

REPLACEMENT DE LA PORTE AVAL DE L'ECLUSE DE SABLONS – CONCEPTION, FABRICATION ET INSTALLATION EN ARRET DE NAVIGATION DE 10 JOURS - AMELIORATION DE L'INSTRUMENTATION

*Replacement of Sablons lock's downstream gate – design,
manufacture and installation during a 10-day navigation stoppage –
and monitoring instrument improvements*

Benjamin BADIN, Romain BARTHELET, Dalil BENLFEKI
CNR, 2 rue André Bonin, 69316 Lyon cedex 4,
b.badin@cnr.tm.fr

Frédéric MATHIEU, Frédéric DESPONT,
EMI Ingénierie, Sassenage, France
f.mathieu@emi-ingenierie.com

MOTS CLEFS

Porte d'écluse, instrumentation, remplacement, conception, organisation projet, management de risques

KEY WORDS

Lock gates, monitoring instruments, replacement, design, project organisation, risk management

RÉSUMÉ

Suite à une avarie majeure survenue sur la porte aval de l'écluse de Sablons et son remplacement par une porte de rechange lors d'un arrêt de navigation exceptionnel en février 2020, CNR a décidé de lancer un projet ambitieux visant à mettre en place une nouvelle porte principale aval dans un délai de 15 mois et à apporter les améliorations nécessaires au renforcement de l'instrumentation pour la manœuvre de ce nouvel équipement.

L'article s'attache à détailler chacune des phases de l'opération allant de la conception, à la fabrication et jusqu'à l'installation des équipements lors d'un arrêt de navigation planifié, limité à 10 jours pour les ouvrages de navigation du Rhône.

Il décrit dans un premier temps comment ont été appréhendées les problématiques de dimensionnement et de conception des équipements lors des études, en intégrant les contraintes de reconstruction dans l'existant. L'architecture de la nouvelle porte a été conçue pour permettre l'amélioration de la maintenabilité pour le personnel CNR, avec un travail spécifique sur les accès pour l'exploitation et les auscultations, la facilité de montage de la porte et de remplacement de ses équipements. Une réflexion toute particulière a été menée pour définir les nouveaux besoins d'instrumentation et concevoir les nouveaux capteurs à mettre en œuvre pour fiabiliser le fonctionnement de la nouvelle porte.

La deuxième partie de l'article présente le déroulement du projet et l'organisation spécifique qui a été mise en place par CNR pour permettre le respect des contraintes de planning du projet, tout en assurant la gestion des risques inhérents à l'opération. Le pilotage des études d'exécution, les modalités de fabrication des nouveaux équipements et leur mise en œuvre sur site dans un contexte de délais extrêmement contraints sont également exposés.

Le projet s'est déroulé sous un pilotage Maitrise d'Ouvrage et Maitrise d'Œuvre CNR, avec un appui technique pour la définition des équipements mécaniques en phase études et visas d'EMI Ingénierie. La réalisation des travaux a été confiée au groupement EIFFAGE METAL – SOTEB.

ABSTRACT

The downstream lock gate in Sablons, France, was significantly damaged in February 2020 and had to be replaced by a spare lock gate during an immediate unplanned navigation stoppage. Following this, the CNR – the company which is responsible for this lock on the Rhône river – decided to launch an ambitious project to install a new main downstream lock gate and carry out the improvements required to add the additional monitoring instruments linked to this new equipment during a delay of just 15 months.

This article details each one of this project's phases, from the design phase, to the manufacture and installation of this equipment during the planned yearly navigation stoppage on the Rhône river which is limited to just 10 days.

The approach taken to the challenges of dimensioning and designing the equipment during the design-study phase is explained in the first part, including how the constraints linked to rebuilding within the lock's existing infrastructure were taken into account. The new lock gate was designed to make it easier for CNR personnel to carry out maintenance on it. Special consideration was given to ease of access during equipment operation and inspections, as well as assembly operations, including equipment replacement ergonomics. There was also a specific focus on defining the monitoring instrument improvement work which needed to be completed, including, in particular, the choice of technology and the design of the new sensors to ensure reliable operation of the new gate.

The second part of the article presents how the project was carried out and the specific organisation which was implemented by CNR to ensure that all of the project planning constraints were respected and all of the risks associated with the operation were managed appropriately. This section will describe the coordination of the final design studies, the production modalities for the new equipment as well as their installation on the site, in the context of the project's extremely short time frame.

The project was managed by CNR's project design and construction supervision team, with additional technical support for the definition of the mechanical equipment specifications provided by EMI Ingénierie in the design study and validation phases. The building work was carried out by a consortium of the companies EIFFAGE METAL and SOTEB.

1. ENJEUX ET CONTEXTE DU PROJET

1.1. Présentation de l'ouvrage

L'aménagement de Péage-de-Roussillon situé sur le Rhône est constitué d'un barrage mobile sur la commune de Saint-Pierre-de-bœuf, d'une usine hydroélectrique et d'une écluse situées à Sablons (38).

La porte aval de l'écluse est de type coulissante latéralement et suspendue, à un vantail unique, présentant une hauteur de 15 m et une largeur de 13 m. Un chariot mobile sur rails en partie supérieure, sur lequel la porte est suspendue via un système de brimbales de 6 m de longueur, permet sa manœuvre. Sa mise en mouvement est réalisée par l'intermédiaire d'un treuil à câbles commandé par un moteur électrique situé en rive gauche de l'écluse. L'écluse présente une hauteur de chute de l'ordre de 17 mCE.

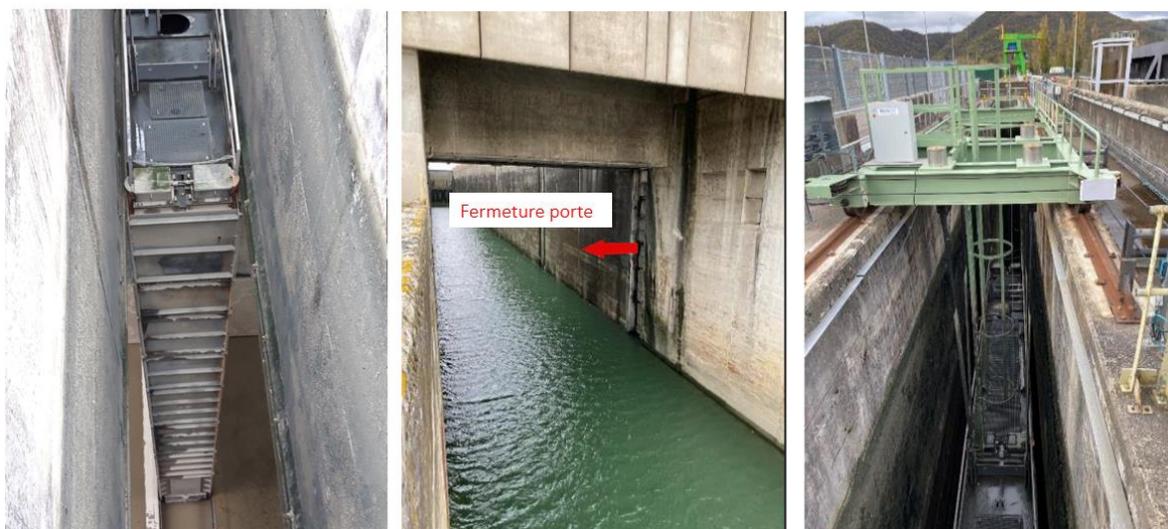


Figure 1 Photo porte d'origine – Ecluse de Sablons

1.2. Contexte de l'opération

Le 18 février 2020, la porte aval de l'écluse a été irréversiblement endommagée suite à une avarie majeure lors du remplissage du sas. Les équipes de maintenance CNR ont alors été mobilisées en urgence pour permettre le remplacement temporaire des équipements par une porte de réserve en mars 2020. Afin de limiter la mobilisation de cette porte de rechange commune à plusieurs écluses et d'apporter les améliorations nécessaires à la fiabilisation du contrôle commande, il a été décidé en novembre 2020 de lancer en procédure accélérée le projet de remplacement de la porte de réserve et de modification de l'automatisme dans un délai restreint de 15 mois.

Les objectifs principaux de l'opération, dans le respect des contraintes de planning, sont les suivants :

- Concevoir une nouvelle porte et ses organes de manœuvre répondant aux critères de dimensionnement actuels dans le génie-civil existant,
- Définir le référentiel technique précisant les modifications et améliorations à apporter pour concevoir la nouvelle porte et ses équipements en tenant compte du retour d'expérience de l'incident majeur,
- Définir et valider les modifications apportées à la nouvelle instrumentation,
- Organiser le projet et les ressources pour respecter le planning imposé sur chaque phase, dans un contexte COVID prégnant en 2021 : Appel d'offre – étude d'exécution – fabrication-travaux,
- Définir et partager les risques, mener les mesures de mitigation et établir les scénarios de replis « au cas où », dès le démarrage de la mission,

- Garantir le suivi de fabrication en atelier en termes de qualité et délais,
- Mener les travaux de mise en place sur site sous dix jours lors de l'arrêt annuel de navigation du Rhône de mars 2022.

1.3. Enjeux sûreté et fiabilité de l'architecture contrôle commande

L'écluse est assimilable dans son fonctionnement à un ascenseur à bateaux. Ce process se déroule en présence d'utilisateurs : navigants, passagers de bateaux de croisière, etc. ... pour lesquels la sûreté de fonctionnement doit être garantie.

Pour atteindre le niveau de sûreté recherché, l'automatisme de l'écluse est conçu de manière centralisée. Il dispose de la connaissance de l'état global de l'écluse et est ainsi en mesure de s'assurer à tout instant que les positions de la porte amont, de la porte aval et des vannes de remplissage et de vidange sont cohérentes entre elles. Ces contrôles permettent d'éviter de lancer une manœuvre inappropriée et de générer un écoulement hydraulique non maîtrisé, créant un risque pour l'ouvrage et pour les personnes.

L'architecture de contrôle-commande de l'écluse répond à cet enjeu par un double contrôle :

- L'écluse est pilotée par un automate central (nommé APN) interfacé à l'opérateur via un logiciel de supervision (nommé Scada). L'automate dispose de toutes les informations nécessaires pour contrôler les manœuvres et – surtout – pour s'assurer que la position des organes de bouchure est correcte à chaque étape.
- De plus, un deuxième automate (CSU : Chaîne de Sécurité Ultime) assure la redondance du contrôle de cohérence des positions des organes, grâce à ses propres capteurs.

Les recommandations du Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre (BEA-TT) émises à la suite de l'accident du 18 février 2020, de même que les études de sûreté diligentées par CNR ont montré que les efforts devaient se porter sur l'instrumentation :

- Avec une prise d'information de la position de la porte aval directement sur le tablier et non comme lors de l'accident sur le chariot de translation.
- Avec la mise en œuvre d'une détection de surcharge mécanique fiable.

1.4.Planning général de l'opération

L'élaboration du planning de l'opération a été guidée par l'objectif de réaliser les travaux lors de l'arrêt de navigation annuel du Rhône de mars 2022, à savoir : une phase de conception réduite à deux mois, la fabrication des équipements dans un délai restreint de septembre 2021 à février 2022 et l'installation et la qualification des nouveaux équipements en travaux postés 3x8 h lors de l'arrêt de navigation du 7 au 17 mars 2022.

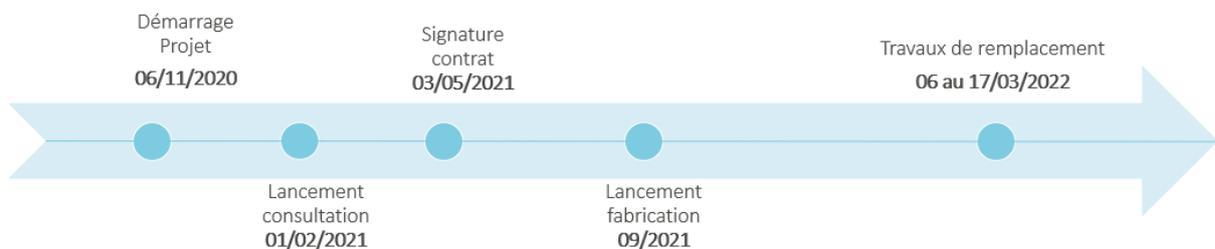


Figure 2 Macro-planning de l'opération

2. CONCEPTION DES EQUIPEMENTS MECANIQUES

2.1. Etudes structurelles de la nouvelle porte – phase Projet

Les études de conception et de dimensionnement de nouvelle porte de l'écluse Sablons ont été menées en intégrant l'espace normatif en vigueur lors du projet, notamment le corpus Eurocodes et la DIN 19704 édition 2014, et entre autres les effets liés au séisme et à la fatigue. L'évolution du référentiel de calcul et des exigences d'accès pour la maintenance a eu un impact significatif sur l'élaboration des structures et des assemblages au regard de la structure de l'ancienne porte, mais également sur le bilan masse comme nous le verrons par la suite.

Si l'architecture globale de la nouvelle porte était relativement figée par la nécessité de s'adapter au génie-civil existant de la tête aval de l'écluse, deux types de structures mécanosoudées ont été envisagés au démarrage du processus de conception du tablier mobile :

- Une structure dite « fermée » composée de plusieurs éléments superposés « en caisson ». Chaque caisson est constitué par un double bordé amont et aval et des âmes horizontales. Ces tôles principales sont entretoisées par des cadres verticaux qui supportent les raidisseurs secondaires horizontaux. Cette conception est classique pour les portes des grandes écluses maritimes, dont le poids élevé est fréquemment compensé par des caissons rendus étanches, afin de soulager les mécanismes de roulement.
- Une structure dite « ouverte » plus commune sur les portes des écluses intérieures, également constituée de plusieurs éléments superposés, intégrant chacun un bordé aval, des poutres principales horizontales, et des montants verticaux qui supportent le raidissage secondaire.

Cette analyse préliminaire avait pour but principal de rechercher un optimum entre le bilan masse de la structure, sa complexité de fabrication et de montage sur site dans un délai restreint, et les conditions d'accessibilité souhaitées par le personnel de la CNR pour effectuer les opérations d'inspection et de maintenance. La figure ci-dessous montre les deux solutions de structure envisagées, intégrant chacune un total de quatre éléments, dont les dimensions et la masse les rendaient compatibles avec les gabarits de transport et les possibilités de manutention sur le site.

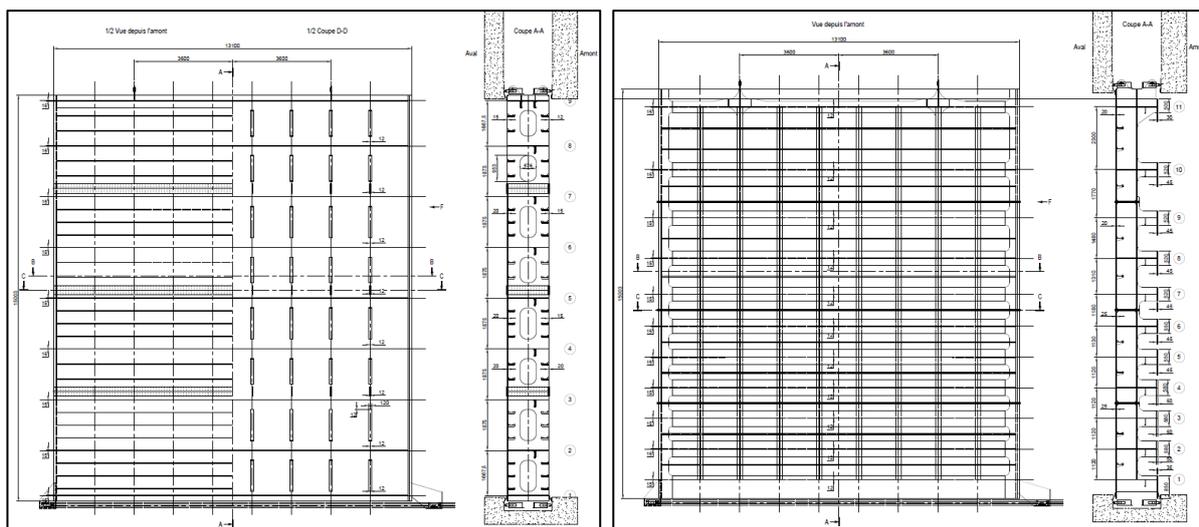


Figure 3 : Principe structure fermée (gauche) vs structure ouverte (droite)

Synthétisés dans le tableau ci-dessous, les principaux résultats de cette analyse ont orienté la suite des études vers la solution en structure « ouverte ».

Critères	Structure « fermée »	Structure « ouverte »
Masse estimative	~ 160 tonnes	~ 130 tonnes
Linéaire de soudure horizontale	~1730 ml	~ 1240 ml
Quantité de boulons pour assemblage site	~ 1600 boulons	~ 340 boulons
Conditions d'accessibilité	Satisfaisantes	Satisfaisantes

Figure 4 : Comparatif structure fermée et ouverte

Ces masses estimatives sont à mettre en correspondance avec les 90 tonnes de la porte d'origine, composée de 4 éléments en structure fermée, qui à l'époque avait été dimensionnée pour supporter les charges statiques, sans prise en compte des phénomènes de fatigue.

Il convient par ailleurs de noter que pour améliorer l'accessibilité dans la structure, les poutres principales horizontales de la structure ouverte ont au final été positionnées de manière à respecter un entraxe minimal entre les âmes de 1550 mm, ce qui a eu pour effet de pénaliser son bilan masse.

Une fois le type de structure et le nombre d'éléments figés, une attention toute particulière a été portée sur les problématiques liées au phénomène de fatigue. En effet, la porte aval de l'écluse de Sablons est une structure soumise à des sollicitations cycliques, car elle est chargée et déchargée plusieurs fois par jour lors des éclusées (entre 10 et 20 selon la saison). Ces cycles de chargement répétitifs peuvent causer des dommages progressifs, même si les charges appliquées sont bien inférieures à la limite de résistance statique de la structure.

D'une manière générale, la fatigue des portes d'écluses dépend de nombreux facteurs, tels que la géométrie de la porte, les propriétés mécaniques des matériaux utilisés, les niveaux de contraintes, ou les conditions environnementales. Néanmoins, un des facteurs déterminants est la conception des assemblages soudés au regard de la nature et de l'intensité des contraintes qu'ils transmettent. C'est pourquoi, nous nous sommes attachés, dès la phase de conception projet, puis lors des études d'exécution, à analyser chaque détail constructif présent sur la porte.

2.2. Vérification du génie-civil existant – phase projet

Une fois le prédimensionnement de la future porte établi, la vérification de la stabilité du génie civil de la tête aval a permis de s'assurer que la structure existante était correctement dimensionnée pour reprendre les efforts transmis par les nouveaux équipements, aux Etat Limite de Service comme aux Etat Limites Ultimes. Une attention particulière a été portée au dimensionnement du portique constitué par les poutres caissons de roulement et leur pieds droits, qui a fait l'objet d'un modèle aux éléments finis.

Cette phase de justification réalisée finement en phase de conception a permis de s'assurer de la tenue du génie-civil environnant sans travaux de confortement spécifiques à prévoir.

2.3. Caractéristiques principales des équipements et architecture retenue en phase d'exécution

L'architecture retenue lors des études d'exécution par le Bureau d'Etude d'EIFFAGE METAL est une structure de type ouverte équipée d'un caisson inférieur fermé. Ce dernier muni d'un orifice latéral traversant permet de diminuer l'effort de manœuvre en limitant l'effet piston par le passage d'eau dans le sens rive-rive en entrée et sortie de rainure (garage latéral). L'assemblage des éléments de porte a été conçu suivant une liaison par brides et éclisses boulonnées.

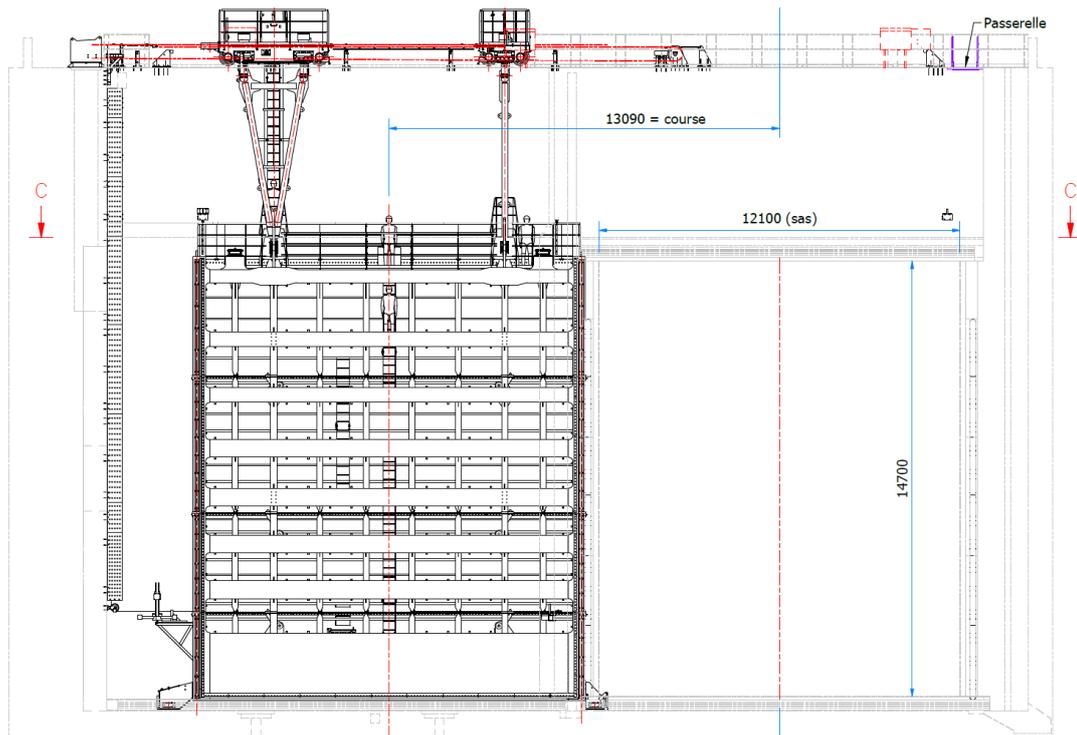


Figure 5 Extrait plan nouvelle porte

Le dimensionnement de la structure de la porte au regard des exigences normatives et des contraintes de maintenance a abouti à une augmentation de la masse de la nouvelle porte par rapport à celle d'origine ayant rompu de +50 % environ, avec une masse finale de 147 tonnes.

Dans un souci d'amélioration de fonctionnement et de fiabilité, le projet a notamment intégré les évolutions techniques suivant :

- La mise en œuvre d'appuis de transfert d'effort au génie civil en élastomère fretté. Ce type de procédé permet de limiter la pression de contact et de diminuer l'usure des pièces fixes qui faisaient l'objet de nombreuses maintenances,
- La reconception et le redimensionnement des brimbales de liaison au chariot. L'objectif étant de limiter la flexion des profilés et de donner les degrés de liberté nécessaires au bon comportement de la porte lors des phases de plaquage/déplaquage,
- Le redimensionnement du nouveau chariot et l'installation d'un ensemble modernisé de treuil de manœuvre avec le maintien du variateur électronique de vitesse en place.

3. INTEGRATION DE LA NOUVELLE PORTE DANS LE CONTROLE-COMMANDE DE L'ECLUSE

3.1. Données d'entrées du design électrique et d'automatisme

Bien que la masse de la nouvelle porte ait significativement augmenté (+50% environ) par rapport à la précédente, les efforts de manœuvre n'ont pas évolué proportionnellement. En effet, ces efforts sont dus au frottement du chariot sur les rails, mais aussi aux efforts de frottement liés au placage du tablier sur le génie-civil, efforts qu'il faut vaincre à l'ouverture. Or ces derniers ont peu changé. Ajouté à cela que le choix du moteur se fait dans une gamme dont les valeurs de puissance sont prédéfinies et limitées, il s'est avéré que le moteur nécessaire pour la nouvelle motorisation était identique à celui de l'ancienne porte. Le variateur de vitesse préexistant a ainsi pu être conservé. Il a juste été nécessaire de le reparamétrer spécifiquement pour le nouveau moteur. La nouvelle porte s'intègre de la même façon que l'ancienne dans le processus de l'écluse : il n'y a donc pas eu d'évolution majeure à intégrer dans les programmes automates APN et CSU pour traiter les séquences de fonctionnement de la nouvelle porte.

Au final, l'évolution principale côté automatisme a porté sur l'instrumentation dont on a cherché à augmenter la fiabilité. L'objectif était que, d'une part, cette nouvelle instrumentation donne la position exacte du tablier et pas uniquement celle du chariot, et que d'autre part elle permette la détection fiable des surcharges de manœuvre.

En complément de cette évolution de l'instrumentation, il a été décidé également de migrer l'automate CSU existant vers un matériel certifié « SIL3 » selon la norme IEC 61-508. Il s'agit d'une norme et d'un niveau d'exigence qui garantissent que le contrôle effectué par l'automate est fiable dans la durée, avec une probabilité d'échec inférieure à un millième (1/1000). Les fonctions assurées par cet automate CSU sont par ailleurs conservées.

3.2. Conception de l'instrumentation

La conception de l'instrumentation s'est faite pour répondre aux recommandations exprimées par le BEA-TT dans son rapport sur l'accident et dans les résultats des études CNR...

... avec plusieurs contraintes :

- Contraintes de temps : en particulier dans la conception des solutions, pour tenir les délais finals du projet,
- Contraintes d'espace et d'accès : la place disponible pour mettre en place les capteurs sur le tablier est limitée par la géométrie du génie-civil et du tablier lui-même, et par les fonctions auxiliaires associées à la porte (bac de récupération des boues, chasse-boue, rails, ...)
- Contraintes d'environnement : les capteurs sont à mettre en œuvre dans des conditions particulières : le tablier de la porte aval se trouve, par sas vide, partiellement en eau, et lorsque le sas est plein, complètement en eau.

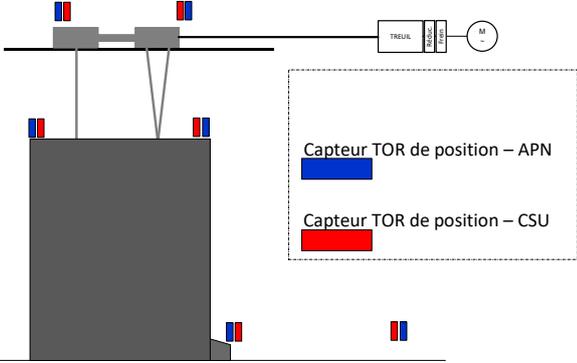
... et avec plusieurs opportunités :

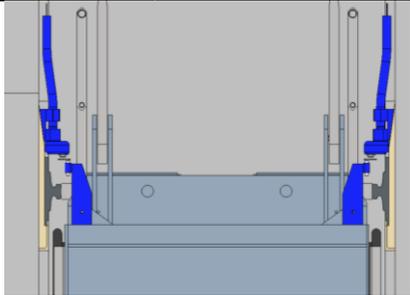
- Le tablier, le chariot, le treuil et la motorisation sont nouveaux. Il est alors possible d'intégrer des capteurs particuliers dans ces équipements neufs.
- Au-delà de la seule porte aval, c'est aussi l'occasion d'adapter l'instrumentation pour l'ensemble des organes (porte amont et vannes de remplissage / vidange).

Un Comité Technique (COTECH) interne à CNR a pu valider les choix effectués tout au long de l'étude.

La méthodologie suivante a été mise en œuvre pour définir l'instrumentation de la porte aval :

N°	Etape	Contenu	Résultat
1	Analyse comparative et choix des solutions d'instrumentation	<p>Pour la mesure d'effort, les solutions axes dynamométriques ont été analysées.</p> <p>Pour la mesure de position, de nombreuses technologies ont été explorées pour la mesure de position (signal lumineux, sonore, capteurs magnétiques, inductifs, ...)</p>	<p>Il a été choisi la mise en œuvre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Capteurs inductifs immergeables en partie haute et basse du tablier - Capteurs d'efforts analogiques sur câbles et sur treuil (2 voies) - Capteur de position par codeur analogique et câblé relié au tablier.

N°	Etape	Contenu	Résultat
		 <p data-bbox="592 510 1106 539"><i>Exemple d'axe dynamométrique de mesure d'efforts</i></p>	
2	Définition d'une architecture cible « capteur – automate » et fonctions associées	La répartition des capteurs entre les automates APN et CSU et les fonctions associées ont été étudiées.	Les capteurs et leurs traitements ont été définis pour chaque automate.
		 <p data-bbox="491 1115 1209 1144"><i>Schéma d'implantation et d'affectation aux automates des capteurs TOR</i></p>	 <p data-bbox="459 1563 815 1592"><i>Capteurs des chariots vus de dessus</i></p>  <p data-bbox="884 1563 1342 1592"><i>Un capteur inductif immergé en bas de tablier</i></p>
3	Conception des supports	Des plans des supports des capteurs ont été établis avec l'aide d'un modèle 3D réalisé avec le logiciel Inventor®	Les plans ont été fournis lors de l'appel d'offre pour réalisation par l'entreprise titulaire.

N°	Etape	Contenu	Résultat
			
<p>Exemple d'implantation et supports capteurs - partie inférieure du tablier (gauche) et supérieure (droite)</p>			

4. FABRICATION DES EQUIPEMENTS ET TRAVAUX

4.1. Pilotage des délais lors de la phase EXE/Fabrication

Un des facteurs déterminants pour la réussite de l'opération a été la mitigation des risques pouvant engendrer un retard et compromettre le déroulement des travaux lors de l'arrêt de navigation de mars 2022. Conduit par la cellule Projet de CNR, ce travail a tout d'abord consisté à définir une méthodologie partagée de mise en œuvre du plan de mangement des risques. Cette vision est primordiale pour l'ensemble les parties prenantes quand il s'agit de créer et d'actualiser le registre des risques et de piloter les plans d'action associés.

Ce travail amont a été réalisé en intégrant le contexte :

- organisationnel : contexte de l'accident, délais restreints, mobilisation des ressources essentielles, travaux en arrêt de navigation fixe ...
- stratégique : processus décisionnel d'arbitrage rapide, jalons Go/No Go identifiés, report de travaux complémentaires, marge budgétaire face aux évolutions prévisibles des coûts, ...

Il a permis d'établir le plan d'actions à mettre en œuvre afin de limiter les risques de dérive de planning pouvant nuire à la réussite de l'opération. Les actions principales mises en œuvre par la direction de projet pour chaque étape sont détaillées dans les paragraphes suivants.

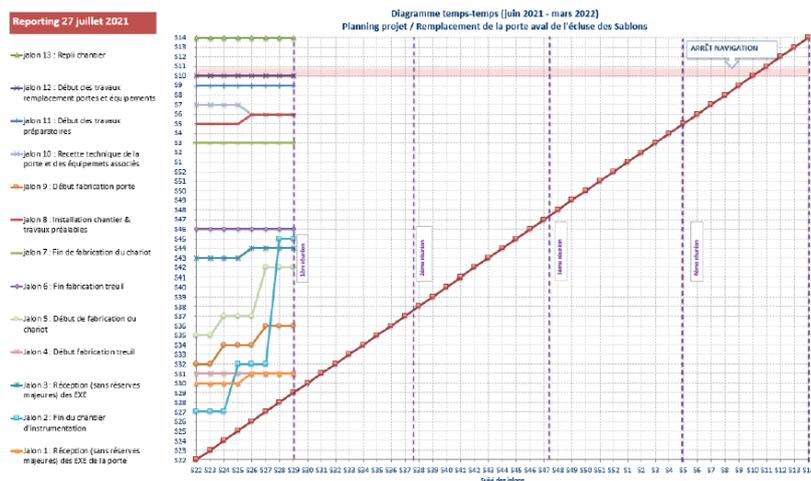


Figure 6 Exemple du digramme temps-temps de l'opération

Un outil d'alerte de dérive global de type « diagramme temps-temps » a permis à la Direction de Projet de suivre 11 jalons clés du projet menant jusqu'à l'arrêt de navigation : début/fin de la fabrication de la porte, du chariot, du treuil, installation de chantier, ... et de prévenir d'un risque de report de l'opération créé par un retard sur un des jalons.

4.2. Déroulement de la phase d'études d'exécution

Afin de permettre la tenue des délais pour les approvisionnements en acier de la porte et de ses équipements, dans un contexte mondial tendu à l'été 2021, il a été nécessaire de réaliser et valider les études d'exécution entre avril et juillet 2021. Pour ce faire, plusieurs actions ont été mis en œuvre pour s'assurer de l'implication de l'ensemble des parties prenantes et de faciliter les échanges et circuits de validation :

- Mise en place d'un fonctionnement « en cellule projet » entre les bureaux d'études du groupement EIFFAGE METAL/SOTEB et les équipes de maîtrise d'œuvre CNR/EMI. Des séances de travail régulières en présentiel ont été organisées autour des thèmes stratégiques de la conception afin d'optimiser les délais de conception et de visa des études : architecture de la porte, justification des structure et assemblage à la fatigue, organe de manœuvre, analyse fonctionnelle...
- Tenue de réunions hebdomadaires de revue de projet et d'avancement EIFFAGE METAL/SOTEB – CNR,
- Mise en place d'une mission d'appui technique (assistance à MOE) confiée à EMI Ingénierie, bureau d'études mécaniques spécialisé, pour la partie structure et note de calcul.

Il convient de préciser que le niveau de détail poussé des études de conception et les prédimensionnements des structures réalisés en amont de la consultation par EMI Ingénierie ont permis un gain de temps considérable en phase d'exécution.

Les délais de réalisation de cette phase ont été respectés et ont permis le lancement des approvisionnements d'acier suivant les prévisions du planning initial.

4.3. Phase de fabrication

La fabrication de la porte aval et de ses équipements s'est déroulée dans les ateliers EIFFAGE de LAUTERBOURG entre septembre 2021 et février 2022 dans un contexte de crise européenne de matières premières et de difficultés d'approvisionnement en acier de construction. Afin d'assurer un suivi renforcé de la fabrication de la porte et des chariots de manœuvre, CNR a mis en place une mission « d'expediting » axée sur le volet processus de fabrication, suivi des fournisseurs, vérification de la conformité et maîtrise du planning d'avancement. L'objectif principal de cette prestation était d'identifier les risques pouvant engendrer des retards potentiels et proposer les mesures nécessaires pour que les équipements soient livrés dans les conditions exigées pour le bon déroulement du projet.

Le déroulement de la mission a permis de porter à connaissance de la Direction de Projet :

- Un tableau de bord hebdomadaire basé sur des visites en ateliers : synthèse de l'avancement des fabrications, des actions en cours et alertes.
- Le détail du suivi de fabrication : état des commandes par fournisseur, bilan documentaire, détails des assemblages...
- Un rapport d'inspection/photo/CR visite : inspection matière, conformité contrôle et essais CND, QS, etc...

Ce suivi a permis d'assurer une bonne maîtrise de l'information de l'avancement de la fabrication des ensembles et sous-ensembles, de l'impact des retards constatés et de l'efficacité des mesures mises en œuvre pour les rattraper. Afin de combler un retard observé sur le démarrage de la fabrication lié aux difficultés d'approvisionnement de certaines tôles principales, EIFFAGE METAL a su mettre en œuvre les mesures d'accélération adéquates (travail posté) sur des phases de construction pour permettre de respecter les délais de livraison de la porte.



Figure 7 Montage à blanc porte - essais en charge chariot

Les montages à blanc de la porte et des chariots, étapes préalables indispensables à la livraison des équipements, se sont déroulés dans les temps pour permettre la mise en peinture avant expédition.

4.4. Travaux préparatoires sur l'instrumentation

Afin de limiter au strict nécessaire les travaux se déroulant pendant la période contrainte de l'arrêt de navigation de mars 2022, de nombreuses prestations ont été anticipées. Par exemple, les modifications logicielles dans les automates APN et CSU, dans les interfaces opératives locales et au poste de téléconduite (CGN), ont été développées et testées en avance sur simulateur par les équipes CNR spécialisées de Maintenance Informatique Industrielle (MII). Parallèlement, l'instrumentation, qui a fait l'objet d'une concertation et d'un travail commun mené par SOTEB et par EIFFAGE METAL a conduit à engager dès juin 2021 la fabrication et le montage des supports, la mise en place des protections mécaniques, le tirage des câbles, ainsi que l'installation et le raccordement des coffrets de connexion.

L'objectif de cette phase de préparation était, au-delà d'une simple anticipation des travaux :

- de valider in situ le bon fonctionnement des capteurs immergés et des capteurs d'effort analogiques,
- d'améliorer la sûreté de fonctionnement de la porte existante, avant même la mise en place de la nouvelle porte.

Grâce à cette préparation, les tâches prévues lors de l'arrêt de navigation de mars 2022 ont pu être réduites, pour la partie électricité – contrôle-commande, à la liste suivante :

- raccorder le nouveau moteur au câble de puissance (celui déjà existant),
- paramétrer le variateur de vitesse avec les caractéristiques du nouveau moteur,
- implémenter le nouvel automate CSU SIL3, le raccorder et valider son fonctionnement,
- régler en position tous les capteurs de position, une fois la nouvelle porte montée et raccordée à sa nouvelle motorisation,
- vérifier le bon déclenchement des protections surveillant la bonne position de la porte (temps de manœuvre, surcourses, etc.),
- raccorder aux automates les nouveaux codeurs analogiques de position et les régler,
- implémenter dans les automates les réglages de seuils de protection de surcharge adaptés à la nouvelle porte,
- vérifier le bon fonctionnement de ces protections,
- vérifier le bon fonctionnement de l'ensemble des organes de l'écluse (tests de non régression).

4.5. Travaux lors de l'arrêt de navigation de mars 2022 et facteurs de réussite de l'opération

Pour les travaux associés à la porte aval, il a été nécessaire de coordonner les activités de nombreux acteurs :

- L'entreprise de travaux mécaniques qui a fourni et monté la porte, sa motorisation et les supports immergés de l'instrumentation,
- L'entreprise de travaux électriques, cotraitante de l'entreprise mécanique, qui a fourni les capteurs et les équipements de raccordement électriques (câbles, coffrets, borniers,...),
- Les équipes CNR MII (Maintenance Informatique Industrielle) en charge de l'implémentation et des tests du fonctionnement des programmes automates et scadas,
- Les CNR EOE (Equipes Opérationnelles d'Exploitation locales) et CNR DEX (Département Exploitation de la Direction Territoriale Rhône Saône),
- La maîtrise d'œuvre CNR DIGP (Direction de l'ingénierie et des Grands Projets, en charge de coordonner les mesures et essais, de s'assurer de leur bon déroulement et de collecter et consigner les résultats.

A ces acteurs se sont ajoutés d'autres intervenants sur le périmètre de l'écluse :

- Entreprises diverses mandatées par CNR pour des travaux sur la porte amont
- Equipes CNR DM (Direction de la Maintenance) pilotant les travaux sur cette porte amont
- Equipes CNR EIM (Equipes d'Intervention Mécanique)

Ces travaux se sont déroulés du 7 mars au 17 mars 2022 en 3x8 h en intégrant les phases de batardage/débatardage, vidange, retrait de l'ancienne porte, travaux de montage et essais de mise en service.

Une organisation spécifique a été mise en place entre les différents acteurs pour assurer la réussite de l'opération. On pourra notamment noter comme facteurs de succès du projet :

Phase préparatoire

- Une préparation minutieuse en amont de l'ensemble des procédures d'exécution et modes opératoires, en intégrant notamment les observations du préventeur sécurité et de la MOE,
- L'établissement et le suivi d'un planning à pas horaire de l'ensemble de l'opération,
- La participation proactive de l'ensemble des acteurs du projet aux réunions préparatoires nécessaires à la coordination avec les autres opérations menées sur l'écluse, VIC, information aux équipes de maintenance et d'exploitation...
- Le préontage et la réception en atelier du maximum de sous-ensembles en amont des travaux.

Phase travaux

- La mise en œuvre de moyens matériels et humains importants et suffisants par le groupement EIFFAGE METAL / SOTEB au regard des modes opératoires et des travaux planifiés, et ce afin de garantir la réussite du chantier dans les délais impartis tout en respectant les règles de sécurité (0 accident ou presque-accident)
- L'organisation des ressources MOE pour permettre d'assurer les rotations en 3x8 h du suivi des travaux mécaniques et électriques, et de garantir la capacité de contrôle, les prises de décision et le passage d'information à chaque poste,
- La tenue de réunions quotidiennes d'avancement formalisées CNR/Entreprise et interne CNR MOE/Exploitation,

- L'implication forte du préventeur sécurité mandaté par CNR (Entreprise ACOORD), notamment lors des phases de travaux jugées délicates,
- L'établissement en amont des travaux d'un cahier d'essais complet et fonctionnel entre l'Entreprise/CNR MOE/ CNR Exploitation pour la remise en service de l'écluse.



Figure 8 Photos chantier – retrait ancienne porte et montage nouveaux équipements

4.6. Essais de remise en service

Les essais de mise en service ont eu lieu pendant l'arrêt de navigation, aussitôt après la mise en place de la nouvelle porte aval. Ils ont permis une succession de phases, pour certaines conduites par le lot électricité / automatismes, pour d'autres par le lot mécanique.

Les essais ont consisté, pour le lot électricité / automatismes, à vérifier le nouveau paramétrage du variateur de vitesse, à régler les positions des capteurs, à vérifier le bon fonctionnement des protections associées à la porte (surcharges, surcourses, etc.) et plus globalement à revalider le fonctionnement de l'ensemble de l'écluse.

Pour la partie mécanique, la phase a principalement inclus :

- Le contrôle du bon montage des équipements avant la remise en eau.
- Les essais de manœuvre de la porte à sec et en eau :
 - les positions caractéristiques de la porte (ouvertes, fermées, etc.),
 - les temps de manœuvre d'ouverture et de fermeture,
 - la position des détecteurs de fin de course,
 - les valeurs des jeux des guidages,
 - le bon fonctionnement, notamment jugé sur l'absence de coincement, de vibration, de bruit anormal
 - le contrôle des efforts de manœuvre.
- Les tests d'étanchéité et contrôle des flèches et déplacements de la porte.
- Les réglages et essais de l'instrumentation en lien avec le lot électricité – automatisme.

L'ensemble des essais a pu être réalisé dans la durée impartie, ce qui a autorisé la remise en service de l'écluse le 17 mars 2022 à 5h00 et assuré le passage d'un premier bateau peu après.



Figure 9 Passage du premier bateau post arrêt de navigation

REMERCIEMENTS

Remerciements à tous les acteurs de l'opération et à l'ensemble des partenaires qui ont permis la réussite du projet et notamment :

- Les équipes CNR des différentes directions : DT Rhône Saône, Exploitants à l'aménagement de Sablons, DEX, Maintenance EME et EIM, Direction Ingénierie et Grand Projet, DCOS, les achats DDA, contract manager, service juridique, les membres des COTECH spécifiquement créés ...
- Les Entreprises réalisatrices des travaux : EIFFAGE METAL et SOTEB ainsi que leurs sous-traitants.
- Les partenaires externes CNR : EMI Ingénierie, ACOORD, Vulcain, SYSTRA

Bravo à tous