



AVUS (Augmented Visualisation of Underground Services)

Fondation d'entreprise FEREC

Appel à projets 2018

Des innovations numériques pour la conception, la construction, l'évaluation et la maintenance des infrastructures



Auteurs :

A. LUCKEN, S. MAGAT, E. NOUGIER
LEONARD (VINCI)



AVUS

(Augmented Visualisation of Underground Services)

LEONARD (VINCI)



Lauréat de l'appel à projets 2018

« Des innovations numériques pour la conception, la construction,
l'évaluation et la maintenance des infrastructures »

Septembre 2019

Document	Rédacteurs	Publication
<p>Rapport de fin de projet AVUS (Augmented Visualisation of Underground Services)</p> <p>-</p> <p>Réf. Doc AAP_FEREC_template_word-v2</p>	<p>Sebastien MAGAT Fondateur AVUS sebastien.magat@ringway.co.uk +44 1743 257200 Eurovia Management Ltd, Albion House, Springfield Road, Horsham, West Sussex, RH12 2RW</p>	10 Septembre 2019
<p>Annexe 1 Cahier des charges fonctionnel Application de lecture et recalage de photos de marquage au sol</p> <p>-</p> <p>Réf. Doc Annexe – Cahier des Charges_V4.docx</p>	<p>Alice LUCKEN Consultante Portfolio & Program Management chez PwC https://www.linkedin.com/in/alice-lucken-a237b160/</p> <p>Eva NOUGIER Product Owner at Leica Geosystems in the Field Software Program Department https://www.linkedin.com/in/eva-nougier-732994101/</p> <p>Sebastien MAGAT</p>	29 Aout 2019
<p>Annexe 2 Lien web vers la maquette numérique de la future application AVUS</p> <p>-</p> <p>Réf. Doc http://marvelapp.com/b6jdic7</p>	<p>Alice LUCKEN Eva NOUGIER Sebastien MAGAT</p>	05 Septembre 2019
<p>Annexe 3 Synthèse des solutions existantes pour la RA des réseaux enterres</p> <p>-</p> <p>Réf. Doc Annexe – Comparatif_Solution_RA.pdf</p>	<p>Alice LUCKEN Eva NOUGIER Sebastien MAGAT</p>	20 Mai 2019

Sommaire

1	Résumé	5
2	Contexte et objectifs du projet.....	6
3	Description des travaux menés	7
3.1	Connaître l'environnement technologique et concurrentiel (i.e. Benchmarker les solutions existantes)	7
3.2	Déterminer la propriété des données stratégiques	8
3.3	Fournir une aide à la conformité réglementaire	8
3.4	Observer et interviewer sur chantiers	9
3.5	Réconcilier les visions du terrain et des directions	9
3.6	Bénéficier des effets de synergie	9
4	Utilisation de l'aide de la Ferec dans le projet	10
5	Résultats acquis	11
6	Impact	12
6.1	Apports et retombées pour la collectivité	12
6.2	Mise en évidence du caractère collaboratif et d'intérêt général.....	13
6.3	Publications et autres éléments de communication auxquels le projet et ses résultats ont donné lieu.....	14
7	Perspectives ouvertes par le projet notamment en matière de recherche collaborative .	15
7.1	BESOINS	15
7.2	PERSPECTIVES.....	15
8	ANNEXES	16
	Annexe 1	
	Cahier des charges fonctionnel	
	Application de lecture et recalage de photos de marquage au sol	
	<u>Réf. Doc : Annexe – Cahier des Charges_V4.docx</u>	
	Annexe 2	
	Lien web vers la maquette numérique de la future application AVUS	
	<u>Réf. Doc : http://marvelapp.com/b6jdic7</u>	
	Annexe 3	
	Synthèse des solutions existantes pour la RA des réseaux enterrés	
	<u>Réf. Doc : Annexe – Comparatif_Solution_RA.pdf</u>	

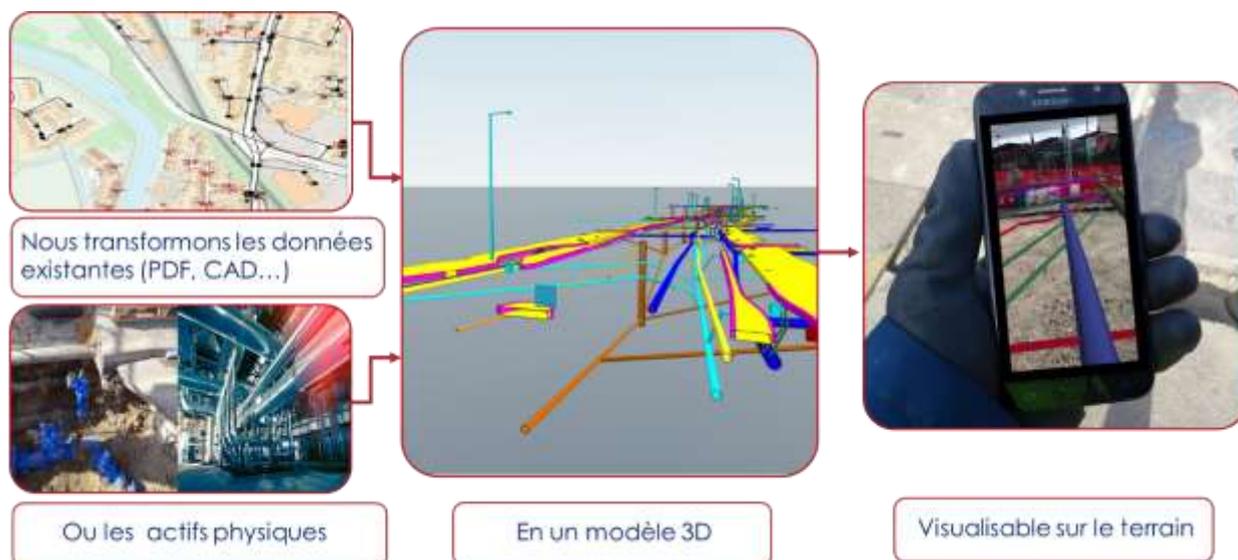
1 Résumé

A l'heure actuelle, il n'existe pas de technologie innovante qui permette de prévenir les facteurs de risque liés aux travaux à proximité de canalisations et réseaux enterrés.

Représentant une réelle opportunité de développement pour le secteur de la construction, la mutualisation des informations et création d'une image en 3D de nos réseaux souterrain va bouleverser, sécuriser les pratiques actuelles, tout en améliorant le niveau des services offerts aux clients et au grand public.

Le projet AVUS utilise les dernières innovations numériques pour construire et visualiser en temps réel, des cartes 3D des infrastructures souterraines et ainsi réduire les inefficacités, coûts et risques.

(Voir figure ci-dessous)



2 Contexte et objectifs du projet

Sous nos rues se trouvent de complexes réseaux de câbles et de tuyaux - mais souvent, les propriétaires de ces systèmes ont peu d'idée quant à leur nature, profondeur ou emplacement précis. En conséquence, on recense chaque année près de 100 000 cas d'endommagement de réseaux (dont 4500 rien que sur les réseaux de distribution de gaz), avec parfois des conséquences lourdes tant pour la sécurité des travailleurs, des riverains et des biens, que pour la protection de l'environnement, voire de notre économie.

Des incidents, parfois graves, comme à Bondy fin 2007 (un mort, 52 blessés), Lyon en 2008 (un mort, 40 blessés) ou encore le percement du tunnel du RER A fin 2017, nous ont rappelé l'importance des enjeux de sécurité associés à ces ouvrages.

Intégrant de nouvelles technologies numériques, utilisable par le biais d'une tablette tactile et permettant la dématérialisation des informations relative aux infrastructures souterraines, notre projet a donc deux objectifs principaux :

- contribuer à l'amélioration continue de la fiabilité des plans de réseaux
- et
- faciliter la localisation des réseaux par les personnes intervenant sur le chantier.

Pour cela, différentes technologies sont mobilisées, notamment la réalité augmentée (RA) et la photogrammétrie.

Réalité augmentée (RA)



La RA permet aux personnels du chantier de mieux visualiser le positionnement des réseaux enterrés sur la zone de travaux, sur la base des informations fournies par les plans. La RA permet de s'affranchir de l'utilisation de plans papiers encombrants et peu lisibles sur le terrain.

Photogrammétrie



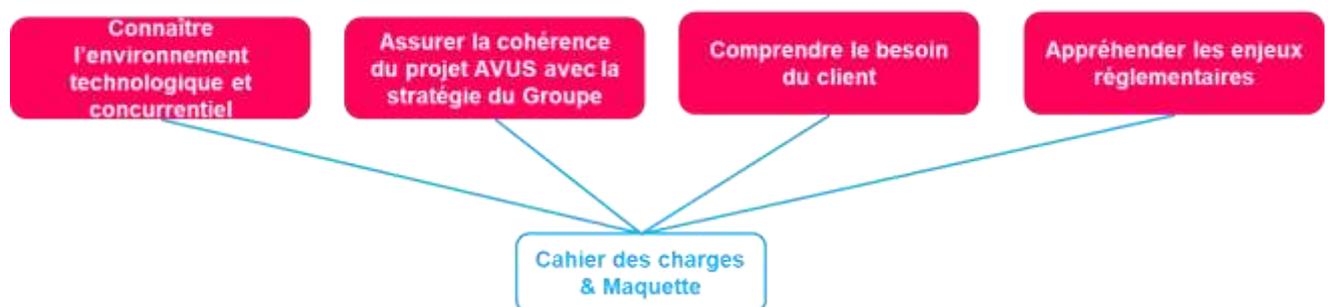
La photogrammétrie, associée à des méthodes de triangulation automatisées, permet de dessiner et localiser des réseaux sur une carte simplement en les filmant, par exemple à l'aide d'un téléphone portable.

Ce faisant, ce projet a pour but d'accélérer la conversion digitale des chantiers. Favorisant la création, diffusion en temps réel d'une information précise, il contribue à accélérer, faciliter et sécuriser le travail de ses utilisateurs. Minimisant les cas d'endommagement de réseaux, il prolonge la durée de vie de ces infrastructures et en facilite la maintenance. Finalement, le modèle constitué représente un vecteur de croissance et de compétitivité pour les entreprises acceptant d'y collaborer.

3 Description des travaux menés

Les secteurs (Entreprises de travaux, Communes & Gestionnaires de réseaux, Industries / Gestionnaires d'installations, ...) visés étant multiples, notre vision du projet se devait d'être transverse et d'intégrer les besoins de ces différents acteurs. Il s'agissait de consolider l'ensemble des attentes exprimées par les métiers confrontés à des enjeux de cartographie des réseaux enterrés, et de les mettre en lien avec les technologies disponibles au sein d'une application unique. Pour cela, nous devons acquérir une compréhension claire des besoins des futurs clients et analyser le marché concurrentiel. Cette étape a nécessité également une vision sur la stratégie du Groupe VINCI, afin de bénéficier d'effets de synergies avec d'autres projets et de comprendre quels arguments pouvaient conférer à AVUS un soutien des entités de direction. La technicité et la spécificité du champ d'intervention du projet AVUS, nous ont également conduit à appréhender les aspects réglementaires pour faire de l'application un outil répondant à ces exigences.

L'ensemble de ces dimensions, récapitulées dans le schéma ci-dessous, ont dû être appréhendées pour la réalisation du livrable final, à savoir un **cahier des charges de l'application**.



Destinations des livrables réalisés

L'ensemble de ces axes de travail ont été abordés de manière conjointe et itérative tout au long du projet. Aussi la manière dont je les aborde ci-dessous n'a pas vocation à refléter leur enchaînement chronologique. Je m'efforce néanmoins de mettre en évidence les liens logiques entre ces différentes briques d'activité.

3.1 Connaître l'environnement technologique et concurrentiel (i.e. Benchmarker les solutions existantes)

Durant le projet, l'analyse de l'environnement concurrentiel m'a permis d'identifier les principales solutions existantes déjà sur le marché. Le but de ces benchmarks était de mieux comprendre les fonctionnalités proposées par les concurrents afin de s'en inspirer et se positionner au mieux par rapport à ces dernières. Au-delà de les lister et de les analyser, des prises de contact direct (visite, appel téléphonique, email) ont été réalisés afin de pouvoir échanger avec les porteurs de projet et connaître le stade d'avancement de la solution. Le résultat de cette phase est exprimé sous la forme d'un tableau

récapitulant les avantages et inconvénients des entreprises, le coût de la solution et sa compatibilité avec les technologies actuelles (voir aperçu du tableau ci-dessous) disponible en annexe.

	Avantages / Inconvénients	Coût	Compatibilité Android
AUGVIEW	(+) Améliore la qualité des données et l'expérience client. (-) Système complexe	3 500 €/an HT par appareil 600 € HT pour la conversion de données	OUI
...

Lors de prise de contact, des questions sous-jacentes comme la possibilité de partenariat était abordées. Ces enjeux de sous-traitance sont également liés à la question de la propriété et de la libre circulation des données le long de la chaîne de valeur portée par AVUS.

3.2 Déterminer la propriété des données stratégiques

Le projet AVUS est une illustration de la transition du monde de la construction vers les technologies de l'information, où l'infrastructure est dotée de doubles numériques. Les données constitutives de ces doubles numériques sont susceptibles de devenir demain des ressources clés pour les activités d'AVUS, permettant de proposer de nouveaux services digitaux à ses clients. Aussi j'ai dû prendre en compte ces enjeux dans la structuration de l'application, en répondant notamment aux questions suivantes :

- AVUS a-t-il le droit d'exploiter de manière commerciale des données de localisation des ouvrages fournies par les concessionnaires de réseaux ?
- AVUS a-t-il le droit de conserver ces données ou de les transmettre à une autre entité collaborant à son développement ?
- Comment éviter que les données récoltées par AVUS soient exploitées par ses sous-traitants à son insu ?

Pour répondre à ces questions, nous avons effectué des recherches juridiques et échangé avec des juristes de VINCI. Il en résulte de nos analyses que le contexte réglementaire actuel tendait vers une notion de non patrimonialité des données, facilitant leur libre circulation. Néanmoins un service de structuration et de visualisation des données est un patrimoine susceptible d'être protégé, confortant AVUS dans sa proposition de valeur.

3.3 Fournir une aide à la conformité réglementaire

J'ai également effectué des recherches réglementaires relatives à la cartographie et à la conduite des travaux sur les réseaux enterrés, de manière à :

- S'assurer de la conformité de la future application avec les normes en vigueur,
- Faire en sorte que l'application aide les utilisateurs à appliquer la réglementation de manière fidèle et efficace.

En outre, une bonne connaissance de la réglementation a permis de connaître les protocoles théoriques à appliquer lors des chantiers. J'ai ainsi pu avoir une appréciation avertie et critique des observations effectuées sur le terrain.

3.4 Observer et interviewer sur chantiers

Les utilisateurs potentiels d'AVUS sont des professionnels de terrain, notamment : des chefs de chantiers, des dessinateurs-cartographes, et des ingénieurs de travaux. Ils peuvent travailler pour différentes entités sur des activités variées : pose de réseaux électriques, travaux de voirie, viabilisation de terrain à bâtir, etc...

L'enjeu de cette phase de travail a été de comprendre leurs besoins, leurs priorités, leurs contraintes, leurs freins, de manière à tester les idées préliminaires et définir les spécifications fonctionnelles prioritaires de l'application AVUS. Pour cela, des interviews téléphoniques et visites de plusieurs chantiers rendant compte de diversités de scénarios et de métiers ont été effectuées.

Sur certains de ces chantiers, des tests sur le terrain ont été réalisés dans le but de valider la faisabilité des choix et options techniques, mais aussi valider ou adapter l'ergonomie de la future application.

Ces pilotes, observations et échanges, ont été d'une grande richesse et ont constitué la principale source de pivots dans les versions successives du cahier des charges.

3.5 Réconcilier les visions du terrain et des directions

La compréhension des besoins du client se devait aussi de passer par l'intégration des stratégies des dirigeants. En effet, il est important de proposer une solution qui répondent directement aux opérateurs sur le chantier mais cela ne doit être en aucun cas déconnecté de la volonté en matière d'innovation propre aux responsables des entités et secteurs concernés. De plus, cette prise en compte a d'autant plus de sens lorsqu'il s'agira de trouver un financeur.

Pour ce faire, nous avons échangé directement avec les responsables des entités et secteurs pouvant être potentiellement intéressés par la solution. Leur crainte et leur souhait ont été pris en considération.

Il en résulte une volonté d'avoir une solution qui :

- Diminue le risque de dommages sur les chantiers, occasionné essentiellement par une connaissance insuffisante du positionnement des réseaux enterrés, et donc les interruptions de chantier,
- Apporte un gain notable en terme financier directement corrélé au facteur risque,
- Facilite le travail des chefs de chantier tout en garantissant précision et fiabilité.

3.6 Bénéficier des effets de synergie

Le projet AVUS bénéficiant d'un accompagnement du groupe VINCI et souhaitant intégrer la future solution, il était nécessaire d'analyser en interne les solutions existantes sur la problématique de digitalisation et visualisation de manière innovante des réseaux enterrés.

Du fait de la présence d'entités dédiées à l'innovation au sein du groupe, des projets en lien direct avec la problématique d'AVUS existaient déjà.

La plateforme BEYOND REALITY, nous a particulièrement intéressés. Celle-ci consiste en une plateforme cartographique mobile où diverses applications connexes peuvent s'insérer. Le tout est hébergé sur un *cloud* facilitant le partage de données entre divers utilisateurs. Une idée d'interconnecter la solution AVUS avec ce projet BEYOND s'est présentée comme génératrice de valeur ajoutée. BEYOND REALITY est aujourd'hui un partenaire privilégié d'AVUS.

4 Utilisation de l'aide de la Ferec dans le projet

L'équipe projet était constitué des personnes suivantes :

- **Sébastien MAGAT** – Lauréat de l'Appel à Projets 2018 / Chef de projet
- **Eva NOUGIER & Alice LUCKEN**, deux étudiantes en master Management de Grands Projets (MGP) à HEC Paris recrutées pour une période de 5 mois (25 Janvier au 16 Avril 2019) en cours de projet

Les profils d'Eva et Alice étant complémentaires, l'une possédant de solides bases en SIG, topographie, point cloud modeling et réalité augmentée, l'autre des aptitudes dans le développement d'offres commerciales – elles m'ont assisté lors de la réalisation de pilotes en France et UK intégrant des entités de notre groupe, des gestionnaires de réseaux (ENEDIS, etc.) et des représentant de collectivités publiques (GPSO, etc.).

DESIGNATION	MONTANT HT
Coût des moyens humains	20,000 €
Chef de projet (Sébastien MAGAT)	10,000 €
<u>Stagiaires :</u>	
Référent technique RA et photogrammétrie (Eva NOUGIER)	5,000 €
Référent technique juridique et commerciale (Alice LUCKEN)	5,000 €
Coût des dépenses extérieures (sous-traitance)	35,050 €
Frais de création Hologramme 3D pour projection RA (SYSLOR)	
- Bristol - District Heating Main - Eurovia Contracting South (UK)	1,200 €
- London - Warren Street Station - Eurovia Contracting North (UK)	1,200 €
- Hounslow - FTC Scheme (Bridge) - Hounslow Highways (UK)	1,200 €
- DALKIA (Courbevoie) – SOGEA IDF	2,125 €
- Av. De Denain – DENAIN – EJL NORD	2,710 €
- Blvd de la liberté – CHATILLON – WATELET TP	1,515 €
- Rue Clemenceau – MONTAUBAN - EUROVIA	1,515 €
- Rue du General Leclerc - KREMLIN-BICETRE – LES PAVEURS DE MONTROUGE	1,515 €
- Rue de la Valette – BERGERAC – EUROVIA	1,670 €
Frais de création de nuages de point, ortho-photos sur chantiers ci-dessus (SYSLOR)	
- 9 * 2 tranchée modélisées * 300 €/tranchée	5,400 €
Frais de synthétisation, digitalisation des données collectes pour les chantiers ci-dessus / Réalisation de maquettes numériques / Hébergement des modèles. (BEYOND REALITY)	15,000 €
Autres coûts en €TTC	10,400 €
Transport, frais d'hébergement, etc	9,600 €
Téléphone / Tablet Android - ARCore compatible	800 €
Total	65,450 €
Participation financière	
• FEREC - 46 %	30,000 €
• EUROVIA - 54 %	35,450 €

5 Résultats acquis

L'ensemble de ces études et travaux nous a permis de valider le potentiel de technologies émergentes et innovantes, notamment la modélisation 3d holographique, la réalité augmentée (RA), la photogrammétrie numérique par corrélation dense d'images, le jumeau numérique ; dans le but de créer une solution rendant l'invisible, visible !

Les différents pilotes, visites de chantiers et interaction que nous avons eue lors de ces visites et tests sur chantier

qui seront au cœur de notre offre et de proposer un **cahier des charges** de l'application mobile répondant à trois besoins :

- L'accès à une carte interactive permettant de visualiser l'ensemble des réseaux sur un seul support, de localiser des informations pertinentes à des endroits stratégiques du chantier et de garder numériquement en mémoire le traçage au sol des réseaux ;
- La possibilité de filmer une tranchée ouverte pour obtenir en sortie un plan numérique de la tranchée ;
- L'accès partagé aux informations des projets et aux cartes interactives par plusieurs utilisateurs.

Nous avons réalisé également une **maquette numérique** de l'application afin de faciliter la compréhension des fonctionnalités désirées présentées dans le cahier des charges.



Aperçu de la maquette numérique réalisée

Ces deux livrables - cahier des charges et maquette numérique - seront exploitées dans le cadre du développement d'AVUS avec deux finalités complémentaires :

- Servir de base à la définition de la future feuille de route d'AVUS.
- Matérialiser le projet et faciliter la compréhension des fonctionnalités de l'application auprès des clients et investisseurs potentiels, de manière à obtenir les financements nécessaires à son développement.

6 Impact

6.1 Apports et retombées pour la collectivité

En France, les réseaux représentent 4 millions de kilomètres avec 2 725 000 km de réseaux enterrés.

L'importance de ce réseau dense de câbles et tuyaux souterrains pour le bien-être et le maintien de la santé économique de la société Française ne peut être sous-estimée.

Les entreprises concessionnaires, services publics, etc. doivent entreprendre chaque année environ 1,5 million de travaux de réseau pour réparer, entretenir et mettre à niveau ce vaste réseau d'infrastructures de services publics enfouis. On dénombre également 5 à 10 millions de chantiers divers à proximité de ces réseaux par an.

Conséquence du manque de précision des cartographies existantes et d'outils efficaces en permettant la correction et visualisation en temps réel des informations contenues dans ces cartes, sont des endommagements de réseaux, accidents qui provoquent 3 types de coûts :

- des coûts directs,
- des coûts indirects
- et des coûts sociaux.

On entend par coûts « directs », les coûts supportés par notre secteur et qui se présentent généralement sous la forme de coûts de planification, de conception, de main d'œuvre, de réclamations d'assurance, de soutien administratif et de supervision. Les coûts indirects étant également supportés par notre secteur et concernant la perte de revenus (i.e. réparation des dommages causés à des tiers et des biens privés lors de ces travaux).

La dernière catégorie de coûts, les coûts supportés par la société en général (coûts sociaux) peuvent quant à eux prendre la forme de dommages à l'environnement, de pollution de l'air, de niveaux de bruit supérieurs à ceux d'avant, de perturbations pour la communauté locale et les entreprises et de retards de circulation pour les usagers de la route.

Même s'il ne semble pas exister d'étude concernant la France sur ce sujet, on trouve dans un rapport intitulé *"WHAT DO UTILITY STRIKES REALLY COST ?"* et publié en 2016 par l'université de Birmingham – School of Civil Engineering (UK) une estimation de cet impact sociétal qui s'élèverait à environ 5,5 milliards de livres sterling par ans.

Compte tenu du vaste réseau souterrain de câbles, tuyaux, etc. enfoui sous le sol Français, de ses inévitables travaux de réparation, d'entretien et d'amélioration à long terme, il est vraisemblable que l'estimation des coûts sociaux y soit similaire et ne cessera de croître. La connaissance avec précision de la localisation de l'ensemble des réseaux enterrés est donc un enjeu majeur pour la France.

Les bénéfices attendus lors de l'utilisation de l'outil AVUS étant les suivants : une plus grande maîtrise de la conception, des coûts, des plannings ; un gain de temps à toutes les étapes grâce à une connaissance technique fine des réseaux et ce, au service de l'amélioration de la qualité de la construction et de la réduction de la sinistralité. Le projet AVUS peut donc devenir un outil permettant de contribuer à la réduction de ces coûts.

6.2 Mise en évidence du caractère collaboratif et d'intérêt général

La solution développée par AVUS permet de géolocaliser avec précision les réseaux enterrés, puis de les visualiser sur le terrain en réalité augmentée. C'est un outil packagé destiné aux constructeurs, aménageurs et maintenanciers alors que les réseaux de gaz, eau, électricité, chaleur, se comptent en millions de kilomètres. En France comme à l'étranger.

Afin de développer et industrialiser notre solution, nous avons en réalisant les travaux décrits au paragraphe 3 identifiés les partenaires suivants qui nous ont permis de tester notre future solution et vérifier son adéquation avec les besoins de nos futurs clients et les normes en vigueur.

- **SYSLOR** (<https://www.syslor.fr/fr>) est une start-up française qui développe des solutions digitales dédiées aux travaux publics.
- **SIXENSE** (<https://www.sixense-group.com/beyond/>) est une entreprise internationale, aux expertises techniques et digitales, partenaire de la construction et de l'industrie. Leurs services se concentrent autour de la connaissance des sols, de l'environnement et des ouvrages. Ils développent en partenariat avec IBM, BEYOND REALITY, une plateforme dédiée à la construction et la gestion d'infrastructures et permettant d'accéder à de nombreuses catégories de données liées au secteur du bâtiment et des infrastructures.

C'est la force des projets collaboratifs que de rassembler des compétences pointues autour d'un même objectif. Rassemblés autour du projet AVUS, elles peuvent donc concrétiser leur idée commune : mettre au point une solution permettant de cartographier avec précision les réseaux enterrés, également capable d'afficher en réalité augmentée les conduites, canalisations et câbles modélisés.

Cet objectif a déjà retenu l'attention de nombreux donneurs d'ordre (entreprises de travaux publics et exploitants de réseaux) qui ont acceptés de mettre à disposition les informations ou accès nécessaires aux différents tests de performance du livrable tout au long du cycle de développement. Elles sont des entreprises du groupe VINCI (VINCI ENERGIES, SOGEA, WATELET TP, EMULITHES, EUROVIA, ENTREPRISE JEAN LEFEBVRE, RINGWAY) et les exploitants, collectivités suivantes : GRDF, ENEDIS, GPSO, ANGLIAN WATER, ESSEX COUNCIL, CHESHIRE WEST AND CHESTER COUNCIL.

Le cahier des charges constitués grâce à ces différentes collaborations, permet de répondre à plusieurs enjeux d'intérêt généraux :

- **Diminution des risques** : contribuer à une réduction notable du nombre de dommages aux réseaux, notamment de gaz et de matières dangereuses, qui sont parmi les plus sensibles pour la sécurité publique. Il permet aussi d'optimiser la planification et réponse aux catastrophes en identifiant les caractéristiques clés qui doivent être renforcées / protégées, développer des plans pour une réponse plus efficace à un événement réel.
- **Optimisations des processus actuels** : Les constructeurs et gestionnaires d'infrastructures font face à des normes et réglementations toujours plus complexe, des contraintes opérationnelles de plus en plus fortes, tout en devant satisfaire des objectifs et des exigences croissants. Notre projet permet de fiabiliser et d'optimiser les opérations, tout en tirant parti de l'accélération continue de l'innovation.

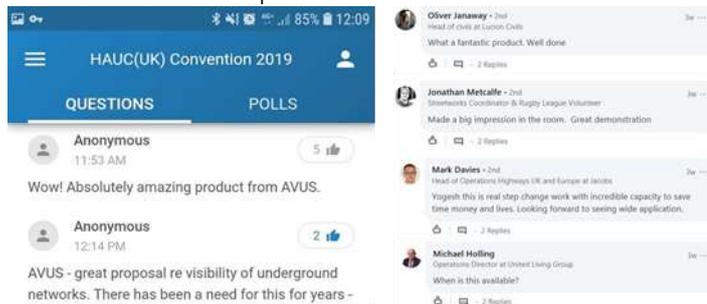
- **Amélioration des marges** : L'acquisition et la maîtrise de la donnée, la capacité à la stocker et à la transformer en information disponible, pertinente et prédictive sont les prérequis indispensables aux succès des acteurs du marché.
- **Assistance à la conception** : Notre outil constitue un élément d'aide à la décision pour les concepteurs de nouvelles structures, en leur permettant d'identifier de possibles conflits et de mieux estimer la durée et le nombre de réseaux nécessitant d'être déplacés. Il permet en outre de concevoir des systèmes de drainage durable pour aider à gérer les eaux de surface et réduire la pression sur les réseaux existants.

6.3 Publications et autres éléments de communication auxquels le projet et ses résultats ont donné lieu

A ce jour, le projet n'a malheureusement pas donné lieu à publication. Cependant, nous avons eu l'occasion de participer aux événements suivants :

- **Mai 2019** : AVUS est choisi par VINCI Energies pour présenter sur son stand durant l'édition 2019 du salon VIVA TECHNOLOGY PARIS (France).
- **Mai 2019** : AVUS présente durant la convention HAUC - UK (Highway Authorities and Utilities Committee – United Kingdom)

15000 vues de notre post LinkedIn



(http://www.aldercross.com/events.php?event_id=130)

- **Juin 2019** : AVUS présente durant la Anglian Water Expo – UK (<https://www.anglianwater.co.uk/business/>)

et choisi pour :

- **Juin 2019** : AVUS est choisi par Ordnance Survey pour siéger au comité de pilotage du projet Iceberg (<https://www.ordnancesurvey.co.uk/business-and-government/smart/underground-assets-project-iceberg.html>)

Notre agenda pour les prochains mois, inclue notamment notre présence durant :

- **Octobre 2019** : Carrefour des Maires et des Élus de Franche-Comté – Besançon (France) (<http://carrefour-collectivites.com/>)
- **Janvier 2020** : CES (Consumer Electronics Show) Las Vegas (USA) (<https://www.ces.tech/>)

7 Perspectives ouvertes par le projet notamment en matière de recherche collaborative

L'objectif du projet AVUS est de développer un outil permettant la correction, acquisition de nouvelles informations ou informations complémentaires et visualisation en temps réel de données existantes concernant les réseaux souterrains. Nos travaux se sont donc inscrits dans ce contexte, cependant ils ont fait apparaître les besoins et perspectives suivants :

7.1 BESOINS

- L'observation du marché nous montre que les aménageurs, notamment les villes, ont de gros besoins en cartographie des réseaux. La création d'une plateforme labellisée, ouverte, collaborative et pérenne permettrait d'agréger des données géo-référencées précises et fiables, enrichies de données du marché et d'« Open Data » avec lesquels les acteurs ayant accepté le principe d'ouverture pourraient forger le développement de nouvelles offres et de ce fait améliorer leurs marges et compétitivités est non seulement nécessaire au projet mais est indispensable à de nombreux secteurs d'activités.
- De nombreuses entreprises participent déjà à la détection et au positionnement des réseaux enterrés. Cependant, l'exploitation des données recueillies est longue, fastidieuse et couteuse. Le couplage entre les méthodes de captation optiques et géophysiques, ainsi que la fusion des données et la détection automatique par le Machine Learning permettrait d'augmenter la fiabilité des résultats, automatiser, fluidifier le process et réduire les coûts de traitements. De plus un tel développement dépasse la thématique des réseaux et infrastructures souterraines en ouvrant vers d'autres champs d'exploitation comme la géothermie profonde ou la détection de minerais.
- La "fusion de données multi-sources" est un point capital du projet. La création d'une interface permettant de convertir des données historiques, souvent non digital ou sous forme de fichier PDF, de les fusionner avec des données plus récentes pour créer une synthèse directement convertible en hologramme 3D est nécessaire.

7.2 PERSPECTIVES

- Soutenir la création d'engins d'excavation autonomes : Il est concevable qu'AVUS (ou une version de) puisse à terme être directement intégrée dans des engins d'excavation pour renseigner le conducteur en temps réel ou asservir la machine qui empêcherait les contacts avec ces infrastructures.
- En combinant les informations de notre modèle avec les données d'infrastructures contiguës ou la géologie des sols environnants, en utilisant la nature collaborative de la plateforme (décrite ci-dessus) et la puissance de nouvelles technologies d'analyses, nous pourrions :
 - Accélérer le développement de la maintenance prédictives des infrastructures souterraines. Les fouilles planifiées pourraient être affichées sur la plateforme, permettant à d'autres utilisateurs possédant des actifs dans l'emplacement sélectionné de demander une inspection simultanée de leurs propres conduits ou de saisir l'occasion de moderniser leur réseau. Ceci ayant pour effet de minimiser les coûts de réparation, minimiser les pannes et les fermetures de routes.
 - Améliorer la planification de la gestion des chaussées, trottoirs, etc. La connaissance des infrastructures souterraines environnantes permet de mieux comprendre des désordres de surfaces, toute en facilitant l'évaluation et la prise de décision concernant l'entretien, la réparation et le remplacement de ces structures.

8 ANNEXES

Liste des annexes :

- **Annexe 1**
Cahier des charges fonctionnel
Application de lecture et recalage de photos de marquage au sol
-
Réf. Doc Annexe – Cahier des Charges_V4.docx

- **Annexe 2**
Lien web vers la maquette numérique de la future application AVUS
-
Réf. Doc <http://marvelapp.com/b6jdic7>

- **Annexe 3**
Synthèse des solutions existantes pour la RA des réseaux enterrés
-
Réf. Doc Annexe – Comparatif_Solution_RA.pdf

ANNEXE N.1

-

Cahier des charges fonctionnel

Application de lecture et recalage de photos de marquage au sol

Révision	Rédacteurs	Date	Commentaire
V 4.0	Alice Lucken Eva Nougier Sebastien Magat	29 Aout 2019	

Réf. Doc : *Annexe – Cahier des Charges_V4.docx*

Sommaire

Contexte du projet de développement	19
Périmètre du projet	19
A - Programmes	19
B - Interface utilisateur	19
Fonctionnalités attendues	20
A - Programmes	20
1 - Reconnaissance photo	20
2 - Création d'une carte interactive	20
3 - Recalage d'une ligne	20
B - Interface utilisateur	21
1 - Accès et compte	21
2 - Gestion des dossiers	21
3 - Acquisition terrain des données de calage	21
Processus	22
Contraintes techniques	23
A - Compatibilité	23
B - Interfaces	23
1 - Interfaces avec une application web pour les transferts des données	23
2 - Interface avec un programme de réalité augmentée	23
Scenario et maquette	24

- Contexte du projet de développement

Léonard est un laboratoire d'innovation intégré au groupe **VINCI**. Il accompagne les projets répondant aux enjeux des villes et infrastructures de demain. La thématique « Réseaux et Réalité Augmentée » est une problématique transverse au sein du groupe Vinci : **VINCI Energies, VINCI Construction, Eurovia**.

L'ensemble de ces entités se sont accordées sur un constat commun : les plans fournis par les gestionnaires de réseaux souterrains sont de faibles précisions, ce qui engendre une répétition des incidents et endommagement de réseaux.

Le projet **AVUS** est un projet d'intrapreneuriat accompagné par Léonard qui répond à ces enjeux. Il permet de visualiser en Réalité Augmentée (RA) les réseaux souterrains à partir des données concessionnaires existantes, tout en fiabilisant la précision des données.

Le développement d'une application de lecture et recalage de photos de marquage s'inscrit dans le cadre de l'accélération du projet AVUS.

- Périmètre du projet

Le projet de développement inclut la mise en oeuvre des fonctionnalités suivantes :

- A - Programmes

- 1 - Reconnaissance d'une ligne sur une photo et conversion de la ligne au format DWG.
- 2 - Création d'une carte interactive permettant d'extraire des coordonnées de points.
- 3 - Recalage géographique d'une ligne au format DWG (2) grâce à des points de calage géoréférencés.

- B - Interface utilisateur

Interaction avec l'utilisateur, afin de lui permettre de charger les données d'entrée et de visualiser les plans avant et après recalage.

- Fonctionnalités attendues

- A - Programmes

- 1 - Reconnaissance photo

Données d'entrée : photo de la marque peinture prise sur le chantier.

Données de sortie : ligne (marque peinture) au format DWG.

Le programme devra permettre de :

- Reconnaître la marque peinture sur l'image et la digitaliser sous forme de ligne exportable au format DWG
- Prévoir une boucle de contrôle sur la qualité de l'image (% de floue, visibilité de la ligne, visibilité des points de calage, etc.). Le contrôle doit être réalisé de manière autonome par l'application mobile, y-compris sans connection internet.

- 2 - Création d'une carte interactive

Données d'entrée : Plans DWG des réseaux des concessionnaires

Données de sortie : Objets convertis au format shape (format compatible avec logiciels de SIG).

La carte interactive développée devra permettre à l'utilisateur de :

- Zoomer / dezoomer sur des zones;
- Activer / désactiver des calques;
- Déterminer les points de calage en les sélectionnant sur la carte;
- Ouvrir l'image pour un sélection directe des points de calage dessus.

- 3 - Recalage d'une ligne

Données d'entrée : ligne au format DWG non calée dans le système de coordonnées de référence (Lambert 93 - RGF93).

Données de sortie : ligne au format DWG calée dans le système de coordonnées de référence (Lambert 93 - RGF93).

Le programme devra permettre le recalage de la ligne dans le système de coordonnées de référence grâce aux points de calage sélectionnés sur la carte interactive. L'utilisateur positionne ces même points de calage sur l'image. A l'aide de 3 points minimum connus en coordonnées images et terrains, grâce aux équations de colinéarité l'image peut être géoréférencée.

- B - Interface utilisateur

- 1 - Accès et compte

- L'utilisateur peut créer un compte où il renseigne ses informations personnelles.
- L'utilisateur a accès aux informations personnelles des autres membres de son équipe utilisant l'application.

- 2 - Gestion des dossiers

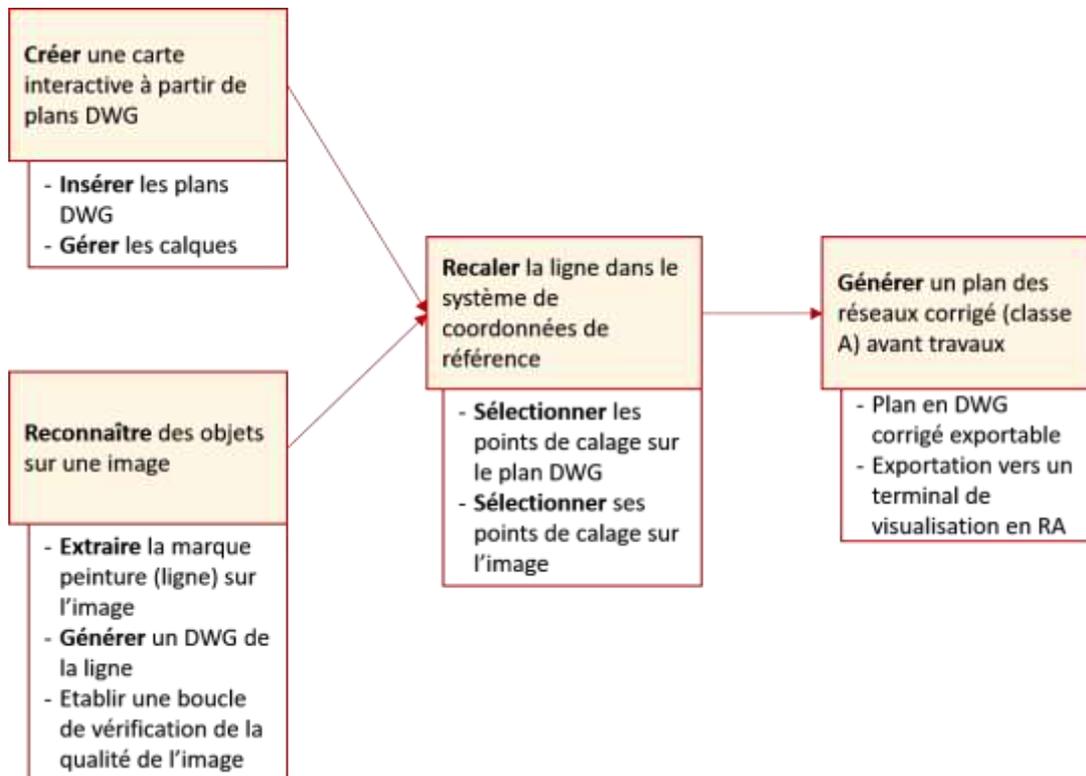
- L'utilisateur peut créer et supprimer un nouveau dossier de projet.
- L'utilisateur nomme le projet et peut renseigner - s'il le souhaite - des informations complémentaires sur le projet.
- L'utilisateur peut partager l'accès et le droit de modification du dossier de projet avec d'autres membres de son équipe.
- L'utilisateur peut charger dans un dossier des plans sous format DWG.
- L'utilisateur peut associer des commentaires à chaque fichier disponible dans dossier.

- 3 - Acquisition terrain des données de calage

- L'utilisateur a accès aux dossiers partagés avec les informations suivantes : informations du projet (modifiables sur mobile) ; nom et format des fichiers importés (le cas échéant).
- L'utilisateur peut lancer le processus de recalage d'un tronçon de marquage au sein du dossier de projet. Les tronçons sont numérotés automatiquement et peuvent être modifiés.
- Si le dossier ne comporte aucun fichier de référence (plan), un message d'erreur s'affiche.
- Si le dossier a bien été complété en amont, l'utilisateur est invité à prendre une photo du tronçon de marquage visé. La photo est traitée selon les spécifications du (A-1).
- L'utilisateur a accès à une carte interactive (détaillée au point A-3) et est invité à pointer au moyen de curseurs les points de référencement souhaités.
- L'utilisateur est invité à pointer sur la photo les mêmes points avec des curseurs.
- L'utilisateur est informé que le tronçon est en cours de recalage et est informé lorsque le recalage est terminé.
- L'utilisateur peut associer des commentaires à chaque photo de tronçon.

- Processus

Etapes pour la réalisation de l'application d'un point de vue du développeur informatique.



- Contraintes techniques

- A - Compatibilité

- Application mobile Android.
- Smartphones et tablettes.

- B - Interfaces

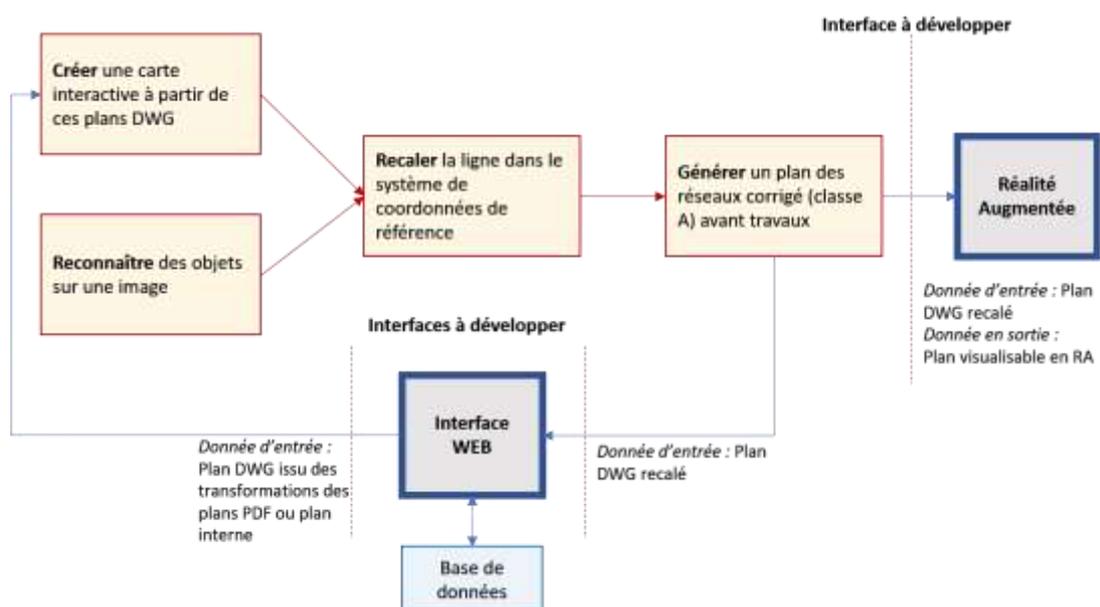
- 1 - Interfaces avec une application web pour les transferts des données

- L'acquisition amont des plans DWG destinés à la création de cartes interactives se fait par l'intermédiaire d'une application web, elle-même couplée à une base de données.
- En aval du processus, les plans DWG corrigés sont versés à cette même application web.

- 2 - Interface avec un programme de réalité augmentée

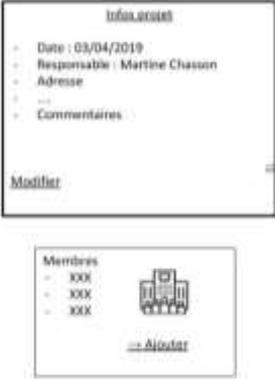
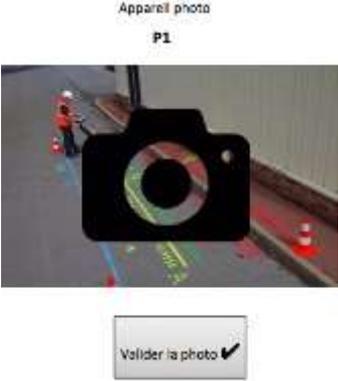
Interface à prévoir pour la visualisation en réalité augmentée du plan corrigée.

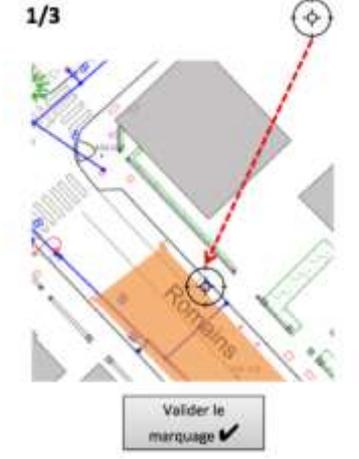
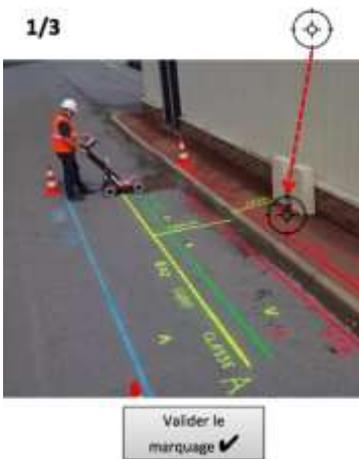
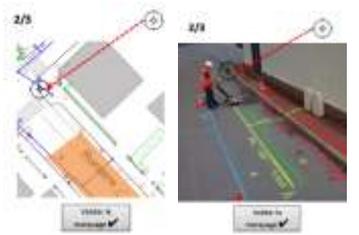
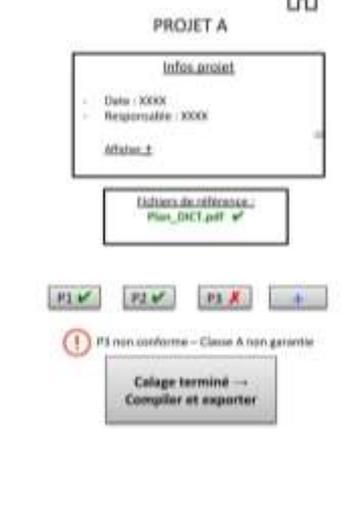
Mettre en place un format d'export du plan corrigée en DWG compatible avec l'application de réalité augmentée.

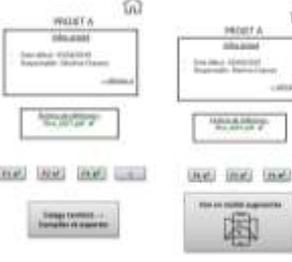


- Scénario et maquette

Mobile / Utilisateur type "Opérateur de terrain"

	<p>Page de démarrage :</p> <p>L'opérateur accède à son compte et à son portfolio de projets.</p>
	<p>Importation du plan DWG :</p> <p>L'utilisateur importe le plan DWG du réseau soit lorsqu'il est au bureau pour bénéficier de la connexion internet ou soit sur le chantier s'il bénéficie d'une connexion internet ou bien si le plan est stockée sur son téléphone (problème de capacité de mémoire).</p>
	<p>Informations projet :</p> <p>Il accède aux informations sur le projet et à son état d'avancement.</p> <p>Il charge le plan avant l'intervention sur chantier ou en live (nécessite une connexion internet ou un espace de stockage suffisant) puis l'opérateur est invité à lancer la correction du plan.</p>
	<p>Prise en photo de la marque peinture :</p> <p>L'appareil photo s'ouvre pour photographier le premier tronçon.</p> <p>Prévoir la possibilité de reprendre facilement une photo en cas de mauvaise prise.</p> <p>Bouton de validation quand l'opérateur est satisfait de sa capture.</p>

	<p>Sélection des points de calage sur plan :</p> <p>Ouverture de la carte interactive.</p> <p>L'opérateur déplace le curseur sur le premier point de calage choisi, de manière à en isoler les coordonnées.</p> <p>Bouton de validation quand ok.</p>
	<p>Sélection des points de calage sur photo :</p> <p>La photo s'ouvre.</p> <p>Un curseur permet de positionner le 1er point de calage sur la première photo.</p> <p>Bouton de validation.</p>
	<p>Même procédure pour points de calage 2 et 3.</p>
	<p>Synthèse des captures prises :</p> <p>L'opérateur réalise les acquisitions photos/points de calage pour l'ensemble des tronçons de son projet.</p> <p>Les tronçons apparaissent au fur et à mesure. Un bouton permet d'ajouter un nouveau tronçon.</p> <p>Un message d'erreur apparaît si une photo est de trop mauvaise qualité (cf boucle de contrôle)</p> <p>L'opérateur peut accéder et modifier les informations acquises sur chaque tronçon en cliquant sur le bouton correspondant.</p>

	<p>Visualisation et modification des points de calage :</p> <p>La page de tronçon permet de visualiser le plan, la photo et leurs points de calage respectifs. Apparition d'un signal si échec à la boucle de contrôle.</p> <p>Possibilité de modifier la position des curseurs de points de calage; possibilité de recharger le plan et reprendre une photo.</p> <p>Bouton retour.</p>
	<p>Validation et envoi des données de correction :</p> <p>Lorsque tous les tronçons sont acquis et que l'opérateur est satisfait de la qualité, le bouton de validation lui permet de compiler et d'exporter.</p> <p>Une fois le bouton activé → possibilité de visualiser en RA le plan via (application interfacée)</p>

ANNEXE N.2

-

Lien web vers la maquette numérique
de la future application AVUS.

Révision	Rédacteurs	Date	Commentaire
V 4.0	Alice LUCKEN Eva NOUGIER Sebastien MAGAT	5 Septembre 2019	

Réf. Doc : <http://marvelapp.com/b6jdic7>



Ctrl + Click sur image pour
suivre le lien*

* à ouvrir dans Google Chrome

ANNEXE N.3

-

Synthèse des solutions existantes pour la RA des réseaux enterrés

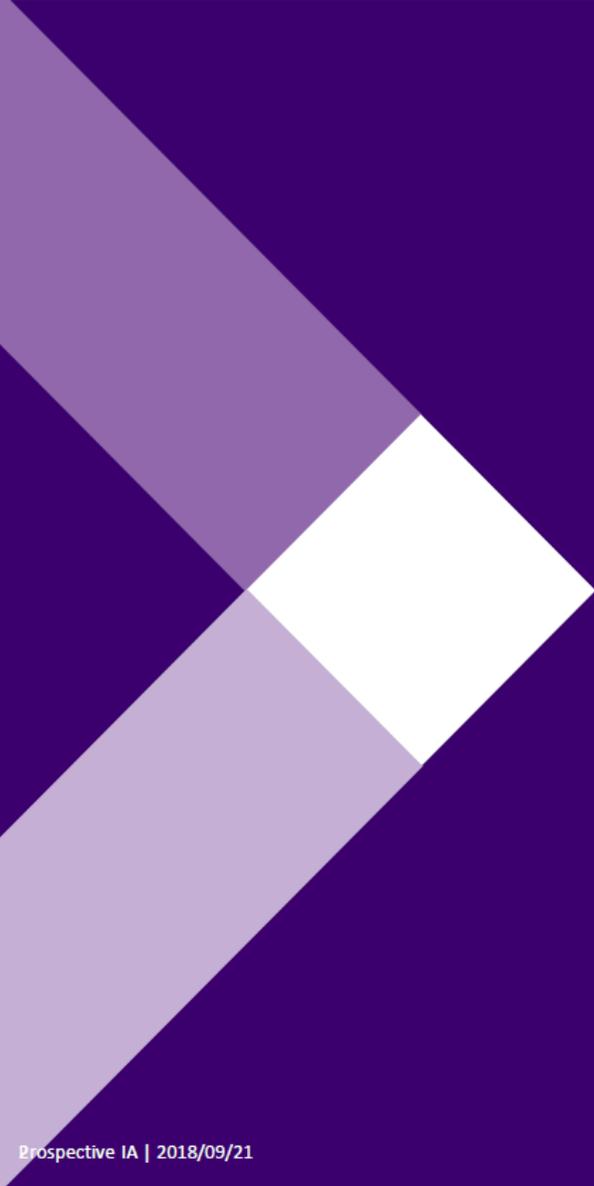
Révision	Rédacteurs	Date	Commentaire
V 1.0	Alice LUCKEN Eva NOUGIER Sebastien MAGAT	20 Mai 2019	

Réf. Doc : Annexe – Comparatif_Solution_RA.pdf

LEONARD

**SYNTHESE DES SOLUTIONS EXISTANTES POUR
LA RA DES RESEAUX ENTERRES
-
FOCUS SUR LA SOLUTION SYSLOR**

together @ **VINCI** 

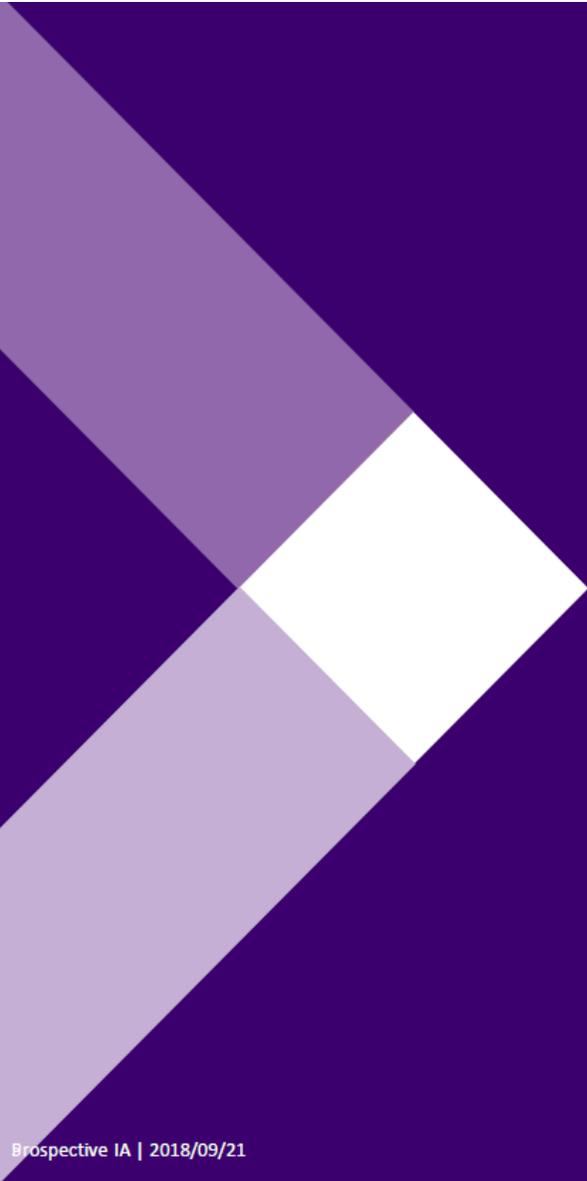


PREMIERE PARTIE :

PRESENTATION DES SOLUTIONS EXISTANTES SUR LE MARCHÉ

	Avantages / Inconvénients	Fonctionnement sans GPS	Coût	Comptabilité Android
LARA	(+) Précision centimétrique (-) Système complexe	NON	Pas encore commercialisé	OUI
AUGVIEW	(+) - Améliore la qualité des données - Améliorer l'expérience client (-) Déjà une grosse start-up	NON	3 500€/an HT par appareil 600€ HT conversion des données	OUI
SYSLOR	(+) Détection réseaux - 2 tests sur terrain concluant - Adhésion des monteurs par sa facilité d'utilisation - Système évolutif pour une utilisation par les chauffeurs d'engin Récolement - 1er test sur terrain. Résultat en attente à ce jour. - Facilité d'utilisation - Plus besoin de géomètre pour les relevés après travaux - Système ouvert pour un couplage avec Fun Bim. (-) - Développement en cours pour un résultat optimal - Favoriser la prise de vidéo plutôt que de photo	OUI	Sur smartphone ou tablette équipée d'un GPS entre 300€ à 600€	OUI
vGIS	(-) Données SIG en entrée transformée en RA	OUI	Licence à 4 000€ (+ d'autres fonctionnalités)	OUI
Trimble Site Vision	(-) Fort lié à Trimble	NON	Pas encore commercialisé	OUI
ArGIS		NON	65€/an HT par appareil	OUI

	Avantages / Inconvénients	Fonctionnement sans GPS	Coût	Comptabilité Android
<u>FunBIM</u>	(+) - Consultation des données par tous - Pas de perte d'information (-) - IOS uniquement pour le moment	OUI Localisation à l'aide de QR Code	59€ / utilisateur / mois	OUI
<u>ARESO</u>	(+) - Facilité l'implantation des canalisations - Visualisation globale des réseaux - Maintien « visuel » du marquage - Facilité d'utilisation - Matériel adapté aux chantiers (-) - Être sous couverture satellites - Avoir réalisé la Géodétection et le Géoréférencement - Nécessite des appareils TRIMBLE	NON	Non commercialise pour le moment	OUI
<u>SCALIAN</u>	(+) - le positionnement s'effectue en réel - l'interprétation de la place disponible pour le mode opératoire est aisée - Possibilité d'utiliser la RA pour expliquer intégralement le phasage d'un chantier sous forme de vidéo. - Bon ressenti de la part des clients. (-) - Pas encore commercialisé	?	?	?
<u>XXII</u>	(+) Rendu intéressant (-) Nécessite beaucoup de matériels	NON,	Prix sous forme de licence	OUI

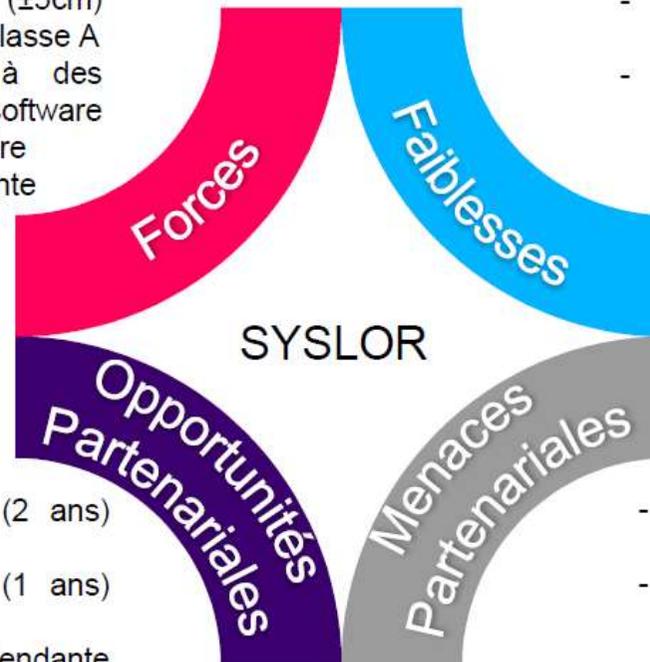


DEUXIEME PARTIE :

FORCES DE LA SOLUTION SYSLOR

SYSLOR : LES ENJEUX D'UN PARTENARIAT

- Grande précision ($\pm 5\text{cm}$) garantissant aisément la classe A
- Pas de dépendance à des solutions hardware et software externes, solution modulaire
- Solution testée et concluante
- Prix avantageux



- Faible force de développement (petite équipe)
- Optimisation nécessaire, bugs résiduels

- Collaboration éprouvée (2 ans) avec VINCI Energies
- Collaboration éprouvée (1 ans) avec Léonard
- Structure indépendante (opportunité d'investissement)

- Environnement très concurrentiel (timing serré)
- Risque de confidentialité des applications VINCI (avant sécurisation du partenariat)

