



HAL
open science

Apports de la Réalité Augmentée à la Gestion de Réseaux et de Mobiliers Urbains

Emeric Baldisser, Jean-Marc Cieutat, Pascal Guitton

► **To cite this version:**

Emeric Baldisser, Jean-Marc Cieutat, Pascal Guitton. Apports de la Réalité Augmentée à la Gestion de Réseaux et de Mobiliers Urbains. 8èmes journées de l'Association Française de Réalité Virtuelle, Augmentée, Mixte et d'Interaction 3D, Oct 2013, Laval, France. hal-00913594

HAL Id: hal-00913594

<https://hal.science/hal-00913594>

Submitted on 4 Dec 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Apports de la Réalité Augmentée à la Gestion de Réseaux et de Mobiliers Urbains

Émeric Baldisser*
SIG-IMAGE

Jean Marc Cieutat†
ESTIA Recherche - IRIT

Pascal Guitton‡
INRIA - LaBRI

ABSTRACT

Augmented reality provides urban infrastructure management field of work with several possibilities of evolution that we are presenting in this short paper. Firstly we introduce techniques of furniture look up, inventory and management. Then we present an augmented reality environment performing sensors' merge (inertial, GPS, lasers, image) and methods that leverage high accuracy global point positioning, materials and light effect rendering.

Keywords: Geomatic, Urban Network Facilities, Suburban Infrastructures, Geo-positioning Systems, Augmented Reality, Mixed Reality, LIDAR, Laser, Radiosity, SLAM.

Index Terms: H.5.1 [Information Systems]: Multimedia Information Systems—Artificial, augmented, and virtual realities; H.2.8 [Information Systems]: Database Applications—Spatial databases and GIS

1 PRÉFACE

Aujourd'hui le territoire français est éclairé par environ 9 millions de luminaires [1], formant un réseau d'éclairages publics pesant plus de 1 milliard d'euros divisé en deux marchés : la maintenance (deux tiers du marché) et les implantations.

Plus généralement, la gestion de réseaux urbains est un métier qui est régi par des règles se durcissant au fil du temps. En témoigne le récent arrêté du 15 février 2012 [2] qui déclare que les ouvrages réseaux existants et à implanter devront désormais être référencés avec une précision de classe A, à savoir une erreur inférieure à 40 cm pour les ouvrages rigides et à 50 cm pour les ouvrages flexibles.

Ainsi l'activité de gestion de réseaux est en plein essor et nécessite des solutions techniques pour améliorer le rendement et la fiabilité des relevés et de la maintenance des réseaux.

2 INTRODUCTION

Les gestionnaires de réseaux exploitent divers outils logiciels de bureau et mobiles pour réaliser leurs tâches de gestions d'ouvrages : relevés de points géolocalisés pour les matériels et les réseaux, maintenances, mises à jour d'informations attributaires, visualisations d'ouvrages existants et planifications de travaux. L'objectif de cette étude est de présenter un panel de méthodes repoussant les verrous technologiques auxquels se heurtent ces outils de SIG (Système d'Information Géographique) et de GMAO (Gestion et Maintenance Assistée par Ordinateur). L'article ci-présent démontre la pertinence d'un environnement de réalité augmentée permettant la fusion de capteurs et d'instruments de mesures pour améliorer la géolocalisation et la maintenance de réseaux et de mobiliers urbains.

2.1 Le Patrimoine Urbain

2.1.1 Supports

De nos jours les ouvrages réseaux ne sont pas tous répertoriés avec précision, plusieurs cas existent :

- non répertoriés
- support papier sans support cartographique
- support cartographique papier sans informations attributaires
- support cartographique avec informations attributaires
- support numérique non organisé (tableur Excel etc)
- répertoriés dans un SIG (support numérique organisé)

2.1.2 Informations Attributaires

Les informations attributaires d'un élément de mobilier urbain concernent :

- Ses caractéristiques mécaniques
- Ses caractéristiques électriques
- Les éléments reliés
- L'historique de maintenance et d'implantation
- Les signalements
- Des symboles cartographiques
- Photos
- Des commentaires
- Informations diverses

2.2 La Gestion Informatisée de Réseaux et Mobiliers Urbains

Les mobiliers présents dans les lieux publics sont gérés par des syndicats de communes, des syndicats d'électrification, des collectivités, des mairies, et des entreprises gestionnaires de réseaux. Ces entités s'occupent généralement d'implanter les réseaux, les matériels, et de les maintenir. Ils les gèrent à l'aide de logiciels de GMAO et de SIG qui sont disponibles en version bureau, comme GEOLux (Figure 1) ou en version mobile, GEOLux Pocket (Figure 2).

De façon générale, ces logiciels permettent de visualiser les matériels sur une carte en vue de dessus, à travers des cartographies simplifiées, ou à travers des ortho-photos (photos satellites). Les matériels sont représentés par des points d'intérêts et les réseaux par des poly-lignes. Celles-ci se résument en fait à un ensemble de points d'intérêts formant alors un polygone ouvert (Figure 3). On peut alors consulter les informations attributaires des matériels, les modifier, ou créer de nouveaux matériels (recensement).

2.3 Le Lever

Plusieurs cas apparaissent : lever avant implantation, après implantation ou levé de mobiliers existant.

Le recensement de matériel passe par le géoréférencement à l'aide d'un GPS, déporté ou embarqué sur l'appareil mobile, et par le renseignement des informations attributaires propres à ce matériel. Les matériels sont repérés dans l'espace de façon très simpliste mais des règles permettent de localiser précisément les objets (Figure 4).

2.4 La Maintenance

Elle consiste, du côté du SIG, à modifier les attributs des matériels suite à des interventions sur ceux-ci. On peut signaler une panne ou renseigner une modification suite à une réparation.

Dans [3] sont présentées les différentes catégories et sous-catégories de maintenances existantes. Les maintenances préventives visent à anticiper des dysfonctionnements alors que

*e-mail:e.baldisser@sig-image.fr

†e-mail:j.cieutat@estia.fr

‡e-mail:Pascal.Guitton@inria.fr



Figure 1: GEOLux Bureau. Fiche détaillée d'objet, cartographie, commentaires de maintenances (de haut en bas).



Figure 2: GEOLux Pocket sur Pocket PC. Consultation cartographique, liste, et photo.

les maintenances correctives viennent régler les problèmes de façon plus ou moins durable. En l'occurrence dans notre cas les principales maintenances mises en oeuvre sont curatives ou systématiques. En effet dans tout contrat d'entretien de réseaux d'éclairages publics, il est mentionné que les consommables doivent être renouvelés sur le lot concerné (maintenance systématique). La maintenance curative (corrective) a lieu alors qu'un dysfonctionnement a été signalé.

3 PROBLÉMATIQUES

Nous présentons ici de façon non-exhaustive les difficultés d'utilisation rencontrées avec les SIG actuels dédiés à la gestion de réseaux.

3.1 Consultations de POI

Le référencement des ouvrages réseaux se fait à travers des points d'intérêts (POI) géolocalisés. Ces informations sont souvent imprécises ou indisponibles, soit parce que le lever des points a

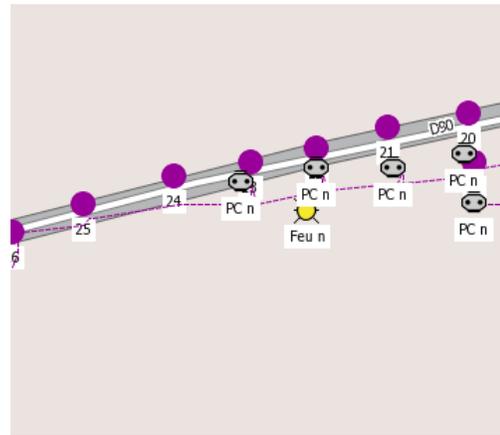


Figure 3: Tracé réseau sur GEOLux Nomade en pointillés violets reliant les points lumineux (pastilles).



Figure 4: Lever d'un point d'un fourreau avec une canne GPS, ancrage sur réseau de la cellule correspondante sur Capitole, point d'ancrage choisi en vert.

eu lieu dans de mauvaises conditions de couverture GPS (canyon urbain, masques), soit parce que le lever n'a pas été fait du tout, soit parce que le traitement des données les a altéré. Ainsi les cartographies affichant des POI de luminaires ou de réseaux ne correspondent pas toujours à la réalité comme sur la Figure où le câblage réseau (pointillés violets) ne passe pas par les luminaires qu'il alimente (pastilles). Un technicien utilisant une cartographie aux POI mal placés doit chercher et utiliser d'autres informations pour pouvoir faire la correspondance sur le terrain.

Si la précision de géoréférencement donnée par un système GPS est insuffisante, il faut s'intéresser à d'autres méthodes de repérage dans l'espace.

3.2 Visualisation d'Ouvrages Invisibles

Même si la législation oblige aujourd'hui les gestionnaires de réseaux à relever les profondeurs d'enfouissements et les altitudes des ouvrages réseaux, la représentation de cette donnée sur un SIG classique, à deux dimensions, n'est pas évidente. En l'occurrence sur la Figure 5, il n'y a aucune information visuelle sur la cartographie concernant la profondeur d'enfouissement du réseau d'éclairage. Une représentation à trois dimensions devient indispensable pour les utilisateurs de SIG embarqués sur le terrain. Par exemple lors de travaux d'aménagements de la voirie, il est important, pour des raisons de sécurité, de visualiser avec précision

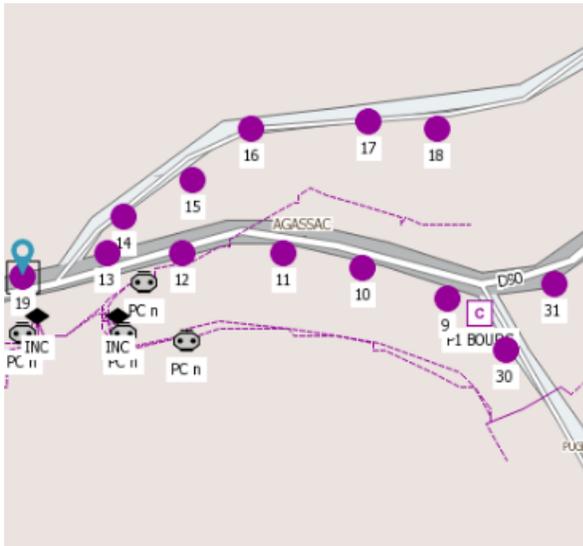


Figure 5: Incohérences spatiales dans un SIG

où se trouvent les canalisations de gaz et à quelles profondeurs elles sont enfouies.

3.3 Collaboration

Finalement, la gestion d'un ouvrage se fait à l'aide de plusieurs savoir-faire car diverses contraintes de l'ouvrage entrent en jeu : la conception mécanique, l'esthétique, les règles métiers (normes, conventions) ainsi que le coût. Dans [4] la conception d'ouvrage nécessite l'intervention de plusieurs métiers ; le succès dans la gestion de l'ouvrage dépend alors de la cohésion des savoir-faire de l'équipe (architecte, conducteur de travaux, électricien, plombier etc) qui est elle-même basée sur les échanges possibles entre les personnes impliquées, quel que soit leur éloignement physique.

Nous défendons dans la suite qu'un environnement de réalité augmentée sensible au contexte peut être des plus adaptés pour résoudre ces problématiques et nous expliquons dans quelle mesure cet environnement devient pertinent pour nos applications.

4 NOTRE ENVIRONNEMENT DE RÉALITÉ AUGMENTÉE

La réalité augmentée dont nous parlons ici suit le continuum de la réalité mixte (Figure 6) [5] et consiste à superposer la connaissance numérique (le virtuel) que l'on a d'un environnement (réel), sur l'observation directe de celui-ci.



Figure 6: Continuum de la Réalité Mixte

Divers outils de vision par ordinateur permettent de réaliser cette fonction, dans la mesure où ils permettent d'acquérir la réalité par la vision, de traiter, analyser et extraire ou apporter des informations sur l'image perçue du réel :

- Tablettes
- Smartphones
- HMD (Head Mounted Displays)

4.1 Augmenter la Précision des Relevés

Les techniciens chargés de relever des points avec précision de classe A utilisent des appareils de géomètres (ils ne le sont pas forcément) : le laser (ou disto, pour distance-mètre). L'appareil mesure le temps d'aller-retour d'une salve de lumière laser d'un point géoréférencé à un point à lever. La mesure d'angle et de distance est ensuite reportée sur le SIG manuellement ou automatiquement. La procédure de visée laser est lourde et nécessite du savoir-faire de géomètre.

Les capteurs inertiels et les systèmes de géolocalisation embarqués se sont miniaturisés au fil du temps à tel point qu'on les voit équiper des montres intelligentes. De plus, on peut utiliser du traitement d'image pour assister la mesure d'orientation et de position en cherchant des points de repères (marqueurs, lignes de fuites, images pattern) dans l'environnement visuel, comme le fait le cerveau humain. A partir de là, nous savons avec précision où nous sommes et où nous regardons.

Le couplage d'un laser à un système géolocalisé de vision par ordinateur équipé de centrale inertielle nous paraît pertinent pour effectuer des relevés de précision sans exploiter le savoir-faire des géomètres.

Quel que soit le support (HMD, Tablet, Smartphone), le laser doit y être encasté sans aucun degré de liberté, et doit se trouver au plus proche de la caméra de vision. Une mire vient alors se superposer sur la réalité perçue par l'instrument de vision, et symbolise exactement la visée laser qui n'est pas forcément visible en plein jour.

Un zoom permet, comme sur le distance-mètre Leica D8 (Figure 7), de viser avec précision à longue portée, en supprimant la contrainte du pointage sur le dispositif de vision par ordinateur.

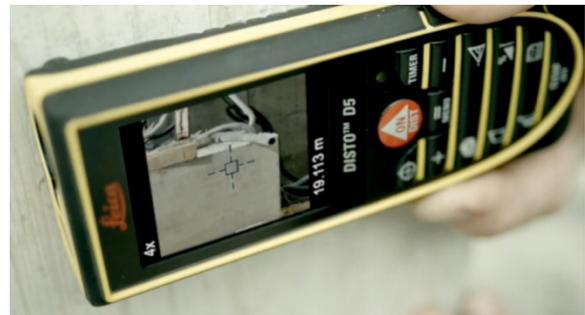


Figure 7: Mesure de distance par visée laser et caméra avec zoom sur un Leica D8.

La prise d'une mesure enregistre les informations suivantes :

- Coordonnées GPS du dispositif de vision (latitude, longitude, altitude)
- Inclinaison du dispositif
- Distance du point levé au dispositif

On connaît alors les coordonnées GPS (latitude, longitude, altitude) du point levé. Concrètement au niveau de l'environnement cela se traduit par un lever de points rapide et naturel.

4.1.1 Correction de la Position du GPS par une Approche Basée Vision

Dans [6] est expliqué qu'une approche basée vision de type SLAM consiste simultanément à reconstituer en 3D l'environnement dans lequel on évolue tout en y positionnant la caméra. La cartographie de l'environnement proche s'effectue généralement en se basant sur

l'analyse des points invariants (SIFT) que l'on y détecte. Si l'on compare alors la position relative fournie par la vision et la position globale fournie par le GPS, on peut mesurer l'erreur de localisation de ce dernier et on l'annule en temps réel ou en post-traitement.

4.1.2 Couplage SLAM/Laser

Nous proposons de coupler une approche basée SLAM et GPS avec un système laser du type du Leica D8. Le SLAM calcule des points d'intérêts invariants dans une image et leur distance à la caméra pour en déduire la position et les déplacements de la caméra dans l'environnement de façon plus précise qu'avec une centrale inertielle couplée à un système de géolocalisation. La localisation est alors locale et donc relative. Il faut par la suite géolocaliser précisément un point de repère pour fixer le repère relatif dans lequel on fait le lever. En topographie ces points de repères sont nommés spits (un clou au sol au-dessus duquel on réalise des visées) et sont généralement au nombre de trois. La méthode SLAM assure une meilleure géolocalisation du dispositif de vision et améliore de ce fait le géoréférencement précis des points visés au laser.

4.2 Espace de Travail Déporté

La technologie LIDAR s'est fortement répandue ces dernières années. Des cabinets d'expertise permettent de numériser des espaces urbains vastes en fixant le laser sur un aéronef, ou bien en utilisant un simple lidar sur trépied pour un espace restreint (bâtiments, avenues, monuments, etc). Dans [7], une méthode de maillage circulaire permet d'atteindre une résolution de 10 mm pour un scan LIDAR terrestre (Figure 8).

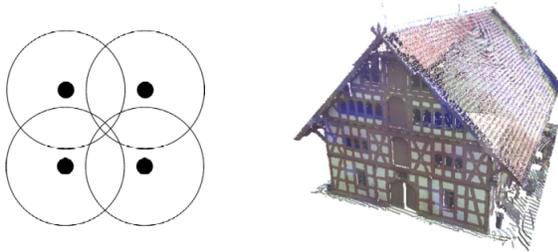


Figure 8: Extrapolation par disque pour atteindre une résolution centimétrique suite à un scan LIDAR terrestre de bâtiment.

Les gestionnaires de réseaux se déplacent sur le terrain pour en tirer les informations les plus importantes dans le cadre de leurs travaux (CAO, relevés simples, etc). Lorsqu'ils reviennent au bureau ils n'ont plus qu'un plan pour seule représentation du terrain. Il est intéressant de considérer la technologie du LIDAR et sa fusion avec un système d'acquisition de photos à 360. Dans [8] les résultats d'une méthode de calibration de système 3D LIDAR-Camera permettent (Figure 9) la fusion de deux acquisitions d'une même scène: acquisition LIDAR terrestre et caméra. Il est possible de faire des photographies tridimensionnelles panoramiques avec un tel système.

Notre environnement, s'il est équipé d'un tel système d'acquisition, peut permettre de déporter le terrain au bureau afin de pouvoir compléter et vérifier le travail produit sur le terrain. D'autre part il peut permettre aux dessinateurs des bureaux d'études de travailler la CAO sur un chantier qui est en cours de levé. Ceci permet de rendre simultanées les différentes phases du cycle de conception d'un chantier (Figure 10 et Figure 11).

L'avantage est de pouvoir vérifier en temps réel la cohérence de la CAO réalisée au bureau et éviter les déplacements pour les validations. D'autre part, plusieurs métiers peuvent intervenir sur le

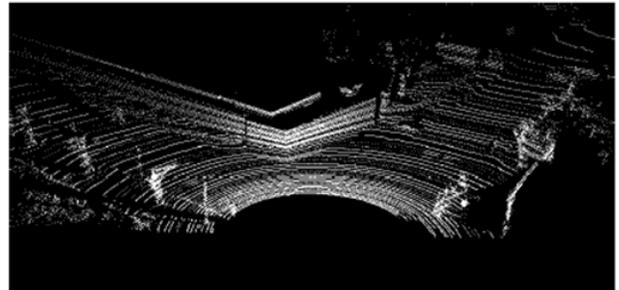


Figure 9: Photographie tridimensionnelle d'une scène issue d'un couplage LIDAR-Caméra.

chantier déporté grâce aux informations de distances et aux images, ils n'ont pas forcément besoin de se déplacer sur le terrain.

4.3 Visualisation des Augmentations

La géolocalisation semble aujourd'hui atteindre tout son potentiel mais ne satisfait pas totalement aux exigences de précision dans le contexte de la gestion de réseaux. Le déploiement de constellations de satellites (Galileo par exemple) permet d'obtenir des couvertures satellitaires mieux réparties mais ne pallie pas aux problèmes de masques dans les canyons urbains. Les points repérés et représentés sur une cartographie n'ont plus d'intérêts car ils ne correspondent pas à la réalité.

4.3.1 Principe

Nous proposons de dévoiler les réseaux souterrains à l'aide de balises géolocalisées et d'un système de localisation et de cartographie simultanées. Plusieurs possibilités s'ouvrent à nous : pour ce faire nous pouvons, suite à la finalisation d'un ouvrage, enregistrer les points caractéristiques et la modélisation de celui-ci dans un marqueur, encastré dans le décor (Figure 12). Le marqueur peut contenir les informations suivantes :

- Nom des ouvrages alentours
- Ses coordonnées GPS
- Les informations sommaires de modélisation
- Des références à des informations qu'il ne stocke pas

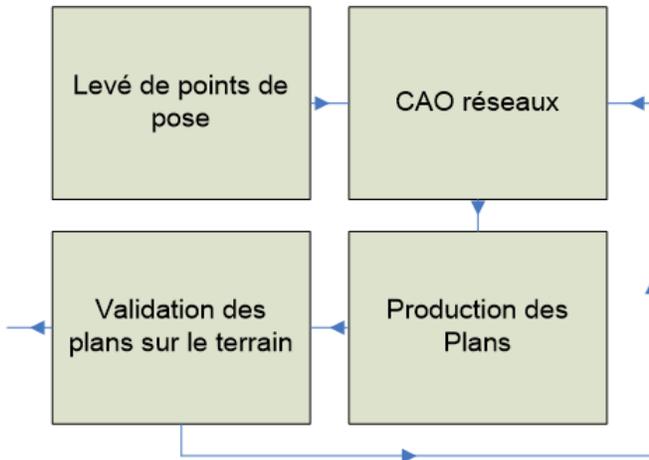


Figure 10: Phases de travail sur un chantier avec les méthodes classique.

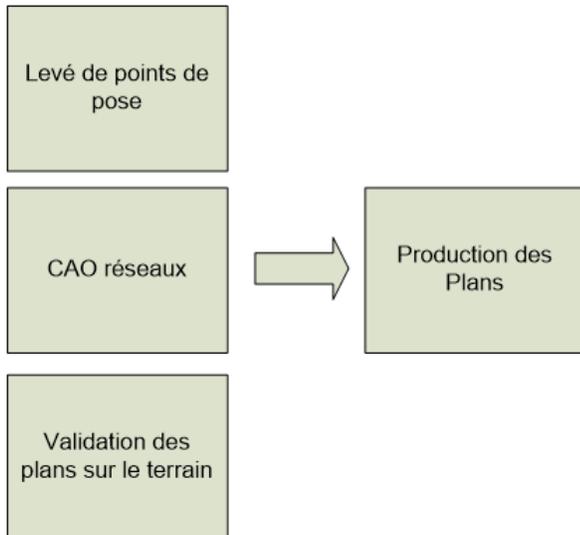


Figure 11: Cycle de vie d'un chantier avec le terrain déporté.

La vision par ordinateur permet d'analyser l'orientation et la position relative à ce marqueur. Le rendu des connaissances numériques des réseaux peut alors être réalisé grâce aux informations sommaires embarquées dans le marqueur, grâce aux informations déportées (accessibles via des connexions de données) et à celles stockées en mémoire du dispositif de vision.

4.3.2 Traitement de l'Information

Le marqueur contient ou fait référence aux informations suivantes :

- Les coordonnées GPS
- Les informations de modélisation
- Des références à des informations qu'il ne stocke pas

Le processus est le suivant (Figure 13) : la vision par ordinateur permet d'analyser l'orientation et la position relative à ce marqueur. Le rendu des connaissances numériques des réseaux peut alors être réalisé grâce aux informations embarquées dans le marqueur, et grâce aux informations déportées et à celles stockées en mémoire du dispositif de vision.



Figure 12: Enrichissement de la réalité grâce aux données portées par un QR code.

Les marqueurs ne se limitant pas à des QR Code uniquement, on peut utiliser les points caractéristiques (SIFT) perçus d'une scène ou une balise RFID scellée émettant sa géolocalisation précise. Le but étant de géoréférencer le centre d'un repère qui servira de base à une cartographie locale établie à l'aide de capteurs et de traitement d'image.

4.3.3 SLAM et la RA

Dès que l'on se déplace, l'algorithme SLAM actualise la position de la caméra par rapport aux points invariants détectés dans l'environnement proche. Calculant à chaque image, la position et l'orientation absolue de la caméra, c'est la méthode adaptée en situation de mobilité pour recalibrer des données numériques avec le monde réel. Dans notre application, à partir du centre du repère géoréférencé il est donc possible de géolocaliser tous les points qui sont passés dans le champ visuel du dispositif de vision. On peut alors surimposer des modèles à la réalité avec précision.

4.4 Le Rendu

4.4.1 Ouvrages Enfouis: Dévoiler l'Invisible

Les ouvrages peuvent être représentés avec plus ou moins de réalisme. Dans [9] le GML permet la représentation 3D des réseaux enfouis

Sur la figure ci-dessus on apprécie la pose cohérente du modèle virtuel d'un ouvrage sur ce dernier encore visible, on perçoit donc la profondeur du réseau. Si le réseau est enfoui on peut utiliser une méthode d'excavation virtuelle comme présentée dans [10] (Figure 15).

4.4.2 Rendu d'Après-Travaux

Dans l'aménagement urbain le rendu esthétique a beaucoup d'importance dans la mesure où il doit rester dans la continuité

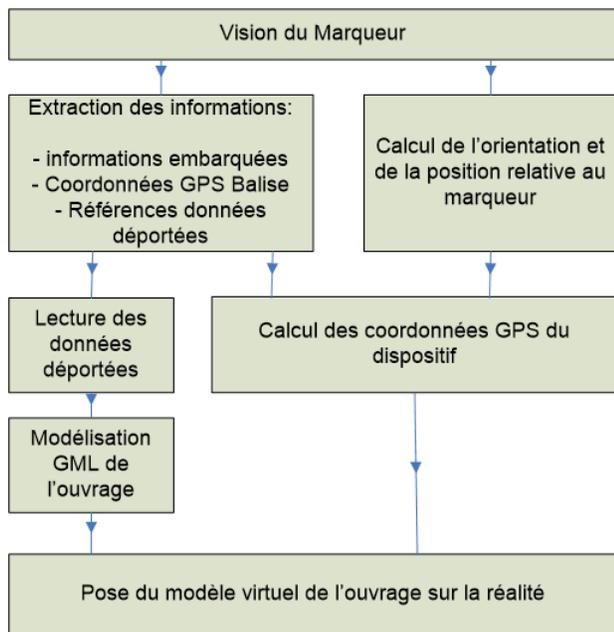


Figure 13: Processus d'affichage ancré d'informations via un marqueur visuel.

du paysage environnant. Il est intéressant de savoir quel rendu esthétique aura un aménagement avant de commencer les travaux.

D'autre part, et particulièrement quand il s'agit de luminaires, lorsqu'une proposition d'équipement est faite, le résultat en fonctionnement peut être présenté via une simulation en 3D sur des images de synthèses reconstituant le lieu où seront implantés les matériels, notamment via les logiciels Dialux (Figure 16) et Lighting Pro. Il n'y a aucun système permettant de simuler de l'éclairage en réalité augmentée, sur le lieu en question.

4.4.3 Radiosité et Simulation d'Éclairage

La simulation de pose de matériel a son intérêt dans la mesure où elle permet aux décideurs de valider les choix de mobiliers en fonction de l'esthétique avant l'implantation. Plusieurs logiciels permettent de réaliser cette simulation de pose sur des photos. Il est aussi possible de surimposer des modèles 3D de mobiliers en réalité augmentée en temps réel sur le terrain.

La modélisation des effets de lumières des ouvrages en réalité augmentée temps réel n'a pas encore été abordée et mérite des recherches approfondies. Des résultats intéressants ont été démontrés en simulation d'éclairage en intérieur sur photographie. On peut utiliser un logiciel pour passer d'une photographie 2D d'une scène d'intérieur à un modèle 3D des objets présents, et enrichir la photo avec des informations de profondeur. Dans ce cas une intervention manuelle est nécessaire pour suggérer les axes de révolutions et de symétries par exemple.

Le couplage d'un LIDAR à un environnement de réalité augmentée peut lever cette contrainte. En recalant le nuage de points fournis par le LIDAR à la scène perçue par le dispositif de vision, il devient possible de travailler sur une scène tridimensionnelle : tous les points de l'image sont localisés de par leur distance à la caméra et leur orientation. On passe alors d'une réalité mixte discrète (où certains points sont repérés et enrichis) à une réalité mixte continue. La fusion du réel et du virtuel permet de modéliser les phénomènes physiques tels que celui de la propagation de la lumière. En effet la connaissance des surfaces, de leurs couleurs, de leurs orientations et de leur nature (que l'on peut déduire de leurs textures) nous

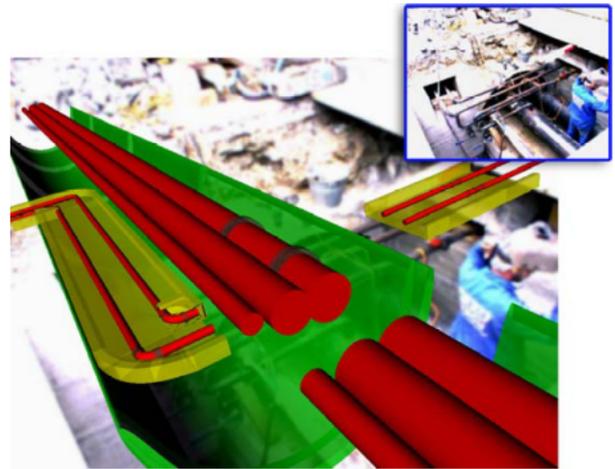


Figure 14: Rendu RA d'un modèle 3D virtuel d'ouvrage réseau enfoui.

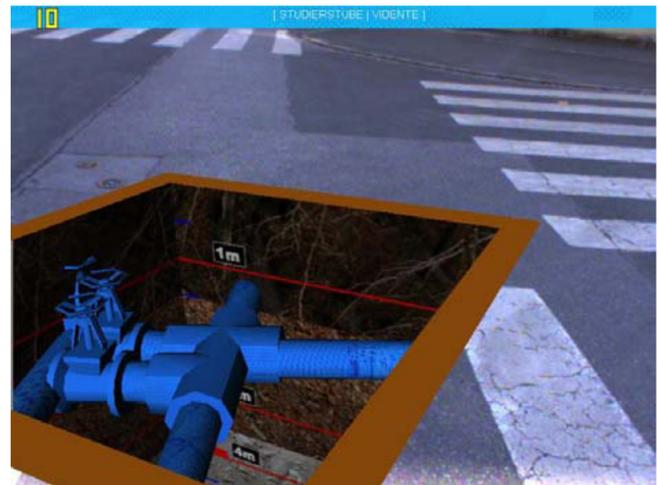


Figure 15: VIDENTE. L'excavation virtuelle dévoile les réseaux enfouis et leur profondeur.

laissent reconstituer le cheminement de la lumière à partir d'une ou plusieurs sources que l'on peut virtuellement poser au milieu de la scène. Les simulations effectuées en Figure 8 dans un environnement virtuel deviennent alors possible sur la réalité.

5 CONCLUSION

Cette étude montre qu'un environnement de réalité augmentée est susceptible de faciliter et fiabiliser le métier des gestionnaires de réseaux. Cet environnement doit être basé sur de nouvelles méthodes de localisation relative dans l'espace, basée elle-même sur la fusion de capteurs qui sont de mieux en mieux maîtrisés aujourd'hui : le LIDAR, les centrales inertielles, les lasers, la vision et le positionnement global (GPS ou GNSS). La fusion de capteurs devient cohérente lorsqu'elle est couplée à des algorithmes judicieux de traitement d'image et de correction de données capteurs (SLAM et RTK). L'ensemble des techniques présentées et proposées ici constitue cet environnement qui permet de géolocaliser des points, de visualiser des ouvrages enfouis, de pré-visualiser des ouvrages

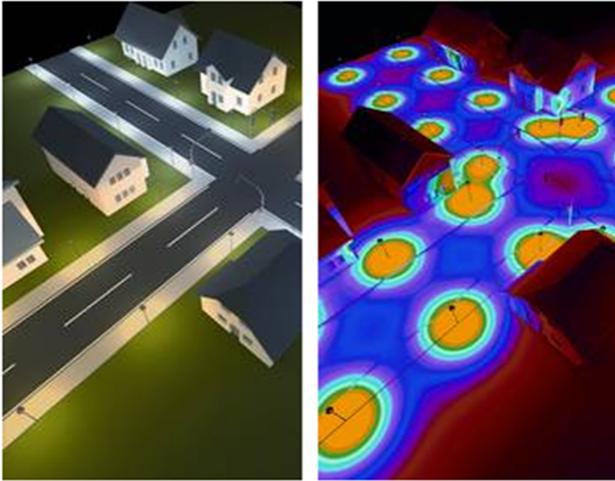


Figure 16: simulations d'éclairage sur modèle de synthèse d'un environnement réel.

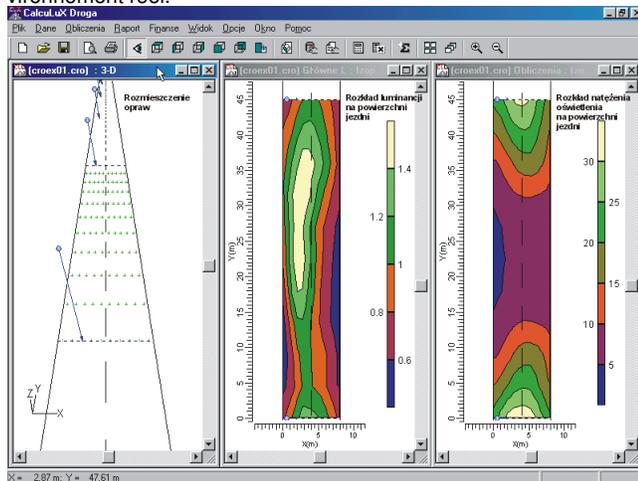


Figure 17: CalcuLuX, simulation d'éclairage en coupe.

non-existants et leurs effets en termes d'esthétique, et de modéliser sur la réalité en temps réel l'éclairage d'une scène extérieure. Les prochains travaux viendront comparer les différents types de couplages afin d'évaluer leur impact sur l'environnement de réalité augmentée, en terme de fiabilité, de précision et d'ergonomie. Les recherches se focaliseront par la suite sur l'ouverture d'un tel environnement à la collaboration inter-compétences.

REFERENCES

- [1] Le Marché de l'Eclairage Public, Rapport Businesscoot, <http://www.businesscoot.com/le-march-de-l-eclairage-public-121/>.
- [2] *Journal Officiel de la République Française*, n0045, 22 février 2012, page 2988, texte n 10.
- [3] Ahmad ALALI ALHOUAIJ. *Contribution à l'optimisation de la maintenance dans un contexte distribué*. Laboratoire G-SCOP, Institut Polytechnique de Grenoble. Page 24, 2011.
- [4] S. Saphin, P. Leclercq. "Studio digital Collaboratif : Un environnement de conception collaborative à distance". Université de Liège, LUCID group.
- [5] Paul Milgram, Fumio Kishino. A Taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*, Vol E77-D, No.12, December 1994.

- [6] M. Tomono, "3-D Localization and Mapping Using a Single Camera Based on Structure-from-Motion with Automatic Baseline Selection", in *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation (2005)*, p. 3342-3347, April, 2005.
- [7] J. Bhm. "Terrestrial LiDAR in urban data acquisition". In *Photogrammetric Week*. Vol. 9. Page 169-178, Janvier 2009.
- [8] X. Gong & al. "3D LIDAR-camera extrinsic calibration using an arbitrary trihedron", in *Sensors (Basel)*. Page 1902-1918, Février 2013.
- [9] G. Schall & al. "Handheld Augmented Reality for underground infrastructure visualization", in *Personal and Ubiquitous Computing*, Volume 13, Issue 4, 2008.
- [10] G. Schall & al. "VIDENTE-3D Visualization of Underground Infrastructure using Handheld Augmented Reality", in *Integrating GIS and Water*, Vol. 1, Issue 4E, 2010.