

Mise en place d'outils collaboratifs pour une maquette BIM orientée 7D en vue de l'exploitation et de la maintenance des infrastructures de transport public

■ Eva IVANOVA TESLUTCHENKO

Dans un but de développement d'outils de gestion et maintenance assistée par ordinateur (GMAO), les transports publics genevois (TPG) souhaitent intégrer la dimension du Building Information Modeling (BIM) dans les phases d'opération et maintenance des infrastructures de lignes aériennes de contact (LAC). Pour ce faire, des outils collaboratifs apparaissent comme nécessaires pour permettre l'échange d'informations entre tous les acteurs, au bureau comme sur le terrain. Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un Proof of Concept (PoC) dont le but est de combiner une maquette BIM 7D avec des outils collaboratifs WEB et mobiles, le tout en lien avec les applications et bases de données préexistantes.

Contexte et objectifs de l'étude

En 2014, HKD Géomatique a réalisé, en partenariat avec les transports publics genevois (TPG), le relevé et la modélisation en SIG 3D des éléments de lignes aériennes de contact (LAC), de tramways et trolleybus sur un linéaire de soixante-dix kilomètres. Ce projet a notamment été le fruit du projet de fin d'études (PFE) de Joris Vidalenche (figure 1), aujourd'hui ingénieur géomètre de l'ESGT. [1]

Depuis 2017, les TPG visent à digitaliser leurs méthodes de travail spécifiques aux travaux sur les chantiers et aux opérations de maintenance. Cela a débuté par l'identification, la hiérarchisation et la topologie de tous les éléments constituant les LAC dans une base de données de type *Enterprise Resource Planning* (ERP), qui contient les informations de gestion relatives aux ressources humaines, financières et matérielles. L'enjeu aujourd'hui des TPG est de permettre une gestion et une communication plus rapide et efficace dans le domaine de la maintenance des LAC. Pour ce faire, les TPG ont mandaté HKD Géomatique afin de combiner modèles

MOTS-CLÉS

BIM 7D, GMAO, LAC, Outils collaboratifs, Réalité augmentée



Figure 1. Résultat de la modélisation SIG 3D par [Vidalenche 2014].

Ce PFE présente dans un premier temps les méthodes de maintenance au sein des TPG, les différentes digitalisations de maintenance existantes, ainsi que les outils de maintenance nomades disponibles aujourd'hui sur le marché. Dans un second temps, il met en exergue le choix, la mise en place et la gestion d'une plateforme collaborative reliée à une application mobile développée spécifiquement dans le cadre du PFE, orientés vers la gestion et maintenance assistée par ordinateur (GMAO) des infrastructures de LAC.

3D avec base de données ERP sur un linéaire réduit de six cents mètres. Ce travail est mené dans le cadre d'un projet PoC (*Proof of Concept*). Les modèles 3D sont issus de données de système d'information géographique (SIG) converties en *Building Information Modeling* (BIM), mais aussi d'objets BIM nouvellement créés pour enrichir la bibliothèque préexistante (figure 2). Le format choisi pour la modélisation BIM est l'*International Foundation Class* (IFC), du fait de son interopérabilité et ses diverses possibilités de personnalisation des données stockées.

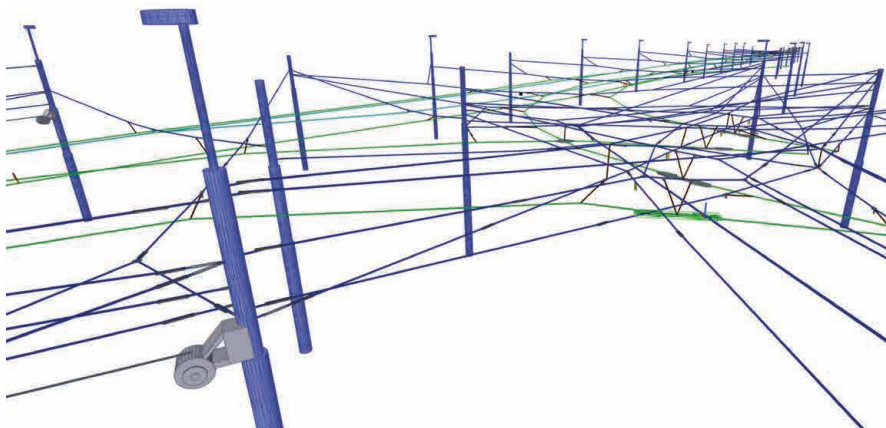


Figure 2. Extrait de la maquette BIM utilisée pour ce PFE, modélisée par [Senra 2022].

Jumeau numérique et collaboration n-D

Le BIM avait depuis longtemps la simple définition de représentation virtuelle d'un objet ou d'une structure, comme explicité par [Bolpagni 2022]. Cependant, ce qui donne toute la puissance à ce concept est l'ajout de dimensions au BIM comme indiquées dans le *tableau 1*.

Dans la littérature, beaucoup d'auteurs mentionnent des cas d'utilisation du BIM à *n*-dimensions, c'est-à-dire en affectant des informations attributaires à des objets BIM, par exemple des données statistiques thermiques, lumineuses, de consommation énergétique [Montiel-Santiago et al. 2020 ; Laine et al. 2007], ou encore de sécurité [Chen et al. 2020]. Le BIM peut également intégrer des données statistiques dans le but de limiter le gaspillage de ressources, d'augmenter la productivité et d'optimiser les bénéfices, le transformant alors en "*lean BIM*" [Mahalingam et al. 2015].

Dans le cadre de notre projet de recherche et développement, nous souhaitons appliquer la 7^e dimension afin de permettre la GMAO des LAC TPG. L'intégration des notions d'efficacité des ressources matérielles, de la sécurité ou encore de la réduction de l'impact environnemental restreignent des ouvertures futures à notre étude de cas.

Collaboration mobile et réalité augmentée

En pleine expansion depuis quelques années, l'utilisation d'outils mobiles combinés à la réalité augmentée optimise le travail collaboratif sur le terrain. Nous retrouvons des outils collaboratifs BIM en réalité augmentée, utilisant diverses méthodes de superposition de virtuel sur réel :

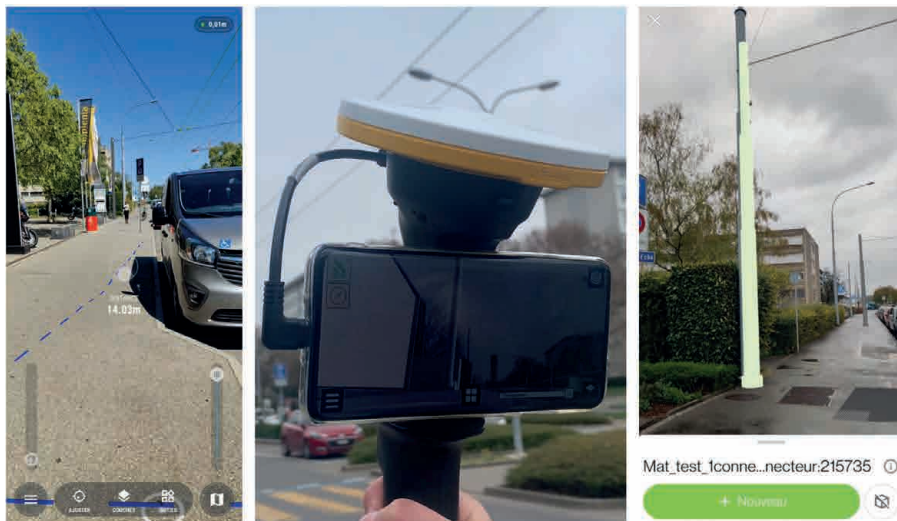


Figure 3. De gauche à droite : vGIS, Trimble SiteVision, Dalux, des solutions de BIM en réalité augmentée.

- lecture de données de positionnement du mobile ou d'une antenne GNSS annexe ;
- lecture de QR-code, code-barre ou toute autre cible 2D ;
- connexion Bluetooth, NFC ou puces RFID ;
- calcul et suivi de surfaces planes à l'aide de la vision par ordinateur ;
- utilisation d'informations indirectes de positionnement comme la signature du signal Wi-Fi.

Généralement développés grâce à des *Software Development Kits* (SDK), les solutions de BIM en réalité augmentée se retrouvent majoritairement sur les systèmes d'exploitation Android et iOS. Parmi les solutions en tête de liste pour la collaboration, nous retrouvons les applications vGIS, Dalux ou encore *Trimble SiteVision* (figure 3). Nous avons eu l'occasion de tester ces trois solutions sur le terrain avec une maquette BIM de LAC sur une zone réduite.

Les outils de visualisation et de travail collaboratif étant aujourd'hui en plein essor, de nouvelles fonctionnalités nous attendent en matière de collaboration, particulièrement dans le domaine de la maintenance d'infrastructures.

Gestion d'une plateforme BIM collaborative...

Pour orchestrer différents types de données (BIM, SIG, bases de données internes de GMAO) avec les exigences métier de maintenance des LAC des TPG, il fallait mettre en place un cahier des charges du travail collaboratif. La rédaction de ce cahier des charges contient plus d'une vingtaine de critères allant de la maniabilité visuelle au travail collaboratif, en passant par la sécurité des flux de données.

Cette base de comparaison nous a permis de resserrer l'étau de recherche. Partant de plus d'une trentaine de plateformes collaboratives recensées, nous avons conclu de nos divers tests et analyses que trois solutions peuvent être retenues dans le cadre de ce PoC (*tableau 2*).

... associée à des outils mobiles

Puisque les TPG souhaitent utiliser une solution de travail au bureau comme sur le terrain, il est donc nécessaire que la plateforme de collaboration BIM

| 2D | 3D | 4D | 5D | 6D | 7D |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-----------------------|---|--|
| Dessin Assisté par Ordinateur (DAO) | Building Information Modeling (BIM) | Intégration du temps et des ressources | Intégration des coûts | Intégration de la durabilité et des simulations | Gestion et exploitation autour du cycle de vie |

Tableau 1. Les différentes dimensions du BIM, traduit de [Bartels 2020].



propose un outil mobile ou une possibilité de développements externes mobiles avec ses données. Parmi les plateformes collaboratives BIM sélectionnées, les différentes solutions de collaboration mobile ont pu être testées et évaluées selon les besoins sur le terrain.

Nous avons en premier lieu tiré les conclusions et apports de chaque application mobile testée. Allant du positionnement de la réalité augmentée par GNSS à la personnalisation de formulaires en ligne, nous avons retenu les points notoire de chaque applicatif, sans pour autant pouvoir répondre entièrement aux besoins terrain de la maintenance des LAC.

La solution BimSync, quant à elle, possède une application sans module de réalité augmentée, cependant elle possède une porte ouverte aux développements externes et donc, la réalisation d'un applicatif au plus proche du besoin d'étude (figure 4).

Après avoir conclu que tous les points du cahier des charges ne répondent pas complètement via une solution commerciale existante, nous sommes arrivés à la conclusion d'un développement en interne à HKD Géomatique pour produire une version bêta d'application mobile pour le suivi de la maintenance des LAC. Cette stratégie de développement laisse ainsi toutes les libertés

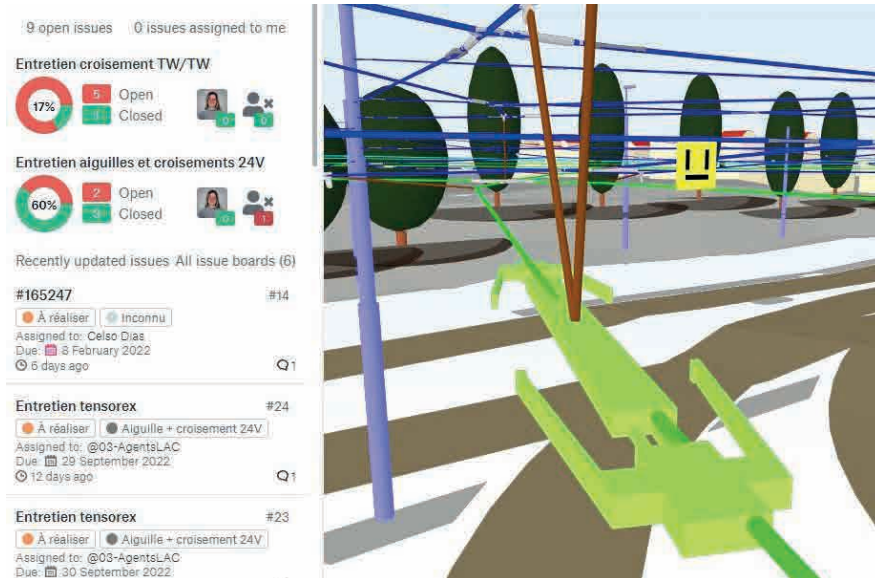


Figure 4. Tableau de bord de la plateforme collaborative BimSync.

nécessaires pour répondre aux problématiques de GMAO terrain, et constitue un troisième ensemble complet viable sur mobile comme sur ordinateur.

Développement d'une application mobile de GMAO

■ Choix du support de développement

En termes de support technique, nous sommes passés par une étape d'évaluation et de choix de support matériel et logiciel pour notre développement, en prenant en compte le produit final

attendu et les contraintes de réalisation qui sont, entre autres, financières, temporelles et le manque d'expérience dans le monde du développement d'applications mobiles.

Pour le support logiciel, nous avons fait le choix de développer sous Android, du fait de son écrasante majorité d'utilisateurs dans le monde et donc, d'une plus grande affluence d'informations (figure 5).

Une fois le support logiciel déterminé, nous avons choisi d'utiliser un moteur de jeu plutôt que de développer une "page blanche" de codes par souci de simplicité et rapidité.

| | Fonctions | | | | | | |
|------------|--------------------------|-----------------|------------------------|----------------------|----------------|----------|-----------|
| | Lecture et visualisation | | | Collaboration | | Stockage | |
| Plateforme | IFC | Nuage de points | SHP, CityGML, Flux WMS | Assignment de tâches | Annotations 3D | Pont ERP | Serveurs |
| Dalux | • | • | | • | • | • | Allemagne |
| BimSync | • | • | | • | • | | Irlande |
| GeoBIM | • | • | • | • | • | • | USA |

Tableau 2. Plateformes collaboratives retenues pour l'étude.

| | Fonctions | | | | | |
|------------|--------------------|--|-------------------|---------------|-------------------|-----------------------------------|
| | Application mobile | Formulaires de tâches personnalisables | Réalité Augmentée | | | Développements externes possibles |
| Plateforme | | | Présente | Position GNSS | Position manuelle | |
| Dalux | • | • | • | | • | |
| BimSync | • | • | | | | • |
| GeoBIM | • (vGIS) | | • | • | | |

Tableau 3. Solutions mobiles associées aux plateformes retenues.

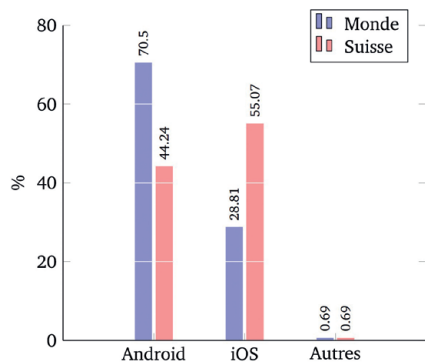


Figure 5. Répartition de l'utilisation des systèmes d'exploitation mobiles en juin 2022 [Statcounter Global Stats 2022].



Enfin, le support matériel a été choisi pour ses performances graphiques et ses possibilités de connexion à une antenne GNSS : une tablette Samsung Active 3.

■ Fonctions de l'application

Une fois le support de développement défini, la prochaine étape a été la définition de l'architecture fonctionnelle des services fournis par l'application mobile. Tout d'abord, l'application a pour fonctions primaires l'affichage et la lecture d'attributs d'objets IFC en réalité augmentée, ainsi que la création de formulaires de maintenance en lien avec ces objets.

Les fonctions secondaires, qui ont été rendues possibles grâce à des modules annexes ou par de la programmation interne, sont :

- la conversion d'objets BIM IFC vers des objets cartographiés UV ;
- la connexion à ArcGIS Online pour les fonds de carte 2D et objets SIG 3D ;
- la lecture de coordonnées de positionnement natives du mobile ;
- la lecture des coordonnées de l'antenne GNSS connectée en Bluetooth au mobile ;
- différents placements de notre maquette 3D en réalité augmentée :
 - manuel sur surfaces planes détectées ;
 - automatique sur cibles 2D détectées ;
 - automatique via coordonnées GNSS et calcul d'orientation du smartphone.
- la création, modification et validation de formulaires de maintenance curative et préventive ;
- la visualisation en réalité augmentée de formulaires de tâches.

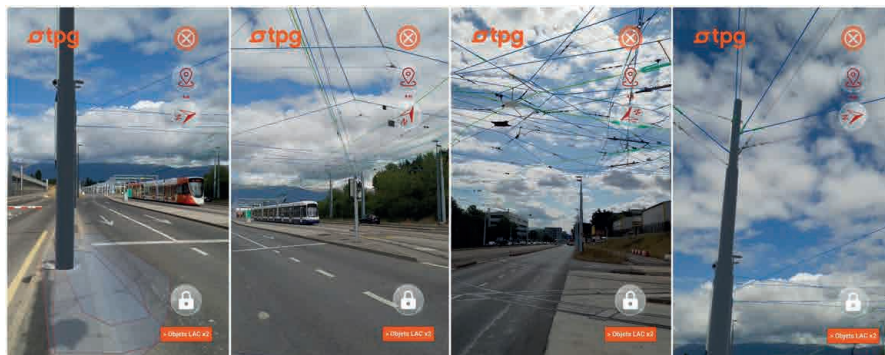


Figure 6. Détection de surfaces planes (bleu) et placement manuel de la maquette BIM en réalité augmentée.

■ Mise en place d'un module de réalité augmentée

Une fois les objets 3D importés dans le moteur de jeu, nous avons fait face à la problématique de placement de notre environnement virtuel en réalité augmentée.

Après analyse d'études similaires, nous avons commencé par le développement du placement le plus aisé à mettre en œuvre : le placement sur cible 2D. Pour ce faire, deux types de projections existent d'après [Esri 2022] : la projection miniature (également appelée "tabletop", en français "dessus de table") et la projection à taille réelle (figure 7). Nous avons commencé par le développement du premier type, puis une fois réussi, nous avons réalisé la projection à taille réelle puisqu'elle est nécessaire au bon déroulement du suivi de GMAO sur le terrain. Ce développement a été permis par le module Vuforia compatible avec le moteur de jeu Unity.

Néanmoins, nous avons très rapidement constaté sur le terrain que le placement sur cible 2D à grande échelle nous confronte à de nouveaux obstacles. Tout d'abord, le suivi de la

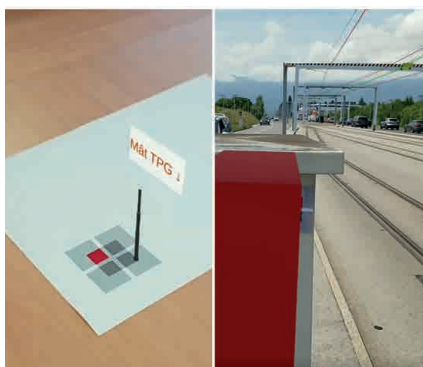


Figure 7. Projection miniature à gauche, projection à taille réelle à droite.

maquette virtuelle en réalité devient rapidement biaisé en cas de présence d'un obstacle important devant la caméra. Ensuite, la moindre erreur de placement ou lecture de la cible 2D peut générer une très grande déviation de la maquette à longue distance.

Nous avons donc développé, dans un second temps, un outil mobile permettant le placement manuel de notre maquette en réalité augmentée. Pour ce faire, nous avons utilisé un script C# pour :

- la détection et visualisation en temps réel des surfaces planes environnantes ;
- le placement de notre maquette lors d'un contact tactile sur une des surfaces détectées, à l'aide du module ARFoundation intégré au moteur de jeu (figure 6).

Après avoir mené des tests sur le terrain dans la zone du PoC, nous constatons que le placement est aisé à prendre en main, puisqu'il suffit de balayer l'environnement pour détecter le sol, puis placer sur une surface détectée notre maquette 3D. Nous avons pu développer un outil permettant également de modifier la translation (X, Y), la rotation autour de l'axe Z ainsi que le changement d'échelle. Ces outils permettent d'ajuster le positionnement de notre maquette tout en maintenant sa connexion au sol, détecté préalablement. Une fois le positionnement ajusté, nous avons défini un outil permettant de bloquer celui-ci afin de ne pas le modifier par mégarde. Malgré cela, cette solution reste similaire au fonctionnement de l'application en réalité augmentée de Dalux, puisqu'elle requiert un placement manuel en 2D préalable,

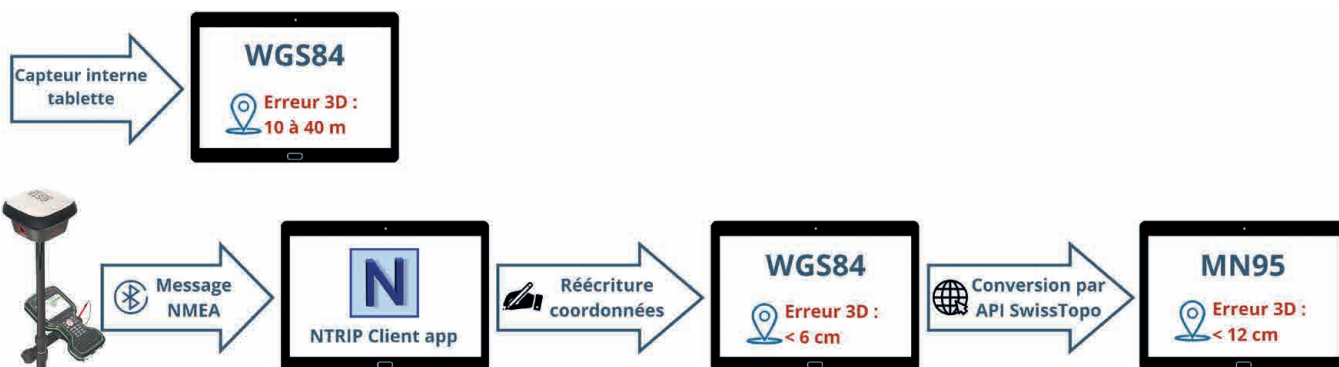


Figure 8. Chaîne de traitement de connexion, obtention et conversion des coordonnées obtenues.

ce qui est un point freinant en présence d'une maquette 3D de grande taille. Nous avons donc souhaité explorer une troisième piste de positionnement en réalité augmentée, qui est le placement automatique par calcul de coordonnées GNSS.

En effet, puisque c'est une méthode qui ne dépend pas de la qualité de placement d'une cible 2D ni des performances graphiques de l'appareil, c'est une méthode jugée comme fiable et précise, puisque les zones étudiées seront toujours en extérieur, dans un environnement suffisamment dégagé pour l'utilisation d'une antenne GNSS. La dernière étape était donc de mettre en place un système de géoréférencement suffisamment précis pour permettre un placement en réalité augmentée.

■ Géoréférencement de l'appareil mobile

Bien que les mobiles d'aujourd'hui soient dotés d'antennes GNSS, leur calcul de position reste très approximatif : de l'ordre d'une douzaine de mètres d'après [Paziewski 2020], et ne sert majoritairement qu'à la navigation et au loisir.

Néanmoins, grâce au mode développeur d'un mobile Android, il est aujourd'hui aisé de réécrire les coordonnées en temps réel du mobile. Ainsi, en utilisant une antenne précisément géoréférencée qui transmet des messages d'encodage *National Marine Electronics Association* (NMEA) en temps réel à un mobile, il est possible de transmettre les coordonnées de l'antenne.

Pour cette procédure, nous avons utilisé l'application OpenSource NTRIP Client par Lefebure. Cette dernière permet



Figure 9. Écran d'accueil de l'application mobile.

non seulement de lire, traduire, stocker, mais aussi superposer les coordonnées en temps réel d'une antenne GNSS connectée. Dans notre cas, nous avons utilisé une antenne Leica GS18 corrigée en temps réel par RTK sur le réseau national suisse swipos-GIS/GEO.

Dans un second temps, nous avons connecté cette antenne à notre mobile par Bluetooth et lancé les processus de réécriture de coordonnées sur NTRIP Client.

Nous avons de plus implémenté un outil de conversion des coordonnées du système de référence mondial (WGS84) vers un système de référence national (MN95) utilisé dans le cadre de cette étude, menant ainsi à une position d'une erreur 3D maximale de 12 centimètres, par propagation des erreurs respectives de chacune des manipulations précédentes.

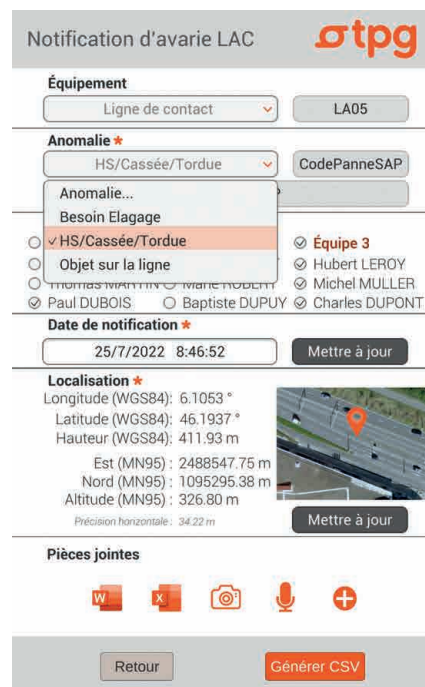


Figure 10. Page de notification d'avarie géolocalisée.

Ces coordonnées obtenues et converties nous serviront de base pour la localisation en réalité augmentée par GNSS, comme données d'entrée d'une tâche de maintenance, mais aussi comme données de vérification puisqu'elles se mettent à jour en temps réel (figure 8).

■ Intégration d'outils spécifiques aux besoins métier

Sur l'écran d'accueil de notre application mobile, nous avons également mis en place un fond de plan 2D, dans un but de permettre et faciliter la navigation des agents de maintenance sur le terrain (figure 9). Pour ce faire, nous utilisons un fond de plan 2D issu de la base de données du Service d'information du territoire à Genève (SITG) sur ArcGIS Online, le tout récupéré via une connexion Internet mise à jour en temps réel.

Enfin, la dernière étape de notre développement mobile consistait en la création d'un formulaire d'avarie (figure 10). Ce dernier est aujourd'hui complété sur un applicatif externe communiquant avec la base de données ERP par des services WEB. Ce PoC a pour but de s'affranchir de multiples applicatifs externes pour n'avoir qu'un seul lien entre la plateforme collaborative BIM, l'application en réalité augmentée, les outils de suivi de maintenance et la base de données ERP stockant les informations de GMAO des LAC. Pour ce faire, nous avons utilisé la matrice utilisée en entrée de génération d'un ordre de travail et avons développé des listes déroulantes et des informations à remplir qui correspondent à ce qui serait fait sur le terrain lors de la détection d'une avarie sur les LAC.

Enfin, à la complétion d'une fiche d'avarie, il est possible de générer un fichier au format CSV colonné, contenant toutes les informations décrites précédemment. Ce fichier au format CSV, compatible en entrée avec la base de données ERP, doit cependant être intégré manuellement. Une ouverture future pour les formulaires d'avarie digitalisés serait l'automatisation de cette étape pour limiter les interventions humaines dans ces tâches.

■ Connexion avec la plateforme collaborative

Par définition, un service WEB est une application permettant l'échange en ligne de données. D'un autre côté, une *Application Programming Interface* (API) est un pont facilitant l'accès à des ressources provenant d'un service ou d'une application (le serveur ressource), au sein d'un autre service ou application tierce (le client) (figure 11). Cet ensemble de méthodes ne passe pas obligatoirement par le WEB. Autrement dit, un service WEB est une API liée à un protocole en ligne (par exemple HTTP, WSDL, REST ou encore SOAP).

Comme mentionné précédemment, nous avons fait le choix de poursuivre notre PoC avec la plateforme collaborative Bimsync pour ses API ouvertes en droits de lecture comme d'écriture pour les tâches BCF liées aux objets IFC. La particularité de cette API est qu'elle passe par une architecture REST sur

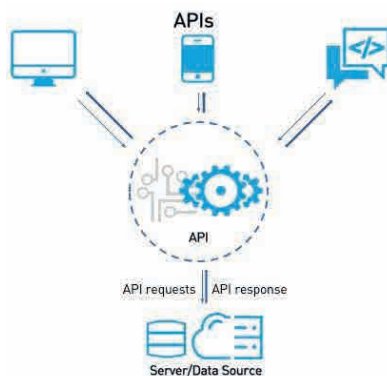


Figure 11. Fonctionnement d'une API d'après [Test automation resources 2018].

le WEB. Par conséquent, cela signifie que tout échange de données entre la plateforme Bimsync et une application tierce devra se faire via une connexion Internet.

■ LE SAVIEZ-VOUS ?

La couche applicative WEB comme nous la connaissons aujourd'hui est née dans le groupe "Acquisition et contrôle de données" au Conseil européen pour la recherche nucléaire (CERN) à Genève en 1990, dans un but de faciliter l'échange de données pour les membres de l'organisation d'après [Masse 2011].

Au même moment, Tim Berners-Lee a démarré le projet "World Wide Web" ou "WWW" qui a permis l'implémentation du protocole HTTP, majoritairement utilisé aujourd'hui.

Certaines connexions qui font transiter de la donnée sensible ou nécessitent une authentification sécurisée, correspondent aux besoins exprimés par notre problématique. Plus particulièrement, le protocole OAuth 2.0 avec *Single Sign On Systems* (SSO), apporte un moyen de connexion authentifiée sécurisée à l'API Bimsync.

Ainsi, ces dispositifs permettent un suivi en temps réel sécurisé de l'évolution des tâches de maintenance depuis le bureau, comme sur le terrain.

Conclusion

Ce PFE a débouché en un état de l'art et la mise en place d'un ensemble d'outils collaboratifs. Dans le cadre du PoC mené par HKD Géomatique, un ensemble de trois solutions clé en main permettant la numérisation des méthodes de travail pour la maintenance des lignes aériennes de contact a été proposé aux transports publics genevois.

Parmi ces solutions retenues, deux sont des solutions commerciales du logiciel bureau à l'application mobile en réalité augmentée, tandis que la troisième solution a été l'association d'une plateforme WEB commerciale à la production d'une application mobile personnalisée, pour se situer au plus proche des besoins métiers TPG.

Nous avons pu établir l'architecture de l'application en devenant autour de trois axes principaux, nécessaires à la gestion et maintenance assistée par ordinateur sur le terrain :

- vision de la maquette BIM en réalité augmentée ;
- gestion des ordres de travail : génération, suivi et exécution de tâches de maintenance préventive comme curative ;
- connexion sécurisée à la plateforme collaborative.

Par la suite, le développement s'est réalisé dans l'ordre chronologique des éléments énoncés plus haut. Bien que certaines limites mineures rencontrées n'aient pu être contournées, comme le perfectionnement du placement sur cible, le résultat final de l'application est prouvé fonctionnel sur le terrain dans ces trois domaines.

Pour conclure de manière générale par rapport au déroulement de ce PoC, nous pouvons affirmer que nous avons prouvé avec succès, et via trois solu-

| | Réalité augmentée | GMAO | Plateforme Collaborative |
|---------------|---|---------------------------------------|----------------------------|
| Améliorations | Étalonnage de la boussole interne | Formulaires de maintenance préventive | Lecture de la maquette IFC |
| | Placement par positionnement GNSS | Création d'une messagerie instantanée | |
| | Visualisation de l'état et du placement des ordres de travail en 3D | | Écriture BCF |

Tableau 4. Améliorations directes de l'application mobile développée dans le cadre de ce PFE.

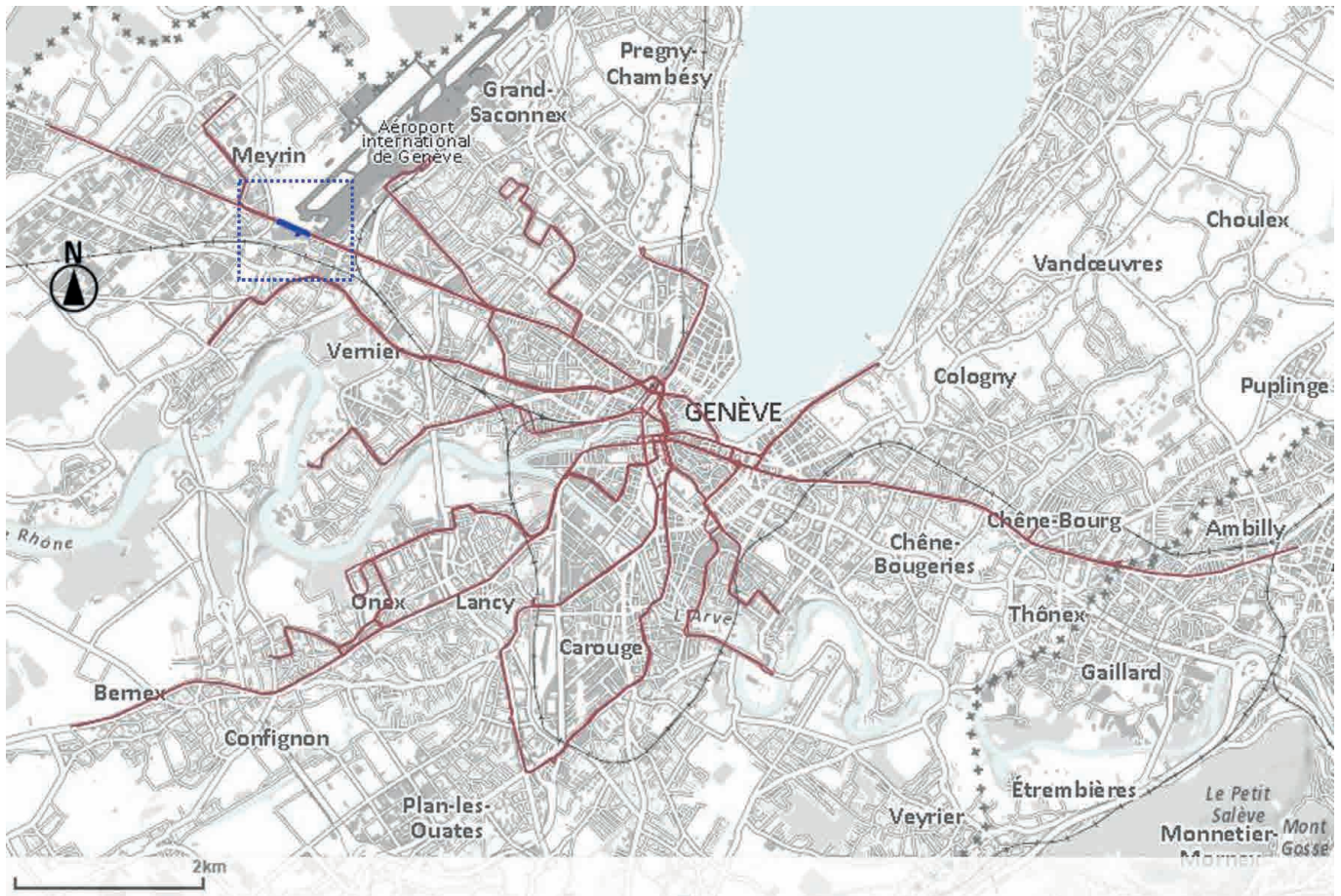


Figure 12. Emprise des LAC tramway et trolleybus TPG en rouge et zone du PoC en bleu, cartographié sur [SITG 2022].

tions différentes, que la GMAO des LAC liée à une maquette BIM 7D est possible à mettre en place, tant au bureau que de manière nomade sur le terrain.

Néanmoins, il faudra analyser cette étude avec un œil critique, puisque :

- une veille technologique permanente est nécessaire, au vu de l'évolution rapide et constante des solutions collaboratives BIM existantes ;
- la zone d'étude est limitée à un linéaire de petite envergure (figure 12), et le déploiement de ces solutions sur la zone géographique du canton de Genève soulèvera sans doute de nouvelles problématiques.

Perspectives de ce PoC

Bien que le choix de notre plateforme collaborative puisse être discutable au vu de ses limites en termes de personnalisation de fonctions collaboratives, les principales idées d'amélioration de ce PFE se situent sur le plan du développement de l'application mobile, avec les aménagements décrits en tableau 4.

Enfin, les perspectives d'avenir de ce PoC sont nombreuses et s'étalent sur plusieurs domaines. Tout d'abord, pour optimiser la véracité de notre 7^e dimension de la maquette BIM, nous pourrions imaginer une application de l'*Internet of Things* (IoT) aux infrastructures LAC. La présence d'IoT impliquerait l'installation de capteurs, par exemple sismiques, électriques ou hygrométriques, sur des sites stratégiques des LAC. Un cas similaire rencontré est l'étude de [Hodge et al. 2015], qui présente une évaluation de données issues de capteurs multifonctions sur des rails. Celles-ci permettent une meilleure prédiction de l'occurrence des tâches de maintenance et une meilleure détection d'une avarie. Dans notre étude de cas, nous pourrions imaginer un pont Internet qui permettrait aux capteurs IoT de communiquer en temps réel avec notre CDE.

Une autre ouverture à ce PoC située dans le développement de l'application mobile, serait de fournir à l'utilisateur un outil de navigation cartographique intégré, à la manière de l'appli *ArcGIS Field Maps* créé par Esri. Le but

serait d'établir une connexion avec les outils de planification pour permettre la génération d'une "journée type" d'une équipe de maintenance, incluant le trajet optimal de la journée entre les différents lieux d'intervention. Un autre avantage amené avec ce type d'outil serait l'attribution de tâches urgentes à l'agent se trouvant au plus proche du point critique, mais aussi l'intégration d'un historique des tâches et de localisation pour améliorer la prédiction du temps de travail selon la nature de la tâche.

Bien sûr, une ouverture directe de ce PoC serait d'étendre son impact aux niveaux suivants :

- un espace géographique plus large (figure 12), idéalement couvrant le réseau entier LAC qui s'étale sur presque 40 km² (contre 1,2 ha sur la zone du PoC) ;
- un plus grand panel de services comme le rail, le réseau 600V enterré ou les bâtiments ;
- d'autres opérations qui dépassent le cadre de la maintenance, par exemple le suivi de parc véhicules ou de chantiers ponctuels.





Enfin, pour poursuivre notre étude dans une logique de centralisation des flux, une restructuration architecturale complète des services TPG autour d'un seul et unique pôle d'information, amènerait notre CDE à devenir un *Building Operating System* (BOS). Ce BOS, engloberait idéalement les données provenant des outils de planning, de notification curative et de base de données internes qui fonctionnent aujourd'hui de manière indépendante. ●

Contact

Eva IVANOVA TESLUTCHENKO

Ingénieure géomètre-topographe Insa
Strasbourg
eva.i@hotmail.fr

Références

BARTELS, N. 2020. *Systematik und Grundlagen zu BIM im FM*. In: *Strukturmodell zum Datenaustausch im Facility Management*. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 7–61.

BOLPAGNI, M. 2022. *Building Information Modeling and Information Management*. In: M. Bolpagni, R. Gavina and D. Ribeiro, eds., *Industry 4.0 for the Built Environment*. Springer International Publishing, Cham, 29–54.

CHEN, Z., AGAPIOU, A., AND LI, H. 2020. *A Benefits Prioritization Analysis on Adopting BIM Systems Against Major Challenges in Megaproject Delivery*. *Frontiers in Built Environment* 6.

ESRI. 2022. *ArcGIS Maps SDK for Unity | ArcGIS Developers*. *ArcGIS Maps SDK for Unity*. <https://developers.arcgis.com/unity/>.

HODGE, V.J., O'KEEFE, S., WEEKS, M., AND MOULDS, A. 2015. *Wireless Sensor Networks for Condition Monitoring in the Railway Industry: A Survey*. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 16, 3, 1088–1106.

LAINE, T., HÄNNINEN, R., AND KAROLA, A. 2007. *Benefits of BIM In The Thermal Performance Management*. 1455–1461.

MAHALINGAM, A., YADAV, A.K., AND VARAPRASAD, J. 2015. *Investigating the Role of Lean Practices in Enabling BIM Adoption: Evidence from Two Indian Cases*. *Journal of Construction Engineering and Management* 141, 7, 05015006.

MASSE, M. 2011. *REST API Design Rulebook: Designing Consistent RESTful Web Service Interfaces*. O'Reilly Media, Inc.

MONTIEL-SANTIAGO, F.J., HERMOSO-ORZÁEZ, M.J., AND TERRADOS-CEPEDA, J. 2020. *Sustainability and Energy Efficiency: BIM 6D. Study of the BIM Methodology Applied to Hospital Buildings*. *Value of Interior Lighting and Daylight in Energy Simulation*. *Sustainability* 12, 14, 5731.

PAZIEWSKI, J. 2020. *Recent advances and perspectives for positioning and applications with smartphone GNSS observations*. *Measurement Science and Technology* 31, 9, 091001.

SENRA, C. 2022. *Acquisition et modélisation des infrastructures de transport public dans le cadre d'une maquette BIM orientée 7D*.

SITG. 2022. *Le territoire genevois à la carte*. <https://ge.ch/sitg/>.

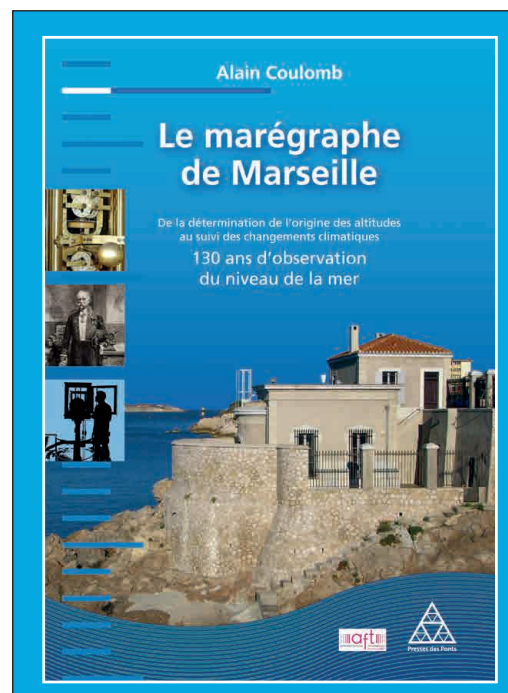
STATCOUNTER GLOBAL STATS. 2022. *Statcounter Global Stats - Browser, OS, Search Engine including Mobile Usage Share*. *StatCounter Global Stats*. <https://gs.statcounter.com/>.

TEST AUTOMATION RESOURCES. 2018. *6 Differences between Web Services vs API (SOAP & REST examples)*. *Test Automation Resources*. <https://testautomationresources.com/api-testing/differences-web-services-api/>.

VIDALENCHÉ, J. 2014. *Mise en place du SIG 3D des éléments aériens des lignes des transports publics genevois*.

ABSTRACT

Aiming to develop Computerized Maintenance Management System (CMMS) tools, the Geneva Public Transport (TPG) intends to integrate the dimension of Building Information Modeling (BIM) in the operation and maintenance phases of the overhead contact line infrastructures (OCL). To this end, collaborative tools are required to allow the information exchange among all stakeholders at the office as well as on-site. This study is part of a Proof of Concept (PoC) whose goal is to combine a 7D BIM model with collaborative WEB and mobile tools, the whole linked with pre-existing applications and databases.



**COMMANDEZ "LE MARÉGRAPHE"
au prix de 85,50 €**

640 pages, 400 illustrations
frais de port inclus (France)

M/Mme Nom : _____

Prénom : _____

Société ou organisme : _____

Adresse : _____

Code postal :

Ville : _____

Tél. :

Fax :

Courriel : _____

Date :

Signature

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

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