

APPORT DES SCANS 3D ET DE LA CAO DANS LA REUSSITE D'UN PROJET

Contribution of 3D scans and CAD to a project success

Grégory DIMIER, Olivier CARRON, Charlie TOURNEBIZE, Frédéric PAPET

PARALL'AXE, 223 rue des bécasses 38920 CROLLES

gd@parall-axe.fr ; oc@parall-axe.fr ; ct@parall-axe.fr ; fp@parall-axe.fr

MOTS CLEFS

Scanner laser ; tracker laser ; numérisation ; jumeau numérique ; simulation ; fiabilité

KEY WORDS

Laser scanner ; laser tracker ; digitalization ; digital twin ; simulation ; reliability

RÉSUMÉ

Parall'Axe collabore avec EDF depuis 2017 à la modification de la commande de la vanne de fond aval implantée sur le barrage de Grand'Maison. EDF a acté le remplacement du vérin et la reconception de sa chaise de maintien par laquelle transitent les efforts appliqués au génie civil. L'utilisation des méthodes modernes de numérisation a été d'une grande aide pour concevoir et mettre en place la nouvelle commande dans un local exigu et difficile d'accès.

Pour ce faire, Parall'Axe a accompli en 2021 une numérisation de la caverne d'implantation de cette vanne par la mise en œuvre d'un scanner laser. Après traitement, nous avons retranscrits un jumeau numérique en couleur par définition en tout point identique à l'existant.

Cette maquette numérique nous a permis de bénéficier de visites virtuelles de l'environnement réel et de faciliter les échanges techniques avec EDF, sans nécessiter de multiples visites sur site. En outre, les études d'encombrement et d'implantation ont pu être élaborées directement dans l'environnement virtuel. Le positionnement des pièces fixes comme les ancrages de la chaise support vérin ont pu être projetés avec précision. Les modélisations 3D ainsi que le dossier de plans 2D ont par conséquent été élaborés avec un réalisme avéré et fiable, induisant un dossier de plan d'exécution « Bon Pour Exécution » très proche du dossier d'achèvement « Tel Que Construit ».

L'utilisation de nos technologies, outils de numérisation et logiciels de traitement conjugués au logiciel de C.A.O. permettent maintenant de s'affranchir de relevés de cotes traditionnels, parfois complexes et fastidieux, voire impossibles. Elle confère une plus grande fiabilité des études garantissant l'anticipation des problématiques induites par un environnement industriel encombré, aux formes complexes et souvent biaisé par un dossier de plans d'origine incomplet ou non mis à jour à l'issue de modifications diverses.

Bien que d'apparence complexe et plus coûteuse en première appréciation, cette méthodologie de travail permet de s'affranchir de coûts directs et indirects découlant d'erreurs ou d'impossibilité de relevés sur site. De surcroît, elle permet une communication plus aisée et visuellement abordable par tous types d'interlocuteurs aux profils techniques variés.

ABSTRACT

Parall'Axe has been working with EDF since 2017 to modify the control system of the Grand'Maison downstream bottom valve. EDF has replaced the hydraulic cylinder and redesigned its holding chair through which the forces applied to the civil engineering are transmitted. The use of modern digitizing methods was a great help in designing and implementing the new control in a cramped and difficult-to-access room.

In 2021, Parall'Axe digitized the cavern where the valve was installed, using a laser scanner. After processing, we transcribed a digital twin in full color, identical in every respect to the existing one .

This digital mock-up enabled us to take advantage of virtual tours of the real environment, facilitating technical discussions with EDF without the need for multiple site visits. What's more, we were able to draw up dimensional and layout studies directly in the virtual environment. The positioning of fixed parts, such as the anchorages for the jack support chair, could be accurately projected. As a result, both the 3D models and the 2D drawing file were produced with proven, reliable realism, resulting in a " Good For Execution " execution drawing file very close to the " As Built " completion file.

The use of our technologies, digitizing tools and processing software, combined with CAD software, now makes it possible to do away with traditional dimensioning, which is sometimes complex and tedious, if not impossible. This means greater design reliability, and the ability to anticipate problems arising in a crowded industrial environment, with its complex shapes and often skewed by incomplete original drawings or drawings that have not been updated following various modifications.

Although it may appear complex and more costly at first glance, this working method avoids direct and indirect costs arising from errors or the impossibility of on-site surveys. What's more, it makes communication easier and visually more accessible to all types of interlocutors with varied technical backgrounds.

1. CONTEXTE ET BESOIN D'EDF SUR L'AMENAGEMENT DE GRAND'MAISON

1.1.L'aménagement de Grand'Maison

Grand'Maison est l'un des derniers grands barrages construit en Europe. Il se situe en amont de la vallée de la Romanche entre les massifs de Belledonne et des Grandes Rousses, dans le département de l'Isère. Sa mise en service date de 1987 [1].

Barrage de type poids, en terre et enrochements, il est implanté à 1695 m d'altitude. Il mesure 550 m de long et 140 m de haut (160 m sur fondation), et peut stocker jusqu'à 140 millions de m³ d'eau, dont une centaine résulte de la fonte annuelle des neiges. Ses 12 groupes d'une puissance cumulée de 1800 MW produisent l'équivalent de la consommation d'une ville de 740 000 habitants et permettent d'économiser l'équivalent de 1 500 000 tonnes de CO₂ par an [1].

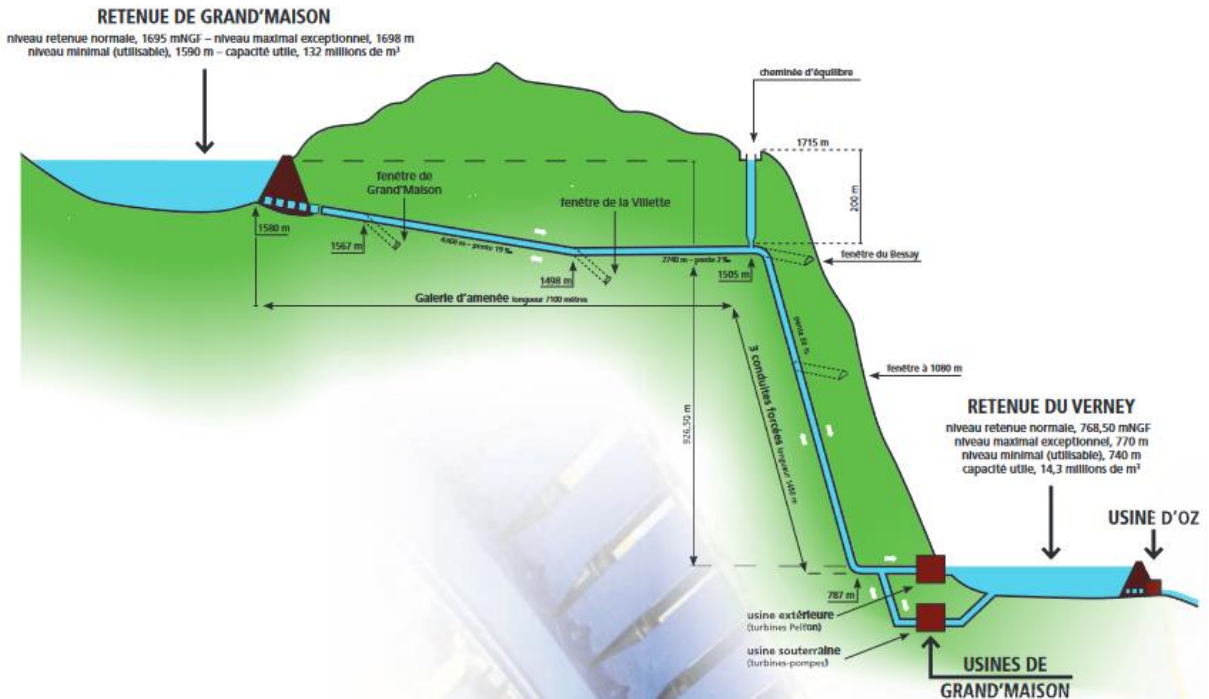


Figure 1: Représentation schématique de l'aménagement de Grand'Maison

1.2. La vanne de vidange de fond aval

La vidange de fond aval du barrage est composée d'une vanne wagon de garde de 2 700 x 2 000 mm et d'une vanne segment de service de 2 500 x 2 000 mm. Ces 2 organes sont essentiels pour la sûreté du barrage ainsi qu'à la sûreté des infrastructures et des communes situées en aval de la retenue. L'accès à ces équipements se fait par une galerie d'une longueur de 400 m. Notre étude a concerné la vanne segment de service dont l'organe de manœuvre nécessite un remplacement.

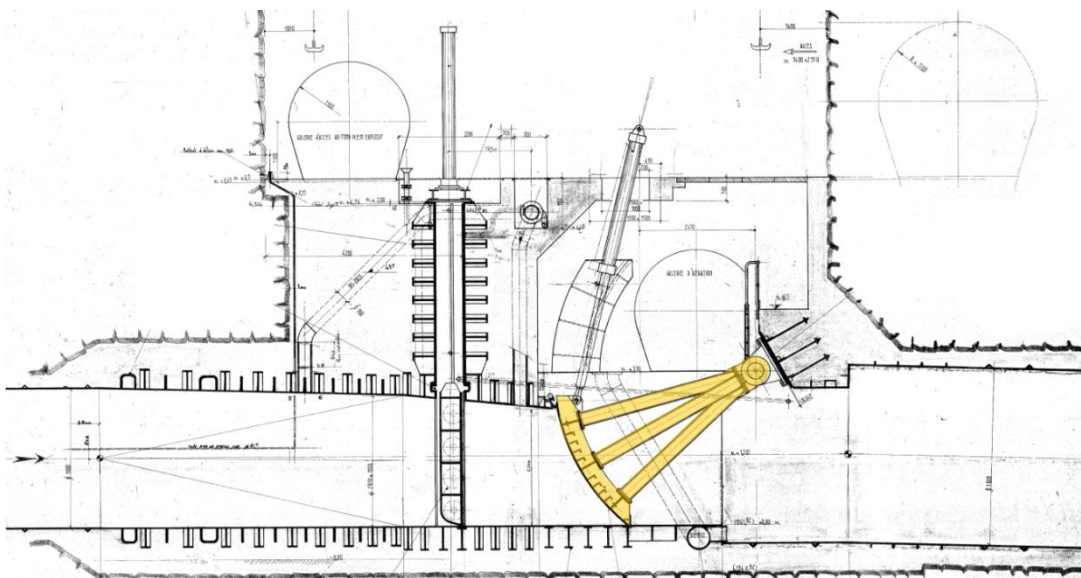


Figure 2: Coupe en élévation des vannes de vidange de fond du barrage de Grand'Maison

1.3. Besoin du maître d'ouvrage

A l'issue de diverses maintenances et expertises, EDF a acté le remplacement du vérin de manœuvre de la vanne segment de vidange de fond et la reconception de son berceau par lequel transitent les efforts appliqués au génie civil.

Le maître d'œuvre a fourni tous les documents en sa possession joints à la consultation, à savoir, les plans d'origine, les rapports, photos et plans modificatifs liés aux diverses maintenances réalisées sur la vanne s'ils existent.

La demande exprimée auprès de Parall'axe est alors de vérifier par le calcul les efforts de manœuvre de la vanne et le dimensionnement de l'ensemble actuel puis de concevoir un nouveau châssis support de vérin.

2. TRAVAUX REALISES PAR PARALL'AXE SUR GRAND'MAISON

Parall'axe collabore avec EDF depuis 2017 sur un projet concernant la vanne de fond aval implantée sur le barrage de Grand'Maison.

L'utilisation des méthodes modernes de numérisation a été d'une grande aide pour concevoir et mettre en place la nouvelle commande dans un local exigu et difficile d'accès.

2.1. Technologies employées

Il y a près de 15 ans, Parall'axe mettait un premier pied dans l'univers de la mesure laser avec l'acquisition de son premier laser de poursuite communément appelé « tracker ». S'en est suivi très rapidement l'investissement dans des scanners laser d'environnement.

Ces 2 technologies sont très différentes mais peuvent s'avérer indéniablement complémentaires dans la réalisation d'un projet industriel.

Le laser de poursuite standard est constitué d'une tête rotative sur un pied fixe, qui mesure la position dans l'espace d'un réflecteur. Cette dernière mesure 1,5" de diamètre, et est équipée d'un coin de cube réfléchissant le laser émis par la tête.

Le « tracker » est ainsi capable de mesurer à chaque instant, et jusqu'à une distance de 80 m, la durée d'un aller-retour d'une impulsion laser jusqu'à 1000 fois par seconde, et donc la distance parcourue par celle-ci. Combiné à un système de codage précis des 2 moteurs de la tête laser et à un interféromètre, cette technologie permet de situer le point dans l'espace avec une précision de l'ordre du 1/100^e de millimètre voir de quelques microns dans des applications spécifiques. Les données de ces mesures sont enregistrées et exploitées sur ordinateur via des logiciels de métrologie. Cette technologie d'une précision accrue permet la mesure point à point et la reconstitution de formes géométriques simples (plans, points, lignes, cylindres, ...).

Une évolution récente de cette technologie nous permet de réaliser ces mêmes mesures sans utilisation du réflecteur et donc sans contact. Ce gain en étendue des mesures, ergonomie et sécurité d'utilisation génère en contrepartie une réduction drastique de la précision de mesure qui chute à +/-0,3 mm ce qui reste toutefois largement acceptable pour satisfaire à une très grande partie des demandes.

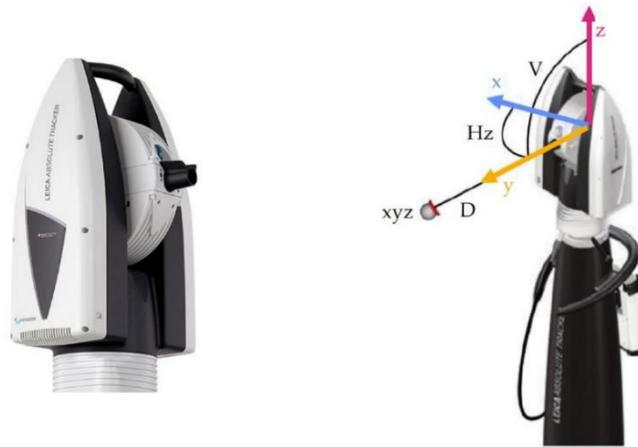


Figure 3 : Tête d'un tracker laser (à gauche) / Principe de mesure par prisme (à droite)

Un scanner laser d'environnement est un appareil de mesure laser portable et autonome capable de réaliser des mesures de distance multiples en un temps très court. Son principe de base est le même que celui d'un télémètre laser. Il mesure la distance entre sa source d'émission et une surface. La différence principale réside dans le fait qu'il n'affiche pas une distance unique mais enregistre la position des points mesurés dans un repère donné. Il crée ainsi un nuage de millions de points de mesures. La majorité des scanners tridimensionnels sont de classe 1 et sont donc intrinsèquement sans danger pour les opérateurs. Leur portée varie de 50 m à plusieurs centaines de mètres.



Figure 4: Scanner d'environnement (à gauche) / Nuage de points couleur d'un transformateur électrique (à droite)

2.2. Apports spécifiques au chantier de Grand'Maison

Parall'Axe a réalisé en 2021 une numérisation par scanner de la caverne d'implantation de la vanne segment de fond. De multiples stations de mesures ont été nécessaires depuis le dessus et depuis le dessous de la dalle du local de manœuvre pour permettre l'acquisition de nuages de points de l'ensemble de l'environnement. Après traitement, nous avons retranscrit un jumeau numérique en couleur par définition en tout point identique à l'existant.

Il devient ainsi possible de profiter d'une visite virtuelle des lieux, mais également de relever des côtes et d'intégrer cet environnement dans les logiciels de CAO. Ce transfert vers les logiciels de conception permet d'étudier les différentes pièces dans l'environnement réel, donc en intégrant dès cette phase de conception les contraintes liées à l'encombrement et l'exiguïté du site, ainsi que les particularités géométriques réelles des interfaces.

2.3. Problématique spécifique de la dalle support

Le local de manœuvre de la vanne aval de fond comporte une dalle en béton. Cette dalle est en légère pente, celle-ci non indiquée sur les plans. Ainsi lors du réglage des 2 pièces fixes scellées destinées à accueillir et supporter le berceau, il a été possible d'anticiper une problématique de positionnement des taques support.

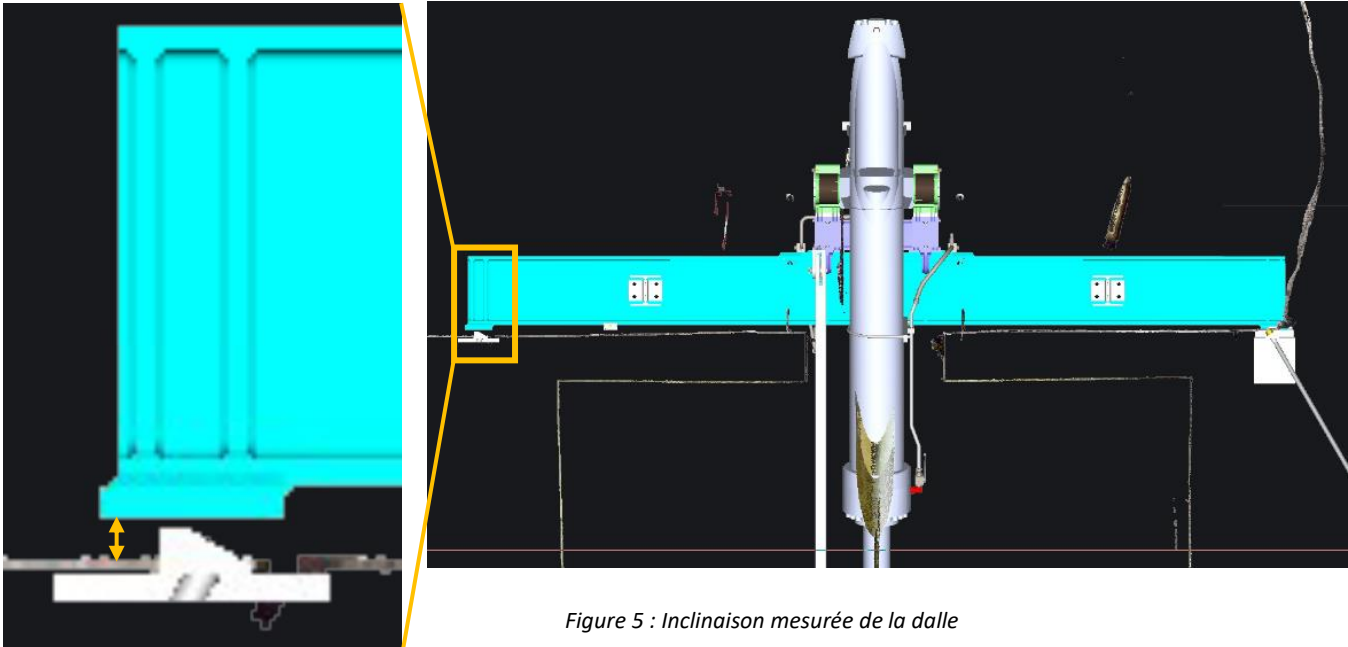


Figure 5 : Inclinaison mesurée de la dalle

Afin que la pièce fixe rive gauche affleure la dalle, la pièce rive droite doit impérativement être positionnée en saillis. Si la pièce rive droite avait arbitrairement été prise en référence lors de l'étude, et placée affleure, la pièce rive gauche aurait été en retrait, générant ainsi une zone de rétention d'eau, propice à l'apparition d'une corrosion prématurée des équipements.

2.4. Définition de démolition de paroi

L'étude du berceau principal a abouti à la définition de poutres plus longues qu'initialement prévu. Le nuage de points à disposition a permis de définir, sans visite complémentaire, les dimensions et le volume d'enrochement à extraire dans la caverne.

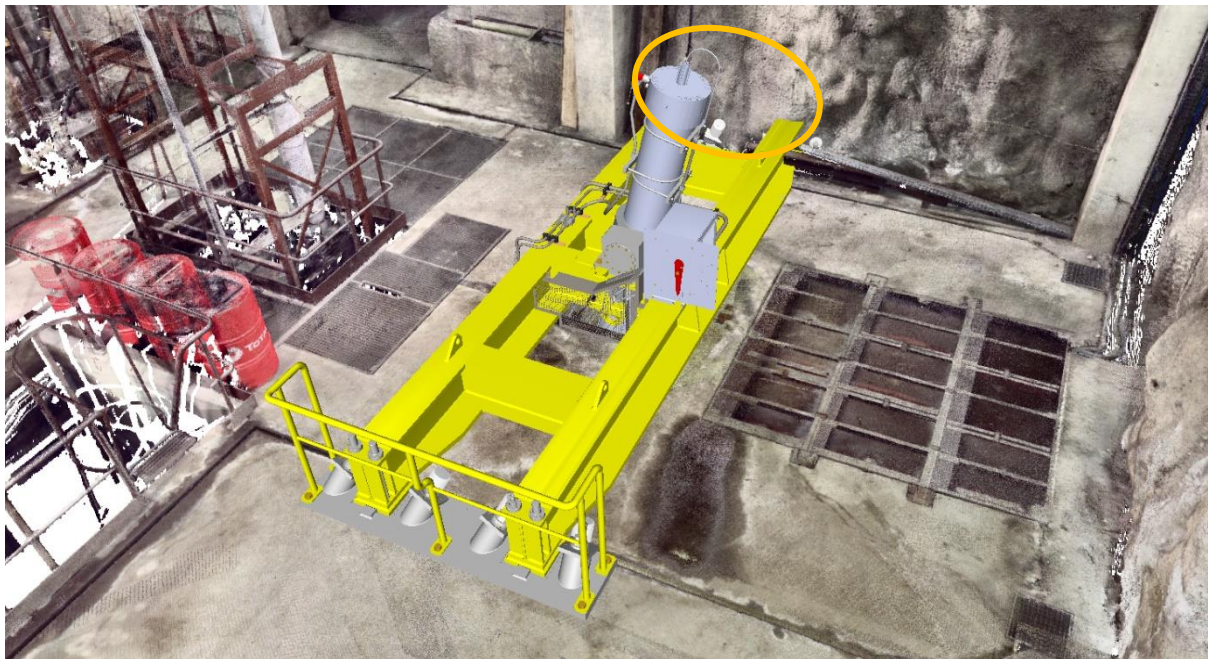


Figure 6: Zone à décaisser dans la paroi de la galerie de Grand'Maison

L'intégration du modèle 3D dans le nuage de points a permis de définir les travaux juste suffisants conduisant à garantir le montage, la dépose, la maintenance et le fonctionnement des équipements.

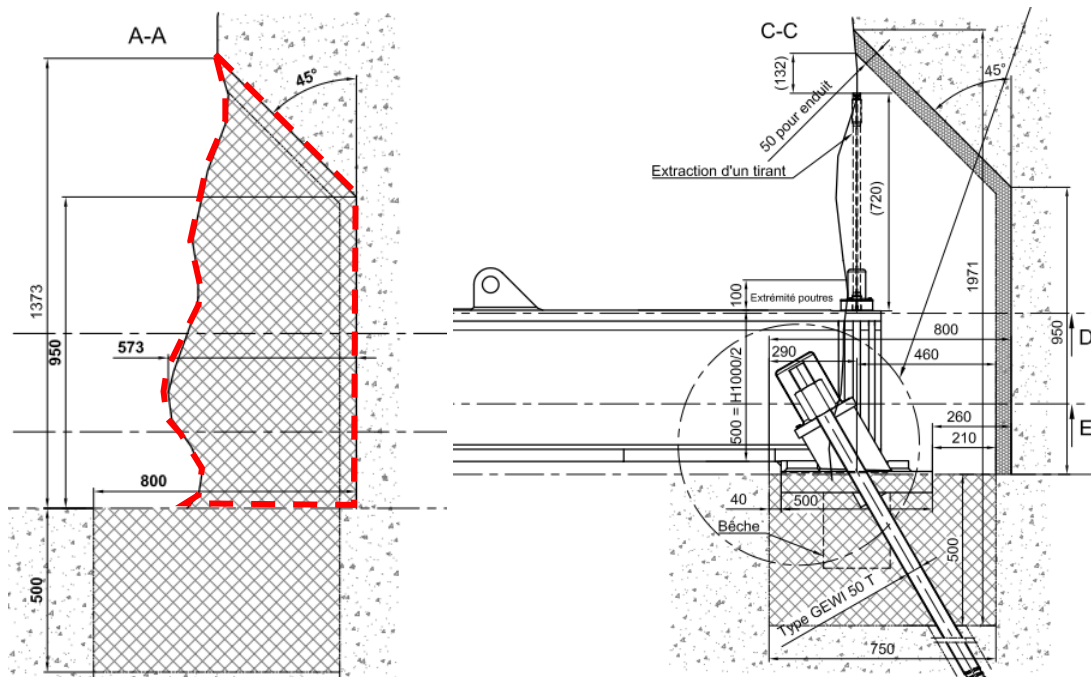
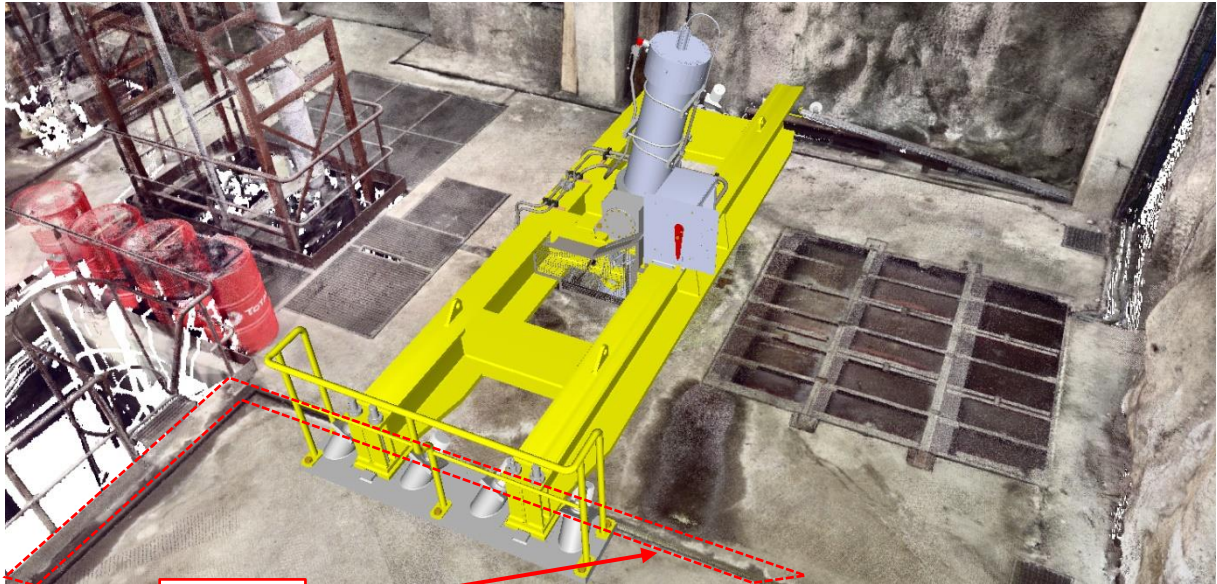


Figure 7: Vue en coupe de la paroi à décaisser (à gauche) et du montage final (à droite)

2.5. Gestion de l'évolution des problématiques au cours des études

La nouvelle conception empiète sur un caniveau des eaux de ruissellement existant qui, à l'origine, ne devait pas interférer avec le design initialement projeté. Aucune problématique particulière n'avait donc été considérée. Bien qu'aucun relevé de cotes n'ait été réalisé sur celui-ci, les premières itérations de conception ont rapidement fait ressortir une interférence potentielle. Les pièces ont donc pu être adaptées, sans nécessiter de nouvelle visite sur site. Le mode opératoire de scellement des pièces fixes a pu intégrer certaines dispositions spécifiques dès la phase étude afin de conserver l'usage du caniveau.



Caniveau

Figure 8: Illustration de la position du caniveau

2.6. Positionnement de l'axe du nouveau vérin

Le recollement des différentes stations de numérisation réalisées a permis de repositionner avec une précision de quelques mm la partie haute de ce local de manœuvre, accueillant le berceau du vérin, avec le dessous de la dalle, et donc l'emplacement de la vanne implantée à l'étage inférieur. Le conduit de vidange, situé sous la vanne fait également partie du modèle numérique, et les pièces fixes sont donc prises en considération.

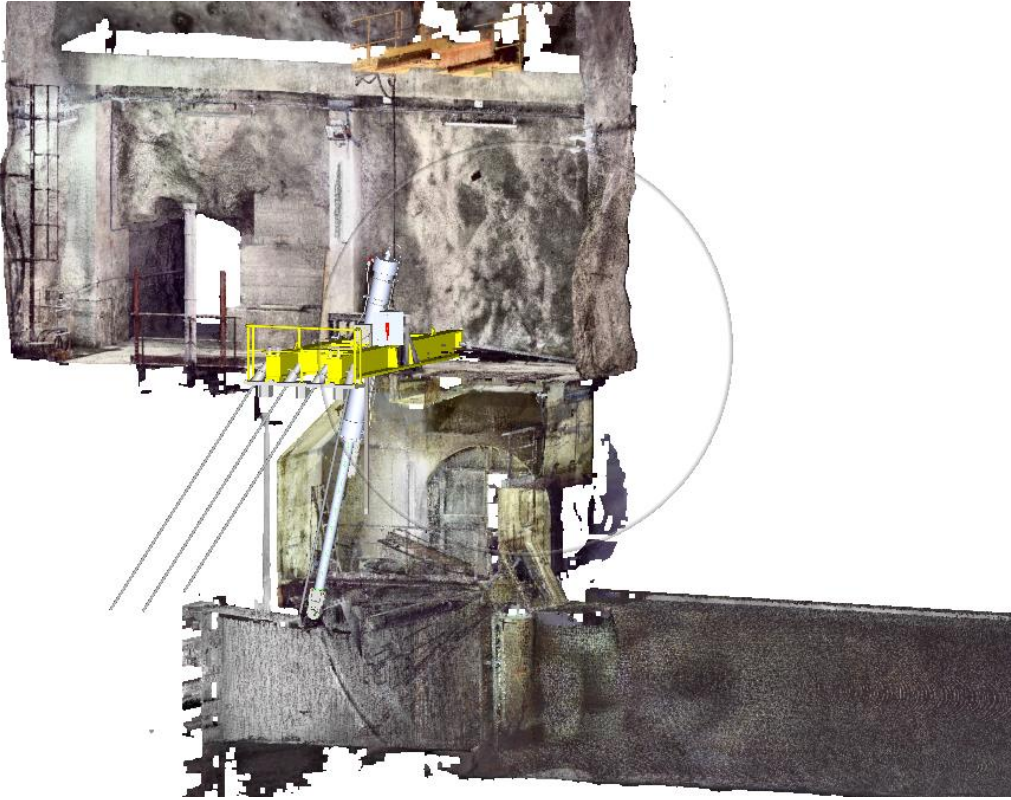


Figure 9 : Vue d'ensemble de la vidange

La vanne a été numérisée dans plusieurs positions d'ouverture, permettant ainsi de reconstituer avec précision son axe de rotation. L'analyse des relevés nous a révélé que cet axe n'est pas parfaitement horizontal. Une nouvelle position du vérin a par conséquent été définie, garantissant une cinématique optimum de fonctionnement de la vanne. Afin d'accroître la précision de mesure lors du réglage du vérin, nous avons couplé les relevés d'environnement avec des relevés au tracker laser.

Bien que des jeux de réglage et de fonctionnement soient systématiquement prévus dès la conception, cette méthodologie permet de s'approcher au plus juste de la position finale réelle des pièces à mettre en place. La réduction des jeux de fonctionnement et des calages conduit à réduire les coûts de fabrication et de montage, ainsi que les opérations de maintenance.

3. ET EN DEHORS DE GRAND'MAISON ?

L'utilisation de ces outils sur Grand'Maison n'illustre qu'un petit éventail du panel de possibilités qu'offrent les capacités de ces technologies de numérisation mobiles.

3.1. Numérisation de précision

Les trackers laser avec ou sans contact permettent d'assurer des campagnes de mesures rapides de grands ensembles avec une grande précision. Cette méthodologie permet des mesures répétables sans impact lié au changement d'opérateur ou de matériel de mesure. Ils permettent, par la mise en place de repères immuables sur site ou sur les pièces à contrôler, de réaliser des contrôles ou des suivis de contrôle sur plusieurs journées qu'elles soient consécutives ou non. Cette capacité génère une grande souplesse de contrôle en fonction des durées d'indisponibilité des matériels à inspecter. Ainsi, ces équipements, accompagnés d'opérateurs qualifiés à l'appréciation du besoin comme à l'analyse métrologique et fonctionnelle des relevés, sont de plus en plus demandés par les experts d'assurance lors de litiges industriels.

L'utilisation d'un scanner à main de grande précision (± 0.05 mm) couplés à un bras de mesure de métrologie nous permet de proposer le meilleur des 2 mondes de la numérisation, à savoir, la précision d'un tracker laser couplée à la numérisation par nuage de point d'un scanner d'environnement. Cette technologie reste toutefois plus limitée sur les très grands ensembles par la dimension de son rayon d'action moindre par comparaison aux capacités d'un tracker. Néanmoins, il est possible d'obtenir le meilleur des 2 mondes en couplant scanner à main et tracker. Par ailleurs, la quantité de données relevée est bien supérieure à celle d'un tracker ; la gestion informatique et le stockage des données réclame des outils plus performants.



Figure 10: Bras de mesure équipé d'un scanner à main

3.2. Rétroconception de pièces complexes

L'utilisation d'un scanner d'environnement permet de réaliser rapidement un jumeau numérique d'environnement complexes sans immobiliser outre mesure le matériel à contrôler. Cet appareil permet de réduire significativement la durée des relevés sur site et de s'affranchir d'un oubli ou d'une erreur de valeur de côtes. Il est toujours possible de compléter des mesures ultérieurement en bureau d'étude ou de réaliser des campagnes de numérisation complémentaires sur site. Un modèle CAO est alors réalisé sur la base du nuage de points avec les dimensions et les positions réelles des pièces.

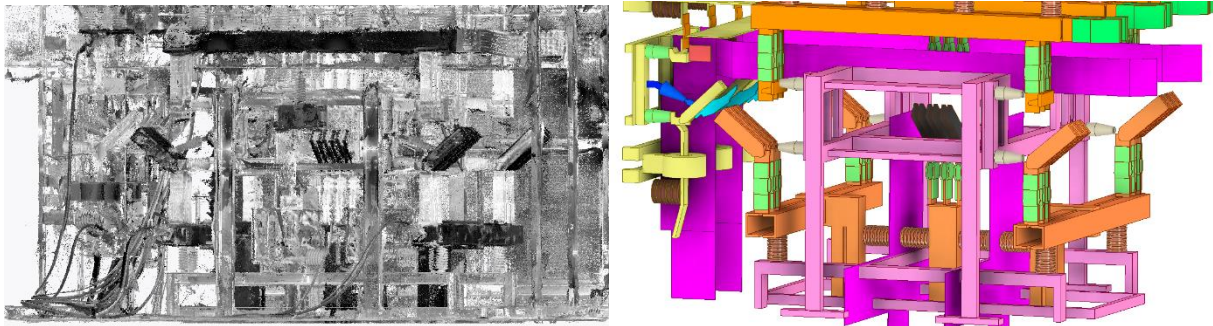


Figure 11: numérisation et modélisation succincte d'un sectionneur haute tension

La mise en œuvre d'un tracker laser sans contact ou d'un bras équipé d'un scanner de précision permet de réaliser la rétroconception de pièces au profil complexe ou gauche. Ainsi, il est possible de retrouver le profil de pales de groupe de production dont les plans n'auraient pas été fournis ou ne seraient plus disponibles.

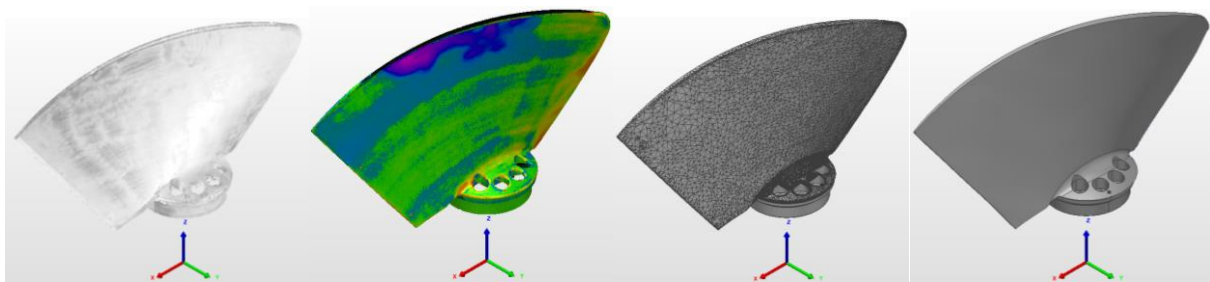


Figure 12: nuage de points/Cartographie des défauts/maillage/modèle CAO

3.3. Diagnostic

Le tracker sans contact permet de réaliser des cartographies de pièces déformées, cavités ou corrodées. Associé à des techniques comme le moulage de précision, il permet également d'identifier des épaisseurs résiduelles de structures non accessibles aux outils de mesures conventionnels ou aux contrôles non destructifs, pour un coût abordable.

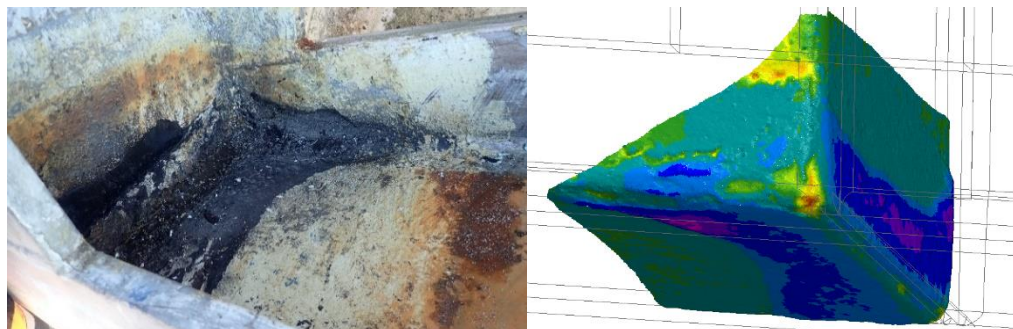


Figure 13: zone de rétention corrodée non contrôlable à l'US / cartographie tracker du moulage de la zone

Les trackers permettent également, en mode avec ou sans contact, d'exécuter des contrôles géométriques et dimensionnels de grands ensembles tels que des pièces fixes de vannes. Associées à l'acquisition des trajectoires et des comportements de vannes par des mesures dynamiques au tracker, ces données sont analysées pour déceler les défauts de comportements, les zones de coincement et de fuites. Il est donc possible de déterminer précisément les zones à meuler, recharger ou remplacer, même localement. Pour aller plus loin, il nous est possible d'intégrer ces éléments à des modèles numériques de calculs de structure pour prédire le comportement d'un équipement suivant sa sollicitation. Il est ainsi possible de modifier ou renforcer l'équipement dans sa configuration géométrique réelle.

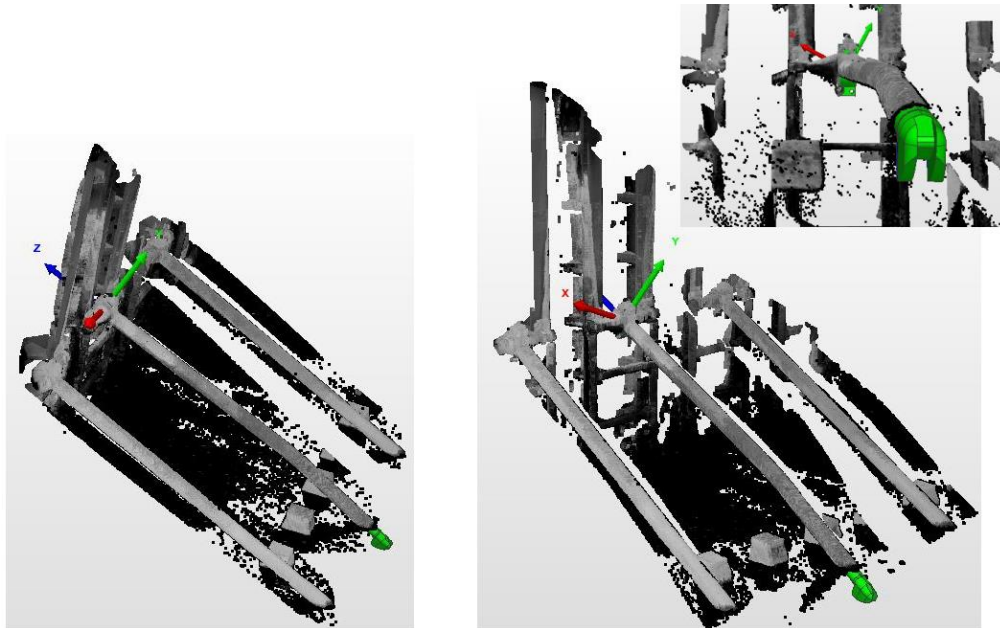


Figure 14 : Etude d'une béquille de hausse mobile déformée dans un calcul de structure sur la base d'une numérisation

3.4. Visites virtuelles, simulations, documentation BIM

Les scanners d'environnement ont la capacité de numériser rapidement des environnements étendus en couleur (300 m de rayon d'action sur une station de mesure) lorsque la luminosité le permet mais également de numériser en nuance de gris dans l'obscurité la plus totale. Ils sont de ce fait très adaptés à réaliser des visites virtuelles accessibles depuis n'importe quel ordinateur ou en immersion par l'intermédiaire de casques VR.

Ainsi, nous avons pu fournir des visites virtuelles dans le cas de la réfection de conduits d'amené de groupe de production immergés et en fonctionnement lors de la phase de consultation. La visite immersive à l'échelle 1 permet aux différents soumissionnaires de se rendre compte du véritable environnement de travail permettant ainsi d'optimiser sa proposition.

Il nous est également possible d'intégrer de la documentation technique directement dans les nuages. Ainsi, l'opérateur de maintenance n'a qu'à cliquer sur le matériel qui l'intéresse pour y trouver les schémas de câblage, les notices techniques ou encore les plans de maintenance.

Ces nuages de points sont également très adaptés à la simulation de la manutention de grandes pièces en atelier ou en usine. Il est possible de réaliser divers scénarii de cheminement et d'effectuer des études de détection d'interférence avec les équipements à demeure.

Nous utilisons ces jumeaux numériques de sites industriels pour préparer des chantiers en intégrant des bases vie, des zones de stockage et des zones de manutention tout en simulant les trajectoires de cheminement de convoi sur le site ou dans des tunnels ou cavernes.

3.5. Réglages

L'utilisation du tracker laser en suivi dynamique comme en mesure statique permet d'assurer des réglages de machines et de pièces rapidement et de manière active. Il est ainsi possible de suivre en dynamique des pièces lorsque l'opérateur mécanicien effectue son réglage. Il est également possible de mettre en place un afficheur numérique pour assister le régleur en affichant la distance résiduelle à parcourir jusqu'à la position finale de la pièce dans le repère souhaité par l'opérateur. Nous utilisons déjà ces méthodes pour la mise en place de pièces fixes de vannes, d'alignement d'arbre ou de réglage de portes busquées.

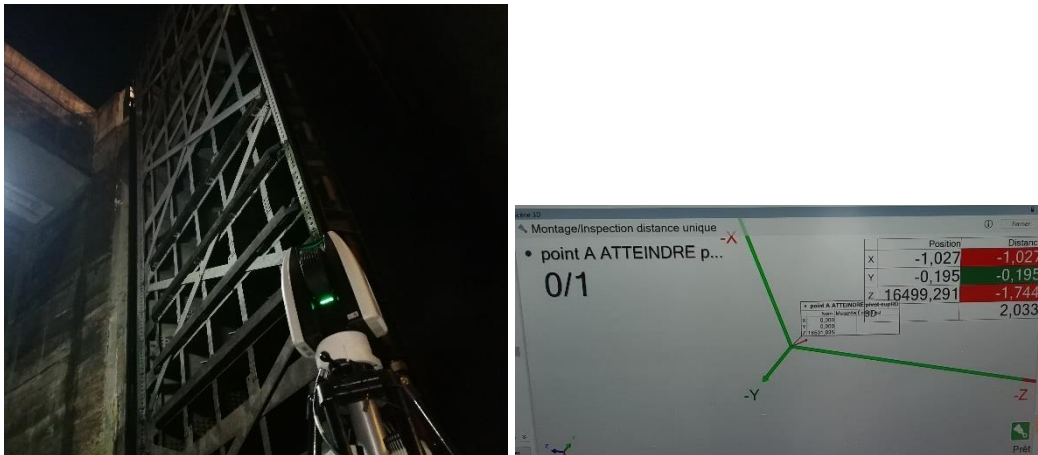


Figure 15: Réglage d'une porte busquée au tracker

3.6. Prise de cotes en sécurité

L'utilisation d'outillages de mesure grande distance sans contact permet, dans certaines configurations, de s'affranchir de moyens d'accès à risque tels que l'intervention sur cordes. La technologie assure la commodité ainsi qu'un gain en temps et indéniablement en sécurité.

Ces technologies permettent également de se prémunir du risque électrique. Nous avons pu numériser des transformateurs haute tension en fonctionnement en garantissant une précision de mesure de l'ordre de quelques millimètres sur le positionnement du transformateur à remplacer et la position de ses supports de tresses de cuivre.

Le tracker sans contact permet également de numériser à distance des pièces portées à très haute température sans perturbation des relevés.

REMERCIEMENTS

Nous tenions à remercier le Comité Français Barrage et Réservoir de nous donner l'opportunité de mettre en lumière ces technologies qui permettent de simplifier et fiabiliser les projets tout en développant de nouvelles approches et techniques d'études.

Le développement de cette activité et les investissements coûteux nécessaires ne sont possibles que via la confiance que nous accordent nos clients et particulièrement les grands acteurs de l'hydroélectricité. Ces derniers ont indéniablement permis la démocratisation de l'emploi de ces technologies et du savoir-faire associé qui est le nôtre aujourd'hui. Merci à tous ces acteurs de l'innovation.

RÉFÉRENCES ET CITATIONS

- [1] Fiche EDF Grand Maison juin 2010
- [2] Fascicule Hexagon_MI_Tracker_brochure_A4_fr_WEB
- [3] Fascicule Hexagon_MI_ATS600_Brochure_12pp_A4_EN
- [4] Fiche technique FARO Laser Scanner Focus MS