

## EXPERTISE SUBAQUATIQUE PAR ROV DES PIÈCES FIXES APPLIQUÉE AUX RAINURES DES VANNES AVAL

### *Underwater expertise by ROV of bulb-unit downstream gates fixed parts*

Sébastien GIGOT, Renaud BLANC  
CNR, 2 rue André Bonin - 69316 LYON CEDEX 04  
[s.gigot@cnr.tm.fr](mailto:s.gigot@cnr.tm.fr) ; [r.blanc@cnr.tm.fr](mailto:r.blanc@cnr.tm.fr)

#### MOTS CLEFS

Photogrammétrie, inspection subaquatique par ROV (véhicule sous-marin téléopéré), scan 3D, expertise technique

#### KEY WORDS

Photogrammetry, underwater inspection by ROV (Remotely Operated underwater Vehicle), 3D scanning, technical inspection

#### RÉSUMÉ

*Les évolutions du contexte d'intervention, les exigences en matière de sécurité, et les besoins de résultats probants imposent de développer des technologies innovantes et performantes dans le domaine de l'expertise subaquatique, notamment pour l'examen des organes de vantellerie immergés.*

*Pour mener à bien ces expertises, CNR a choisi de tester une méthodologie de mesures s'appuyant sur un système photogrammétrique sous-marin qui permet la reconstruction et la modélisation 3D. C'est un moyen de donner du relief et une profondeur à des images « plates ».*

*La photogrammétrie est une technique qui consiste à déterminer les volumes et les dimensions d'objets à partir de photographies. Cette technique s'obtient sous forme d'une multitude d'images en 3D prises selon différents points de vue afin d'obtenir une projection en relief de la zone scannée. Le drone est un outil qui nous permet de produire un grand volume de données 3D géoréférencées en peu de temps avec des possibilités de prises de vues complexes.*

*Pour présenter ces moyens, l'article illustrera les résultats de l'expertise des pièces fixes d'une rainure de vanne aval.*

#### ABSTRACT

*Changes in the context of intervention, safety requirements, and the need for convincing results require the development of innovative and efficient technologies in the field of underwater inspection, particularly for the examination of submerged dam gates.*

*To carry out these assessments, we chose to test a measurement methodology based on an underwater photogrammetric system which allows reconstruction and 3D modeling. It's a way to give depth to "flat" images.*

*Photogrammetry is a technique which consists of determining the volumes and dimensions of objects from pictures. This technique is carried out in the form of a multitude of 3D images from different points of view in order to finally obtain a relief projection of the scanned area. The drone is a tool that allows us to produce a large volume of georeferenced 3D data in a short time with complex shooting possibilities.*

*To present these means, the article will illustrate the results of the expertise of the embedded parts of a downstream gate.*

## 1. INTRODUCTION

CNR souhaite approfondir sa connaissance technique sur l'état des pièces fixes des vannes aval de ses usines. Ces vannes manœuvrent régulièrement afin de réguler ou de couper le débit transitant dans les pertuis des groupes de production hydroélectrique (figure 1).

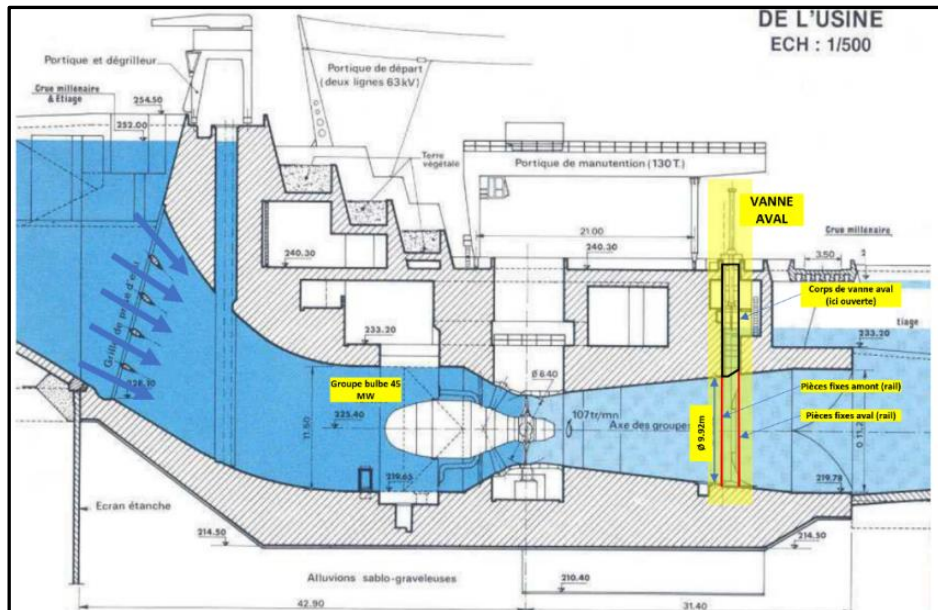


Figure 1: Vue en coupe du bloc de l'usine de Chautagne

Les vannes aval de cette usine sont constituées de caissons empilés (figure 2) d'une largeur d'environ 11m et d'épaisseur d'environ 0,8m. Ces structures montées sur galets de roulement, roulent sur des rails verticaux aval permettant à la vanne de descendre (gravitairement) pour réguler/couper le débit et de monter (par l'intermédiaire de deux vérins).



Figure 2: Vanne aval extraites de ces rainures

Deux rails amont et aval permettent le guidage et le roulement de la vanne aval dans sa rainure (figure 3). Ces deux rainures sont larges de 800 mm environ (distance entre les deux plans de roulement amont/aval). Une pièce fixe métallique au seuil relie les deux pertuis rive droite et rive gauche des rails de la vanne.

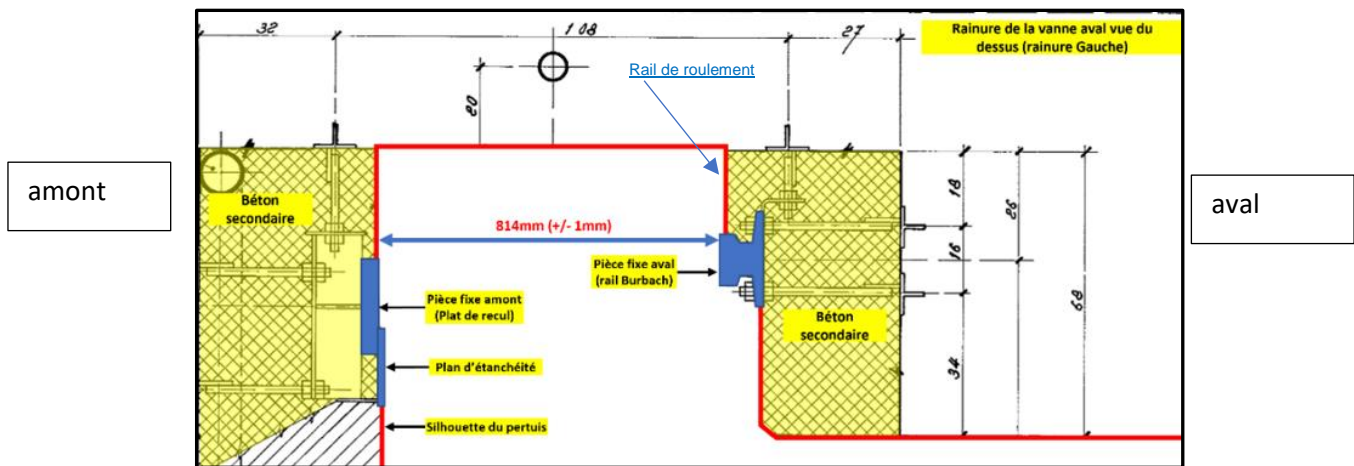


Figure 3 : Détail d'une rainure (vue de dessus)

## 2. PRESENTATION DU CONTEXTE ET DESCRIPTION DU PROJET

Dans le cadre de ses missions, la CNR doit assurer une disponibilité maximale des vannes aval sur le Rhône et la maîtrise de la connaissance de leur état de vieillissement.

Dans ce contexte, la CNR a lancé un programme d'expertise et de rénovation des vannes aval pour faire suite aux évènements d'exploitation récemment observés et analysés.

Le but de la démarche est d'uniformiser et de fiabiliser les méthodes de relevés des usures des pièces fixes pour :

- Renforcer la connaissance de l'état de dégradation des rainures et des pièces fixes (rails) des vannes aval pour modéliser et analyser le vieillissement des pièces fixes,
- Limiter la sollicitation de plongeurs (sécurité),
- Optimiser la durée d'expertise (Intervenir sans démontage des vannes pour limiter les pertes de production).

Sur les aménagements du Rhône, ces rainures et pièces fixes aval ne sont généralement pas isolables du bief aval (absence de rainure à batardeau aval), ce qui rend difficile leur accès, leur contrôle et leur maintenance.

## 3. LES DIFFERENTES TECHNIQUES D'EXPERTISES SUBAQUATIQUES

### 3.1.Synthèse des techniques

Classiquement il existe 2 techniques pour les inspections subaquatiques :

1. L'expertise menée par une équipe de plongeurs équipés d'un gabarit de mesure et d'une caméra avec enregistrement vidéo.
2. L'expertise menée par un ROV équipé pour la plupart de caméra acoustique couleur haute définition avec enregistrement vidéo.

Autres techniques :

3. L'expertise menée par un système embarqué monté sur un cadre de mesure fixe mixant procédés d'acquisition de la donnée et nécessitant le démontage complet de la vanne ainsi que la mise à sec des rainures. (Voir tableau1)

méthode 1 visite plongeurs + fil à plomb	méthode 2 visite plongeurs + gabarits de mesure	méthode 3 cadre de mesure système Canadien Wirescan laser	méthode 4 cadre de mesure GE (palpeur+laser)	méthode 5 inspection ROV + relevé laser	méthode 6 inspection ROV + camera acoustique	méthode 7 inspection ROV + photogrammétrie
--	--	--	---	---	---	--

Tableau 1: Synthèse des techniques

Hormis les techniques de positionnement ou de localisation, deux points particuliers restent en commun à toutes :

- La méthode reste sensible à la turbidité de l'eau qu'elle soit naturelle ou provoquée
- Un champ de vision réduit du fait de la nécessité de se maintenir à proximité des points à inspecter pour garantir une qualité d'image suffisante.

### 3.2. Avantages et inconvénients des 2 méthodes :

Méthode par plongeur	Méthode par ROV
Possibilité de nettoyer/brosser les rails avant inspection	Possibilité de passer un ROV Karcher avant inspection
Nécessite une logistique importante (container bureau, compresseur, tenues, bouteilles d'oxygène, périmètre d'intervention balisé, ...)	Peu de logistique si ce n'est la potence pour mise à l'eau et l'enrouleur des câbles ainsi que le bureau (peut être laissé dans le camion ou déposé au plus près du lieu d'inspection)
Nécessite une équipe de 4 personnes minimum : 3 plongeurs ayant droit à 1h de plongée par jour + 1 chef de chantier coordonnateur	Nécessite une équipe de 2 personnes, un pilote de ROV qui fait l'acquisition et un assistant logistique
Visibilité caméra faible et instable	Visibilité caméra et photogrammétrique nette et stable
Le chef de chantier doit coordonner les équipes qui assistent le plongeur, le plongeur, l'alimentation au plongeur via sa machine, observer l'écran de contrôle et noter les prises de mesure du rail	Le pilote du ROV contrôle 2 moniteur, un retour d'image en live et un retour SLAM d'acquisition du nuage de point. La prise de mesure est entièrement automatisée et enregistrée
Fiabilité et précision des mesures laisser au libre court du plongeur qui n'a pas de pied à coulisse et qui doit palper le rail avec des gants néoprène de 4mm	Fiabilité de la mesure au dixième de mm. Mesure factuel et sans subjectivité
Complicé de communiquer avec le plongeur pour lui faire comprendre via le talkie les points à filmer/mesurer en live.	Pilotage du robot aisée et sans complication particulière
Problème pour se repérer dans l'espace et notamment savoir où sont l'amont et l'aval	Visualisation dans l'espace en temps réel
Risque humain important avec le plongeur	Aucun risque humain
Coût environ 6k€	Coût environ 11k€
Aucune possibilité d'analyse post plongée au bureau par un sachant	Possibilité d'analyse et de post-traitement pour analyse fine et simulation de passage de gabarits
Risque de défaillance mécanique faible	Risque de défaillance mécanique modéré
Sensible aux remous et courants	Sensible aux remous et courant
Préparation de chantier et repli longs	Préparation de chantier et repli rapide
Rapport d'analyse peu imagé et consistant	Rapport d'analyse étayé avec image et prise de côte
Nécessite installation d'une mire pour connaître la profondeur	Le ROV identifie sa profondeur en temps réel
Pas besoin de calibration d'outil de mesure	Nécessite une calibration du capteur Photogrammétrique (30min)
Pas de possibilité de recoller les deux rainures entres elles pour une prise de géométrie de l'ensemble du cadre	Possible de recoller les deux rainures entre elles par l'acquisition de la casquette et du seuil afin de recomposer l'ensemble du cadre de la vanne

Tableau 2: Avantages et inconvénients des méthodes par plongeurs ou par ROV photogrammétrique

Notre choix s'est orienté vers l'expertise par ROV<sup>1</sup> subaquatique et acquisition par photogrammétrie permettant une modélisation 3D des usures afin de :

- Construire un modèle de vieillissement de l'usure des pièces fixes
- Développer un outil d'aide à la décision pour mieux prioriser les opérations de maintenance à partir des dégradations observées (cinétique et vitesse de dégradation).

Pour les inspections des organes de vantellerie, nous avons besoin d'une méthodologie fiable qui permet l'examen en détail des composants, des rainures et l'état des revêtements.

Dans ce cadre d'application, les mini-ROV permettent de :

- Accéder à des zones d'accès restreint
- Offrir une bonne manœuvrabilité pour obtenir une bonne qualité d'image
- Apporter la précision des défauts que nous souhaitons mettre en évidence
- Réduire considérablement le temps d'indisponibilité du groupe de production (Intervention sans démontage de la vanne)

### 3.3. La Photogrammétrie - Principe selon réf. [1]

Le principe général de la photogrammétrie est basé sur la perception humaine du relief par observation stéréoscopique. Lorsque nous observons un objet, deux images différentes se forment sur la rétine de chacun de nos yeux. C'est ensuite notre cerveau qui, par réflexe oculaire de convergence accommodation, traite les deux images pour voir l'objet en relief.

Cette méthode permet une reconstitution 3D des images pour mettre en évidence les défauts structurels.



### 3.4. Prise de vue

Les relevés sont réalisés groupe à l'arrêt à l'aide d'un robot sous-marin ROV (figure 4) d'observation opérable jusqu'à 500 m de profondeur et qui est manœuvrable dans toutes les directions. Il est piloté par un opérateur en surface depuis une console de pilotage équipée d'écrans permettant la visualisation en temps réel des images vidéo et acoustique ainsi que des informations des capteurs embarqués.

Le ROV est équipé de 2 caméras full HD orientables, de dispositifs d'éclairage commandés à distance et des capteurs suivants :

- Une centrale inertielle
- Un profondimètre (capteur de pression) permettant de maintenir le ROV à une profondeur donnée
- Un système de photogrammétrie IVM HYDRO 300 qui permet la reconstruction 3D de structures subaquatiques.

Le retour image en temps réel permet de s'assurer de la bonne couverture de la zone d'investigation et de la qualité des données.

### 3.5. Exemples de systèmes – présentation du système HYDRO 300 selon réf. [2]

HYDRO 300<sup>2</sup> est un système photogrammétrique sous-marin qui permet la reconstruction 3D des structures et paysages marins. L'objectif est de produire un modèle 3D haute résolution, avec une précision submillimétrique.

<sup>1</sup> : ROV véhicule sous-marin téléopéré (ou ROV, pour remotely operated underwater vehicle)

<sup>2</sup> : Modèle HYDRO300 d'IVM Technologies avec éclairages intégrés



Figure 4: ROV mini TORTUGA intégrant HYDRO 300



Figure 5: Unité d'Acquisition: HYDRO 300

## 4. RESULTATS

L'objectif est de reproduire un modèle 3D haute résolution pouvant être utilisé de différentes manières. Les données acquises permettent d'obtenir un modèle 3D grâce à l'utilisation de deux caméras haute résolution synchronisées et téléopérées intégrées sur le ROV. Cette résolution permet une précision élevée permettant de réaliser un contrôle dimensionnel millimétrique.

### 4.1. Traitement des données

Un premier traitement des données permet un recollement des nuages de points et est réalisé par la société qui réalise le relevé. Ce traitement est ici réalisé avec le logiciel Metashap (AGISOFT) et l'extension IVM Technologies (fabricant du capteur photogrammétrique)

Les différentes étapes et objectifs de ce premier traitement sont :

- Alignement des images
- Mise à l'échelle et orientation du modèle
- Construction du nuage de points denses

A titre d'exemple voici quelques caractéristiques des données créées sur une acquisition de deux rainures de vanne aval :

- Nombre de photos : 14 448
- Nombre de points éparses : 24 114 740
- Nombre de points densifiés : 284 367 202
- Résolution du modèle : 0,138 mm/pix

#### 4.2. Définition et modélisation du référentiel

Pour l'ensemble des mesures demandées, les différents plans seront constitués de sorte que leurs 3 axes de direction x, y et z soient définis comme tels :

- Axe x : Selon le sens amont-aval
- Axe y : Selon le sens Rive droite – rive gauche
- Axe z : Vertical

Il est nécessaire d'utiliser des repères existants fixes pour permettre de caler les référentiels et les origines des mesures au fur et à mesure des acquisitions. Les référentiels devront toujours être les mêmes.

#### 4.3. Applications

Illustrations des résultats de l'expertise des pièces d'une rainure de vanne aval.

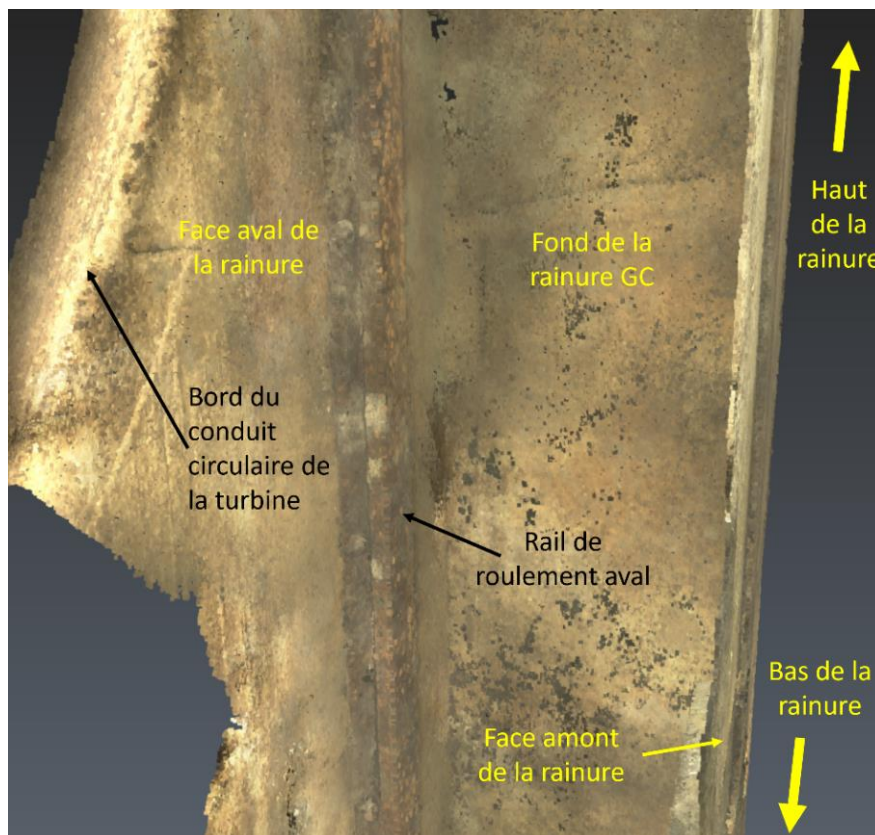


Figure 6: Modélisation 3D brute du rail de roulement aval (pièce fixe) dans sa rainure

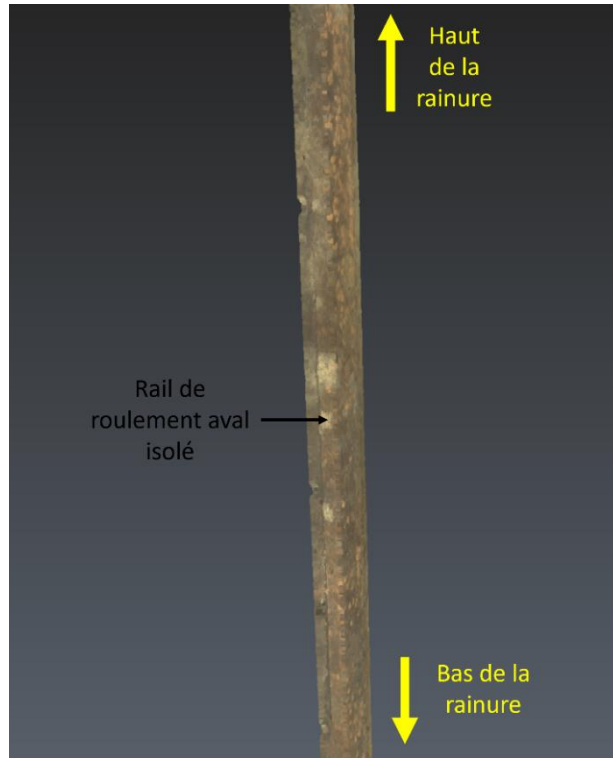


Figure 7: Rail3D brut et isolé

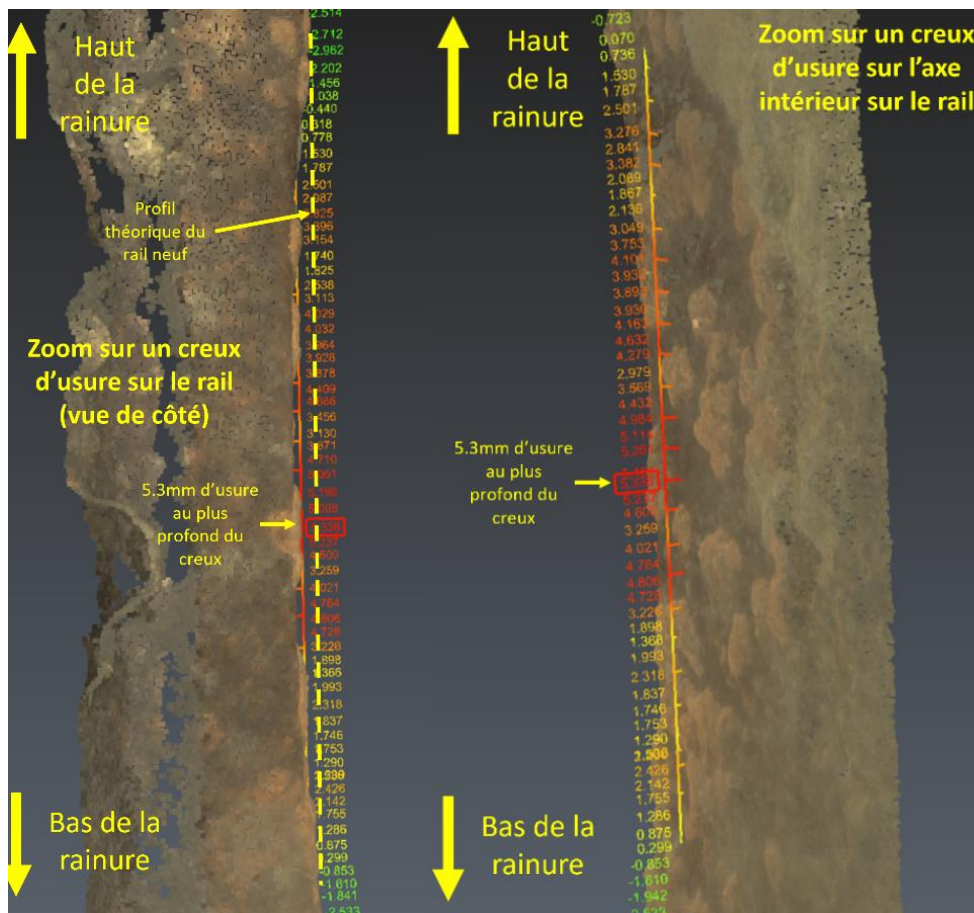


Figure 8 et 9 : Prise de côtes sur un défaut structural par rapport au profil théorique (phénomène creux/bosse)



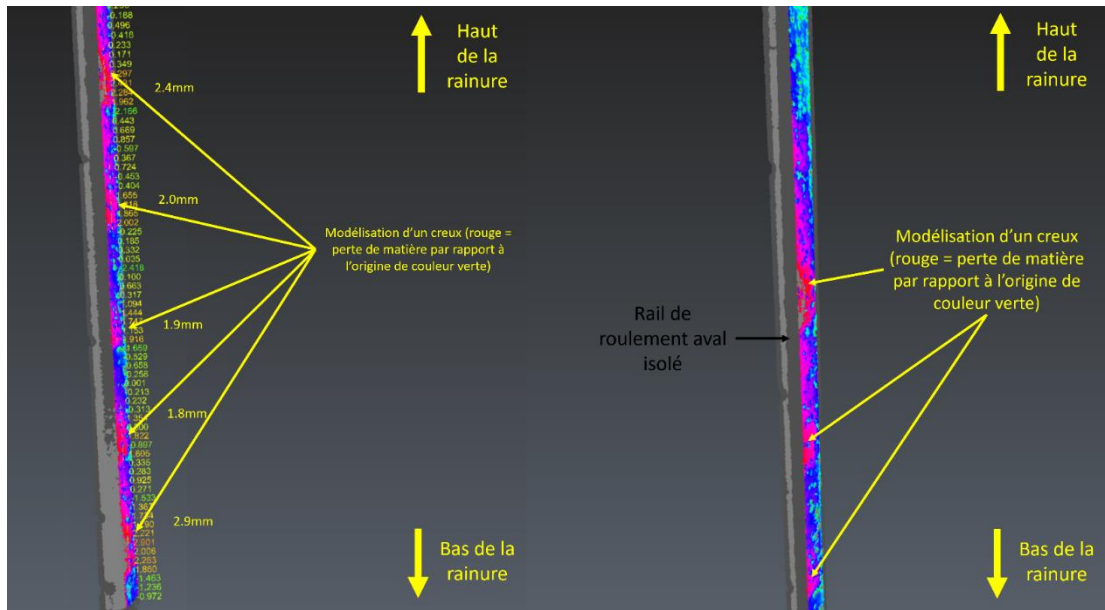


Figure 9 Modélisation du profil du rail par rapport au profil théorique (vert = profil théorique, dégradation vers le rouge = perte de matière)

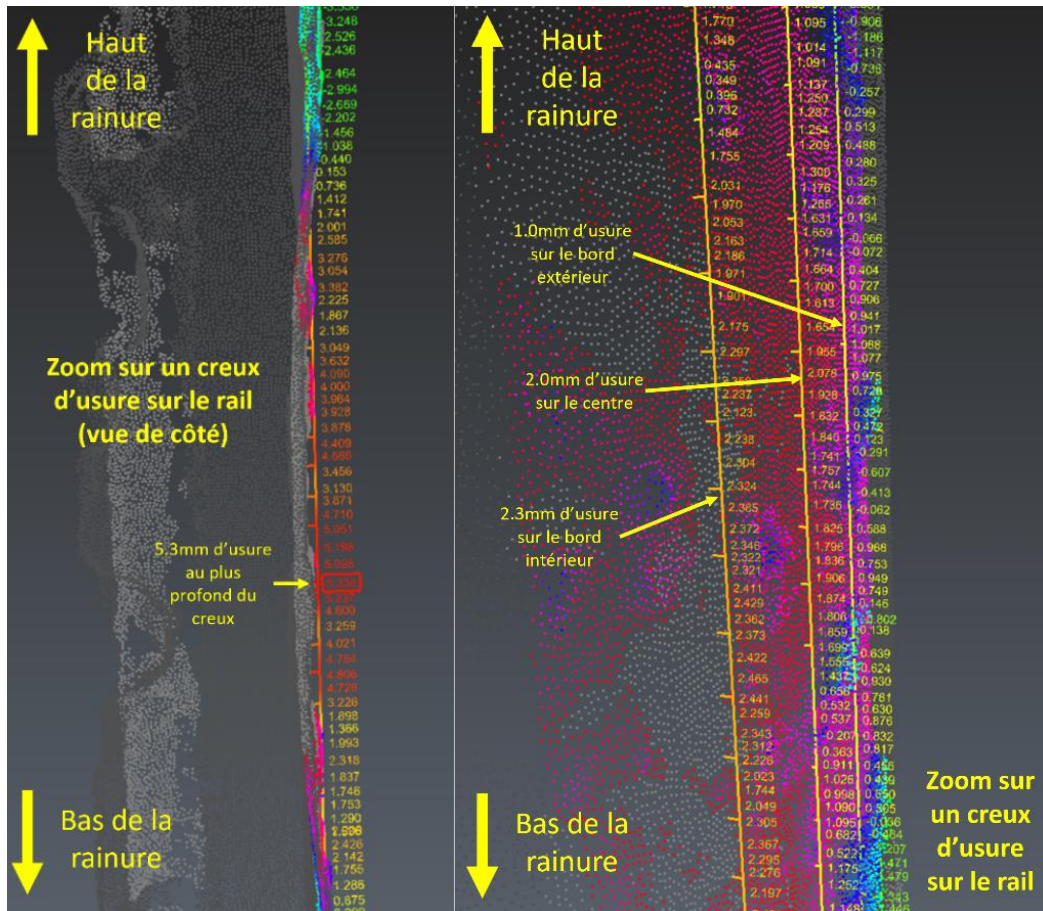


Figure 10 Prise de côtes détaillée sur un phénomène creux/bosse et à différents endroits du rail de roulement



#### 4.4. Autres cas d'applications

D'autres cas d'application subaquatiques sont à l'étude notamment pour mener des expertises sur la géométrie des distributeurs, des turbines mais aussi des éléments structurels de génie-civil.

Déploiement envisageable	
Vannes aval	Réalisé (G1 PR + G2 CE)
Distributeur (directrices)	A planifier
Pales et roue	A planifier
Pied de vanne barrage (bordé immergé à l'aval)	A planifier
Radier des barrages	A planifier
Grilles d'entrée d'eau amont	A planifier
Pertuis des vannes amont (coupure et sécurité)	Réalisé (G6 VA)
Pièces fixes des portes d'écluses	A planifier

Tableau 3: Autres cas d'applications

## 5. CONCLUSION

Cette publication présente une méthode innovante pour l'inspection des rails de vanne aval. La méthode utilise un ROV équipé d'une caméra photogrammétrique. Les images sont ensuite traitées à l'aide d'un logiciel de photogrammétrie pour reconstituer un modèle 3D des rails et une analyse précise des défauts observés.

Les nombreux essais réalisés nous permettent de valider les points suivants :

- Permettre La répétabilité du système de mesures pour pouvoir établir des modèles de vieillissement.
- Limiter le risque lié aux plongeurs :
  - Réduction de l'exposition au risque de travail (travail confiné, réduction du nombre d'intervenants, diminution du risque de blessure, ...)
- Diminuer le temps d'installation de chantier et d'intervention
  - Optimisation de la logistique et des temps d'intervention (flexibilité)
- Effectuer par des experts une analyse de données fiables, factuelles et mesurables en bureau
- Obtention d'une précision submillimétrique et d'une qualité élevée des relevés (images et construction du profil)
- Agilité et adaptabilité du système en fonction du contexte d'intervention

La photogrammétrie par ROV subaquatique est une technique rapide et sûre pour l'inspection des rails de vanne aval. Cette technique est capable de détecter des défauts sur les rails, tels que des zones de corrosion, d'usures et des déformations structurelles.

Nous avons choisi de présenter cette technologie d'investigation subaquatique afin de montrer que des méthodes innovantes peuvent être mise en œuvre pour optimiser et améliorer nos expertises. La photogrammétrie par drone est un secteur d'activité très large qui comprend de nombreux domaines dont la modélisation 3D.

## 6. PERSPECTIVES ET DEVELOPPEMENT

Nous avons présenté au travers de cette publication les premiers résultats de la modélisation 3D des usures des pièces fixes de vanne aval.

Les axes d'amélioration en cours de réflexion sont :

- L'industrialisation de la méthode et le déploiement sur l'ensemble des rainures des vannes aval de notre parc.
- L'établissement de la loi de vieillissement des pièces fixes par rapport à l'âge effectif des vannes (solicitation).
- La fiabilisation de la connaissance de l'état de santé des pièces fixes des vannes aval.
- Optimiser la définition de la résolution minimale acceptable pour alléger la quantité des données générées et à traiter.
- Réflexion sur la programmation des rapports d'analyse automatisés.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions Damien CHARDARD et Bastien DUBEGNY de l'entreprise SUBSEA TECH pour leur assistance dans le déploiement de la méthodologie et du matériel.

Nous remercions également Amir SHIRZADI et Benjamin GIRARD de l'entreprise SPARTE pour leur assistance dans les post-traitements des données 3D brutes recueillies.

## REFERENCES

[1] Etat de l'art imagerie subaquatique - Rapport d'étude Ref : ST-RAP-22061-042 Version : B, SUBSEA TECH - Marine and Underwater Technologies- Web: [www.subsea-tech.com](http://www.subsea-tech.com)

[2] HYDRO 300 User manual