Interface Génie-Civil/Equipement : Positionnement d'interfaces dans des trémies

Soutenu par **ACKER** Arthur

Directeur de PFE : **HANSEN** Matthieu

Correcteur : **ALBY** Emmanuel

Contexte et problématique

Ce projet de fin d'études s'est déroulé au sein de l'agence Provence de SITES. Ce projet a pris place sur le chantier ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), la construction du plus grand réacteur à fusion nucléaire mondial. Ce PFE s'est inscrit dans une prestation en cours, de réglage d'une centaine de trémies mais avec une perspective d'en réaliser 2500 supplémentaires. Les trémies sont des réservations dans les murs servant au placement des sleeves, tuyaux servant au passage de gaines, câbles et autre tuyauterie.

Dans la procédure mise en place par SITES, les équipes se sont rendu compte que la partie réglage des sleeves avant bétonnage était beaucoup trop chronophage. Cinq points sont mesurés sur le périmètre intérieur de la sleeve pour calculer son centre et le comparer avec les données d'entrée. Le traitement se fait par le biais d'un logiciel développé en interne par SITES appelé Metride Dim Master (MDM). Il est installé sur un ordinateur relié directement au tachéomètre. La problématique principale du projet est donc de proposer une solution qui permettrait aux employés, d'effectuer la phase de réglage avec une présence partielle des topographes.

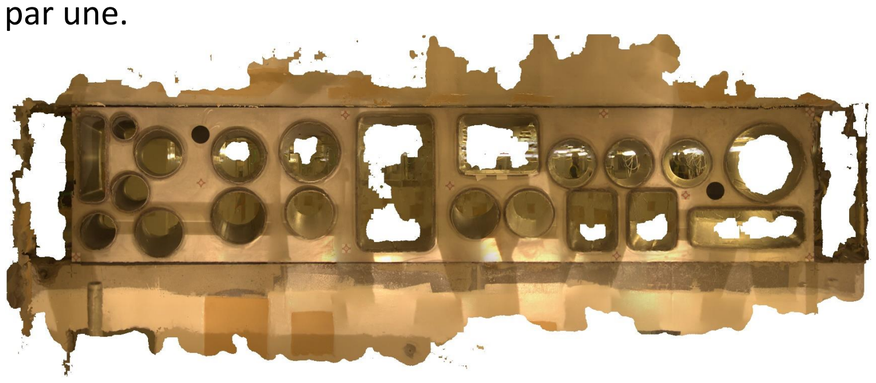
Exemple d'une trémie avec sleeves après bétonnage

Exemple d'une trémie prête pour l'implantation des axes

Méthodes et résultats

Photogrammétrie

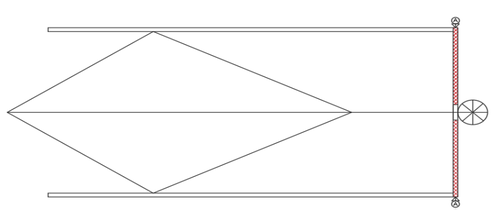
La photogrammétrie nous a permis de réaliser des orthophotographies d'insert. Un insert est un ensemble de sleeves soudées sur un panneau en inox. C'est alors tout un bloc qui est réglé en lui-même dans la trémie. L'orthophotographie nous a alors permis de contrôler la position des sleeves sans avoir à les relever une par une.

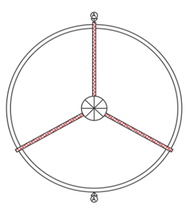


Des scripts automatisant la procédure de génération de l'orthophotographie ont été réalisés. Ces scripts Python sont réalisés à l'aide de l'API utilisés par le logiciel Métashape. Nous avons aussi étudié la détection de cibles codées sur Métashape. Les scripts ont alors pu être réutilisés pour automatiser la phase de détection et d'export des coordonnées des cibles codées.

Création d'une pièce mécanique

On a constaté que la mesure perpétuelle de cinq points sur le périmètre de la sleeve pour obtenir les coordonnées de son centre fait perdre beaucoup de temps. La pièce mécanique va alors permettre de positionner un prisme directement au centre de la sleeve. Cette pièce va alors nous permettre d'effectuer un réglage dynamique de la sleeve.

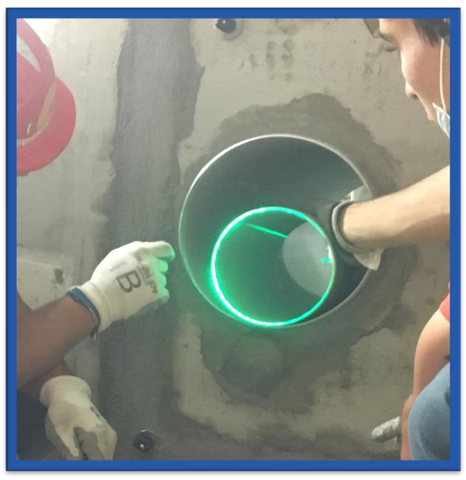




La pièce est constituée de deux parties, la première vient se placer dans la sleeve. Elle est composée d'une visse et de trois bras qui avec la pression viennent se caller à l'intérieur de la sleeve. Cette partie a pu être achetée sur internet. Nous avons alors construit la deuxième partie. C'est un plateau pouvant accueillir notre prisme ainsi que trois bras. Cette partie vient alors se visser sur la partie à l'intérieur et se caler sur le périmètre de la sleeve.

Gabarit laser

Le gabarit laser permet de projeter un plan DAO à l'échelle sur une surface. Ce système fait partie de la réalité augmentée dite spatiale. L'utilité de ce système est de projeter le périmètre de la sleeve dans l'espace et de placer la trace laser projetée sur la tranche. Le gabarit laser projette des points à une vitesse telle que l'œil humain à l'illusion qu'une ligne est projetée.



Conclusions et perspectives

ITER est un chantier colossal avec de gros enjeux à la clé. Il n'est pas impossible que le cahier des charges imposé actuellement sur le positionnement des sleeves change dans le futur. Dans cette situation, certaines pistes non exploitées pour le moment pourraient être à nouveau étudiées. Ce Projet de fin d'études a permis mettre en lumière plusieurs techniques pouvant répondre à la problématique posée.

Monitoring par photogrammétrié : surveillance automatisée

Muhi Aldin ALRASLAN étudiant Master IRIV (PFE 2020)
Directeur de PFE : M. Pierre CARREAUD
Correcteur de PFE : Dr. Pierre GRUSSENMEYER

Introduction

Le parc de la CNR (Compagnie Nationale du Rhône) comporte 52 portes d'écluses adaptées au grand gabarit, elle souhaite se doter de systèmes de surveillance, pour ces équipements, avec comme objectif d'estimer le vieillissement des structures métalliques des portes.

Dans le cadre de ce projet, la société SITES participe à la surveillance des déformations de la porte aval de l'écluse d'Avignon. Ce suivi est réalisé actuellement par une station totale robotisée qui vise une quinzaine de prismes installés sur la porte. La présence de l'eau sur la porte empêche parfois les mesures des prismes par la station totale. D'ailleurs, les stations totales robotisées sont assez onéreuses, difficile à installer pour avoir une vue globale sur l'ouvrage.

Figure 1 La porte d'écluse D'Avignon.

Méthodes et équipements

- Cibles blanches réfléchissantes puisque l'utilisation de ces cibles permet de réaliser des filtres et traitements d'images robustes afin de déterminer le centre de chacune des cibles.
- 4 caméras Canon des résolution 12 à 20 mégapixels couplées à des flashs pour éclairer les cibles .

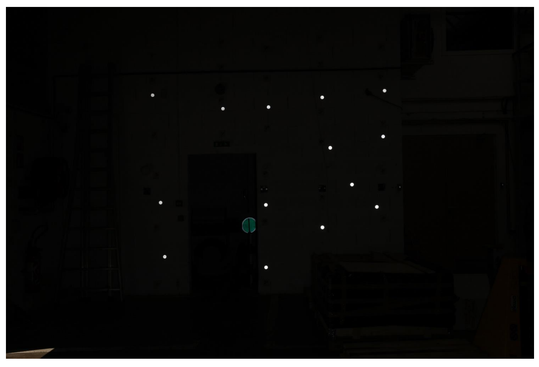


Figure 2 photo en noir et les cibles en blanc.

- Code développé en Python pour détecter le centre des cibles rétroréfléchissantes avec haute précision. On fait une fenêtre carrée autour de chaque cible et on fait la moyenne des coordonnées de chaque pixel (u.v.) présents dans cette fenêtre, pondérées par leurs niveaux de gris respectifs.

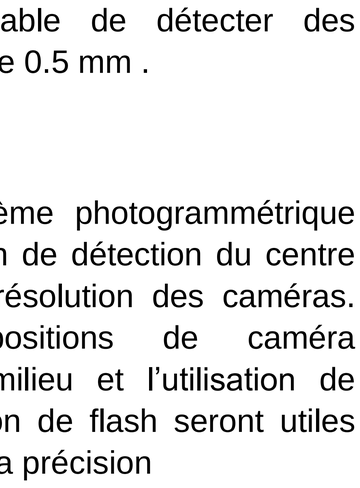


Figure 5 détection le centre de la cibles

- Le logiciel Photomodeler pour effectuer les essentielles opérations (calibration des caméras, référencement des cibles, ajustement des faisceaux) et l'outil motion projet pour automatiser le traitement.

Résultats

Quatre caméras étaient fixées : deux caméras rive droite et deux cameras rive gauche.

Lors du passage d'un bateau, une fois la porte fermée, on a commencé à prendre des photos synchronisées à une fréquence de 30 secondes par un déclencheur à distance. (26 déclenchements au total).

- On note des déformations de l'ordre de 19 mm sur l'axe Y aval sur les cibles installées au centre de la porte si on fixe les orientations des caméras(figure 3).
- On note des déformations de l'ordre de 8 mm sur l'axe Y si on considère que les caméras sont dynamiques(figure 4).

Discussion

La précision des mesures est +/-0.2 mm. Cette précision a été calculée à partir des 4 dernières acquisitions, porte stabilisée. Cela signifie que le système est capable de détecter des déformations de plus de 0.5 mm .

La précision de système photogrammétrique dépend de la précision de détection du centre de la cible et de la résolution des caméras. Cependant, des positions de caméra supplémentaires au milieu et l'utilisation de différentes configuration de flash seront utiles pour l'amélioration de la précision

Objectifs

Le but du présent travail est de concevoir un système de surveillance photogrammétrique composé d'un ensemble de 2 à 5 caméras qui regardent la même scène, et seraient positionnées dans des boitiers protégés par des vitres et casquettes afin d'atteindre les objectifs suivants :

- La mesure simultanée de plusieurs dizaines de points, avec des coordonnées en quasi-temps réel et à une fréquence élevée ;
- La diminution du coût ;
- Des installations moins invasives et plus aisées ;
- Diffuser les données sur internet sur la plateforme de la société (SIMON-E) qui permet de visualiser les déplacements de la structure en temps réel ;

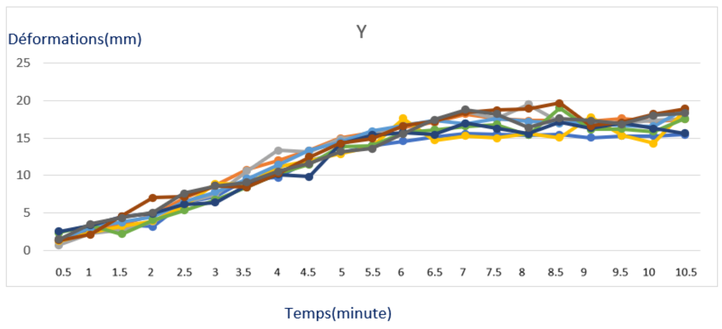


Figure 3 *Les déformations de l'axe Y sur la porte d'écluse d'Avignon (centre de la porte) motion projet*

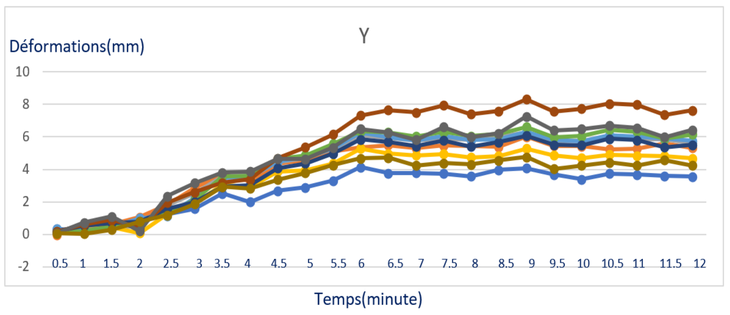


Figure 4 *Les déformations de l'axe Y sur la porte d'écluse d'Avignon (centre de la porte) projet ordinaire*

Conclusion

- La photogrammétrie est une technique de mesure très appropriée pour étudier les déformations de la structure
- Les matériaux ont un effet significatif sur la qualité de mesure. L'utilisation des cibles rétroréfléchissantes permet de réaliser des filtres et traitements d'images robustes afin de déterminer le centre de chacune des cibles de manière précise. Il faut tenir compte la taille de la cible, les conditions d'éclairage et les orientations attendues de la cible par rapport à la caméra.
- Quatre appareils photos professionnels
- relativement peu couteux avec des résolution 8 à 20 mégapixels donnent une très bonne précision dans le système

Contact

Muhi Aldin ALRASLAN
INSA Strasbourg
Email: muhi_aldin.alraslan@insa-strasbourg.fr

References

1. Araujo, H. J. (2008). Application of Photogrammetry to Bridge Monitoring. Twelfth International Conference on Structural Faults & Repair , (January 2014).
2. Han, J., Hong, K., & Kim, S. (2012). Application of a Photogrammetric System for Monitoring Civil Engineering Structures. *Special Applications of Photogrammetry*.
3. Luhmann, T., Robson, S. Kyle, S., Boehm, J., (2013), Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging (Second Edition). De Gruyter, ISBN 978-3-11-030269-1, 690 p
4. Fedak, M. (2005). 3D Measurement Accuracy of a Consumer-Grade Digital Camera and Retro-Reflective Survey Targets.

© Poster Template by Genigraphics® 1.800.790.4001 www.genigraphics.com

Détermination conjointe des inondations et du type d'eau au moyen de l'imagerie multi-spectrale

Présenté par **Sabrine *AMZIL*** le 24 septembre 2020
Directeurs de PFE : M. **Frédéric *FRAPPART***, Physicien Adjoint CNAP
M. **Fabien *BLAREL***, Ingénieur d'études CNRS
Correctrice : Mme **Tania *LANDES***, Maître de conférences INSA de Strasbourg

Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales - OMP
14 Avenue Edouard Belin, 31400 TOULOUSE

INSA de Strasbourg – Spécialité topographie
24 Boulevard de la Victoire
67000 STRASBOURG

Contexte de l'étude et problématiques

- Dans de nombreuses régions du monde, les régimes saisonniers de précipitations deviennent de plus en plus irréguliers, ce qui a de fortes répercussions sur l'agriculture et la sécurité alimentaire.
- L'eau, trop rare, entraîne des situations de pénurie, de désertification, d'exode de populations mais quand elle est trop abondante, elle cause des inondations catastrophiques difficiles à gérer.
- L'aménagement du territoire a un impact sur la qualité de l'eau soumise de plus en plus aux déséquilibres des écosystèmes aquatiques liés aux pollutions d'origine humaine.
- L'Amazonie, en Amérique du Sud, où les eaux de surface occupent de vastes superficies, fait partie des régions qui fait face à ces problématiques. Les eaux amazoniennes se caractérisent non seulement par leurs grandes étendues mais également par la diversité des couleurs de ses fleuves et affluents (Figure 1).
- L'amélioration de la surveillance et de la prévision hydrologique par télédétection servira de fondement à des politiques efficaces de gestion de l'eau et à des services d'alerte précoce en cas d'inondation ou de sécheresse.

Objectifs

- Estimation conjointe de l'extension des inondations et des types d'eaux (eaux claires, laiteuses, noires, ...) par analyse de séries temporelles de 46 images multi-spectrales acquises par le capteur MODIS des satellites Aqua et Terra au cours de l'année 2017.
- Optimisation de la méthode de détection des eaux de surface réalisée par Wiefels (2016).
- Analyse et évaluation de l'influence des flags sur nos classifications à cause de la grande concentration de nuages présente tout au long de l'année en Amazonie et qui empêche souvent les capteurs d'acquérir un grand nombre d'images de qualité.
- Suivi des changements spatio-temporels des inondations au fil des mois.

Méthodologie

Notre étude s'est basée sur une partie des résultats obtenus durant les thèses de Wiefels (2016) et de Normandin (2019). L'organigramme en Figure 2 présente la chaîne de traitements décrivant la méthodologie complète développée pendant ce projet de fin d'études. Les opérations sont principalement développées sous le langage de programmation Python.

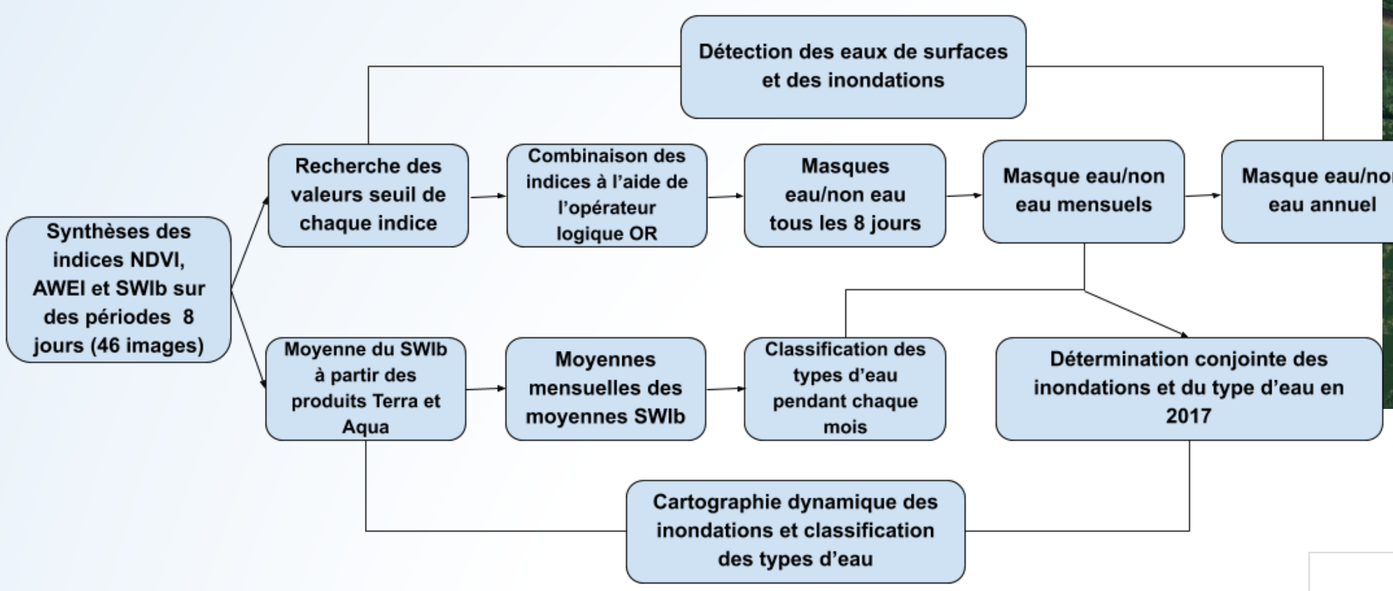


Figure 2 : Chaîne de traitements développée

Les valeurs de surface d'inondations obtenues grâce à notre méthode enregistrent globalement les mêmes variations qu'avec les classifications produites avec Terra et Aqua de façon séparée. Pourtant, nous remarquons que la dynamique des inondations durant l'année 2017 se rapproche plus à celle de Terra comme le montre la Figure 3. La **surface** des inondations **maximale** est enregistrée en **mai** tandis que la **surface minimale** est en **novembre**.

Evaluation et validation des résultats

- Évaluation de la formule de seuillage d'indices à l'aide des matrices de confusion en comparant nos classifications eau/non eau et celles produites par Wiefels (2016) avec l'indice d'inondation de Sakamoto des 46 dates (88% d'exactitude avec notre classification et 76% avec celle de Wiefels).
- Établissement d'une cartographie mensuelle des inondations et des types d'eau en utilisant un minimum de 3 synthèses d'images MODIS sur des périodes de 8 jours menant au bilan annuel illustré en Figure 4.
- Validation du « state_flag » comme variable fiable pour la signalisation et la classification des données affectés par l'atmosphère.
- Comparaison de la classification de 250 m de résolution spatiale produite à partir des données MODIS avec la classification issue du Sentinel-1 de 10 m de résolution.
- Validation de la détection des inondations avec une exactitude totale d'environ 70% à l'échelle régionale.

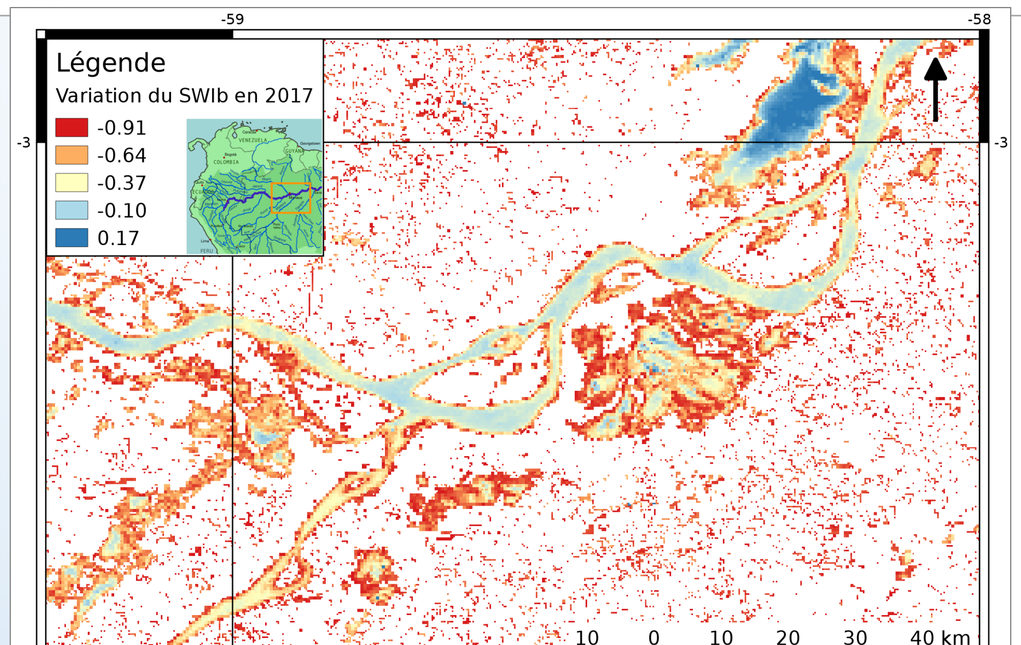


Figure 4 : Cartographie dynamique des inondations en 2017. La classe de valeur « 0.17 » représente les eaux noirs et la classe de valeur « -0.64 » représente les eaux blanches. La classe de valeur « -0.91 » est pour les eaux claires qui n'existent pas dans notre zone d'étude.

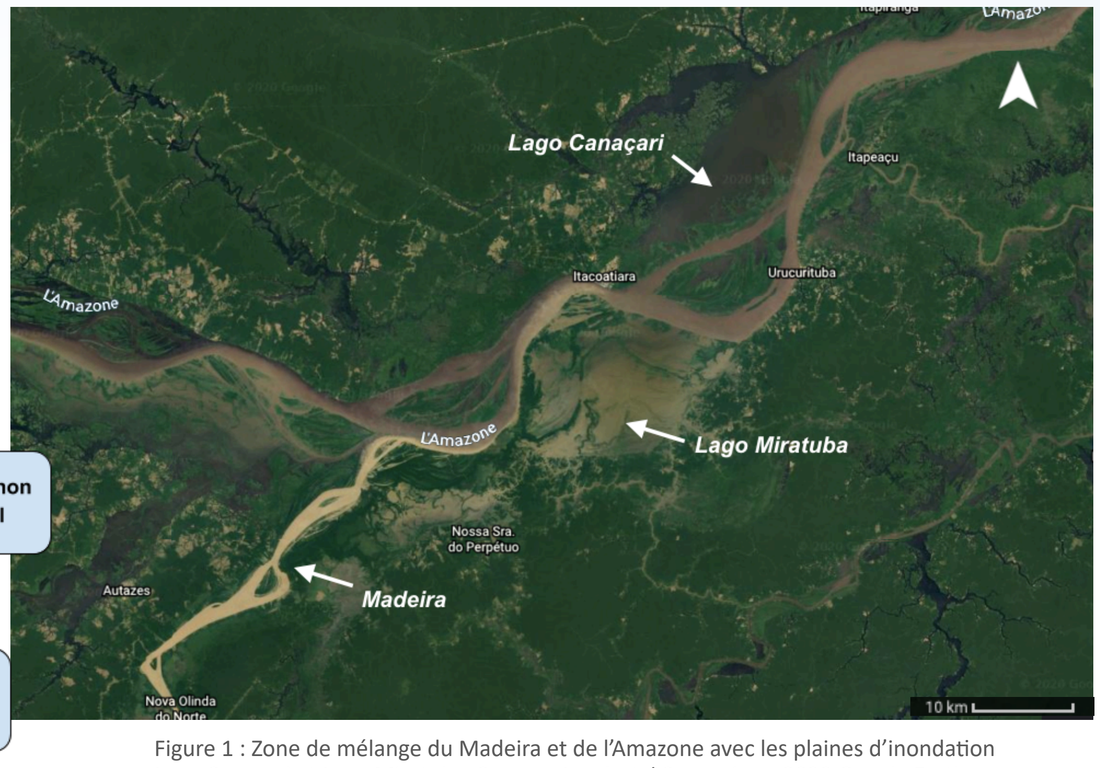


Figure 1 : Zone de mélange du Madeira et de l'Amazone avec les plaines d'inondation Lago Canaçari et Lago Miratuba. Source : Landsat / Copernicus, 2020 Google Earth.

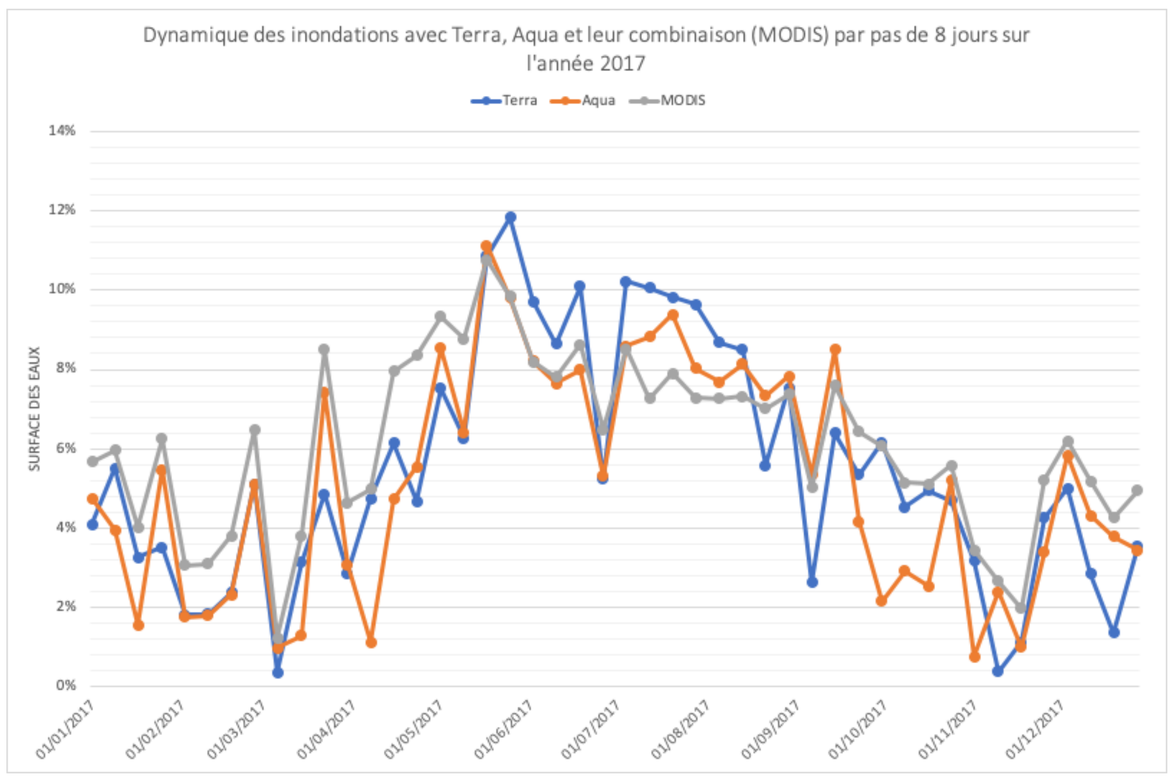


Figure 3 : Dynamique des inondations au cours de l'année 2017 (MODIS Terra – bleu, MODIS Aqua – orange, MODIS Terra + Aqua (notre méthode) – gris)

Conclusion et perspectives

- L'application des seuils sur les indices spectraux NDVI, AWEI et SWIb permet de classifier les données en quatre catégories générales : « eau », « non eau », « nuage » et « indéterminé ».
- La méthode développée dans ce projet permet de suivre les variations des étendues des eaux tous les 8 jours et identifier les mois d'étiage et les mois de crue de n'importe quelle région au niveau du bassin amazonien.
- La moyenne mensuelle de l'indice SWIb est utilisée comme un indicateur des changements mensuels de la qualité des systèmes fluviaux dans le but de retrouver les grandes classes limnologiques et de les analyser dans le temps (Figure 4).
- Le capteur MODIS a des difficultés à cartographier les zones humides, ce qui explique les écarts obtenus lors de l'évaluation des résultats. La détection des eaux peut être améliorée en réajustant les valeurs seuil et en prenant en compte les données signalées par les flag.
- Notre modèle pourrait être comparé avec une classification en bande L (1-2 GHz) issue du capteur Palsar-2 permettant de déterminer plus précisément les zones humides dans le but de quantifier les différences avec MODIS.
- Généralisation de la méthode en l'adaptant à d'autres grandes régions bioclimatiques puisque l'automatisation de notre chaîne de traitements permet de traiter une quantité considérable d'images sur plusieurs années.

Contact : sabrine.amzil@gmail.com

Etude sur l'exploitation de mesures de nuages de points pour le domaine de l'auscultation automatique.

PFE réalisé au sein de **SIXENSE SOLDATA** (92, Nanterre)

Directeur de PFE : Mr Rémi FEJOZ

Correcteur: Mr Gilbert FERHAT (INSA)

INSA de Strasbourg – Spécialité Topographie

Présenté le 24 septembre 2020
par Ariala ANDRIAMIHAJA

Contexte et Introduction du sujet

La société Sixense Soldata est spécialisée dans l'auscultation et la surveillance des risques liés au sol et aux structures. Actuellement, elle utilise deux systèmes de traitement liés à l'utilisation des stations totales : Cyclops et Centaure. Le système Cyclops utilise un système de topographie automatique. Des cibles sont fixées sur les bâtiments à surveiller et, par un calcul de compensation en bloc, leurs coordonnées sont calculées à intervalle de temps fixe. Le système Centaure permet de réaliser des mesures de nivellement de surface et permet de suivre la déformation d'une surface sans qu'il soit nécessaire d'y installer des prismes.

Les deux systèmes de traitement, Cyclops et Centaure, utilisent les données issues de stations totales. Plusieurs de ces stations possèdent une option « mesure de nuages de points ». Ces nuages de points sont moins denses que ceux issus de scanner laser terrestre mais pourraient permettre d'apporter un complément aux systèmes de traitement actuellement utilisés. De par sa présence sur de nombreux chantier, c'est sur les capacités du Trimble S7 que nous nous focaliserons sur ce PFE.

L'objectif du projet de Recherche & Développement est d'utiliser les capacités de mesures type scanner des stations du parc pour l'intégrer au système de traitement Cyclops actuellement mise en place afin de

- Réduire les installations physiques de prismes d'auscultation
- Couvrir des surfaces plus grandes et non plus des points
- Couvrir des zones n'étant pas accessibles par la méthode actuelle

Ce projet de fin d'études s'inscrit dans cette optique et a pour objectif de

- Etudier la qualité et la précision du nuage de points extrait.
- Etudier les paramètres influençant sur la qualité du nuage de points extrait.
- Fournir les conditions optimales de l'utilisation de l'appareil.

Fig 1 : Trimble S7

Paramètres influençant les mesures lasegrammétriques du TRIMBLE S7

Les mesures lasegrammétriques sont testées avec **le logiciel d'acquisition** de Trimble par défaut, Trimble Access, mais aussi un logiciel de développement SSI Sample permettant d'accéder aux fonctions tests de Trimble. En fonction de l'usage de l'un ou l'autre logiciel, la technique d'acquisition et le nuage de points produit sera différent. En fonction de l'usage souhaité, on utilisera l'un ou l'autre logiciel.

Logiciel	Avantages	Inconvénients
Trimble Access	• Simple à Utiliser. • Fonctions topographiques de mise en station et de relèvement. • Possibilité de sélectionner un intervalle de distance en pas.	• Impossibilité de scanner deux nuages de points rigoureusement identique. • Sous License.
SSI Sample	• Possibilité de sélectionner exactement la même fenêtre de numérisation. • Accès à distance. • Possibilité de s'approprier l'outil pour l'intégrer à nos systèmes de traitement.	• Nuages de points dégradés. • Prise en main difficile • Fonctions topographiques inexistantes.

Tab 1 : Avantages et Inconvénients du SSI Sample et de Trimble Access

En faisant varier la **distance station-objet** et en analysant le nuage de points produit, on a pu déterminer la résolution spatiale et angulaire de l'appareil. Nos tests ont également montrés que la vitesse de l'appareil était de 9 points/ secondes.

Distance objet-station (En m)	Résolution angulaire (En °)	Résolution spatiale (en cm)
5	0.11	0.3
10	0.05	0.5
20	0.03	1.0
30	0.03	1.6
50	0.03	2.6
100	0.03	5.2
195	0.03	10

Tab 2 : Résolution spatiale et angulaire du Trimble S7

En ajoutant un objet ayant un **albédo** proche de 0 dans la fenêtre de mesure, on constate l'apparition d'un fort bruit de mesures faussant les résultats. De plus, nos tests de **géoréférencement** ont permis de montrer que l'utilisation de prismes d'auscultation n'était pas adéquat pour la création d'un réseau, car leur réorientation générait des erreurs de mesures. Ainsi, pour éviter l'ajout d'erreurs systématiques à l'acquisition, il a été décidé de conserver la même station au cours de nos travaux d'auscultation.

Répétabilité des mesures

Pour déterminer la répétabilité des mesures, on numérise 5 fois la même façades. Puis, avec le logiciel Cloud Compare, on effectue une comparaison nuage-nuage par modélisation locale par les moindres carrés. On obtient une distance moyenne et un écart-type. On calcule la moyenne de ces écarts-types : il s'agit là de la valeur de répétabilité.

Distance objet-station (En m)	Répétabilité (En mm)
35	1.2
58	1.3
74	1.3
195	2.5

Tab 3 :Répétabilité en fonction de la distance station-objet, en extérieur.

On effectue plusieurs tests, en intérieur et en extérieur en faisant varier la distance et l'angle d'incidence. Nos résultats de répétabilité permettent de conclure qu'une auscultation d'ouvrage avec le Trimble S7 est envisageable. Néanmoins, pour une distance allant jusqu'à 30 mètres et un angle d'incidence de 70°, la répétabilité sur les mesures au sol est de 7 mm.

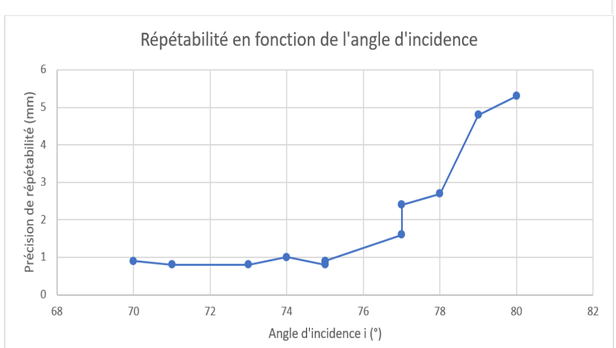


Fig 2: Répétabilité en fonction de l'angle d'incidence, en extérieur.

Utilisation du vecteur normal pour détecter les mouvements dans un nuage

Afin de pallier au bruit de mesure sur le sol, on utilise le principe de régression linéaire 3D. A l'aide d'un script, on détermine un plan moyen, et on supprime les valeurs éloignés de ce plan en choisissant une valeur seuil. Dans le cas des nuages de points contenant plusieurs plan, on utilisera un algorithme plus robuste tel que RANSAC. Une fois le vecteur normal extrait, on étudie la rotation entre les plans. Finalement, la chaîne de traitement suivante a été proposé.

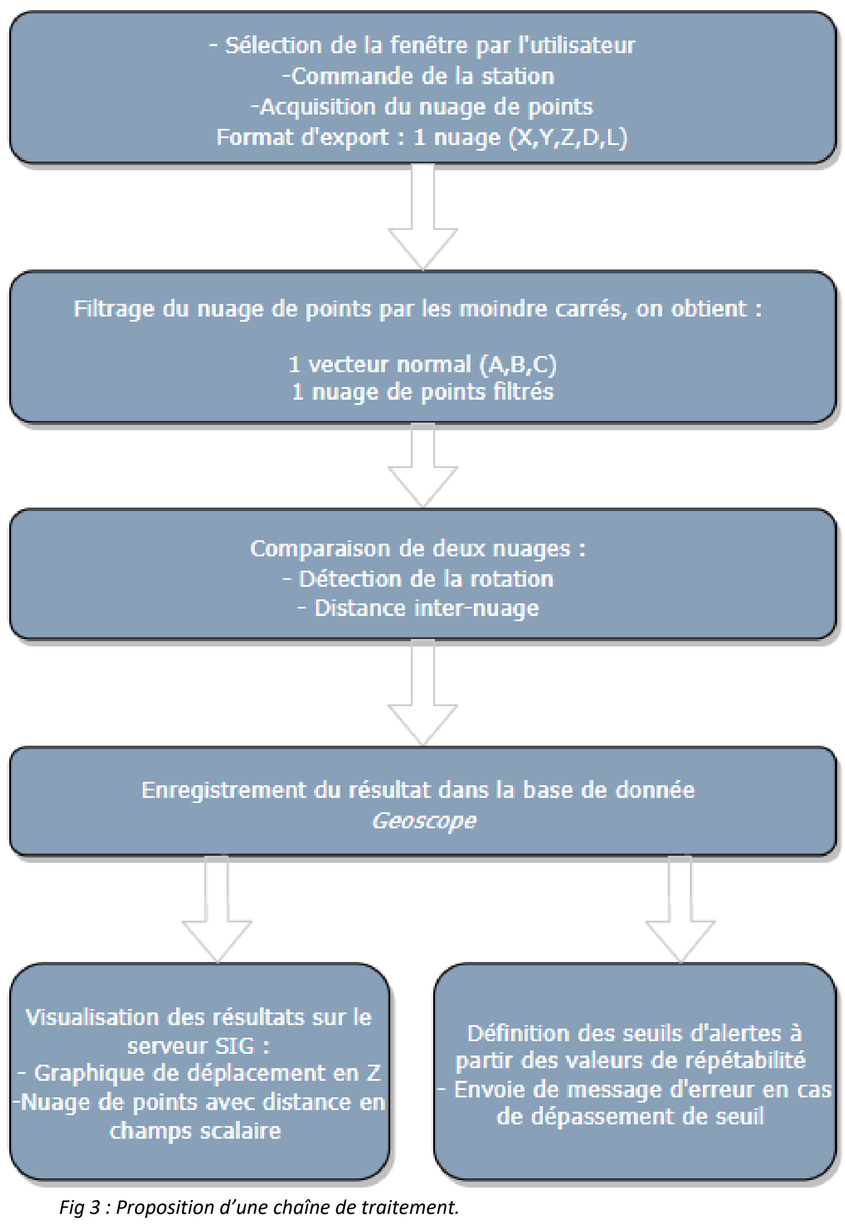


Fig 3 : Proposition d'une chaîne de traitement.

Conclusion générale et perspectives

Ce PFE constitue un premier pas vers l'utilisation de nuage de points appliqué à l'auscultation chez SIXENSE SOLDATA. Les principales conclusions du rapport peuvent se résumer comme suit.

Le logiciel d'acquisition influe sur la qualité du nuage de points produit, par conséquent, le logiciel développé devra avoir tous les avantages des logiciels testés. Un mode opératoire rigoureux permettant d'éliminer les erreurs est nécessaire. D'une part, on ne changera pas de stations au cours du temps. D'autre part, pour éviter le bruit de mesure, on privilégiera les zones claires et mat. Cependant, la précision de répétabilité de l'appareil est suffisante et permet d'affirmer qu'une auscultation serait possible. Pour comparer les nuages de points, on utilisera soit la détection nuage-nuage, soit le vecteur normal pour étudier l'angle de rotation entre les plans. La détection de plan permettra de filtrer le bruit de mesure.

La prochaine étape est l'étape du développement. Les recommandations apportées dans cette étude permettront de conclure sur l'intérêt ou non d'utiliser le Trimble S7 sur les chantiers d'auscultation. Une étude sur l'exploitation des nuages de points issues des scanner laser terrestre et des multistations permettraient d'avoir une vision globale de cette technologie.

Détection et vectorisation automatique d'objets linéaires dans des nuages de points de voirie

TT GÉOMÈTRES EXPERTS

Réalisé par Étienne BARÇON
Directeur de PFE : Guillaume BERSON, responsable innovation
Correctrice : Hélène MACHER, Maître de conférences

INSA STRASBOURG

Contexte de l'étude

Les techniques de cartographie mobile permettent d'effectuer des levés étendus et de qualité en très peu de temps. Dans le contexte routier de cette étude, ces techniques d'acquisition sont notamment plus rapides et moins dangereuses qu'un levé conventionnel.

Si l'acquisition de nuages de points est ainsi facilité pas ces nouvelles technologies, les outils logiciels permettant d'interpréter et de vectoriser de manière automatique ces données sont peu aboutis. Le temps humain nécessaire pour traiter les données est important et coûteux.

Ce travail a pour objectif de proposer des outils automatiques permettant de vectoriser des éléments linéaires dans des nuages de points.

L'étude se concentre sur les objets présents dans un environnement autoroutier.

Les outils d'intelligence artificielle et notamment l'apprentissage profond n'ont pas été retenus dans le cadre de cette étude. Le choix d'une approche utilisant des outils de traitement d'images s'est avéré plus pertinente compte tenu de l'état de l'art et des objectifs.

Algorithme développé

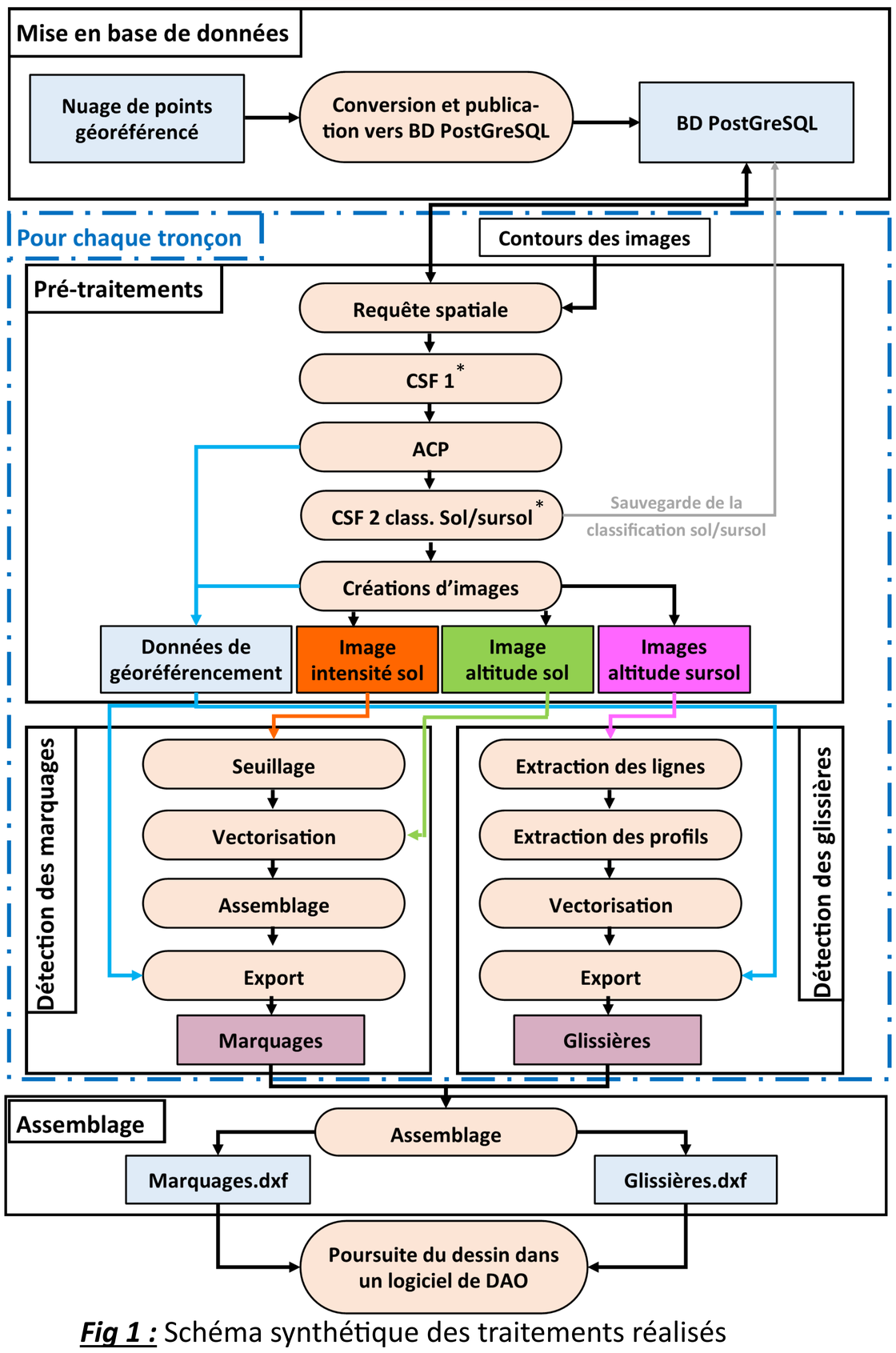


Fig 1 : Schéma synthétique des traitements réalisés

**Cloth Simulation Filter :* Zhang, W. *et al.* (2016) 'An easy-to-use airborne LiDAR data filtering method based on cloth simulation', *Remote Sensing*, 8(6), p. 501. doi: 10.3390/rs8060501.

Données disponibles :

Un nuage de points d'autoroute, acquis par un dispositif d'acquisition *mobile mapping* embarqué sur un véhicule. Le nuage présente une densité moyenne de 2300 pts/m^2.

Objectifs :

- Détecter les marquages au sol et les glissières de sécurité.
- Vectoriser ces objets comme le ferait un dessinateur.
- Effectuer ces tâches de manière automatique et dans un temps raisonnable.

Résultats :

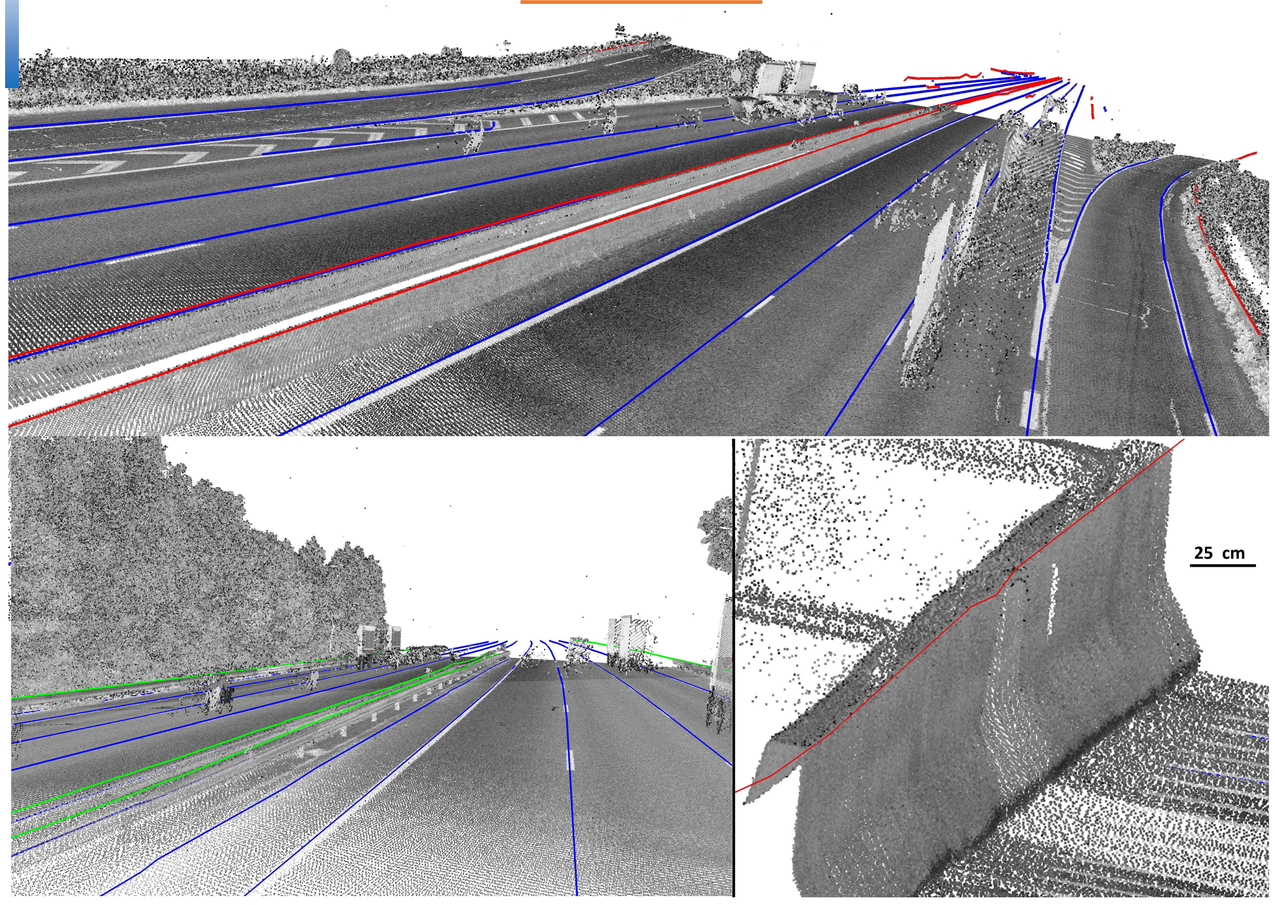


Fig 2 : Exemples de résultats obtenus

Objet	Tolérance (cm)	35	25	10	5	3
Marquages	Rappel (%)	97	96	92	84	67
	Précision (%)	94	94	90	82	66
Glissières métalliques	Rappel (%)	83	82	78	69	53
	Précision (%)	73	72	68	60	46
Glissières béton armé	Rappel (%)	92	91	88	74	50
	Précision (%)	86	86	83	70	48

Tab 1 : Résultats moyens obtenus sur différents jeux de données pour une longueur totale de 14 km pour les marquages et 10 km pour les glissières.

Conclusion :

Ce projet de fin d'étude présente une méthode automatique de détection des marquages et des glissières de sécurité dans un nuage de points en utilisant une approche image. Les résultats sont perfectibles mais tout à fait encourageants. L'étape de calcul la plus lente progresse à une vitesse d'1,5 km/h.

Si les objets sont correctement détectés, la vectorisation des objets doit faire l'objet d'améliorations avant de pouvoir prétendre égaler celle d'un dessinateur.

Perspectives :

- Généraliser la méthode à d'autres objets linéaires comme des murs et des bordures de trottoir.
- Adapter les traitements à des zones urbanisées.

Quantifier la précision pour des mesures topographiques sur structures navales ; Développement d'un outil d'analyse

Auteur : Carpent Clément, étudiant INSA, G5

Directeur de PFE : M. David Desbuisson, co-gérant TPLM-3D

Correcteurs : Mme Landes Tania & M. Ledig Jacques

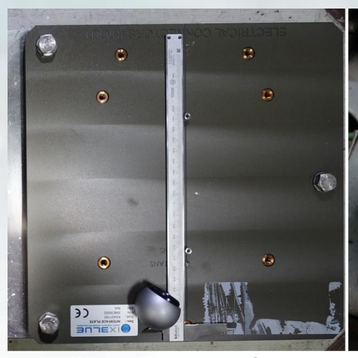
Date de soutenance : 25 septembre 2020

Présentation

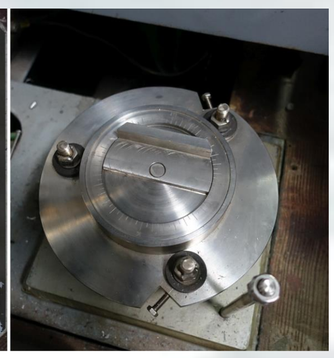
TPLM-3D effectue régulièrement des prestations de **métrologie sur navire**. L'objectif de ces levés est d'installer un système permettant de connaître en temps réel la position et l'orientation du navire ce qui peut permettre, dans le cas de navires militaires : de naviguer pendant une durée de 48 à 72h sans système GPS tout en conservant l'information sur la position, de mesurer un angle de tir très précisément ou encore, dans le cas de navires scientifiques, d'effectuer des mesures bathymétriques.

Pour cela, il est nécessaire d'installer une centrale inertielle qui sera fixée sur une **plaque d'interface**. Afin d'appliquer des corrections à la centrale inertielle, il est nécessaire de connaître **l'orientation** de la plaque d'interface par rapport au plan horizontal de référence et au cap de référence du navire. Ces références géométriques sont matérialisées grâce à une plaque usinée fixée sur la coque du bateau appelée **marbre**.

Concrètement, l'objectif du levé effectué par TPLM-3D est donc de **déterminer la différence angulaire** entre le plan et la droite de la plaque d'interface et ceux du marbre.



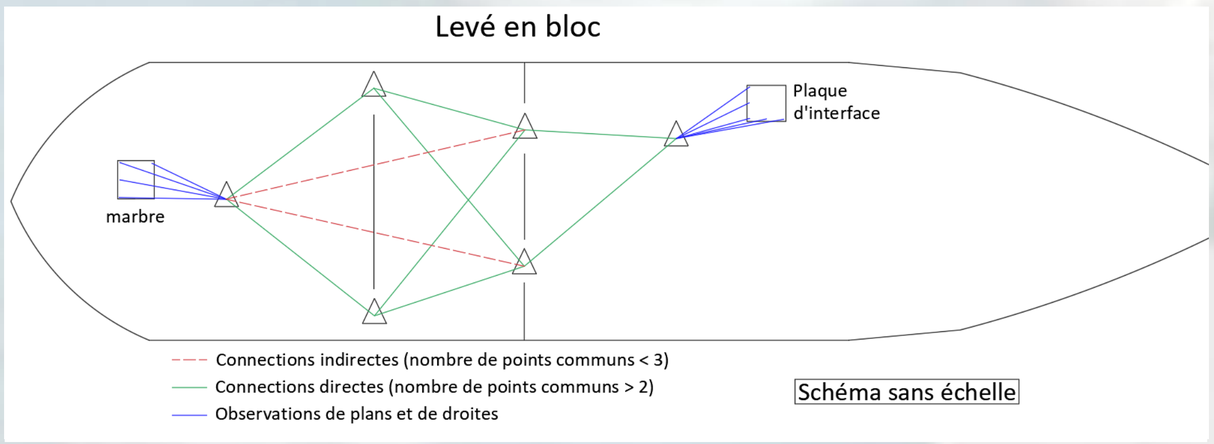
Plaque d'interface



marbre

Mode opératoire & moyens techniques

Le levé étant effectué sur **navire**, la plateforme bouge et il est alors impossible de considérer la verticale du lieu et ainsi d'utiliser une polygonation classique pour lier les observations de la plaque d'interface et les observations du marbre. Il est alors nécessaire d'utiliser **un mode opératoire particulier** reposant sur le principe de consolidation utilisé en lasergrammétrie. L'idée va donc être de mesurer en local depuis chaque station des points communs qui vont permettre de calculer les **paramètres de transformation** de chacun des systèmes de coordonnées locaux vers un système de coordonnées de référence.



Une fois le calcul de consolidation terminé, il est possible d'exprimer les coordonnées des points d'observation de la plaque d'interface et du marbre dans le même système de coordonnées de référence. Il ne reste donc plus qu'à calculer la droite et le plan moyen du marbre et de la plaque d'interface et d'en déduire les différences angulaires entre les différentes entités géométriques.

Pour exécuter les mesures, TPLM-3D utilise la station totale **Leica TS60** ainsi que des **prismes sphériques** de précision que ce soit pour mesurer les points communs ou observer les plaques.

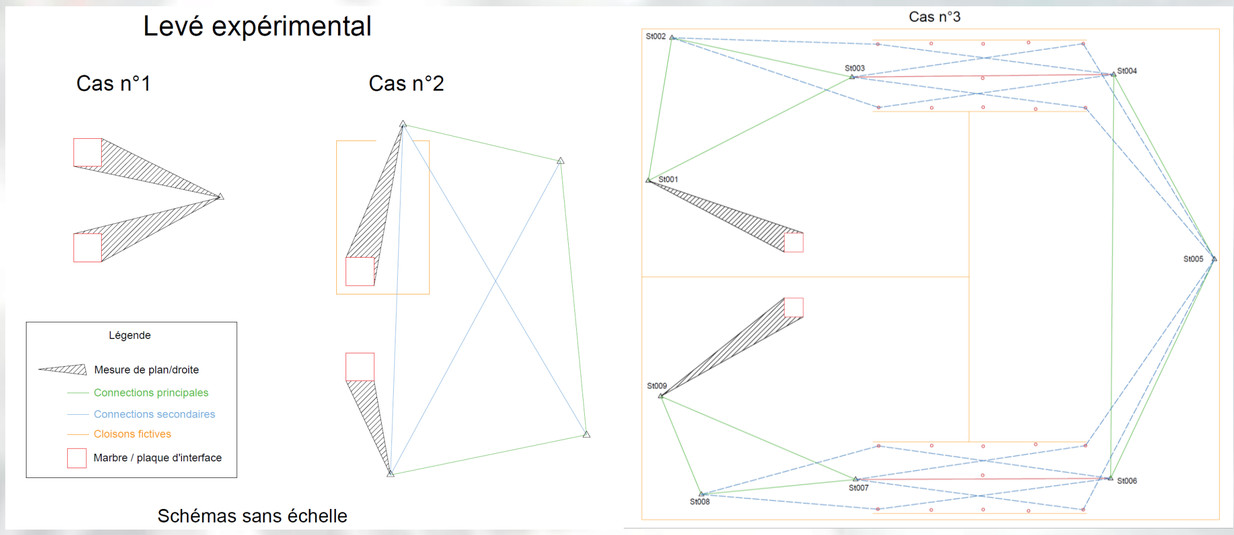
Pour effectuer les calculs de compensation et de détermination des précisions, ils utilisent le logiciel ***TopTools*** développé en interne.

Les calculs de précision étant trop optimistes, l'objectif de ce projet de recherche est de corriger et d'améliorer le programme pour rendre les calculs plus rigoureux.

Liste des améliorations implémentées

- Prise en compte et transmission des **covariances** en plus des variances
- Prise en compte de l'imprécision des points mesurés depuis la station de référence
- Prise en compte de **l'incertitude induite par la consolidation** lors du calcul de précision des différences angulaires
- Mise en place du **test du χ2** permettant une validation générale du réseau
- Calcul des **erreurs résiduelles normées** permettant la validation des mesures, observation par observation
- Amélioration du **modèle stochastique**

Expérimentation



Une **expérience** a été réalisée afin de **vérifier les nouveaux calculs de précision** des résultats. Le levé d'un navire a été simulé dans le hangar de TPLM-3D. Dans le cas 1 de l'expérience, il s'agit de mesurer les deux plaques à comparer depuis une unique station, ce qui garantit une précision bien supérieure à celle que l'on peut espérer lorsqu'une consolidation est nécessaire. Cette valeur sera donc considérée comme la **valeur vraie**. Le cas 2 et le cas 3 sont les levés tests. L'objectif premier de cette expérience est de déterminer si les précisions calculées, lorsqu'une consolidation est nécessaire, sont cohérentes avec la valeur du cas 1.

Test & Résultats

	Différences angulaires (°)				
	Cas n°1	Cas n° 2	intervalle (68%)	Cas n° 3	intervalle (68%)
Cap	1,556	1,543	[1,516 ; 1,570]	1,565	[1,536 ; 1,594]
Tangage	0,229	0,234	[0,195 ; 0,274]	0,230	[0,170 ; 0,290]
Roulis	1,039	1,055	[1,020 ; 1,090]	1,039	[0,991 ; 1,087]

Tout d'abord, les résultats obtenus dans le cas 2 et 3 de l'expérience sont tout à fait **satisfaisants** puisqu'ils sont très proches du cas le plus précis (le cas 1).

Ensuite, il est notable que tous les intervalles de confiance calculés, que ce soit dans le cas 2 ou dans le cas 3, **contiennent la valeur la plus précise** à notre disposition. Ceci n'aurait certainement pas été le cas en utilisant l'ancien programme de ***TopTools*** puisque **les précisions calculées** étaient trop **optimistes**, ce qui s'explique principalement par le fait que l'ancien système ne prenait pas en compte l'incertitude induite par la consolidation lors du calcul de précision des différences angulaires.

Cependant, il est remarquable que les intervalles sont très larges. En effet, l'ordre de grandeur de leurs emprises est légèrement inférieur à **0,1 degrés,** alors que les différences entre les résultats des cas 2 et 3 par rapport à la valeur vraie n'est au maximum que de **0,016 degrés**.

Il est donc possible que le nouveau calcul de précision des résultats soit **légèrement pessimiste**.

Conclusion

TPLM-3D doit régulièrement effectuer des levés sur navire qui nécessite l'utilisation d'un mode opératoire particulier puisque la plateforme de travail est en mouvement perpétuel. Ce mode opératoire mis en place par TPLM-3D repose sur le principe de consolidation plus généralement utilisé en lasergrammétrie. Celui-ci complique les calculs de compensation et de détermination des précisions. En 2009, il a donc été nécessaire pour l'entreprise de développer en interne un logiciel appelé ***TopTools.*** Après avoir implémenté bon nombre d'améliorations et de modifications permettant de rendre plus rigoureux les calculs, il a été décidé d'effectuer une expérience permettant de vérifier les calculs de précision des résultats.

Les tests effectués grâce à cette expérience ont montré que le calcul de compensation semble donner de meilleurs résultats. De plus, les précisions calculées auparavant étaient trop optimistes alors que ce n'est plus du tout le cas des nouvelles précisions même si elles sont légèrement pessimistes dans une moindre mesure.

Bibliographie

Ghilani, C. D. (2010), *Adjustment computation : spatial data analysis*, 5 edn, John Wiley & sons, Inc., New Jersey.

Cattin, P.-H. (2012), Cours : « Méthodes d'estimation », HEIG-VD, Vaud.

Informations utiles

Adresse : clement.carpent@gmail.com Tel : 06.98.38.22.96

TPLM-3D, ZA Champ du Roy, Chasse sur Rhône, 38670

INSA, 24 Bd de la victoire, Strasbourg, 67084

Remerciements

Je tiens particulièrement à remercier :

- Mr Desbuisson et Mr Hopp (TPLM-3D)
- Toute l'équipe de TPLM-3D
- Mr Depardon Jérôme (Sites)
- Mme Landes Tania et Mr Ledig Jacques

INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES STRASBOURG

Projet de Fin d'Etudes - Topographie 2020

HAUTE ÉCOLE D'INGÉNIERIE ET DE GESTION DU CANTON DE VAUD
www.heig-vd.ch

Amélioration d'une solution d'acquisition existante de données LiDAR dynamiques pour l'utilisation en intérieur : intégration de librairies open source de SLAM et de débruitage

Etudiant : Antoine Carreaud
Entreprise: Helimap & HEIG-VD
Directeurs de PFE: Julien Vallet & Adrien Gressin

Introduction

Ce Projet de Fin d'Etudes (PFE) est réalisé dans le domaine de la cartographie 3D dynamique, plus précisément sur le débruitage et le SLAM (Localisation et Cartographie simultanées). Il a deux objectifs majeurs autour du traitement de données LiDAR dynamiques :

- Le premier consiste à s'intéresser aux algorithmes de SLAM appliqués à des données LiDAR dynamiques. Cette solution a été implémentée sur le capteur existant, en faisant quelques modifications matérielles. Par la suite, des tests ont été effectués sur différents sites, puis comparés avec des données références afin d'évaluer la précision.
- Le second a pour but de corriger le bruit présent dans les données issues de relevés LiDAR dynamiques. En effet, le type de capteur low-cost utilisé pour ce projet, engendre du bruit sur le nuage de points de l'ordre de plusieurs centimètres. Après avoir fait un état de l'art des solutions existantes, trois ont été retenues et comparées.

La Figure 1 montre tous les aspects de ce PFE (le SLAM avec les librairies open source envisageables, le matériel utilisé pour le système d'acquisition, le débruitage avec les différentes possibilités d'algorithmes).

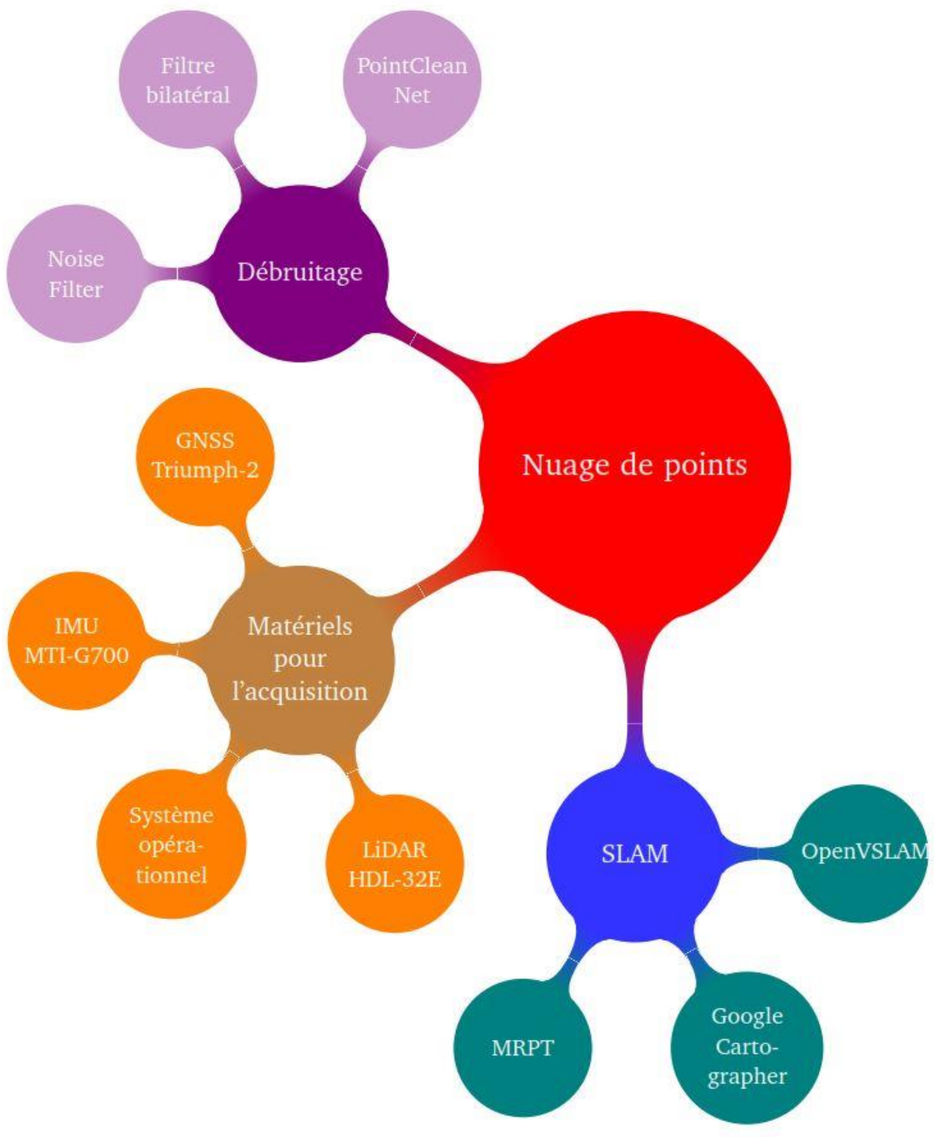
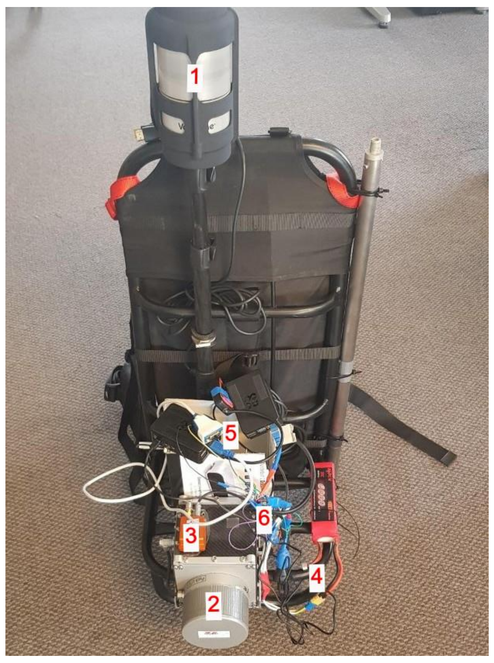


Figure 1 - Figure générale du projet qui présente toutes les composantes du PFE. Le rouge représente le résultat final, le violet et le bleu, les deux pans du PFE avec les librairies utilisables, l'orange le matériel employé pour créer le système.

Matériel

Afin d'acquérir les données nécessaires aux deux objectifs de ce PFE, un système opérationnel en extérieur était à disposition, composé d'un LiDAR et du couple GNSS+centrale inertielle. Plusieurs tests ont été effectués et différentes améliorations apportées pour parvenir à un Backpack composé de deux LiDARs et une centrale inertielle (une antenne GNSS peut être ajoutée). L'intégration d'un deuxième LiDAR a exigé des changements de fond: la synchronisation des horloges qui consiste à envoyer un signal PPS et une trame NMEA, est faite maintenant depuis un micro-ordinateur Raspberry Pi (RPI)). Le système final et le diagramme simplifié du système sont visibles sur la Figure 2.



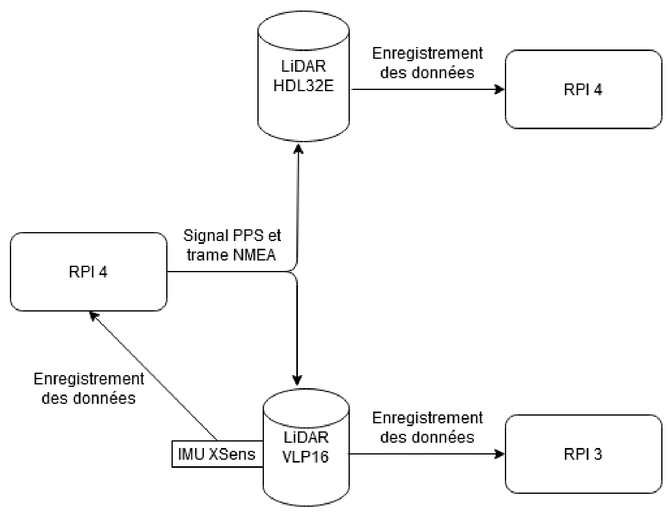


Figure 2 – (Gauche) Backpack final avec les deux LiDARs. 1) LiDAR horizontal 2) LiDAR vertical 3) centrale inertielle 4) Alimentation 5) 2 RPI visibles (+1 dans le boîtier en carbone) 6) Electronique pour gérer le signal PPS, la trame NMEA, la centrale inertielle et le LiDAR horizontal. (Droite) Schéma simplifié du système.

Méthodes

Suite à une analyse bibliographique et une comparaison de différents algorithmes SLAM open source, le choix s'est porté sur la librairie Google Cartographer. Afin de faire fonctionner les données du système avec cette librairie, il a fallu opérer un certain nombre de changements. Les données des capteurs (GPS, centrale inertielle et LiDAR) doivent être transformées dans un format spécifique, toutes dans un BagFile (format de fichier sous forme de messages, inventé pour les robots). Ces changements ont été faits avec un code Python en utilisant l'API Python de ROS, permettant de manipuler ces formats de fichiers. La synthèse de ces changements est visible en Figure 3. Lorsque l'algorithme SLAM (avec différents paramètres à ajuster) a reconstruit un nuage de points, la partie sur le débruitage peut commencer.

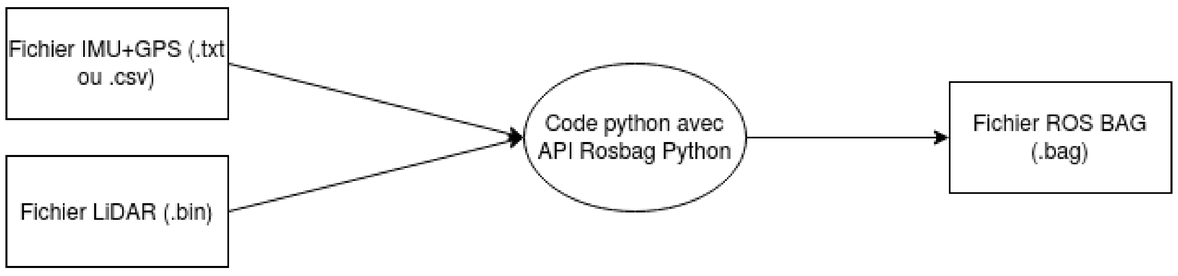


Figure 3 - Diagramme décrivant les transformations de formats de fichier.

Résultats et Interprétation

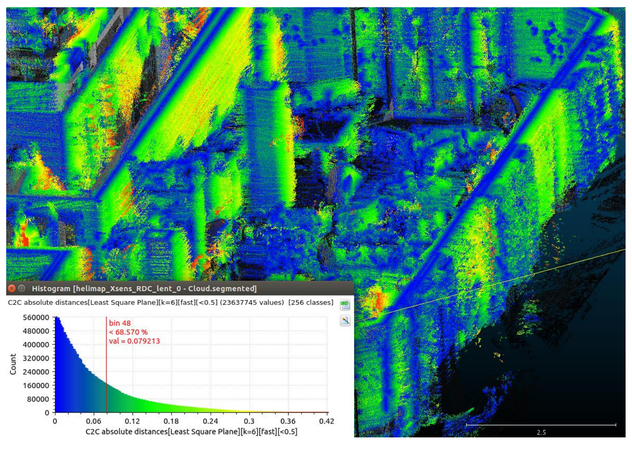


Figure 4 - Visualisation des distances et de l'exactitude du nuage de points acquis par SLAM en intérieur; les distances sont calculées en valeurs absolues par rapport au nuage de points de référence.

Les résultats obtenus sont des nuages de points après avoir acquis les données puis utilisé la librairie de SLAM. Un résultat à l'intérieur des bureaux de Helimap est visible sur la Figure 4 qui représente le calcul de distances entre le nuage de points SLAM et un nuage de référence. On constate une précision de 8 cm (68% des points sont à moins de 8 cm de la référence). Cette précision prend aussi en compte le bruit que nous avons essayé de diminuer par la suite avec différents algorithmes open source. De nombreux tests ont été faits pour choisir celui qui correspond le mieux à nos besoins. La Figure 5 présente une comparaison du débruitage avec 3 algorithmes différents (un réseau de neurones PointCleanNet, le noise filter de CloudCompare et une implémentation d'un filtre bilatéral pour nuages de points) sur une même zone.

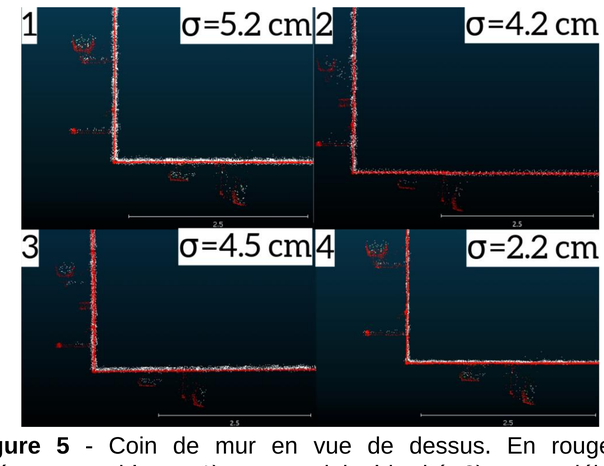


Figure 5 - Coin de mur en vue de dessus. En rouge: la référence; en blanc : 1) nuage original bruité, 2) nuage débruité avec PointCleanNet, 3) nuage débruité avec le Noise filter de CloudCompare, 4) nuage débruité avec le filtre bilatéral.

Conclusion

Un système d'acquisition LiDAR dynamique a été modifié afin de pouvoir acquérir les données nécessaires pour l'utilisation de la librairie open source Google Cartographer. Le système se présente sous la forme d'un Backpack avec deux LiDARs, permettant ainsi de relever sols et plafonds en intérieur. L'ajout d'un LiDAR a nécessité de se plonger dans la documentation technique afin de créer les bons signaux de synchronisation et de faire les bonnes soudures. Pour faire fonctionner cette librairie avec nos données, la partie software a été développée en Python. Plusieurs tests ont été effectués pour qualifier la précision par comparaison avec une référence. Enfin, une méthodologie de débruitage de nuages de points a été choisie, après avoir testé plusieurs librairies sur différentes zones et comparé le nuage de points débruité avec une référence.

Etude de la norme LADM, potentiel futur modèle pour les cadastres suisse et français

REPUBLIQUE ET CANTON DE GENEVE

POST TENEBRAS LUX

Présenté par : **Jean Lou COMBE***
Directeur de PFE : **Laurent NIGGELER**
Correcteur : **Jacques LEDIG**

Contexte et objectifs de l'étude

- La Direction de l'Information du Territoire du canton de Genève (DIT) et la société de l'Ordre des Géomètres-Experts Géofoncier souhaitent évaluer le potentiel de la norme LADM au niveau national et international.
- La norme LADM n'a pas fait l'objet d'étude au sein de Géofoncier et de la DIT depuis sa publication par la commission TC 211 de l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) en 2012.
- Le territoire de Genève est majoritairement entouré de terres françaises et le canton connaît de multiples projets transfrontaliers

Ce Projet de Fin d'Etudes vise à évaluer les avantages et inconvénients de la norme pour les systèmes d'administration des terres actuels, notamment pour une mise à jour permanente. La réalisation de l'étude passe par la validation de plusieurs objectifs :

- Etudier la norme LADM, ses concepts et son application
- Réaliser un état de l'art des expériences réalisées en Suisse, en France et à l'étranger
- Créer un prototype de système d'administration des terres conforme à la norme LADM
- Mettre en ligne le prototype créé sur la plateforme ESRI du canton de Genève

Présentation de la norme et état de l'art

LADM = Land Administration Domain Model ou Modèle du Domaine de l'Administration des Terres.

La norme ISO:19152 – LADM est une norme descriptive définissant un modèle conceptuel d'un système d'administration des terres selon quatre thèmes relatifs :

- Aux parties : personnes ou groupes de personnes concernées par la gestion ou la jouissance des terres.
- Aux entités administratives : droits, restrictions, responsabilités, aspect légal des propriétés, sources administratives
- Aux unités spatiales : aspect physique des propriétés
- Aux sources et représentations spatiales : relevés topographiques, géométrie et topologie

L'ISO:19152 propose une terminologie commune pour décrire les systèmes d'administration des terres, fondée sur divers systèmes nationaux afin d'obtenir une description commune des pratiques et procédure dans diverses juridictions. Elle a pour but de faciliter la communication autour de l'administration des terres entre différentes institutions dans un cadre national et international. La norme intègre également la gestion de la 3D et offre donc une opportunité pour les cadastres visant à évoluer dans ce sens. L'intégration des spécificités d'un pays dans la norme se fait par la création d'un profil national du LADM.

Etat du développement	Pays concernés
LADM implanté physiquement	Colombie, Grèce (modèle non peuplé de données réelles)
Modules complémentaires au LADM	Pays-Bas
Profil de pays inscrit dans la norme LADM	Portugal, Queensland (Australie), Indonésie, Japon, Hongrie, Pays-Bas, Russie, Corée
Profil développé	Pays cités à la ligne précédente + Serbie, République serbe de Bosnie, Monténégro, Pologne, Grèce, Colombie
Projet de développement d'un profil / Etude des intérêts de la norme	Pays cités à la ligne précédente + France, Suisse, Afrique du Sud, Chypre

Tableau récapitulatif des expériences menées dans le monde sur le LADM

Création et mise en ligne d'un prototype LADM

MÉTHODOLOGIE

1. Création d'un système de base de données
   - Définition des classes introduites par le LADM
   - Etablissement de listes de codes pour mettre en place la terminologie de la norme
2. Intégration de données dans le modèle
   - Données françaises : données EDIGEO du cadastre de Haute-Savoie, données du géoportail de l'urbannisme
   - Données suisses : bases de données de la DIT, registre foncier de l'Etat de Genève
3. Création de relations entre les données du modèle
   - Définition de classes de relations
   - Association des données liées

LOGICIELS UTILISÉS

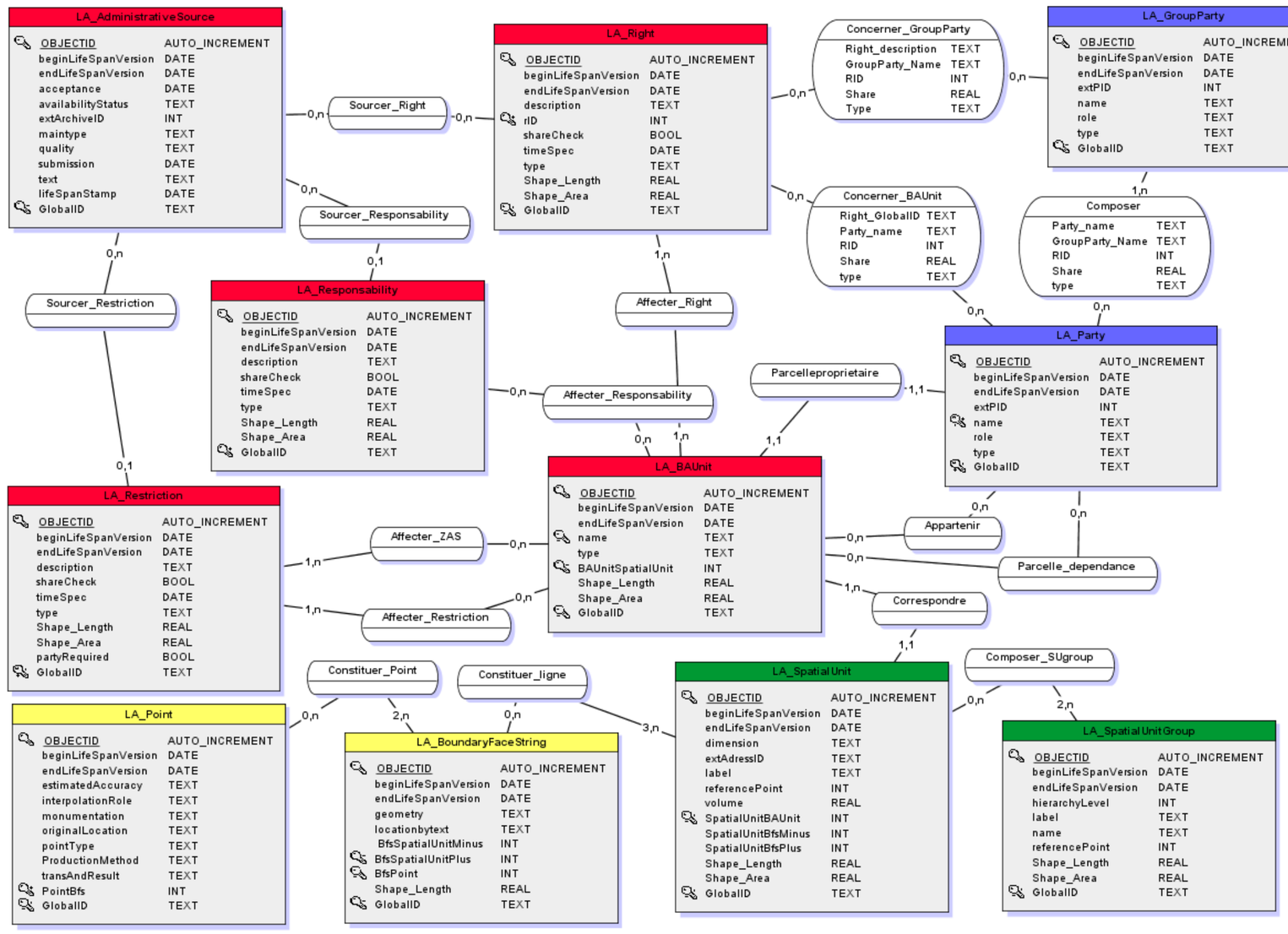
Feature Manipulation Engine
Extraction, transformation et chargement des données dans le modèle.

ArcGIS pro
Visualisation, Structuration de la base de données, création des classes et listes de codes.

Mise en ligne du prototype via ArcGIS Online
- Intégration de notes de cartes décrivant le fonctionnement du modèle
- Description des classes
- Partage de la carte de manière publique

Liens vers la version en ligne sur la plateforme ESRI du canton de Genève https://arcg.is/C8L9L

SCAN ME



Modèle Conceptuel de Données du prototype réalisé sous ArcGIS pro
Les couleurs des classes correspondent à leur thème

Conclusion et perspectives

- Déclinaison des conséquences des lois en droits, restrictions et responsabilités, distinction de l'aspect physique et légal des parcelles offrant une caractérisation intéressante des composants du système d'administration des terres.
- Norme descriptive ayant très peu d'implémentations physiques réalisées, avec un domaine d'application large portant sur plusieurs institutions et nécessitant une maintenance permanente pour être pertinente.
- Développement soutenu et assuré par un comité technique ISO, prévoyant une mise à jour régulière : une deuxième version de la norme est actuellement en préparation et prévoit d'intégrer des modèles d'implémentation physique aux modèles conceptuels décrits.
- Communauté scientifique active pour accélérer le développement de la norme.
- Etudes potentielles : Développement de profils nationaux pour intégration à la norme, étude des coûts de développement et maintenance du LADM en comparaison à son apport.

*jean-lou.combe@insa-strasbourg.fr
jeanlou.combe@gmail.com

Mise en place d'un protocole semi-automatisé pour la cartographie des morphologies glaciaires

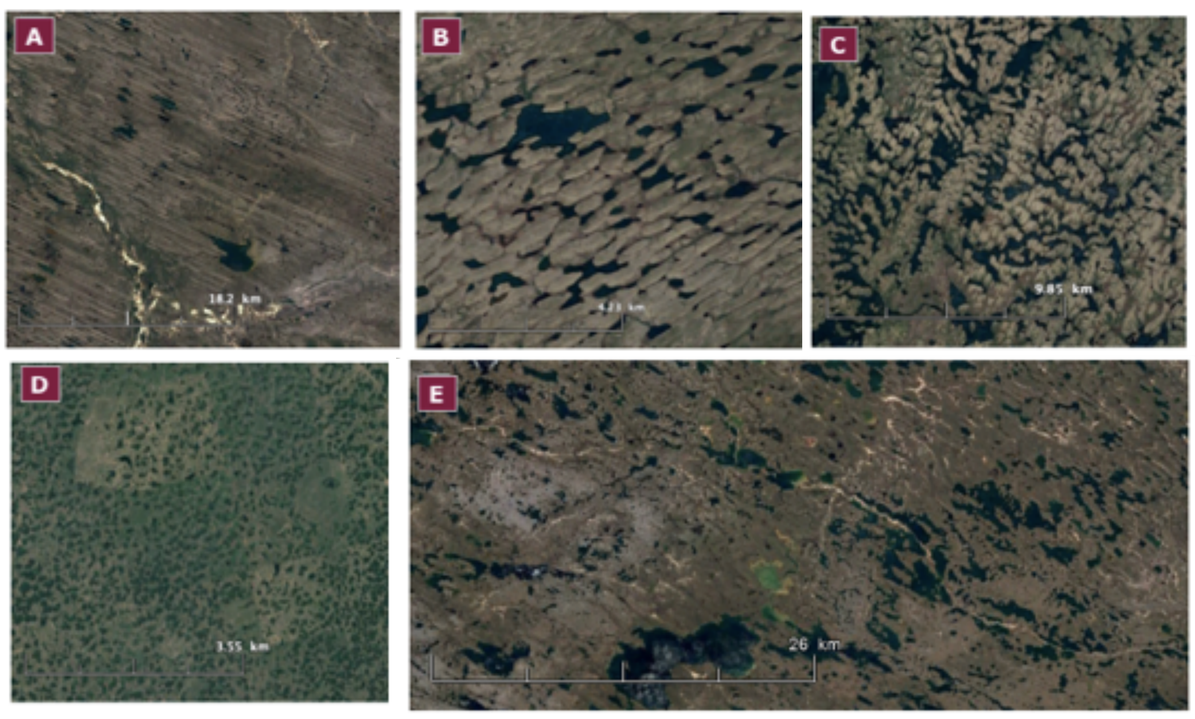
Aneesha Cunthen
Sous la direction de Paul Bessin & Edouard Ravier
Mémoire de soutenance de Diplôme d'Ingénieur INSA

Objectif

Ce projet consiste à développer un protocole pour la cartographie des morphologies glaciaires créées sous la glace durant les périodes de réchauffement climatique. Les cartographies produites permettront de mieux comprendre la dynamique d'écoulement des *ice streams* qui sont les principaux moteurs de la perte de masse de ces calottes glaciaires. Comme la cartographie de ces morphologies ne pourra se faire pour les calottes actuelles, nous nous intéresserons aux modèles numériques de terrain représentant les morphologies de la calotte Laurentide qui recouvrait l'Amérique du Nord il y a 20 000 ans.

Les morphologies sous-glaciaires

Les "morphologies sous-glaciaires" désignent de manière générique l'éventail des différentes formes de reliefs, longitudinales et transversales, produites à la base des glaciers. Ces morphologies ont été classées sur la base de leurs formes et de leurs tailles. Cinq morphologies seront principalement étudiées et cartographiées dans ce projet.



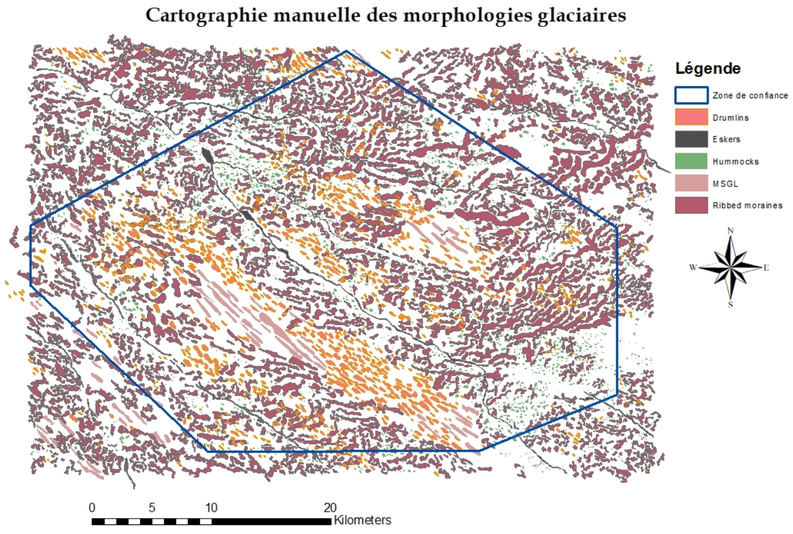
A : *Mega Scale Glacial Lineations (MSGL)* ; B : *Drumlins*
C : *Ribbed moraines* ; D : *Hummocky Terrains* ; E : *Eskers*

Les ***drumlins*** et les ***MSGL*** sont des structures morphologiques **longitudinales** de quelques mètres ou plusieurs dizaines de kilomètres de long, disposées **parallèlement à l'écoulement de la glace**. Les ***ribbed moraines*** se différencient par un **axe d'allongement principal transverse à la direction de l'écoulement glaciaire**. Les ***hummocks*** sont des terrains très légèrement vallonnés constitués d'une multitude de **petits reliefs pseudo circulaires, convexes et concaves isolés**. Un ***esker*** se présente sous la forme d'une **crête rectiligne ou sinueuse**, pouvant atteindre plusieurs kilomètres de longueur, et de quelques mètres de hauteur.

Résultats

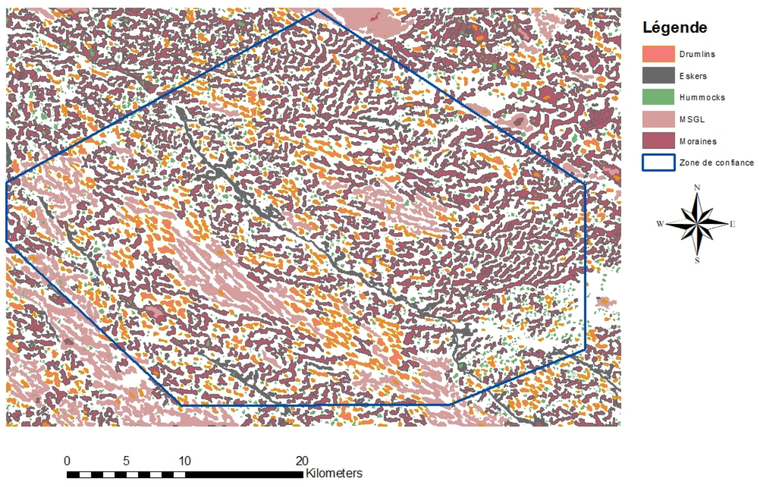
Les algorithmes ***Multi-Threshold segmentation*** et **SVM** ont été choisis pour la segmentation et la classification respectivement afin de proposer un protocole final pour la cartographie des morphologies glaciaires. Cette **segmentation** propose des objets plus harmonieux avec une **exactitude de 84,4%** et une **précision des dimensions de 84,2%.** L'algorithme SVM nous semble plus performant en termes de la **précision de la classification produite (67,5%)** et du temps de traitement, et il reste facile à implémenter. De plus, cet algorithme est disponible dans d'autres logiciels commerciaux et des boîtes à outils gratuites tels que Python et C++.

Cartographie manuelle des morphologies glaciaires

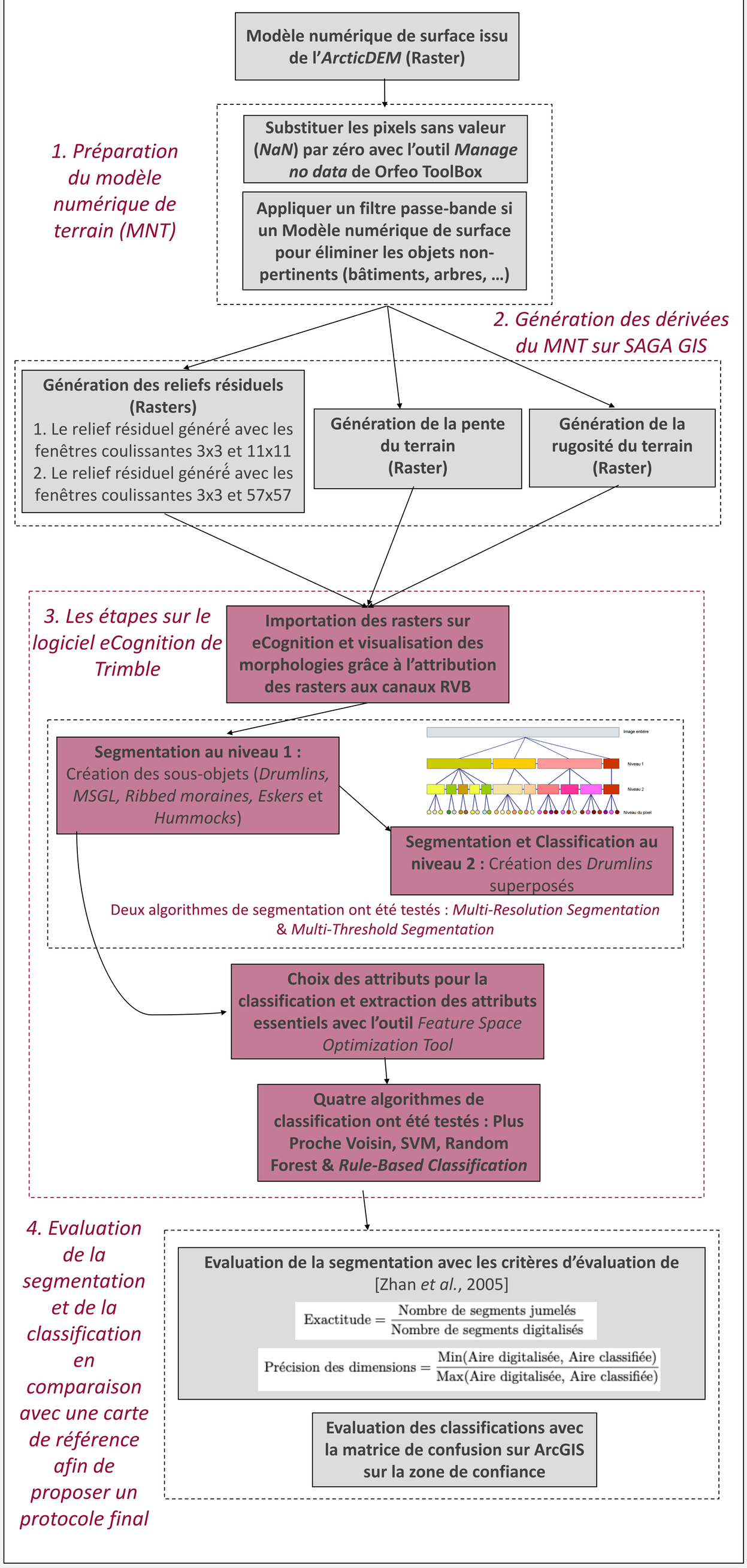


La classe des *ribbed moraines* est celle qui a été classifiée avec la plus grande précision. Cependant, cette classe a une forte erreur d'omission avec les classes *drumlins* et *eskers*. Ces classes se sont avérées être les morphologies les plus difficiles à classifier. Nous attribuons ces erreurs à la segmentation réalisée, ainsi qu'à l'ambiguïté qui peut se produire dû aux morphologies superposées. De plus, les plages de valeurs des attributs utilisés pour la classification se recouvrent énormément. Cela montre aussi le continuum qui existe entre les morphologies et qui rend l'étape de la segmentation très difficile.

Cartographie des morphologies glaciaires réalisée avec l'algorithme SVM



La méthodologie



Références :
[Zhan *et al.*, 2005] Zhan, Q., Molenaar, M., Tempfli, K. et Shi, W. (2005). Quality assessment for geo-spatial objects derived from remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(14):2953 – 2974.

Reconnaissance automatique d'objets pour le jumeau numérique ferroviaire à partir d'imagerie aérienne.

Etudiant : Valentin Desbiolles
Encadrants : Madame Hélène Macher, Monsieur Emmanuel Alby
Directeur de PFE : Monsieur André Pereira
Maître de stage : Monsieur Pierre Assali

Organisme d'accueil

ALTAMETRIS UNE SOCIÉTÉ DE SNCF RÉSEAU

INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES STRASBOURG

Contexte de l'étude

L'une des nombreuses tâches réalisée de la société Altametris est de produire des plans topographiques. Les moyens d'acquisitions privilégiés sont des moyens agiles aéroportés comme le drone ou l'hélicoptère pour des relevés de plus grandes ampleurs qui passent alors par un prestataire. Ce sont soit des photos soit des nuages de points qui sont acquis puis traités pour fournir la donnée nécessaire au report à savoir une orthophoto ou une ortholidar. Un opérateur se charge alors du report en localisant sur l'orthophoto ou ortholidar les objets de, voie, c'est-à-dire les objets utiles au fonctionnement de la ligne, en les insérant à la bonne position dans un système de coordonnées donné.

L'objectif de ce projet de fin d'études est d'étudier s'il est possible d'automatiser le processus de report de certains objets de voie dans un plan DAO, c'est-à-dire assister l'opérateur en lui proposant une insertion automatique de certains objets qu'il n'aura alors qu'à vérifier, éventuellement corriger, pour passer plus rapidement aux autres étapes pour la constitution de son plan.

Balise KVB | Armoire SES | Regard SES

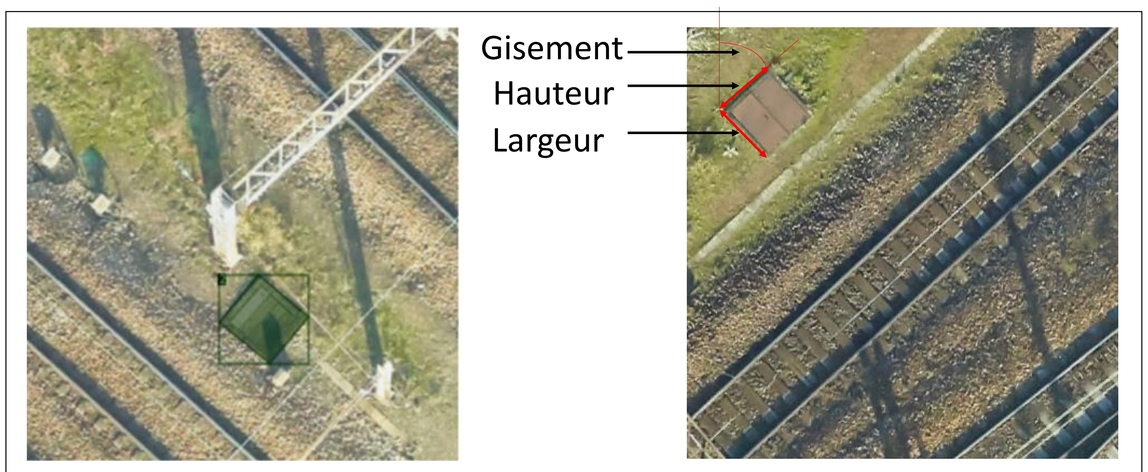
Objets d'intérêt retenus avec leurs calques tirés de la norme EPURE : norme SNCF pour la représentation des objets de voie

Identification, localisation et extraction des paramètres d'insertion des objets d'intérêt

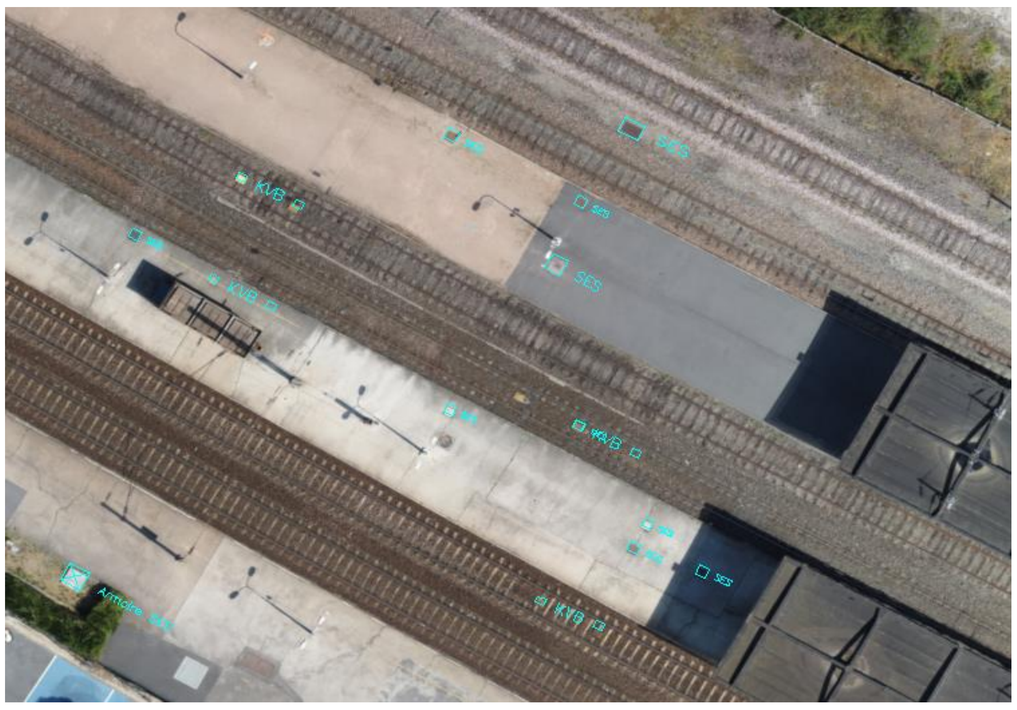
Après plusieurs recherches et études de faisabilité sur les moyens à disposition pour détecter ces objets sur une image, la solution retenue a été un réseau de neurones Detectron2 permettant de **localiser nos objets d'intérêt dans l'orthophoto, de les classifier et de fournir leurs masques : chaque pixel qui compose l'objet est extrait du fond de l'image.**
Le but est alors de calculer à partir de ces masques les paramètres d'insertion nécessaires pour le report des objets détectés : **un point d'insertion, un azimut, une largeur et une hauteur.**

Tous ces paramètres peuvent être déduits en connaissant les coins de l'objet qui peuvent être extraits directement de son masque. Ainsi, une fois les 4 coins identifiés, il est possible de calculer les paramètres d'insertion tels que :

- Le point le plus à gauche soit le point d'insertion ;
- La distance entre le plus à droite et le plus à gauche soit la largeur ;
- La distance entre le plus en haut et le plus à gauche soit la hauteur ;
- Le calcul du gisement entre le plus à gauche et le plus à haut.



Exemple de masque produit par Detectron2 (gauche) et mise en évidence du lien entre des paramètres d'insertion et les coins de l'objet (droite).



Déploiement de la solution pour le plan d'une gare SNCF

Insertion et contrôle des détections du réseau

Disposant des paramètres d'insertion de chaque détection du réseau, le problème revient donc à exploiter de manière automatisée la méthode « *Insertion en bloc* » de Autocad de façon à ce que les paramètres d'insertion ne soient plus demandés sous forme de clics dans l'interface Autocad mais soient directement récupérés dans les fichiers contenant les paramètres d'insertion.
Les insertions automatiques nécessitant toujours un contrôle de la part de l'opérateur, nous avons donc développé une fonction Autocad qui permet leurs contrôles de façon simple et rapide. La fonction dirige le zoom de l'interface Autocad sur les insertions automatiques une à une et propose à l'opérateur de :

- Valider l'insertion ;
- Modifier l'insertion en corrigeant la position du bloc, sa largeur, son azimut… ;
- Supprimer l'insertion (ex : cas un faux positif) ;
- Entourer l'insertion par un cercle rouge, demande remontée par les équipes de production pour pouvoir revenir sur l'objet plus tardivement.

Analyse des performances de notre solution

	Temps de traitement
Plan 1	7 min 30 sec
Plan 2	17 min 30 sec
Plan 3	2 min 40 sec

Tableau 1 : Temps de traitement obtenus par insertion manuelle

	Temps pour déployer la solution	Temps consacré aux retouches	Temps de traitement
Plan 1	3 min 30 sec	3 min 00 sec	6 min 30 sec
Plan 2	5 min 30 sec	6 min 45 sec	12 min 15sec
Plan 3	2 min 00 sec	1 min 20 sec	3 min 20 sec

Tableau 2 : Temps de traitement obtenus par insertion automatique

L'analyse sur les temps de traitement a montré que notre solution apporte un gain de temps pour tous plans comptant plus d'une quinzaine d'objets d'intérêt. En effet, nos programmes mettent un certain temps pour traiter et extraire les objets d'intérêt de l'orthophoto, ce qui devient rentable à partir du palier des quinze objets à reporter.
En revanche, notre solution semble bien assister l'opérateur car le temps consacré aux retouches (2ème colonne du tableau 2) est toujours inférieur au temps de traitement d'un report manuel et que le temps pour déployer la solution (1er colonne du tableau 2) est un temps ou l'opérateur peut se consacrer à une autre tâche, la solution fonctionnant de manière autonome.

Conclusion

Notre problématique était de concevoir une solution capable d'insérer automatique certains objets de voie dans un plan Autocad à partir d'orthophotos.
Nous avons pu y répondre en proposant une chaine de traitement en deux temps :

- Le déploiement d'un réseau de neurones Détectron2 et de programmes permettant la création de son jeu d'entraînement automatiquement ;
- Le développement d'algorithmes permettant l'extraction des paramètres d'insertion de chaque détection ainsi que des fonctions Autocad pour leurs insertions et leurs contrôles.

AXIS-CONSEILS – Service Information Géographique
12, rue Alexandre Avisse – 45802 Orléans Cedex

Des questions :
Tel : *02.38.53.77.15* / **email** : *orleans@axis-conseils.com*

Plus d'information :
www.axis-conseils.com

Relevés par Lidar mobile de cours d'eau et intégration des profils aux relevés bathymétriques réalisés par sondeur mono-faisceau

Situation initiale

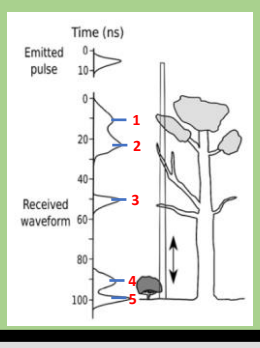
Les difficultés à utiliser un drone

- Une accidentologie jugée élevée et un coût à l'achat du lidar encore important.
- Des zones interdites au survol (base militaire…).
- Conditions et scenarii de vol à respecter (Type de terrain à survoler, charge utile du drone…).
- Autorisations de survol des autorités et des particuliers.
- Brevet de pilote.
- Contraintes environnementales (pluie et vents).

Les difficultés rencontrées en bathymétrie

- Monopolisation importantes de ressources humaines et matérielles.
- Des durées souvent longues pour réaliser la prestation (plusieurs semaines voire plusieurs mois).
- Des conditions de travail contraignantes (topographie du terrain, couvert végétal parfois dense, sollicitation physique tout au long de la journée).

L'interprétation multi-écho du lidar topographique



Un tir laser : possibilité de recevoir plusieurs signaux (végétation, sol ou autres objets). Jusqu'à 5 retours interprétables.

Echo n°1 (canopée)
Echo n°2 et 3 (objets divers)
Echo n°4 (végétation rasante)
Echo n°5 (sol ou autre)

Instrument utilisé

Vx-20 - YELLOWSCAN

Type de lidar	Topographique
Précision	1 cm
Exactitude	2,5 cm
Dimensions	47 cm x 11 cm x 17 cm
Masse	3,1 kg (batterie incluse)
Instrumentation	Scanner-laser mini-VUX-1UAV et centrale inertielle Applanix-20
Post-traitement	POSPac (corrections de trajectoire) CloudStation (génération du nuage)
Nombre d'échos	5 échos au maximum

Solution proposée

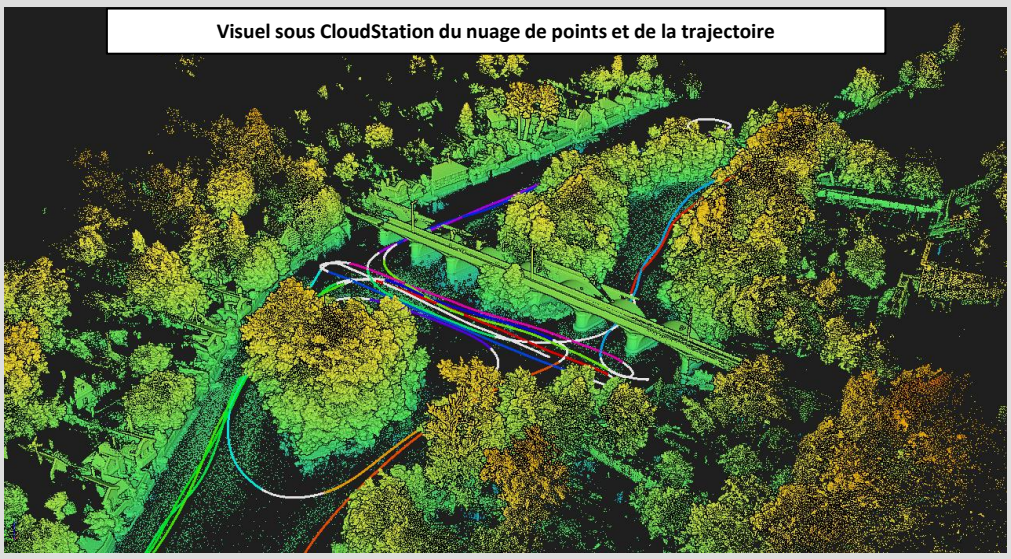
Durée de mesure

Temps nécessaire pour réaliser 32 profils et deux ponts (répartis sur 1800 mètres)

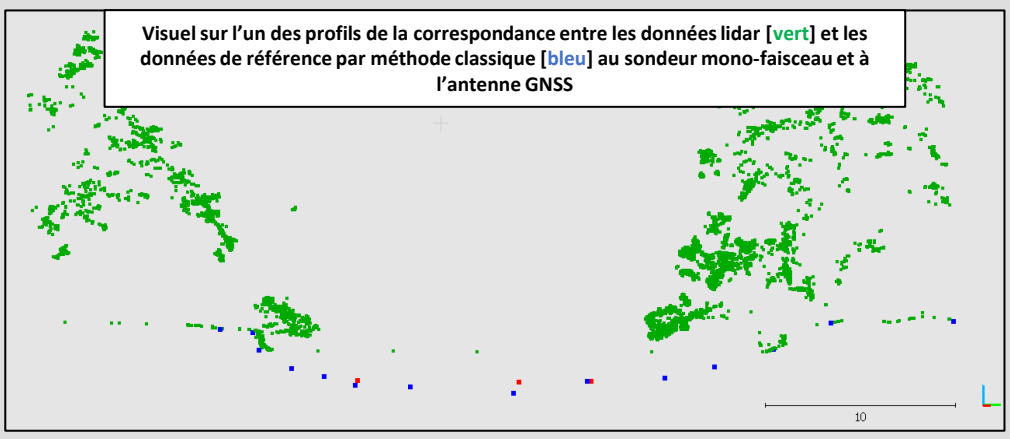
	Durées	
Actions	**Méthode usuelle**	**Méthode lidar**
Mesures (berges et ponts)	13h	1,33h
Installation / rangement	2h	1,33h
Post-traitement	-	1,33h
Economie du pivot	-	-0,33h
Recherches sur rgp.ign	-	0,17h
Temps total (1800 mètres)	**15h**	**3,7h**
Temps total (ratio kilométrique)	**8,3h**	**2,3h**

Résultats

Visuel sous CloudStation du nuage de points et de la trajectoire

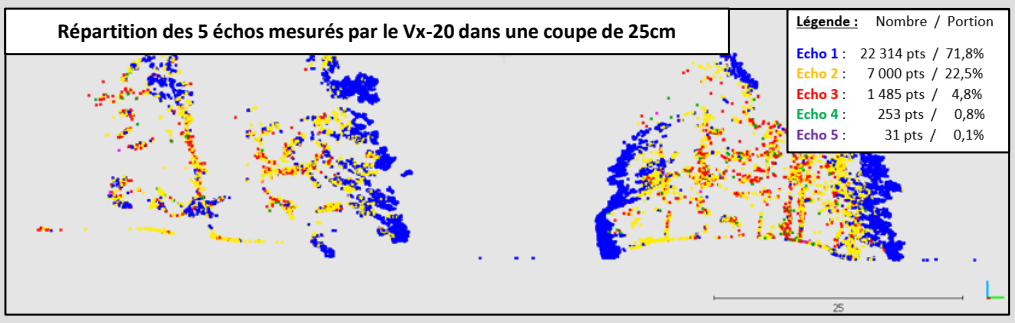


Visuel sur l'un des profils de la correspondance entre les données lidar [vert] et les données de référence par méthode classique [bleu] au sondeur mono-faisceau et à l'antenne GNSS



>> Correspondance entre les deux méthodes de mesure (pour la grande majorité des profils)
>> Possibilité de combiner les données lidars avec les données sondeur mono-faisceau (altitudes du même ordre de grandeur pour les deux mesures)

Répartition des 5 échos mesurés par le Vx-20 dans une coupe de 25cm



>> La représentation du sol est largement possible avec 2 échos. Un lidar YELLOWSCAN mesurant deux échos (« Surveyor ») semble suffisant car moins cher à l'achat et optimisé pour des mesures terrestres et aériennes.

Écarts moyens relatifs constatés entre les deux méthodes de mesures

Ponts	ΔEN = 6 cm ΔZ = 2 cm
Berges	ΔEN = 34 cm ΔZ = 0 cm

>> Écarts explicables par divers facteurs (possiblement cumulés) : résolution du nuage de points, erreurs de mesures dans la méthode classique, erreur de positionnement du lidar, bruitage du nuage.
>> Concordance avec le cahier des charges (exactitude de l'ordre de 3 cm en altimétrie et du décimètre en planimétrie)

Taux de réussite du lidar

Ramené aux nombre de profils (32) :	Ramené au nombre de berges (63) :
5 échecs (19%)	5 échecs (8%)
27 réussites (81%)	58 réussites (92%)

>> Le taux d'échec est trop important pour se passer des méthodes de mesures classiques. Toutefois, nous pouvons envisager une réduction drastique de leur utilisation (donc envisager une utilisation pour d'autres activités)

Étude et analyse des outils de modélisation semi-automatique et comparaison avec les outils classiques

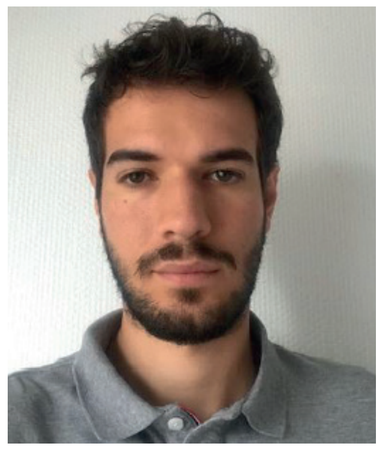
INSA Strasbourg
Spécialité Topographie

Pôle : 2D/3D
17 rue Thomas Edison
33600 Pessac

Présenté par
Domange Lucas

Date de présentation
24/09/2020

Maître de stage
Fabre Philippe



Contexte et objectif de l'étude

Ce projet de fin d'études porte sur l'analyse de la création de maquettes numériques représentant des bâtiments existants. Cette modélisation réalisée à partir d'un nuage de points s'effectue la plupart du temps manuellement. Ceci est très chronophage et peut être source d'erreurs humaines.

Des solutions permettant d'automatiser certaines étapes du passage du nuage de points à une maquette 3D commencent à être proposées. L'objectif de ces recherches est donc de déterminer si ces méthodes plus automatiques pourraient être bénéfiques à la société GEOSAT.

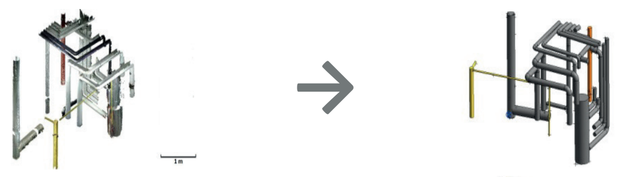
Solution apportée

- Acquisition de données 3D
- Création de maquettes numériques à l'aide des méthodes classiques et en utilisant des outils semi-automatiques
- Analyse des écarts entre le nuage de points et la maquette
- Étude de gain de temps et du coût des logiciels

Données

Modélisation de :

Réseaux

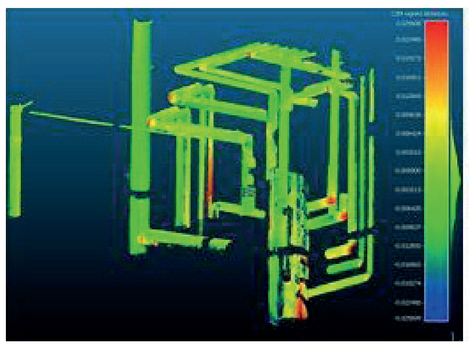


Murs

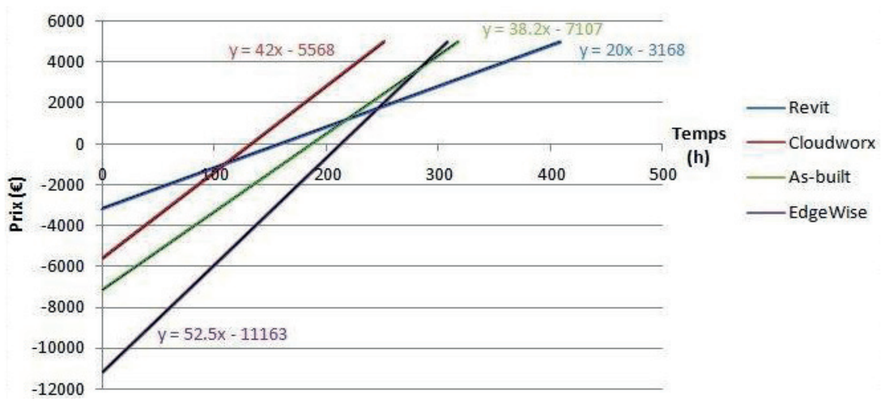
Structure métallique

Analyse des écarts

- Effectuée à l'aide de Cloudcompare
- Le nuage de points et la maquette sont géoréférencés dans le même système
- Chacune des modélisations est réalisée manuellement et semi-automatiquement
- Les différentes méthodes permettent d'obtenir le même ordre de précision



Etude de marché



- Le gain de temps le plus important s'observe surtout pour la modélisation de réseaux

Conclusion et perspectives

- Les écarts entre le nuage de points et la maquette varient peu en fonction de la méthode de modélisation utilisée
- Les méthodes de modélisation semi-automatiques sont bénéfiques pour la représentation de réseaux
- Les méthodes d'automatisation sont plus efficaces pour la modélisation de scènes dégagées.
- Les méthodes de modélisation semi-automatique sont très prometteuses mais demandent à être développées

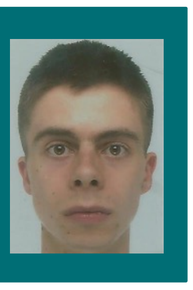
Il serait intéressant de développer un processus automatique permettant de valider la précision d'une maquette numérique.

On pourrait obtenir une courbe de Gauss et ainsi déterminer le pourcentage de points compris dans un intervalle. En fonction de ce pourcentage, la maquette pourrait être validée ou non avant livraison.

Création d'une visite virtuelle de la tour Hans Von Altheimsturm des Ponts-Couverts de Strasbourg par intégration d'un modèle 3D dans un moteur de jeu

Laboratoire Icube, INSA Groupe PAGE, Membre de l'équipe TRIO

Florian DURIEUX *
Directeur de PFE : M. Maxime WERLÉ, DRAC Grand-Est
Encadrante : Mme Hélène MACHER, Maître de conférences
Correctrices : Mme Tania LANDES, Maître de conférences
Mme Hélène MACHER, Maître de conférences



Contexte et objectifs de l'étude

Contexte :

- La **tour Hans Von Altheimsturm** est une des quatre tours encore existantes des **Pont-Couverts** de Strasbourg, une cinquième tour ayant disparu, à la suite d'un incendie
- Elles ont été bâties entre **1230 et 1250**, pour **défendre la ville** par l'entrée de l'Ill
- Ces tours ont ensuite été transformées en **prison** au **début du XVIe siècle** et ont gardé cette fonction **jusqu'en 1823**
- Une campagne d'acquisition, au scanner laser, de la tour Hans Von Altheimsturm a été menée en 2019

Objectifs :

- Établir un **modèle 3D** complet de la tour Hans Von Altheimsturm, avec une **texture photo-réaliste**
- Création d'une **visite virtuelle** destinée au grand public, par **intégration** du modèle 3D **dans un moteur de jeu**
- **Ajouter** des **connaissances historiques et archéologiques** à la visite virtuelle
- Élaborer une **nouvelle documentation graphique** de la tour, sur la base **d'orthophotographies** du modèle 3D

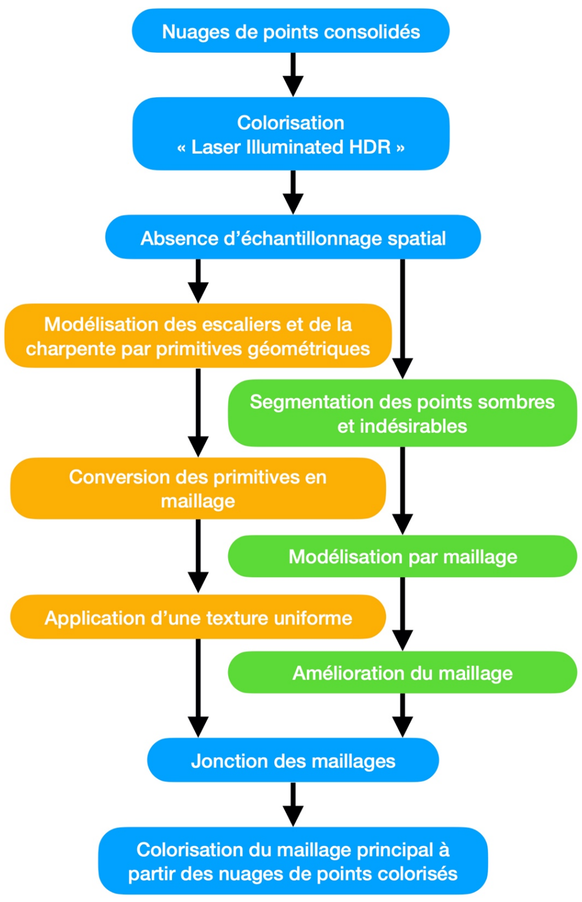
Modélisation hybride de la tour

Modélisation extérieure

- **Maillage** à partir de nuages de points acquis par lasergrammétrie
- **Remodelage** des **contours de fenêtres** à partir d'un relevé tachéométrique
- **Texture** générée par procédé **photogrammétrique**

Maillage texturé de l'extérieur de la tour

Chaîne de traitement

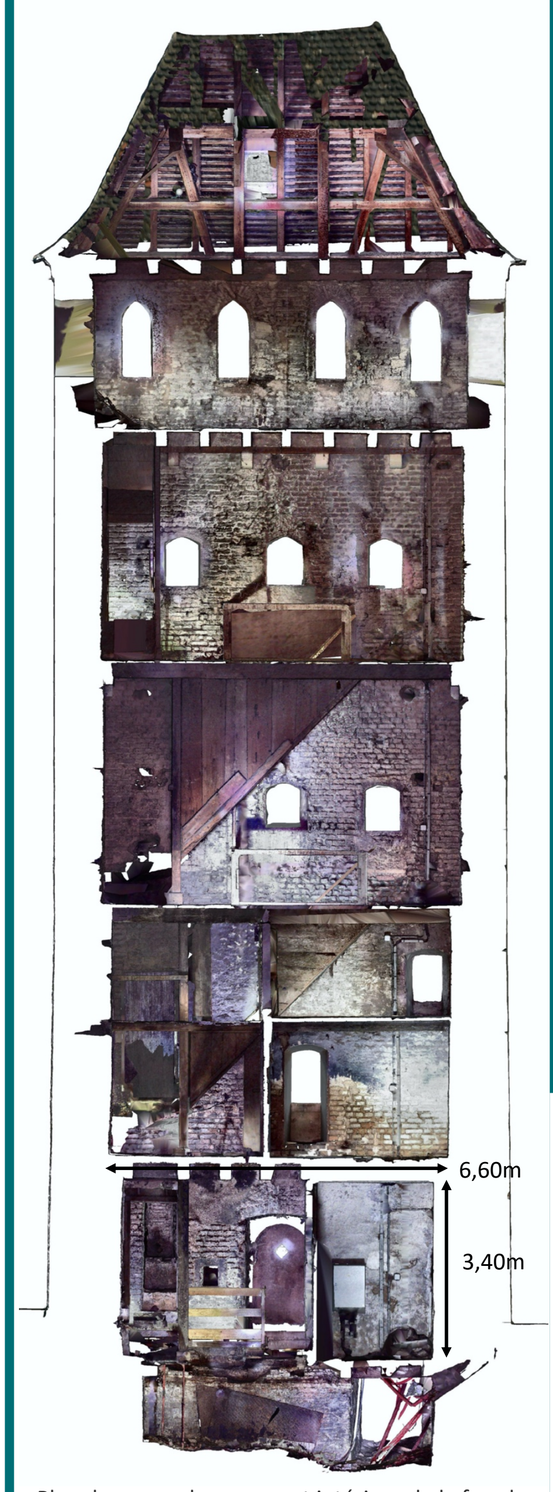


Chaîne de traitement de modélisation de l'intérieur d'une tour

Optimisation des données

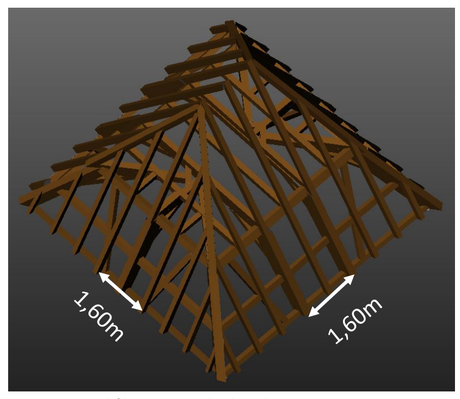
- Translation planimétrique des modèles 3D pour réduire le nombre d'entier des coordonnées
- Réduction du nombre de triangles d'un maillage par la fonction *Quadric Edge Collapse Decimation* de *MeshLab*
- Utilisation d'un format de fichier de modèle 3D optimisé (formats OBJ et FBX)

Maillage intérieur



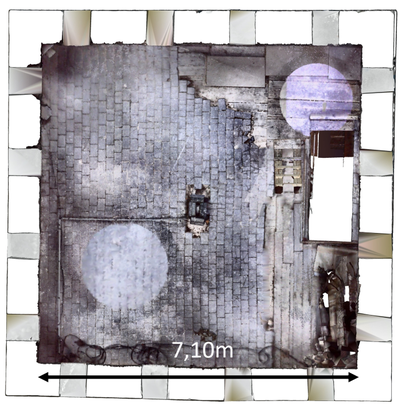
Plan de coupe du parement intérieur de la façade Est, sur la base d'une orthophotographie

Primitives géométriques



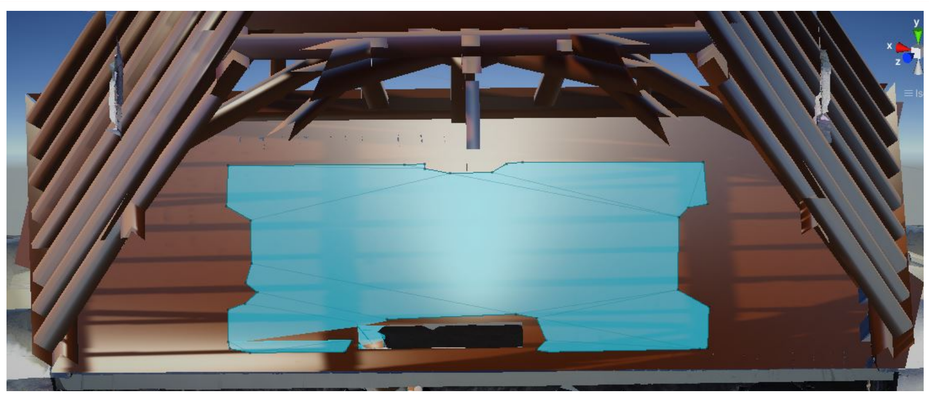
Modélisation de la charpente par primitives géométriques

Modélisation d'un escalier par primitives géométriques



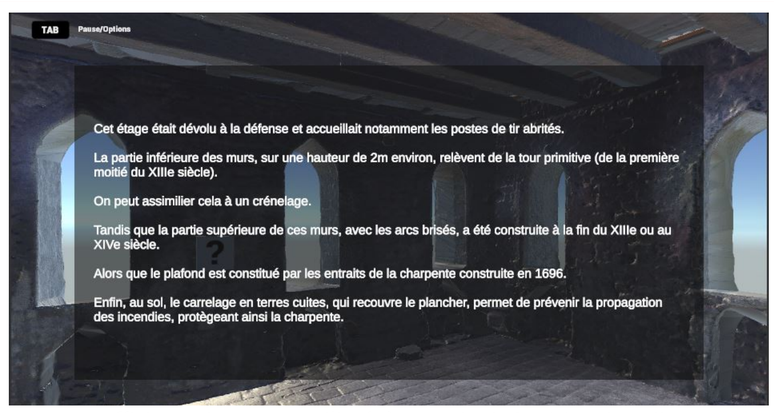
Orthophotographie du 5ème étage

Création d'une visite virtuelle dans le moteur de jeu Unity



Zone de circulation dans les combles, représentée par le NavMesh Surface en bleu

- Création d'une **navigation dans le modèle 3D** par un personnage à la 1ère personnage et un composant NavMesh Surface
- Ajout de **lumières** et configuration d'une **chaîne de rendu** pour améliorer la qualité visuelle de la visite virtuelle
- Intégration d'un **contenu d'intérêt** apportant des connaissances historiques et archéologiques à la visite



Affichage du contenu d'intérêt au sein de la visite virtuelle

florian.durieux@insa-strasbourg.fr
floriandurieux@aol.com

Intégration des données juridiques de copropriété et de division en volumes dans une maquette 3D, avec suivi des modificatifs

Guillaume GIBERT
Directeur du PFE : M. Hervé CRANCE, Renfer & Venant
Correcteur : M. Jacques LEDIG, Professeur des ENSAM

Objectifs du PFE

Cette étude se concentre sur l'**inclusion** des **données juridiques** issues de deux modes de division de la propriété : la **copropriété**, et la **division en volumes**. Une fois les données intégrées à la maquette, et disponibles pour les différents acteurs du projet et gestionnaires de l'ouvrage, il est également important que le géomètre puisse utiliser ce modèle 3D dit « **intelligent** » comme outil de travail, permettant de simplifier le processus de traitement habituel de ses dossiers. Le travail est réalisé sur le logiciel Revit, largement répandu aujourd'hui dans le milieu du BIM.

La copropriété : La mise en copropriété nécessite la modélisation de plusieurs éléments dans la maquette, à savoir les parties communes (générales ou spéciales), les lots privatifs, mais aussi leur décomposition en pièces, qui permettront d'effectuer par la suite le calcul des tantièmes de copropriété.

La division en volumes : Ce ne sont pas les volumes de division mais plutôt leur décomposition en fractions volumiques qui seront représentées dans la maquette. De la même façon que pour la copropriété, l'objectif de ce travail est également d'associer à ces fractions, leurs données juridiques.

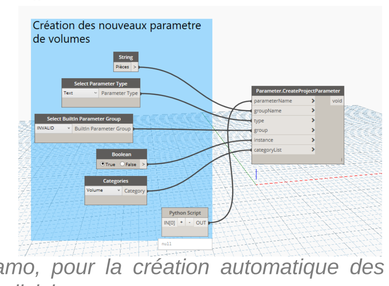
Les outils de Revit

Au sein de Revit, chaque élément modélisé appartient à une famille d'objets. Chaque famille possède des attributs qui lui sont propres, comme la surface au sol pour les éléments de la famille *Pièce*. Cependant, en plus de ces derniers, l'utilisateur peut créer, pour une ou plusieurs familles, des attributs personnalisés. Grâce à cela, il est possible de compléter la modélisation géométrique d'un objet de la maquette, par des attributs contenant, par exemple, les informations juridiques les concernant.

Développement dans Revit: Dynamo est un applicatif de programmation visuelle créé par Autodesk, permettant le développement de scripts afin d'interagir avec les éléments de la maquette.

Outre de nombreux nœuds préprogrammés aux multiples fonctions, Dynamo permet la création de nœuds personnalisés contenant un script Python, et ayant accès à l'API de Revit

REVIT Dynamo



Exemple de script Dynamo, pour la création automatique des paramètres juridiques de division

Intégration des données juridiques

La copropriété
Intégration des données

La logique du travail de mise en copropriété habituellement appliquée sur plans 2D peut être conservée pour la modélisation des éléments au sein de la maquette 3D. Plusieurs éléments plans sont ainsi modélisés dans la maquette :

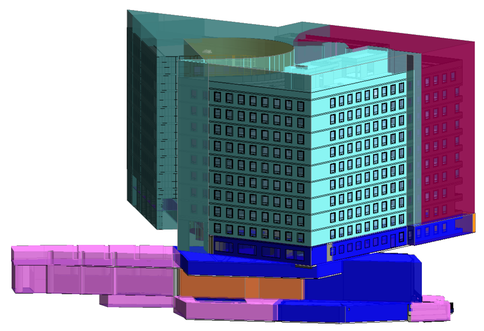
1. **Les lots privatifs :** grâce à l'utilisation de l'outil ***Surface.*** Les différents paramètres personnalisés sont :
   a. **Le numéro du lot**
   b. **La désignation du lot (appartement, cave…)**
   c. **Le numéro de cage d'escalier**
   d. **Le numéro de porte**

   Les parties commues sont modélisées de la même façon
2. **Les pièces :** chaque lot peut être décomposé en différentes pièces. C'est l'outil ***Pièce*** qui est utilisé. Comme les lots, il est possible d'intégrer des attributs complémentant leur définition géométrique :
   a. **Le numéro de lot**
   b. **Le numéro de bâtiment**
   c. **La surface au sol (renseignée par Revit)**
   d. **Le niveau (renseigné par Revit)**
   e. **La désignation**

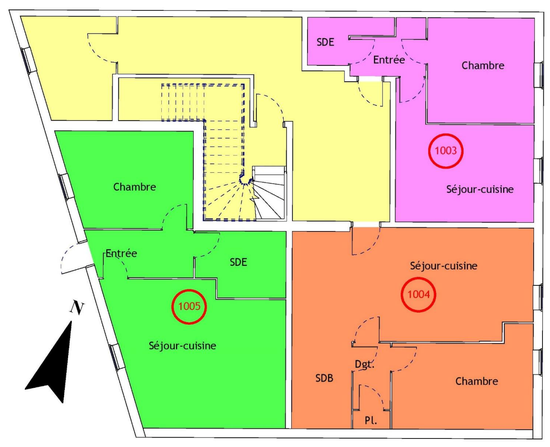
Division en volumes
Intégration des données

La modélisation concerne les fractions de volumes au sein de la maquette Revit. L'outil utilisé est le ***Volume In Situ.*** Un volume de division sera donc présent dans la maquette, sous la forme de sa décomposition en fractions.
Ces dernières, comme les lots et les pièces de copropriété, se verront associés des attributs particuliers :

a. **Le numéro de volume principal**
b. **Le numéro de la fraction (donc de l'élément modélisé)**
c. **La destination du volume principal**
d. **La destination de la fraction**
e. **La surface au sol**
f. **Le niveau de référence de la fraction**
g. **Sa cote NGF inférieure**
h. **Sa cote NGF supérieure**



Division en volumes modélisées au sein d'une maquette 3D sous Revit



Exemple de plan d'étage d'une maquette contenant la modélisation des lots et leur décomposition (1 / 100)

Renseignement des attributs de division

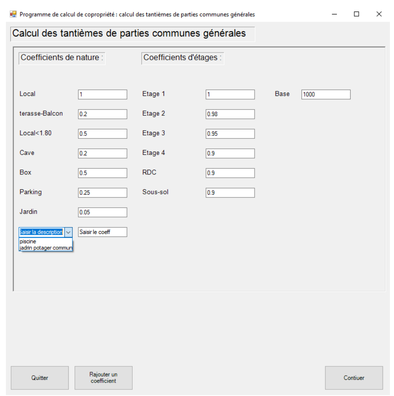
Des attributs présentés plus hauts, trois dépendent directement du placement de la fraction dans la maquette : Le niveau de référence, et les cotes NGF inférieure et supérieure. Un algorithme a ainsi été développé afin de permettre le renseignement automatique de ces paramètres.
Le programme va, une fois lancé, faire correspondre chaque fraction à son niveau de référence dans la maquette. Pour le renseignement des cotes NGF, il est capable de détecter le cas particulier d'une cote variable.

Calculs de copropriété

Une fois l'intégration des données réalisée, il est intéressant pour le géomètre de les récupérer pour ses travaux. Les possibilités offertes par Dynamo / Python ont conduit à la création de deux programmes.
Le premier permet le calcul des tantièmes de copropriété. Il s'exécute en 4 étapes distinctes :

1. Import dans le programme des attributs des pièces et des lots.
2. Tri des données et vérification. Cette étape permet de contrôler que la maquette a été correctement renseignée.
3. Demandes utilisateur et calculs.
4. Export des données pour l'EDC.

Etape 3 : fenêtre de calcul des parties communes spéciales et des charges



Etape 3 : fenêtre de calcul des tantièmes de parties communes générales

Rédaction de l'état descriptif de division

Un deuxième programme est développé pour permettre la création automatique d'une partie de l'état descriptif de division, à savoir la description des volumes et des tableaux récapitulatifs, au format *.docx.*

Enfin, un dernier script permet la création du tableau contenant les coordonnées de l'ensemble des points nécessaires à la description des volumes.

Intégration des données résultantes

Ce deuxième programme permet pour chaque lot, à l'aide du fichier résultat précédent, la création de paramètres pour tous les tantièmes calculés, et les renseigne automatiquement. Il permet de compléter les informations juridiques contenues dans la maquette.

Conclusion et perspectives

- Les solutions proposées pour l'intégration des données de copropriété et de division en volumes, en se basant sur les outils proposées par Revit, permettent de lier modélisations géométriques et données juridiques.
- Le logiciel se comporte ensuite comme une véritable base de données, permettant à l'ensemble des acteurs du projet ou gestionnaires d'avoir accès à l'ensemble des informations juridiques contenues dans la maquette.
- Les différents programmes développés permettent d'exploiter pleinement ces informations. Ils apportent un véritable gain de temps pour le géomètre pour la gestion de ses dossiers.
- Chaque programme pourra être optimisé, notamment par l'ajout de nouvelles fonctionnalités
- Il serait également intéressant de porter les différents scripts dans le langage C#, et d'en faire de véritables plug in dans Revit, dont l'exécution sera plus stable et plus rapide qu'avec Dynamo.

guillaume.gibert@insa-strasbourg.fr

Etude sur la division primaire en application de l'article R. 442-1 a) du Code de l'Urbanisme au sein du cabinet de géomètres-experts AGATE (Grenoble 38)

INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES STRASBOURG

AGATE Géomètres experts

AGATE Géomètre-Expert
20 rue Paul Helbronner
38 100 Grenoble

Soutenu le **23 Septembre 2020**
Par **Marion GRANJON**
Directeur de PFE : **Jean-Luc ROUX**
Correcteur : **Régis LAMBERT**

Contexte et objectifs de l'étude

La croissance de l'urbanisation va engendrer dans les années à venir, une demande accrue de constructions, ce qui impliquera des montages juridiques complexes pour pourvoir à cette demande. Parmi ces possibilités, on trouve notamment la procédure de division primaire. Il est donc important que celle-ci soit comprise de tous (GE, architectes, promoteurs, notaires, services instructeurs . . .) que ce soit pour son intérêt, mais également pour les démarches de sa mise en œuvre.

Il s'avère qu'au sein même de la profession de géomètres-experts, un certain nombre de questions relatives à cette procédure sont soulevées.

En effet, bien que globalement connue, la procédure divise quant à sa mise en œuvre, notamment au moment du dépôt du PC pour la détermination de l'assiette ainsi que pour l'application des règles d'urbanisme. De ce fait, ce sujet a pour objectif de répondre à un besoin professionnel.

Les objectifs de ce PFE sont ainsi de :

- Synthétiser le maximum d'informations sur la division primaire
- Mettre en avant les problématiques liées à cette pratique
- Proposer une conclusion dans le but de réduire les incertitudes et donc garantir la sécurité juridique

Evolution de la loi

1977 – R. 315-2 d

« Ne constituent pas des lotissements et ne sont pas soumises aux dispositions du présent chapitre : […]
d) Les divisions par ventes ou locations effectuées par un propriétaire au profit de personnes qu'il a habilitées à réaliser une opération immobilière sur une partie de sa propriété et qui ont elles-mêmes déjà obtenu une autorisation de lotir ou un permis de construire portant sur la création d'un groupe de bâtiments ou d'un bâtiment comportant plusieurs logements […] »

2007 – R. 442-1 d

« Ne constituent pas des lotissements au sens du présent titre : […]
d) Les divisions par ventes ou locations effectuées par un propriétaire au profit de personnes qu'il a habilitées à réaliser une opération immobilière sur une partie de sa propriété et qui ont elles-mêmes déjà obtenu un permis d'aménager ou un permis de construire portant sur la création d'un groupe de bâtiments ou d'un immeuble autre qu'une maison d'habitation individuelle […] »

2012 – R. 442-1 a

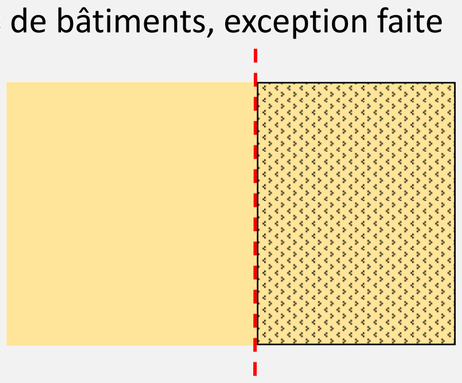
Ne constituent pas des lotissements au sens du présent titre et ne sont soumis ni à déclaration préalable ni à permis d'aménager :
a) Les divisions en propriété ou en jouissance effectuées par un propriétaire au profit de personnes qui ont obtenu un permis de construire ou d'aménager portant sur la création d'un groupe de bâtiments ou d'un immeuble autre qu'une maison individuelle au sens de l'article L. 231-1 du code de la construction et de l'habitation ; […]

Caractéristiques de cette procédure

La division primaire est une division **non constitutive de lotissement** qui permet un **gain de temps** dans l'instruction des projets, en comparaison des PA et DP. Elle est amenée à être de plus en plus utilisée en milieu urbain.
Elle répond aux directives de la **loi ELAN** (2018) qui, pour rappel, a comme objectifs, au niveau de l'aménagement local, la densification et la lutte contre l'étalement urbain.
Pour pouvoir qualifier une opération de division primaire il faut respecter **quatre critères** :

- **La nature de la division**, en propriété ou en jouissance
- **Le moment à laquelle elle intervient**, après l'obtention et la purge de l'autorisation d'urbanisme (PA, PC ou PCVD)
- **L'objet du permis**, construction de groupes de bâtiments, exception faite des maison individuelles
- **L'accord du propriétaire**, à obtenir avant le dépôt de l'autorisation d'urbanisme

Le projet porte ainsi sur une partie de l'unité foncière (partie grisée).
Cette procédure ne peut être utilisée par un particulier.

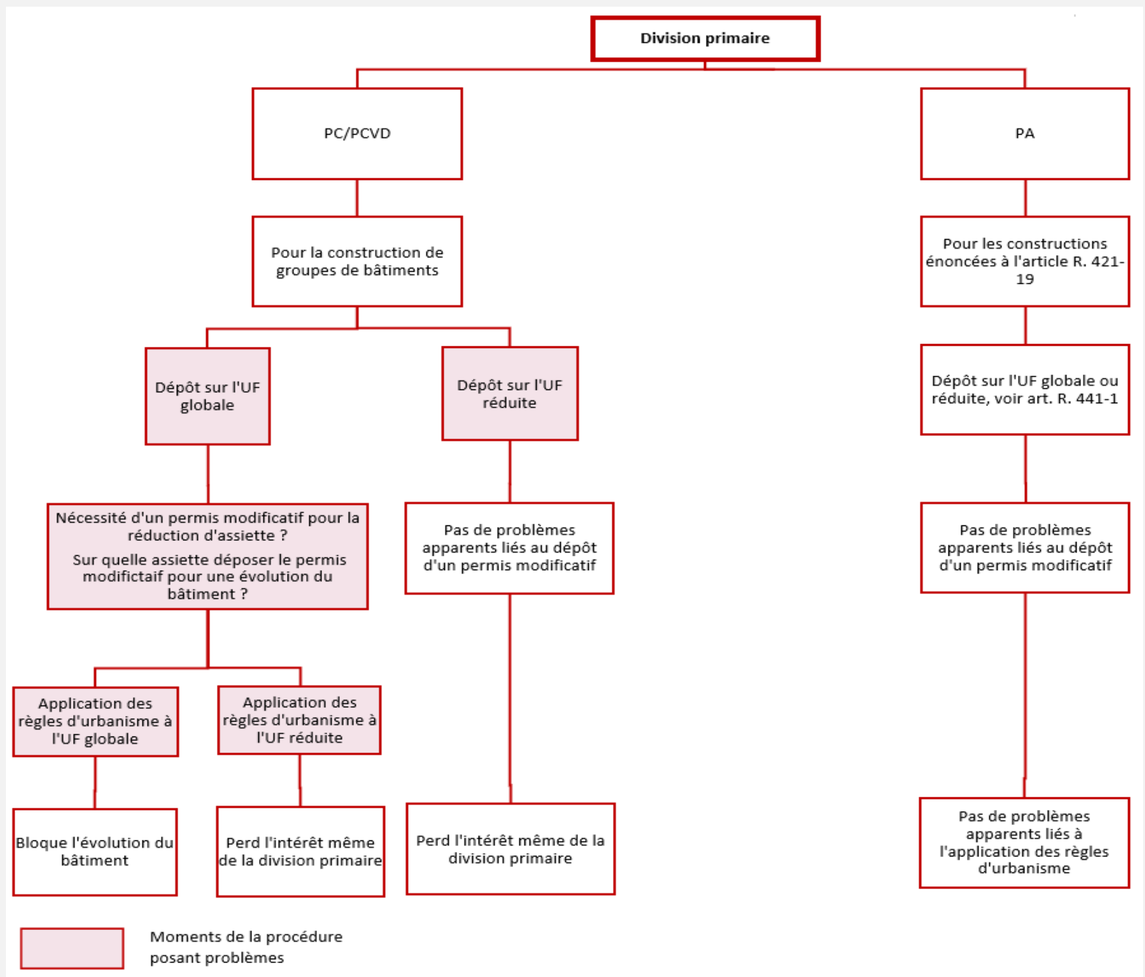


Problématiques soulevées par la pratique

La procédure peut toutefois être source d'insécurité juridique, liée aux questionnements inhérents à sa pratique. En voici les quatre principaux :

- L'assiette du dépôt du permis
  - le PA peut être déposé sur l'assiette réduite (art. R. 441-1 du CU)
  - le PC quant à lui divise, sur l'assiette initiale ou réduite ?
- La demande d'un permis modificatif et l'assiette sur laquelle le déposer
  - faut-il déposer un permis modificatif pour la réduction de l'assiette du projet ?
  - sur quelle assiette le déposer lorsque l'objet est la modification du bâtiment ?
- L'emprise sur laquelle appliquer les règles d'urbanisme
  - sur l'assiette initiale, au risque de bloquer l'évolution du bâtiment
  - sur l'assiette réduite, au risque de supprimer l'aspect densificateur de la division primaire
- La question du reliquat

En voici un récapitulatif :



Pour chaque questionnement évoqué, la doctrine, la jurisprudence et les professionnels ne parviennent pas à s'accorder sur une pratique commune capable de réduire les risques juridiques.

Conclusion et perspectives

Conclusion : Nous pouvons déduire de l'ensemble des recherches et de la synthèse réalisées que :

- Le dépôt du PC sur l'UF foncière initiale serait à privilégier
- La demande de permis modificatif en réduction d'assiette foncière ne soit pas nécessaire
- Les règles d'urbanisme doivent s'appliquer sur l'assiette réduite, donc en anticipant la division
- Les notions de reliquat et résidu doivent être clarifiées dans la doctrine

Perspectives : Les professionnels souhaiteraient une évolution ou une précision législative et/ou jurisprudentielle qui serait la meilleure garantie dans l'utilisation de cette procédure.