolument partager leurs propres fichiers entreprises s'ils font le moindre croisement avec la BAN.



adresse.data.gouv.fr

BÊTA

Le partenariat CIGAL envisageait la mise en place d'une Base Adresse Régionale, totalement OpenData. Les données proviendraient directement des agglomérations et des communes. Lors de la période de stage, nous avons avancé dans cette direction, sans pour autant matérialiser une telle base. Les agglomérations ont été encouragées à publier leurs adresses en OpenData, si possible en temps réel. Le choix final de la non-crédation d'une Base Adresse Régionale physique et compacte provient de la volonté de ne pas contraindre l'élan national de la BAN, même si la licence associée aux données n'est pas idéale. Les données Adresse / Voirie régionales sont finalement bel et bien disponibles, sans avoir réellement constitué de Base Adresse Régionale.

b. SIGN'Adresse

SIGN'Adresse est un portail SIG Web développé par GéoBretagne. Ce portail affiche une couche de **signalements** sur différents fonds de plan. Un signalement est une puce qui décrit une création, une modification ou une suppression d'une adresse ou d'une voirie sur le territoire alsacien. Chaque signalement possède une série d'attributs définissant le type de modification, l'organisme qui crée le signalement, la possibilité de joindre un URL de pièce jointe, ... Ces signalements constituent donc une couche de travail, libre de droit, exploitée et alimentée par les utilisateurs (essentiellement les agglomérations et les SDIS). L'intérêt apparaît lorsque les emprises territoriales des utilisateurs se chevauchent. En traitant ces signalements, un service SIG peut ainsi se tenir informé des créations/modifications/suppressions d'adresses et de voiries sur son emprise territoriale.

Le portail est un site développé en HTML, JavaScript. L'architecture utilise une bibliothèque libre, ExtJS, et son extension cartographique, GeoExt. La bibliothèque cartographique principale est OpenLayer 3. Les processus de traitement de l'information géographique ont été réalisés dans le langage PHP. Le site présentait déjà une carte, des outils très basiques de SIG (création/modification/suppression de signalements, déplacement sur la carte, zoom). Le site offrait également l'utilisation de plusieurs géocodeurs, notamment l'un des plus populaires, celui de la firme Google. Le site présentait également un gestionnaire de couche, un filtre attributaire, et une possibilité de télécharger le jeu de données des signalements.

Le cœur du projet consistait en l'appropriation du code Open Source de *SIGN'Adresse*. La Région héberge le site et publie plusieurs flux OGC via Geoserver. Lors de cette installation, d'autres fonds de plan et géocodeurs ont été paramétrés, notamment le nouveau géocodeur d'Etalab, basé sur les données BAN. Les flux OGC ont permis de travailler de nouvelles fonctionnalités grâce à une

interopérabilité assurée par le standard. En effet, les flux WFS ont permis de pouvoir générer des fils RSS d'actualités lorsque des nouveaux signalements apparaissent, par exemple.

Le défi a été de collecter de nouveaux signalements, en récupérant l'information de création/modification/suppression et en la transformant en signalement. Les utilisateurs ont souhaité automatiser un maximum les procédures d'importation afin d'y passer le moins de temps possible. Plusieurs routines PHP ont permis d'intégrer directement des fichiers CSV. Ces fichiers sont livrés par les utilisateurs eux-mêmes et contiennent des informations de changements dans leurs propres bases adresses. Les processus d'interopérabilité transforment ces données brutes en signalements utilisables.

Une passerelle du portail Adresse de l'IGN pour les mairies (disponible depuis adresse.data.gouv.fr) vers *SIGN/Adresse* intègre directement les modifications entrées par des communes. Ainsi, les informations circulent beaucoup plus vite, ne sont saisies qu'une seule fois, et peuvent toujours être triées par les utilisateurs des signalements.

L'outil *SIGN/Adresse* est désormais le moyen de partage d'informations (géographique et/ou sémantique) sur l'Adresse et la Voirie en Alsace. Les utilisateurs ont été formés, et sont assez favorables à une évolution de l'outil par la suite. *SIGN/Adresse* est consultable sur le site CIGAL (www.cigalsace.org/signalement).

c. Suivi du projet national

L'intérêt d'une Base Adresse Nationale est née depuis longtemps, à travers plusieurs rapports, dont un par le CNIG [Devers, 2002]. En 2014, la déclaration d'intention de coopérer pour créer une BAN, puis en Avril 2015, la sortie de la BAN 1.0 ont permis d'initier un long travail de sensibilisation des collectivités à l'importance de la qualité de la donnée de référence Adresse / Voirie. L'IGN développe toujours son propre portail SIG Web à destination des communes. Tout au long du projet, la Région s'est intéressée à cet outil et a envisagé de soutenir l'IGN dans la promotion de l'outil, en échange d'une collaboration plus fine concernant les données qui circulent dans ce portail. Les négociations ne sont toujours pas finies, et les réunions, formations et contacts avec les différents acteurs nationaux ont mis en évidence le fait que rien n'est vraiment acquis. Le partenariat La Poste - IGN - OSM est naissant, et chacun a souhaité et souhaite toujours ajouter sa pierre à l'édifice, rarement de manière désintéressée.

4. Perspectives

La Région Alsace progresse toujours dans la thématique Voirie / Adresse, au fil des nouveautés tant au niveau national (BAN, portail de l'IGN pour les mairies) que local (expériences d'utilisations de *SIGN/Adresse*, nouveaux processus d'extraction des bases Adresse des services SIG). Les principaux défis restent toujours la récupération des informations. En effet, l'IGN peine à accorder un accès vraiment libre à tout ce qui a un rapport avec l'Adresse et la Voirie. De plus, les utilisateurs locaux souhaitent consacrer le moins possible de temps à la recherche de création/modification/suppression dans leurs bases de données.

Les perspectives sont :

- d'élargir le nombre d'utilisateurs de *SIGN/Adresse*, en intégrant les collecteurs de l'IGN, des entreprises privées de navigation, ou encore d'autres services publics (Police, SAMU).
- d'automatiser le plus possible les processus interopérables de collecte d'information depuis les grands producteurs d'Adresse (agglomérations, SDIS).
- de conventionner l'utilisation de flux d'information IGN

Un travail d'animation auprès des agglomérations et SDIS a déjà commencé et doit être continué afin d'impliquer les acteurs locaux dans la dynamique nationale de l'Adresse / Voirie.

Références citées :

[Devers, 2002] Devers, José (2002) Groupe de travail Adresse - Rapport final. Groupe de travail Adresse, CNIG.

Utilisation des spécifications techniques INSPIRE Annexes I, II & III pour guider l'évaluation de la qualité de bases de données géographiques

PFE présenté par : **Justine Perrin**
Société d'accueil : **SIRS**
Directeur(trice) de PFE : **Christophe Sannier**
Correcteurs(trices) : **Mathieu Koehl**



1. Contexte et objectif de l'étude

L'entreprise SIRS, Systèmes d'Information à Référence Spatiale, basée à Villeneuve d'Ascq est spécialisée dans le traitement d'image, les systèmes d'information géographique et l'expertise en occupation du sol. Le pôle Recherche et Développement participe à des projets de recherche et opérationnels européens (dans le cadre du programme COPERNICUS) et nationaux. La pratique montre que, dans la plupart des projets et notamment ceux ayant trait à la cartographie de l'occupation des sols, l'évaluation de la qualité des données géographiques n'est pas toujours ou mal définie. Les critères de qualité d'une base de données à une autre sont souvent hétérogènes et définis « au cas par cas ».

La directive INSPIRE, mise en place par la Commission Européenne, tente de résoudre ces problèmes par la création de spécifications techniques réparties selon 34 thèmes (hydrographie, unités administratives, occupation du sol, etc...) divisés en annexes I, II et III. Pour chaque thème, les spécifications fournissent des obligations et des recommandations techniques concernant notamment les données, la qualité des données et les métadonnées, dans le but de surmonter les problèmes de disponibilité, de qualité, d'organisation, d'accessibilité et de partage des informations géographiques.

Le but du projet était alors de mettre en place une méthodologie d'évaluation de la qualité des bases de données géographiques, et prioritairement les données d'occupation du sol, en s'appuyant sur les spécifications techniques INSPIRE. Plusieurs cas concrets ont été utilisés pour mettre en application cette méthodologie.

2. Données expérimentales pour l'évaluation de la qualité

Deux jeux de données issus de projets différents ont été sélectionnés pour utiliser de façon opérationnelle les spécifications INSPIRE.

2.1. Données du projet ALMIRA

Le projet ALMIRA (*Adaptation des mosaïques paysagères dans les agrosystèmes pluviaux Méditerranéens pour une gestion durable de la production agricole, des ressources en eau et en sol*), financé par l'ANR (*Agence Nationale de la Recherche*), a pour vocation d'étudier et de caractériser les agrosystèmes pluviaux méditerranéens. Il a démarré au début de l'année 2014 pour une durée de quatre ans. SIRS est responsable de la collecte des données géospatiales d'origines et de disciplines diverses sur les trois sites d'étude du projet : le bassin versant de la Peyne en France, le Lebna en Tunisie et le Tleta au Maroc. L'objectif est d'évaluer et d'identifier les déficiences éventuelles des données collectées pour établir une cartographie numérique précise des caractéristiques de ces paysages devant permettre d'établir la conception de scénario d'évolution de paysage spatialement explicites. C'est la raison pour laquelle ce projet constitue une opportunité intéressante pour mettre en place une méthode d'évaluation de la qualité des données.

2.2. Données du projet de l'Atlas Urbain

L'élaboration de l'Atlas Urbain européen s'inscrit dans le cadre du projet GMES (Global Monitoring for Environment Security) / Copernicus. Il s'agit de fournir des données précises sur l'occupation du sol et l'expansion urbaine dans les 28 pays de l'Union européenne. Cette cartographie concerne les villes supérieures à 50 000 habitants telles que définies par l'Audit urbain. Les données sont actualisées tous les 3 ans. L'Atlas Urbain pour l'année 2012 est en cours de réalisation et, au moment de la réalisation de ce Projet de Fin d'Etudes, la moitié des données produites entraient en phase de validation.

3. Méthodologie d'évaluation de la qualité des données d'occupation du sol

3.1. Appui sur les spécifications INSPIRE

L'évaluation de la qualité des données géographiques s'inscrit dans un processus de validation, illustré par la figure 1. Les données sont tout d'abord produites selon des spécifications impliquant en parallèle une assurance qualité, qui consiste en un ensemble d'outils et de vérifications pendant la phase de production. Le contrôle qualité est indépendant et intervient en aval de la phase de production. Il valide le produit avant la livraison au client.

Les critères nécessaires à l'évaluation de la qualité de données d'occupation du sol se sont basés sur les spécifications INSPIRE (D2.8.II.2_v3.0 INSPIRE Data Specification on Land Cover – Technical Guidelines). Il s'agit de l'exhaustivité, la cohérence logique, la précision géométrique et la précision thématique. Chacun de ces critères compte plusieurs sous-critères, lesquels sont évalués par une ou plusieurs mesures de qualité. Les spécifications INSPIRE concernant la qualité des données ne se présentent pas sous un caractère obligatoire ni exhaustif, mais plutôt sous forme de recommandations. Il a été nécessaire de compléter ces critères afin d'aboutir à une liste exhaustive des éléments de qualité, adaptable à différents projets de cartographie.

Ce travail est passé par une phase d'analyse de données d'occupation du sol non validées, permettant de détecter les erreurs qui peuvent être rencontrées dans un jeu de données issu de la phase production.

3.2. Contrôle qualité des données géographiques

Pour mener ce travail, le logiciel ArcGIS 10.1 d'ESRI a été utilisé. ArcGIS présente l'avantage de comporter de nombreux outils de vérification des données via l'*ArcToolbox* (pour des traitements isolés) et *ModelBuilder* (pour des chaînes de traitements).

La figure 2 expose les critères (à gauche) et sous-critères (à droite) pris en compte pour l'évaluation. Les critères d'exhaustivité et de cohérence logique sont effectués sur la donnée dans sa totalité (et non pas sur un échantillon) à l'aide d'outils proposés par ArcGIS. Concernant la cohérence logique, et plus particulièrement le sous-critère de la cohérence topologique, la pratique a montré qu'il était difficile de dissocier l'étape de vérification de celle de correction.

La précision géométrique est évaluée par rapport à une sélection de points de contrôle. Un minimum de 20 points est sélectionné et distribué de manière régulière sur la couche à évaluer.

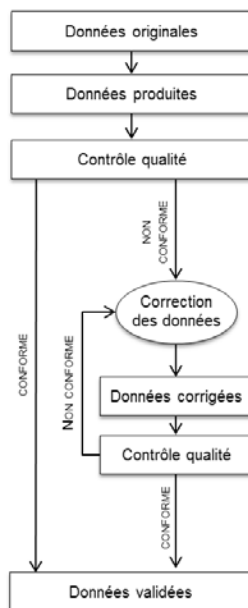


Figure 1 : Processus de validation de données géographiques

Contrairement aux contrôles de cohérence logique ou d'exhaustivité, la précision thématique n'est pas évaluée de manière exhaustive mais sur la base d'un échantillon. Un contrôle thématique complet de la base impliquerait des temps de vérification bien trop importants et donc un coût élevé. La sélection de l'échantillon est une tâche délicate si l'on veut que l'échantillon soit non biaisé et représentatif de la donnée entière. Dans la communauté scientifique, il n'existe pas de consensus sur la méthode à utiliser. Chaque méthode présente ses avantages et ses inconvénients, il n'y a pas de méthode optimale. Le choix est également guidé par les contraintes du projet en question.

La procédure d'évaluation de la précision thématique se divise en trois composantes :

- la stratification et l'échantillonnage ;
- l'interprétation des échantillons ;
- la réalisation et l'analyse des indicateurs de précision.

La liste de critères ainsi définie a nécessité une mise en forme. Un rapport-type a été produit sous forme de tableau.

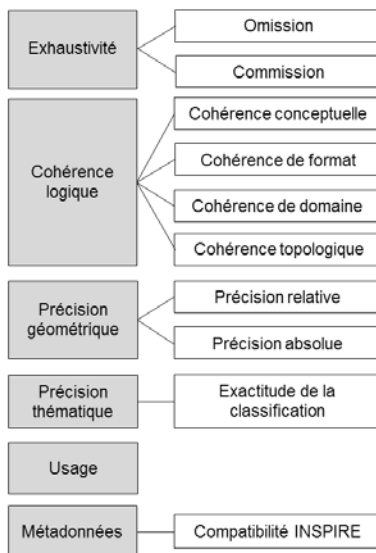


Figure 2 : Critères et sous-critères utilisés pour l'évaluation de la qualité des données

3.3. Automatisation du contrôle qualité

Évaluer la qualité d'une base de données géographique est une tâche qui prend beaucoup de temps et qui peut se révéler répétitive selon la taille de la base de données en question. L'étude menée s'est alors naturellement dirigée vers l'automatisation de la méthode d'évaluation de la qualité des données.

Le travail d'automatisation a été effectué à l'aide du langage de programmation Python et du site-package ArcPy. ArcPy permet d'accéder à des outils d'analyse, de conversion et de gestion de données géographiques afin d'automatiser des tâches au sein du logiciel ArcGIS.

Deux aspects de l'automatisation ont été développés :

- Obtention automatique des résultats des mesures de qualité à partir de la donnée à évaluer ;
- Création d'un rapport-type complété par ces résultats et donnant la possibilité d'être modifié ultérieurement et manuellement (ajout de commentaires, décision sur la validation du produit).

La solution apportée consiste en la création d'une page HTML, générée à partir d'un script Python. Le script permet de générer, selon le cas, le nombre, le taux d'erreurs ou l'information requise par la mesure (par exemple, le type d'entité). L'avantage du format HTML est la possibilité d'être transposable au format Word afin d'y ajouter des informations supplémentaires. Néanmoins, l'automatisation réalisée concerne principalement les mesures de cohérence logique et d'exhaustivité. En effet, la complexité d'une évaluation thématique ou géométrique et l'étape manuelle incontournable laissent difficilement entrevoir la possibilité d'une méthode complètement automatisée actuellement.

4. Application de la méthodologie aux données expérimentales

La méthodologie mise en place a été appliquée aux deux cas d'étude présentés dans la section 2.

4.1. Application aux données du projet ALMIRA

Des données d'occupation du sol avaient déjà été livrées avant la prise en main du projet, tandis que d'autres ont été livrées au cours du Projet de Fin d'Etudes. Une première analyse de l'ensemble de ces données a révélé des incohérences entre les trois bassins versants ainsi qu'au sein même de chaque bassin versant. Par conséquent, des opérations précédant l'évaluation de la base de données ont été effectuées :

- Mise à jour de l'inventaire des données disponibles ;
- Mise par écrit des spécifications pour les couches d'occupation du sol dans un document unique ;
- Concertations pour la définition d'une nomenclature de cartographie de l'occupation du sol commune aux trois bassins versants, tenant compte des spécificités des paysages de chacun d'eux.

A l'issue de ces opérations, les données d'occupation du sol ont été évaluées. Les critères de cohérence logique et d'exhaustivité cohérents avec le projet ALMIRA ont été retenus. La précision géométrique a été déterminée sur une base de 20 points minimum répartis régulièrement sur la couche, ce qui a permis de calculer l'erreur moyenne quadratique sur la position des données vecteur. La précision thématique a été évaluée sur la base d'un échantillonnage aléatoire stratifié.

Pour chacune des couches un rapport a été généré, faisant état des lieux des défaillances que présentaient les données.

4.2. Application aux données de l'Atlas Urbain

Contrairement au projet ALMIRA, l'Atlas Urbain a des spécifications bien définies (concernant la nomenclature, les règles topologiques, le format, etc...). Les contrôles de qualité à réaliser ont donc été sélectionnés en fonction de ces spécifications. Quant à l'évaluation de la précision thématique, ces données ont été l'occasion de mettre en œuvre différentes méthodes d'échantillonnage. Trois plans d'échantillonnages sur la base de points ont été réalisés sur l'agglomération de Paris : un échantillonnage aléatoire stratifié, un échantillonnage systématique stratifié et un échantillonnage stratifié comportant à la fois une part aléatoire et systématique. Les trois méthodes donnent des résultats comparables. Grâce à une analyse de l'intervalle de confiance sur la précision globale, un échantillonnage systématique stratifié s'est avéré plus approprié du fait de sa traçabilité totale, dans la mesure où l'occupation du sol ne comporte pas de caractère cyclique.

5. Conclusions et perspectives

Ce projet a permis d'utiliser de façon opérationnelle les spécifications INSPIRE sur la qualité des données. L'élaboration d'une méthodologie a néanmoins montré d'une part qu'il est nécessaire d'enrichir les critères afin d'obtenir la procédure la plus complète possible ; d'autre part que l'évaluation de certains critères peut s'avérer très complexe.

L'automatisation de certaines tâches a permis de réduire le temps consacré à l'évaluation de la qualité. L'évaluation de la précision thématique reste cependant l'étape la plus longue. Une automatisation semble actuellement difficilement envisageable au vu de la complexité des méthodes d'échantillonnages probabilistes employées (comme l'ont montré les études réalisées sur les données de l'Atlas Urbain) mais reste une piste à explorer.

L'application de la méthodologie aux données du projet ALMIRA, en plus d'avoir servi à détecter des problèmes d'hétérogénéité, a permis de détecter les failles des données d'occupation du sol et ainsi de se rapprocher de la finalité, c'est-à-dire l'obtention d'une base de données complète et conforme.

Développement d'une approche automatisée pour rectifier verticalement des photos obliques et pour déterminer la présence de glace sur l'océan à proximité d'infrastructures maritimes.

PFE présenté par :

Romain Latapie

Société d'accueil :

Institut National de la Recherche Scientifique (INRS)

Directrice de PFE :

Mme Monique Bernier

Correcteur :

M. Pierre Grussenmeyer



1. Introduction

Le Nunavik, anciennement appelé Nouveau-Québec, est le territoire de la province de Québec situé à une latitude supérieure à 55°. Il est composé de quatorze villages côtiers regroupant 11000 personnes, majoritairement Inuits, sur une superficie de 507000 kilomètres carrés. Les infrastructures maritimes des quatorze villages du Nunavik ont été financées par le gouvernement fédéral du Canada et le gouvernement provincial de Québec, le coût de l'entretien de ces dernières est pris en charge en totalité par le Ministère des Transports du Québec (MTQ). Ainsi, afin de gérer de manière efficiente les coûts liés à la maintenance, il est nécessaire de bien connaître le climat et l'importance des changements climatiques sur la région considérée.

De 2009 à 2012, une première étude a été effectuée par l'INRS pour caractériser le comportement des glaces au voisinage des ouvrages côtiers des villages d'Umiujaq, de Kuujuaq et de Quaqaq et pour valider certains aspects d'un modèle de prévision des glaces développé par l'Institut des Sciences de la Mer à Rimouski (ISMER) à une résolution de 10km.

Cependant, la vulnérabilité des infrastructures considérées à travers cette étude n'a pas pu être quantifiée avec précision, une nouvelle étude a alors été lancée dont l'objectif principal est d'affiner le modèle des prévisions des glaces de l'ISMER à une résolution de 400m. Pour valider ce modèle, des concentrations de glaces à proximité des infrastructures maritimes sont requises avec une fréquence et une récurrence les plus élevées possible. Une des sources de données utilisée est une série de photos horaires acquises avec des caméras terrestres (déjà installées pour les villages de Quaqaq et Umiujaq et à installer pour quatre autres sites : Kuujuaaraapik, Ivujivik, Aupaluk, Baie Déception). Les photos déjà acquises et celles à acquérir doivent être redressées, géoréférencées puis chaque pixel doit être identifié comme étant un pixel de glace ou non. Le projet de fin d'études vise donc le développement et l'automatisation de cette approche afin de pouvoir obtenir les concentrations de glace précises.

2. Données à disposition

Dans le cadre du premier projet de recherche, deux caméras ont été installées par village, elles sont de deux types différents (Reconyx et Harbortronics). Le choix s'est effectué en fonction des critères suivants : le prix, la gamme de températures auxquelles les caméras doivent et peuvent faire face, les possibilités d'alimentation et la présence d'un intervallo-mètre. Lors de l'achat, le redressement des photos n'avait pas été envisagé (interprétation visuelle seulement) et donc aucun critère photogrammétrique n'avait été mis en place. Toutefois, les deux modèles utilisés sont différents l'un de l'autre afin de maximiser les chances que l'un des deux modèles au moins fonctionne lors des températures extrêmes. Les deux caméras ont été programmées de telle sorte à acquérir des photos toutes les heures de 6h à 18h pendant toute l'année.

Pour utiliser les photos afin d'en tirer des données quantitatives de concentration de glace, on doit effectuer le redressement et le géoréférencement des photos. Pour définir les points d'appui à utiliser, nous avons utilisé les orthophotos et les données issues de levés LiDAR aériens pour générer les modèles numériques de terrain. Ces levés avaient été mandatés par le Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune (MRNF) du Québec pour l'ensemble des villages du Nunavik, les levés datent respectivement pour Umiujaq et Quaqaq du 22 août 2010 et du 28 août 2010. L'étendue des

zones de levés est inférieure pour les deux villages à l'étendue couverte par les photos, et ainsi des données ouvertes provenant de la société DigitalGlobe (via Google Earth) ont été utilisées. Ces données sont disponibles à une résolution inférieure au mètre et n'ont été utilisées qu'en dernier recours, pour localiser des points pour le redressement situés proches de l'horizon.

2. Défis à relever

- Défis liés à la classification glace/non glace

La classification glace/non glace n'est pas une manipulation aisée compte tenu des données à disposition. Les capteurs photographiques à notre disposition sont des capteurs comprenant seulement trois bandes (obtenues par filtrage) : rouge (R), vert (V) et bleu (B). La présence d'autres bandes spectrales n'appartenant pas au spectre visible (infrarouge par exemple) aurait permis une identification plus aisée des pixels de glace.

La luminosité variable est un autre problème auquel il faut faire face. Suivant l'heure de la journée, et le moment de l'année à l'étude, la luminosité peut être très différente pour un même site, la réponse spectrale en est donc affectée. Les conditions météorologiques, qui sont souvent liées avec la luminosité, constituent également une contrainte non négligeable. Une journée ensoleillée n'aura pas le même effet qu'une journée nuageuse sur la réponse spectrale. La présence de nuages peut être génératrice d'ombres portées et donc devenir source d'erreurs, de même que les réflexions du soleil sur l'eau ont des caractéristiques spectrales similaires à la glace.

Aussi, en raison des difficultés précédentes et du fait que le volume de photos à traiter est important, le type de classification à mettre en œuvre ne peut pas être entièrement supervisé, c'est-à-dire que les zones de glace et d'eau ne peuvent être détectées systématiquement à partir d'échantillons préalablement définis par l'utilisateur, le processus de classification s'en trouve alors complexifié.

- Défis liés à la rectification verticale des photographies

En raison de la présence de vent, la caméra n'est pas tout à fait immobile, quelques pixels d'écart peuvent être observés d'une photo à l'autre. Aussi, afin de contourner cette difficulté, une étape de recalage de l'ensemble des photos par rapport à la photo de référence est effectuée ; le redressement peut alors s'effectuer sur la photo de référence uniquement, les autres photos sont ensuite redressées en utilisant les mêmes paramètres de redressement.

Concernant le redressement de la photo de référence, les données fixées sont les coordonnées planimétriques du centre de perspective de la caméra. Les paramètres à déterminer sont les suivants : les éléments de rotation de la caméra, le champ de vision horizontal (hfov) de la caméra et l'altitude de la caméra. Pour chaque paramètre à calculer, une estimation de la valeur et de la précision associée doit être établie a priori. Compte tenu du fait que les caméras sont actuellement sur le terrain et n'ont pas été calibrées avant installation, la valeur précise du hfov n'est pas connue. De la même manière, l'altitude de la caméra n'a pas été déterminée lors de l'implantation et doit être évaluée en fonction des photos à disposition et du modèle numérique de terrain. L'azimut de la direction de visée des caméras n'a pas non plus été évalué. Tous ces paramètres à approximer ont des répercussions dans l'algorithme de redressement, celui-ci est moins robuste, la convergence du calcul vers une solution unique est réduite. Concernant les points d'appui à utiliser pour effectuer le redressement, ces derniers sont difficilement repérables. En effet, la prise de vue des photos étant oblique et les données à disposition étant verticales, il est difficile de pouvoir définir précisément la correspondance entre les points visibles sur les photos et les points d'appui issus des orthophotos.

Pour réaliser la stabilisation des photos entre elles, des régions homologues définies au mieux pour être repérables automatiquement d'une photo à l'autre ont été créées. Cependant, en raison des difficultés déjà citées (luminosité, conditions climatiques), toutes les régions mises en place ne peuvent pas être repérées sur chaque photo, la stabilisation n'est donc pas parfaitement homogène d'une photo à l'autre.

3. Méthode mise en place

- Nettoyage des données brutes

Le nettoyage des données brutes est une étape cruciale car elle permet de ne sélectionner que les photos susceptibles d'être classifiées et redressées. Pour effectuer cette manipulation, plusieurs étapes sont à considérer.

La première consiste à éliminer les photos qui ont été acquises avec le capteur de nuit (si la caméra utilisée est de type Reconyx). Cette caractéristique est déterminée par l'égalité des valeurs des trois bandes spectrales.

Une détection de contour est ensuite effectuée sur toute la photo. Cette détection de contour va permettre d'isoler la majorité des photos acquises lors des jours de brouillard, givre, ou toute autre condition obstruant le capteur de l'appareil : une photo acquise lors d'un jour de brouillard n'aura qu'un nombre restreint de pixels classés en contour tandis qu'une photo de jour ensoleillé contiendra davantage de pixels classés en contour.

- Rectification verticale des photographies :
 - ✓ Redressement et géoréférencement de la photo de référence

La réalisation de cette partie a pu être effectuée à l'aide de la toolbox Matlab permettant de rectifier des photos obliques développée par Daniel Bourgault de l'Université du Québec à Rimouski. L'algorithme `g_rect` utilisé est une technique de photogrammétrie dérivée du relèvement spatial d'une photographie. Dans le script écrit par Daniel Bourgault et basé sur la technique de Rich Pawlowicz, seulement cinq inconnues sont à déterminer, le nombre de points nécessaires est toujours égal à 3 mais l'avantage de cette technique est la redondance d'information, nécessaire à la réalisation d'une compensation par les moindres carrés.

Afin de faciliter le guidage de l'utilisateur dans la manipulation de la fonction `g_rect`, un fichier de paramètres doit être complété comprenant des renseignements tels que les coordonnées du centre de perspective de la caméra ou encore les coordonnées photos et terrestres des points d'appui.

Le calcul est ensuite lancé et il en résulte en sortie deux matrices LON et LAT de dimensions égales aux dimensions de la photographie, correspondant aux longitudes et latitudes de chaque pixel de la photo. L'algorithme tient compte de la ligne d'horizon et n'affecte aucune valeur aux pixels situés au-dessus de cette ligne.

Une erreur moyenne quadratique est aussi calculée permettant d'estimer la qualité du redressement. La figure 1 met en évidence un redressement de photo, la photo de gauche est la photo de référence, l'image de droite est la photo redressée.



Figure 1 – Photo de référence avec points d'appui et photo redressée

- ✓ Stabilisation de l'ensemble des photos par rapport à la photo de référence

Cette étape est réalisée pour corriger les petits mouvements de la caméra, dus principalement à l'effet du vent. Pour cela, nous définissons des sections (appelées sections homologues) sur la photo de référence que l'on tente de retrouver sur le reste des photos à redresser par un algorithme de corrélation. Une transformation permettant de recaler la photo considérée par rapport à la photo de référence est ensuite calculée. L'image peut alors être recalée.

Afin de faciliter l'utilisation du programme, deux fichiers sont à créer : un fichier de paramètres et un fichier de points. Le fichier de paramètres contient les informations relatives au chemin d'accès permettant d'accéder aux photos, le type de caméra utilisé, le nom du fichier de résultats à créer, etc. Le fichier de points comporte les coordonnées des centres des sections homologues et les dimensions de ces sections (longueur et largeur).

Plus en détail en considérant une photo à recaler, l'algorithme mis en place comporte les étapes suivantes :

- Importation et amélioration du contraste de la photo de référence.
- Définition des sections homologues.
- Importation et amélioration du contraste de la photo à stabiliser.
- Détection des sections homologues par corrélation automatique.
- Calcul d'une ou plusieurs transformations suivant le nombre de sections détectées.
- Choix de la transformation qui permet d'obtenir les meilleurs résultats.
- Recalage de la photo avec la transformation retenue.

- Écriture des résultats obtenus dans un fichier *.txt.

Les photos stabilisées sont alors ensuite géoréférencées à l'aide des matrices LON et LAT préalablement calculées.

- Classification de chaque photographie

Une fois la stabilisation des photos réalisée, il convient d'effectuer la classification de chaque pixel. Tout d'abord, un masque est créé sur la photo permettant de ne considérer que les pixels sur l'océan. Le masque est créé de manière assez grossière de façon à ce que les perturbations liées aux vagues/lettres se formant à proximité des infrastructures ne soient pas prises en compte.

La seconde étape consiste à un changement de système de couleur, passant du système RVB (Rouge-Vert-Bleu) au système TSV (Teinte-Saturation-Valeur). Cette conversion permet de souligner davantage certaines propriétés des images. Notamment, le canal valeur permet d'augmenter le contraste entre les régions de glaces et les étendues d'eau. Il permet aussi de diminuer un peu les effets des ombres sur la surface considérée et de détecter les réflexions du soleil.

Ensuite, une image contenant les canaux : Rouge-Vert-Bleu-Valeur est créée et une classification hiérarchique des valeurs est effectuée à l'aide de l'algorithme de Ward. Cet algorithme permet de minimiser la variance intra classe et de maximiser la variance inter classe. Après analyse des valeurs des centroïdes des classes, la majorité des photos ne comprenant que de la glace ou que de l'eau est repérée. Pour les photos restantes, une classification par l'algorithme des Kmeans est effectuée en utilisant les centroïdes préalablement calculés comme centres initiaux. Les images classifiées sont ensuite comparées avec la photo brute afin de choisir la meilleure classification. Sur la figure 2, on peut observer une interface graphique de la validation de la classification : les valeurs noires des pixels correspondent au masque appliqué, les pixels blancs correspondent au couvert de glace solide, les pixels gris clair au couvert de glace en formation et les pixels gris foncé correspondent à l'eau.

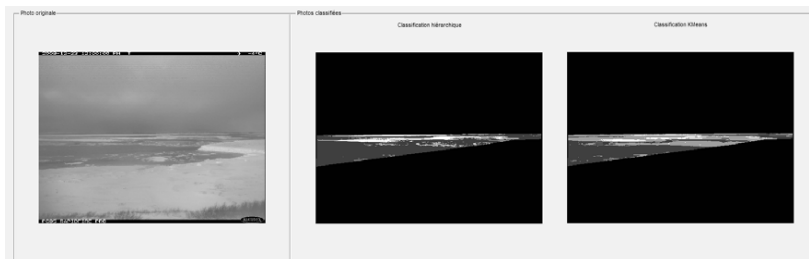


Figure 2 – Interface graphique de validation de la classification (photo brute, classification Ward et classification Kmeans)

4. Conclusion et perspectives

L'objectif principal de ce projet est la rectification verticale de photos et l'identification de pixels de glace sur ces dernières afin de valider un modèle de prévision de glace développé par l'ISMER. Nous avons pu nous rendre compte que de nombreux défis surviennent dans la réalisation de ces travaux, quelques-uns peuvent être surmontés mais d'autres restent encore difficilement contournables (notamment en ce qui concerne les différences de luminosité).

Aussi, certaines améliorations pourraient être apportées tant au niveau de l'installation des caméras qu'au niveau de l'exploitation des données.

Concernant l'installation des caméras, la détermination précise ou l'estimation des paramètres internes et externes de la caméra permettrait de faciliter le calcul de redressement de la photo de référence. Le champ de vision des caméras actuellement installées pourrait être aussi corrigé afin de contenir moins de ciel et ainsi plus de points d'appui pourraient être repérés à proximité de la caméra. Si possible, il faudrait installer des repères fixes au pied de la caméra avec un bon contraste, pouvant être visibles le plus longtemps possible au cours de l'année, ces repères pourraient faciliter le recalage. Ces recommandations seront prises en compte pour l'installation des nouvelles caméras.

Pour l'exploitation des données, un contrôle plus approfondi des valeurs des pics de corrélation pourrait sans doute améliorer et faciliter l'étape de recalage des photos. Aussi une étude plus approfondie du canal Saturation permettrait sûrement de détecter les ombres présentes sur les photos.

Mise en œuvre d'une méthode de monoplottting dans 3DReshaper



PFE présenté par : Catherine BATTAGLIA
Société d'accueil : Technodigit
Directeur de PFE : Gilles MONNIER
Correcteurs : Pierre GRUSSENMEYER
Emmanuel ALBY



1. Introduction

L'émergence de nouvelles technologies d'acquisition d'images, comme le drone, le développement d'appareils photo et de capteurs GNSS plus perfectionnés, a provoqué un regain d'intérêt majeur pour la photogrammétrie. Cette technique utilise en effet des images pour définir des coordonnées spatiales. Technodigit, la société développant le logiciel 3DReshaper Application, s'est donc intéressée à l'intégration des images au sein du logiciel, afin de s'adapter à la transformation du marché et aux nouveaux procédés utilisés. Un précédent PFE résultait en l'ajout des objets « images » dans le logiciel et la capacité à calibrer un appareil photo (T. LARGILLIER, 2014).

Néanmoins, le logiciel 3DReshaper Application est à l'origine un outil puissant de traitement de nuage de points et de maillage 3D. Or, le monoplottting est une technique qui, à partir d'un point 2D défini sur une image et un objet 3D (un maillage ou un nuage de points), déduit les coordonnées 3D du point souhaité. Il est donc apparu comme une solution permettant d'allier une des forces du logiciel tout en intégrant les images.

Une étude préalable avait évalué la possibilité d'automatiser le processus de monoplottting, mais ceci demeurera une piste de développement future. La présente étude s'intéresse à l'introduction du monoplottting au sein du logiciel, tout en veillant à le rendre accessible à tous.

2. Définition du monoplottting

Le monoplottting est un procédé qui permet grâce à la combinaison d'un point défini sur une image et d'un objet 3D de définir les coordonnées 3D de ce point. On réalise l'interpolation entre la droite de visée définie par la position de l'appareil photo et le point de l'image, ainsi que l'objet 3D. Or, les possibilités d'interpolation sont nombreuses, et amènent donc des solutions multiples afin de résoudre l'inconnue z (par rapport au repère local de l'image, x et y étant obtenus grâce à l'image orientée dans l'espace).

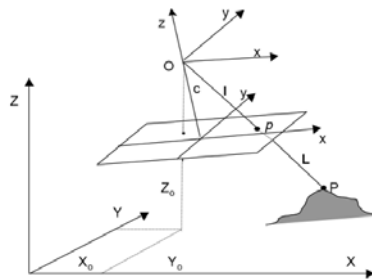


Figure 1 Principe du monoplottting : obtenir le point P (Jauregui, 1998)

3. Travaux préparatoires

Avant l'introduction de la commande de monoplottting, un ajustement de la définition des images dans 3DReshaper Application a été nécessaire.

Tout d'abord, aux deux types d'images utilisables pour le monoplottting, l'image sphérique et l'image perspective, a été ajouté un troisième type : l'orthoimage.



Figure 2 Types d'image disponibles, de gauche à droite : perspective, orthoimage, sphérique

Ainsi, le logiciel permet d'utiliser un nombre varié de formats d'images : les formats classiques (.tif, .jpeg, etc.) ainsi que les formats landxml et e57 (ce dernier pouvant contenir des images sphériques).

Les fichiers annexes de métadonnées .excam et .incam, contenant respectivement les informations de position et orientation externes de l'image, et les informations de calibration de l'appareil photo, ont également été revus afin de stocker correctement toutes les informations nécessaires au monoplotting.

L'affichage des images a lui aussi été sujet à une remise à jour : les axes x' et y' sont désormais visibles sur les images, selon le standard utilisé en photogrammétrie. Deux fonctions de visualisation ont été adaptées aux images :

- ZoomOn permet à l'utilisateur de se placer au point de vue de la caméra,
- StaticZoom lui permet de zoomer sur l'image, sans changer la position de la caméra.

L'ajout de la transparence à l'image permet de visualiser les objets se situant derrière l'image, ce qui sera utile lors du monoplotting afin de définir les zones où il est possible d'interpoler un point 3D.

Enfin, il est possible de gérer la taille d'affichage des images. En effet, si les images sont introduites dans le logiciel à la dimension de leur capteur (de l'ordre de quelques millimètres), il ne résultera qu'un point comparé à un maillage s'étendant sur plusieurs dizaines de mètres. Ainsi, il est possible de grossir les images, sans modifier leurs paramètres, afin d'améliorer la lisibilité de la scène. On notera que la commande de monoplotting, à son lancement, effectue également une mise à l'échelle pour s'assurer une bonne visualisation de tous les éléments.

4. Méthodes utilisées et options retenues

4.1. Méthodes

Deux méthodes de monoplotting ont été retenues pour l'usage dans le logiciel. En effet, selon l'objet avec lequel on accède à la commande, le traitement de définition du point 3D ne sera pas le même.

Ainsi, si l'on utilise un nuage de points pour réaliser le monoplotting, les coordonnées 3D seront définies par accrochage au plus proche voisin. Il n'y a pas de création de nouveau point spatial, cependant, l'accrochage ne peut se faire que dans une certaine tolérance autour de la droite de visée.

Au contraire, si l'on utilise un nuage de points, le monoplotting produira l'intersection entre la droite de visée et le maillage.

4.2. Options

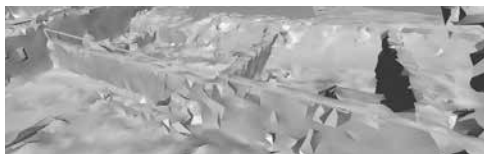


Figure 3 Même droite projetée ou non sur le maillage

Il n'y a pour l'instant qu'une seule option de dessin réalisée, disponible uniquement avec un maillage. Cette option permet de projeter ou non une ligne de l'image sur le maillage lors de la création de la ligne. Cette commande présente donc l'intérêt d'obtenir soit un segment entre deux points (et donc une distance

directe entre ces deux points), soit une polyligne déroulée sur la surface du maillage.

On notera cependant que dans ce second cas, la qualité de la polyligne résultante est directement dépendante de la qualité du maillage. Il faudra donc veiller préalablement à soigner la réalisation du maillage avant de lancer la commande de monoplotting.

5. Recherche d'ergonomie

Un important travail de recherche d'ergonomie a été réalisé lors de l'intégration de la commande de monoplotting au logiciel. En effet, cette commande est destinée à des professionnels, tels les archéologues, qui peuvent ne pas être habitués à l'utilisation d'un logiciel tel que 3DReshaper Application. Aussi, un soin particulier a été apporté au confort d'utilisation de

la commande pour la rendre instinctive et agréable. L'utilisateur est guidé au travers du fonctionnement, et son intervention est réduite au strict nécessaire.

5.1. Conditions d'accès à la commande

L'accès à la commande ne peut se faire avec n'importe quel objet de 3DReshaper Application. En effet, il faut avoir sélectionné au moins un nuage de points ou un maillage pour rendre le bouton actif. De plus, il est possible d'ajouter à la sélection une liste d'images que l'on souhaite utiliser dans la commande, mais seules les images avec les informations nécessaires de position, d'orientation et de paramètres internes seront disponibles à l'usage.

5.2. Cohérence avec 3DReshaper Application

Comme dans les autres commandes de 3DReshaper Application, l'utilisateur est averti lorsqu'il réalise une mauvaise opération. Il sera donc prévenu s'il ne peut cliquer à l'endroit où il l'a fait, ou si aucun résultat d'interpolation n'est disponible.

L'accrochage aux points existants s'effectue de la même façon, c'est-à-dire simplement en cliquant sur les objets existants. La proximité à l'objet est détectée, et la correction de coordonnées réalisée automatiquement. Cet accrochage sert aussi afin de clôturer une polyligne, lorsque l'on clique sur le premier point entré. On notera cependant l'ajout d'un nouveau raccourci clavier permettant de clore automatiquement la ligne tout en respectant les options de dessin choisies.

5.3. Processus de dessin

L'ajout de points et de polygones s'effectue de façon simple et rapide : un clic produira un point, un second clic créera une polyligne. Ainsi, l'utilisateur peut générer facilement les éléments qui l'intéressent à partir des images et de l'objet 3D, et obtenir l'élément sur le maillage, ainsi qu'une copie sur l'image. La copie permet de garder un historique de la création des points, permettant à l'utilisateur de retrouver rapidement quel clic a été générateur de tel point.

Le changement d'image lors de la création d'une polyligne n'altère en rien ce processus. Au contraire, il se relance naturellement sur la nouvelle image, tout en continuant la ligne courante sur le maillage. Il est donc possible de dessiner des objets dont les extrémités figurent sur deux images différentes sans interrompre le tracé.

6. Interface graphique

La création de l'interface graphique poursuit cette volonté d'ergonomie. En effet, au travers de l'affichage des éléments, l'utilisateur est guidé vers une bonne utilisation de la commande.

6.1. Vues multiples

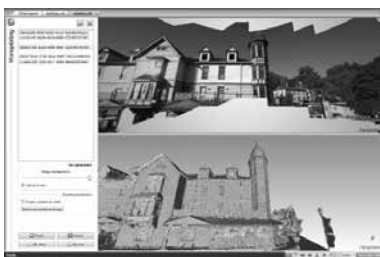


Figure 4 Synchronisation des vues

projection du point cliqué sur l'image en coordonnées 3D.

On notera également qu'en cas de difficulté à identifier les éléments du nuage ou du maillage, il est possible de modifier la transparence de l'image pour retrouver les superpositions.

Afin de se repérer au mieux entre les deux sources de données, image et objet 3D, l'écran de visualisation 3D a été séparé en deux parties. La première est focalisée sur l'image, placée au point de vue de l'appareil photo en position forcée. La seconde, quant à elle, s'intéresse à l'objet 3D. Il est possible de le manipuler sans aucune contrainte.

Une option permet de rendre ces deux vues synchronisées. Ainsi, la vue sur l'objet 3D se place dans les mêmes conditions que la vue sur l'image. Une modification sur une des deux vues sera immédiatement reportée sur l'autre. Cette option permet de contrôler directement le résultat de la

6.2. Gestion des images

Au sein de la commande, les images sont gérées grâce à une liste. L'utilisateur peut jongler facilement d'une image à l'autre en cliquant simplement sur son nom. La scène de l'image sera alors immédiatement déplacée au nouveau point de caméra correspondant à l'image sélectionnée. Les paramètres de la scène seront adaptés au type de l'image pour assurer la bonne réalisation du monoplottage.

Il est également possible d'ajouter de nouvelles images dans la liste, à l'aide d'un bouton de chargement. Comme lors de l'accès à la commande avec une sélection d'images, les images seront soumises à des tests afin de vérifier leur conformité à l'usage du monoplottage. Ainsi, ne seront importées que celles possédant toutes les informations nécessaires.

Enfin, il est possible de supprimer les images de la liste, afin d'éviter d'avoir trop d'éléments à gérer en même temps dans la liste, ou simplement éliminer les images importées n'ayant pas d'utilité.

6.3. Intégration des résultats

Les éléments de l'objet 3D résultant du monoplottage sont insérés dans l'arbre de gestion des éléments de l'application, sous forme de points et de polygones. Il est donc possible de les modifier ultérieurement pour les lisser ou améliorer le maillage, par exemple. Les éléments des images quant à eux servent uniquement à l'historique de création des éléments. Ils sont ajoutés directement à l'image et ne sont pas exploitables individuellement dans l'arbre, afin de ne pas le surcharger.

7. Analyse des résultats et précision

L'analyse de la précision des résultats obtenus sera réalisée par comparaison d'une stéréorestitution et de l'application de la commande de monoplottage sur une même zone, à partir des mêmes images. Elle n'a, à l'heure actuelle de l'étude, pas encore été réalisée, mais des premiers tests permettent d'estimer des écarts de l'ordre de 10 à 25 cm.

Il est à noter que la qualité des résultats est entachée des erreurs combinées issues du positionnement, de l'orientation et de la calibration de l'image d'une part, et des erreurs affectant le nuage de point et le maillage d'autre part. Pour un bon usage de la commande, il conviendra de veiller à la qualité du maillage utilisé. En effet, les points créés sont des projetés sur la surface du maillage du point de l'image. Ils sont donc directement dépendants.

8. Conclusion & Perspectives

L'outil développé dans 3DReshaper Application propose une solution de monoplottage accessible avec un nuage de points ou un maillage. Il est possible d'y créer des éléments géométriques simples : points et lignes, avec une option avancée de projection sur le maillage de la ligne. L'ergonomie de la commande a été particulièrement soignée pour la rendre instinctive et facile d'usage.

Cependant, l'outil peut encore être amélioré. En effet, en cas d'erreur, l'utilisateur verrait un intérêt réel à pouvoir éditer les éléments créés, c'est-à-dire de pouvoir déplacer un point, ou ajouter un sommet à une polygone. De plus, il existe une commande dans 3DReshaper permettant d'extraire les lignes caractéristiques d'un maillage. Son usage serait le bienvenu ici, afin de pouvoir simplement à partir de deux points, extraire des courbes caractéristiques de bâtiments.

Enfin, dans la poursuite de la recherche d'ergonomie, il serait intéressant de proposer à l'utilisateur à la sortie de la commande les fonctionnalités de 3DReshaper Application susceptibles d'être utilisées après le monoplottage, dans une sorte de chaîne de traitement. Ainsi, l'utilisateur peu habitué à ce type de logiciel serait guidé au travers des nombreuses possibilités offertes par 3DReshaper Application.

Suivi géomorphologique du chenal artificiel du Bauerngrundwasser par combinaison de méthodes d'imagerie terrestres et aériennes



PFE présenté par : **Étienne SUPPER**

Société d'accueil : **Laboratoire Image Ville Environnement**

Directeurs : **Laurent SCHMITT et David ESCHBACH**

Correcteur : **Pierre GRUSSENMEYER**



Introduction

L'île du Rohrschollen est une île artificielle classée réserve naturelle depuis 1997. Elle est située au sud de l'Eurométropole entre le canal du Rhin et le Vieux Rhin (Figure 1). Abritant une forêt alluviale, l'ancien massif du Neuhoef, l'île regorge d'une biodiversité rare en Europe. Malheureusement, les travaux d'ouvrages hydrauliques, notamment la digue, ont perturbé l'équilibre naturel de l'île.

L'intervention de la ville de Strasbourg et de l'Union européenne est essentielle pour restaurer le caractère alluvial du Rohrschollen, mais aussi et bien sûr, sa diversité faunistique et floristique.

Le projet consiste donc à recréer une dynamique hydraulique en creusant un chenal artificiel connectant le Rhin au bras principal de la réserve, le Bauerngrundwasser. Le chenal n'alimente pas seulement l'île de manière continue ($2 \text{ m}^3/\text{s}$), mais simule également des crues ($80 \text{ m}^3/\text{s}$) rythmées en fonction du débit du Rhin.

Le Laboratoire Image Ville Environnement (LIVE) est chargé du suivi du projet à plusieurs niveaux. Celui qui nous intéresse et qui a permis le partenariat avec l'INSA est le suivi hydrogéomorphologique du chenal artificiel. Notre objectif clé en tant que topographe est l'observation et l'estimation des évolutions topologiques du chenal crues après crues.

Afin de mieux comprendre les tenants de l'étude, la première partie aborde le concept de la géomorphologie fluviale. Ensuite, la deuxième partie parle de la mise en œuvre du suivi topographique sur le chenal. Avant de conclure, la dernière partie propose un aperçu des résultats de la comparaison diachronique de la morphologie du chenal.

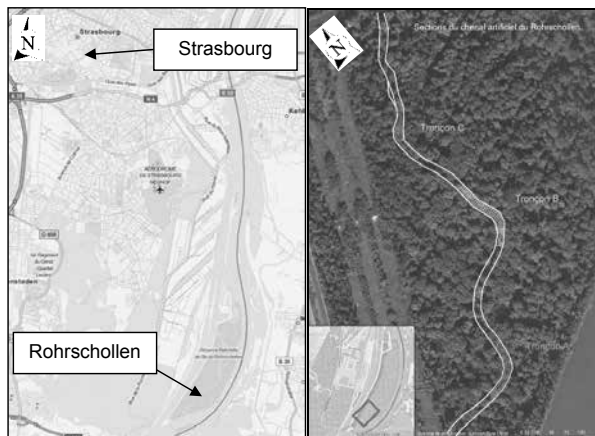


Figure 1 : Plan de situation du Rohrschollen (à gauche) et du chenal artificiel (à droite)

1. Géomorphologie fluviale

1.1 Définition de la géomorphologie



Figure 2 : Vallée fertile du Nil creusée au milieu du désert

La géomorphologie peut être définie simplement par « *la description et l'explication des formes du relief terrestre* » (Larousse@, 2015). Il existe de nombreux ouvrages qui parlent de la géomorphologie, de ses différents aspects et des études relatives. Et pour cause, la géomorphologie est une science à la fois très ancienne et fondamentale.

Dans l'Antiquité, certains savants comme Hérodote avaient compris l'importance des connaissances en géomorphologie telle que l'alluvionnement du Nil, cité comme « *un don du fleuve* » (Suanez, 2009) visible sur la Figure 2. Mais

l'application de la géomorphologie était plutôt descriptive, il fallut attendre le XX^e siècle pour voir apparaître des études plus poussées du processus géomorphologique.

1.2 Principe de la géomorphologie fluviale

Le façonnement du relief est fortement induit par l'eau : la pluie, les rivières et les fleuves. Cette composante de la géomorphologie est appelée géomorphologie fluviale ou hydrogéomorphologie. Elle emploie des méthodes et offre des perspectives qui ne cessent d'évoluer ces dernières décennies. Thorndycraft (2008) avait fait l'inventaire de ces avancées et répertorie un grand nombre de références sur le sujet.

Les causes d'évolution des formes du relief peuvent être : ou endogènes, liées à la géologie du lieu ou à la pédologie selon les cas, ou exogènes (unifr@, 2015). Dans le second cas, les facteurs externes sont de type « *naturel* » tel que le climat ou bien « *artificiel* », impactés directement par l'homme. Ces facteurs sont observables visuellement (Figure 3), mais une mesure quantitative doit venir compléter ces informations. Nombre de domaines se rapportent à la géomorphologie (Dewolf, 1998). La topographie en fait évidemment partie puisqu'elle est la science de la mesure.

Elle permet le calcul du bilan sédimentaire (*sediment budget* en anglais), un calcul comparatif des charges entrantes et sortantes d'un système clos comme le chenal du Rohrschollen. Le crédit (gain ou apport sédimentaire) s'oppose au débit (pertes) que subit le cours d'eau. Quantifier le transport alluvionnaire se fait à une échelle de temps donnée, le cadre spatio-temporel est indissociable du suivi des évolutions géomorphologiques (Bravard, 1998).

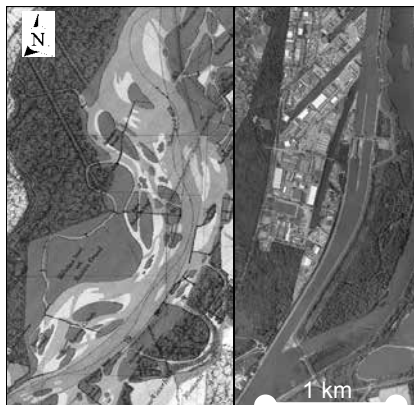


Figure 3 : Évolutions endogènes et exogènes du Rohrschollen entre 1838 et 2010

2. Suivi géomorphologique

Les levés topographiques pour le suivi géomorphologique du Rohrschollen ont commencé au début de l'année 2014, avant la mise en eau du chenal. Le suivi topographique devrait s'arrêter à la fin du mois d'août 2015. Les levés ont pour but d'acquérir les données suffisantes pour l'estimation de volumes sédimentaires érodés et déposés.

2.1 Chronologie de l'étude

Le chenal long d'environ 900 mètres est trop vaste pour être modélisé dans son ensemble en utilisant uniquement la photogrammétrie terrestre ou un scanner laser. C'est pourquoi les levés topographiques du chenal artificiel se concentrent principalement sur trois zones d'études, nommées tronçons A, B et C.

Le Tableau 1 reprend l'organisation des levés topographiques. Quatre périodes se détachent du tableau, délimitées par trois inondations au débit et à la durée variables. Les lâchés d'eau sur le chenal sont progressifs. Le débit monte graduellement sur plusieurs heures jusqu'à atteindre le pic de crue. Après un certain temps, le débit est réduit pour finalement retrouver le *statu quo*.

Tableau 1 : Récapitulatif de l'ensemble des campagnes de levés et des crues artificielles

Méthodologie \ Date	févr-14	juin-14	juil-14	oct-14	déc-14	févr-15	mars-15	mai-15	juin-15
Lasergrammétrie	A - B						C		
Photogrammétrie		35 m ³ /s (1h)	A - B		75 m ³ /s (1h)	A - B		65 m ³ /s (2h)	A - B - C
Tachéométrie	Transroute								60 m ² /s (48h)

2.2 Méthodes de suivi

Trois méthodes de suivi géomorphologique sont employées dans ce projet : le levé conventionnel par tachéométrie, la lasergrammétrie et la photogrammétrie.

Les méthodes conventionnelles de levé topographique accompagnent quasiment chaque campagne de levés photogrammétrique et lasergrammétrique. L'objectif principal est de géoréférencer les données photographiques et lasers. Le second intérêt est de fournir une topographie complète du chenal sous forme de profils en travers et de modèles numériques de terrain.

La lasergrammétrie est la première méthode développée sur le chenal pour le suivi géomorphologique. Elle permet de définir un modèle numérique 3D de référence du chenal artificiel grâce à la précision du scanner Faro Focus3D (précision relative centimétrique).

La photogrammétrie a été retenue pour le suivi géomorphologique du chenal à long terme. Trois périodes de mesures se succèdent, de juillet 2014 à juin 2015. Cette méthode a l'avantage d'être à la fois peu onéreuse par rapport au scanner laser et très rapide à l'acquisition. Il a fallu 2 heures de terrain à deux pour prendre les clichés des trois tronçons tout en sachant que l'accès est difficile au printemps à cause de la végétation. Comme attendu, la précision des nuages « *photo* » est supérieure à celle du nuage « *laser* » de l'ordre de 4 à 9 centimètres. Pour autant la précision reste satisfaisante.

3. Analyse diachronique

L'analyse diachronique est une analyse dans le temps. Nous comparons les évolutions géomorphologiques du chenal artificiel au fil des crues de l'année passée. L'étude différentielle est divisée en deux composantes, la première visuelle et la seconde quantitative.

3.1 Comparaison nuage-nuage

La comparaison nuage-nuage apporte une information visuelle des écarts entre deux nuages de points selon une échelle prédéfinie. Ces données sont obtenues sur le logiciel « *Open Source* »

CloudCompare. Il permet de calculer la distance *M3C2* entre deux trames de points d'une scène complexe comme les berges d'une rivière (Lague et al., 2013). Parmi les différents algorithmes de calcul de la distance nuage-nuage, *M3C2* cherche la direction la plus pertinente pour évaluer la distance. La direction est définie pour chaque point suivant la normale à la surface formée par les points voisins. Le rayon de recherche des points voisins va influencer sur la direction de la normale et donc sur le rendu final. Le rayon doit être choisi en fonction de la densité du nuage de point ou bien en fonction de l'échelle à laquelle l'étude est faite. Empiriquement, un rayon de 30 à 40 centimètres semble correct pour observer les évolutions latérales allant jusqu'à plus de 2 mètres en 1 an. Le modèle d'érosion ainsi créé est très riche en explications pour les géomorphologues, mais est incomplet sans un bilan sédimentaire des dépôts et érosions du chenal.

3.2 Bilan sédimentaire

Le bilan sédimentaire est le récapitulatif des volumes sédimentaires érodés et déposés dans un système tel que le chenal lui-même découpé en sections de 20 mètres. Les mêmes nuages de points utilisés pour la création de modèles d'érosion sont intégrés à un script *Matlab*. Le script a été écrit spécialement pour ce projet et calcule le volume (positif et négatif) compris entre les nuages de points. Le résultat est le graphique de la Figure 4 où est montrée la somme des érosions et des dépôts sur l'ensemble du chenal.

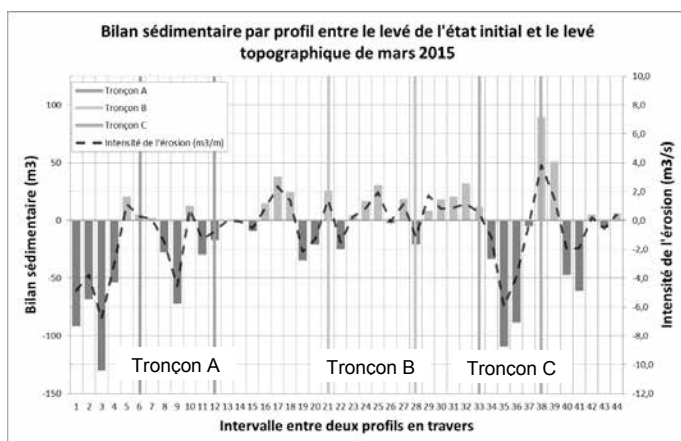


Figure 4 : Graphique du bilan sédimentaire global du chenal par section de 20 mètres, en négatif l'érosion, en positif les dépôts

Conclusion

La géomorphologie, et *a fortiori* l'hydrogéomorphologie, ne font pas partie du domaine de compétence du topographe. Néanmoins, celui-ci apporte une connaissance essentielle au domaine de la géomorphologie pour l'étude et la compréhension des évolutions diachroniques de la Terre. Au travers de méthodes conventionnelles (GNSS, tachéomètre) ou de techniques plus fines (lasergrammétrie, photogrammétrie), il est possible de modéliser le chenal artificiel du Rohrschollen en 3D sous forme de nuages de points à différentes périodes. Les modèles sont ensuite comparés pour en tirer les changements topologiques induits par les crues. La métamorphose du cours d'eau est observable sur les modèles d'érosion et quantifiable grâce aux bilans sédimentaires.

Les premières interprétations des résultats du projet de fin d'études amènent à se poser de nouvelles questions qui poussent à aller encore plus loin dans l'utilisation des bilans sédimentaires dans les perspectives d'un accomplissement de la défense de la réserve. La restauration de l'île du Rohrschollen est un projet phare. Si le bilan de ce test grandeur nature est positif et que l'Europe valide la fin du projet, il pourra servir d'exemple pour la sauvegarde de la biodiversité des milieux à caractère alluviaux menacés par les ouvrages hydrauliques.

Suivi de l'enneigement saisonnier sur un site de haute altitude par balayage laser terrestre

PFE présenté par : **Aymeric RICHARD**

Sociétés d'accueil : *Météo France (Centre d'Etude de la Neige) - IRSTEA*

Directeur de PFE : *M. Vincent VIONNET (Météo France)*

Correctrice : *Mme Tania LANDES*



1. Introduction

Météo France est un établissement public dont l'une des missions est la prévision du risque d'avalanche (PRA) dans les Alpes, les Pyrénées et la Corse. Des recherches et développements sont ainsi effectués au sein d'un de ses laboratoires de recherche : le Centre d'Etudes de la Neige (CEN) afin de faciliter et d'améliorer la PRA. Ce projet de Fin d'Etudes (PFE) a été réalisé au CEN, au sein de l'équipe Météorologie de Montagne et Avalanches qui a la responsabilité de différentes actions : l'étude de la météorologie et des climats de montagne – l'amélioration de la connaissance du phénomène avalanche – la télédétection du manteau neigeux – le transport de neige par le vent.

En zone de montagne, la distribution spatiale de la hauteur de neige varie fortement en fonction de l'altitude, de l'orientation des pentes et de leur exposition au vent. A l'échelle locale, le transport de neige par le vent est l'un des phénomènes gouvernant la variabilité spatiale de la hauteur de neige avec des conséquences sur l'évolution du risque d'avalanche. Afin de mieux comprendre ce phénomène et ses effets sur la stabilité du manteau neigeux, le CEN exploite conjointement avec IRSTEA le site expérimental du Col du Lac Blanc (2720 m d'altitude) situé près de la station de ski de l'Alpe d'Huez. Depuis l'hiver 2010-2011, un scanner laser terrestre (SLT) est employé autour du site expérimental, afin de suivre l'évolution saisonnière de la hauteur de neige. Ces mesures visent à améliorer la compréhension de l'influence de la topographie locale sur la redistribution de la neige à l'échelle intra- et inter-annuelle et de disposer de données d'évaluation pour les modèles numériques à petite échelle, conçus pour simuler le transport de neige par le vent.

Ce PFE s'inscrit dans ce programme de recherche. Ces principaux objectifs étaient de :

- constituer une base de données de hauteurs de neige mesurées par laser terrestre au Col du Lac Blanc au cours des hivers 2010-2011 à 2014-2015
- systématiser les méthodes actuelles de traitement des nuages de points obtenus par laser terrestre afin de produire des modèles numériques de terrain (MNT) de la surface enneigée, puis des cartes de hauteur de neige dans un format standardisé
- évaluer la précision des données collectées avec le SLT et des cartes de hauteurs de neige
- explorer le potentiel des nuages de points obtenus par laser terrestre pour caractériser la rugosité de surface du manteau neigeux.

Ce PFE a également permis d'explorer des perspectives d'avenir pour l'obtention de hauteurs de neige sur le site expérimental, comme l'utilisation d'un drone. L'apport du SLT a aussi été testé pour le suivi de l'enneigement sur une piste de ski, dans le but d'étudier l'impact des skieurs mais aussi d'évaluer le modèle numérique de simulation de la neige en station de ski Crocus-Resort.

2. L'acquisition des données

La zone d'étude est située dans le massif des Grandes Rousses, en Isère, à proximité de la station de ski de l'Alpe d'Huez. Elle est positionnée entre 2 hauts sommets : le Pic du Lac Blanc (3323 m) et le Dôme des Petites Rousses (2810 m). Cette topographie particulière fait de ce lieu une soufflerie naturelle idéale pour l'étude du transport de la neige par le vent (90 % des vents observés proviennent du Nord ou du Sud).

Les acquisitions des données à l'aide du SLT sont réalisées depuis une seule station. Cette position (Fig.1), qui a une vue plongeante sur la zone d'étude, permet à l'appareil d'acquérir des mesures sur une superficie d'environ 40 ha avec des portées allant jusqu'à 800 m. L'appareil utilisé est le scanner laser terrestre Ilris Optech-LR, notamment doté d'une longueur d'onde spécifique à la numérisation de surfaces enneigées (caractéristiques techniques principales Tableau 1).



Figure 1 : L'appareil en cours d'acquisition

Paramètres	Données constructeurs
Fréquence d'acquisition	10 kHz soit 10 000 pts/s
Portée maximale	1 330 m ($\rho \geq 10\%$) 3 000 m ($\rho \geq 80\%$)
Classe du laser	3R
Température de fonctionnement	-20° à +40°
Longueur d'onde	1 064 nm
Taille de l'empreinte laser	16 mm à 50 m 27 mm à 100 m
Champ de vision	40° * 40°
Résolution angulaire	20 μ rad
Précision sur la distance	7 mm à 100 m
Précision angulaire	80 μ rad

Tableau 1 : Caractéristiques techniques

Le scanner Ilris Optech-LR est déployé sur le site depuis l'hiver 2013-2014. Cet appareil dispose d'une fenêtre de travail de 40°*40°. 15 fenêtres sont ainsi créées sur la zone : 4 principales pour couvrir l'ensemble du site et 11 autres autour des cibles, pour permettre un géoréférencement du nuage de points final, de qualité.

Pour chaque fenêtre est spécifié un pas de balayage, par l'intermédiaire du pas angulaire horizontal et du pas angulaire vertical. Ce réglage est déterminant puisqu'il influence directement la densité de points et le temps de scannage. Compte tenu des choix réalisés par les opérateurs depuis l'hiver 2013-2014, de la pente du site (14° en moyenne) et des distance variables (entre 100 et 800 m), les nuages de points collectés présentent un espacement entre les points de 5 à 10 cm pour les parties à l'avant de la zone et de 50 cm pour les parties les plus éloignées. Au niveau des cibles, cet espacement entre les points est centimétrique.

En 2 saisons, 13 journées de scannage ont été réalisées, avec à chaque fois, environ 50 millions de points collectés.

3. Le traitement des données

L'utilisation du SLT permet d'acquérir des nuages de points tridimensionnels, dans un laps de temps très réduit, comparé aux méthodes topographiques conventionnelles. Elle nécessite cependant une méthode adaptée de traitement des données. Ainsi, une méthode permettant l'obtention de cartes de hauteur de neige dans un format standardisé a été réalisée dans le cadre de ce PFE. Elle est constituée d'une succession d'étapes de traitements présentées ci-dessous (Tab.2) en détaillant pour chaque étape : l'outil utilisé, les paramètres et calculs réalisés, le résultat obtenu et les paramètres influents sur la qualité du résultat.

Cette méthode a été utilisée pour traiter l'ensemble des données des hivers 2013-2014 et 2014-2015. Un exemple de carte de hauteurs de neige obtenue est présenté (Fig.2) ci-contre.

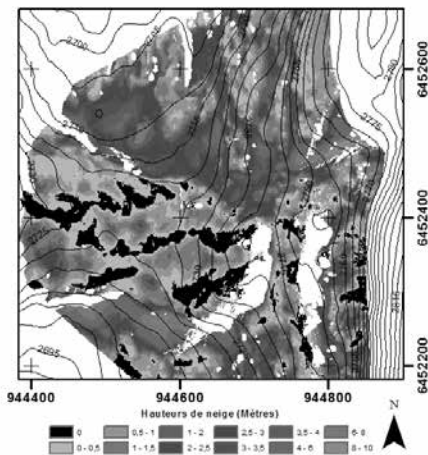


Figure 2 : Carte de hauteurs de neige sur le site d'étude - le 21 Avril 2015

Méthode de production systématique de cartes de hauteurs de neige à partir des fichiers bruts du scanner laser terrestre			
Outil	Paramètres / Calculs	Résultat	Estimation de la précision du résultat
Fichiers bruts du scanner laser terrestre			
Scanner laser terrestre Optech Ilris LR	1 fichier par fenêtre de scannage	Fichiers (.asc)	Liée aux erreurs instrumentales, à la surface enneigée scannée, à l'environnement, à la méthodologie employée sur le terrain
1. Conversion des fichiers			
Parser	-Correction de la distance -Réduction du bruit de mesure	Fichiers (.pf)	Liée à la détermination de la température de l'air, la pression, l'humidité
2. Consolidation (basée sur les nuages de points)			
Polyworks : IMAlign	-Projection sur une grille 2D des nuages de points -Alignement des nuages avec l'algorithme ICP	1 seul nuage de points référencé dans le système local du SLT	-Liée au bruit de mesure, au recouvrement entre les nuages, à la qualité de recherche des points homologues -Contrôle visuel de sa qualité avec l'outil Bestfit d'IMAlign
3. Géoréférencement			
Polyworks : IMSurvey	-Détermination du centre des cibles dans le nuage de points -Transformation du système de coordonnées	Nuage de points référencé dans le RGF93 en projection Lambert 93	-Liée à la détermination du centre des cibles, à la qualité des points d'appuis (cibles) -Contrôle de sa qualité avec le résidu de géoréférencement
4. Modèle tridimensionnel			
Polyworks : IMSurvey	Création d'un réseau irrégulier triangulé (TIN) avec une taille maximale de 50 cm pour les facettes	Maillage tridimensionnel	Inspection visuelle et contrôle du réseau
5. Calcul des différences			
Polyworks : IMSurvey	Calcul des hauteurs de neige selon l'axe vertical entre le nuage de points de la surface enneigée et le TIN du sol nu	Fichier de points (.txt) des différences	Liée à l'interpolation du point comparé sur le TIN
6. Cartes de hauteurs de neige			
ArcGis : ArcMap	Rastérisation avec une interpolation par pondération par l'inverse de la distance	Raster avec des grilles de 1 m ²	Liée à l'interpolation des altitudes pour la création des grilles

Tableau 2 : Présentation de la chaîne de traitements

4. La qualité des données

Un bilan des erreurs influençant les mesures de la surface enneigée réalisées au SLT, a été effectué dans l'état de l'art. Celles-ci sont répertoriées selon 4 catégories : les erreurs instrumentales, les erreurs liées à l'objet numérisé, les erreurs environnementales et les erreurs méthodologiques. Les erreurs liées à la méthodologie du traitement des données ont également été identifiées dans la description de la méthode réalisée.

Différentes comparaisons ont été réalisées de manière à estimer quantitativement la précision avec laquelle sont obtenues les données permettant la construction des cartes et les cartes de hauteurs de neige elles-mêmes :

- i) Tachéomètre - SLT : sur 2 parties (25 m² chacune) de la zone d'étude.
- ii) Sondages manuels de hauteur de neige - Carte de hauteurs de neige : sur une surface de 25 m² et représentative de l'ensemble de la zone (pente moyenne de 14°, à une distance de 400 m du SLT)
- iii) Transects de hauteurs de neige - Carte de Hauteurs de neige : sur une longueur de 50 m.
- iv) 2 capteurs de mesures automatiques de hauteurs de neige - Carte de hauteurs de neige : sur l'ensemble de la saison 2015.

Nous estimons donc, à l'issue de ces comparaisons, que nos cartes de hauteurs de neige sont précises à ± 5 cm.

5. L'influence des paramètres topographiques sur la distribution de la neige

L'étude de la variabilité spatiale et temporelle de la hauteur de neige est importante puisque celle-ci joue un rôle majeur dans un grand nombre de processus : le danger d'avalanche, l'érosion, la survie des plantes, la température et l'humidité des sols, et l'hydrologie des rivières. A partir des cartes de hauteurs de neige, nous avons analysé les relations entre les caractéristiques du terrain (pente, altitude, courbure, rayonnement solaire potentiel et exposition au vent selon les directions Nord et Sud) et les hauteurs de neige au cours de la saison 2015.

L'analyse des résultats sur notre zone d'étude montre que, pour l'hiver 2014/2015, le rayonnement potentiel solaire, la pente et l'altitude ne sont pas des facteurs influant sur la variabilité spatiale et temporelle de la hauteur de neige contrairement à l'exposition au vent du site selon la direction Nord et la courbure. En effet, ces résultats sont confirmés par l'analyse des vitesses et directions des vents, et des flux de neige transportée par le vent provenant à 90 % du Nord au cours de cette saison 2015.

6. L'étude de la rugosité de surface

La rugosité de surface est la variabilité d'une surface topographique à une échelle donnée. Les chercheurs du CEN étudient la rugosité de surface afin de déterminer son influence sur l'écoulement de l'air à proximité de la surface du manteau neigeux et donc sur l'érosion de la neige de surface. Cette rugosité évolue au cours de l'hiver en fonction des chutes de neige et des épisodes de transport de neige par le vent. Le but de cette étude était d'évaluer la possibilité de caractériser la rugosité de surface à partir des levés SLT. Pour cela, nous avons comparé les rugosités calculées à partir d'un levé SLT sur 2 zones de 100 m² environ et de rugosité différente avec les calculs issus d'un levé photogrammétrique, considéré comme la référence (puisque cette méthode permet de modéliser tridimensionnellement ces 2 zones sans masque).

La rugosité de surface a été caractérisée selon la méthode de Sappington et al. (2007). Elle permet de déterminer un indice de rugosité variant entre 0 (lisse) et 1 (très rugueux). Le calcul repose sur la détermination du vecteur normal à la surface en chaque point de grille.

La variabilité des trois composantes de ce vecteur dans un rayon de recherche donné permet de caractériser la rugosité de la surface. Les résultats obtenus (Fig.3) sont très encourageants puisque les comparaisons montrent que même si les zones lisses sont difficilement décelables à partir du levé au SLT (entre 20 et 40 % de moins que pour le levé photogrammétrique), ceci étant certainement lié au bruit de mesure, les zones moyennement rugueuses et très rugueuses sont en revanche parfaitement repérées (entre 85 et 95 %).

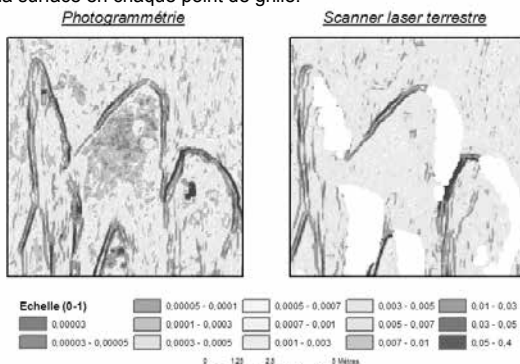


Figure 3 : Comparaison des rugosités obtenues sur la même zone à partir des 2 levés

7. Conclusion

A l'issue de ce PFE, il s'avère que le SLT est un outil très adapté au suivi de l'enneigement saisonnier sur de grandes surfaces (plusieurs dizaines d'hectares) en un minimum de temps (2h), avec une haute résolution spatiale et une précision des données collectées sur le site très satisfaisante puisque les études menées ont permis de l'estimer à ± 5 cm. Une méthode permettant de traiter les données collectées a été établie et sera réutilisée par le CEN et IRSTEA pour les hivers à venir. La base de donnée, constituée au cours de ce PFE, a permis d'étudier l'influence des paramètres topographiques sur la distribution de la neige et de dégager un potentiel intéressant pour l'étude de la rugosité de surface. Elle sera également utilisée pour évaluer les modèles numériques du CEN.

Référence : Sappington, J., Longshore, K., and Thomson, D. (2007). Quantifying Landscape Ruggedness for Animal Habitat Analysis : A case Study Using Bighorn Sheep in the Mojave Desert, J. Wildlife Manage., Vol. 71, pp 1419–1426.

Qualification de la précision de données topographiques issues d'acquisitions par méthode scanner laser dynamique ferroporté

PFE présenté par : **Audrey JACQUIN**
Société d'accueil : **SNCF**
Directeurs de PFE : **M. Mathieu REGUL, M. Florian BIROT**
Correcteurs : **M. Gilbert FERHAT, Mme Tania LANDES**



1. Introduction

La division Assistance Travaux et Topographie (ATT) de la direction Ingénierie et Projets de SNCF Réseau est chargée de réaliser les levés topographiques 3D concernant les voies, les gares, les ouvrages d'arts, etc. Des techniques émergentes, permettant de limiter les temps d'acquisitions, sont déployées en complément de la topographie traditionnelle afin de suivre l'ensemble du réseau ferroviaire qui s'étend sur 33.000 kilomètres de lignes. La division a notamment fait l'acquisition d'un scanner laser dynamique ferroporté de type VMX-450 Rail développé par la société Riegl.

SNCF Réseau envisage d'utiliser ce système pour surveiller l'ensemble de son réseau à intervalles réguliers de l'ordre de 2 ans, mais aussi dans le cadre d'autres projets tels que des simulations de gabarits, études caténaïres, régénération des voies, etc. Les avantages d'acquisition de cette technologie, tels que la rapidité et la sécurité, très adaptés au milieu ferroviaire, nécessitent en effet d'être exploités au maximum à travers ces projets. Les données acquises par le système étant d'une telle densité et complétude, elles pourront être réutilisées pour d'autres études et par d'autres cœurs de métier au sein de SNCF Réseau. La mise en place d'un système d'information géographique 3D, voire d'un BIM ferroviaire recensant l'ensemble des acquisitions scanner dynamique en « France » sont à l'étude au sein de la division ATT.

Pour cela, une étude préalable est nécessaire afin de déterminer la précision pouvant être atteinte et les moyens à mettre en œuvre pour y parvenir.

Une étude de précision relative du système Riegl VMX-450 Rail a été réalisée en 2014 lors du PFE de Quentin Choquart. Il en ressort que le système répond aux exigences de mesures et de contrôle des gabarits SNCF et confirme la précision relative annoncée par le constructeur, à savoir ± 5 millimètres. Dans cette étude, seule la précision relative importe. Si l'on étend l'utilisation de ce système, une étude de précision absolue s'avère indispensable.

L'objectif de ce stage est donc d'étudier le positionnement absolu des données acquises. L'étude se scinde en deux parties. La première consiste à déterminer la précision absolue pouvant être atteinte par ce scanner dynamique ferroporté, et à définir les moyens à mettre en œuvre pour atteindre cette précision. La seconde partie vise à mettre en place une méthode de contrôle des données finales, conforme à l'arrêté de 2003 sur les classes de précisions. Ce travail nous amènera également à suggérer des solutions d'améliorations dans le processus de traitement des données.

2. Présentation du système et traitement des données

2.1.Principe de fonctionnement : les données sont acquises par le scanner dynamique, fixé sur un wagon plat et transporté par un locotracteur dans lequel se trouve l'alimentation du système ainsi que le dispositif de pilotage de l'appareil et de stockage des données.

Le système est composé de deux scanners laser qui effectuent les mesures des voies et des abords selon deux plans formant un «X» afin de minimiser les zones masquées, de quatre caméras permettant une meilleure analyse du nuage de points, et de capteurs dédiés à la trajectographie. Parmi ces capteurs, une antenne GNSS et une centrale inertielle agissent de façon complémentaire. Les mesures GNSS déterminent la position du système et la centrale inertielle mesure les accélérations et les angles d'attitudes à une fréquence plus élevée, permettant de densifier la trajectoire et palier les coupures GNSS. De plus, un odomètre optique adapté au wagon détecte les phases d'arrêts et de mouvements permettant de compenser une partie des dérives de la centrale inertielle. Les caractéristiques du système VMX-450-Rail sont présentées sur la figure n°1.

Les acquisitions sont réalisées à une vitesse maximale de 60 km/h afin de respecter une densité de 400 points/m².

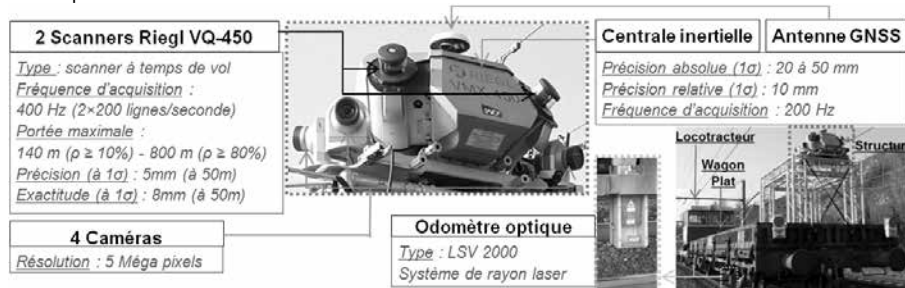


Figure 1 : Caractéristiques du système Riegl VMX-450 Rail

Les scanners laser dynamiques ont déjà fait leurs preuves en milieu routier depuis plusieurs années. Le milieu ferroviaire étant plus complexe, (présence des caténaires, perturbations électromagnétiques, faible réflectance des rails, etc.) ce n'est que depuis la fin de l'année 2013 que ce système est monté sur rail au sein de SNCF Réseau.

2.2. Traitement des données

Les étapes de traitement des données et la suite logicielle associée sont présentés en figure n°2.

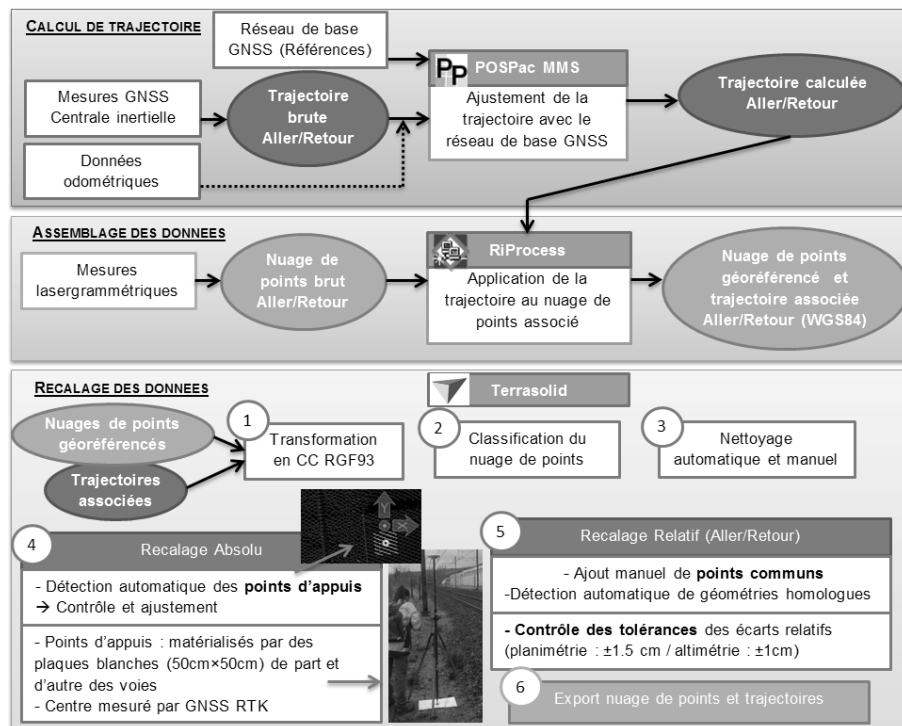


Figure 2 : Schéma synoptique du traitement des données menant au nuage de points final

3. Evaluation de la précision absolue des données

L'étude de précision a été menée sur les trajectoires, puis sur les nuages de points qui sont plus représentatifs des éléments géographiques qui nous intéressent et constituent le rendu final. Les expérimentations ont été réalisées avec des données acquises sur une zone de 10 kilomètres.

3.1. Erreurs impactant les mesures : le calcul de la trajectoire est une étape cruciale dans le traitement des données, qu'il faut réaliser avec attention puisque les données laser vont être attribuées à cette trajectoire. Nous avons recensé les erreurs liées au système d'acquisition (notamment au système GNSS et à la centrale inertielle), au milieu environnemental et à la méthodologie employée. Une étude de précision est donc nécessaire afin de voir leur impact.

3.2. Précision des trajectoires :

- **Avant recalage sur points d'appuis :** l'analyse de la qualité de la trajectoire passe par l'étude de la fiabilité des logiciels de traitement. On constate que les précisions de la trajectoire annoncées par le logiciel POSpac sont très optimistes, elles sont donc à prendre avec précaution. L'étude de précision de trajectoire a consisté à réaliser des traitements avec des méthodologies et paramètres de calculs différents, puis à comparer les trajectoires par rapport à celle prise pour référence, qui a été recalée avec des points d'appui à intervalles de 300 mètres. Les trajectoires obtenues n'étant pas suffisamment précises par rapport à la précision finale attendue de ± 5 centimètres, il est nécessaire d'effectuer un recalage à l'aide de points d'appuis.
- **Après recalage sur points d'appuis :** la mise en place des points est une étape coûteuse en temps et en moyens humains, il est nécessaire de trouver le bon compromis entre les contraintes financières et la précision attendue. Dans l'étude menée, une trajectoire recalée avec des points d'appuis à intervalles de 300 mètres est considérée comme étant la vérité terrain. D'autres trajectoires ont été recalées avec des intervalles plus conséquents de 600, 1200 et 2200 mètres. Le tableau 1 présente les écarts entre les trajectoires et celle de référence. On constate que l'écart moyen varie légèrement en augmentant significativement les intervalles, mais les écarts maximaux sont proches de la classe de précision attendue de ± 5 centimètres.

Trajectoire	Intervalle entre points d'appuis	Ecart moyen (cm)		Ecart maximal (cm)		Ecart-type (cm)	
		Planimétrie	Altimétrie	Planimétrie	Altimétrie	Planimétrie	Altimétrie
1	600 m	0,9	0,5	4,5	3,2	0,8	0,6
2	1200 m	1,0	0,8	4,0	3,7	0,8	0,8
3	2200 m	1,6	1,1	5,3	4,0	1,2	0,9

Tableau 1 : Ecart par rapport à la trajectoire de référence en fonction de l'intervalle entre points d'appuis

3.3. Précision des nuages de points

- **Comparaison nuage/nuage :** l'étude des écarts entre les nuages de points dynamiques issus des différents tests, permet de quantifier la perte de précision du nuage en fonction du nombre de points d'appuis. Le nuage de référence est celui associé à la trajectoire de référence précédente, recalée avec des points d'appuis tous les 300 mètres. Les écarts par rapport au nuage de points de référence sont obtenus par calculs de pseudo-distances entre points homologues et sont présentés dans le tableau 2.

Nous faisons le même constat qu'avec les trajectoires, les nuages de points comparés sont proches.

Nuage	Ecart moyen (cm)	Ecart-type (cm)
1	1,2	0,6
2	2,0	0,7
3	2,0	0,8

Tableau 2 : Ecart par rapport au nuage de référence en fonction de l'intervalle entre points d'appuis

- **Comparaison à des données externes :** afin de quantifier véritablement la précision absolue des données, une étude comparative à des données externes indépendantes est réalisée. La référence est un nuage acquis par scanner laser statique avec un géoréférencement plus précis. Dans notre étude, l'exactitude est déterminée par les écarts entre nuage statique/dynamique. On obtient des écarts moyens de l'ordre de 2 à 5 centimètres suivant la zone contrôlée et le nombre de points d'appui. Les précisions varient le long du nuage, ce qui est fonction du nombre de points d'appui utilisé mais aussi de la qualité de la trajectoire initiale. On constate une fois de plus que les écarts n'augmentent pas de manière significative entre les intervalles de 300 et 2200 mètres. Nous mettons toutefois en évidence qu'il **faudra veiller à ne pas dépasser un intervalle moyen de 2 kilomètres, afin que les données respectent les classes de précision de ± 5 centimètres.** A l'inverse, il n'est pas nécessaire de mettre des points à intervalles de 300 mètres.

4. Méthodes d'application de l'arrêté de 2003 pour le contrôle des données

En tant qu'établissement public, SNCF Réseau se doit de mettre en place une procédure permettant d'appliquer l'arrêté de 2003 à ses acquisitions topographiques par scanner 3D. Dans notre cas le contrôle porte uniquement sur les classes de précision totales.

4.1. Points de contrôles

Une première méthode de contrôle proposée consiste à mesurer par méthode GNSS RTK des points de contrôles complémentaires, matérialisés par les mêmes plaques que les points d'appuis. Les écarts entre les coordonnées des points contrôlés et des points dans le nuage sont ensuite calculés et doivent respecter les trois conditions du modèle standard pour valider la classe de précision. L'échantillon de points de contrôle est fixé à 1 point pour 5 ou 10 kilomètres d'acquisitions suivant l'environnement.

Nous avons contrôlé le nuage de points ajusté avec des points d'appui à intervalle moyen de 2,2 kilomètres sur une zone de 5 kilomètres. **Les classes de précision planimétriques et altimétriques fixées par le cahier des charges à ± 5 centimètres sont respectées pour ce nuage de points.**

4.2. Contrôle par comparaison avec nuage de points statique

Une seconde méthode consiste à contrôler le nuage de points dynamique avec un nuage de points statique géoréférencé de manière plus précise. L'arrêté de 2003 s'appliquant aux objets géographiques, la méthode de comparaisons la plus conforme à l'arrêté consiste à considérer chaque point comme objet ponctuel et à calculer l'écart entre points homologues des deux nuages. Cet écart est calculé par un algorithme robuste de recalage de nuage de points basé sur l'ICP (Iterative Closest Point). L'échantillon est donné en surface scannée et fixé à 10% de la surface totale acquise en dynamique. Cette méthode n'a pu être appliquée que sur le nuage de points n'ayant pas été recalé à l'aide des points d'appuis. Nous avons pu valider la méthode et montrer que ce nuage de points respecte une classe de précision tridimensionnelle de 35,5 centimètres avant ajout de points d'appuis.

Cette partie a mis en évidence la difficulté d'appliquer l'arrêté à des données lasergramétriques. La deuxième méthode proposée semble la plus adaptée puisqu'il s'agit de comparer un même type de données.

5. Conclusion et perspectives

Cette étude de précision absolue des données confirme que le scanner laser dynamique est adapté au milieu ferroviaire et permet d'atteindre les classes de précisions attendues de 5 centimètres suivant les moyens mis en œuvre.

Nous avons mis en évidence, qu'il ne faudra pas dépasser un intervalle de 2 kilomètres entre points d'appui, afin de conserver des précisions homogènes le long du nuage de points. Inversement, l'intervalle de 300 mètres apparaît excessif. Nous envisageons une disposition à intervalle de 1 kilomètre, offrant un bon compromis entre la précision attendue et le coût de mise en place des plaques. Toutefois, d'autres études devront être menées, afin de confirmer et compléter les résultats et mettre en évidence une limite à partir de laquelle la précision se dégrade significativement.

Nous avons également mis en place deux méthodes de contrôle des données, conformes à l'arrêté de 2003, et ainsi montré que dans cette étude, le nuage recalé avec des points d'appuis disposés à intervalle moyen de 2 kilomètres respecte les classes de précision planimétriques et altimétriques fixées à ± 5 centimètres par le cahier des charges.

Au cours de notre étude nous avons mis en évidence des étapes nécessitant d'être améliorées pour réduire les temps de traitement des données. Des perspectives d'améliorations sont envisagées au niveau du recalage relatif des nuages de points aller et retour, afin d'automatiser la détection de points et de géométries homologues. De même, le temps de contrôle des écarts relatifs qui subsistent est une étape non négligeable, son automatisation est à l'étude.

Ainsi, les performances du scanner laser dynamique Riegl VMX-450 Rail, alliant rapidité et précision, pourront être exploitées pour réaliser la surveillance du réseau ferré, mais aussi dans bien d'autres projets. Les données seront mises en avant à travers une base de données pouvant être utilisée par d'autres cœurs de métiers au sein de la SNCF.

Enrichissement des géodonnées spatio-temporelles de référence de la direction de la mensuration officielle à partir des archives existantes.

PFE présenté par : **Félix ROUSSEL**
Sociétés d'accueil : **ArxiT et la DMO**
Directeurs de PFE : **David BENI & Laurent NIGGELER**
Correcteur : **Mathieu Koehl**



1. Contexte de l'étude

La direction de la mensuration officielle (DMO) du canton de Genève a mis en place un processus de temporalité des données géographiques cadastrales. Cependant, la temporalité mise en place n'est pas rétroactive, elle s'effectue au fil des évolutions du territoire. Ce sont les données du présent qui deviennent des données du passé temporalisées avec le temps s'écoulant.

À l'heure actuelle, les données archivées sont souvent stockées dans des lieux optimisant leur conservation et améliorant leur sécurité, mais les rendant difficiles d'accès et de consultation. C'est pourquoi il serait intéressant de pouvoir disposer d'une base de données géographique temporelle contenant l'ensemble des données de la mensuration depuis la création du cadastre à Genève. La consultation du passé et le retour vers le présent seront alors facilités.

Plusieurs objectifs guident cette étude. Le premier objectif est de pouvoir consulter le passé jusqu'à une date plus lointaine qu'il n'est actuellement possible. Plusieurs autres objectifs en découlent, comme la conservation, la sécurisation et l'homogénéisation des données. Cela permettra également de réunir les données à l'intérieur d'une seule et unique structure et ainsi d'améliorer l'accès et la consultation des données actuellement archivées.

À l'énoncé des objectifs, plusieurs problèmes se posent. Les données archivées sont très diversifiées, telles que des images scannées, des fichiers DAO ou des bases de données. Alors, comment homogénéiser des informations diverses et hétérogènes ? Quelle structure utiliser pour rassembler ces informations ? Comment rendre plus aisée la consultation du passé sur une zone définie ? Existe-t-il des technologies permettant d'automatiser la temporalité de toute l'information archivée ?

2. Les données disponibles

Il est important de connaître précisément les données que nous avons à disposition et que nous allons tenter d'intégrer dans la base de données 4D actuelle.

a) La base de données 4D actuelle

Toutes les couches de la base de données métiers sont temporalisées. Ainsi, quatre attributs ont été ajoutés pour un objet. Deux attributs temporels, DATE_DEBUT, DATE_FIN, et deux attributs événementiels, EVENT_ID_DEBUT, EVENT_ID_FIN. Chaque objet présent dans la base de données a donc une durée temporelle et les causes ayant entraîné la création et la destruction d'un objet sont connues.

b) Les données vectorielles archivées

Plusieurs données vectorielles sont enregistrées sur différents serveurs. La base de données métiers a été régulièrement sauvegardée et les sauvegardes ont été stockées dans un lieu sécurisé au but de conservation.

De plus, les fichiers de mutation réceptionnés par la DMO et venant des géomètres sont sauvegardés depuis 1998. Ces fichiers sont des extractions de la base de données métiers sur lesquelles les modifications cadastrales ont été effectuées.

c) Les données raster scannées

L'ensemble des archives papier de la DMO a été scanné. Ces archives se divisent en informations textuelles appelées registres et en informations géographiques formant des plans.

Les plans se divisent eux-mêmes en deux groupes : les plans originaux, qui définissent l'état cadastral d'un ensemble de régions à un instant T sur des plans grand format, et les plans de mutations, qui cartographient la modification d'un ou plusieurs objets par rapport au plan original.

3. Les solutions de temporalité

Il a été mis en avant que les structures et formats des données varient suivant les périodes. Les traitements effectués ainsi que les solutions dégagées varient donc suivant les données.

a) Sauvegardes de la base de données

Afin d'enrichir la base de données 4D actuelle, et ainsi créer un historique remontant plus loin dans le passé, nous pouvons utiliser les sauvegardes passées de la base de données métiers. Ces sauvegardes ont été réalisées tous les mois à partir de janvier 2011. Entre décembre 2003 et janvier 2011, de nombreuses sauvegardes ont été effectuées avec toutefois une fréquence moins régulière.

Il s'agit de comparer la base de données 4D à la sauvegarde la plus récente qui n'a pas encore été utilisée pour l'enrichissement de la base de données 4D actuelle. Avec cette comparaison, nous pouvons ainsi détecter les éléments qui ont changé aussi bien géométriquement qu'attributairement entre la date de la sauvegarde et la date de début de la base de données 4D actuelle.

Lorsqu'un objet différent ressort après la comparaison entre les deux bases, nous allons soit modifier les attributs temporels et événementiels d'un objet, soit ajouter un nouvel objet avec des dates et événements différents.

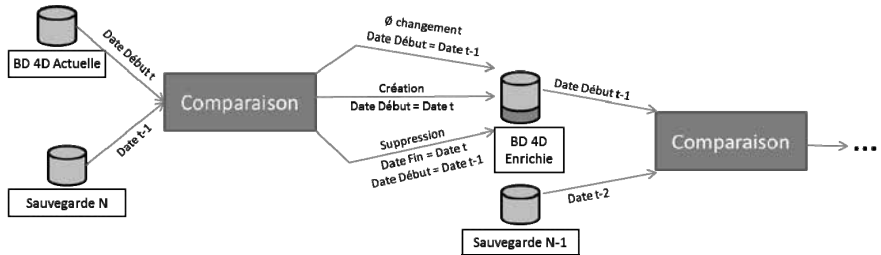


Figure 1 : SCHEMA D'ENRICHISSEMENT DE LA BASE DE DONNEES 4D ACTUELLE A PARTIR DE SAUVEGARDES ANTERIEURES

b) Fichiers DAO

Depuis 1998, la DMO stocke dans un serveur appelé Workflow, toutes les mutations que les géomètres lui transmettent. Entre 1998 et 2005, les mutations étaient livrées sous forme de DXF. Ces données sont particulièrement intéressantes car elles permettraient de recréer un historique de la base de données métiers qui n'a pas été sauvegardée durant cette période.

Cependant la représentation des DXF pose un problème majeur. En effet, lorsqu'une modification avait lieu sur une parcelle, les géomètres ne représentaient que la partie de la parcelle ayant changé. Par conséquent, avec ces DXF, nous ne disposons que d'une partie partielle de l'objet. Nous disposons donc de polygones et non de polygones (contours fermés).

Etant donné que ces informations sont les seules dont nous disposons, il est important de réfléchir à une structure de données alternatives permettant de créer un historique.

Nous pouvons créer une base de données contenant deux couches différentes : une couche de polygones contenant la géométrie et une couche de points contenant les informations attributaires de la parcelle.



Figure 2 : EXEMPLE DE STRUCTURE ALTERNATIVE POUR UNE MUTATION

c) Registres scannés

À une époque où réaliser un plan était une opération longue et coûteuse, de nombreuses informations étaient consignées dans des registres. Ces derniers ont été stockés dans les archives de la DMO.

Dans le but d'obtenir des informations digitales à partir de ces registres, une reconnaissance d'écriture est effectuée sur les images.

Afin d'éviter d'obtenir un résultat faussé par les lignes, il a fallu trouver une solution permettant d'isoler chaque zone de texte. La solution retenue pour cela a été de découper les registres suivant les cellules et d'effectuer une reconnaissance d'écriture sur chaque cellule.

Pour extraire les cellules, une recherche des entêtes est effectuée afin de connaître la position des colonnes. Ensuite, une détection de lignes horizontales est réalisée sur chaque colonne afin d'extraire chaque cellule. Pour finir, une détection de lignes verticales est effectuée afin de ne conserver que l'information effectivement écrite dans la cellule extraite.

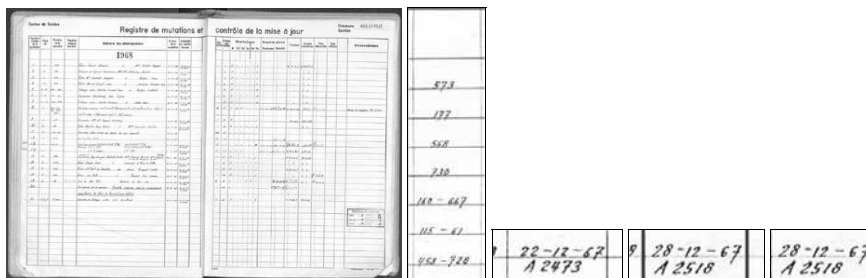


Figure 3 : ORDRE DES OPERATIONS D'EXTRACTION DES CELLULES DES REGISTRES

La fiabilité de division des cellules est excellente car 99.7% des cellules sont correctement extraites. Une reconnaissance d'écriture avec l'algorithme Tesseract OCR est ensuite effectuée sur chaque cellule après avoir préalablement créé une base de données d'apprentissage pour l'écriture manuscrite. Malheureusement, la fiabilité de la reconnaissance d'écriture est très insatisfaisante, les lignes sur lesquelles le texte est écrit posant problème.

d) Plans scannés

Afin de récupérer les informations géographiques liées à un objet, il faudra utiliser les différents plans à disposition. Pour cela, une opération de vectorisation automatique a été mise en place. Les différentes couches d'informations sont donc extraites du plan (bâti, texte). Chacune des informations extraites du plan est «nettoyée» afin de ne disposer en sortie que de polygones.

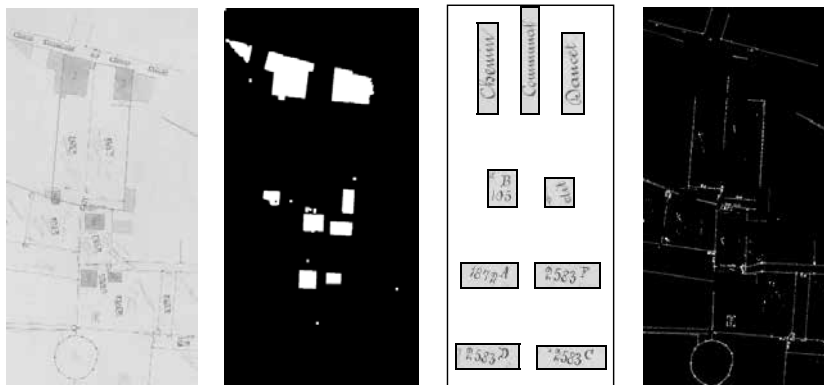


Figure 4 : DE GAUCHE A DROITE : IMAGE INITIALE, BATI EXTRAIT (COULEUR ROUGE EXTRAIRE), TEXTE EXTRAIT, IMAGE «NETTOYÉE» ET DETECTION DE LIGNES (EN BLEU).

Plusieurs limites se dressent devant l'automatisation complète des procédés détaillés ci-dessus. Dans un premier temps, aucune méthode permettant de géoréférencer automatiquement n'a été dégagée. Ensuite, les traitements ci-dessus nécessitent des paramètres à définir. Or ces paramètres changent suivant l'image, et aucune méthode permettant de définir ces paramètres de manière robuste n'a pu être mise en place.

L'intervention humaine restant indispensable, une structure alternative a été mise en lumière afin d'historiser les plans raster. De plus, des outils ArcMap ont été développés afin de minimiser le temps nécessaire à cette intégration.

La structure alternative repose sur le modèle de données des mosaïques mises en place par ESRI. Une mosaïque est une base de données d'images pour lesquelles il est possible de renseigner des attributs. Il est également possible de définir l'emprise du plan, qui sera la région visible de l'image.

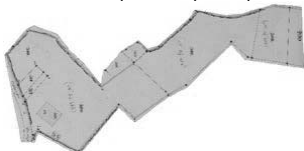


Figure 5: EXEMPLE D'IMAGE INTEGREE DANS UNE MOSAÏQUE AVEC DETERMINATION DE L'EMPRISE.

La méthodologie de création d'une base de données historiques d'images est définie par le géoréférencement de tous les plans de mutations à l'aide de points homologues entre le plan original ou un plan de mutation plus ancien et le plan de mutation à géoréférencer. Le renseignement d'un attribut au format de date de chaque image définit l'historique.

Des outils ArcMap ont été développés afin d'améliorer le rendement d'une intégration manuelle de données raster dans une mosaïque.



Figure 6 : OUTILS ARCMAP CREES AFIN D'OPTIMISER LA NAVIGATION ENTRE LES FICHIERS

Ces outils limitent le nombre de clics de la souris nécessaires pour les opérations suivantes:

- charger une image dans le projet ArcMap ouvert avec un niveau de transparence,
- géoréférencer l'image,
- ajouter l'image à la mosaïque,
- renseigner le champ date dans la mosaïque,
- générer l'emprise du plan.

Un temps de travail de 13 années Homme a été estimé pour intégrer manuellement la totalité des données raster dans une mosaïque sans les outils développés. Avec ces outils, le temps de travail a été estimé à 7 années Homme. Un temps précieux peut donc être sauvé.

4. Conclusions et perspectives

Ce projet a permis de montrer que l'intégration des données cadastrales archivées dans un SIG temporel était possible. Cependant, certains objectifs initiaux ont dû être revus afin de pallier l'hétérogénéité de la qualité et des types de données. Ainsi, un premier objectif qui devait rassembler les données dans un endroit unique a été revu. Plusieurs bases de données aux structures différentes ont donc été créées. Un second objectif qui portait sur le degré d'automatisation atteignable pour l'intégration des informations sous forme raster a également été revu. La vectorisation automatique de plans et la retranscription automatique des registres n'ayant pas apporté de résultats suffisamment satisfaisants, des méthodes alternatives ont dû être développées, comme par exemple la solution de la mosaïque.

Afin de réaliser pleinement ces deux objectifs, plusieurs solutions pourraient être envisagées. Le développement d'un algorithme extrayant le texte des lignes du tableau permettrait d'améliorer sensiblement la reconnaissance d'écriture. Cela rendrait possible l'automatisation du renseignement attributaire des plans. Un algorithme intelligent choisissant les meilleurs paramètres des processus de vectorisation en fonction de l'image automatiserait totalement la vectorisation des plans.

Etude technico-économique de la gestion de la végétation à partir d'outils topographiques dans le domaine des lignes aériennes à très haute tension

PFE présenté par : **Laurent VOGLIMACCI**
Société d'accueil : **Omexom Nîmes Ingénierie**
Directeur de PFE : **Julien BERTOLINI**
Correcteur : **Mathieu KOEHL**



1. Présentation et contexte de l'étude

L'entreprise Réseau de Transport d'Electricité (RTE), client principal de l'entreprise Omexom Nîmes Ingénierie, possède un grand nombre de lignes électriques situées à proximité de zones de végétation. Cette végétation est un élément vivant difficile à prévoir et à détecter et pouvant causer d'importants dégâts sur le réseau électrique. Une distance trop faible entre l'espèce végétale et un câble électrique à très haute tension peut entraîner d'importants dégâts : court-circuit ou chute d'un arbre sur le réseau électrique.



Figure 1 - Végétation à proximité de lignes électriques à très haute tension
(source : www.rte-reso.com)

Au cours des tempêtes Lothar et Martin de 1999, près de 50 % des dommages sur le réseau électrique ont été causés par des chutes d'arbre. Depuis 2002, des travaux de sécurisation mécanique sont réalisés dans le but de renforcer le réseau de transport d'électricité et permettent aux lignes renforcées ou nouvelles de résister en cas de conditions climatiques extrêmes similaires aux tempêtes de 1999. Ces travaux consistent principalement en la rénovation ou la reconstruction des lignes électriques et pylônes, et dans la pose de nouveaux pylônes anti-cascade. Un deuxième aspect du programme de sécurisation mécanique consiste en l'élargissement des tranchées forestières et la gestion des éléments végétaux à proximité des lignes électriques, sujet principal de ce projet de fin d'études.

Actuellement, la solution en place de Gestion Informatisée de la Végétation (GIV) repose sur la prévision théorique de la croissance de la végétation en fonction de zones définies appelées peuplements. Cette méthode est devenue obsolète car il est complexe de prévoir l'évolution d'une espèce vivante : la végétation est un élément non prévisible qui est fonction d'un nombre de paramètres très important (énergie solaire reçue, quantité d'eau, richesse du sol en éléments minéraux, températures, etc.) et variant selon les saisons et les années.

Ce projet de fin d'études s'inscrit donc dans une démarche industrielle comprenant plusieurs objectifs. Dans un premier temps, il s'agit de réaliser une étude générale (fondée sur les aspects réglementaire, techniques et économiques) sur les moyens de relevés topographiques aériens actuels en distinguant vecteurs d'acquisition et capteurs d'acquisition. Dans un second temps une série d'essais et de comparaisons ont été réalisés à partir d'outils topographiques adaptés aux relevés linéaires permettant d'analyser la qualité des données provenant de différentes sources de relevés topographiques, et d'identifier leur pertinence pour le relevé de la végétation. Une troisième partie est consacrée au traitement des données brutes et principalement à la classification des points d'un nuage dans le but de différencier le sol et le sursol à l'aide de logiciels disponibles en téléchargement libre. La partie suivante est consacrée à la détection de la végétation dangereuse aux abords des lignes électriques selon la réglementation imposée (arrêt technique ou cahier des clauses générales). Pour finir, la gestion et la représentation de ces informations est présentée au travers d'un système d'information géographique.

2. Etude générale : vecteurs et capteurs d'acquisition topographiques aéroportés

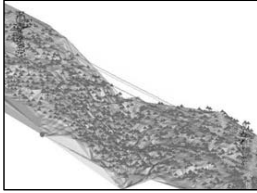


Figure 2 – Visualisation de la topographie dans PLS-CADD

Afin de réaliser les relevés topographiques aériens, Omexom Nîmes Ingénierie fait appel à des prestataires équipés d'importants moyens topographiques : hélicoptère ou ULM (Ultra-Léger Motorisé) associé à un système d'acquisition combinant les techniques LiDAR (Light Detection And Ranging) et photogrammétrique.

L'entreprise souhaite axer son développement sur l'acquisition ou la location de ce type d'appareillage dans le but d'obtenir les données nécessaires à la réalisation du projet au sein du logiciel dédié à l'étude de lignes électriques PLS-CADD : modèle numérique de terrain, classification des points obtenus, identification des obstacles, position des réseaux électriques, etc.

Pour cela différents supports aériens ont été étudiés : l'ULM de classe 6 - hélicoptère ultraléger, l'ULM de classe 4 - autogire, l'ULM de classe 3 - multiaxe et le drone à voilure fixe. En ce qui concerne le capteur d'acquisition, le système actif LiDAR a été choisi car il permet de fournir directement le modèle numérique de terrain ainsi que le modèle numérique d'élévation à l'inverse de la photogrammétrie qui en zone boisée permettra de relever uniquement la surface de la végétation. La technique LiDAR embarquée sur un drone est encore très peu répandue et donc difficile à étudier.

3. Etude de la qualité de données issues de différents relevés aériens

Comparaison des données altimétriques :

Quatre techniques de relevés ont été comparées afin d'évaluer la qualité des données topographiques obtenues. La comparaison a été réalisée sur une zone goudronnée d'environ 500 m². Le nuage de points de référence a été acquis par méthode GNSS. Les trois autres nuages de points sont :

- Un relevé LiDAR héliporté
- Un relevé photogrammétrique par drone
- Un relevé LiDAR par drone

Ce dernier relevé n'est pas recalé dans un système de coordonnées de référence, il ne permet donc pas de réaliser directement une comparaison. Un recalage par procédure « Iterative Closest Point » a été effectué pour permettre une comparaison.

	Distance moyenne (cm)	Emq (cm)	95% des écarts
GPS - Lidar héliporté	-1.0	5.0	< 10 cm
GPS - Lidar sur drone	2.9	13.2	< 20 cm
GPS - Photogrammétrie	1.1	11.5	< 20 cm

Tableau 1 – Résultats de la comparaison altimétrique des nuages de points (données obtenues avec 3DReshaper)

Comparaison des données planimétriques :

Il est difficile d'évaluer la qualité planimétrique des nuages de points. Pour avoir un ordre d'idée de la précision planimétrique obtenue par chacune des techniques, l'arrêté du 16 septembre 2003 portant sur les classes de précision a été appliqué sur des points situés sur les pylônes électriques (le relevé par photogrammétrie n'a pas été étudié car trop peu de points ont été obtenus sur les pylônes électriques). Le LiDAR héliporté permet d'obtenir une classe de précision de [10] centimètres et le LiDAR embarqué sur un drone une classe de précision de [15] centimètres.

Comparaison des données LiDAR / Photogrammétriques :

Une comparaison des données LiDAR et photogrammétriques sur une portion du nuage de points a été réalisée afin d'identifier et de distinguer clairement les résultats obtenus avec ces deux techniques d'acquisition : obtention du modèle numérique de terrain et/ou du modèle d'élévation.

4. Classification des données topographiques

Le traitement des données brutes contient l'étape de classification des points du nuage. Nous avons considéré que la classification des points en deux catégories sol et sursol suffisait afin d'identifier la végétation pouvant causer des dommages aux lignes électriques. En effet, les lignes électriques sont majoritairement implantées dans des zones rurales, les éléments artificiels (bâtiments ou routes par exemple) sont rares et peuvent être traités au cas par cas. Quatre logiciels ont été utilisés pour réaliser la classification : Lastools, MCC-Lidar, BCAL, et le plug-in Canupo de CloudCompare. Ces logiciels ont été choisis d'une part parce qu'ils sont en téléchargement libres (à l'exception de Lastools dont les fonctions sont limitées sans licence) sur internet et d'autres part en raison de la divergence des algorithmes.

Afin d'évaluer la précision de la classification, un nuage de point de référence représentant le sol a été segmenté manuellement puis maillé. Toutes les classifications sont alors comparées à ce maillage et permettent d'en déduire les principaux indicateurs de qualité de la méthode : erreur moyenne, erreur maximale et écart-type. Au final, Lastools fournit les meilleurs résultats de classification. Il permet d'obtenir des résultats suffisants pour la classification des éléments de végétation aux abords des lignes électriques.

5. Détection de la végétation dangereuse et détermination des distances

Après avoir conservé uniquement les points du nuage représentant le sursol, il faut détecter les points de végétation représentant un danger vis-à-vis des lignes électriques. Au niveau national, la végétation aux abords des lignes électriques est réglementée par l'arrêté technique du 17 mai 2001 qui définit les conditions techniques que doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique. Le gestionnaire de réseaux RTE possède sa propre réglementation, plus restrictive que l'arrêté technique de 2001, écrite au travers d'un Cahier des Clauses Générales Lignes Aérienne (CCG-LA). Ces écrits fixent ainsi les distances minimales à respecter entre les lignes électriques et les obstacles pour ne pas que la ligne s'amorce. Il existe des hypothèses climatiques de calcul affectant la position des câbles électriques (la température maximale du câble, l'effet du vent sur le câble, et l'épaisseur de givre situé sur le câble). L'arrêté technique de 2001 fixe la distance minimale à respecter entre les conducteurs nus ou pièces nues sous tension d'un ouvrage de tension nominale U et le sol ou une installation quelconque » comme la somme d'une distance de base et d'une distance de tension. Un gabarit est alors déterminé en fonction de la distance verticale, de la distance latérale et des hypothèses de calcul. Les distances de sécurité imposées par les directives du gestionnaire RTE sont plus restrictives. Pour des raisons de confidentialité, ces directives ne sont pas présentées dans ce résumé de mémoire.

Pour détecter les points de végétation situés à une distance inférieure aux distances horizontales et verticales de sécurité imposées, le logiciel de référence pour l'étude des lignes électriques PLS-CADD a été utilisé. Actuellement, de nombreuses études ont lieu et les solutions envisagées permettent de visualiser la distance de la végétation par rapport aux câbles électriques selon un code couleur. Pour ces solutions les mouvements des câbles ne sont généralement pas pris en compte, ou alors ces derniers sont positionnés dans une condition défavorable.

Cette partie du projet de fin d'étude présente une solution pour détecter les points de végétation dangereux selon les hypothèses de calcul fixées par l'arrêté technique de 2001 ou le cahier des clauses générales. Cette solution permet de calculer les distances végétation - câble électrique en prenant en compte les mouvements des câbles électriques en raison du vent, du givre, et de la température variante de ces derniers.

6. Gestion et représentation de la végétation dangereuse

La grande quantité de données ponctuelles caractérisant la végétation nécessite de mettre en place une procédure de traitement et de visualisation appropriée.

Pour cela, la représentation choisie se présente sous la forme d'un système d'information. Dans le but de gérer les données facilement, la méthode MERISE, dont la terre de prédilection est l'informatique de gestion, a été utilisée. Un Modèle Conceptuel de Données (MCD) a permis de représenter clairement la structure du système d'information en définissant les données, les

dépendances et relations existantes entre elles (modèle entités-relations). Les entités suivantes ont été incluses : végétation, zone végétation, support, câble, commune et ligne. Le Modèle Logique de Données (MLD) a ensuite été créé et a permis d'identifier les différentes clés (primaires, alternatives, étrangères). Pour finir le code SQL (Structured Query Language) a été créé et inséré dans le Système de Gestion de Base de Données Relationnelles (SGBDR) PostgreSQL / PostGIS.

Cette base de données a été renseignée à partir de diverses sources : rapports de détection de la végétation dangereuse, informations contenues dans les plans internes à l'entreprise, données internet, etc. Une optimisation de cette base de données a été réalisée par l'ajout de plusieurs contraintes de mises à jour. Pour s'assurer du bon fonctionnement de la procédure et des traitements mis en place, des points faux de végétation ont été insérés. La liaison entre le SGBDR et le logiciel QGIS a ensuite été réalisée.

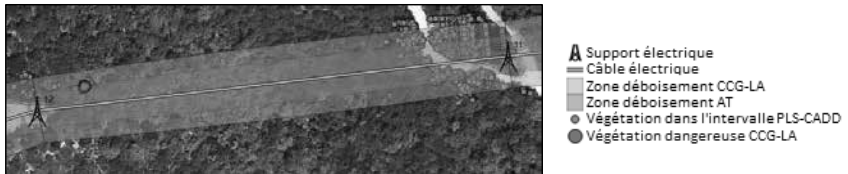


Figure 3 - Système d'Information Géographique dédié à la gestion de la végétation

Le SIG créé prend en compte l'évolution de la végétation grâce à une table contenant la prévision théorique de croissance. Cette prévision théorique (fixée de manière aléatoire à 50 cm par an pour le type d'essence présent dans la zone) permet de visualiser la végétation dangereuse pour plusieurs intervalles temporels (instant t, instant t + 3 mois, instant t + 6 mois, et instant t + 12 mois).

7. L'évolution de la végétation à partir d'outils topographiques

Le domaine vivant est difficile à étudier. Une approche de la prévision de l'évolution de la végétation à partir d'outils topographiques simples a été réalisée : un calcul de l'indicateur NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) permettant d'analyser l'état de santé des végétaux au moment du relevé ainsi que la simulation d'une différence de modèle numérique d'élévation à deux instants différents. Le but est d'identifier des zones caractéristiques, appelées peuplements, dont le traitement est homogène.

8. Conclusions et perspectives

L'étude portant sur les vecteurs et capteurs d'acquisition a permis de dresser un constat actuel général alliant technique, économie et législation des différents systèmes de relevés aériens adaptés aux relevés topographiques d'ouvrages linéaires. Pour permettre l'aboutissement de cette étude, une approche financière plus approfondie serait nécessaire. Celle réalisée présente les grandes lignes d'un tel projet. L'analyse de la qualité de données issues de plusieurs systèmes aériens a permis d'identifier la technique fournissant les résultats les plus satisfaisants en combinant vecteurs et capteurs d'acquisition différents et de comparer les acquisitions photogrammétriques et LiDAR afin d'en déduire la plus appropriée pour les études menées par Omexom Nîmes Ingénierie. Le traitement des données et notamment la classification du nuage de points en deux catégories (sol et sursol) à partir de logiciels disponibles en téléchargement libre a permis d'obtenir des résultats adaptés à la problématique de gestion de la végétation. L'utilisation du logiciel PLS-CADD pour l'identification de la végétation dangereuse aux abords des lignes électriques permet de s'assurer du calcul des distances horizontales et verticales selon la position du câble électrique (hypothèses de calcul). La représentation et la gestion de la végétation dangereuse à l'aide d'un SGBDR et d'un SIG met directement en évidence les zones à risques actuels ou futurs en s'appuyant sur la prévision de l'évolution de l'espèce végétale. Il serait intéressant de réaliser des relevés topographiques aériens des réseaux électriques à des intervalles de temps réguliers, dans le but d'obtenir des prévisions de croissance fiables. Ainsi le SIG permettrait d'identifier les zones de végétation à risque et de prévoir l'intervention d'une société d'élagage.

Analyse de l'évolution des performances des missions altimétriques pour le suivi des niveaux d'eau dans les bassins de la Garonne et du Mékong

PFE présenté par : **Anne-Sophie Leleu**
Société d'accueil : **Laboratoire d'Etude en Géophysique et Océanographie Spatiale (LEGOS)**
Directeurs de PFE : **Sylvain Biancamaria**
Frédéric Frappart
Correctrice : **Tania Landes**



Introduction

Ce stage s'inscrit dans le cadre du Projet REGARD (Ressources en Eau sur le bassin de la GARonne : interaction entre les composantes naturelles et anthropiques et apport de la téléDétection). Le projet a pour objectif d'étudier la spatialisation des ressources en eau du bassin de la Garonne de 2003 à 2013 en utilisant à la fois des informations sur l'activité humaine, la modélisation et des données satellitaires. Huit partenaires participent à ce projet, d'une durée de trois ans, dont le LEGOS. Deux thématiques sont prises en charge par le laboratoire :

- la production et l'analyse de séries temporelles de hauteur d'eau sur différents segments de la Garonne par altimétrie spatiale multi satellite (Jason-2, Envisat et SARAL/AltiKa).
- l'estimation du stock d'eau sur l'ensemble du bassin à l'aide de données de gravimétrie satellitaires (GRACE).

Le stage traite la première thématique et a pour objectifs de :

- regrouper et traiter un ensemble de jeux de données spatiales pour étudier les eaux de surface de la Garonne à partir des missions Jason 2, Envisat et SARAL/AltiKa
- évaluer la qualité de ces données d'altimétrie nadir
- interpréter les résultats obtenus

Pour répondre à la thématique deux zones d'études ont été retenues : le bassin de la Garonne et le bassin du Mékong. Ces deux zones géographiques sont opposées tant par leur régime hydrologique, que par leur taille. Cependant, cela permet d'étudier un cas favorable pour l'altimétrie nadir satellitaire (grand fleuve), mais moins bien instrumenté de manière in-situ (le Mékong) et un cas limite pour les mesures altimétriques, mais bien instrumenté (la Garonne).

Les trois missions satellitaires permettent de couvrir une période de 2002 à aujourd'hui. La mission Jason-2 a une période commune avec Envisat et une autre avec Saral (Figure 1), cela permet un recoupement des données. De plus, Envisat et Saral se sont succédés sur la même orbite, ce qui permet une comparaison directe des amplitudes des séries temporelles de ces deux satellites, même si elles ne couvrent pas la même période.

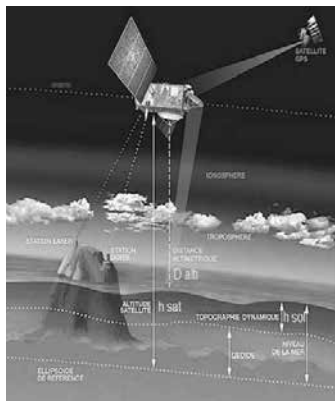


Figure 1 : Couverture temporelle des missions Envisat, Jason-2 et Saral

Cette étude s'est déroulée en quatre phases. La première a été la compréhension du fonctionnement de la mesure satellitaire et des corrections apportées au signal. La seconde a été la création et la comparaison aux données in-situ des séries temporelles sur le bassin de la Garonne (cours principal du fleuve) et du Mékong (cours principal du fleuve et lac Tonle Sap) ainsi que l'analyse des sources d'erreurs. La troisième porte sur l'analyse de la rétrodiffusion le long de traces

Jason-2, Envisat et Saral pour les deux bassins. Enfin, la dernière est la création de séries temporelles sur les plaines d'inondations dans le bassin du Mékong.

1. Principe de la mesure d'altimétrie satellitaire



L'altimètre, embarqué à bord du satellite, émet à son nadir (c'est-à-dire à sa verticale), une onde électromagnétique haute fréquence vers le sol (Figure 2). L'onde est réfléchie par le sol. La distance altimétrique (D_{alti}) est égale au temps aller-retour (D_t) de l'onde divisé par deux et multiplié par la vitesse de la lumière (c). De plus, lorsque l'onde traverse l'atmosphère elle subit des ralentissements dont il faut tenir compte. Ces corrections (C) sont apportées a posteriori lors du traitement des données altimétriques.

$$D_{\text{alti}} = (D_t / 2) \cdot c$$

Grâce aux systèmes de localisation (GPS, DORIS, Interférométrie laser) embarqués à bord du satellite, sa position en planimétrie et altimétrie (h_{sat}) par rapport à un ellipsoïde de référence est précisément connue.

L'altitude de la surface observée par rapport à la surface de référence est donnée par la formule suivante :

$$h_{\text{sol}} = h_{\text{sat}} - D_{\text{alti}} - C$$

Figure 2 : Principe de l'altimétrie radar

Deux traitements sont appliqués à l'onde radar. Le premier est le « tracking » ou suivi de bord. Il permet d'ajuster au mieux la fenêtre à l'écho reçu et d'augmenter la fréquence d'échantillonnage donc de réduire la distance inter-mesure le long de la trace. Ce traitement étant effectué à bord, il ne peut pas être recalculé a posteriori. Le second est le « retracking ». C'est l'application d'algorithme sur la forme d'onde afin de corriger les déformations de celle-ci dues à la non planéité du sol. L'algorithme utilisé pour cette étude est Ice-1, car plusieurs études ont montré qu'il permettait d'obtenir de meilleurs résultats pour les surfaces continentales.

Les corrections (C) comprennent une correction par couche (ionosphère, troposphère sèche, troposphère humide) et par phénomène de marée (marée solide ou terrestre et marée polaire).

2. Séries temporelles de hauteur d'eau, issues de l'altimétrie

Les séries temporelles sont réalisées avec le logiciel MAPS à partir des données satellitaires fournies par le Centre des études Topographique des Océans et de l'Hydrosphère (CTOH) et de stations virtuelles (intersection de la trace du satellite avec le fleuve).

Treize stations virtuelles (cinq Envisat, trois Jason-2 et cinq Saral) ont été définies sur la Garonne, entre Toulouse et la Réole. Pour le bassin du Mékong, dix stations virtuelles (cinq Envisat et cinq Saral) sur le cours principal et cinq (deux Envisat, une Jason-2 et deux Saral) sur le lac Tonle Sap ont été créés.

Afin de quantifier la qualité des séries temporelles altimétriques, celles-ci doivent être comparées à des données in-situ. Pour effectuer la comparaison données satellitaires / in-situ, les cotes d'eau in-situ ont été interpolées (linéairement) par rapport aux dates de passage du satellite et quatre paramètres ont été calculés. Il s'agit du coefficient de corrélation (r), de la moyenne des écarts vrais (mean_ei), de l'écart moyen quadratique (emq) et de l'écart moyen quadratique en anomalie (emq_norm). Pour le calcul en anomalie, la moyenne de la série est soustraite à chaque valeur de la série de donnée. Cela a pour effet de centrer les valeurs autour de zéro.

Sur la Garonne, seules dix stations virtuelles ont pu être comparées aux données in-situ, les autres étant trop éloignées de celles-ci. Les données des trois stations hydrométriques, situées entre Toulouse et Marmande, sont fournies par le Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la prévision des Inondations (SCHAPI) et mises en ligne sur la banque Hydro. Le zéro des échelles est connu dans le système NGF IGN-69. Les cotes d'eau des données satellitaires ont été converties dans le même système altimétrique de référence.

Les séries temporelles sur la Garonne pour les données Envisat et Jason-2 présentent une amplitude de 3,5 mètres et peuvent être très bruitées (surtout vers l'amont). Une forte dispersion des points autour de la valeur médiane est observée.

Ces séries présentent un biais (mean_ei) par rapport aux données in-situ. La valeur et le signe de ce biais sont dus principalement à la pente du fleuve entre la station in-situ et la station virtuelle. Si la station virtuelle est en aval de la station in-situ le biais aura un signe positif (en amont : négatif). La valeur du biais est égale à la dénivelée entre les deux stations (calculée à partir du MNT de l'IGN et de profils bathymétriques) et aux erreurs instrumentales. Toutes les données Saral (données en rose sur le Tableau I), sauf la station virtuelle SRL 188 n'ont aucune corrélation avec les données in-situ, (r inférieur à 0.5), ainsi que des biais et des écarts moyens quadratiques supérieurs aux données Envisat et Jason-2. Ces résultats proviennent d'un décrochage du satellite au moment de son passage sur la vallée de la Garonne. Pour l'ensemble des missions altimétriques, les erreurs sont plus grandes à Lamagistère (amont) qu'à Tonneins et à Marmande (aval).

Station Virtuelle	Station In-Situ	Distance (km)	Largeur Garonne à la S.V(m)	r	Mean_ei (m)	Emq (m)	Emq_norm (m)
ENV 773	Lamagistère	10,51	130	0,35	-8,66	8,80	1,55
SRL 773				-0,11	-103,87	103,21	8,31
ENV 646	Lamagistère	1,35	150	0,61	-1,60	1,80	0,82
SRL 646				-0,22	-104,33	104,36	2,35
ENV 188	Tonneins	2,45	200	0,86	0,23	0,45	0,42
SRL 188				0,90	1,77	1,90	0,69
Ja2 111 c	Tonneins	5,43	170	0,98	2,56	2,57	0,23
Ja2 111 c	Marmande	9,16	170	0,98	-4,03	3,80	0,19
ENV 315	Marmande	14,15	230	0,82	1,25	1,38	0,58
SRL 315				-0,84	-44,14	33,4	1,69

Tableau I : récapitulatif des paramètres calculés sur la Garonne (ENV=Envisat, Ja2 = Jason-2, SRL= Saral)

Sur le Mékong, obtenir des données in-situ est plus difficile. Seules des données de trois stations cambodgiennes ont pu être obtenues via le site internet de la « Mekong River Commission » (MRC). Elles couvrent seulement les périodes de mousson (de mai à octobre) entre 2008 et 2014. Aucune information concernant le géoréférencement des zéros des échelles n'est disponible.

Les séries temporelles Saral ont beaucoup de dates manquantes par rapport à celles d'Envisat et de Jason-2 et elles présentent une plus grande dispersion. L'amplitude des séries temporelles de ces satellites est cohérente avec la valeur attendue sur ce bassin soit environ 10 mètres pour le cours principal et le lac. De plus, le cycle hydrologique est visible.

Les biais observés sont plus faibles que sur la Garonne (inférieurs à deux mètres) bien que les distances entre les stations virtuelles soient plus élevées. Ceci s'explique par des pentes plus faibles sur le cours principal du bas du Mékong par rapport à la Garonne. Comme attendu l'écart moyen quadratique en anomalie est meilleur lorsque le fleuve est large et que la distance séparant les deux types de stations est faible. Les données Saral (données en rose sur le Tableau II) présentent des résultats cohérents avec Envisat et Jason-2, même si les erreurs sont plus importantes.

	Station Virtuelle	Station In-Situ	Distance (km)	Largeur Mékong (km)	r	Mean_ei (m)	Emq_norm (m)
Cours principal	ENV 866 S	Stung Treng	31,4	3,27	0,96	-0,12	0,66
	SRL 866 S				0,35	-0,18	2,99
	ENV 866 K	Kompom Cham	42,98	1,51	0,98	1,11	1,32
	SRL 866 K				0,99	1,00	1,90
	ENV 565	Kompom Cham	31,11	1,95	0,98	0,22	0,74
	SRL 565				0,81	1,53	2,56
Lac	ENV 952	Prek Kadam	127,59	19,79	0,97	0,065	0,60
	SRL 952				0,97	-0,12	0,72
	ENV 107	Prek Kadam	114,42	27,71	0,96	-0,19	0,69
	SRL 107				0,97	0,18	0,81
	Ja2 001	Prek Kadam	105,7	2,36	0,98	$2.3 \cdot 10^{-4}$	0,52

Tableau II : récapitulatif des paramètres calculés sur la Garonne

3. Analyse de la rétrodiffusion

L'analyse de la rétrodiffusion a pour objectif de relier les valeurs de rétrodiffusion avec la nature du sol. A chaque point de mesure le long des traces altimétriques a été affectée une nature de sol provenant des classifications d'occupation des sols (classification calculée par un partenaire du projet REGARD, le CESBIO, pour la Garonne et du Global Land Cover pour le Mékong). Le long de la trace des altimètres, les moyennes sur un kilomètre de tous les paramètres (latitude, longitude, temps, coefficient de rétrodiffusion) ont été calculées, elles ont été ensuite comparées à la classe de sol prédominante sur ces zones de 1 km de long.

Sur le bassin de la Garonne, la rétrodiffusion est constante toute l'année pour chaque nature du sol. Une augmentation de quelques décibels est constatée sur les données Saral en hiver. Cette variation provient d'une augmentation de l'humidité des sols à cette période (plus de précipitations). Les variations plus importantes observées sur les graphiques issus de Saral proviennent de la sensibilité plus élevée de la bande Ka à la pluie.

Sur le bassin du Mékong, une augmentation du coefficient de rétrodiffusion est observée au moment de la mousson. Cette hausse se produit au niveau des zones en eau (lac, rivière,...) et des zones de cultures ou irriguées. Des augmentations similaires, pour des zones de forêt, sont aussi observées pendant cette période. Ceci peut s'expliquer par la présence de petites zones en eau (rivières, lacs,...) dont le volume augmente à cause des pluies de mousson et qui sont détectés au travers de la canopée par le satellite (les bandes de fréquence des ondes électromagnétiques utilisées par les différentes missions spatiales traversent au moins partiellement la canopée). Outre, la présence de lacs et de rivières, la valeur du coefficient de rétrodiffusion est constant toute l'année pour la nature de sol « forêt ».

Sur les deux bassins deux types de sol se détachent de par leur valeur du coefficient de rétrodiffusion. Il s'agit de la classe « forêt » et de la classe « eau ». Cependant, seule la classe « eau » peut-être retenue. En effet, les résultats sur le Mékong montrent que la forêt dissimule d'autres natures de sol. Le seuil de rétrodiffusion qui détermine la présence d'eau varie suivant l'instrument utilisé (cf. Tableau III). Ces valeurs permettent de savoir s'il y a la présence d'eau au niveau du sol mais pas de faire la différence entre les sous-classes (eaux vives, eaux stagnantes, zones de culture). Par contre, cela pourrait permettre de raffiner temporellement les stations virtuelles.

Instrument	Bande	Valeur du coefficient de rétrodiffusion (dB)
Envisat	Ku	40
	S	40
Saral	Ka	25
Jason 2	Ku	40
	C	35

Tableau III : Valeur de seuil du coefficient de rétrodiffusion pour la classe « eau »

Conclusion et Perspectives

A un mois de la fin de l'étude, les séries temporelles montrent que la largeur du fleuve (de 430 m à 3270 m sur le cours principal du Mékong et de 130 m à 230 m sur la Garonne) ainsi que la topographie environnante ont une influence sur la qualité des mesures altimétriques satellitaire. L'étude de la rétrodiffusion montre qu'elle dépend de la nature du sol observé par le satellite. Cependant, il est difficile d'établir un lien et des seuils précis entre sa valeur et la nature exacte du sol.

Les causes du décrochage du satellite Saral, sur la Garonne, vont être étudiées plus en détail. Huit séries temporelles supplémentaires sont en train d'être créées, quatre stations virtuelles (deux Envisat et deux Saral) sur l'estuaire de la Gironde ainsi que quatre (une Envisat, deux Jason-2 et une Saral) sur la Dordogne entre Libourne et Pessac. Cela permettra d'avoir un total de 21 séries temporelles sur l'ensemble du bassin de la Garonne dont 14 qui auront fait l'objet d'une comparaison à des données in-situ. La fin du stage sera consacrée à l'étude de ces nouvelles données, ainsi que la création de stations virtuelles sur les zones d'inondation du Mékong. Ces nouvelles stations virtuelles permettront d'analyser le lien entre variabilité hydrologique et climat sur l'ensemble du bassin. En les combinant avec des estimations d'évolution temporelle des zones inondées dans le bassin elles serviront à quantifier les variations de volume d'eau de surface et leur variabilité interannuelle.

Evaluation des capacités d'une caméra 3D à temps de vol

Vers une exploitation métrologique de la SR4500

PFE présenté par : **Marion LABBE**
Société d'accueil : **CEREMA**
Directeur(trice) de PFE : **C. HEINKELE, V. MUZET**
Correcteurs(trices) : **P. GRUSSENMEYER**



1. Introduction et contexte

Mon PFE a été réalisé au sein du groupe *Méthodes Physiques* du laboratoire de Strasbourg, spécialisé dans la photométrie routière, l'analyse d'images, les techniques stéréoscopiques et interférométriques. Ma mission a consisté à étudier les potentialités d'une caméra 3D : la SR4500 de Mesa Imaging. Les données issues de l'appareil pourraient permettre de compléter celles déjà fournies par les dispositifs existants au Cerema pour la mesure des panneaux de signalisations ou des marquages routiers.

Optimisée pour la détection, cette caméra fournit des données « clés en main » déjà calibrées pour une utilisation directe. Sans les mettre de côté, ce projet propose de répartir des mesures brutes de distance et d'intensité. Un protocole d'acquisition, des prétraitements et des modèles de calibrages établis suite aux expérimentations ont permis de traiter les mesures brutes. Enfin, les résultats ont été comparés à ceux de Mesa ainsi qu'à des données extérieures.

L'étude de la caméra s'est déroulée en plusieurs étapes :

- une **recherche bibliographique** conséquente qui a permis de se familiariser avec la technologie étudiée et les méthodes de traitements,
- la mise en évidence et l'évaluation de l'**impact des paramètres d'influence**, en accord avec la littérature,
- la mise en place de la **chaîne d'acquisition** permettant de minimiser des erreurs environnementales,
- la mise en place de la **chaîne de traitements** permettant la correction des données a posteriori par le biais de prétraitements et de calibrages,
- la **vérification** de l'ensemble des données corrigées et la comparaison avec celles fournies par le fabriquant.

2. Matériel et méthodes

La plupart des caméras 3D actuelles fonctionnent sur le principe de mesure par différence de phase. Cette technique consiste à comparer l'onde émise et l'onde reçue et d'en déduire le déphasage proportionnel à la distance. Bien que la taille des capteurs soit encore limitée par la technologie, chaque pixel de la caméra est indépendant et fournit une distance et une amplitude. Pour une seule acquisition, on obtient donc des dizaines de milliers de points.

Le choix d'une caméra 3D a été motivé par des aspects uniques à cette technologie : la possibilité d'acquérir un grand nombre d'images en peu de temps, des cadences d'acquisition adaptées aux mesures en dynamique, des distances de mesures pouvant aller jusqu'à 10 m ou encore la possibilité, pour certaines, d'être utilisées en extérieur. Les exactitudes et précisions obtenues après corrections dans la littérature sont centimétriques voire millimétriques (Kahlmann 2006). Néanmoins ces caméras présentent une forte sensibilité à des paramètres internes ou externes, largement explorés dans la littérature (Foix 2011). L'état de l'art a permis de dégager les principales sources d'erreurs ayant un impact sur des caméras 3D antérieures au modèle étudié. Il a également servi à explorer les différentes méthodes de calibrages (Lichti 2011), nécessaires à cette technologie, et à avoir un aperçu des résultats auxquels on peut s'attendre. Un protocole d'acquisition spécifique a été mis en place afin de limiter les effets environnementaux. Certaines erreurs aléatoires n'ont pu être éliminées qu'en post-traitement par l'application d'un filtrage adéquat, ou sont simplement responsables d'erreurs

résiduelles. Enfin, certains paramètres d'influence ont été corrigés via des calibrages s'ils génèrent des erreurs systématiques.

Considérant l'utilisation de la caméra pour la détection ou la mesure de marquages routiers, certaines contraintes doivent être prises en compte. Les **distances** de mesure sont d'environ **6 mètres** et des expérimentations en **dynamique** sont envisagées ce qui implique des **cadences d'images importantes**. Par ailleurs, des **surfaces planes** sont privilégiées.

Deux outils sont à disposition pour acquérir et/ou traiter les données : un logiciel propriétaire (SR3DView) permettant de visualiser et d'enregistrer les images de la caméra, et une librairie permettant d'envoyer des instructions à la caméra via Matlab. Comme le logiciel fourni par Mesa ne permet pas de maîtriser tous les paramètres d'acquisition, les différents développements ont été effectués sous Matlab.

3. Résultats

Pour améliorer la qualité des données de la caméra, deux étapes sont effectuées. Dans un premier temps il s'agit d'évaluer les paramètres d'influence de la caméra et de choisir des paramètres d'acquisition adéquats. Puis on applique des prétraitements et des modèles de calibrages aux données.

A. Paramètres d'influence et choix des paramètres d'acquisition

Comme la caméra est équipée de semi-conducteurs, sa **sensibilité à la chaleur** influe sur les mesures. De ce fait, il faut attendre un certain temps avant que la mesure en distance ne se stabilise. Mesa annonce sur la fiche technique de la caméra que la mesure de distance peut varier jusqu'à 1 mm/°C entre 0 et 50°, mais que ce phénomène est limité à moins de 0.5 mm entre 20°C et 30°C.

La **fréquence d'acquisition** détermine la distance maximale à laquelle la caméra peut effectuer ses mesures : une fréquence de **30 MHz** permet de mesurer des distances jusqu'à **5 m** tandis qu'une fréquence de **15 MHz** permet d'aller jusqu'à **10 m**.

Le **temps d'intégration** permet de fixer le temps durant lequel les pixels peuvent collecter des photons. Il augmente également le nombre de données permettant de calculer les distances. Ce temps influence directement la valeur de l'amplitude, de la distance, et du nombre d'images par secondes. Un temps d'intégration court permet d'atteindre jusqu'à 30 images par secondes mais génère plus de bruit, tandis qu'un temps d'intégration long améliore la qualité de la mesure mais n'autorise pas plus de 10 à 15 images par secondes.

L'étude de ces grandeurs d'influence a permis d'optimiser les paramètres d'acquisition. Une expérimentation en laboratoire a mis en évidence l'influence du temps d'intégration et du temps de chauffe de la caméra sur la mesure de distance.

La figure 1 a été tracée suite à des acquisitions en incidence normale face à un plan. On constate deux phénomènes:

- 1) le temps de chauffe de la caméra est d'environ 40 minutes pour le temps d'intégration le plus long (20 ms)
- 2) le temps d'intégration fait fortement varier la mesure de distance (jusqu'à 15 cm).

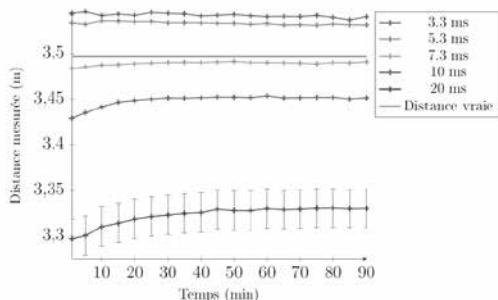


Figure 1 : données brutes de la distance (non corrigées) sur une zone centrale du capteur mesurée en fonction du temps pour une fréquence de 15 MHz. A t=0, la caméra commence à chauffer. La distance vraie a été mesurée au distance-mètre et correspond à la distance orthogonale au plan. Sur la courbe 20 ms on a représenté les écart-types qui ne varient ni au cours du temps, ni en fonction du temps d'intégration.

Concernant la répétabilité, l'écart-type calculé pixel par pixel sur 50 acquisitions en distance sur un plan est inférieur au centimètre pour les pixels centraux, comme le montre la figure 2 b. Cet écart peut aller jusqu'à 3 cm en ne considérant que deux images. Ces résultats rejoignent ceux du constructeur sur la répétabilité annoncée d'environ 1 cm au centre. Effectuer un nombre important d'acquisitions successives permet donc de réduire le bruit.

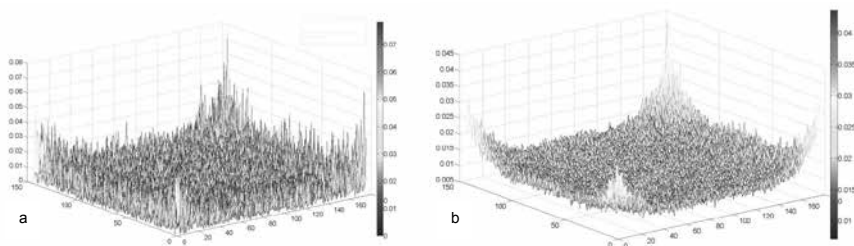


Figure 2 : Ecarts-types pixel par pixel à une distance de 2 m, un temps d'intégration de 10 ms et une fréquence de 15 MHz. a. Ecarts-types calculés sur 2 acquisitions successives, b. sur 50 acquisitions successives.

B. Application des modèles de correction

Un prétraitement des données permet d'améliorer la qualité des acquisitions avant l'application des modèles de correction. Il comporte **trois parties**. Dans un premier temps, la **médiane pixel par pixel** est calculée à partir des 50 acquisitions pour former l'image médiane. Puis les distances radiales sont transformées en **coordonnées cartésiennes** par l'application du modèle de géométrie projective. Enfin les valeurs fausses sont éliminées par **seuillage spatial** (pour les plans, on calcule des distances euclidiennes à un plan ajusté) et **d'amplitude**.

Des modèles de corrections seront appliqués par **deux calibrages successifs** : un premier de type **photogrammétrique** suivi d'un second en **distance**.

Le **calibrage photogrammétrique** permet d'obtenir un nuage de points corrigé des distorsions radiales ainsi que les paramètres intrinsèques de la caméra (focale et point principal). La figure 3 permet de constater la nécessité de ce calibrage puisque les images en amplitude sont fortement distordues. La focale trouvée est d'environ 10 mm et le point principal est décalé par rapport au centre théorique (88,72) de 2 et 5 pixels respectivement. Le modèle de distorsions radiales est un polynôme de degré 4 dont on ne considère que les coefficients pairs. Ces paramètres ont été confirmés à l'occasion d'un deuxième calibrage réalisé trois mois plus tard.

Le **calibrage en distance** permet de réduire les décalages constatés dans la figure 1. Comme ils dépendent du temps d'intégration, la méthode de calibrage sera adaptée à un temps d'intégration particulier. Il existe deux modèles de calibrages principaux : l'un considère une B-spline calculée à partir de plusieurs mesures en distance (Lindner 2006). L'autre génère des tables de correspondances par distances de calibrage, interpolées pour les distances intermédiaires (Kahlmann 2006). Dans le premier cas, le calibrage pixel par pixel nécessite un calibrage global préalable, tandis que le second propose une correction directe pour chaque pixel mais génère une table de correction par distance mesurée. Dans le cadre de ce projet, un modèle de correction des distances simple basé sur une modélisation linéaire de la distance a été élaboré. La distance mesurée est modélisée par une fonction linéaire : $D_{modèle} = a \cdot D_{mesurée} + b$. L'expérimentation a permis de fournir un plan mesuré par la caméra et un plan calculé grâce à des données tachéométriques pour plusieurs distances entre 0.8 m et 9 m. Pour chaque plan ainsi acquis et pour chaque pixel, on ajuste au mieux les coefficients a et b pour minimiser l'écart entre la distance modélisée et la distance vraie. A l'issue de cette expérimentation, on a obtenu un **doublet de coefficients (a,b) par pixel** qui constitue de modèle de calibrage en distance.

C. Comparaison aux données du constructeur

La chaîne de traitements permet d'obtenir des données corrigées comparables à celles fournies par le constructeur. Des comparaisons entre les deux nuages obtenus ont été effectuées, ainsi que par rapport à une référence externe plus précise.

Sur des acquisitions de plans (mur blanc), on a calculé l'écart entre le nuage de points fourni par Mesa et un plan ajusté. On a effectué la même opération pour les nuages obtenus après application de la chaîne de correction. La figure 4 montre que les écart-types en distance par rapport au plan ajusté sont plus élevés d'environ 1 cm pour les données Mesa que pour les plans corrigés.

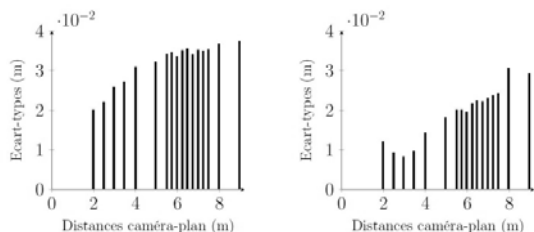


Figure 4 : écarts aux plans ajustés pour différentes distances.

A gauche : par rapport aux plans fournis par Mesa, à droite : par rapport aux plans corrigés.

4. Conclusions et perspectives

Ce projet avait pour but l'exploration et l'évaluation des capacités d'une caméra 3D dans un objectif métrologique. Pour répondre à cet objectif, une chaîne d'acquisition et de traitements des données a été élaborée permettant de maîtriser les paramètres d'acquisition pour pouvoir ensuite traiter les nuages de points et leur appliquer des modèles de calibrages.

Le temps d'intégration de 3.3 ms (30 images/seconde) et une fréquence de 15 MHz ont été choisis, et le calibrage en distance a été adapté à ces paramètres. Le temps de chauffe de la caméra a été respecté avant chaque expérimentation. Par ailleurs, on a effectué 50 acquisitions successives dont on a pris la médiane pixel par pixel pour limiter le bruit de la mesure. Enfin, les calibrages ont permis de corriger la géométrie et les distances.

Les nuages de points corrigés fournis par Mesa et ceux fournis par la méthode mise en place ont été comparés et on constate une amélioration des précisions à différentes distances.

La caméra 3D est une technologie permettant la mesure de distances et d'intensité. Associer ces données à celles d'autres capteurs constitue une perspective intéressante pour augmenter la quantité et améliorer la qualité des mesures. La littérature présente de nombreuses références traitant du couplage stéréo/caméra 3D (Gudmundsson 2008) ou encore appareil photo/caméra 3D comme le fait déjà Microsoft avec la Kinect. La stéréoscopie est une technique maîtrisée par le groupe *Méthodes Physiques* et régulièrement utilisée, adaptée aux mesures en dynamique. Grâce à ses cadences d'acquisitions plus élevées, la caméra 3D pourrait fournir plus de données en distance, ainsi que des images en amplitudes, qui constituent des éléments intéressants pour la détection d'objets d'intérêt.

Références bibliographiques

Foix, S., & Aleny, G. (2011). Lock-in Time-of-Flight (ToF) Cameras : A Survey. *IEEE Sensors Journal*, 11(3), 1–11.

Gudmundsson, S. A., Aanaes, H., & Larsen, R. (2008). Fusion of stereo vision and Time-Of-Flight imaging for improved 3D estimation. *International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications*, 5(3/4), 425. doi:10.1504/IJISTA.2008.021305

Kahlmann, T., Remondino, F., & Ingensand, H. (2006). Calibration for increased accuracy of the range imaging camera Swissranger. In H.-G. Maas & D. Schneider (Eds.), *Proceedings of the ISPRS Commission V Symposium "Image Engineering and Vision Metrology"* (pp. 136–141). Dresden, Germany: IAPRS Volume XXXVI, Part 5.

Lichti, D. D., & Kim, C. (2011). A comparison of three geometric self-calibration methods for range cameras. *Remote Sensing*, 3, 1014–1028. doi:10.3390/rs3051014

Lindner, M., & Kolb, A. (2006). Lateral and Depth Calibration of PMD-Distance Sensors. *Advances in Visual Computing*, 4292(4292/2006), 524–533. doi:10.1007/11919629_53

Apport de l'information radiométrique à la segmentation et à l'extraction de contours à partir de nuages de points

PFE présenté par : **Marion ROY**
Société d'accueil : **Laboratoire ICube**
Equipe TRIO/INSA Groupe PAGE
Directrice de PFE : **Tania LANDES**
Correcteurs : **Emmanuel ALBY**



1. Introduction

Dans un entretien accordé au Moniteur en mars 2014, Cécile Duflot, alors ministre du Logement et de l'Égalité des territoires, déclarait que le BIM (Building Information Modeling) serait progressivement rendu obligatoire sur les marchés publics d'ici à 2017. En janvier 2014, l'Union Européenne a adopté la directive "marchés publics", incitant les pays membres à encourager, spécifier ou rendre obligatoire le BIM d'ici à 2016, pour les constructions et bâtiments financés par des fonds publics. L'utilisation du numérique dans le secteur de la construction et du bâtiment est donc en plein essor. C'est dans ce contexte que l'OGE¹ a choisi de proposer une thèse, intitulée "*Modélisation tridimensionnelle à partir de nuages de points en vue de l'élaboration de maquette numérique de bâtiments (BIM)*". Celle-ci est en cours de réalisation au sein de l'INSA de Strasbourg, par Hélène Macher. La problématique proposée est de développer une méthode permettant d'automatiser le passage du nuage de points au BIM et de mettre en valeur les contraintes imposées par l'intégration des données terrain en son sein. Avec le développement des maquettes numériques, les nuages de points deviennent des données de plus en plus utilisées.

Plusieurs problèmes vont se poser aux fournisseurs de BIM. D'une part, si les temps d'acquisition et d'enregistrement des données issues de nuages de points diminuent sans cesse, leur traitement reste très chronophage. D'autre part, la création de maquettes numériques demande un niveau de segmentation suffisant pour déceler des détails à l'échelle du bâtiment, tels que des linteaux, des cadres de portes, des percements... Si la géométrie tridimensionnelle du nuage permet de déceler des plans ou des formes géométriques régulières (sphères, cylindres...), caractérisés par des relations telles que le parallélisme ou la perpendicularité, son utilisation pour détecter des objets au sein d'un même plan est beaucoup plus complexe.

Ce Projet de Fin d'Etude s'inscrit dans la recherche d'une solution à ces deux problèmes.

2. Problématique

L'exploitation de la géométrie comme seule source de données a été et est l'objet de nombreux travaux, visant à créer des modèles 3D et des coupes. La photogrammétrie traditionnelle permet de compléter les données extraites en apportant les détails (texture, éléments d'architecture...).

En plus de la géométrie, tous les scanners laser terrestres fournissent une information radiométrique, en enregistrant en simultané l'intensité du signal retour. La plupart d'entre eux permettent également la prise de photographies en marge des acquisitions précédentes. L'utilisateur est donc en possession de deux types de données : géométriques et radiométriques. Les composantes rouge, vert, bleu (RVB) de ces dernières ne sont que rarement considérées comme une source d'informations à part entière, leur utilisation étant plutôt réservée au texturage ou à l'obtention de détails. Pourtant, elle nous apparaît comme un bon moyen de détecter des éléments de construction, en se basant sur les différences de couleurs pouvant exister entre un mur et un encadrement de porte par exemple. La même remarque peut être faite au sujet de la composante intensité.

Le but de notre étude sera donc d'étudier l'apport de la radiométrie à la détection de contours au sein d'un nuage de points acquis par scanner laser terrestre.

¹ Ordre des Géomètres-Experts

3. Approche développée

Notre approche s'est scindée en deux parties. En effet, une Analyse en Composantes Principales (ACP) et des raisons matérielles nous ont incités à considérer séparément les données disponibles, en exploitant, séparément, l'intensité et la couleur. Pour cela, deux fonctions ont été développées.

3.1. Données et remarques préalables

Notre travail et la partie programmation qui en découle devront s'inscrire dans les algorithmes développés par Hélène Macher sous Matlab. Ceux-ci permettent à l'heure actuelle d'obtenir une segmentation en pièces. De ces pièces sont ensuite extraits les plans majeurs verticaux et horizontaux. Au sein de ces entités, il sera ensuite possible de détecter les ouvertures. Nos fonctions devront donc supporter l'une ou les deux produits issus de ces différentes étapes : les plans horizontaux et/ou les zones tampons contenant une ouverture.

Pour tester les algorithmes, nous avons à notre disposition deux jeux de données principaux, acquis avec un scanner laser Faro Focus^{3D} X330. Le premier nuage (figure 1) résulte d'un balayage d'une maison individuelle et le second (figure 2) du rez-de-chaussée et du 1^{er} étage d'un des bâtiments de l'INSA. Un troisième a été mis à notre disposition par le cabinet Schaller-Roth-Simler. Il s'agit dans ce dernier cas d'une maison bourgeoise, où seule l'intensité a été acquise.



Figure 1 : Nuage de points d'une maison individuelle

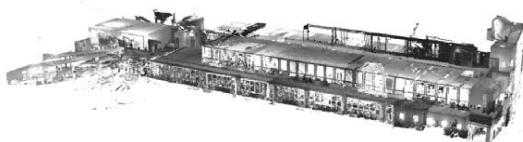


Figure 2 : Nuage de points de l'INSA de Strasbourg

L'étude de ce dernier nuage et de celui de l'INSA a permis de faire deux constats. Tout d'abord, la position du scanner influence fortement la valeur de l'intensité, qui présente des variations importantes, liées à l'angle d'incidence et à la distance entre l'appareil et l'objet. Cette remarque devra être gardée à l'esprit tout au long de notre étude. Ensuite, il est possible de caractériser certaines catégories de points grâce aux particularités que présente leur intensité. Ainsi, les intensités très faibles (inférieures à 20, sur une échelle de 0 à 255) correspondent généralement aux surfaces vitrées et artefacts qui résultent de leur acquisition. Cette constatation a permis de réaliser un premier filtrage des nuages et d'isoler ces entités.

3.2. Exploitation de l'intensité

Afin d'exploiter l'intensité, les nuages des pièces ont été préalablement segmentés manuellement, afin de se rapprocher des produits des algorithmes d'Hélène Macher. Des sous-nuages ont donc été créés, en conservant les ouvertures et une zone périphérique. Ces éléments constituent les données d'entrée de notre solution.

L'exploitation de l'intensité est basée sur l'étude des histogrammes des fréquences des données. Il a en effet été remarqué que les différentes parties d'un nuage (portes, linteaux, murs...) occupaient des intervalles d'intensité distincts, créant des pics sur ces derniers. La méthode mise en place consiste donc à les approximer par une courbe lissée, afin de pouvoir détecter les maxima et les minima adjacents respectifs (figure 3).

Pour extraire les pics, sont conservés tous les points dont l'intensité appartient à un intervalle, dont le centre est un maximum et le rayon est la distance au minimum le plus proche. Les régions obtenues sont ensuite triées (figure 4).

S'il le souhaite, l'utilisateur peut ensuite choisir d'extraire les bords, grâce à l'algorithme développé par Boulaassal (2010) et repris par Bidino (2013). Cependant, ce dernier est à utiliser avec précaution, car il exige que les nuages en entrée soient suffisamment denses et peu bruités.

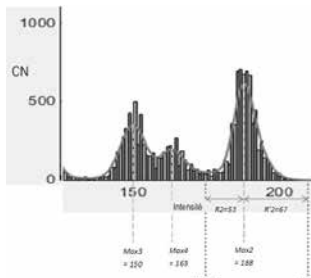


Figure 3 : Seuillage d'un histogramme d'intensité

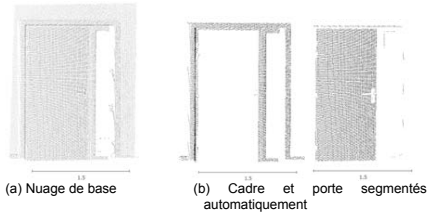


Figure 4 : Résultats de la segmentation par seuillage d'histogramme d'intensité

3.3. Exploitation de la couleur

Diverses méthodes, largement inspirées de la télédétection, ont été envisagées. Des processus de classification non supervisée, tels que les *k-means* et leur variante *Isodata*, nous semblaient intéressants. Cependant, plusieurs freins sont apparus lors de leur utilisation. Leur compréhension nous a permis de dégager les attentes relatives à la solution proposée :

- S'inscrire dans la continuité des travaux menés en thèse
- Minimiser l'influence des conditions d'acquisition et notamment d'éclairage
- S'affranchir de l'expérience de l'utilisateur
- Garantir la répétabilité, en évitant les processus aléatoires

La solution qui nous semblait la plus à même de répondre, dans l'ordre, à ces problématiques, est inspirée du maximum de vraisemblance. Le choix à cette fois été fait de travailler sur les plans majeurs verticaux dans leur intégralité, et non plus sur des sous-nuages, comme ceux réalisés lors de l'exploitation de l'intensité. L'algorithme développé procède en plusieurs étapes.

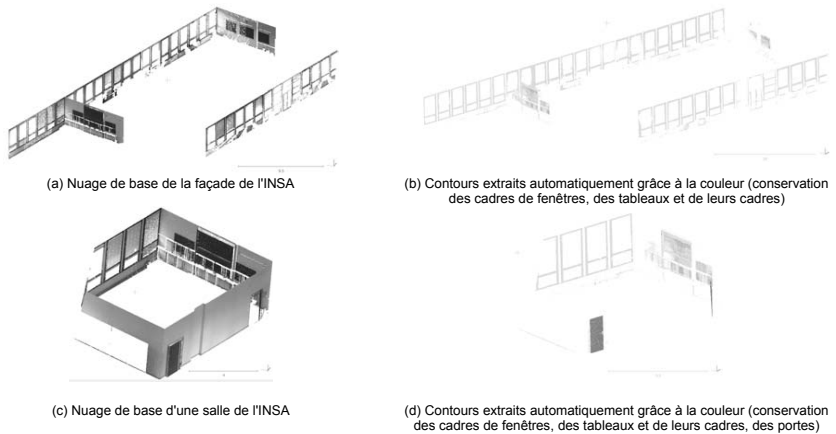


Figure 5 : Résultats de segmentation, obtenus avec l'algorithme basé sur la couleur

La première est la sélection de différentes zones échantillons décrivant chaque classe d'objets, ou noyaux, présente au sein du nuage. Leur choix, lorsqu'il est judicieux, permet de caractériser aussi bien les zones « normale » que celles présentant des caractéristiques particulières (ombres, reflets). Une phase d'apprentissage est ensuite nécessaire, afin de calculer les paramètres statistiques relatifs à chacune des zones échantillons.

Une troisième étape a été ajoutée, afin de minimiser l'influence de l'utilisateur et d'éviter les erreurs de saisie. Un tri des échantillons est donc effectué, afin d'écartier des calculs ultérieurs ceux présentant des comportements spectraux singuliers.

La quatrième étape consiste à calculer, pour chaque point i , sa probabilité d'appartenance P_j aux différents échantillons, en utilisant la règle de Bayes.

Lors d'une cinquième étape, le point i est affecté à la classe pour laquelle P_j est maximale. Un seuil de rejet peut être fixé. Tout point pour lequel P_j est inférieure à ce seuil, et ceci quel que soit l'échantillon, est maintenu comme *non-classé*.

Une sixième phase, dite de généralisation, est proposée à l'utilisateur. Elle permet, en se basant sur la géométrie, de classer les points k non classés, grâce à l'examen de leurs plus proches voisins. Si plus de 50% d'entre eux appartiennent à la même classe j , alors k est intégré à j (figure5).

4. Résultats

4.1. Analyse qualitative

Une analyse qualitative permet de se rendre compte que la plupart des contours apparaît grâce à l'une et l'autre méthode, bien que des erreurs de classification subsistent.

4.2. Analyse quantitative

- Exploitation de l'intensité

Des segmentations de référence ont été réalisées sur les sous-nuages mentionnés au paragraphe 3.2. Des matrices de confusion ont ainsi pu être calculées. Elles montrent que 88% des points sont bien attribués. Si l'on se concentre uniquement sur les zones d'intérêt, la précision pour l'utilisateur (pourcentage de pixels d'une classe de référence affectés à la même classe par la classification) vaut en moyenne 88%.

- Exploitation de la couleur

Il a tout d'abord été choisi de qualifier l'apport de l'étape de généralisation. Pour cela, des tests ont été effectués sur plusieurs nuages de pièces entières (figures 5 a et c par exemple), en faisant varier les seuils de tri et de rejet. Cela a permis de montrer qu'à l'issue de cette sixième étape, le pourcentage de points classés est, dans tous les cas, supérieur à 99%.

Il s'agissait ensuite de vérifier que ces points étaient correctement attribués aux différentes classes. Les segmentations de référence exploitées pour l'intensité ont été réutilisées, auxquelles se sont ajoutées celles réalisées sur les nuages de pièces complètes. Les résultats sont les suivants :

- Sur les nuages tests constitués d'une ouverture et d'une zone tampon : 79% des points sont bien classés
- Sur les nuages des pièces, 48% des points sont bien attribués.

Ce dernier pourcentage, très faible, peut s'expliquer par la confusion qu'il existe entre les zones de teintes très proches, telles qu'un mur et des stores blancs, une plinthe gris clair et des zones de reflet. Si l'on se concentre uniquement sur les zones d'intérêt, sur la première catégorie de nuages tests, où peu de confusions sont possibles, la précision pour l'utilisateur est égale en moyenne à 88%, avec un écart-type de 8%.

5. Conclusion et perspectives

Deux méthodes bien distinctes ont été mises au point et testées afin d'exploiter la radiométrie associée au nuage de points. Le choix qui a été fait de séparer l'intensité de la couleur permet de traiter différents types de nuages, soit de petites tailles avec une prédétermination grossière des lieux de contours, soit à l'échelle d'une pièce. Un des avantages de l'algorithme sur la couleur est que les échantillons saisis dans une pièce peuvent être utilisés au sein d'une autre salle, si le bâtiment est de construction régulière et que les conditions d'éclairage varient peu. En effet, ces dernières sont responsables de la plupart des erreurs de classification basées sur l'information RVB observée. A l'inverse, l'intensité n'est que très peu affectée par la lumière. Elle est par contre dépendante de la position du scanner.

Ces dernières remarques, sur les sensibilités des composantes radiométriques, ouvrent une perspective quant à une possible exploitation combinée de ces grandeurs.

D'autre part, un nuage a également été acquis à l'extérieur de l'INSA, sur la façade sud. Il semblerait intéressant de confronter les exploitations de celui-ci avec celle des jeux de données intérieurs afin, par exemple, de confirmer la présence d'une ouverture, et de pouvoir en confirmer la nature (fenêtres, portes...).

Enfin, une combinaison de la radiométrie avec la géométrie doit être envisagée. En effet, elle permettrait, dans un premier temps, de compléter, à partir d'un contour de référence, les zones de même nature mais présentant des masques. Dans un second temps, la reconnaissance des formes permettrait de classer les types de contours et compléter ainsi la partie sémantique du BIM.

Mise en œuvre d'un processus global de gestion technique d'informations géographiques d'urbanisme en vue de la production d'une simulation d'aide à la décision concernant le potentiel d'urbanisation d'une commune.

PFE présenté par : **Rémi TEUMA**
Société d'accueil : *Métropole Nice Côte d'Azur*
Directeur de PFE : *Olivier MARCUCCI*
Correcteur : *Emmanuel ALBY*



1. Un contexte juridique en pleine mutation

Depuis les lois Grenelle, l'Etat français affiche clairement une volonté d'harmonisation des documents d'urbanisme. En effet, en accord avec la directive INSPIRE qui développe une politique de développement durable, la France a pour but de simplifier la consultation des documents d'urbanisme. Ainsi, par une succession de lois relatives à l'urbanisme et à l'intercommunalité, le service de la planification urbaine de la métropole de Nice Côte d'Azur (NCA) doit faire face à deux obligations majeures. La première, rendue obligatoire par l'ordonnance du 19 décembre 2013, concerne la dématérialisation des documents d'urbanisme en vigueur et leur transmission aux services de l'Etat à compter du 1er janvier 2016. Cette action prépare l'ouverture, prévue en 2020, d'un portail national permettant la consultation de l'ensemble des documents d'urbanisme français. La seconde, introduite par la loi ALUR, est la création d'un plan local d'urbanisme (PLU) couvrant l'ensemble du territoire de la métropole (PLUM ou métropolitain). Cette action a pour but de créer des politiques d'urbanisation plus cohérentes et ainsi de lutter contre l'étalement urbain. De plus, la loi ALUR renforce les obligations des PLU en matière d'analyse de la consommation d'espaces. Ainsi, elle prévoit que les PLU devront intégrer une analyse des capacités de densification de leurs territoires dans leurs rapports de présentation.

L'étude menée pendant ce projet de fin d'études découle directement de ces deux obligations. En effet, les deux objectifs majeurs de ce projet sont de proposer une méthode de contrôle des informations géographiques produites en dématérialisant les documents d'urbanisme, et de créer une simulation permettant de mettre en valeur le potentiel d'urbanisation d'une commune.

2. La dématérialisation des documents d'urbanisme de la métropole NCA

Selon l'institut d'aménagement et d'urbanisme d'Île-de-France, qui définit le PLU comme une composition de données textuelles et graphiques, il serait important de formater, de rendre facile d'accès et de bien maîtriser ces données, dans le but d'améliorer l'information du public et des pétitionnaires, le traitement des demandes d'urbanisme par les services instructeurs du droit des sols et l'observation du développement territorial. (Cocquièrre et Watkin, 2015)

Consciente de l'intérêt de la démarche soulignée par la déclaration de l'institut d'aménagement et d'urbanisme, l'intercommunalité de Nice a lancé le processus en fin d'année 2011. L'entreprise GB infographie a donc commencé la production d'une base de données géographique des documents d'urbanisme de 26 communes de la communauté urbaine NCA. Cependant, en 2012 la fusion de plusieurs communautés urbaines donne naissance à la Métropole NCA avec l'entrée de 23 nouvelles communes. Comme prévu dans le marché, GB infographie a donc vu sa charge de travail augmenter, et est devenue garante de la dématérialisation des documents d'urbanisme des 49 communes.

Aujourd'hui, la quasi-totalité des documents d'urbanisme ont été dématérialisés et l'équipe responsable des Systèmes d'Information Géographique (SIG) du service de la planification urbaine de la métropole NCA a commencé une opération de contrôle de grande ampleur. Ces travaux ont pour but de vérifier que les données produites par le prestataire sont conformes au Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) mais aussi à une nomenclature créée par le Conseil National de l'Information Géographique (CNIG). Cette nomenclature a pour objectif de construire une mémoire collective et pérenne, d'améliorer l'échange de l'information, et de simplifier l'accès aux documents. Elle présente aussi l'avantage de respecter la directive européenne INSPIRE.

Depuis 2007, le CNIG ne cesse de faire évoluer sa nomenclature grâce aux nombreux retours effectués par les collectivités et les services de l'Etat. Ainsi le CNIG, dans un document produit en octobre 2014, spécifie une méthode de saisie, de structuration et de représentation des données. Il recommande aussi la vérification des travaux de dématérialisation par l'autorité compétente en matière de PLU.

3. Le contrôle de la dématérialisation

Avec la création de la base de données des documents d'urbanisme, l'objectif premier de la métropole était de pouvoir simplifier l'accès à ces documents. C'est pourquoi un premier contrôle de ces données est effectué par un ensemble de vérifications visuelles visant à valider l'exhaustivité de la commande et la compatibilité avec une géodatabase créée par le service SIG de la métropole NCA. L'intérêt de cette géodatabase est de permettre à l'ensemble des services de la métropole la consultation des documents d'urbanisme dématérialisés.

Ce premier contrôle, très efficace en ce qui concerne le système de projection, la forme ou encore le contenu des tables attributaires, semble être un peu moins adapté aux exigences géographiques du CCTP ou du standard CNIG.

Certaines anomalies géométriques ou topologiques posent problème à l'exploitation des données. En effet, des superpositions de polygones d'une même classe, des discontinuités sémantiques, des « trous » ou des défauts géométriques majeurs (auto-intersection, géométrie nulle...) apparaissent sur certaines communes.

Un des objectifs de l'étude menée ici, est de proposer un système permettant de détecter ces anomalies géométriques et topologiques afin de simplifier leurs corrections. Il n'est pas prévu qu'elles soient corrigées de manière automatique car l'exploitation et la correction des documents d'urbanisme peuvent parfois nécessiter une interprétation humaine des plans.

Au vu des différentes contraintes auxquelles le contrôle de ces données doit se plier, et suite à une réflexion menée en début d'étude, une méthodologie de contrôle (ModelBuilder) sous la forme d'un ensemble de traitements ArcMap a pu être proposée. Celle-ci permet notamment de détecter les différentes anomalies citées auparavant.

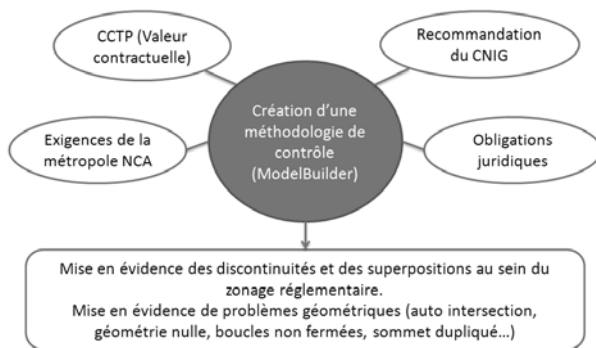


Figure 1 - Représentation schématique des contraintes et des résultats de la nouvelle méthode de contrôle de données.

Cette nouvelle méthode de contrôle permet donc de mettre en évidence certaines erreurs géographiques et topologiques qu'un contrôle visuel peut difficilement détecter. Ainsi, par le contrôle des polygones et des informations présentes dans les tables résultant de l'exécution du ModelBuilder il est possible de valider les données et de les exploiter.

4. L'exploitation des documents dématérialisés

Le deuxième axe d'étude de ce projet était de proposer une simulation permettant de mettre en valeur le potentiel d'urbanisation d'une commune, c'est-à-dire qu'il était question de chiffrer la surface de plancher résiduelle réglementairement constructible sur ce territoire au vu de son PLU. Ce travail faisant partie intégrante du rapport de présentation du futur PLUm permet d'identifier les espaces disponibles pour une urbanisation nouvelle.

Selon une étude réalisée en 2012 par une collaboration entre le centre d'études techniques de l'équipement (CETE) et le centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU), évaluer les capacités d'urbanisation future d'une commune à PLU constant implique de prendre en compte :

- Les droits à bâtir et les règles de prospects fixés par la commune
- La configuration et les possibilités de desserte, la viabilisation de la zone
- L'occupation et la topographie des terrains
- Les possibilités de densification selon la surface résiduelle et les formes urbaines environnantes
- Les enjeux de préservation et de gestion de l'espace au regard des risques naturels et technologiques, de l'environnement et du patrimoine.
- L'intention du propriétaire

Pendant les travaux menés au sein de la métropole NCA, il a été décidé d'écarter la topographie des terrains et la volonté des propriétaires, afin que l'étude reste au plus proche des règlements d'urbanisme. En effet, l'une des volontés de la métropole était de mettre en valeur les possibilités maximales de construction réglementairement autorisées. Il a donc été considéré que, ni la topographie (modifiable par des travaux), ni la volonté des propriétaires (critère très peu stable) n'est une contrainte. L'hypothèse de base de la simulation peut être définie comme une volonté de saturer les droits à bâtir peu importe le prix ou l'intérêt que ces constructions pourraient avoir. Cette simulation s'appuie sur 3 bases de données :

- Le PLU dématérialisé (zonage réglementaire et prescription surfacique),
- Le plan cadastral informatisé (PCI) sous forme vecteur,
- La BD Topo de l'IGN (Routes, espaces publics et Bâtiments).

La commune choisie pour cette étude est Carros, située au nord de Nice, elle présente de nombreux avantages en tant que commune test. En effet, elle présente sur un territoire d'environ 15 km² quatre types d'urbanisation différents. Une représentation géographique de ces quatre zones est présentée en figure 2.

Ces quatre zones, urbanisées différemment, ne présentent pas la même typologie de construction. Ceci justifie donc le choix d'estimateurs différents en ce qui concerne le calcul de la surface de plancher existante.

A ce jour le calcul de la surface de plancher résiduelle de la commune de Carros n'est pas encore effectué, cependant une méthode a été établie. En cours de mise en pratique informatique sur le logiciel ArcMap, cette méthode applique des contraintes directement fournies par les règlements d'urbanisme en vigueur. La saisie informatique manuelle de ces contraintes est à évaluer en amont pour vérifier que cela ne soit pas trop chronophage.

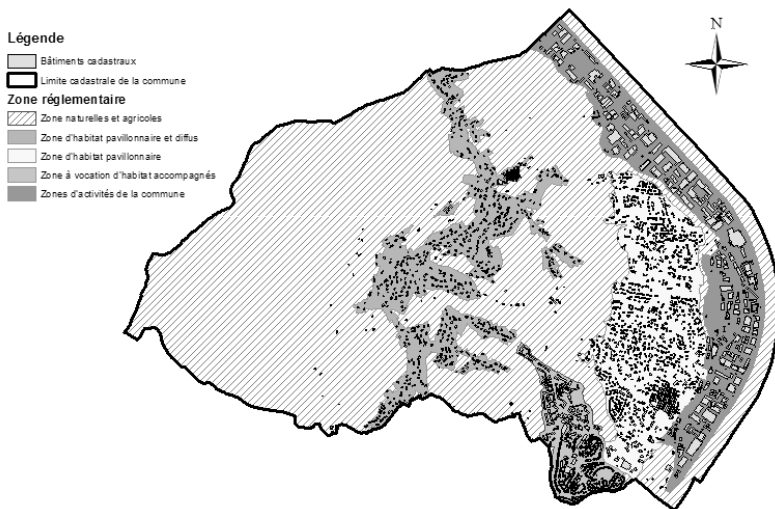


Figure 2 - Représentation des zones réglementaires du PLU de Carros (réalisation personnelle sans échelle)

La méthode, mise en œuvre pour la métropole NCA, permet de définir à l'échelle de l'unité foncière une surface de plancher réglementairement constructible et une surface de plancher existante. La déduction de l'existant au réglementaire permet donc de dégager une surface de plancher résiduelle.

Au vu de la fréquence des dépôts de permis de construire la métropole NCA a d'ores et déjà conscience que la commune de Carros présente un potentiel de densification conséquent, l'objectif actuel étant de chiffrer l'ampleur de ce potentiel et de préciser sa situation géographique.

Pouvoir identifier les zones à fort potentiel permet à la fois d'appuyer une modification du zonage ou du règlement d'urbanisme en vigueur, et de mettre en place des outils de limitation de consommation d'espaces. Il est par exemple question grâce aux résultats de cette étude d'identifier des zones d'application de taxe d'aménagement majorée. Cette taxe, permettant le financement des équipements publics induits par le développement de l'urbanisation, est générée par le dépôt des permis de construire. Elle est légalement fixée par délibération entre 1 et 5% d'une valeur forfaitaire par mètre carré. Cependant, dans les zones majorées elle peut être augmentée jusqu'à 20% et ainsi, être utilisée pour ralentir le développement urbain.

5. Les perspectives d'avenir

Cette étude de potentiel de densification est innovante du fait de l'utilisation de peu d'estimateurs, cependant elle est encore largement améliorable. En effet, il semble étonnant de vouloir dégager des potentiels d'urbanisation sans même savoir si le territoire étudié est attractif. C'est pourquoi un recoupement avec des études sociodémographiques et économiques peut présenter des atouts majeurs à l'exploitation de ces données.

D'un point de vue plus technique, il serait important, si cette méthode est validée, d'envisager une réelle automatisation des calculs. La solution serait par exemple de créer des ModelBuilder qui permettraient de formaliser les tables attributaires et d'éviter un certain nombre d'étapes intermédiaires.

Pour finir, dans une logique établie par la loi ALUR de modération de consommation de l'espace et de lutte contre l'étalement urbain, il semblerait avantageux et justifié d'associer les résultats avec ceux des études menées sur l'occupation du sol, afin de pouvoir dégager des objectifs chiffrés de consommation d'espace.

Mesure des mâts réacteurs A320neo-PW au sein d'Airbus Opérations SAS.

Etude de faisabilité de la mesure en salle automatisée 3D.

PFE présenté par : **Laurent FARIGOULE**
Société d'accueil : **Airbus Opérations SAS**
Directeur de PFE : **M. Julien MURE**
Correcteur : **M. Jacques LEDIG**



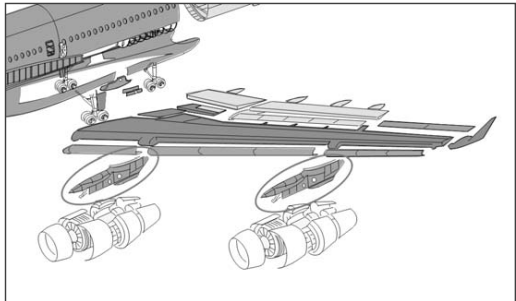
« Le géomètre peut jouer un rôle très important en métrologie dimensionnelle dans le domaine de l'industrie et des ouvrages d'art. Il sait notamment déterminer les besoins précis d'un donneur d'ordre aux prises avec un problème urgent à traiter. »

Michel KASSER, professeur de géodésie (HEIG-VD, Suisse)

1. Introduction

Airbus est l'un des principaux avionneurs mondiaux. Il capte fréquemment la moitié des commandes d'avions de plus de 100 places. Sa gamme de produits couvre un éventail complet de quatre familles d'appareils allant du monocouloir de 100 sièges au plus gros avion civil au monde, l'A380 à double pont avec plus de 800 sièges.

Saint Eloi est la plus ancienne des usines aéronautiques de Toulouse. Ce site est aujourd'hui le premier centre européen aéronautique de transformation des métaux durs dont le titane (usinage, formage, sous-ensembles complexes). Il est spécialisé dans le développement, la fabrication, l'assemblage, l'équipement et les essais des mâts réacteurs de tous les programmes Airbus.



Les performances de la famille A320 ont été optimisées grâce à de nouvelles options de motorisation réduisant la consommation de carburant, donnant naissance à la famille A320neo (New Engine Options). La mise en service de l'A320neo est prévue pour fin 2015. Toute la gamme est disponible avec deux motorisations : CFM (co-entreprise entre la société américaine General Electric et la société motoriste française Snecma) et PW (Pratt and Whitney). Il a été décidé de s'intéresser uniquement à la motorisation PW dans cette étude car les 50 premiers A320neo seront fabriqués dans cette configuration. Notons qu'il n'y a pas beaucoup de différences entre les deux modèles de mâts, seuls quelques points d'interfaces entre le mât et le moteur varient.

2. Les besoins

Le chapitre 8 du dossier de livraison de chaque sous-ensemble de l'avion s'intitule « contrôle dimensionnel ». Dans cette partie, il est demandé d'enregistrer le résultat des contrôles des interfaces et des points de référence utilisés dans les prochaines étapes de montage. Afin de pouvoir remplir ces documents, Airbus emploie des experts mesures et forme des ouvriers pour effectuer les contrôles dimensionnels nécessaires. Plusieurs moyens de mesures sont disponibles dans l'usine de Saint-Eloi. En fonction de l'état d'avancement d'usinage et/ou d'assemblage du mât final, un moyen de mesure sera préféré à un autre.

La cadence de production va augmenter fortement dans les prochains mois. Une production de 63 A320/A320neo par mois est prévue à partir de 2017. Cela représente plus de 30 mâts par semaine. Cette cadence importante impose de livrer des mâts réacteurs régulièrement pour que les FAL (Lignes d'Assemblage Finale) ne soient pas arrêtées par manque de mâts. Dans notre secteur de compétence, il faut donc pouvoir assurer en temps et en heure l'ensemble des mesures pour valider les produits.

3. Objectifs

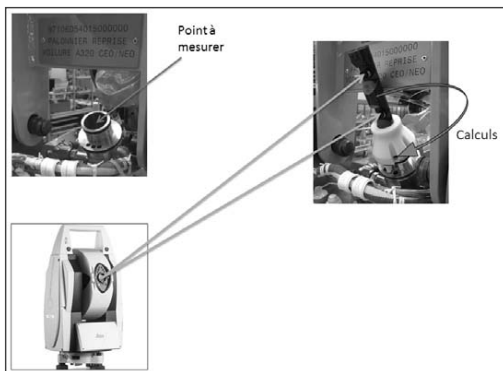
Dans le but de sécuriser la solution de mesure mise en place (salle de mesure robotisée), la directrice de l'usine (Marie-Laure ROUX) a demandé de trouver une solution de remplacement en cas de certification périodique, de casse matériel (robot, T-Mac,...) ou d'un problème informatique pour ne pas stopper les livraisons. Il a été décidé d'utiliser la salle de mesure automatisée 3D pour répondre à cette demande. La mise en place de la mesure des mâts réacteurs A320neo-PW dans la salle automatisée 3D nécessite les études suivantes :

- Etudier les points à mesurer ainsi que leur accessibilité
- Définir le type d'outillage à designer ou à réutiliser pour effectuer la mesure ainsi que déterminer le coût engendré
- Réaliser une étude de précision du moyen de mesure global
- Etudier le coût global de l'opération

4. La salle de mesure 3D automatisée

Elle est composée de deux lasers trackers Leica AT402 placés dans deux coins opposés l'un par rapport à l'autre. Dans cette salle, contrairement à la salle de mesure robotisée (système de mesure à 6 degrés de liberté), on mesure des points en 3 dimensions comme on le ferait avec un tachéomètre standard. Cependant, il est impossible de viser un point et de le mesurer directement. Par exemple, le centre d'une tuyauterie (exemple présenté ci-dessous) est un point fictif.

Pour pallier ce problème, on utilise actuellement des mires à point caché. Ce sont des pièces usinées dans lesquelles on vient fixer deux réflecteurs TBR (Tooling Ball Reflector). Le laser tracker vise et mesure les coordonnées du centre des deux réflecteurs. Le décalage entre les réflecteurs et le point théorique est connu. Le logiciel peut alors calculer la direction de la droite passant par les deux réflecteurs et ensuite calculer le point reconstruit.



Il faut donc développer des outillages de mesures qui supportent la mire à point caché et qui viennent se fixer le plus précisément possible sur la pièce à mesurer. Ils doivent aussi permettre de rendre accessibles des points non visibles depuis le laser tracker (par exemple sous le mât ou derrière un montant du chariot de transport). Chaque type de point demande le développement d'un outillage spécifique et donc engendre des coûts importants.

L'opérateur commence par monter tous les outillages nécessaires à la mesure du produit. Il lance ensuite le programme de mesure automatique. Le logiciel commence par relocaliser un laser tracker par rapport à l'autre en visant 5 points de référence communs disposés dans la salle de mesure. Ensuite il déroule la gamme de mesure (propre au modèle de mât à mesurer) de chaque laser tracker. A la fin de la séquence de mesure, l'opérateur voit apparaître tous les points mesurés hors tolérances. Il vérifie alors que les outillages de ces points sont montés correctement pour s'assurer que les écarts ne soient pas dus à une erreur de positionnement. Si c'est le cas, il refixe l'outillage puis relance la mesure de ce point. Une fois toutes ces vérifications faites, le logiciel crée un rapport sous forme de tableau avec toutes les mesures et les écarts par rapport aux valeurs nominales. Pour une meilleure lisibilité, les valeurs hors tolérances apparaissent en rouge.

5. Les points à mesurer

L'ensemble des points à mesurer est défini par le plan de tolérance créé par le bureau d'étude. Pour un mât réacteur, il existe plusieurs plans de tolérance portant chacun sur un état de fabrication du mât : structure primaire, mât équipé et les systèmes. Sur chacun d'entre eux on retrouve toutes les caractéristiques dimensionnelles à respecter au niveau des interfaces entre le mât et les éléments qui viennent se fixer dessus ou sur lesquels le mât vient se fixer (aile, moteur, APF,...).

Chaque caractéristique dimensionnelle est exprimée dans un référentiel. C'est un repère local construit sur certains points particuliers. On parlera notamment de référentiel moteur (engine) ou voilure (wing).

Il existe différents types de caractéristiques définis par la norme ISO 1101. Dans le cadre de cette étude, seules trois caractéristiques différentes sont à valider :

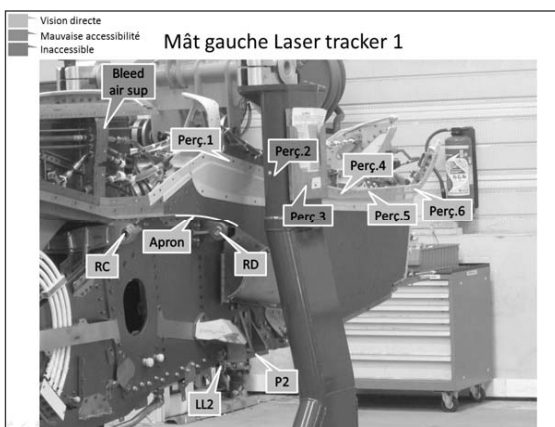
- des localisations : localisation d'un point dans l'espace (centre d'une tuyauterie, axe de perçage,...)
- des profils de surface : défaut de forme d'une surface (capots)
- orientation : correspond à l'orientation d'un plan d'appui (plan des tuyauteries)

Cependant, à cause des contraintes d'accessibilité ou techniques, tous les points ne sont pas mesurables. Malgré l'utilisation des meilleurs lasers trackers, il reste toujours une part d'incertitude dans chaque mesure. D'après les données constructeur, l'AT402 a une incertitude de mesure de l'ordre de $\pm 60\mu\text{m}$ sur les coordonnées d'un point en trois dimensions dans le cas le plus défavorable de l'étude (à environ 8 mètres du laser tracker). Ces informations ne peuvent pas être utilisées pour déterminer directement la précision que l'on peut attendre sur un point à valider. En effet, il y a une incertitude liée à l'outillage de mesure, le fait qu'on mesure à chaque fois deux points (les deux TBR) et le recalage d'un laser tracker par rapport à l'autre à prendre en compte.

Une fois la liste des points à valider terminée, il faut déterminer si l'accessibilité permet de les mesurer. Pour cela deux méthodes sont possibles : la vue en direct ou le montage numérique.

Le montage numérique dans un logiciel de CAO est plus précis, on insère la salle de mesure numérisée en 3D et on place la maquette d'un mât comme il serait positionné en réalité. De là, on peut directement tracer une ligne virtuelle entre le centre du laser tracker et le point que l'on souhaite mesurer. Cependant, cette technique prend beaucoup de temps : les maquettes des mâts sont très lourdes et elles ne peuvent pas être trop allégées : il faut garder tous les points à mesurer et tous les éléments qui pourraient gêner la mesure. C'est cette méthode qui a été utilisée lors de la conception des outillages pour valider chacun d'entre eux avant de lancer leur usinage (ou impression 3D).

La vue directe consiste à placer un mât directement dans la salle de mesure et à viser directement avec chaque laser tracker les points que l'on souhaite valider. Cette méthode est un peu moins précise. En effet, il est parfois difficile d'estimer la distance entre un faisceau laser et un objet physique. Par contre, cette technique est très rapide et efficace car le produit est dans sa configuration de mesure (protections plastiques, tuyauteries montées,...). De plus elle peut être réalisée par un plus grand nombre de personnes (pas besoin de connaissances techniques sur un logiciel de CAO).



6. Précision de la mesure

Il est important de savoir quelle précision notre moyen de mesure peut atteindre. Effectivement, il est inutile d'utiliser un LT (laser tracker) à plus de 100 000 euros si un simple régleur en aluminium sert à valider la mesure. En parallèle, il est inutile d'investir dans un laser tracker si lui-même n'est pas capable de respecter les tolérances qu'il doit valider.

Une campagne de répétabilité et de reproductibilité a été menée sur des outillages existant sur l'A320 et qui pourraient être réutilisés sur l'A320neo. Le but est de démontrer que l'ensemble de l'incertitude de mesure (P) n'occupe pas une part trop importante par rapport à l'intervalle de tolérance (T) qu'il doit valider : $P/T < 25\%$. Le P/T est égal à $6 \times \text{écart-type}/IT$. En résumé, l'ensemble des variations potentielles de mesure ne doit pas occuper plus de 25% de l'IT total à valider.

Les résultats obtenus sont mitigés. Ils sont excellents sur les outillages simples de type axial (construction mécanique basique) et sont moins bons (P/T proche de 50% pour certains) sur d'autres. Il a donc été décidé d'utiliser au maximum les outillages simples et de revoir la conception des autres pour qu'ils rentrent dans les spécifications.

7. Prototypes en impression 3D

Un des objectifs de cette étude était de démontrer la faisabilité de l'utilisation des outillages en impression 3D plastique pour valider des tolérances plutôt larges (plusieurs millimètres). En collaboration avec le bureau d'étude outillage, quatre prototypes ont été dessinés et imprimés. L'impression 3D permet d'obtenir des outillages complexes rapidement et à des coûts plus compétitifs.



Des mesures de contrôles avec un bras de mesure de précision ($MPE = \pm 15 \mu\text{m}$) ont permis de valider ces outillages. Une première mesure de l'outillage seul a permis de définir ses cotes réelles et des tests de répétabilité ont permis de comparer le point calculé au point d'interface réel sur le mât.

8. Conclusion et perspectives

L'ensemble des recherches et tests réalisés lors de ce projet a permis de déterminer le futur moyen de mesure de remplacement de la nouvelle salle de mesure robotisée de l'usine pour le programme A320neo.

Les résultats ont pu définir l'ensemble des points mesurables du mât et le type d'outillage qui sera utilisé pour chacun d'entre eux. De plus l'étude a permis de développer et valider l'utilisation des outillages réalisés par impression 3D pour des intervalles de tolérance de plusieurs millimètres. Toutes ces informations ont permis de chiffrer le coût global de la solution.

Cependant, la durée de vie de ces outillages reste inconnue. Seule son utilisation au cours du temps et un contrôle régulier de chacun d'entre eux permettra de définir si leur utilisation est viable sur une longue période d'utilisation. De plus, les résultats de la campagne de répétabilité et de reproductibilité menée sur les outillages déjà existants ont démontré qu'une campagne de vérification serait nécessaire.

Validation des performances et des fonctionnalités d'un récepteur GNSS topographique « smart antenna » et développement d'un accessoire innovant de levé de points déportés

PFE présenté par : **Amir BAHNA**
Société d'accueil : **Trimble Nantes**
Directeur de PFE : **Romuald GUERIN**
Correcteur : **Gilbert FERHAT**



1. Introduction

Lorsque le système GPS (Global Positioning System) est devenu disponible pour des usages civils, les récepteurs GNSS (Global Navigation Satellite System) devinrent des instruments de plus en plus essentiels dans le domaine de la topographie. Cela a poussé de grandes entreprises, spécialisées dans la fabrication de ce matériel, à lancer des recherches scientifiques pour développer leurs récepteurs, afin de répondre aux besoins du marché dans le domaine GNSS.

Trimble Nantes conçoit chaque année un ou plusieurs produits GNSS sous les marques « Spectra Precision » et « Ashtech ». Ainsi, pour l'année 2015, un nouveau récepteur de précision centimétrique et de type « Smart Antenna » sera commercialisé sous le nom de « SP60 ». Il représente pour l'entreprise le récepteur le plus important de l'année 2015. Pour cela, un projet appelé Blaze a été lancé en 2012, afin de définir et développer ce nouveau produit.

2. L'objectif du Projet de Fin d'Etudes (PFE)

Mon PFE est composé de deux parties.

La première, majeure, s'inscrit dans un contexte industriel. Elle consiste en la validation du nouveau récepteur GNSS SP60. L'objectif est de s'assurer qu'il répond bien à toutes les exigences requises par le marketing. Cela passe notamment par la vérification de ses fonctionnalités, sa performance, et son utilisation en environnement client avec tous les modes fonctionnels possibles. Cela consiste également à valider son intégration dans un système plus complet, c'est-à-dire garantir la compatibilité avec les logiciels de terrain et de bureau associés. Trouver la bonne méthodologie adaptée à chaque type de test s'avère être un élément indispensable pour optimiser le déroulement du travail, ce dernier étant conditionné par un contexte commercial qui prévoit d'introduire le SP60 sur le marché en juillet 2015.

La deuxième partie, mineure, s'inscrit dans une démarche de développement. Elle sera consacrée à la participation et à la validation technique du concept d'un accessoire innovant pouvant équiper le SP60, mais aussi d'autres produits. Cet accessoire sera destiné à lever rapidement et efficacement des points inaccessibles ou masqués des signaux GNSS. Etant donné que cette partie est dédiée à la recherche et l'innovation, mon travail aura un impact direct sur l'avenir du projet. Ce dernier n'est pas soumis à des délais stricts contrairement à la première partie.

3. Etat de l'art

3.1. La validation des produits GNSS

Elle consiste à valider tous les aspects et les fonctionnalités de ces nouveaux produits selon les principes suivants : spécifier, simuler, choisir les bons équipements nécessaires, automatiser et standardiser.

Le but des tests est de préciser les caractéristiques de l'appareil en phase de développement, ainsi que les conditions dans lesquelles nous souhaitons le tester. En règle générale, l'exercice de validation s'appuie sur différents points : la capacité d'acquisition des signaux GNSS, leur suivi, la

stabilité du produit, l'autonomie, la précision et l'exactitude attendues du point mesuré, les portées radio UHF (Ultra Hautes Fréquences) et Bluetooth.

3.2. *RTX (Real Time eXtended)*

En 2011, Trimble a annoncé le nouveau mode « RTX Center Point service » qui fournit une position avec une précision centimétrique en temps réel.

Ce service se base sur les informations précises en temps réel de l'orbite, de l'horloge et d'autres informations des satellites GPS, GLONASS, BeiDou et QZSS. Les récepteurs peuvent recevoir les corrections soit par liaison satellitaire (L-Band), soit par internet.

L'intérêt du RTX est d'obtenir une précision de positionnement horizontal de l'ordre de 4 centimètres, après seulement 15 minutes de temps de convergence, voire 5 minutes dans certaines zones du globe, et cela, sans avoir besoin d'internet, comme par exemple aux endroits où le réseau cellulaire n'est pas toujours disponible.

3.3. *Bluetooth Long Range*

Utiliser le Bluetooth pour établir une liaison et transmettre les corrections différentielles entre le pivot et le mobile est une nouveauté dans le monde GNSS. Cela permet de remplacer le mode UHF et de réduire le coût du récepteur. Cette solution peut être idéale pour les chantiers qui ne demandent pas de longues lignes de base.

Jusqu'à présent, il n'y a que l'entreprise Topcon qui propose cette technologie avec leur récepteur « HiPer SR » qui garantit une portée jusqu'à 300m.

4. Le récepteur SP60

Le but du SP60 est de remplacer le ProMark 700, récepteur de la génération précédente de Spectra Precision. Il vise principalement les grands marchés émergents comme la Chine, l'Inde et le Brésil, où la solution RTK, réseau purement cellulaire, est parfois indisponible. Une solution UHF à bas prix est devenue une exigence pour ces marchés.

L'innovation majeure pour SP60 est le mode RTK utilisant le Bluetooth pour transmettre les corrections différentielles entre le pivot et le mobile, jusqu'à 500 m de portée. Cela permet de baisser le prix d'achat du produit par rapport à une solution UHF, et d'optimiser l'autonomie de la batterie.

Une deuxième innovation est la réception du signal satellite L-band obtenue au travers d'une antenne GNSS large bande de nouvelle technologie. Elle offre au client la possibilité de calculer un point précis avec un seul récepteur grâce à la technologie Trimble RTX.



Figure 1 : le nouveau récepteur SP60 sous différentes vues

5. Expérimentations & Résultats

La validation du SP60 par l'équipe « System Test » de l'entreprise est divisée en trois phases :

I. La phase d'intégration

La première étape des tests consiste à vérifier les fonctions élémentaires du récepteur. Le système est encore incomplet et le matériel non abouti : absence de logiciel terrain, utilisation de prototypes électroniques de 2^{nde} génération dont le design n'est pas final, logiciel embarqué partiellement développé.

II. La phase de premier cycle de test dite « TC1 »

Cette phase consiste à valider le système complet. Prototypes électroniques de 3ème génération identiques à ceux de la future production, logiciel embarqué doté de toutes ses fonctionnalités, logiciel terrain et logiciel bureau disponibles.

III. La phase de deuxième cycle de test dite « TC2 »

Elle consiste à réaliser un sous-ensemble des tests TC1 sur les versions finales du produit et du système qui seront livrées au client, afin de garantir l'absence de régression.

À la fin de chaque test, une analyse exhaustive des données est réalisée puis consignée dans un rapport archivé sur le réseau interne. Toutes les anomalies détectées sont saisies dans une base de données du groupe Trimble. Enfin, le plan et le statut des tests seront mis à jour en fonction des résultats obtenus.

Parmi plus de 150 tests effectués pendant les différentes phases de la validation, je vous cite les tests les plus importants :

1. **Tests de Sensibilité & Répétabilité** : consistent à valider la bonne réception des signaux GNSS en vérifiant le rapport signal sur bruit et la répétabilité des mesures sur différentes unités.
2. **Test RTK Bluetooth Long Range** : il faut distinguer trois différents types de portées :
 - La portée optimale avec laquelle l'utilisateur travaille en solution fixe avec un âge de correction acceptable et stable (< 2 sec).
 - La portée avec laquelle on peut rester dans une position fixe, avec une précision centimétrique, mais avec un âge de correction instable avant la perte de connexion entre le pivot et le mobile.
 - La portée avec laquelle on peut se reconnecter automatiquement lorsque l'on perd la connexion entre le mobile et le pivot.Une comparaison entre ce mode et le mode UHF sur la même longueur de ligne de base a montré la même performance au niveau de la précision et de l'âge des corrections en temps réel.
3. **Tests RTK GPRS** : consistent à réaliser des enregistrements en mode statique sur une longue durée et en utilisant différents réseaux et points d'accès disponibles :

Réseau	Orpheon	Teria	Teria	Teria	Teria	Euref
Point d'accès	Plus_pres_RTC M-3.0_GG	MAC30	VRS30	MACH_R30	SBLS_R3 0	BRST0
Longueur de ligne de base	10 km	42 km	Variable	~42 km	~ 107 km	~ 254 km
Part de position fixe	98.38%	99.43%	99.03%	96.53	51.65%	0%
Age moyen des corrections (sec)	1	1	1	1	1	N/A
HRMS* (cm)	0,3	0,5	1,6	1,1	5,4	N/A
VRMS* (cm)	0,5	0,7	2,8	2,3	9,8	N/A

HRMS* = Horizontal Root Mean Square, VRMS* = Vertical Root Mean Square

4. **Test dynamique de RTK & RTX** : consiste à valider la performance du nouveau récepteur dans les conditions de « dynamique voiture ».
5. **Test GPS L1 & GPS/GLONASS L1** : consiste à vérifier la capacité du récepteur à obtenir une position fixe lorsqu'il n'utilise qu'une partie des signaux GNSS disponibles, comme par exemple, le GPS L1 ou le GPS/GLONASS L1.
6. **Test TTFF RTK (Time To First Fix)** : consiste à vérifier le temps nécessaire pour avoir la première position fixe en utilisant différents réseaux : Teria, Orpheon et Euref.

7. **Test TTFF RTX (Time To First Fix)** : consiste à calculer le temps de convergence nécessaire pour avoir une précision planimétrique inférieure ou égale à 4 cm, sachant qu'il existe 2 types de RTX avec différents niveaux de précision, selon les besoins du client.
8. **Test de précision et exactitude** : consiste à calculer la précision du récepteur par rapport aux différents modes de fonctionnement, tels que SBAS, RTX, RTX et le post-traitement.

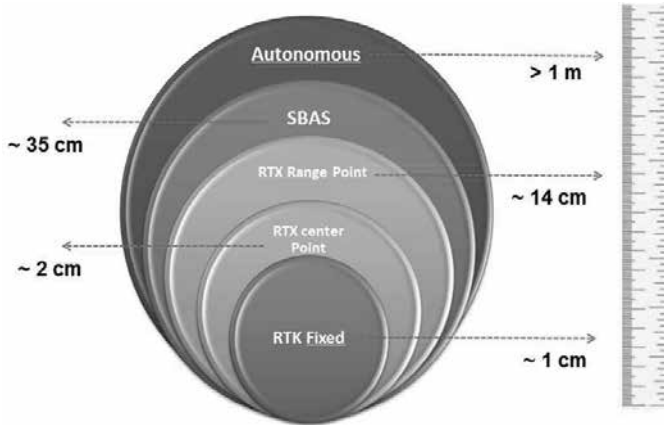


Figure 2 : Comparaison du HRMS obtenu par le SP60 dans les différents modes GNSS

9. **Tests de l'accessoire innovant** : consiste à valider techniquement une solution basée sur les principes d'imagerie et de GNSS, encore en cours de développement par un ingénieur informatique et mécanique. Cela se traduira par la mesure des points en condition utilisateur, la détermination de leur précision 3D et la comparaison avec des méthodes de mesures traditionnelles. Pendant cette phase, certaines fonctions de l'accessoire ont été modifiées afin de faciliter et simplifier son utilisation.

6. CONCLUSION & PERSPECTIVES

Après avoir passé 6 mois sur ce projet, le SP60 a été commercialisé dans différentes parties du monde. 190 bugs ont été trouvés puis corrigés durant les différentes phases de la validation.

La stabilité, la performance et la précision de ce récepteur dans les différents modes RTK, RTX, Post-traitement... ont atteint des niveaux très satisfaisants, avec de forts espoirs que le SP60 réponde totalement aux besoins du marché de la topographie GNSS.

Certains correctifs et améliorations seront introduits dans les futures versions logicielles afin de faire évoluer le récepteur dans le temps.

Avec la fonctionnalité RTX L-Band existante et les différentes précisions dégradées envisagées, le SP60 peut également représenter un récepteur idéal pour le domaine SIG, marché dans lequel il sera introduit prochainement avec l'actuelle application « SSpace » de Spectra Précision pour les tablettes et les Smartphones.

Concernant l'accessoire innovant et, comme souvent lors de projets de recherche et développement, il reste encore beaucoup de points à clarifier, spécifier et déterminer. Certains obstacles rencontrés ont besoin d'être éliminés afin de pouvoir décider de l'avenir de cet accessoire et de sa commercialisation ou non.

ÉTUDE DE PROCESSUS DE CRÉATION DE MODÈLES BIM À PARTIR D'ACQUISITION DE NUAGES DE POINTS

PFE présenté par :
Société d'accueil :
Directeur de PFE :
Correcteurs :

Robin Perdreaux
FIT Conseil
François Foreau
Jacques Ledig



1. Introduction

Le géomètre, en temps qu'expert de la mesure, joue un rôle important dans la gestion de l'existant. En effet, de plus en plus de gestionnaires font appel à ses services afin d'obtenir des plans et documents concernant leur patrimoine. La profession étant dans l'ère du temps, des technologies toujours plus performantes et plus précises se développent. On retrouve notamment le scanner-laser, un des derniers outils technologiques de la profession; il permet de lever un bâtiment en peu de temps, avec une grande précision, et l'exploitation des données permet de réaliser des plans 2D ou des maquettes 3D selon les demandes des clients.

Cependant, dans l'ère du numérique, de nouvelles méthodes et de nouveaux outils de gestion de patrimoine se développent et nécessitent la production de nouveaux documents. Parmi ces outils, on retrouve la gestion de bâtiments à partir de modèles 3D. Ces modèles sont appelés BIM et se développent de plus en plus en France et dans le monde. Ils permettent la gestion d'un bâtiment depuis la conception jusqu'à son utilisation en décrivant celui-ci à l'aide d'objets possédant des attributs spécifiques. L'architecte est à la base de la création d'un tel modèle lors de la phase de conception du bâtiment, mais lorsqu'il est question de bâtiments existants, le géomètre fait alors son apparition.

C'est dans cette optique que le service patrimoine de Fit Conseil a fait l'acquisition de plusieurs scanners-lasers en 2014. Ces acquisitions ont permis à l'entreprise de se placer sur de nouveaux marchés, d'améliorer ces chaînes de production et de proposer de nouvelles méthodes de visualisation. Les deux scanners-lasers désormais utilisés sur une majeure partie de leurs marchés sont le Faro® Focus 3D X330 et le Leica® ScanStation P20. Ces deux appareils présentent des caractéristiques permettant de travailler sur des levés de bâtiments de tailles variables et fournissent des données 3D facilement exploitables. Le service travaille principalement sur des plans en 2D et utilise plusieurs logiciels de gestions de nuages points (Scene, Cyclone et CloudWorx notamment) afin de travailler facilement sur AutoCAD.

L'univers du BIM étant en pleine expansion et la clientèle de plus en plus nombreuse il convient pour FIT Conseil de s'orienter vers une telle méthode de rendu, il m'a donc été demandé d'étudier les différents moyens et processus permettant de passer d'un nuage de points à un modèle 3D orienté BIM.

Cette étude s'est déroulée en plusieurs étapes et il a fallu dans un premier temps se familiariser avec le monde du BIM. Dans un second temps il a fallu s'approprier les outils de modélisation et de lever étant à notre disposition et enfin réaliser une évaluation qualitative (précision du modèle ou des techniques de levés) et économique des différents processus choisis pour répondre à la problématique de l'entreprise.

2. Comprendre le BIM

Dans la littérature, il existe de nombreuses définitions du BIM. Certains définissent l'univers du BIM comme une nouvelle manière de travailler, un nouveau processus de travail et de collaboration autour

d'un projet de construction, de conservation ou de visualisation entraînant la création d'une maquette numérique (Représentation géométrique d'un produit, généralement en 3D, réalisée sur ordinateur).

Cependant plusieurs définitions du sigle peuvent être utilisées:

- Building Information Model: définit le fichier créé avec un logiciel métier spécifique;
- Building Information Modeling: processus de travail qui utilise les outils BIM;
- Building Information Management: processus de gestion de projet à travers des outils (maquettes numériques, management de l'info).

Simplement, la maquette BIM peut être considérée comme une base de données du bâtiment. Chaque élément composant le bâtiment, que ce soit un mur ou une lampe (selon le niveau de détails (LOD)) est décrit graphiquement (représentation 3D), possède des attributs alphanumériques (dimensions, marque, type, date de pose, état, ...) et un comportement (ou relation) vis à vis des éléments voisins.

Les maquettes BIM permettent également la production de tous les documents nécessaires à la conceptualisation, la construction et la gestion d'un bâtiment:

- des coupes;
- des plans;
- des fichiers descriptifs;
- des vues 3D, des visites virtuelles;
-

De plus, elles servent à effectuer des tâches spécifiques aux métiers de la construction, comme des calculs de structures, de la gestion de planning de construction, de la conception de réseaux CVC (Climatisation, Ventilation, Chauffage).

Elles permettent aussi une compréhension plus globale du projet, une détection des problèmes plus rapide et donc une productivité augmentée.

Un des principaux enjeux du BIM est de faciliter l'interopérabilité (Capacité que possède un produit ou un système, dont les interfaces sont intégralement connues, à fonctionner avec d'autres produits ou systèmes existants ou futurs et ce sans restriction d'accès ou de mise en œuvre) entre les différents acteurs d'un projet mais aussi entre les logiciels utilisés par ces acteurs.

Cette interopérabilité nécessite l'emploi d'un format normalisé appelé format IFC, ce format définit la structure de la base de données d'objets du BIM, c'est-à-dire que c'est une norme d'échange de données et qu'il permet de décrire universellement les objets présents dans une maquette numérique (murs, sols...), ainsi que les relations des objets entre eux.

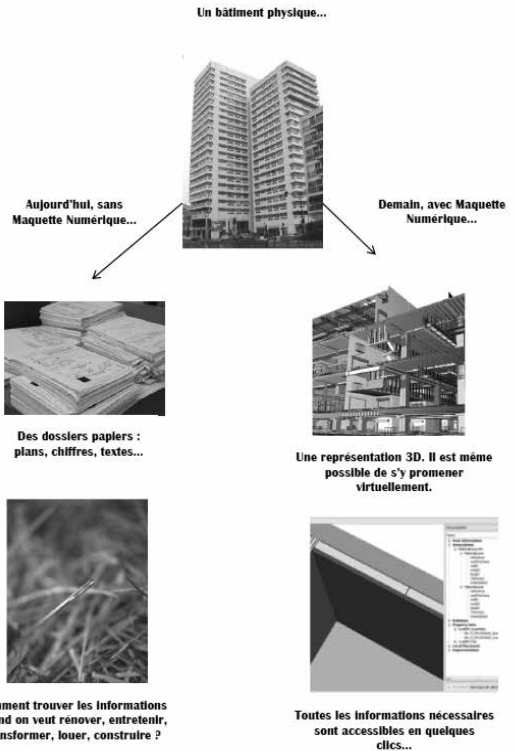


Figure 1 Le BIM pour les nuls [Hovorka et Mit, 2014]

3. Processus retenus

Au fur et à mesure de recherches, de tests, et de discussions avec les différents membres du service, nous avons pu dégager un processus principal pouvant répondre à la problématique. Ayant la possibilité de tester un autre processus a priori plus simple d'utilisation, j'ai décidé de l'intégrer dans le projet.

Les essais ont été effectués à partir d'un levé des bureaux de l'entreprise à l'aide d'un Faro® Focus 3D X330 réalisé au début de mon projet. Celui-ci comporte 105 stations différentes, extérieures et intérieures ; pour l'extérieur, nous avons effectué deux levés différents (avec cible et sans cible) afin d'identifier l'origine des écarts retrouvés lors d'une première modélisation. Pour chaque processus nous partons des données issues de la chaîne de traitement déjà présente au sein de l'entreprise, à savoir le traitement des stations sous le logiciel Faro® Scene® (recalage et nettoyage grossier du nuage de point) et la création du Webshare (fichier permettant de visualiser facilement les nuages de points, de naviguer et de mesurer dans ceux-ci). La différence entre les deux logiciels de modélisation testés réside principalement dans la gestion du nuage de points. L'un, Revit® de Autodesk, permet l'intégration du nuage de point directement dans le logiciel, l'autre, SketchUp® de Trimble, ne nécessite pas l'intégration du nuage de point directement dans le logiciel mais utilise un module complémentaire gratuit, Trimble® Scan Explorer, utilisant des photos panoramiques des différentes stations (similaires au Webshare de Faro® Scene®) permettant l'extraction d'arêtes, de contours ou de murs directement dans SketchUp®.

Ces deux méthodes nécessitent préalablement un logiciel de traitement de nuage de point autre que Scene®. Respectivement Autodesk® ReCap™ (existant en version gratuite permanente) et Trimble® Realworks (version d'essai de 30 jours disponible).

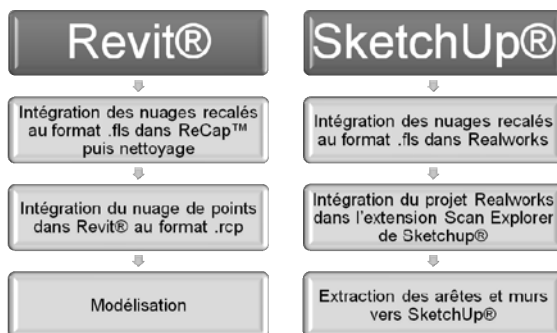


Figure 2 Schéma de présentation des processus

Avec l'utilisation et la comparaison graphique et pratique de ces deux processus, deux grands points sont ressortis :

- Revit® est prévu et conçu pour le BIM, les outils propres au logiciel en font un logiciel très performant nécessitant l'utilisation d'un ordinateur puissant afin de manipuler aisément les nuages de points ; le modèle issu des essais est complet mais nécessite toutefois une bonne connaissance du logiciel et une bonne définition des détails à mettre en place (création de familles plus ou moins complètes, ressemblance à la réalité?, ...); le logiciel permet aisément la création de plans 2D bien souvent demandés par les clients de l'entreprise ;
- SketchUp® est, quant à lui, prévu pour la modélisation 3D, il est utilisé pour la visualisation et la représentation en 3D, le BIM à proprement parler n'est pas (encore) ancré dans le logiciel, et les quelques extensions BIM disponibles ne permettent pas d'obtenir un modèle aussi complet qu'avec Revit®; de plus la création des différents volumes et éléments à partir des données extraites de Scan Explorer nécessite beaucoup de manipulations et de modifications affectant fortement la précision du modèle; le fait de ne pas intégrer le nuage de point permet de travailler sur un ordinateur moins puissant que pour Revit®.

4. Précision du modèle Revit

Suite à une évaluation graphique subjective et du ressenti par rapport aux deux modélisations, j'ai décidé d'effectuer une étude de précision du modèle issu du processus Revit® à l'aide du logiciel Open Source CloudCompare. Ce logiciel permet entre autres de calculer la distance entre un nuage et un modèle. J'ai choisi de comparer une partie de mon modèle, comportant un nombre d'objets assez significatif pour en tirer des conclusions, au nuage de point ayant servi à le modéliser. Cette comparaison permet principalement d'évaluer la qualité du pointé réalisé par le créateur de la maquette sur le nuage de points. Le résultat obtenu (figure 3) donne lieu à une interprétation de la qualité du modèle créé et peut entraîner une modification du modèle afin de se rapprocher le plus possible de la réalité du nuage de points.



Figure 3 Distance nuage/modèle Revit®

5. Conclusion et perspectives

Au cours de ce projet, j'ai été amené à tester et évaluer différents logiciels et processus afin d'exploiter au mieux les données issues d'un scanner-laser afin de réaliser une maquette BIM.

Parmi les logiciels existants dans ce contexte du BIM, seuls quelques-uns permettaient une utilisation de nuages de points (lors de la réalisation de cette étude). L'utilisation des logiciels Revit® et ReCap™ de Autodesk s'avère être la solution la plus optimale et la mieux adaptée pour répondre à la problématique posée, tant pour produire une maquette BIM que pour créer des plans 2D. L'entreprise a d'ores et déjà entamé une progression vers cette solution.

Une comparaison économique du processus est également à prévoir (et prévue) afin d'évaluer les coûts de production d'une maquette BIM comparée à la création de plan 2D à partir des nuages.

En perspective, le monde du BIM étant en pleine évolution et les clients de plus en plus demandeurs de modélisation 3D, il sera intéressant de s'orienter vers des méthodes de rendus performants comme l'utilisation de visites virtuelles à l'aide de moteurs graphiques (Unity, ...), des vidéos ou photos aux rendus réalistes en utilisant des logiciels et extensions extérieurs à Revit® (Lumion par exemple).

Nous avons également vu qu'il existe un logiciel autorisant la création de maquette sous le logiciel d'Autodesk en évitant une intégration directe du nuage de points et permet donc l'utilisation de machines moins puissantes : le logiciel VirtuSurv de Kubit, récemment acquis par Faro, et qui s'apparente à l'extension Scan Explorer de SketchUp®. Je n'ai cependant pas eu la chance de tester ce logiciel, mais un essai reste envisageable et permettra d'évaluer la précision de cette modélisation par rapport à la méthode testée ici.

Gleismonitoring mittels Laserscanning-Verfahren

Eine Machbarkeitsstudie am Beispiel Stuttgart 21

PFE présenté par : **Thaïs DE TURCKHEIM**
Organisme d'accueil : **Karlsruher Institut für Technologie**
Intermetric GmbH



Directrice et
Correctrice du PFE : **Prof. Dr.-Ing. Maria Hennes**



1. Présentation générale du projet de fin d'études

Dans le cadre du double diplôme en topographie entre l'INSA de Strasbourg et l'Université de Karlsruhe en Allemagne, j'ai réalisé un projet de fin d'études du 1^{er} septembre 2014 au 27 février 2015 sur le thème de l'auscultation des voies ferrées par scanner laser, en collaboration avec le bureau d'études topographiques Intermetric GmbH à Stuttgart. La surveillance de la position des rails et des traverses ferroviaires est une mission importante lorsque des risques de déformation du sol existent. Au sein de l'actuel projet de construction « Stuttgart 21 », ce risque est bien réel puisque près de 35 km de tunnel sont en train d'être percés sous la ville, et notamment sous des lignes ferroviaires. Les travaux peuvent provoquer un tassement du sol, et donc indirectement des déplacements verticaux et horizontaux des rails, qui doivent être précisément mesurés afin d'interrompre la circulation des trains si ces écarts deviennent trop importants.

Comme objets d'étude, les voies 558 et 559 qui relient la gare centrale de Stuttgart et Bad-Cannstatt offraient les conditions idéales d'observation. Elles étaient équipées d'un système d'auscultation automatique depuis février 2014, période à laquelle le forage des tunnels commençait à représenter un risque de déformation, et les deux bas-côtés étaient suffisamment larges pour installer un scanner laser. Afin de suivre les mouvements des rails, la compagnie ferroviaire allemande Deutsche Bahn AG a fixé comme tolérance les valeurs du Tableau 1.

	déplacement [mm]		Différence de hauteur avec 2 ^e rail [mm]
	horizontal	vertical	
Seuil de vigilance	6	6	5
Seuil d'alerte	8	8	6
Seuil d'arrêt du trafic	10	10	7

Tableau 1 : Tolérances de déplacement des rails fixées par Deutsche Bahn AG

La technique actuelle d'auscultation des voies ferrées est basée sur l'analyse des mesures d'un tachéomètre, généralement placé en hauteur afin qu'il ait la plus grande portée possible. Les prismes sont soit fixés directement sur le rail (cf. Image 1), soit vissés sur les traverses, comme c'était le cas sur les voies 558 et 559 à Stuttgart (cf. Image 2). Une fois que des références ont été installées à l'extérieur de la zone de déformation, le tachéomètre peut mesurer automatiquement et à fréquence voulue tous les prismes dont les coordonnées ont été préalablement enregistrées. Par exemple, les voies 558 et 559 ont été levées toutes les deux heures, même la nuit et le week-end, jusqu'à ce qu'elles sortent de la zone de déformation en décembre 2014. Grâce à une connexion Internet, le tachéomètre transmet immédiatement ses mesures à un serveur informatique où elles sont traitées par des algorithmes. En cas de dépassements des seuils du Tableau 1, des e-mails et des SMS sont automatiquement envoyés au géomètre responsable du projet, et si nécessaire, aux autres parties concernées par le chantier. Ce système permet donc de réagir rapidement en cas de déplacement trop important des rails par rapport à leur position initiale.



Image 1 : Prisme fixé directement sur un rail
(chantier d'Heuilley-Cotton en France)



Image 2 : Prisme vissé sur la traverse
(voies 558 et 559 à Stuttgart)

Bien que le tachéomètre permette une précision inférieure au millimètre, ses mesures sont entièrement dépendantes des prismes, qui peuvent bouger, être salis ou même détruits après le passage de trains. De plus, il ne permet qu'un suivi de certains points sur les voies, alors que c'est toute la surface des rails qui est à observer. C'est pourquoi ce projet de fin d'études a consisté à déterminer la pertinence de l'utilisation de données issues d'un scanner laser afin de compléter les mesures du tachéomètre. Le scanner laser fournit en effet une résolution spatiale bien plus importante (plus d'un million de points par nuage), il n'a pas besoin de réflecteurs et par conséquent il n'abîme pas non plus l'infrastructure ferroviaire. De plus, il peut lever l'environnement des rails, ce qui permet une auscultation complète des voies (bas-côtés, caténaies...).

Le scanner laser ne permet cependant pas d'obtenir une précision aussi fine que celle du tachéomètre, et les tolérances des compagnies ferroviaires sont exigeantes (cf. Tableau 1). C'est pourquoi la première partie de ce projet de fin d'études a consisté en une analyse de la précision de deux scanners, le Leica P20 et le Faro Focus 3D.

2. Analyse de précision des scanners Leica P20 et Faro Focus 3D

Leica et Faro sont deux entreprises concurrentes proposant des scanners laser adaptés aux levés topographiques. Afin de comparer de manière identique la précision de leurs appareils, j'ai suivi la méthode du « *Guide to the expression of uncertainty in measurement*¹ », qui est un guide international de métrologie rédigé par le Bureau International des Poids et Mesures (BIPM).

Cette méthode repose sur la transmission des erreurs sur le résultat final et requiert de connaître les incertitudes avec lesquelles les mesures sont prises. Celles-ci correspondent aux écarts maximum sur les mesures de l'angle horizontal (noté par la suite « u_α »), sur l'angle vertical (« u_β ») et sur la distance inclinée (« u_d ») par rapport à leur valeur vraie. Les constructeurs fournissent les valeurs suivantes :

- Pour le Faro Focus 3D : $u_\alpha = u_\beta = 0,009^\circ$, $u_d = 2 \text{ mm}^2$
- Pour le Leica P20 : $u_\alpha = u_\beta = 0,003^\circ$, $u_d = 4 \text{ mm}^3$

Les incertitudes de mesure dépendent donc de la distance avec le scanner. De plus, Faro prend en compte la réflectivité du support puisque le scanner est basé sur la réception d'un signal laser réfléchi. A partir de ces valeurs et de la méthode du BIPM, j'ai obtenu les résultats du Tableau 2 et du Tableau 3, où u_x , u_y et u_z représentent les incertitudes sur les coordonnées cartésiennes (X, Y, Z) d'un point mesuré.

¹ Joint Committee for Guides in Metrology, *Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement*, 2008

² L'incertitude de 2 mm sur la distance n'est valable que pour mesurer un objet situé à 10 m du scanner et ayant une réflectivité de 90 %.

³ L'incertitude de 4 mm n'est valable que pour un objet placé à 50 m du scanner. Plus la distance augmente, plus l'erreur croît.

	L = 5 m		L = 10 m		L = 25 m		L = 50 m	
	R. 10%	R. 90%	R. 10%	R. 90%	R. 10%	R. 90%	R. 10%	R. 90%
u_x [mm]	0,3	0,7	0,6	1,4	1,4	3,5	2,8	4,9
u_y [mm]	0,6	0,6	1,1	1,1	2,8	2,8	5,6	5,6
u_z [mm]	0,6	0,6	1,1	1,1	2,8	2,8	5,6	5,6

Tableau 2 : Incertitude de mesure du scanner Faro Focus 3D en fonction de la distance L du scanner et de la réflectivité R de l'objet

	L = 5 m	L = 10 m	L = 20 m	L = 25 m	L = 50 m
u_x [mm]	0,2	0,4	0,8	1,1	2,1
u_y [mm]	0,1	0,3	0,6	0,7	1,3
u_z [mm]	0,1	0,3	0,6	0,7	1,3

Tableau 3 : Incertitude de mesure du scanner Leica P20 en fonction de la distance L du scanner

Au vu des incertitudes de mesures, le Leica P20 a fourni des incertitudes sur les coordonnées plus petites que le Faro Focus 3D. Cependant les résultats de ce dernier peuvent être améliorés en augmentant le nombre de mesures par point. Le Tableau 2 et le Tableau 3 sont en effet basés sur le cas où chaque point est mesuré trois fois par le scanner, mais en augmentant le nombre de mesures, on augmente le temps nécessaire au levé.

3. Application pratique d'une auscultation ferroviaire par scanner laser

La seconde partie de ce projet de fin d'études est une application pratique d'une auscultation des voies 558 et 559 par scanner laser. L'Image 3 illustre le protocole de mesure qui s'articulait en deux époques. Pour des raisons de logistique, c'est un scanner Focus 3D de Faro qui a été utilisé pour réaliser les levés. Le 15 octobre 2014, les stations S21 et S22 ont été mises en place afin d'avoir deux points de vue des voies 558 et 559. La station S22 (placée à 2 m de S21) a servi à détecter les bruits dans les mesures par comparaison avec le nuage de points levé par la station S21.

Le 20 novembre 2014, les stations S21' et S11' ont pris la place des stations S21 et S11 de la première époque de mesure. Après géoréférencement et assemblage des nuages de S21 et S11 d'une part, et de S21' et S11' d'autre part, leur comparaison réalisée avec le logiciel Kachelprogramm de l'entreprise Intermetric GmbH a permis de déterminer les déformations qui ont eu lieu entre octobre et novembre 2014. Ces résultats déduits des levés par scanner ont été ensuite comparés aux mesures du tachéomètre qui servait de système d'auscultation officiel des voies 558 et 559.

Afin de déterminer l'impact de la hauteur du scanner sur ses levés, un test parallèle a été mené : deux stations S23min et S24max ont été installées lors de la seconde époque de mesure. A la station S23min, le scanner était à 205 cm du sol et à l'endroit de S24max, il était à 240 cm. Cette différence de 35 cm correspond aux positions maximale et minimale du trépied utilisé.

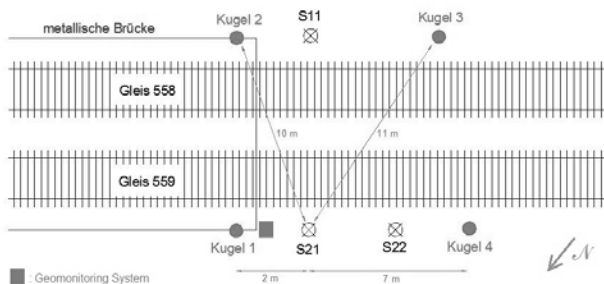


Image 3 : Schéma des différentes stations de la première époque de mesure. Les « Kugel » représentent les sphères utilisées comme point de référence par le scanner.

4. Conclusion et perspectives

La comparaison des données du scanner et du tachéomètre n'a pas été concluante. Le premier a enregistré des déplacements inférieurs à 3 mm entre le 15 octobre et le 20 novembre 2014, tandis que le second a relevé des écarts jusqu'à 20 mm. La raison est la suivante: la haute réflexion des rails et la présence d'un pont métallique ont provoqué l'apparition d'une erreur cyclique de phase dans les mesures de distances. Au lieu de revenir directement au scanner, le rayon laser a été réfléchi une première fois par les rails, puis une seconde fois par le pont. Le temps mesuré ne correspondait donc pas à un simple aller-retour du rayon, mais à une distance plus importante. On remarque cependant une diminution de l'erreur cyclique lorsque la distance augmente (voire Image 4). Afin de confirmer les liens de cause à effet, une simulation de l'erreur cyclique en fonction de la distance au scanner a été rapprochée avec les écarts relevés par le scanner.

En ce qui concerne une future auscultation ferroviaire par scanner laser, il serait intéressant de reproduire les tests avec un appareil plus précis que le Focus 3D de Faro. L'analyse de précision a montré que le Leica P20 pouvait fournir déjà de meilleurs résultats. Dans un cadre idéal, il faudrait laisser le scanner sur un mât stable de deux ou trois mètres de haut et ne pas le bouger entre les deux époques de mesure. Le déplacement de l'appareil n'est en effet pas recommandé dans des analyses de déformations. Enfin, une modélisation par ordinateur de la totalité des voies à partir des données scanner permettrait de reconnaître le fil des rails et par conséquent de faire une comparaison entre deux époques rapide et précise. Cette modélisation devra cependant prendre en compte le dévers et la dimension de chaque rail.

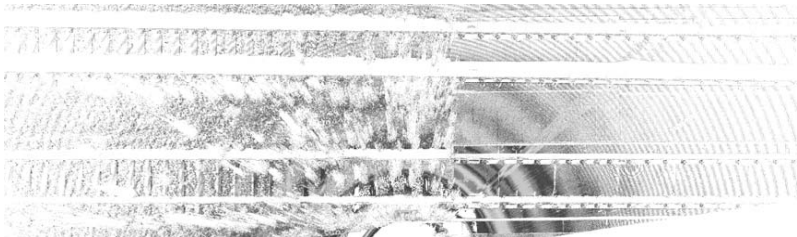
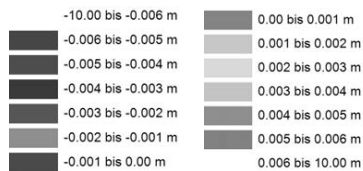


Image 4 : Comparaison des nuages de points levés par S23min et S24max.
Une couleur correspond à une différence altimétrique entre les nuages.

Evaluation de la technologie des caméras 3D (Kinect 2) pour la mesure et la reconstruction d'objets à courte portée

PFE présenté par : **Elise LACHAT**
Organisme d'accueil : **Laboratoire ICube**
Equipe TRIO / INSA Groupe PAGE
Directrice et
Correctrice du PFE : **Mme Tania LANDES**



1. Contexte de l'étude

Les caméras 3D, ou caméras de profondeur, forment une famille de capteurs ayant connu un essor important au cours des dernières décennies. Du fait de leur coût limité et de leur grande transportabilité, les caméras de profondeur ont principalement trouvé leur source d'utilisation dans la robotique, ainsi que dans certaines applications de la vision par ordinateur. A ces avantages s'ajoute également leur capacité à effectuer des acquisitions en temps réel, grâce à une fréquence d'acquisition souvent très élevée (plusieurs dizaines de prises de vues par seconde). La qualité des mesures effectuées par de tels systèmes, certes réduite, s'avère pour autant satisfaisante dans le cas d'applications, notamment en trajectographie (*SLAM, Simultaneous Localization And Mapping*).

Bien qu'étant au premier abord de résolution et de qualité insuffisantes pour être adoptées dans des études purement métrologiques, les caméras 3D présentent tout de même un intérêt pour le domaine de la modélisation tridimensionnelle. Ceci s'applique particulièrement à des objets de taille limitée (type statues, moulages,...) situés à courte portée (quelques mètres), du fait des caractéristiques technologiques employées. La numérisation 3D peut en effet constituer une ressource non négligeable, dans un souci de documentation et de conservation d'objets appartenant au patrimoine architectural et archéologique. L'idée est donc d'étudier la capacité d'une caméra de profondeur à constituer une alternative aux études photogrammétriques et aux scanners à main, jusqu'à présent privilégiés dans ce domaine. Il serait également envisageable d'utiliser cette technologie sur des zones masquées en complément de relevés de plus grande ampleur, sous forme par exemple de balayages réalisés au scanner laser terrestre.

Parmi les caméras 3D, le capteur Kinect développé par Microsoft fait office de figure majeure. En juillet 2014, la firme américaine a lancé sur le marché une nouvelle version de son produit, le capteur **Kinect pour Windows v2** (Figure 1). L'aspect essentiel qui le différencie de la première version repose sur la méthode de mesure de la distance, avec pour effet escompté une éventuelle amélioration en termes de performances métriques.

Au cours de ce projet, la question de la qualité des données acquises a constitué un élément central, avec pour but final une **analyse quantitative de modèles réalisés** grâce au capteur. Ainsi, **diverses expérimentations relatives à la manière de réaliser les acquisitions et à l'influence de l'environnement** ont été menées. Une **approche de calibration** a également été proposée dans l'optique de corriger les données brutes.

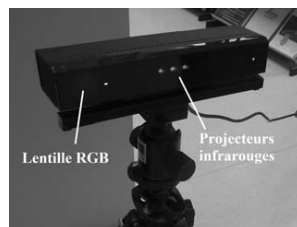


Figure 1 : Capteur Kinect v2 en fonctionnement, placé sur un trépied photographique.

2. Etude des propriétés du capteur

Le capteur Kinect v2 s'appuie sur le **principe de la mesure du temps de vol** pour évaluer les distances entre le système d'acquisition et la scène observée. Il s'agit ainsi d'un système optique actif, c'est-à-dire qu'une onde lumineuse est émise par le capteur, puis réfléchi par la scène en direction d'un récepteur interne au capteur. Les distances sont alors évaluées grâce à une relation liant temps

de parcours, célérité de l'onde et distance parcourue. La particularité d'une caméra temps de vol est que l'information de distance est ensuite enregistrée sous forme matricielle, **chaque pixel contenant une valeur de distance dans ce qui est appelé carte de profondeur**.

Pour ce faire, le capteur Kinect v2 est doté de **deux lentilles** générant **trois flux de données brutes** :

- une lentille associée à des projecteurs émettant dans l'infrarouge (Figure 1) fournit deux types de données, à savoir des **images infrarouges** ainsi que l'information de distance sous forme de **cartes de profondeur**. Leur résolution est basse (512 x 424 pixels).
- une lentille RGB permet l'acquisition de l'information colorimétrique, délivrant des **images couleurs** de résolution plus élevée (1920 x 1080 pixels).

La représentation de la scène observée sous forme de nuage de points n'est donc pas automatique. Afin d'obtenir de tels fichiers de points, les valeurs de distances stockées dans les cartes de profondeur sont utilisées, dans la mesure où elles représentent directement la troisième composante Z des nuages. Le passage des coordonnées images (2D) sur les cartes de profondeur aux coordonnées 3D est ensuite calculé à l'aide d'une relation de géométrie projective. Les traitements des données brutes telles que les cartes de profondeur, notamment pour le calcul des nuages de points, ont été effectués à l'aide du logiciel de calcul matriciel Matlab.

Par la suite, les capacités du capteur Kinect ont pu être étudiées à travers une série d'expérimentations. Celles-ci sont résumées dans la Figure 2 ci-dessous ainsi que leurs conclusions principales. Notons que des tests ont été menés en extérieur car d'ordinaire, les caméras 3D ne sont pas adaptées à ce type de travaux dans la mesure où l'onde lumineuse qu'elles utilisent est neutralisée par le rayonnement solaire.

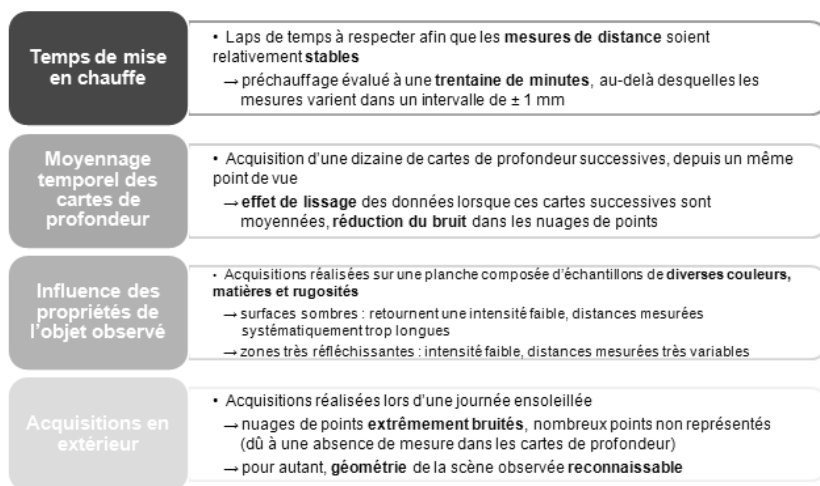


Figure 2 : Résumé des tests mis en place pour l'évaluation des capacités du capteur Kinect v2.

3. Méthode de calibration adaptée

Un des inconvénients majeurs lors de l'utilisation d'une caméra de profondeur, outre la résolution limitée des acquisitions, est lié aux nombreuses sources d'erreurs qui affectent la qualité des mesures. A l'instar du bruit de mesure aléatoire évoqué plus tôt, plusieurs erreurs systématiques inhérentes à la mesure de distance entachent les données brutes. Outre les distorsions « classiques » de la lentille qui se retrouvent également avec les appareils photographiques, l'erreur systématique de déformation de la distance devra être prise en compte dans un modèle de calibration adapté.

Une première étape de **calibration géométrique** réalisée sur la lentille infrarouge a permis d'en déduire ses **paramètres internes**, à savoir longueur focale et coordonnées du point principal, ainsi

que les **paramètres de distorsion radiale et tangentielle**. Alors que les deux premières caractéristiques sont nécessaires pour le calcul des nuages de points, les paramètres de distorsion servent à corriger les déformations géométriques liées à la lentille.

Dans un second temps, une manipulation a été entreprise en vue de la **correction des erreurs systématiques de mesure de la distance**. Il s'agit de réaliser des acquisitions sur un mur plan, blanc, depuis plusieurs stations dont la distance au mur est connue (stations implantées par tachéométrie). Le capteur est ainsi placé parallèle au mur aux distances de 80 cm, puis de 1 m à 6 m. Les distances mesurées sont des moyennes calculées sur une zone centrale, toujours identique, des cartes de profondeur successives. De ce fait, les écarts entre distances vraies et distances mesurées peuvent être déduits et représentés en fonction de la portée, comme le montre la Figure 3. La courbe utilisée pour l'approximation est de type spline, et permet d'estimer les appoints à apporter aux mesures en fonction de leur valeur.

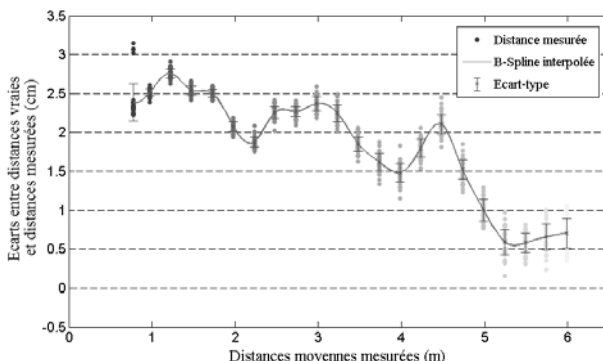


Figure 3 : Courbe des écarts (cm) entre distances vraies et distances mesurées, en fonction de la portée (m).

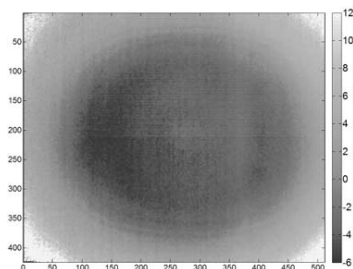


Figure 4 : Représentation colorée de la répartition des résidus (en mm) calculés par rapport à un plan moyen (portée 1,25 m).

Une dernière étape de correction a été proposée, afin d'**étendre la calibration en distance à l'ensemble du capteur**. En effet, des déformations peuvent être observées localement notamment sur les bords du capteur, provoquant un effet recourbé sur des nuages de points supposés représenter un plan. Pour chaque station déterminée précédemment, l'approximation d'un plan dans le nuage de points acquis permet d'estimer des résidus par rapport à ce plan moyen. Ces résidus peuvent ensuite être représentés sur l'ensemble de la matrice du capteur (Figure 4). La correction à apporter est ensuite interpolée, pixel par pixel, en fonction de sa position sur le capteur et de la mesure de distance qu'il contient.

4. Application à la réalisation de modèles 3D

La dernière étape de ce projet consiste en la réalisation de modèles 3D. **Deux approches** ont été envisagées pour la numérisation d'objets à courte portée et le maillage des acquisitions. Une première méthode automatique fournie par le kit de développement (SDK) du capteur, **l'outil Kinect Fusion**, a été testée. Cet outil permet d'utiliser le capteur Kinect à la manière d'un scanner à main, et de visualiser la numérisation de l'objet observé directement sur ordinateur.

Une seconde méthode davantage manuelle a été mise en place, inspirée des méthodologies adoptées lors de travaux photogrammétriques ou lasergramétriques. Des nuages de points ont donc été acquis depuis **plusieurs angles de vue autour de l'objet**, puis **consolidés par sélection de points homologues entre nuages** successifs afin d'obtenir un nuage fusionné complet de l'objet. De nombreuses étapes de segmentation et de suppression du bruit sont nécessaires au préalable, du fait du bruit et des artefacts présents dans les nuages bruts.

Pour l'évaluation de l'exactitude des modèles ainsi réalisés, des nuages de référence ont été acquis à l'aide d'un bras de mesure FARO, dont la précision est submillimétrique selon ses caractéristiques techniques. Sitôt maillé, le nuage acquis grâce à cette technique peut être considéré comme fidèle à la réalité et utilisé comme modèle de référence. Des comparaisons de plusieurs natures (nuage/nuage, maillage/nuage et maillage/maillage) ont alors pu être effectuées, entre ces données de référence et les jeux de données réalisés grâce au capteur Kinect. Deux objets ont été reconstitués, le premier à l'aide de l'outil Kinect Fusion, et le second par consolidation manuelle de nuages individuels. En moyenne, les écarts par rapport aux modèles de référence sont de l'ordre de 1 à 2 mm pour le modèle Kinect Fusion, et de 2 à 3 mm pour l'autre méthode. Ces résultats sont satisfaisants, cependant le rendu visuel est plus limité, dans la mesure où localement des déformations de l'ordre du centimètre peuvent apparaître, s'accompagnant d'une perte de la géométrie de l'objet. La Figure 5 illustre les écarts (en mm) projetés sur les nuages de points étudiés, écarts issus d'une comparaison maillage/nuage réalisée à l'aide du logiciel CloudCompare. Dans l'ensemble, la **précision atteinte est de l'ordre du centimètre**.

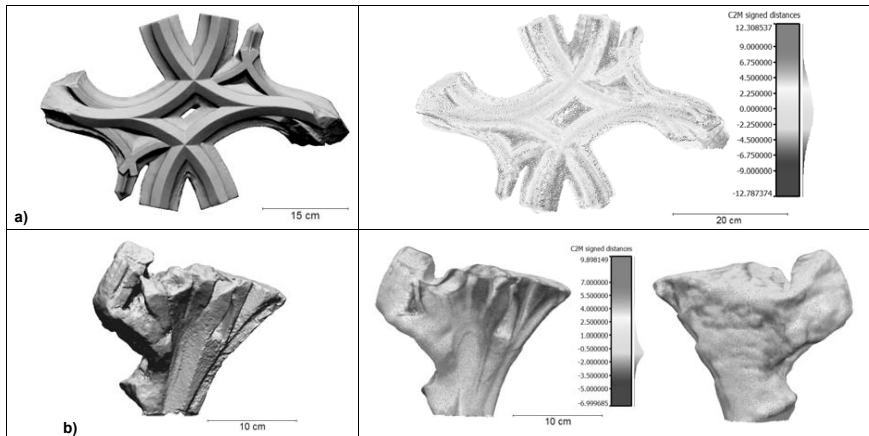


Figure 5 : Maillages de référence réalisés à partir de données issues du bras de mesure, à gauche, pour un fragment de balustrade (a) et un fragment de chapiteau corinthien (b). A droite, résultats des comparaisons maillage/nuage pour ces deux pièces.

5. Conclusion et perspectives

Ce projet a permis d'étudier un certain nombre de capacités du capteur Kinect v2. Les expérimentations mises en place visent essentiellement à **améliorer la qualité des données acquises**. En outre, des corrections sont également apportées en post-traitement, lors du calcul des nuages de points, notamment grâce à plusieurs **étapes de calibration**. Les pistes d'amélioration explorées ont mené à l'obtention de nuages de points sur des objets de taille réduite, en vue de leur reconstruction tridimensionnelle. La **précision des modèles ainsi obtenus** a pu être évaluée par comparaison avec des modèles de référence, laissant transparaître des résultats satisfaisants au vu de la technologie employée. Cependant, en comparaison à des travaux photogrammétriques, une perte plus importante de détails causée par des défauts locaux de modélisation est à déplorer.

A l'issue de ces travaux, des pistes d'optimisation peuvent être considérées. Ainsi, la méthode de calibration choisie pourrait être réitérée afin de confirmer les résultats obtenus. Pour autant, les principales améliorations à envisager concernent la **réalisation de modèles 3D**. En effet, un **degré plus important d'automatisation** de la consolidation serait souhaitable, entraînant une diminution des erreurs engendrées par le traitement de l'opérateur. De surcroît, un gain de temps notable lors de la réalisation des modèles serait ainsi acquis, permettant également de faciliter la réalisation de maillages fidèles.

Procédure d'Extraction d'Objets Urbains à Partir d'un Nuage de points Terrestre

PFE présenté par : **Corentin Blanc**
Société d'accueil : **FIT Conseil**
Directeur(trice) de PFE : **Cyril Michon**
Correcteurs(trices) : **Emmanuel Alby**



Introduction

Si actuellement de plus en plus d'applications utilisant la donnée en trois dimensions sont développées (navigation, planification et gestion urbaine, tourisme...) et que les méthodes de collecte sont efficaces en terme de qualité et de rendement, la phase du traitement est encore extrêmement manuelle.

En effet, pour *FIT Conseil*, le nuage de points ne représente pas une finalité en tant que tel, le but étant l'extraction d'un plan topographique à partir de ces données, cette étude s'est intéressée sur les possibilités existantes pour automatiser, au moins partiellement, cette création du plan topographique.

1. Etat de l'art

Comme évoqué précédemment, les méthodologies pour la collecte de données en trois dimensions sont bien maîtrisées et notamment pour la cartographie mobile, cœur de notre étude. L'utilisation des technologies de laser scanner, de positionnement par système GPS/IMU et d'ajout de photographies permettent l'obtention de données dans des environnements urbains ou autoroutiers de manière rapide et précise.

Actuellement, le traitement de la donnée lidar suit un schéma logique présenté en **Figure 1**. Cette étude s'attachant à développer une solution de classification du nuage de points et une vectorisation, seules les quatrième et cinquième étapes seront abordées.

En termes de classification, il existe déjà actuellement des méthodes diverses et variées ; par exemple, au sein de *FIT Conseil* il existe déjà une méthode permettant de classer les points appartenant au sol et de classer les autres par rapport à leur hauteur relative. D'autres études ont permis déjà de distinguer des classes plus proches de celles qui nous intéressent mais faisant intervenir des paramètres tels que la couleur que nous ne souhaitons pas utiliser au cours de cette étude.

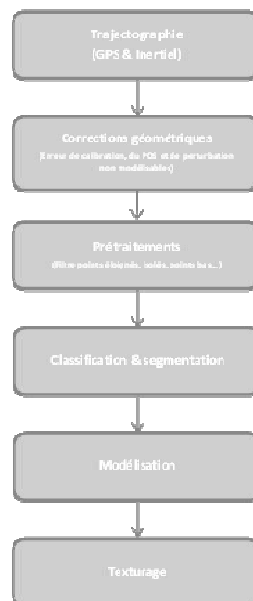


Figure 1 – Traitement de la donnée 3D

2. Segmentation et classification du nuage de points

S'il existe actuellement de multiples solutions logicielles faisant chacune intervenir des méthodologies différentes, aucune d'entre elles ne permet une classification du nuage de points qui soit entièrement satisfaisante.

Dans cette étude, après divers tests, on a décidé de se tourner vers une solution qui permet de classifier le nuage sur des critères multi scalaires utilisant le logiciel *CloudCompare* ainsi que les algorithmes de *CaNuPo* (CAractérisation du NUage de Points) développé par Nicolas Brodu et Dimitri Lague.

Cette méthodologie a différents avantages qui nous ont poussés à la sélectionner et à la développer :

- Utilisation de critères uniquement géométriques
- Exploration du nuage en trois dimensions
- Robustesse des classificateurs
- Evolution de la classification en fonction des besoins futurs

On réalise une segmentation manuelle afin d'isoler les différentes classes d'objet que l'on souhaite faire apparaître, et on génère des fichiers multi-scalaires. L'utilisation de ces fichiers permet, avec l'ajout de différents filtres, d'extraire la partie du nuage de points appartenant à la classe souhaitée. L'application de plusieurs classificateurs et filtres permet ainsi d'obtenir des scènes classifiées semi automatiquement.

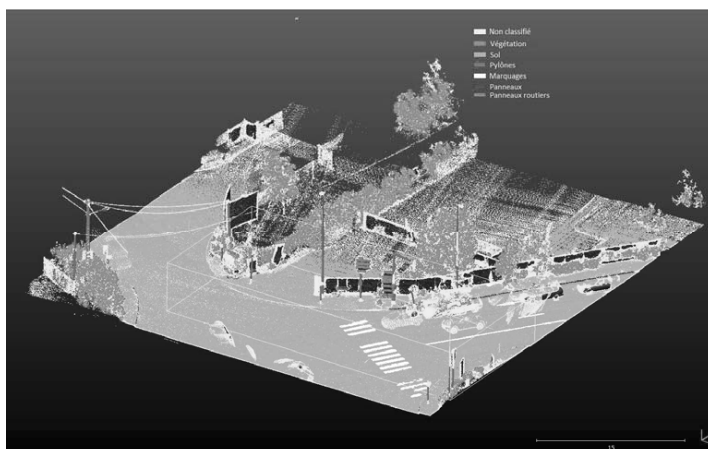


Figure 2 – Exemple de résultat de classification semi-automatique

Deux types d'évaluations ont été mises en place afin d'appréhender au mieux la qualité de cette méthodologie :

- Evaluation du point de vue du nuage de points : permet d'évaluer point par point, à partir d'une classification manuelle de référence, la capacité distinguante de chacun des classificateurs
- Evaluation du point de vue de l'objet physique : permet de voir si aucun objet n'est ignoré par la classification

Ces deux évaluations permettent de se rendre compte de la possibilité d'utiliser cette méthodologie au sein du process déjà en place au sein de *FIT Conseil*.

3. Automatisation de la classification

Si les résultats en tant que tels peuvent laisser présager de l'utilité de la classification, tant au niveau d'une future automatisation de la digitalisation que d'une aide pour la digitalisation manuelle, le temps nécessaire pour la mettre en place ne la rend pas rentable en l'état.

Il est donc nécessaire d'automatiser au maximum cette tâche, car même si cette automatisation n'est pas optimisée, le temps machine représente un coût extrêmement faible par rapport au temps humain. Au vu des outils à disposition, l'utilisation de l'invite de commande MS-DOS de Windows est apparue comme une solution évidente permettant de lier directement les différentes versions lignes de commandes des logiciels. On a ainsi pu développer un script, *Clautom*, qui permet de classier avec une intervention humaine limitée :

```

          CLAUTOM

Classification du nuage de points automatisé

Auteur: Corentin Blanc
Date du debut de l'execution: 16/04/2015 a 15:11:22.24
v: Alpha 3.1

Appuyez sur une touche pour continuer...
Entrez le chemin du dossier contenant les fichiers à traiter: C:\clauton\las
Le chemin que vous avez pointé est: C:\clauton\las
Appuyez sur une touche pour continuer...
Entrez le chemin du dossier contenant les fichiers Classificateurs: C:\clauton\classifier
Le chemin que vous avez pointé est: C:\clauton\classifier
Appuyez sur une touche pour continuer...
Entrez le chemin de la matrice de transformation: C:\clauton\matrice_trans.txt
Le chemin que vous avez pointé est: C:\clauton\matrice_trans.txt
Le chemin d'installation de Clautom est: C:\Program Files\CC\CC_6.1
Appuyez sur une touche pour continuer...
===== Création d'un dossier temp de classier =====

C:\Program Files\CC\cc_6.1>mkdir B:\Clauton\classifier\temp
C:\Program Files\CC\cc_6.1>pause
Appuyez sur une touche pour continuer...
C:\Program Files\CC\cc_6.1>set chemin_temp=B:\Clauton\classifier\temp
C:\Program Files\CC\cc_6.1>pause
Appuyez sur une touche pour continuer...
===== Sélection des classificateurs =====

C:\Program Files\CC\cc_6.1>copy B:\Clauton\classifier\*.prn B:\Clauton\classifier\temp
B:\Clauton\classifier\Plan_vert_01_0.prn
B:\Clauton\classifier\Polymer_01_0.prn
B:\Clauton\classifier\Soi_01_2_0_0_0_0_10000.prn
B:\Clauton\classifier\Vegetation_01_0.prn
4 fichier(s) copié(s)
C:\Program Files\CC\cc_6.1>pause
Appuyez sur une touche pour continuer...

```

Figure 3 – Script d'automatisation *Clautom*

4. Extraction d'éléments caractéristiques

Une autre phase intéressante lors de l'exploitation d'un nuage de points pour en générer un plan topographique est la possibilité d'extraire des points caractéristiques pour automatiser la vectorisation. Différentes méthodes sont à appliquer en fonction des classes et l'on s'est concentré sur différentes classes et méthodes.

Les résultats obtenus dans cette partie de l'étude permettent d'obtenir après segmentation semi-automatique des points d'insertion de la classe *poteaux* et *câbles aériens* ainsi qu'une méthodologie basée sur les fonctions de *TerraScan* d'extraction de points hauts et bas locaux pour extraire les lignes hautes et basses des trottoirs.



Figure 4 – Extraction des lignes de trottoir

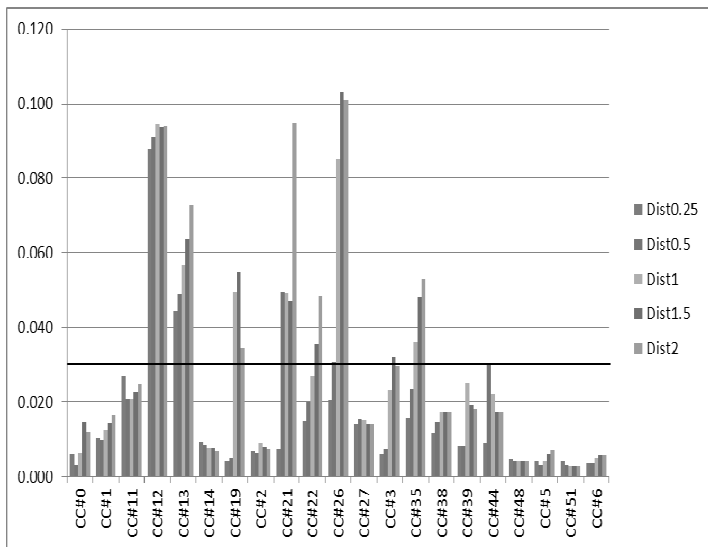


Figure 5 – Précision du point d'insertion de la classe des poteaux

Conclusion et perspective

Si en l'état des choses, la classification peut représenter des avantages, tant pour une vectorisation future qu'en tant qu'aide à la digitalisation manuelle, l'état d'avancement des vectorisations et recherche de points caractéristiques ainsi que leur manque d'automatisation ne la rend pas intéressante d'un point de vue de production. Cependant, elle permet d'ouvrir des pistes de réflexion à ce niveau, tant sur les méthodologies que sur les difficultés qu'elles engendrent, notamment par leurs différences et la multiplicité des résultats attendus.

Un des points les plus intéressants de cette méthode de classification, outre sa résilience par l'utilisation de critères géométriques, est sa capacité d'adaptation aux futures applications qu'on voudra en faire, l'ajout de classes étant relativement simple et s'intégrant correctement au processus.

Afin d'améliorer la méthodologie mise en place dans cette classification, plusieurs axes pourront être exploités tels que l'utilisation d'un autre langage de programmation plus optimisé, permettant d'améliorer les temps de traitement, d'ajouter une interface utilisateur graphique... On peut aussi imaginer qu'ajouter de nouveaux critères de différenciation, de la reconnaissance de formes ou bien créer des liens entre différentes classes (panneaux de signalisation et poteaux par exemple) pourrait encore améliorer la classification et la digitalisation automatique à partir du nuage de points.

Mise en place d'une application partagée de saisie des opérations sur les rivières

PFE présenté par : **Léa Simeray**
Société d'accueil : **Conseil départemental du Haut Rhin**
Directeur(trice) de PFE : **Sophie Cailliez-Barnouin**
Correcteur(trice) : **Jacques Ledig**



1. Introduction

La cellule SIG (Systèmes d'Informations Géographiques) de la Direction de l'Environnement et du Cadre de Vie (DEV) du Conseil départemental du Haut-Rhin a pour mission d'administrer et d'animer le SIG Départemental et le portail cartographique du Haut-Rhin (Infogeo68). Il permet au Département de fournir à ses services et unités internes, à ses partenaires et aux citoyens toutes sortes de cartes et d'applications web géographiques. L'étude présentée ici s'est déroulée au sein de cette cellule.

L'objectif est d'apporter un nouvel outil pour la gestion des travaux sur les rivières à l'Unité Ingénierie et Travaux Hydrauliques du Service Rivières et Barrages (SRB). Cette nouvelle solution doit permettre aux agents d'enregistrer les mêmes informations qu'auparavant mais elle doit également améliorer les points faibles de l'ancien outil en utilisant les techniques de bases de données, de géomatique et les technologies web pour la gestion des travaux sur les cours d'eau. Ces apports impliquent des améliorations au niveau de l'intégrité des données, de la visualisation et de la synthèse de celles-ci et du partage avec les intervenants concernés.

Pour comprendre les enjeux d'un tel projet il est essentiel d'avoir pris connaissance de la relation entre les différents intervenants et de leur mode de travail qui est amené à évoluer.

2. Contexte de l'étude

La DEVI se compose de plusieurs services dont la comptabilité est gérée par une unique cellule comptable. Parmi ceux-ci, l'étude se focalise sur le Service Rivières et Barrage et plus particulièrement l'Unité Ingénierie et Travaux Hydrauliques qui effectue les travaux sur les cours d'eau du Haut-Rhin. En effet, le Département se propose d'être maître d'ouvrage délégué pour les communes, structures intercommunales ou les syndicats de rivières dans le cadre de leurs travaux sur les cours d'eau. Une fois par an, le Département et les maîtres d'ouvrage se retrouvent au cours d'Assemblées Générales pour faire le bilan de l'an passé et voter les travaux à réaliser l'année suivante. Ensuite, le Conseil départemental vote les budgets destinés à chaque Direction, et, au cours de commissions thématiques et permanentes, valide et entérine ces décisions.

L'entité votée par le Conseil départemental est, pour l'Unité Ingénierie et Travaux Hydrauliques, une « opération comptable ». Une opération comptable est définie par son millésime et le maître d'ouvrage concerné. Elle donne lieu à plusieurs « opérations travaux », qui sont finalement les chantiers suivis par les agents de l'Unité Ingénierie et Travaux Hydrauliques. Chaque agent est responsable du suivi des travaux pour des maîtres d'ouvrages particuliers. Le maître d'ouvrage, lui, n'interagit qu'avec son unique agent responsable.

Dans ce cadre, l'unité est amenée à collaborer avec différents maîtres d'œuvre. Ils peuvent être externes au Département, dans le cas des entreprises ou groupements d'entreprises, ou internes au Département, c'est le cas du Parc Matériel d'Intervention (PIM) du Service Rivières et Barrages, unité qui se charge d'intervenir sur les terrassements, remblais ou déblais. Elle est alors amenée à passer des marchés, émettre des commandes et recevoir des factures.

D'autre part, le Département finance une partie des travaux, qu'il soit maître d'ouvrage ou non, en fonction de l'importance du cours d'eau représentée par son ordre sur une échelle de 1 à 4. Plus le cours d'eau est important, et plus le Département finance une part importante des travaux. Le reste du coût est financé par les maîtres d'ouvrages (ou « Tiers » pour la suite du document) déduit des potentielles subventions de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse (AERM) ou de l'Etat.

Toutes les informations, qu'elles soient comptables, techniques ou administratives sont enregistrées dans l'outil actuel qui correspond à un corpus de fichier Excel liés, accessible par les utilisateurs sur un serveur local. Le principal fichier, EnrSR001, enregistre les opérations comptables et travaux, les commandes, les factures et marchés. Le corpus de fichiers est utilisé en lecture et en écriture.

Il permet de calculer des informations indispensables pour suivre les travaux et de sortir certains documents comme des demandes de bon de commandes ou des fiches signalétiques d'opération. Les différents intervenants (comptabilité, unité ingénierie et travaux hydrauliques, chef de service ou PIM) ne lisent et ne saisissent pas les mêmes informations dans le corpus de fichiers.

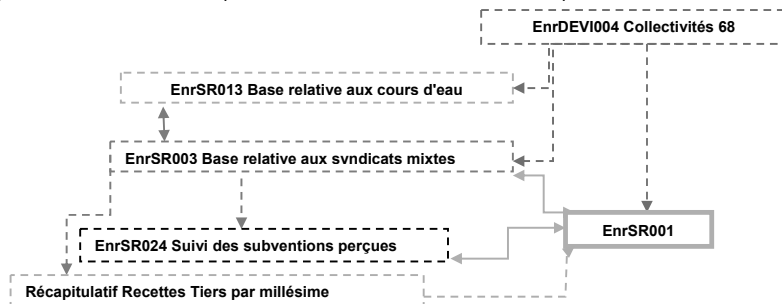


Figure 1 : Schéma relatif à la circulation des données entre les fichiers du corpus de fichiers utilisé par l'Unité Ingénierie et Travaux Hydrauliques pour la gestion de ses opérations (Document personnel)

La figure 1 résume la façon dont les différentes informations circulent entre les fichiers Excel. Une partie du travail des agents de l'Unité Ingénierie et Travaux Hydraulique réside dans la production annuelle d'une synthèse technique et financière des travaux effectués et dans la prévision des travaux à réaliser. Un diaporama à présenter aux Assemblées Générales est produit chaque année par les agents pour chaque syndicat mixte (Figure 2).

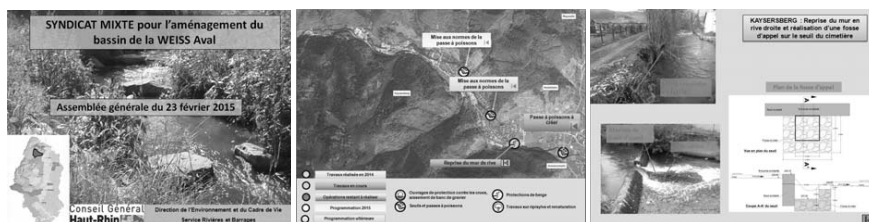


Figure 2 : Extraits du diaporama présenté à l'Assemblée Générale de la Weiss Aval 2015

Aujourd'hui, la redondance des données couplée à la lenteur d'un système saturé pousse le chef de service à vouloir les migrer sur une base de données qui permettrait de protéger leur intégrité et serait plus robuste face au mauvais usage des utilisateurs. En effet, à l'heure actuelle les données ne sont pas protégées par des droits et peuvent être modifiées sans contrôle logique préalable. Le fait que l'édition ne soit pas possible pour deux utilisateurs simultanément incite aussi à un tel changement. La volonté d'obtenir une base de données géographique a aussi été très forte. En effet, cela permettrait, d'une part, de réaliser plus facilement des synthèses géographiques ou de se rendre compte de certains phénomènes (densité des travaux, types de travaux par localisation...) et d'autre part de partager les informations plus facilement avec les intervenants extérieurs. Enfin, cela permettrait de remplacer les anciens diaporamas par de nouvelles présentations dynamiques. L'étude approfondie de ces fichiers et des méthodes de travail des différents intervenants a été indispensable au développement du nouvel outil.

3. Matériel et méthodes

Un projet de création d'application web géographique nécessite une structure matérielle importante pour être mené à bien. Ce projet utilise la structure existante au sein du Département qui a déjà permis de mettre en place le portail cartographique InfoGeo68.

Le Département utilise dans un cadre général Microsoft Windows (XP ou 7), le Pack Office (comprenant Excel, Word, Access, Power Point), et Business Objects XI 3.1.

La solution SIG choisie par le Département est la suite de logiciels de SIG ArcGIS d'ESRI version 10.1 et 10.3 comprenant, d'une part, ArcSDE, ArcCatalog, ArcGIS Desktop, et d'autre part ArcGIS Server, ArcGIS Online et Operation Dashboard. Le tout repose sur une base Microsoft SQL Server 2008 R2 (avec une surcouche ArcSDE) pour la gestion des bases de données. Enfin, le Département possède une architecture de serveurs propres à la publication d'applications géographiques sur InfoGeo68.

Cette architecture a été amenée à changer au cours de l'étude, ce qui a induit certains dysfonctionnements et des retards au niveau du développement du projet.

Avec le matériel présenté, il existe trois alternatives pour la création d'applications web : l'utilisation d'ArcGIS Online, d'arcOpole ou d'Operation Dashboard. Ces 3 solutions permettent la mise en ligne d'applications, mais elles ont des caractéristiques d'utilisation différentes qui ont été comparées pour mettre à bien cette application.

Par ailleurs, la mise en place d'une base de données géographique nécessite d'utiliser les données adéquates. Pour cette étude, la BD Carthage, base de données hydrographique, et la BD Topo, base de données plus générale de l'IGN ont été indispensables. La BD Topo est utilisée pour avoir les informations sur les contours administratifs et produire les contours du périmètre d'action des syndicats mixtes de rivière (regroupant plusieurs collectivités). La BD Carthage sert de base à l'affichage et l'enregistrement de l'ordre des cours d'eau ajoutés par le Département.

Enfin, il est important de préciser les méthodes utilisées pour mettre au point une application web géographique. Ce type d'application se compose d'un ou plusieurs services web géographiques. Trois standards de services web géographiques ont été utilisés pour cette étude :

- Les services web d'entités (Web Feature Services) ou WFS qui permettent la saisie de données depuis un navigateur Internet,
- Les services web de carte (Web Map Services) ou WMS qui permettent la consultation de données depuis un navigateur Internet,
- Les services de géotraitement (Web Processing Services) ou WPS qui permettent l'exécution d'un outil avec éventuellement des paramètres d'entrée et de sortie.

4. Résultats et discussions

Le projet a permis la mise en place d'une nouvelle base relationnelle de données géographiques et le développement d'une application web géographique de saisie des données ainsi que des applicatifs supplémentaires de lecture et analyse des données.

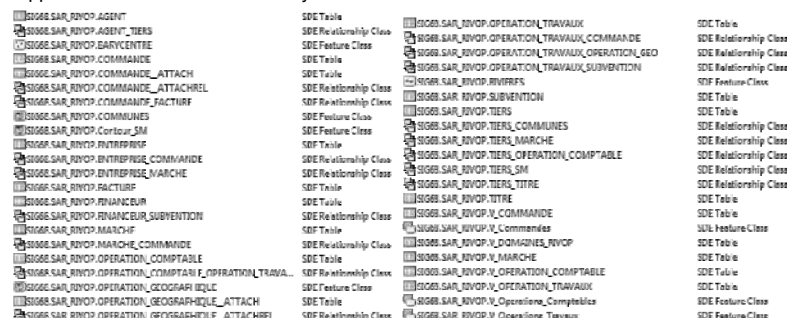


Figure 3 : Capture d'écran sur ArcGIS Catalog de la base de données obtenue

La base de données géographique est une base de données SDE composée de 11 tables, 5 classes d'entités géographiques, 17 classes relationnelles, 2 tables de pièces jointes et 7 tables de vues ou requêtes (Figure 3).

Les onglets d'EnrSR001 représentant les commandes, les marchés, les factures, les opérations travaux et comptables sont devenus tables de la nouvelle base de données. S'ajoutent à cela les nouvelles tables agent, entreprise, financier, subvention, tiers et titres. Les relations entre les tables sont repérables figure 3 et ont été préalablement définies grâce à des modèles conceptuels et logiques de données et imposent des conditions sur la saisie des données.

Les opérations de travaux sont représentées par une table (Figure 3) mais aussi par une classe d'entité géographique de polygones qui seront saisis par les agents et une classe d'entité géographique de points calculés automatiquement à partir des polygones (Figure 5).

ArcOpole est la solution qui est choisie pour la saisie des opérations. Le système de saisie diffère complètement de la base de départ car l'utilisateur qui souhaite ajouter un nouvel objet commence la saisie depuis l'objet dont il dépend. Un protocole de saisie qui respecte l'ancien mode travail a été mis en place. Par exemple, une opération de travaux est saisie depuis un formulaire accessible sur la fiche de l'opération comptable alors qu'auparavant il s'agissait d'ajouter une ligne au tableau des opérations.



Figure 4 : Captures d'écran sur l'application RIVOP développée avec ArcOpole de la fiche attributaire d'une opération comptable

La visualisation des données calculées par l'ancienne base, pour rendre compte de l'avancement des travaux, a été rendue possible avec 7 requêtes produites pour répondre aux attentes. Ce système est complété par la possibilité pour les utilisateurs d'éditer et d'enregistrer des requêtes plus poussées avec Business Objects. Une troisième façon de visualiser les données a été développée pour les principaux utilisateurs avec Operation Dashboard. Il permet d'avoir une vue synthétique de l'avancement des travaux. Les Tiers concernés pourront consulter l'état d'avancement des travaux grâce à la carte éditée avec ArcGIS Online. Elle remplacera les présentations produites pour les Assemblées Générales.



Figure 5 : Applications de lecture : A gauche, pour les utilisateurs du SRB réalisé avec Operation Dashboard - A droite : application de synthèse des données réalisée avec ArcGIS Online pour les Tiers

Il est important de souligner que ces outils ont été développés avec la participation des différents utilisateurs. Le paramétrage de l'application et plusieurs traitements disponibles depuis l'application de saisie ont été réalisés de façon à permettre une utilisation adaptée aux méthodes de travail de ces derniers. Les changements relatifs à leur mode de travail ont aussi été pris en compte tout au long de cette étude pour que le bilan soit positif et que l'outil soit accepté.

5. Conclusion

Cette étude a montré qu'il était possible avec les moyens géomatiques en place au sein du Département du Haut-Rhin de répondre aux besoins de ses services internes. Ce travail a nécessité, en plus des connaissances techniques adéquates, une écoute particulière des futurs utilisateurs à travers des réunions de groupe ou des rencontres individuelles.

Le SIG sur Internet permet la diffusion à grande échelle de cartes et de traitements géographiques et les technologies évoluent très vite pour répondre aux besoins. Il ne permet aujourd'hui d'effectuer qu'une part des possibilités offertes par le SIG en local, mais le développement des techniques n'a de cesse de diminuer les écarts entre les deux méthodes.

Le projet s'intègre dans la politique de partage d'informations géographiques avec le grand public, les partenaires ou les services internes du Département, représentée par le portail cartographique InfoGeo68. Ce projet pourrait ouvrir la voie à d'autres développements de même type. En effet, l'Unité Exploitation des Ouvrages Hydrauliques, appartenant aux Services Rivières et Barrages, a montré un grand intérêt pour le développement de cet outil qui pourrait être adapté à son mode de travail. A long terme, la cellule SIG pourra proposer une gamme complète d'applications en ligne pour les différents services.

Plus d'infos :

www.insa-strasbourg.fr/fr/journees-de-la-topographie

Noé Filosa

Étudiant, commission d'organisation
noe.filosa@insa-strasbourg.fr

Avec l'aide de Tania Landes

Maître de conférences INSA Strasbourg
tania.landes@insa-strasbourg.fr
tél. 03 88 14 47 34

INSA Strasbourg

Spécialité topographie
24 boulevard de la Victoire
67084 Strasbourg Cedex
tél. 03 88 14 47 00
www.insa-strasbourg.fr

INSA

GE
GÉOMÈTRE-EXPERT
CONSEILLER VALORISER GARANTIR

aft