

PROJET SURVHY – ANALYSE DES EFFORTS DE MANŒUVRE DES VANNES

SURVHY Project – Analysis of gate operating forces

Alain PRIGENT

EDF-DTG, 134 chemin de l'étang - 38950 Saint-Martin le Vinoux

alain.prigent@edf.fr

MOTS CLEFS

Vanne ; Mesures d'effort et de position ; Analyse de la manœuvrabilité

KEY WORDS

Gate; lift force monitoring; operability; gate operating forces

RÉSUMÉ

EDF Hydro envisage de surveiller en continu le fonctionnement de certaines vannes de barrage en s'appuyant sur des moyens qualifiés de mesures et d'acquisitions, des systèmes télécom et un outil informatique de traitement de l'information.

La particularité de ce programme de surveillance du fonctionnement des vannes est d'associer des mesures simples d'exploitation avec des mesures plus évoluées à l'occasion des manœuvres des vannes, le tout sur de longues périodes d'exploitation.

Les gains attendus concernent les domaines :

De la sûreté (fiabilisation du fonctionnement, meilleure connaissance des conditions réelles d'utilisation) ;

De la maintenance (détection précoce des dysfonctionnements et des dégradations, d'éventuelles dérives, aide à la décision sur la périodicité et le périmètre des programmes de maintenance) ;

De l'amélioration/fiabilisation des prescriptions pour l'approvisionnement d'équipements neufs.

L'objectif de cet article est de présenter l'état d'avancement des expérimentations et réflexions sur ce programme à EDF Hydro.

ABSTRACT

EDF Hydro plans to continuously monitor the operation of certain dam gates by using qualified means of measurement and acquisition, telecom systems and data processing tool.

The originality of this gate monitoring program is to combine simple operating measures with more advanced measures during gate operations over long operating periods.

The main expected benefits concern:

Safety (improved reliability of operation, better knowledge of actual operating conditions);

Maintenance (early detection of dysfunction and damage, possible deviations, assistance in deciding on the frequency and scope of maintenance programs);

Improved/reliability requirements for the supply of new equipment.

The objective of this paper is to present the experiments in progress and the current thinking on this subject at EDF Hydro.

1. INTRODUCTION

La surveillance des vannes et de leur fonctionnement à EDF Hydro est majoritairement réalisée lors des maintenances courantes (annuelles et décennales) et des essais périodiques.

Toutefois, les remontées d'information sur les conditions réelles de fonctionnement des vannes de barrage en exploitation courante sont peu nombreuses et encore peu exploitées. Les essais de fonctionnement qui sont plus documentés sont généralement faits sur des manœuvres partielles en charge et/ou sur des manœuvres complètes hors d'eau ou en eau morte lorsque ces manœuvres ne peuvent pas être réalisées en charge pour des contraintes de maîtrise des débits à l'aval des barrages.

Afin de compléter et d'élever le niveau de connaissance sur les vannes de barrage, EDF Hydro a mis en place le projet SURVHY (SURveillance des Vannes de l'HYdraulique). Ce projet a pour objectifs de définir les dispositifs de surveillance les plus adaptés ainsi que les paramètres à surveiller afin de détecter des précurseurs d'éventuels dysfonctionnements. Le projet a également pour ambition d'aider à choisir les capteurs les plus adaptés ainsi que de développer les outils informatiques nécessaires au traitement en masse des données collectées.

2. MODES DE DEFAILLANCE - DYSFONCTIONNEMENTS - CAPTEURS - ENREGISTREUR

Les modes de défaillance redoutés pour les vannes servant d'évacuateurs de crues (EVC) sont les suivants :

- La rupture de l'obturateur ou de la vanne
- La non-ouverture ou la non-fermeture
- L'ouverture ou la fermeture intempestive

Si la rupture d'un obturateur ou d'une vanne dépend surtout de son état structurel, les non-ouvertures et les non-fermetures relèvent de la capacité des vannes et de leur motorisation à assurer les manœuvres et le maintien en position en toutes circonstances.

L'analyse des dysfonctionnements capitalisés lors des EDD Barrage de première génération montre que la perte de manoeuvrabilité des vannes de barrage (EVC), à l'ouverture comme à la fermeture, représente 75% des dysfonctionnements totaux, auxquels on peut rajouter les ruptures de chaîne cinématique (9%) ou d'éléments de guidage (2%) qui immobilisent également les vannes (Figure 1).

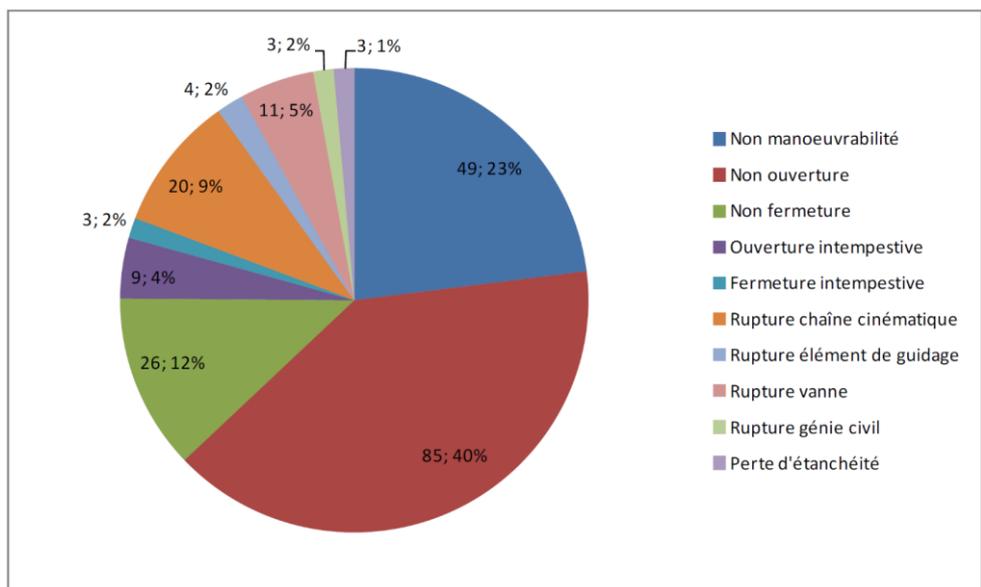


Figure 1 : Dysfonctionnements des vannes relevés lors des EDD Barrage

Sur la base des dysfonctionnements capitalisés pour les vannes EVC il a été évalué que 58% de ces événements auraient été détectés par une surveillance et que 46% d'entre eux auraient pu être détectés avant leur apparition.

Les paramètres à surveiller dans le cas de ces dysfonctionnements sont principalement les efforts de manœuvre et la position de la vanne.

Le Projet SURVHY a donc pris en compte les résultats de cette analyse, qui confirme les intuitions initiales, pour orienter des expérimentations sur deux aménagements avec l'enregistrement des efforts de manœuvre et de la position de vannes abaissantes (Figure 2) qui assurent des évacuations de crues ainsi que de la régulation de plan d'eau (aménagements au fil de l'eau).



Figure 2 : Exemple de vannes EVC doubles concernée par l'expérimentation
Vanne supérieure abaissante de type wagon et vanne inférieure Stoney

Sur le premier aménagement, les axes dynamométriques des protections de surcharge et de sous-charge sont utilisés pour la mesure d'effort. Sur le second aménagement, des capteurs de couple sans fil (télécouplemètre) ont été installés (Figure 3).

La position des vannes est récupérée sur les capteurs qui équipent toutes les vannes EVC à EDF Hydro.



Télécouplemètre



Axe dynamométrique

Figure 3 : Exemple de capteurs d'effort pour des vannes manœuvrées par treuil et chaîne Galle

L'enregistrement des paramètres est réalisé par des enregistreurs-perturbographes de marque Yokogawa (GX20) qui n'enregistrent que lorsque la vanne est en mouvement. Une mémoire tampon permet d'enregistrer 30 secondes avant le début de la manœuvre et les enregistrements durent 10 minutes à une fréquence de 8 Hz, 10 Hz ou 40 Hz en fonction du modèle et de la configuration.

Les paramètres enregistrés sont les efforts de manœuvre rive droite (RD) et rive gauche (RG), ainsi que les positions de la vanne RD et/ou RG.

Sur les deux sites pilotes, le rapatriement des données enregistrées est effectué via le système sécurisé PIDSA développé par EDF-DTG qui fonctionne avec un routeur 3G/4G, donc indépendamment des réseaux disponibles dans les usines hydroélectriques.

Le stockage des données est réalisé sur l'infrastructure de serveurs FTP disponible à EDF-DTG.

3. TRAITEMENT DES DONNEES ENREGISTREES

Très vite, le nombre élevé d'enregistrements a fait que l'analyse des données ne pouvait pas être réalisée avec les logiciels habituellement utilisés pour le dépouillement des essais ponctuels.

En effet, ce sont plusieurs milliers d'ordres de manœuvre au pas annuel qui sont donnés aux vannes pour assurer principalement la régulation du plan d'eau, donc autant d'enregistrements. Il faut aussi ajouter les nombreuses manœuvres nécessaires au passage des crues qui peuvent durer plusieurs jours.

Pour les vannes EVC, qui ne font quasiment jamais d'ouverture complète en exploitation, et jamais en une seule manœuvre, une concaténation d'un grand nombre de petites manœuvres est nécessaire pour reconstituer des grandes ouvertures, les enregistrements se faisant sur plusieurs jours ou semaines avec beaucoup d'allers-retours.

Les enregistrements comportent en général une manœuvre de quelques dizaines de secondes et parfois deux manœuvres ou plus, si plusieurs ordres sont donnés dans les 10 minutes (Figure 4).

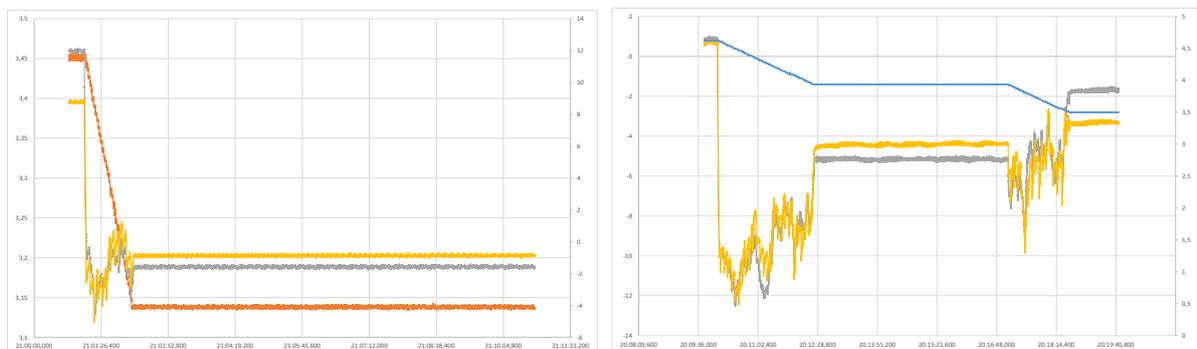


Figure 4 : Exemples d'enregistrements d'un perturbographe avec une et deux manœuvres – Une position et deux efforts
 Position de la vanne : Courbes rouges et bleues
 Efforts de manœuvre : Courbes jaunes et grises

Pour limiter la quantité de données aux seules phases de manœuvre, les enregistrements sont nettoyés puis concaténés (Figure 5). A 40 Hz, cette journée d'enregistrements représente environ 115 000 points de mesures au lieu de près d'un million pour les fichiers sources.



Figure 5 : Exemples de concaténation de 45 manœuvres sur un peu plus d'une journée (graphique excel)
Position de la vanne abaissante (donnée capteur en m) en fonction du temps
À 4,6 m la vanne est fermée, à 0 m la vanne est ouverte à 100%

Pour réaliser ces traitements de données, en plus des calculs et des représentations graphiques qui suivent, un démonstrateur sous la forme d'une web-application (webapp) a été développée.

4. POSSIBILITE DE SURVEILLANCE

Les développements réalisés dans la webapp (vue de l'outil informatique en Figure 6) permettent de mettre en forme et de visualiser les données enregistrées par l'intermédiaires des onglets suivants :

- Les caractéristiques de la ou des vannes puisqu'il est possible de modéliser les vannes inférieure et supérieure d'une même passe ;
- Les visualisations temporelles ;
- Les visualisations XY permettant de s'affranchir du temps ;
- Les visualisations XY sur plusieurs périodes ;
- Les visualisations XY de plusieurs vannes identiques d'un même barrage ;
- Les tableaux de synthèse du fonctionnement d'une vanne.

Visualisation XY ou graphique XY : Type de graphique utilisé pour visualiser la relation entre deux ensembles de données indépendamment du temps. Ici il s'agit principalement de visualiser les efforts de manœuvre en fonction de la position de la vanne.

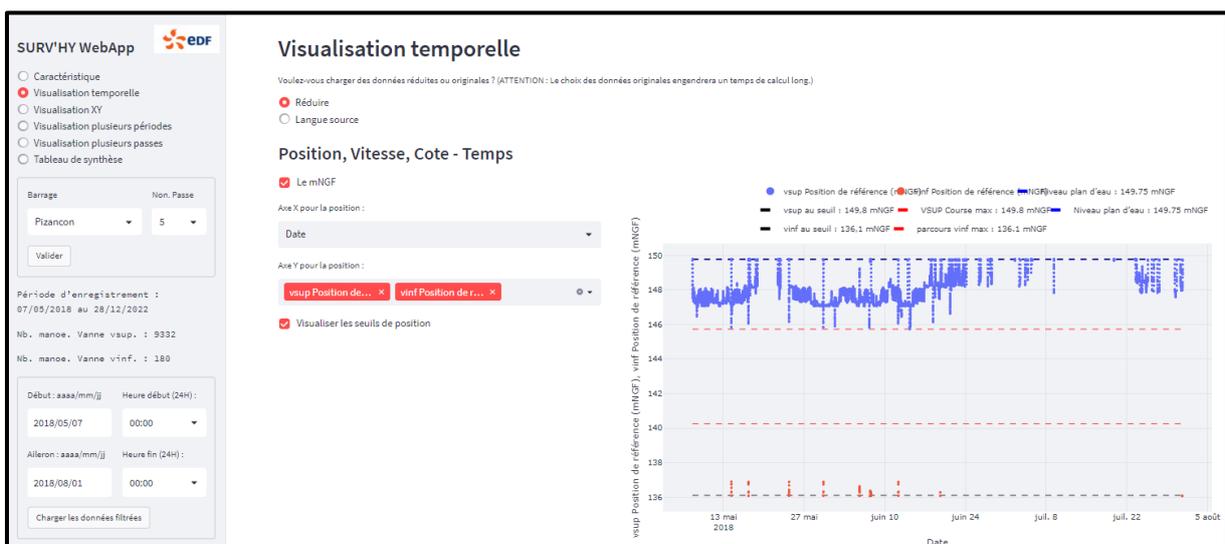


Figure 6 : Webapp – Position des vannes inférieure et supérieure en visualisation temporelle
Courbe bleue : Position de la vanne supérieure calée sur la cote altimétrique du site (mNGF.O)
Courbe rouge : Position de la vanne inférieure calée sur la cote altimétrique du site (mNGF.O)

4.1. Visualisation temporelle

La visualisation temporelle permet d'afficher toutes les données enregistrées, telles que la position ou les efforts de manœuvres (Figure 7), ce qui permet notamment de visualiser les manœuvres effectuées par une vanne sur une longue période (Figure 6). Les données calculées sont également disponibles telles que la vitesse de manœuvre (Figure 8). Cet indicateur est plus facile à utiliser que le temps de manœuvre dans le cas des vannes EVC des barrages qui ne font pas de manœuvre sur la course complète.

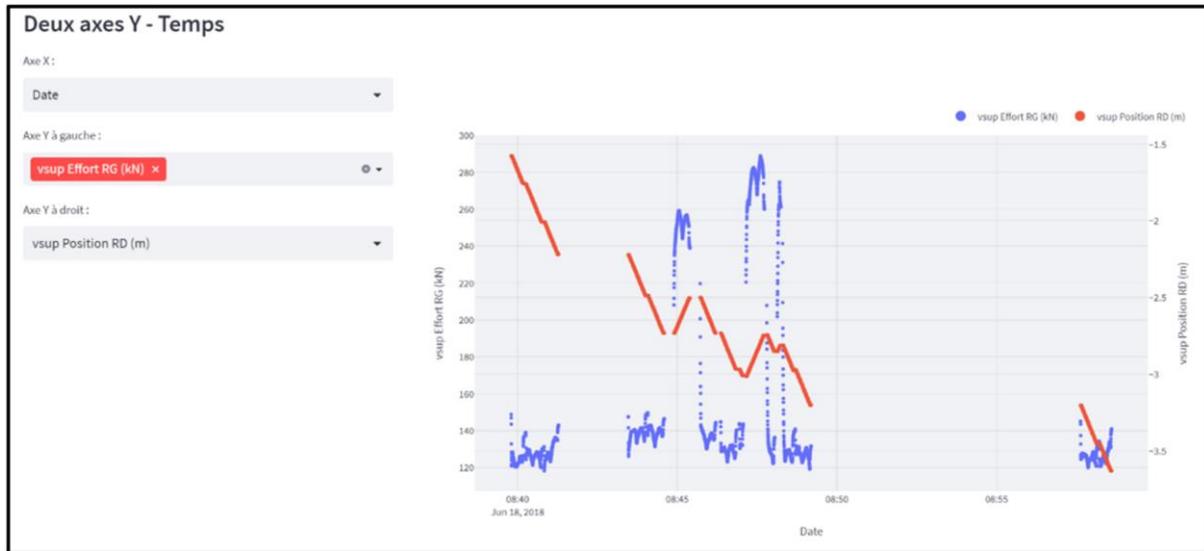


Figure 7 : Webapp – Position et effort de manœuvre d'une vanne supérieure en visualisation temporelle
 Position de la vanne (m) : Courbe rouge
 Effort de manœuvre RG (kN) : Courbe bleue



Figure 8 : Webapp – Vitesse de manœuvre en temporel
 Courbe bleue : Vitesse de manœuvre à l'ouverture
 Courbe rouge : Vitesse de manœuvre à la fermeture

4.2. Visualisation XY

La visualisation XY est bien plus riche en informations et offre plus de possibilité de calculs.

Lorsque la visualisation temporelle devient illisible par la densité des informations et qu'on ne parvient plus à analyser les « pics d'effort » (Figure 9), la visualisation XY permet d'organiser les données et de mettre en évidence l'absence d'anomalie et la répétabilité des efforts de manœuvre (Figure 10).

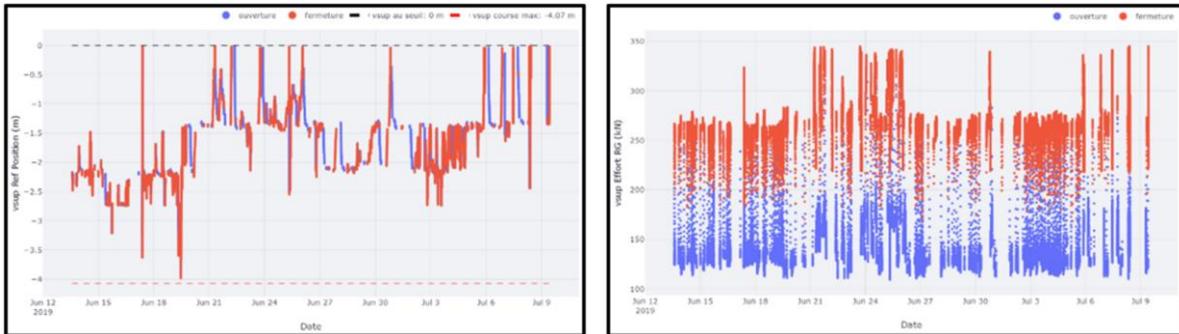


Figure 9 : Webapp – Visualisation temporelle de la position de la vanne et de l'effort de manœuvre sur un mois en crue

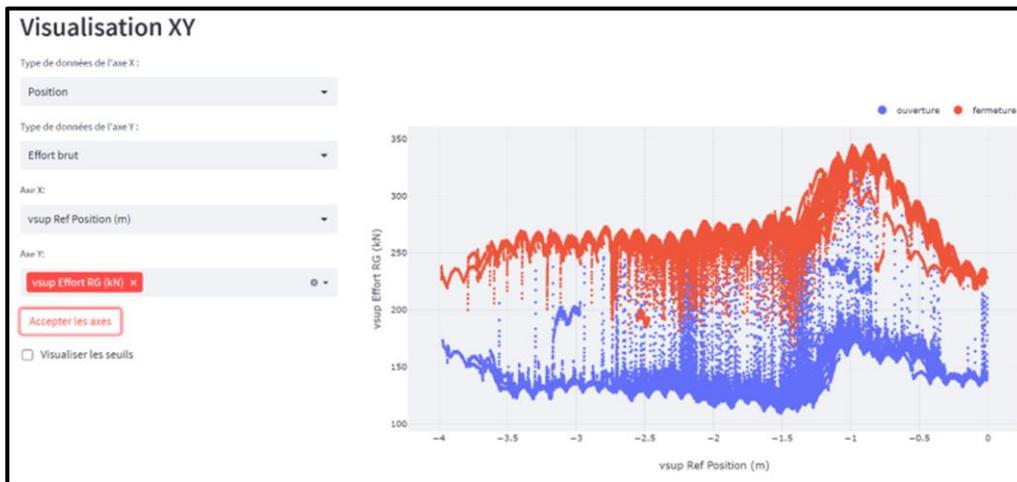


Figure 10 : Webapp – Visualisation XY d'un effort de manœuvre en fonction de la position de la vanne

Pour améliorer la lisibilité des graphiques XY et limiter l'effet « nuage de points », les courbes d'effort à l'ouverture et à la fermeture peuvent être « moyennées » sur la période considérée (les moyennes mobiles sont calculées sur un pas d'ouverture de 10 mm). La représentation graphique conserve néanmoins les enveloppes min et max des efforts, à l'ouverture comme à la fermeture.

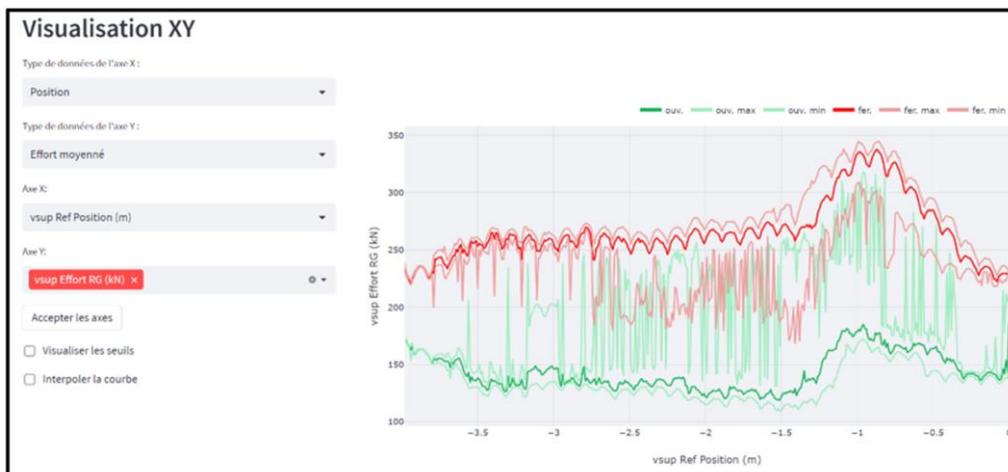


Figure 11 : Webapp – Visualisation XY d'un effort de manœuvre moyenné en fonction de la position de la vanne

Remarque : Les oscillations d’effort que l’on voit apparaître sur les visualisations XY, très répétées, sont intrinsèques au treuil à chaîne Galle (effets des dentures des pignons d’entraînement) et sont ici normales.

À partir des efforts moyennés à l’ouverture et à la fermeture, il est possible de calculer les efforts résistants (frottements) et les efforts hydrodynamiques qui sont deux composants importants de l’effort de manœuvre, tout comme le poids apparent de la vanne et la poussée hydrostatique verticale.

L’effort résistant à la manœuvre est calculé en prenant la moitié de la différence entre les courbes d’ouverture et de fermeture sur toute la course de la vanne (Figure 12).

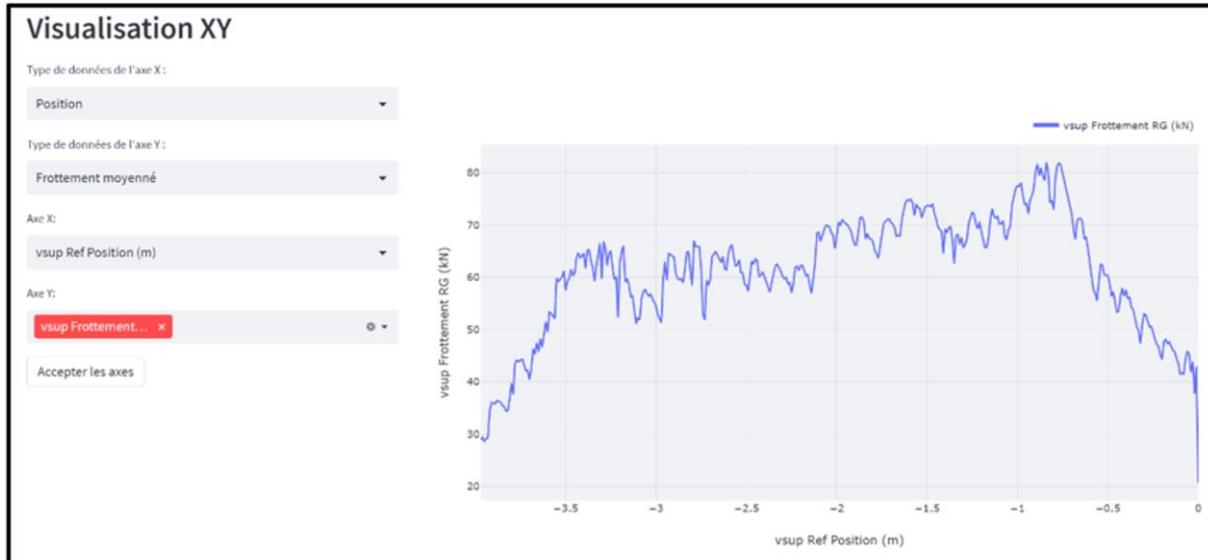


Figure 12 : Webapp – Visualisation XY de l’effort résistant en fonction de la position de la vanne

L’effort hydrodynamique (dont l’orientation peut-être vers le haut ou le bas, suivant les charges d’eau, les profils des déversoirs, la position de la vanne, etc.) est calculé en prenant la moyenne des courbes d’ouverture et de fermeture à laquelle on soustrait le poids de la vanne. Lorsque la vanne est fermée (aucun écoulement en surverse ou en sousverse), l’effort hydrodynamique est à zéro et la moyenne entre les efforts en début d’ouverture et de fin de fermeture donne le « poids apparent de la vanne ».

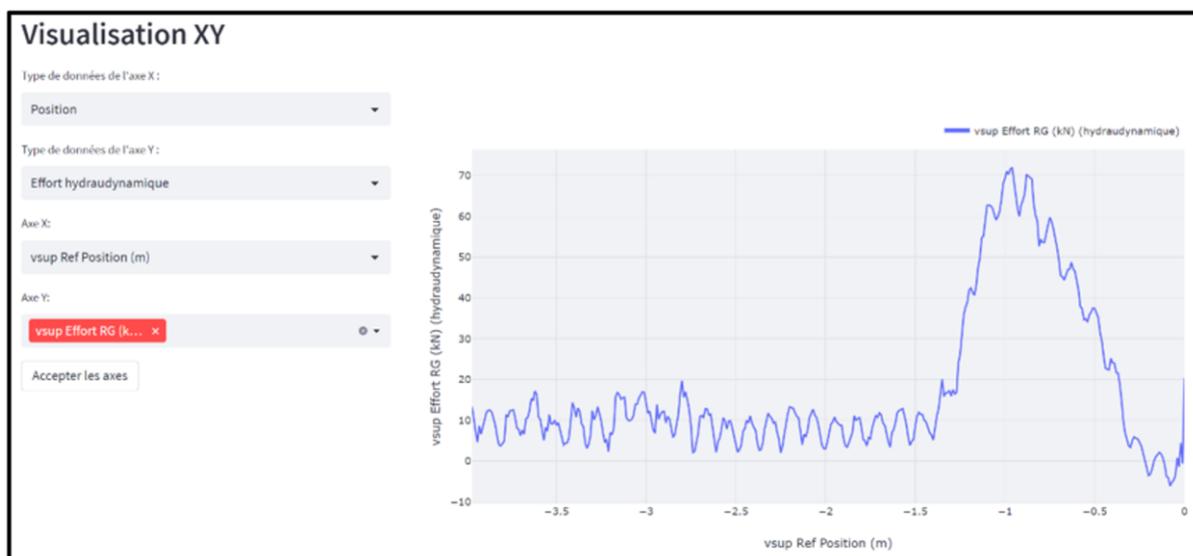


Figure 13 : Webapp – Visualisation XY des efforts hydrodynamiques en fonction de la position de la vanne

4.3. Visualisation de plusieurs périodes

La visualisation de plusieurs périodes permet de comparer graphiquement le fonctionnement d'une vanne sur 2 à 4 périodes, ce qui permet notamment de constater :

- L'évolution des efforts sur plusieurs années (Figure 14 – Enregistrements sur quatre années consécutives entre 2018 et 2022) ;
- Les effets saisonniers (Figure 15 – Comparaison des efforts en juillet-août avec ceux du mois de décembre montrant une augmentation des efforts résistants en période hivernale, les efforts hydrodynamiques restant inchangés) ;
- La comparaison des efforts de manœuvre avant et après des travaux.

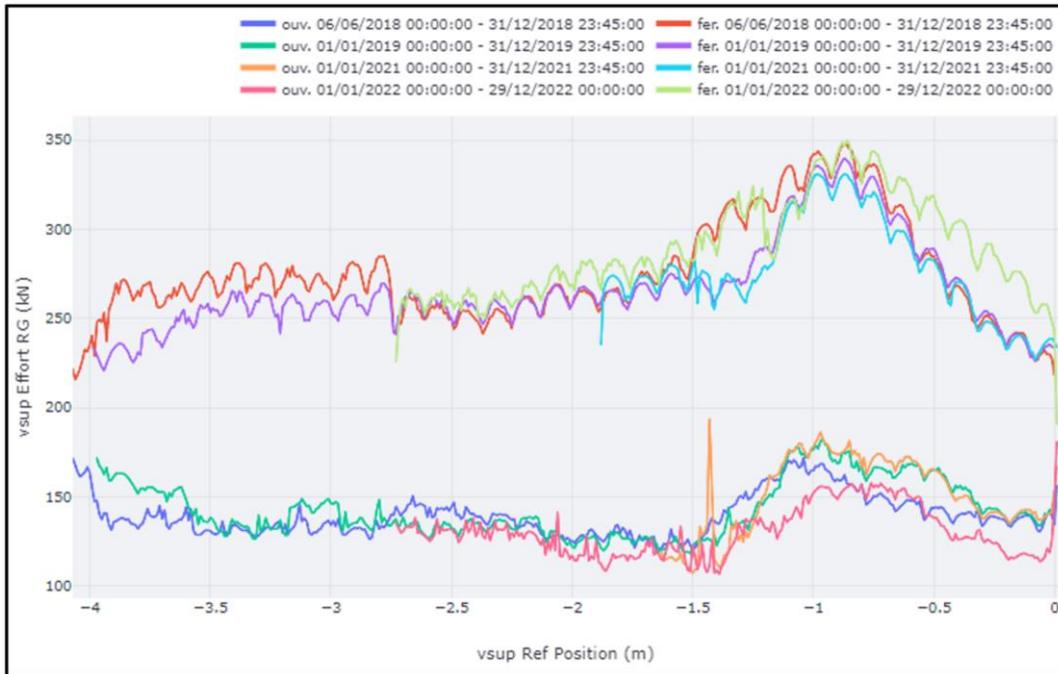


Figure 14 : Webapp – Visualisation XY des efforts moyennés avec une courbe par année

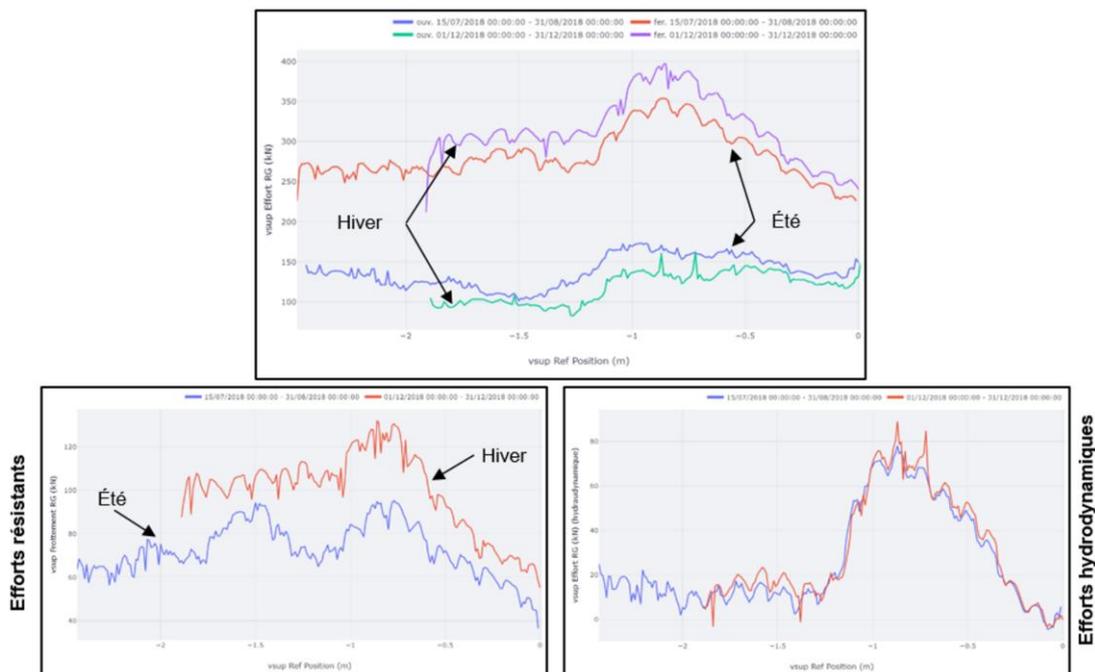


Figure 15 : Webapp – Visualisation XY - Variations saisonnières

4.4. Visualisation de plusieurs vannes

La visualisation de plusieurs vannes permet de comparer le fonctionnement des vannes identiques sur un même barrage (Figure 16 – On note quelques décalages sur les courbes d'ouverture et de fermeture et sur les efforts résistants. Les efforts hydrodynamiques sont similaires).

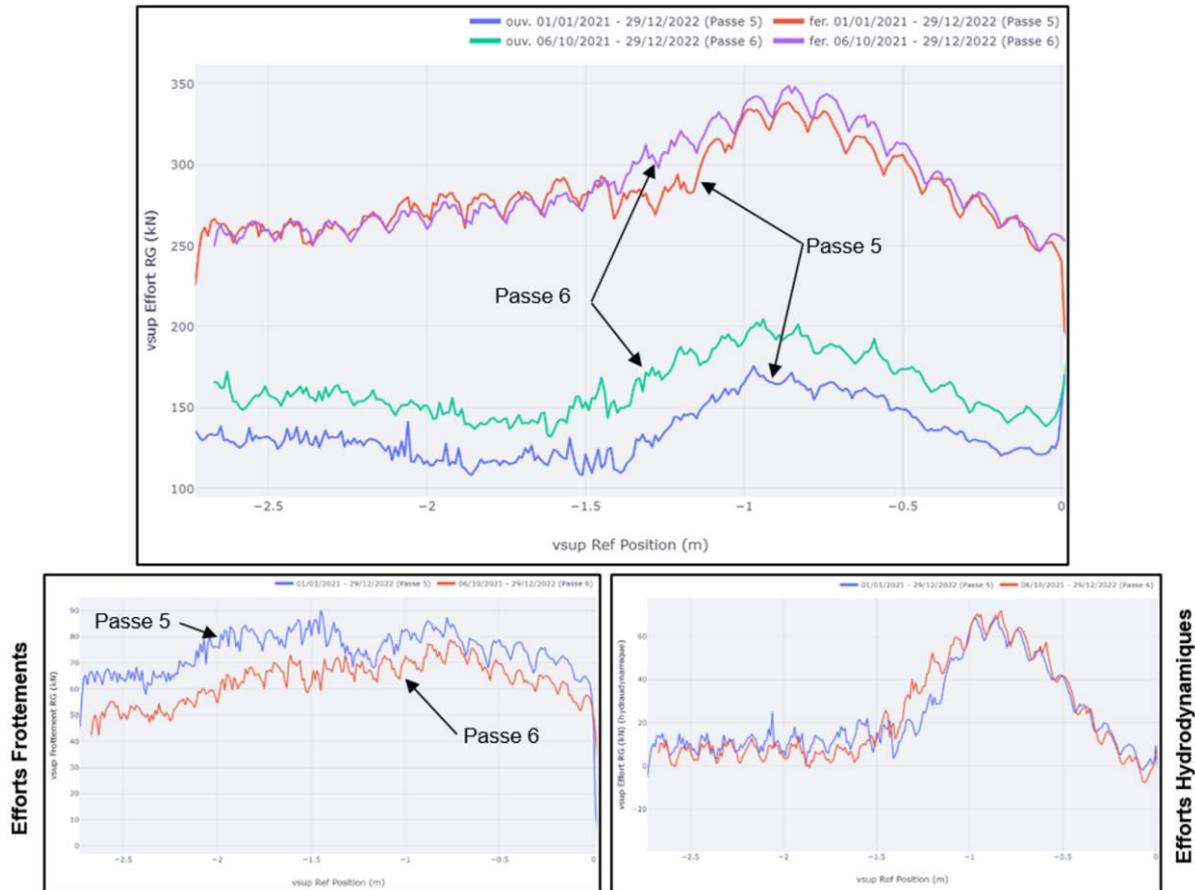


Figure 16 : Webapp – Visualisation XY – Comparaison de deux vannes

4.5. Tableaux de synthèse

Les différentes courbes présentées ci-dessus permettent de visualiser graphiquement le comportement des vannes. Pour objectiver le fonctionnement des vannes, la webapp permet la restitution de données chiffrées dans des tableaux (Possibilité d'export vers un tableur).

On peut ainsi connaître par an (Figure 17) ou par mois (Figure 18) le nombre de manœuvres, la distance parcourue par la vanne, le temps de fonctionnement, les vitesses moyennes à l'ouverture comme à la fermeture, les ouvertures maximales enregistrées, les efforts min et max à l'ouverture et à la fermeture, etc.

Type de données	2018	2019	2021	2022
vsup Nb de manœuvres [sum]	6342	2101	298	591
vsup Vit de manœuvres ouverture (mm/s) [moy]	-8,06	-8,18	-8,15	-8,24
vsup Vit de manœuvres fermeture (mm/s) [moy]	7,91	7,87	7,99	7,98
vsup Effort RG (kN) [min]	12	100	105	91
vsup Effort RG (kN) [max]	399	364	346	366
vsup Effort RD (kN) [min]	15	119	118	21
vsup Effort RD (kN) [max]	353	330	319	340
vsup Frottement RG (kN) [max]	131	106	94	100
vsup Frottement RD (kN) [max]	131	106	94	100

Figure 17 : Webapp – Tableau de synthèse par année

Type de donnees	2018-05	2018-06	2018-07	2018-08	2018-09	2018-10	2018-11	2018-12	Synthèse annuelle
vsup Duree de fonctionnement (h:m:s) [sum]	08:46:30	14:34:47	02:15:08	01:30:34	00:13:45	00:39:31	00:00:23	00:27:18	28:27:55
vsup Nb de manoeuvres total [sum]	2129	3230	486	268	44	108	2	75	6342
vsup Nb de manoeuvres ouverture [sum]	1085	1607	228	136	21	52	1	38	3168
vsup Nb de manoeuvres fermeture [sum]	1044	1623	258	132	23	56	1	37	3174
vsup Dist parcourue totale (m) [sum]	219,17	370,35	57,62	39,72	5,94	17,55	0,15	11,88	722,38
vsup Dist parcourue ouverture (m) [sum]	-111,88	-185,49	-28,87	-19,85	-3,11	-8,82	-0,07	-5,76	-363,85
vsup Dist parcourue fermeture (m) [sum]	107,29	184,86	28,74	19,87	2,83	8,72	0,07	6,12	358,50
vsup Vit de manoeuvres ouverture (mm/s) [moy]	-8,02	-8,09	-8,14	-8,18	-8,22	-8,23	-7,68	-7,92	-8,06
vsup Vit de manoeuvres fermeture (mm/s) [moy]	7,83	7,88	7,85	7,98	7,89	7,99	7,87	7,98	7,91
vsup Ouverture max (m) abs [max]	3,98	4,07	2,22	2,48	1,29	1,28	0,07	1,91	4,07
vsup Effort RG (kN) [min]	12	17	93	94	104	96	21	79	12
vsup Effort RD (kN) [min]	15	16	112	110	123	107	21	92	15
vsup Effort RG (kN) [max]	67	360	361	363	367	388	22	399	399
vsup Effort RD (kN) [max]	59	353	326	329	331	342	21	352	353
vsup Effort RG (kN) ouv [min]	12	17	93	94	104	96	21	79	12
vsup Effort RD (kN) ouv [min]	15	16	112	110	123	107	21	92	15
vsup Effort RG (kN) ouv [max]	56	323	322	283	263	329	21	333	333
vsup Effort RD (kN) ouv [max]	49	316	287	261	254	287	21	287	316
vsup Effort RG (kN) fer [min]	24	29	178	173	218	180	21	182	21
vsup Effort RD (kN) fer [min]	26	24	196	193	214	196	21	201	21
vsup Effort RG (kN) fer [max]	67	360	361	363	367	388	22	399	399
vsup Effort RD (kN) fer [max]	59	353	326	329	331	342	21	352	353
vsup Effort RG (kN) ouv [moy]	20	129	140	140	152	137	21	123	108
vsup Effort RD (kN) ouv [moy]	22	153	152	152	162	149	21	134	118
vsup Effort RG (kN) fer [moy]	48	253	282	288	283	309	21	313	225
vsup Effort RD (kN) fer [moy]	43	252	265	268	265	283	21	287	211
vsup Frottement RG (kN) [max]	19	91	93	96	91	119	0	131	131
vsup Frottement RD (kN) [max]	19	91	93	96	91	119	0	131	131

Figure 18 : Webapp – Tableau de synthèse par mois sur une année

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le travail réalisé dans le cadre du projet SURVHY sur les paramètres de surveillance, les capteurs, les enregistreurs, les outils de dépouillement permet aujourd'hui de disposer d'outils pour mener à bien les diagnostics de fonctionnement des vannes à partir d'enregistrements réalisés sur de longues périodes sur les vannes qui le nécessitent. Une partie de la valeur ajoutée de la surveillance réside dans la possibilité offerte de renforcer les mesures sur tel ou tel équipement.

Les fonctionnalités de dépouillement développées dans la webapp dédiée répondent aux besoins de l'ingénierie qui ne trouvait pas de solution dans les logiciels du commerce pour effectuer certaines analyses et notamment pour traiter les enregistrements réalisés sur des longues périodes en exploitation courante. Cette webapp nous donne notamment accès à des informations qu'il était jusqu'à présent difficile, voire impossible d'obtenir à partir d'un tableur ou des logiciels de dépouillement du commerce avec des données disponibles en masse, comme les efforts résistants et les efforts hydrodynamiques en fonction de la position de la vanne ou même tout simplement le nombre de manoeuvres. Les effets saisonniers et les éventuelles dérives peuvent également désormais être plus facilement quantifiés.

Le traitement de toutes les manoeuvres d'une vanne en exploitation courante sur une période apporte beaucoup plus d'informations que ce qu'il est possible d'obtenir sur des essais ponctuels. Pour les évacuateurs de crues, les enregistrements en exploitation courante permettent notamment de mieux évaluer le comportement des vannes lors des manoeuvres d'exploitation (régulation du plan d'eau, chasse, évacuation des corps flottant...) ou lors des passages de crues.

La comparaison de mesures réalisées avec des perturbographes enregistrant sur une fréquence comprise entre 8 Hz et 40 Hz avec des données qui remontent à 1 Hz dans le système d'acquisition en exploitation d'EDF Hydro montre qu'en première approche, une fréquence élevée n'est généralement pas nécessaire pour la surveillance, le facteur limitant étant plutôt la précision des capteurs. Toutefois, à l'heure actuelle, peu nombreuses sont les vannes équipées de capteur d'effort, encore moins celles raccordées au système d'acquisition en exploitation.

Lorsque les capteurs de position et d'effort (protections) sont mis en place sur un remplacement ou une rénovation de vanne, le raccordement au système d'acquisition en exploitation d'EDF Hydro permet, à moindre coût, de suivre les débuts de fonctionnement en exploitation de la vanne (en complément des essais de qualification) et si nécessaire de mettre en place une surveillance spécifique.

La détection de phénomènes plus brefs tels que des chocs, le « stick-slip », les « points durs », les usures anormales, nécessite l'utilisation de fréquences d'acquisition plus élevées, généralement vers 200 Hz à 500 Hz, ce que ne sont pas capable de faire les perturbographes Yokogawa utilisés sur les sites pilotes. Dans les cas spécifiques où l'on cherche à quantifier ces phénomènes, il est nécessaire d'installer un enregistreur plus performant et de mettre en place une sur-instrumentation avec des capteurs adaptés dont les coûts d'approvisionnement, d'installation et de maintenance sont alors beaucoup plus élevés.

Pour donner des ordres de grandeurs de coûts d'installation sur les deux sites pilotes, les dépenses extérieures (hors coût de la main d'œuvre EDF) pour l'armoire comprenant le perturbographe Yokogawa GX20, le routeur et les alimentations sont de 10 à 15 k€ (plusieurs vannes peuvent être raccordées au perturbographe) et pour les deux capteurs de couple sans fils elles sont d'environ 20 k€. Pour la mise en place d'enregistreur plus performant comme ceux utilisés lors des essais (HBK Genesis, Gantner Q.series X, ...), il faut bien ajouter 20 k€ supplémentaires.

L'analyse des données enregistrées sur les deux sites pilotes n'ont pas fait apparaître de dysfonctionnement mais ont permis d'améliorer nos connaissances sur les efforts de manœuvre sur toute la course des vannes, mais surtout sur le nombre de manœuvres effectuées. Ces analyses ont permis également de vérifier le calage des protections et d'affiner les réglages si nécessaire. La webapp a également été utilisée pour le dépouillement d'essais de fonctionnement, un « dépouillement type » restant à développer pour faciliter cette phase d'analyse.

REMERCIEMENTS

Au commanditaire à EDF Hydro : Renaud POLLIER

Aux pilotes successifs du projet SURVHY : Bruno LECOMTE, Emmanuelle VAN BOX SOM et Julie CHRETIEN

Aux correspondants métiers : Stéphane FIASSON, Renaud BARRET-BOISBERTRAND et Alain PRIGENT

Et surtout aux programmeuses sans qui la webapp n'existerait pas : Agata WOZNIAK-KWASNIEWSKA et Xiaodan CAO, et à l'ensemble du service informatique de EDF Hydro DTG