

PIPELINE SUD EUROPEEN : LA NOUVELLE VIE D'UN OLEODUC DES ANNEES 60

SOUTHERN EUROPE PIPELINE: NEW LIFE OF A PIPELINE OF THE 60'S

Christophe Chanonier, Christophe Raulet,

Diadès

Jacques Resplendino

Setec TPI

1. INTRODUCTION

La Société du Pipeline Sud-Européen (SPSE) assure l'approvisionnement des raffineries d'une plate-forme pétrochimique sur l'axe Fos-Lyon-Karlsruhe (769 km) réparties sur 3 pays (France-Suisse-Allemagne). Le transport actuel, de l'ordre de 23 millions de tonnes par an, représente en "Tonnes. Kilomètres" plus de 30 % du transport de pétrole brut par pipeline en Europe. D'autres pipelines complètent le réseau européen qui est en mesure, à partir de la Méditerranée, de la Manche et de la Mer du Nord, d'assurer l'approvisionnement de l'ensemble des raffineries situées au cœur de l'Europe occidentale.

Suite à l'accident survenu le 07 août 2009 dans la plaine de la Crau, il a été décidé par SPSE de comparer l'état actuel et l'évolution future de cet état des pipelines susceptibles d'approvisionner les raffineries de l'Est de la France et de l'ouest de l'Allemagne. Pour cela, un programme d'inspection a été réalisé sur le pipeline de 40 pouces, en exploitation minimale, et une remise en état des équipements du pipeline de 34 pouces a été lancée en parallèle, afin de pouvoir, de nouveau, l'exploiter.

Dans le cadre de cette remise en état, la question du passage aérien de la Durance s'est posée très rapidement : en effet, selon l'article 9.1 de l'arrêté du 04 août 2006 qui régit la sécurité des pipelines, l'autorisation de l'Administration est nécessaire pour assurer le maintien de l'ouvrage aérien. L'instruction du dossier d'autorisation est notamment fondée sur une expertise structurelle devant statuer sur la pérennité de l'ouvrage.

1. INTRODUCTION

The Society of South European Pipeline (SPSE) ensures the supply of petrochemical refineries with a platform on the Fos-Lyon-Karlsruhe (769 km) spread over 3 countries (France, Switzerland and Germany). The current transport of the order of 23 million tons per year, represents in "Tons per Kilometers" more than 30% of crude oil transportation pipeline in Europe. Other pipelines complete the European network that is able, from the Mediterranean Sea, the English Channel and the North Sea, to ensure the supply of all the refineries in the heart of Western Europe.

Following the accident on 07 August 2009 in the Crau plain, it was decided by SPSE to compare the current state and future evolution of this pipeline state could supply refineries in Eastern France and West Germany. For this, an inspection program was carried out on the pipeline of 40 inches, minimum operating and rehabilitation of equipment of the 34-inch pipeline was launched in parallel, in order to once again exploit.

As part of this restoration, the issue of air crossing of the Durance settled very quickly indeed, under Article 9.1 of the Decree of 4 August 2006 that regulates pipeline safety, authorization Administration is required to maintain the aerial structure. The statement of authorization dossier is based in particular on structural expertise to decide on the continuation of the structure.

Aussi, SPSE a donc demandé à DIADES, en collaboration avec le LERM, d'établir un diagnostic structurel de l'ouvrage. Ce diagnostic a été complété par l'étude et l'évaluation de la conformité de l'ouvrage sur deux aspects que sont la tenue statique et la tenue au séisme. Les investigations (structure, matériaux et géotechnique) et les recalculs statique et dynamique dans le cadre du diagnostic ont conduit à un renforcement et à la réhabilitation de l'ouvrage via l'utilisation de précontrainte additionnelle extérieure.

2. PRESENTATION SOMMAIRE DE L'OUVRAGE

L'ouvrage étudié, situé sur le territoire de la commune de Noves (13), est un ouvrage aérien en béton précontraint qui franchit le lit majeur de la Durance, sur une longueur de 284 ml. Il est composé d'une travée de 12 m et de 8 travées précontraintes de 34 m. L'ouvrage est constitué d'un pont bache en U dont la sous face a été réalisée, en 1962, 20 centimètres au-dessus du niveau des plus hautes eaux de la Durance. La section mesure 1,85 m de haut pour une largeur extérieure de 1,70 m. En outre, le pont bache est recouvert de dalles en béton armé qui protègent la canalisation des agressions extérieures.

L'ouvrage est précontraint longitudinalement par post-tension par des câbles disposés dans les âmes du U. L'ouvrage supporte le pipeline via 3 appuis disposés respectivement aux 1/6, 1/2 et 5/6 de chaque travée.

Concernant ses appuis, l'ouvrage présente des piles massives et 2 types de semelles, la massivité des piles s'expliquant par de fortes contraintes hydrauliques. La disposition alternée de deux types de semelles fondées sur 2 ou 3 pieux permet une sorte d'articulation longitudinale de l'ensemble.

3. DIAGNOSTIC DE LA STRUCTURE

Le diagnostic a été réalisé sur la base d'un programme d'investigations structurelles, permettant de concevoir et maîtriser les réparations et le renforcement de l'ouvrage.

En fonction des désordres constatés et du contenu du dossier d'ouvrage, des investigations structurelles ont été définies (investigations sur les matériaux, mesure des tensions résiduelles) afin de fiabiliser les hypothèses nécessaires au diagnostic et *in fine* servir de base à la définition des travaux de réhabilitation.

Also, SPSE has asked DIADES, in collaboration with LERM to establish a structural diagnosis of this structure. This analysis was completed by the study and evaluation of the conformity of the structure on two aspects that are held static and seismic resistance. Investigations (structure, materials and geotechnical) and static and dynamic recalculations in the diagnosis have led to a reinforcement and rehabilitation of the structure through the use of external prestressing.

2. BRIEF PRESENTATION OF THE STRUCTURE

The structure studied, located in the territory of the municipality of Noves (13) is an aerial prestressed concrete crosses the floodplain of the Durance, on a length of 284 ml. It consists of a span of 12 m and 8 spans prestressed of 34 m. The structure consists of a U cover bridge whose underside was conducted in 1962, 20 cm above the highest water level of the Durance. Section is 1.85 m high and an outer width of 1.70 m. In addition, the covered bridge is coated with reinforced concrete slabs to protect the pipe from external aggressions.

The structure is prestressed longitudinally by post-tensioned by cables positioned in Ames of the U. The structure supports the pipeline via 3 supports disposed respectively at 1/6, 1/2 and 5/6 of each span.

On its support, the structure presents massive piles and two types of soles, the massiveness of the piles can be explained by strong hydraulic constraints. The alternating arrangement of two types of sole based on 2 or 3 pickets allows a kind of longitudinal articulation of the set.

3. DIAGNOSIS OF STRUCTURE

The diagnosis was made on the basis of a program of structural investigations, to design and manage the repair and reinforcement of the structure.

Depending on the found disorder and the contents of the structure folder, structural investigations have been defined (investigations on materials, measurement of residual tensions) to reliable the necessary assumptions for diagnosis and in fine provide the basis for the definition of rehabilitation works.

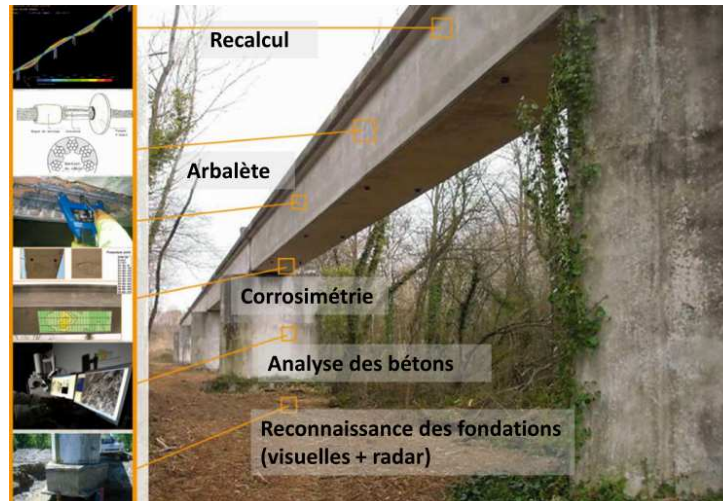


Figure 1 : Représentation des principales investigations en vue du diagnostic / Representation of the main investigations for diagnosis

3.1 Enjeux pour le recalcul statique de l'ouvrage en fonction de son état de vieillissement

La précision du diagnostic structurel, notamment pour une vérification de portance de l'ouvrage, réside dans la réalité et la représentativité des hypothèses retenues. En effet, le diagnostic structurel de l'ouvrage fondé sur des reconnaissances structurelles *in situ* et en laboratoire permet d'optimiser les hypothèses de recalcul, et notamment les caractéristiques géométriques et intrinsèques des matériaux, la détermination de la précontrainte résiduelle, diminuant ainsi l'incertitude liée aux différentes pertes inhérentes à la précontrainte (fluage du béton et relaxation des câbles).

3.2 Procédé de précontrainte existante

La précontrainte existante a été réalisée par des câbles GTM type C.02 de 75 tonnes.

D'après le document **référéncé [1]**, les principales caractéristiques de ces câbles sont :

Diamètre :	32,5 mm
Section du câble :	500 mm ²
Coefficient de frottement par unité d'angle :	0,10
Coefficient de frottement par unité de longueur :	0,2.10 ⁻²
Rentrée du cône d'ancrage :	0,1.10 ⁻² m
Force maximale à la mise en tension :	82,5 t
Module d'Young :	196 000 MPa
Perte par relaxation à 1000 heures :	9 %

L'armature C.02 de 75 t (82.5 t en valeur caractéristique) est formée de 7 torons de 7 fils de 3.6 mm de diamètre, fixés à leurs extrémités par deux dispositifs d'ancrage.

3.1 Challenges for static recalculation of the structure depending on its state of aging

The accuracy of structural diagnosis, **including** an audit of portence of the structure lies in the reality and representation of **retained** assumptions. Indeed, the structural diagnosis of the structure based on *in situ* and laboratory structural recognitions optimizes assumptions recalculation, **including** geometric and intrinsic characteristics of the materials, **the determination** of the residual prestressing, **thereby reducing** the uncertainty inherent in different prestressing losses (**concrete flow** and relaxation of cables).

3.2 Method of existing prestressing

The existing prestressing was conducted by GTM C.02 type 75 tons cables.

According to the document [1], the main features of these cables are:

Diameter:	32.5 mm
Cable section:	500 mm ²
Coefficient of friction angle unit:	0,10
Coefficient of friction per unit length:	0,2.10 ⁻²
Back of the anchor cone:	0,1.10 ⁻² m
The maximum tensioning force:	82.5 t
Young's module:	196 000 MPa
Loss relaxation to 1000 hours:	9%

The frame 75 t C.02 (82.5 t in characteristic value) is formed of 7 strands of 7 thread of 3.6 mm diameter, fixed at their ends by two anchoring devices.

Elle peut être mise en place, soit dans le coffrage avant le coulage du béton, soit après durcissement du béton, dans une gaine ménagée dans la poutre à précontraindre au cours de son exécution. Dans le premier cas, l'armature doit être isolée du béton frais par un tube métallique étanche.

Après sa mise en tension, les torons sont enrobés d'un coulis de ciment injecté par un orifice porté par la plaque d'appui de l'un des ancrages.

3.3 Programme d'investigations structurelles

Sur la précontrainte existante, les investigations envisageables sont limitées et ne permettent pas une caractérisation parfaite de l'état de la précontrainte existante. Les principales investigations, sur des câbles de précontrainte existante, sont l'inspection visuelle, la gammagraphie, l'ouverture de fenêtres permettant notamment le contrôle endoscopique à l'intérieur des gaines, le prélèvement de coulis pour analyse en laboratoire et la réalisation de l'essai à l'arbalète (principe rappelé ci-après) pour définir la tension résiduelle du câble existant.

Or, pour évaluer précisément le comportement de l'ouvrage, il est nécessaire de déterminer les tensions résiduelles dans les câbles. De fait et compte tenu du contexte, qui nécessite de statuer sur la stabilité et la pérennité de l'ouvrage, seuls les essais à l'arbalète ont été réalisés. Ces essais sont qualifiés de destructifs car ils nécessitent le dégagement du câble via la démolition locale du béton environnant mais ils n'endommagent pas le câble testé.

- Le diagnostic, sur la partie précontrainte, a nécessité les étapes suivantes :
- Détermination des tracés des câbles existants,
- Identification des zones d'implantation des essais à l'arbalète,
- Ouverture de fenêtre pour dégager le câble,
- Réalisation d'essai à l'arbalète.

La fiabilité recherchée, pour cette phase, est étroitement liée à la représentativité des investigations. Cette représentativité dépend de la nature des investigations, de leur localisation et du nombre d'essais.

Dans le cas du diagnostic et ensuite du dimensionnement du renforcement nécessaire à la reprise des sollicitations sismiques par la passerelle, le nombre d'essais et leur localisation ont été choisis afin de limiter les ouvertures de fenêtre tout en fournissant des données structurelles suffisantes. Une dizaine d'essais à l'arbalète a été réalisée sur différentes sections et

It can be implemented either in the formwork before the concrete is poured or after the concrete hardening, in a sheath arranged in the beam pretensioning during its execution. In the first case, the armature must be isolated from the fresh concrete by a sealed metal tube. After tensioning the strands are coated with a cement grout injected through an orifice carried by the anchorage plate of one of the anchorages.

3.3 Structural Investigations Program

On the existing pretensioning, possible investigations are limited and do not allow a perfect characterization of the state of the existing pretensioning. The main investigations on existing pretensioning are visual inspection, radiography, opening windows for including endoscopic control inside sheaths, removal of grout for laboratory analysis and implementation of test the crossbow (principle recalled below) to set the residual voltage of the existing cable.

However, to accurately assess the behavior of the structure, it is necessary to determine the residual tension in the cables. Fact and given the context that requires a decision on the stability and durability of the structure, only the tests with a crossbow has been made. These tests are called destructive because they require the release cable through the local demolition of the surrounding concrete, but they do not damage the cable under test.

- *The diagnosis on the pretensioning part, required the following steps :*
- *Identify existing cable routes,*
- *Identification of areas of implementation trials crossbow*
- *Window opening to release the cable conducting test with crossbow.*

Sought reliable for this phase is closely related to the representativeness of the investigations. This representation depends on the nature of the investigations, their location and the number of tests.

In the case of diagnosis and then reinforcement dimensioning necessary for the resumption of seismic forces by the footbridge, the number of trials and their locations were chosen to limit window openings while providing sufficient structural data. Ten trials crossbow was performed

différentes travées. Le faible écart entre les différents résultats a permis d'assurer la bonne représentativité des valeurs considérées lors des différentes analyses structurales.

3.4 Détermination des tracés de câbles existants

Les données d'entrée sur la géométrie de la précontrainte existante se sont avérées incomplètes : seules les amorces des tracés de câbles au niveau des ancrages étaient représentées sur les plans d'exécution en notre possession.

Aussi, il a fallu localiser, sur chaque poutre la géométrie des câbles. La technique du radar géophysique développée par le LERM a permis le positionnement précis de chaque gaine avec une précision inférieure au centimètre.

3.5 Procédé de l'essai à l'arbalète

L'essai à l'arbalète permet d'estimer la tension résiduelle dans une armature de précontrainte, fil ou toron.

Le principe de l'essai est fondé sur la modification de la raideur de l'armature en fonction de sa tension. Ainsi, cet essai consiste à imposer une flèche à l'armature testée et à mesurer la force nécessaire pour atteindre cette flèche. Il est réalisé suivant le guide [3].

Il faut noter que les résultats ne sont pas instantanés ; après la réalisation des mesures sur site, une phase d'étalonnage en laboratoire, sur le même type de câble doit être menée pour déterminer, par extrapolation, les tensions résiduelles mesurées. Les figures suivantes illustrent ce procédé.

on different sections and different spans. The small difference between results helped to ensure good representation of values considered in different structural analyzes.

3.4 Determination of tracings of existing cables

The input data on the geometry of the existing prestressing proved incomplete: only primers cable routes at the anchors were represented in execution plans in our possession.

Also, it took locate on each beam geometry cables. The radar geophysical technology developed by LERM allowed precise positioning of each sheath with sub-centimeter accuracy.

3.5 Method of crossbow test

The crossbow test used to estimate the residual stress in prestressing steel, wire or strand.

The principle of the test is based on the change in the stiffness of the frame based on its voltage. Thus, this test is to impose an arrow to the frame and tested to measure the force required to achieve the arrow strength. It is performed according to the guide [3].

It should be noted that the results are not instant, after the completion of on-site measurements, a calibration phase in the laboratory on the same type of cable should be conducted to determine, by extrapolation, the measured residual stresses. The following figures illustrate this process.

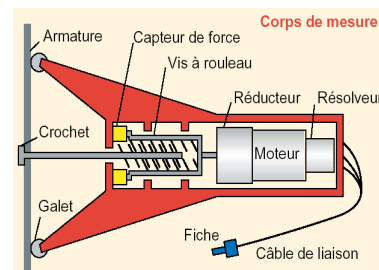
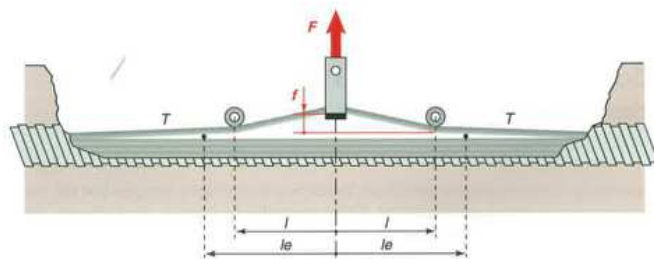


Figure 2 : Principe de l'essai à l'arbalète / Principle of the test with a crossbow

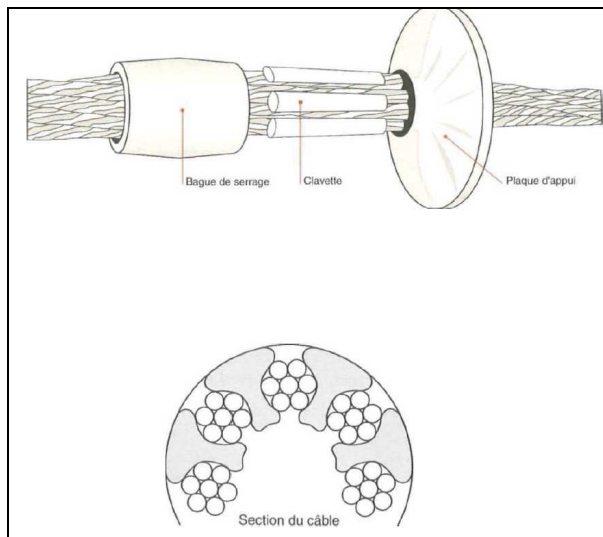


Figure 3 : Présentation du système d'ancrage d'un câble GTM type C.02 / Overview of the anchorage system of a GTM cable type C.02



Figure 4 : Réalisation d'un essai à l'arbalète / Development of a test crossbow

Lors de ces essais, les informations suivantes ont également été relevées :

- l'état de la gaine au moment de l'ouverture de la fenêtre,
- la qualité de l'injection du coulis au moment de l'ouverture de la gaine,
- l'état des fils de précontrainte visibles avant ou après dégagement du coulis, un prélèvement de ce dernier étant systématiquement effectué à d'éventuelles fins d'analyses. Dans le cas où des vides sont mis en évidence au moment de l'ouverture de la gaine, une vidéo-endoscopie est réalisée.

Pour l'ouvrage supportant le pipeline, aucun défaut n'a été repéré lors de ces différents contrôles.

Les essais pratiqués ont mis en lumière un écart notable entre la tension mesurée et la tension théorique définie dans les notes de calcul de l'époque, de l'ordre de 15% pour un écart type de 13 %. Compte tenu de ce constat, la capacité portante résiduelle du tablier a été appréciée par un recalcul sur la base des tensions résiduelles mesurées. Cet écart entre la tension résiduelle et la tension théorique s'explique notamment par la mauvaise appréhension à l'époque de construction des phénomènes de fluage du béton et de relaxation des câbles et la non-prise en compte du phasage. Ces points sont repris dans la circulaire référencée [2].

During these tests, the following were also noted :

- the status of the sheath at the time of opening of the window,
- quality grouting at the opening of the sheath,
- status of prestressing wires visible before or after release of the grout, a sample of this being carried out systematically for potential analysis. In the case where an empty are highlighted at the time of opening of the sheath, a video-endoscopy is performed.

For structure supporting the pipeline, no fault has been detected in these controls.

The tests carried out have revealed a significant difference between the measured voltage and the theoretical voltage defined in the notes to calculate the time of the order of 15% with a standard deviation of 13%. Given this observation, the residual capacity of the apron of the bridge has been appreciated by a recalculation based on the measured residual stresses. This difference between the residual voltage and the theoretical voltage can be explained by poor understanding at the time of construction of the phenomena of concrete flow and relaxation cables and non-consideration of phasing. These points are included in the circular referenced [2].

3.6 Conclusions de l'analyse structurelle de l'ouvrage

L'analyse structurelle a été menée à l'aide du logiciel Pythagore (www.pythagore.setec.fr) qui permet notamment l'analyse dynamique de structure et la modélisation de câbles de précontrainte en tenant compte des différentes déviations angulaires, et du phasage de construction de l'ouvrage.

Le diagnostic de l'ouvrage a mis en évidence le fait que l'ouvrage ne présentait aucune pathologie significative et que tous les éléments de la précontrainte existante était dans un bon état de conservation.

Le calcul de portance de l'ouvrage, sous phases d'exploitation, a montré que l'ouvrage était apte à être utilisé dans des conditions normales. Une fiabilisation des hypothèses de calcul via une analyse de sensibilité, notamment par la détermination des surtensions dans les câbles existants et une visite de l'ouvrage sous exploitation, a parallèlement été menée.

L'analyse sismique de la structure a confirmé le risque d'entrechoquement des travées indépendantes et a également identifié la nécessité de renforcement à mi travée pour un séisme vertical descendant.

3.6 Conclusions of the structural analysis of the structure

The structural analysis was conducted using the Pythagore software (www.pythagore.setec.fr) that allows such dynamic structural analysis and modeling of prestressing cables taking into account the different angular deviations, and construction phasing of the structure.

Diagnosis of structure has highlighted the fact that the structure showed no significant pathology and that all elements of the existing prestressing was in a good state of preservation.

The calculation of portance of the structure under operating phases showed that the structure was able to be used under normal conditions. A reliability of assumptions through sensitivity analysis, including the identification of surges in existing cables and a visit of the structure under operation has been carried out in parallel.

The seismic analysis of the structure confirmed the risk of independent spans clashing and also identified the need to reinforce mid span for vertical down seism.

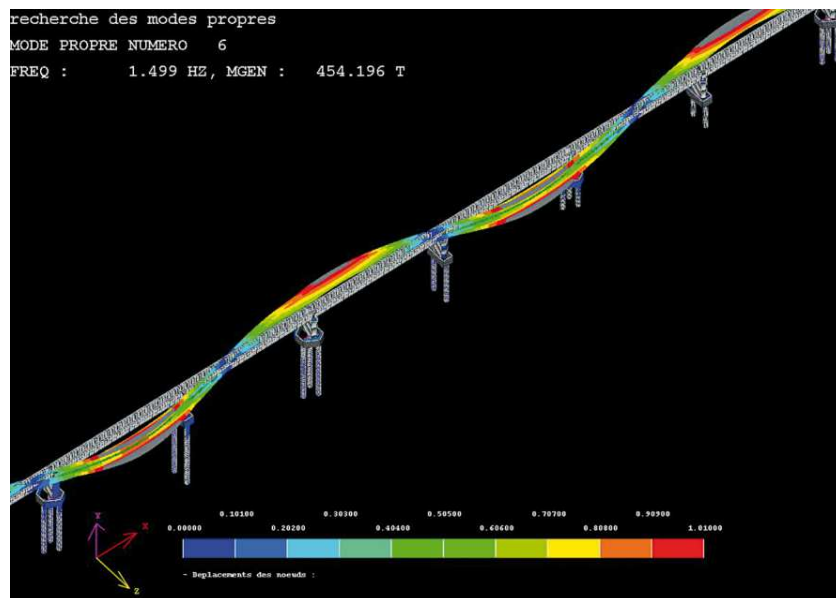


Figure 5 : Vue du modèle général – analyse modale de la structure / View of the general model - modal analysis of the structure

4. PROJET DE REHABILITATION ET DE RENFORCEMENT DE L'OUVRAGE

4.1 Entretien spécialisé de la structure

Les interventions d'entretien spécialisé préconisées pour pérenniser l'ouvrage sont notamment le curage de l'intérieur de la structure, la réfection de l'étanchéité et le ragréage des bétons dégradés, essentiellement localisés au droit de la jonction dalle poutres latérales, ainsi qu'un traitement des fissures.

Le diagnostic a également mis en évidence la nécessité de remplacer les appareils d'appui et les bossages d'une part pour pérenniser la structure et d'autre part permettre la transition des sollicitations horizontales entre le tablier et les piles sous séisme.

4.2 Problématique du renforcement au séisme

Le choix du spectre à appliquer à la structure est fondé sur l'importance de l'ouvrage et sur les enjeux environnementaux du site. L'ouvrage étant dans le lit majeur de la Durance, en zone de risque sismique « modéré » d'après l'annexe des articles R563-1 à R563-8 du Code de l'Environnement modifiés par les Décret n° 2010-1254 et n° 2010-1255 du 22 octobre 2010 ainsi que par l'Arrêté du 22 octobre 2010. L'accélération nominale retenue est de 1.6m/s^2 . De plus, un coefficient d'importance, égal à 1.4, est appliqué au spectre réglementaire pour tenir compte de l'importance sociale et économique de la structure et de son rôle pour la société nationale et européenne.

Ce spectre réglementaire a ensuite été complété par des préconisations particulières fondées sur une étude spécifique du BRGM. Ce nouveau spectre est ensuite appliqué à la structure par une analyse multimodale qui permet notamment d'identifier et de quantifier l'importante différence de rigidité entre les piles fondées sur deux pieux et les piles fondées sur trois pieux, en fonction également du toit du substratum.

Le risque d'entrechoquement sous séisme (déplacement longitudinal de $\pm 6\text{cm}$) de la structure existante a été confirmé par l'analyse. Le fait que chaque travée soit appuyée sur une pile souple et sur une pile raide a naturellement conduit à proposer d'atteler les travées entre elles pour permettre la reprise des sollicitations longitudinales et empêcher le risque d'entrechoquement. La durabilité de la précontrainte intérieure ne pouvant être assurée à 100%, et l'utilisation de précontrainte additionnelle extérieure étant nécessaire pour améliorer la reprise des sollicitations verticales descendantes sous séisme, le tracé de la

4. REHABILITATION PROJECT AND REINFORCEMENT OF THE STRUCTURE

4.1 Maintenance of the specialized structure

The specialized maintenance interventions recommended to sustain the structure include the cleaning of the interior of the structure, repair of sealing and patching degraded concrete, mainly located in the right side beams slab junction, as well as a treatment of cracks.

The diagnosis has also highlighted the need to replace the support devices and the bosses to sustain the structure and secondly allow the transition from horizontal stresses between the apron and the piles under seism.

4.2 Issues of seism reinforcement

The choice of spectrum to be applied to the structure is based on the importance of structure and environmental issues of the site. The structure is in the flood plain of the Durance, in seismic risk area "moderate" according to Annex articles R563-1 to R563-8 Environmental Code modified by Decree No. 2010-1254 and n ° 2010-1255 of 22 October 2010 and by the Decree of 22 October 2010. The nominal acceleration used is 1.6m/s^2 . In addition, an important factor equal to 1.4 is applied to the regulatory spectrum to reflect the social and economic importance of the structure and its role in national and European society.

This regulatory spectrum was then supplemented by specific recommendations based on a specific study of BRGM. This new spectrum is then applied to the structure by a multimodal analysis that includes identifying and quantifying the significant difference in stiffness between the piles based on two piles and piles based on three pickets, depending also on the roof of the substratum.

The risk of clashing under seism (longitudinal displacement of $\pm 6\text{cm}$) of the existing structure was confirmed by the analysis. The fact that each span is supported on a flexible pile and on a stiff pile naturally led to propose to harness the spans between them to allow the resumption of longitudinal stresses and prevent the risk of clashing. The durability of the internal prestressing cannot be 100% guaranteed, and the use of external prestressing is needed to improve the recovery of the descending vertical stresses in

précontrainte a été optimisé pour pérenniser la structure en permettant de palier un éventuel défaut de précontrainte existante.

4.3 Choix du renforcement statique et dynamique combiné

Le renforcement dynamique de la structure a été envisagé dès le départ, avec un souci de durabilité de l'ouvrage. En effet, il est apparu opportun de profiter des renforcements dynamiques pour pérenniser l'ouvrage. Parmi les techniques analysées, la technologie de précontrainte extérieure additionnelle a donc été la plus adaptée à la problématique car elle permet également de limiter tout phénomène de surtension dans les câbles sous certains cas de charge. Des calculs post-critiques, basés sur la position réelle des câbles, ont donc été réalisés. L'étude de surtension des câbles en classe III du BPEL a été réalisée avec le logiciel CDS du Sétra. Elle est basée sur le relevé précis de la position des câbles et aciers passifs réalisé par le LERM et est illustré par la 7.

seism, the tracing of the prestressing has been optimized to sustain the structure to bearing any defect of existing prestressing.

4.3 Choice of combined static and dynamic capacity

The dynamic reinforcement of the structure was planned from the starting, with a concern for sustainability of the project. Indeed, it seemed appropriate to take advantage of dynamic reinforcement to sustain the structure. Among the techniques discussed, the additional external prestressing technology has been adapted to the most problematic because it also reduces any electrical surges in the wires under some load cases. Post-critical calculations based on the actual position of the cables have been made. The study of voltage class III BPEL cables was performed with the software CDS of the Sétra. It is based on an accurate record of the position of passive cables and steel produced by LERM and is illustrated in Figure 7.

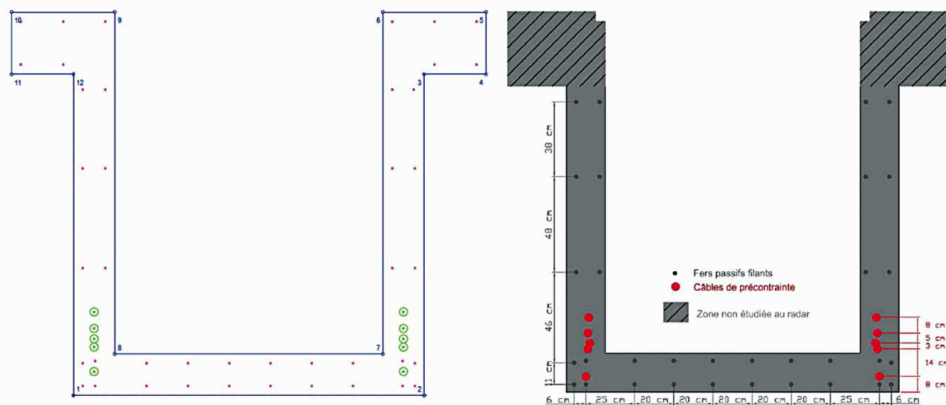


Figure 6 : Section sous CDS pour calcul des surtensions dans les câbles existant (ici avant réparation)
Section under CDS calculation surges in existing cables (here before repair)

Les sections ont ainsi été vérifiées, aussi bien en statique qu'en dynamique, pour s'assurer que la précontrainte permette non seulement l'attelage des travées mais également la reprise des efforts sous séisme, en intégrant une perte de précontrainte supplémentaire liée à l'éventuelle future défaillance de quelques câbles existants, en augmentant la tension de la précontrainte additionnelle.

The sections have been verified, both static and dynamic, to ensure that not only enables the prestress of the coupling span but also thrust force under seism, incorporating additional loss due to the prestressing the possible future failure of some existing cables, by increasing the tension of the prestressing.

4.4 Solution de renforcement retenue (précontrainte additionnelle, piles et fondations)

La solution de renforcement retenue pour la consultation aux Entreprises est donc l'attelage de travées. Pour des raisons de dilatation thermique, l'attelage de toutes les travées n'est pas possible. Ainsi, certaines travées sont attelées entre elles et les travées non attelées sont reliées par des dispositifs mécaniques dynamiques annulant ainsi le risque d'entrechoquement sous évènement sismique. En effet, ces dispositifs permettent les déplacements lents dus aux effets thermiques et bloquent les déplacements rapides dus aux mouvements sismiques. La précontrainte additionnelle extérieure maintient comprimés ces attelages sous tous les cas de charges.

La solution de renforcement modifie le schéma statique de l'ouvrage et nécessite le renforcement local de certaines parties d'ouvrages. Pour le renforcement de certains pieds de piles ; l'utilisation de matériaux composites a été préférée à d'autres techniques, notamment l'utilisation de béton projeté, afin de limiter l'augmentation du poids de la structure et donc les sollicitations sismiques à reprendre.

4.5 Démontabilité et possibilité de reprise du renforcement pour remplacement du pipe-line ou évolution de l'intégrité de la précontrainte

Le Maître d'Ouvrage a souhaité profiter de ces interventions de renforcement afin de pérenniser l'ouvrage en palliant d'éventuelles futures pertes de précontrainte. Il a ainsi été préférée l'utilisation de précontrainte extérieure additionnelle de type mono toron gainé-graissé laissant la possibilité d'ajuster la tension effective pendant la durée d'exploitation de l'ouvrage.

Pour des raisons d'exploitation et de maintenance, l'accessibilité à la conduite ne doit pas être perturbée. Ainsi, tous les nouveaux éléments, y compris la précontrainte additionnelle, sont démontables facilitant toute intervention ultérieure sur la conduite.

5. PHASAGE DES TRAVAUX

Les travaux et les études d'exécution ont été réalisés par l'entreprise Freyssinet. Les principales tâches ont été les suivantes :

- Curage et nettoyage de la structure,
- Excavation de l'extrémité de la travée 8 afin d'assurer l'accessibilité de la structure,
- Réfection de l'étanchéité,

4.4 Retained reinforcement solution (prestressing, piles and foundations)

The reinforcement solution adopted for Enterprises consultation is the coupling spans. For reasons of thermal expansion, the coupling of all spans is not possible. Thus, some spans are coupled together and not coupled spans are connected by dynamic mechanical devices thereby eliminating the risk of clashing under seismic event. In fact, these devices allow the slow movement due to thermal effects and block the rapid displacement due to seismic movements. The additional external prestressing maintains these couplings in all load cases.

Reinforcement solution changes the static diagram of the structure requires the local reinforcement of certain parts of the structure. To reinforce some feet of piles, the use of composite materials has been preferred to other techniques, including the use of shotcrete to limit the increase in the weight of the structure and therefore the seismic stresses to resume.

4.5 Disassembly and possibility of recovery reinforcement to replace the pipeline or evolution of the prestressing integrity

The Client wanted to take advantage of these reinforcement interventions to sustain the structure in overcoming any future loss of preload. It has been preferred to use additional external prestressing mono-greased sheathed strand leaving the possibility to adjust the effective voltage for the operation of the project duration.

For reasons of operation and maintenance, access to the driving must not be disturbed. Thus, all new elements, including prestressing, are removable to facilitate any further intervention on driving.

5. STAGES OF WORKS

The works and design studies were made by the company Freyssinet. The main tasks were as follows :

- *Flushing and cleaning of the structure, Excavation of the span 8 in order to ensure the availability of the structure,*
- *Rehabilitation of the seal,*

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Pose des blochets de vérinage et vérinage des tabliers indépendants, - Réfection des bossages d'appui et remplacement des appareils d'appui, - Entretien courant et spécialisé rappelé ci-avant, - Mise en place des blochets d'ancrage de la précontrainte extérieure additionnelle, - Renforcement par matériaux composites des abouts de tablier, notamment au niveau des blochets d'ancrage, - Attelage dit « rigide » des travées 1,2,3 – 4,5 et 6,7,8 pour limiter les risques d'entrechoquement lors d'un éventuel séisme, - Mise en tension de la précontrainte additionnelle, - Vérinage assisté par ordinateur des travées attelées, après la mise en tension de la précontrainte additionnelle, - Renforcement des piles dites « rigides », fondées sur trois pieux, par matériaux composites, avec protection UV, - Attelage dit « mécanique » entre les travées A (1+2+3), B(4+5) et C(6+7+8) par utilisation de bloqueurs dynamiques. | <ul style="list-style-type: none"> - <i>Laying the hammer beams jacking and jacking independent aprons,</i> - <i>Renewal of support and replacement of bearings bosses,</i> - <i>Routine maintenance and specialized recalled above,</i> - <i>Implementation of the hammer beams anchor of additional external prestressing</i> - <i>Reinforcement of composites at the extremities of the deck, particularly at anchor hammer beams,</i> - <i>Coupling said "rigid" of spans 1,2,3 - and 6,7,8 4.5 to reduce the risk of clashing during a possible seism,</i> - <i>Tensioning of prestressing,</i> - <i>Jacking assisted by computer of coupling spans after tensioning of additional prestressing,</i> - <i>Reinforcement of the "rigid" piles, based on three piles with composite materials with UV protection,</i> - <i>Coupling said "mechanical" between spans A (1 +2 +3), B (4 5) and C (6 +7 +8) using dynamic blockers.</i> |
|--|---|

Les travaux ont duré environ 9 mois dont un mois et demi de période de préparation. Concernant la réalisation de la précontrainte additionnelle, la mise en œuvre des 12 blochets a nécessité environ 1 mois d'intervention. La mise en tension des câbles a été réalisée en trois jours.

La bonne exécution des travaux a notamment été permise par la fourniture de procédures d'exécution claires et précises, identifiant toutes les étapes critiques et précisant tous les contrôles intermédiaires : valeurs théoriques attendues et écarts acceptables.

Le renforcement par précontrainte additionnelle a nécessité le vérinage assisté par ordinateur *a posteriori* des travées attelées afin de libérer les appuis des déformations inhérentes à la mise en précontrainte de l'ouvrage.

The work took about 9 months with a month and a half of preparation time. On the implementation of the prestressing, the implementation of 12 hammer beams took about one month of intervention. Tensioning cables was carried out in three days.

The good execution of works was particularly permitted by the provision of clear and precise implementation procedures, identifying all critical stages, identifying all intermediate controls: expected theoretical values and acceptable ranges.

The additional prestressing reinforcement required post jacking computer-aided of coupled spans to free support distortions inherent in the prestressing of the structure.



Figure 7 : Vue de la structure avant intervention /
View of the structure before the operation



Figure 9 : Vue de l'ouvrage après réparation /
View of the structure after repair



Figure 8 : Confortement des embases de piles par composites /
Reinforcement of the piles bases by composites

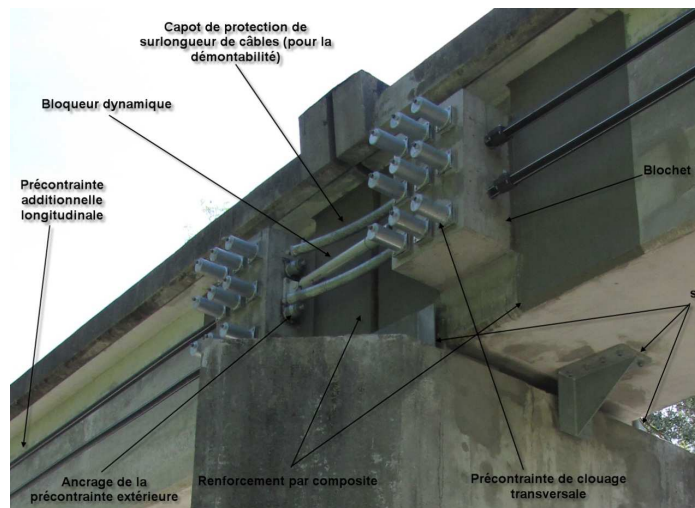


Figure 10 : Détail d'un blochet d'ancrage et des travaux réalisés aux abouts de travée sur la pile P3 /
Detail of a beam anchor and works carried of the extremities of the span on P3 pile

6. CONCLUSION

Cette réhabilitation d'un ouvrage existant, notamment par précontrainte additionnelle extérieure, souligne la nécessité de fiabiliser les hypothèses et notamment la détermination des tensions résiduelles réelles, et non pas estimées sur la base des pertes forfaitaires. Celles-ci doivent servir de base à la définition et à la « juste-conception » des renforcements nécessaires. Cet exemple met également en exergue l'intérêt de la précontrainte additionnelle et des composites dans le renforcement et la maintenance préventive du patrimoine, vis-à-vis notamment de la mise en conformité sismique.

Ce type de réhabilitation nécessite un diagnostic structurel approfondi et une maîtrise de la technicité des procédés de précontrainte. L'évolution technique a notamment permis de réaliser une solution « modulable » et « démontable » afin de s'adapter le mieux possible aux différents besoins structurels de l'ouvrage sans modifier l'exploitation de l'ouvrage et en facilitant le suivi, en palliant à terme aux éventuels déficits de la précontrainte interne au béton.

7. INTERVENANTS

Les intervenants pour cette mission sont les suivants :

- Maître d'ouvrage : SPSE,
- Maîtrise d'œuvre : DIADES,
- Entreprise de Travaux : FREYSSINET,
- Bureau d'études d'exécution : FREYSSINET International,
- Contrôle extérieur Composites : LRPC Autun,
- Contrôle technique : VERITAS,
- CSPS : APAVE.

6. CONCLUSION

The rehabilitation of an existing structure, including external prestressing, stresses the need for reliable assumptions include the determination of actual residual stresses, not estimated on the basis of the fixed losses. These should form the basis for the definition and the "just design" reinforcement required. This example also highlights the interest of prestressing and composites in reinforcement and preventive maintenance of assets, in particular setting seismic compliance.

This type of rehabilitation requires a thorough structural diagnosis and mastery of the technical prestressing processes. The technical development has enabled to achieve a "modular" and "removable" solution to adapt better the structural needs of the structure without changing the exploitation of the structure and facilitating follow-up on overcoming potential deficits of internal prestressing concrete.

7. PARTICIPANTS

The participants for this mission are:

- | | |
|------------------------------------|--------------------------|
| - Client: | SPSE, |
| - Project management: | DIADES, |
| - Works Company: | FREYSSINET, |
| - Consultancy execution: | FREYSSINET International |
| - External control for Composites: | LRPC Autun |
| - Technical Control: | VERITAS |
| - CSPS: | APAVE. |

8. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES / REFERENCES

- [1] Extrait de la circulaire n°82 du 28 décembre 1966 ; bulletin officiel du ministère de l'équipement ; fascicule spécial n° 66-24. ; Texte n° 857
- [2] Circulaire n°141 de 1953, instructions provisoires relatives à l'emploi du béton précontraint – 26 octobre 1953
- [3] Guide technique LCPC — Mesure de la tension des armatures de précontrainte à l'aide de l'Arbalète – réf : GTARBA – Novembre 2009
- [4] Article Revue Travaux N°882 – Juillet-Août 2011 – Diagnostic et réparation d'un ouvrage sensible du Pipeline Sud Européen, à partir de la page 30
- [5] Guide technique LCPC – Guide méthodologique de surveillance et d'auscultation – VIPP – Octobre 2001
- [6] Guide AFGC – COFREND – Méthodologie d'évaluation non destructive de l'état d'altération des ouvrages en béton – Septembre 2005
- [7] Maintenance et Réparation des Ponts – Presses des Ponts et Chaussées – Juillet 1997