

## OUVERTURE / FERMETURE DE FENÊTRE DANS UN CONDUIT EN PEHD DE CÂBLE DE PRÉCONTRAINTÉ EXTÉRIEURE

PRINCIPE ET DESCRIPTION SOMMAIRE	
OBJECTIF	Le diagnostic de la précontrainte extérieure, protégée par un coulis de ciment ou un produit souple dans des conduits en PEHD, peut nécessiter l'ouverture de fenêtres dans le conduit permettant d'atteindre les câbles de précontrainte et leur produit de protection en vue de les examiner, de réaliser des essais ou mesures, ou de faire des prélèvements pour analyses et essais en laboratoire.
PRINCIPE	<p>Choix de la localisation et des dimensions de la fenêtre en fonction des objectifs (observations, essais, prélèvements) et en tenant compte des conditions d'accessibilité et de remise en état du conduit.</p> <p>Réalisation de la fenêtre sur le conduit PEHD sans endommager le câble de précontrainte.</p> <p>Réalisation des observations, essais et/ou prélèvements.</p> <p>Protection du câble de précontrainte vis-à-vis de la corrosion.</p> <p>Fermeture étanche de la fenêtre.</p>
CARACTÈRE DESTRUCTIF DE LA MÉTHODE	<p>Par définition, l'intervention a un effet localement destructif sur le conduit dont il faut reconstituer l'étanchéité en fin d'intervention.</p> <p>Non destructif pour la précontrainte si toutes les précautions ont été prises pour éviter de dégrader les armatures de précontrainte ou de perturber leur état électrochimique.</p>
MATURITÉ	<p>Étant donné le grand nombre d'ouvrages construits avec une précontrainte extérieure, c'est une intervention relativement fréquente mais peu documentée.</p> <p>Par ailleurs, chaque intervention a ses propres spécificités liées principalement à la cause des éventuelles dégradations et aux conditions d'intervention.</p>
MATÉRIEL SPÉCIFIQUE EMPLOYÉ	<p>Matériel pour la protection des intervenants (équipement de protection individuelle EPI) : gants, masque, lunettes et protections auditives.</p> <p>Matériel pour l'ouverture de la fenêtre : plusieurs solutions existent (outil électroportatif type « Dremel » ou scie cloche et gabarit fonction de l'épaisseur du conduit et finition au cutter, fil à découper pour ouverture sur la circonférence du conduit).</p> <p>Produits et matériel pour la protection provisoire des câbles : produit souple de protection (généralement cire pétrolière) et pinceau pour application sur les armatures, bande imprégnée (type réparation canalisations de gaz).</p> <p>La fermeture définitive de la fenêtre doit être réalisée par des personnels qualifiés d'entreprises spécialisées. La procédure de fermeture définitive de la fenêtre définit les matériels et matériaux spécifiques à employer : produits de protection, modalités de soudage ou types de colliers, matériels d'injection, etc.</p>
MODALITÉS D'APPLICATIONS	
DOMAINE D'APPLICATION	<p>Ouvrages d'art comportant une précontrainte extérieure, pour lesquels des suspicions de dégradation de la précontrainte existent. L'ouverture de fenêtres dans les conduits constitue notamment une des étapes de <a href="#">la procédure de diagnostic E-2-4 « Diagnostic de la précontrainte extérieure protégée par du coulis de ciment au contact des armatures »</a>.</p> <p>L'ouverture de fenêtres dans les conduits peut éventuellement être couplée à des travaux de réparation des conduits.</p>

## DOMAINE D'APPLICATION

Toute ouverture de conduit de câble de précontrainte doit être mûrement réfléchi en amont, notamment en ce qui concerne son intérêt (ouverture couplée ou non avec la mise en œuvre préalable de techniques d'investigation non destructives), la possibilité de refermer la fenêtre de manière pérenne et les risques de rupture brutale des câbles de précontrainte. En général, cette intervention ne peut être décidée qu'après l'examen du bilan initial de niveau 1 (cf. note d'information n°3 du Cerema [1]). Une fois ce bilan établi, il est utile de hiérarchiser les désordres potentiels à évaluer et de cibler les conduits à ouvrir.

Quels que soient les résultats des investigations, il est indispensable d'assurer une réparation étanche et pérenne des fenêtres ouvertes, dont la fermeture définitive relève de personnels qualifiés d'une entreprise spécialisée.

## SUJETS PRATIQUES D'INTERVENTION

### 1) Définition a priori de la nature de l'intervention et du choix de la localisation et de la dimension de l'ouverture de la fenêtre

L'ouverture d'une fenêtre peut être décidée suite à l'observation d'une pathologie propre au conduit en PEHD (raccordement douteux, fissure ou déchirure, zones de réparations antérieures à vérifier, etc.) afin d'en prélever une partie à des fins d'analyses et essais en laboratoire.

Il peut également s'agir de vérifier l'état de l'injection au moyen de coulis de ciment ou de produit souple à la suite de la détection de défauts de remplissage par méthodes non destructives (cf. [procédure de diagnostic E2-4](#), notamment capteur capacitif 3CP et/ou thermographie infrarouge active).

Enfin, il peut s'agir d'une suspicion d'un risque de corrosion ou de rupture des armatures de précontrainte avec vérification visuelle de l'état et éventuels prélèvements du produit de protection pour des analyses de sa conformité, en particulier du pH, de la présence de chlorures ou de produits pouvant affecter la durabilité des armatures dans le cas d'un coulis de ciment.

### 2) Réalisation de l'ouverture de la fenêtre

Le choix des dimensions de l'ouverture de la fenêtre définit le choix de l'outil le plus adapté. Quel qu'il soit (cf. « Matériel spécifique employé » ci-avant), il est indispensable d'éviter toute dégradation des câbles (rayure ou indentation par un outil par exemple), ainsi que de ne pas déstructurer le coulis plus que nécessaire.

La découpe doit être propre avec des bords bien nets, notamment si la réutilisation du morceau de PEHD extrait est envisagée en fermeture définitive (voir ci-après).

Dans certains cas, l'ouverture peut être définie sur toute la circonférence pour récupérer le tronçon de conduit pour analyses et essais en laboratoire ou pour le remplacer dans une zone où il apparaît dégradé.

Remarque : lorsqu'une fenêtre a été réalisée, ses dimensions doivent pouvoir être adaptées si nécessaire (élargissement de la fenêtre) afin d'accéder à des zones de dégradations constatées non préalablement identifiées (suite à l'utilisation d'un endoscope par exemple) ou si la zone dégagée n'est pas suffisante en cas de prélèvement de fils ou torons par exemple.

### 3) Réalisation des investigations

Deux types d'investigations sont possibles, investigations *in situ* et investigations en laboratoire sur des prélèvements.

#### Investigations *in situ*

Il peut s'agir de constats visuels :

- du produit de protection, par exemple dans le cas d'un coulis : présence de liquide, absence de coulis, état du coulis, ségrégation, pâte blanche, fissure, trace d'eau ou d'humidité, etc.



Fenêtre ouverte au moyen d'un outil électroportatif dans un conduit en PEHD, présence d'un toron, de pâte blanche et d'humidité (photos Cerema)

- des armatures (traces d'oxydation, piqûres, corrosion généralisée, perte de section, rupture de fils ou de torons, etc.) ;  
- Remarque : il faut si possible éviter de dégrader le coulis dans les parties du câble où les armatures apparaissent saines ;



Coulis désorganisé et corrosion de fils (photos Cerema)

- du conduit (constatations sur les faces externe et interne, présence de rayures, de fissures, de déchirures, présence de zones préalablement réparées, etc.) et de ses accessoires : manchons de raccordement, événements d'injection ou trous d'évents, etc.



Manchon déformé et coulure de coulis (photo Cerema) // Témoin de soudure absent (photo DGITM/DMR/FCA)

On peut également réaliser les investigations suivantes :

- mesures *in situ* du pH des éventuels liquides (avec du papier pH) ;
- prélèvement de liquides présents, à récupérer à l'ouverture du conduit ou avec une seringue, en vue d'analyses en laboratoire,
- prélèvement de coulis en vue d'analyses en laboratoire,
- tests au tournevis plat sur fils ou torons pour détecter d'éventuelles détensions ou ruptures (la détection ne sera toutefois que locale, une rupture éloignée de la zone d'ouverture n'est pas forcément détectée s'il y a un réancrage des fils ou torons) ;
- prélèvements de morceaux de fils de précontrainte rompus au droit de zones dégradées en vue d'analyses ou essais de laboratoire.

Note : l'attention est attirée sur la nécessité de réaliser les prélèvements (dont leur conditionnement) dans le respect des exigences à fixer préalablement par les laboratoires d'essais.

#### Investigations en laboratoire

Il s'agit essentiellement d'investigations qui concernent l'analyse chimique et/ou minéralogique :

- des coulis prélevés (pH, présence et teneur en chlorures, nature du ciment voire d'autres constituants, etc.),
- des éventuels liquides prélevés (pH, chlorures, sulfates, alcalins, etc.).

Il s'agit le cas échéant d'investigations métallurgiques sur les morceaux de fils rompus prélevés : observation des faciès de rupture et d'éventuelles fissures, détermination du type de corrosion et de la susceptibilité à la corrosion fissurante sous tension, etc. et si possible d'essais mécaniques : essais de traction, de corrosion sous traction.

Remarque :

- le prélèvement de fils sains est à proscrire ;
- les dimensions minimales des prélèvements figurent dans la fiche d'auscultation [A2-3 « Prélèvement d'armatures en acier »](#) : *a minima* 50 cm pour des essais mécaniques et de l'ordre du cm pour des essais métallographiques.

#### **4) Mise en place d'une protection des armatures de précontrainte avant fermeture définitive du conduit**

- Bien qu'il soit possible de réaliser une fermeture définitive juste après une investigation, si cette fermeture doit être différée, on procède alors à une fermeture provisoire.
- Dans le cadre d'une fermeture provisoire, on se contente de recouvrir les zones exposées des câbles par un film de cire pétrolière.

La cire pétrolière est privilégiée par rapport à un matériau cimentaire qui peut générer des piles électrochimiques avec les zones d'ancien coulis donc un risque de corrosion, ainsi que par rapport aux graisses plus sensibles à un éventuel phénomène de ressuage ; par ailleurs, la cire est généralement plus couvrante et pénétrante.

L'utilisation de graisse est en théorie possible mais les spécifications requises sont plus difficiles à atteindre dans le contexte de ces chantiers limités. La graisse utilisée doit être compatible avec les armatures de précontrainte, du type de celles utilisées pour les torons protégés gainés.

■ Note : se reporter à l'article 7.2.6.2. du fascicule 65 du CCTG [2].

L'application de cire pétrolière après préchauffage est réalisée au pinceau ou à la spatule sur le coulis découvert et sur les armatures de précontrainte apparentes.

La fermeture définitive du conduit en PEHD doit être réalisée le plus rapidement possible après l'achèvement d'une campagne d'investigations.

Si une fermeture définitive n'est pas mise en œuvre immédiatement, il est nécessaire de prévoir une protection complémentaire des armatures sous la forme d'une bande d'étanchéité du type de celles utilisées pour la protection des installations de gaz. La bande, imprégnée de produits pétroliers (pétrolatum anti-corrosion) ou de paraffine, est enroulée sur le câble et son conduit de façon à bien recouvrir toute la fenêtre.



Fermeture provisoire avec protection supplémentaire (photo DGITM/DMR/FCA)

Une protection « mécanique » avec un capot peut être envisagée en complément, par exemple en appliquant les morceaux de PEHD extraits ou des bandes adhésives. Cette protection mécanique n'est pas indispensable mais peut s'envisager suivant le délai d'intervention avant fermeture définitive ou l'agressivité du milieu.

### 5) Réalisation de la fermeture définitive du conduit

Le mode de fermeture de la fenêtre fait partie de la conception de l'auscultation. Cette fenêtre doit être refermée de façon définitive, de la même façon que s'il s'agissait d'une réparation. Les conditions pour la réalisation de la fermeture du conduit doivent être définies dès la phase d'évaluation de l'intérêt de l'étude.

En premier lieu, on procède à l'application d'un film hermétique de cire pétrolière sur les zones découvertes comme pour la fermeture provisoire décrite ci-avant.

De manière générale, la fermeture du conduit doit être réalisée afin de restituer une étanchéité totale du conduit. La fermeture définitive du conduit doit être réalisée, de préférence, par soudage sur PEHD par extrusion. L'efficacité du système de fermeture est vérifiée par la réalisation d'une épreuve de convenance comprenant un essai d'étanchéité.

En cas de soudures sur PEHD, un contrôle de la qualité doit être prévu lors de l'exécution.

Dans le cas d'utilisation de dispositifs qui ne font pas appel à une étanchéité par soudure, ces derniers doivent faire l'objet de contrôles périodiques.

Une injection finale du conduit refermé est recommandée, surtout si le diamètre de la « couverture » excède sensiblement celui du conduit. Elle nécessite d'avoir été prévue en amont (orifices spécifiques d'injection, événements). L'injection se fait à la cire pétrolière après fermeture du conduit à partir du « capotage » préalablement réalisé.



Fermetures définitives par soudure sur PEHD (recommandée) // par collier rapporté en inox (photos DGITM/DMR/FCA)

LIMITES D'UTILISATION	Accessibilité de la zone envisagée pour la fenêtre (traversée d'entretoises, de déviateurs, etc.), conditions de fermeture pérennes.
PRÉCISION ET/OU SENSIBILITÉ	Les fenêtres sont la plupart du temps implantées au droit d'anomalies identifiées par des observations (inspections détaillées, etc.) ou des auscultations non destructives préalables (dans ce cas la précision d'implantation des fenêtres dépend des précisions et sensibilités des méthodes utilisées).
PERSONNEL ET COMPÉTENCES	<p>Chargé d'études pour hiérarchiser les désordres à évaluer, définir la localisation des fenêtres et superviser leur réalisation.</p> <p>En pratique, l'ouverture doit être réalisée par un laboratoire expérimenté ou une entreprise spécialisée, par exemple titulaire d'un certificat d'identité professionnelle de la FNTF « 7277 » ou « 1111 ».</p> <p>Chargé et agent d'investigation pour l'ouverture, la réalisation des observations, des essais, mesures et prélèvements ainsi que la fermeture provisoire des fenêtres.</p> <p>Entreprise spécialisée pour la fermeture définitive des fenêtres, notamment pour le soudage du PEHD par extrusion.</p>

### CARACTÉRISTIQUES OPÉRATOIRES

ACCÈS À 1 OU 2 FACES	La géométrie de l'ouverture, les conditions d'observation, de réalisation des essais et prélèvements, dépendent de l'accès partiel au conduit (exemple d'un conduit très proche d'une paroi en béton) ou à la périphérie complète du conduit.
COUPURES OU RESTRICTIONS DE CIRCULATION NÉCESSAIRES	Sans objet
RENDEMENT ET/OU ÉCHANTILLONNAGE	<p>L'ouverture d'une petite fenêtre de 2 à 3 décimètres de longueur prend généralement de l'ordre de 30 minutes à une heure.</p> <p>En revanche, l'élimination d'un tronçon de conduit sur une zone de câble endommagée d'un mètre ou plus, avec élimination du coulis pour examiner l'état des armatures peut prendre jusqu'à une journée.</p>
DÉLAIS DE DISPONIBILITÉ DES RÉSULTATS	<p>Les constats visuels et résultats de mesures ou essais réalisés <i>in situ</i> sont immédiatement disponibles.</p> <p>Les analyses complémentaires en laboratoire des éventuels prélèvements nécessitent un délai fonction de leur nature.</p>
PERTURBATIONS DU TRAFIC SUR LES MESURES	Non
PERTURBATIONS DE L'ENVIRONNEMENT SUR LES MESURES	Non
RISQUES POUR LES UTILISATEURS OU LE PUBLIC	<p>Une étude de risque de rupture brutale des câbles doit être menée préalablement à toute intervention sur l'ouvrage.</p> <p>Un plan de prévention doit rappeler les conditions à satisfaire pour l'intervention (température minimale, position des opérateurs, port d'EPI adaptés notamment en lien avec les risques de blessure liée aux matériels utilisés, etc.).</p>
ENCOMBREMENT - POIDS	Le matériel utilisé est peu encombrant, relativement léger et facilement transportable.

### AVANTAGES - INCONVÉNIENTS

AVANTAGES	<p>Visualisation de l'état des câbles de précontrainte et du produit de protection, voire de l'état interne du conduit PEHD (humidité, condensation, fissuration, etc.).</p> <p>Possibilité de prélèvement.</p>
-----------	---

INCONVÉNIENTS	Opération délicate et minutieuse avec des risques d'endommagement des armatures de précontrainte par l'action mécanique d'ouverture du conduit et par corrosion (mise en contact avec le milieu ambiant) si la fenêtre n'est pas correctement refermée avec un caractère étanche.
<b>DISPONIBILITÉ - COÛT</b>	
DISPONIBILITÉ	Moyenne pour l'ouverture des fenêtres, la réalisation des observations, essais et prélèvements. Rare pour les entreprises spécialisées aptes à réaliser la fermeture des fenêtres dans les règles de l'art.
COÛT	Coût moyen à élevé en fonction du nombre d'ouvertures de fenêtres et des éventuelles difficultés rencontrées au cours des étapes d'ouverture, de réalisation de prélèvements et de fermeture.
<b>RÉFÉRENCES</b>	
NORMES - MODES OPÉRATOIRES - ARTICLES	<p>[1] Note de sensibilisation sur les ouvrages existants à précontrainte extérieure protégée par du coulis de ciment au contact des armatures. Note d'information n°3, Cerema, novembre 2018, ISSN : 2417-9701</p> <p>[2] Fascicule n°65 du CCTG « Exécution des ouvrages de génie civil en béton » Guide d'application de l'ITSEOA fascicule n°32 « Ponts en béton précontraint »</p> <p>Recueil de méthodes d'auscultation des matériaux et structures d'ouvrages d'art :</p> <p><a href="#">A1-2 « Analyse minéralogique du béton »</a></p> <p><a href="#">A2-1 « Examen métallographique et fractographique »</a></p> <p><a href="#">A2-3 « Prélèvement d'armatures en acier »</a></p> <p>A4-2 « Prélèvement et analyse de PEHD » (à paraître ultérieurement)</p> <p><a href="#">E2-4 « Diagnostic de la précontrainte extérieure protégée par du coulis de ciment au contact des armatures »</a></p>