



IMG C

LA DURABILITÉ DE LA PRÉCONTRAINTÉ EXTÉRIEURE

Journée Technique
Vendredi 27 septembre 2019
FNTP – 3 Rue de Berri, 75 008 PARIS





Auscultation des zones d'ancrages par
réflectométrie d'ondes ultrasonores

Le procédé USCAN®



sixense



IFSTTAR

Déroulement de la présentation

- **Place de l'auscultation** dans le diagnostic de la précontrainte extérieure
- **Réfectométrie en ondes guidées** : la technologie
- **Mise en œuvre** dans le cadre du diagnostic : mesure et analyse du signal
- **Classification de l'état de dégradation** des têtes d'ancrage
- **Contrôle a posteriori** : dépose d'un câble et confrontation des résultats
- **Poursuite du processus** d'analyse et perspectives

Place de l'auscultation dans le diagnostic

Documents de référence

- Note de sensibilisation sur les ouvrages existants à précontrainte extérieure N°3 - Novembre 2018 – Cerema
 - 1^{er} niveau : recueil d'information, inspection visuelle, intégrité des dispositifs accessoires
 - 2^{ème} niveau : « S'il y a le moindre doute sur l'état de la précontrainte à l'issue de ce bilan »
 - Démontage des capots, endoscopie des têtes, césarienne des gaines, prélèvements coulis, gammagraphie, thermographie active, etc..
 - Autres techniques en cours de développement (extrait) :

au niveau des ancrages (après démontage des capots) : il est possible d'utiliser une technique d'auscultation par ondes ultrasonores guidées après un polissage soigné des abouts de torons ; cette technique qui permet de détecter des ruptures franches de fils ou de torons de précontrainte sur une longueur d'environ 2 m à partir de l'ancrage fonctionne sur des haubans injectés à la cire dont les torons sont bien séparés ; son application à des câbles injectés au coulis de ciment dont les torons sont en contact reste cependant à confirmer.



Note d'information
Ouvrages d'art

Note de sensibilisation sur les ouvrages existants à précontrainte extérieure

Des ruptures de câbles de précontrainte extérieure protégés par une gaine PEHD ont été observées en France récemment sur quelques grands ouvrages précontraints. Le principal facteur identifié à l'origine de ces ruptures (intégrité des gaines PEHD) est susceptible d'être présent sur différents ouvrages précontraints par des câbles extérieurs au béton injectés au coulis de ciment ou à l'aide de produits souples ; cependant les conséquences sont plus graves dans le cas de câbles injectés au coulis de ciment.



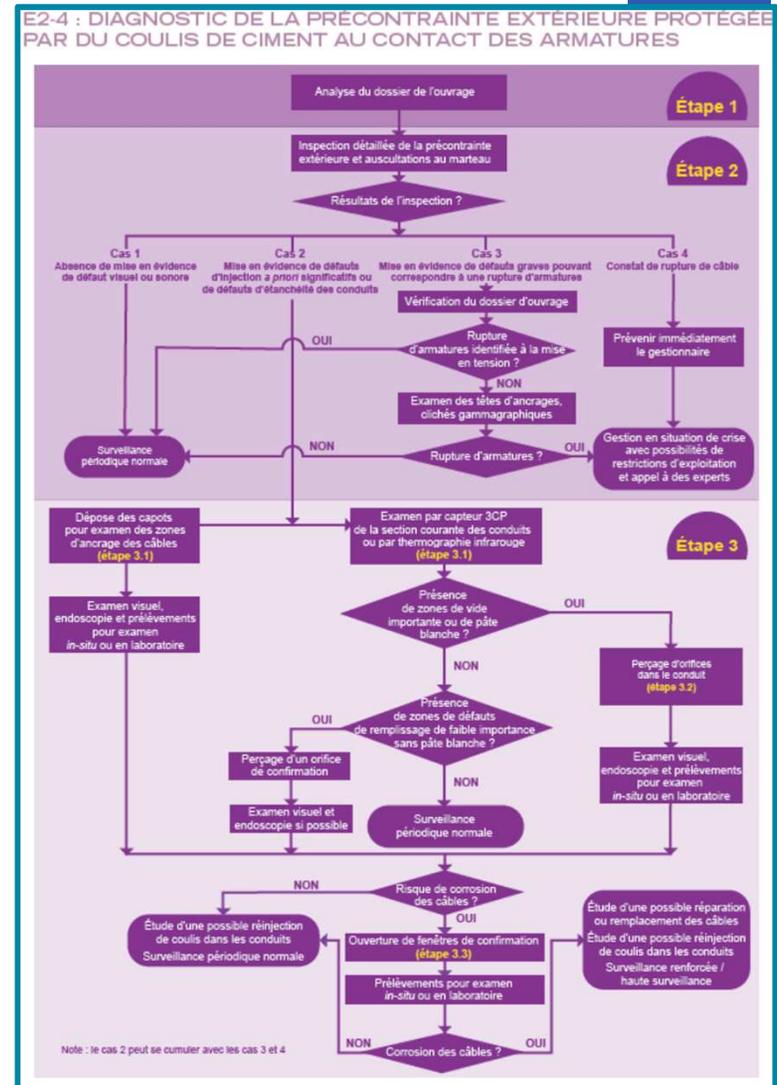
Note n° 03 | Novembre 2018

Collection | Connaissances

Place de l'auscultation dans le diagnostic

Documents de référence

- Fiche E2-4 Diagnostic structurel ouvrages en béton
Diagnostic de la précontrainte extérieure protégée par du coulis de ciment au contact des armatures
- Etape 1 : analyse du dossier d'ouvrage
- Etape 2 : inspection détaillée de la précontrainte extérieure et sonnage « au marteau »
- Etape 3 : auscultation -> renvoi à la note N° 3



Les ondes guidées (1)

Intérêts

- Objets à ausculter difficilement accessibles, du fait de dispositions constructives et/ou de protection (éléments de structure noyés dans du coulis de ciment, de la cire, et eux-mêmes enfouis dans du béton, de la roche, ...)
- Peu de techniques d'END envisageables pour l'auscultation de tels objets.
- La propagation d'onde (élastique) est une possibilité, pour évaluer l'état, à partir d'un nombre restreint de points d'accès à l'élément et sur une distance pluri-métrique.
- La propagation guidée permet l'auscultation d'éléments ayant un grand élanement, à partir d'un seul point d'accès (en réflexion), et sur toute leur section.

Les ondes guidées (2)

Principes



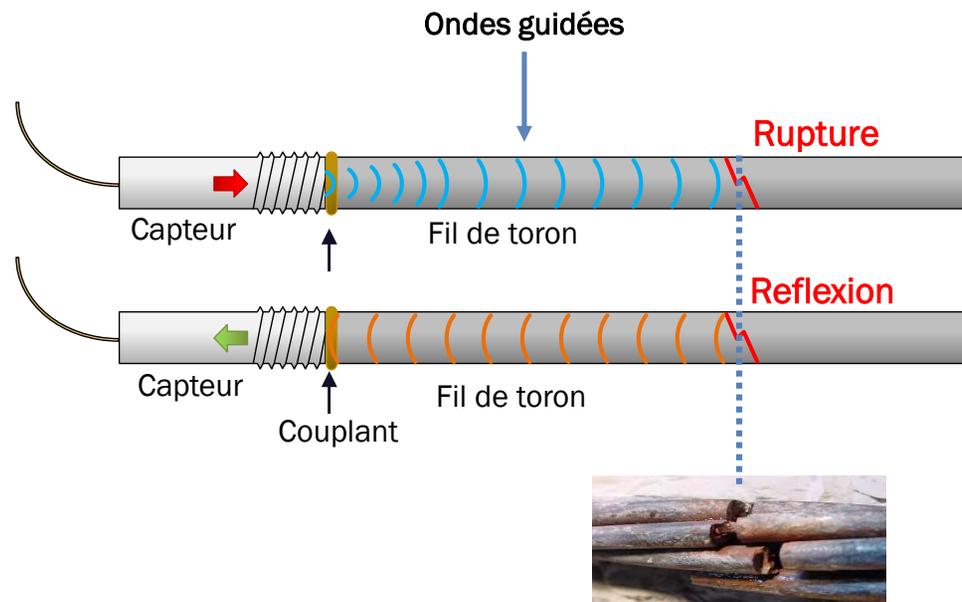
L'onde de volume excitée, interagit multiples fois avec les parois latérales de l'élément à ausculter pour donner lieu à un régime particulier de vibration dans la section transverse se propageant dans la direction longitudinale (*modes transverses propagatifs dans la direction longitudinale, ayant des vitesses de propagation dépendantes de la fréquence*)

L'onde confinée dans l'élément peut se propager sur des distances significatives et interagir avec des défauts. Les défauts sont détectés en réflexion.

Réfectométrie en ondes guidées

Technologie

Analyse de chaque fil d'un toron depuis une tête d'ancrage



Profondeur d'investigation : ~ 2,5 m

Mise en œuvre

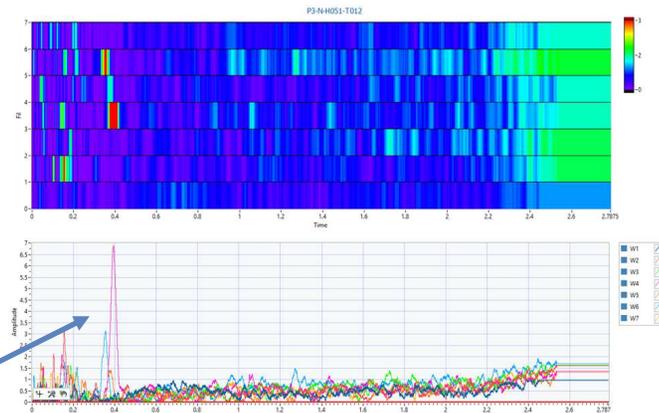
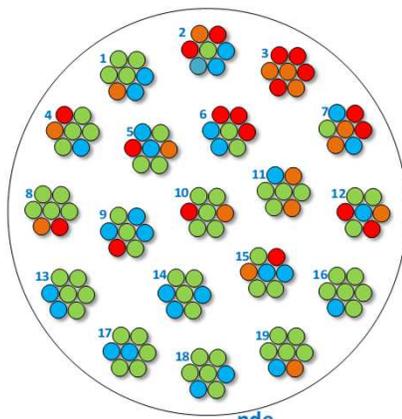
Les différentes étapes

Préparation des fils/Prise de mesure



Interprétation directe du signal
« brut » fil par fil
Analyse par toron (7 fils)

Résultat par ancrage

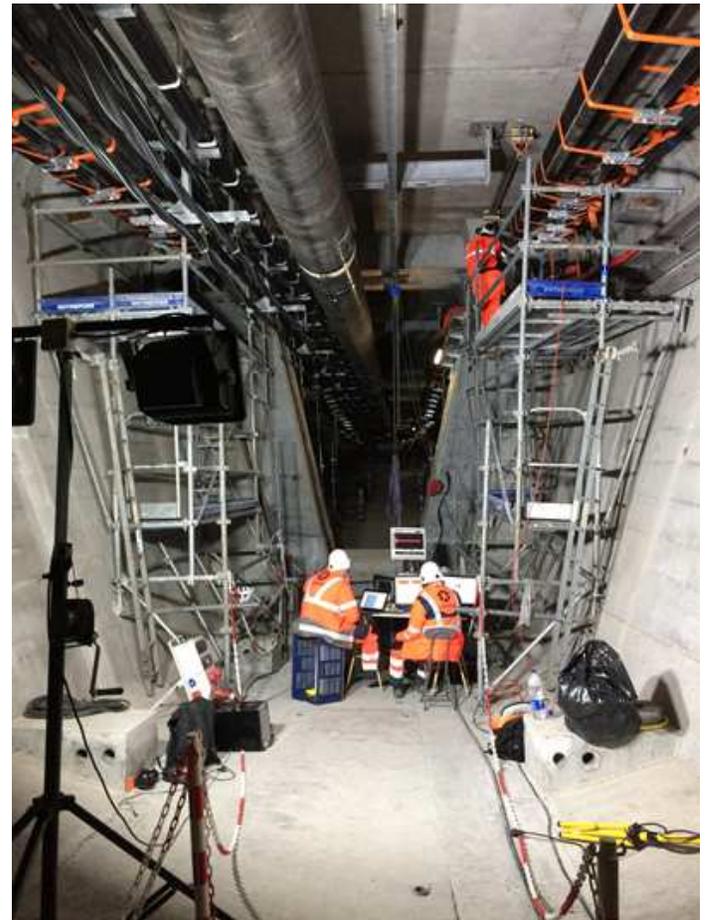
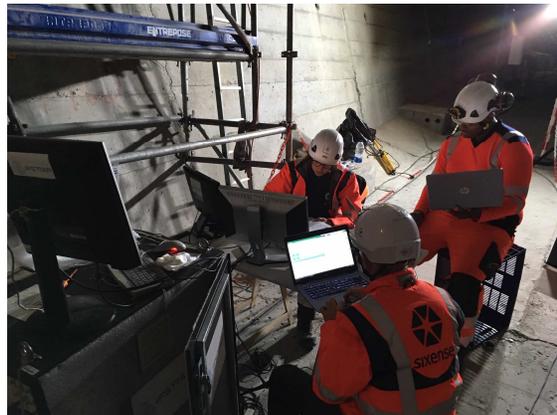


rupture

Mise en œuvre

Mesures sur site

- **Fiabiliser les prises de mesures**
 - Etalonnage du matériel sur corps d'épreuve sur site
 - Personnel formé et qualifié CND (opérateur et contrôleur)
 - Protection du matériel (environnement chantier, température) et soin apporté (déplacement)



Mise en œuvre

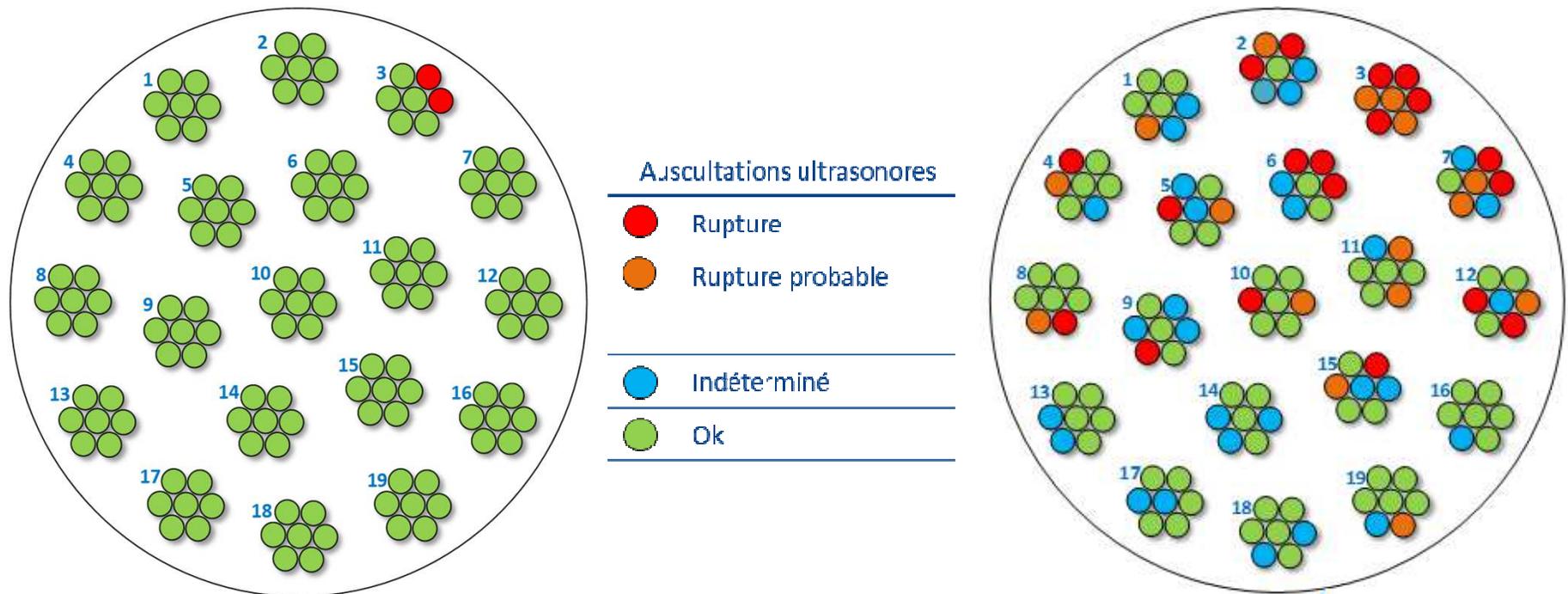
Mesures sur site

- **Fiabiliser les prises de mesures**
 - Etalonnage du matériel sur corps d'épreuve sur site
 - Personnel formé et qualifié CND (opérateur et contrôleur)
 - Protection du matériel (environnement chantier, température) et soin apporté (déplacement)
- **Ordre de grandeurs par tête :**
 - Temps de préparation (19T15, 133 fils) : environ 1 journée
 - Équipe de 3 intervenants
 - > **Rotation des opérateurs**



Classification des têtes

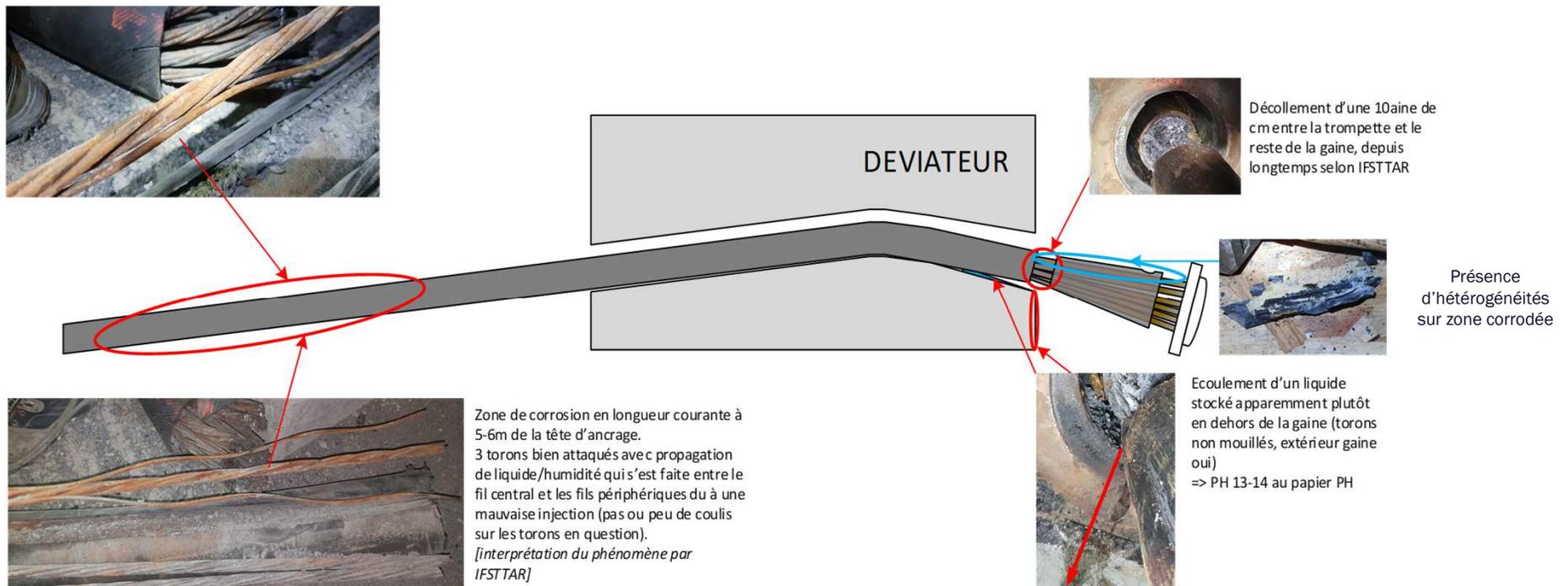
Illustration graphique



Permet d'identifier les têtes saines vs dégradées

Contrôle a posteriori

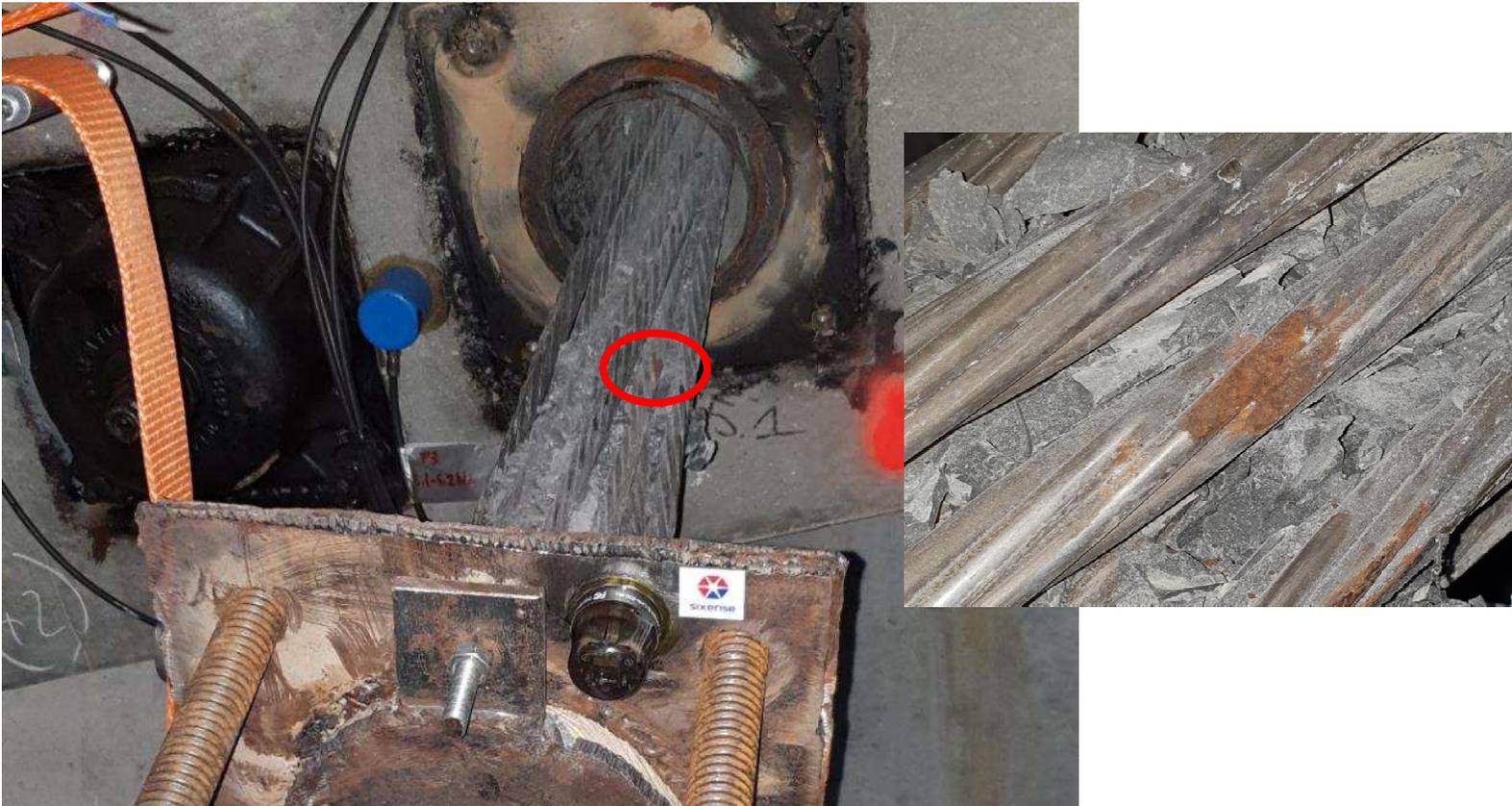
Examen visuel après démontage d'un câble endommagé



Contrôle a posteriori

Tête saine

1 zone de corrosion sur les 60 cm de câble mis à nu.



Contrôle a posteriori

Tête dégradée

Forte dégradation du câble avec présence d'hétérogénéité du coulis



Contrôle a posteriori

Premier bilan

- Résultats issus de la méthode ultrasonique par ondes guidées confirmés par l'examen visuel des 2 ancrages déposés :
 - un ancrage en très mauvais état,
 - un ancrage jugé « sain ».
- Ordre de grandeur des profondeurs d'investigation : ~2 m à 3 m
- Bonne capacité à détecter l'état global des ancrages :
 - Technique permettant de donner un avis qualitatif sur l'état des têtes, en distinguant **clairement les têtes saines des têtes dégradées**

Poursuite du processus d'analyse

En cours

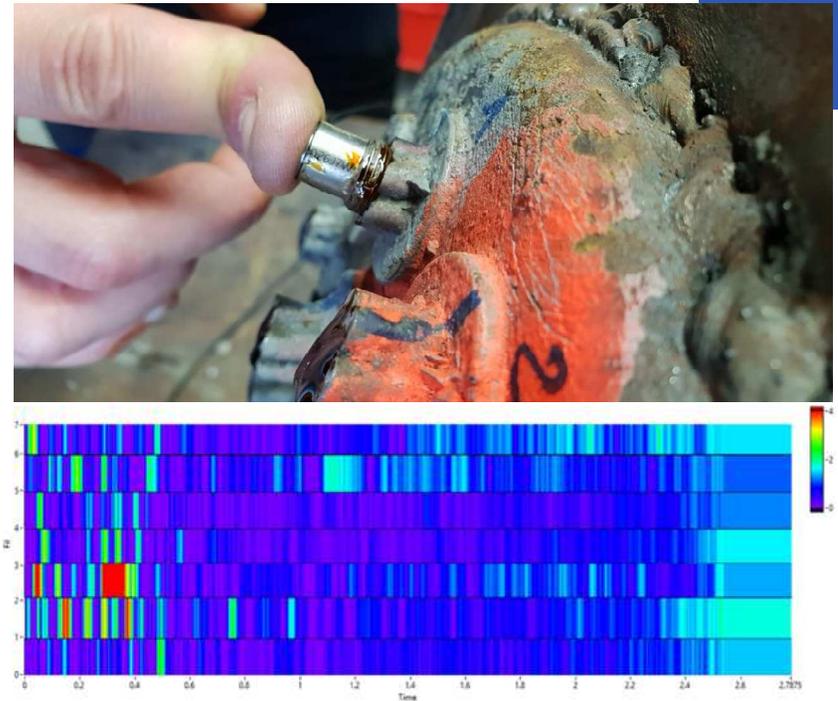
Identification des fils rompus et des faciès de ruptures



Poursuite du processus d'analyse

En cours

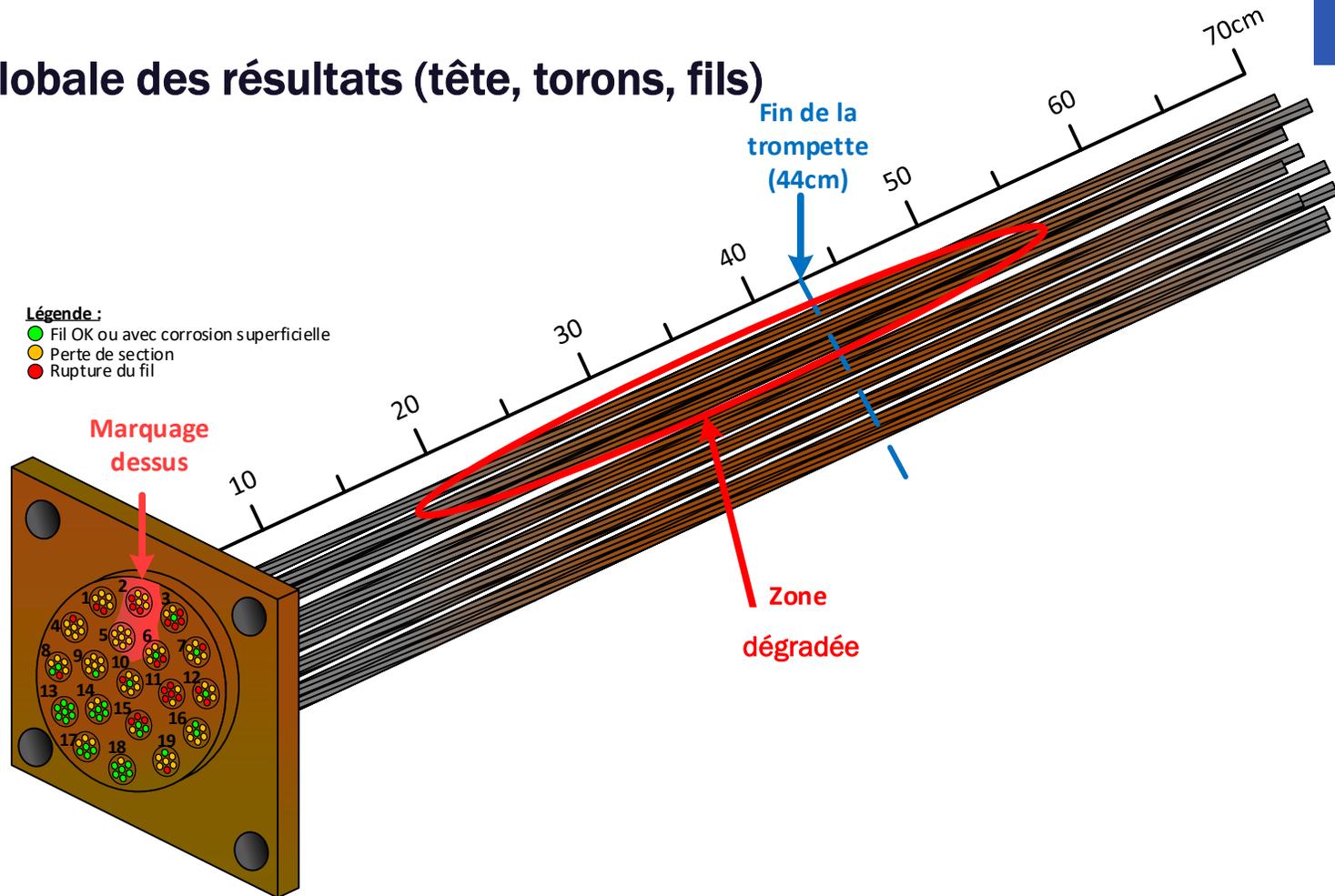
1. Ré-analyse des mesures ultrasoniques avant et après dépose des têtes
2. Amélioration de la méthode de traitement du signal - IA
3. Cartographie de l'état des fils



Poursuite du processus d'analyse

En cours

Etude globale des résultats (tête, torons, fils)



Poursuite du processus d'analyse

Perspectives et usages de la méthode

Approche curative – en cas de doute sur l'intégrité des têtes d'ancrage (ex. ouvrage ancien, présentant des désordres ou des anomalies sur les câbles) :

- Analyse qualitative à l'échelle de l'ouvrage sur un nombre important de têtes
- Classification de l'état de conservation des têtes (dégradée à « saine ») et hiérarchisation
- Identification des câbles à remplacer



Approche préventive – réalisation d'un point zéro (référentiel de suivi) et contrôle de l'absence de corrosion ou surveillance de l'évolution du processus de corrosion dans le temps (ex. ouvrage « jeune ») :

- Analyse semi-qualitative à l'échelle d'une tête
- Identification plus précise de l'état des fils (rupture, corrosion, sain)



Intégration du procédé dans le diagnostic

Apport dans le cadre du diagnostic des têtes d'ancrage

Identification des têtes d'ancrages dégradées

