

IMGC

LA DURABILITÉ DE LA PRÉCONTRAINTE EXTÉRIEURE

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

AFGC
Association Française de Génie Civil



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

Le procédé USCAN®

sixense IFSTTAR

Déroulement de la présentation

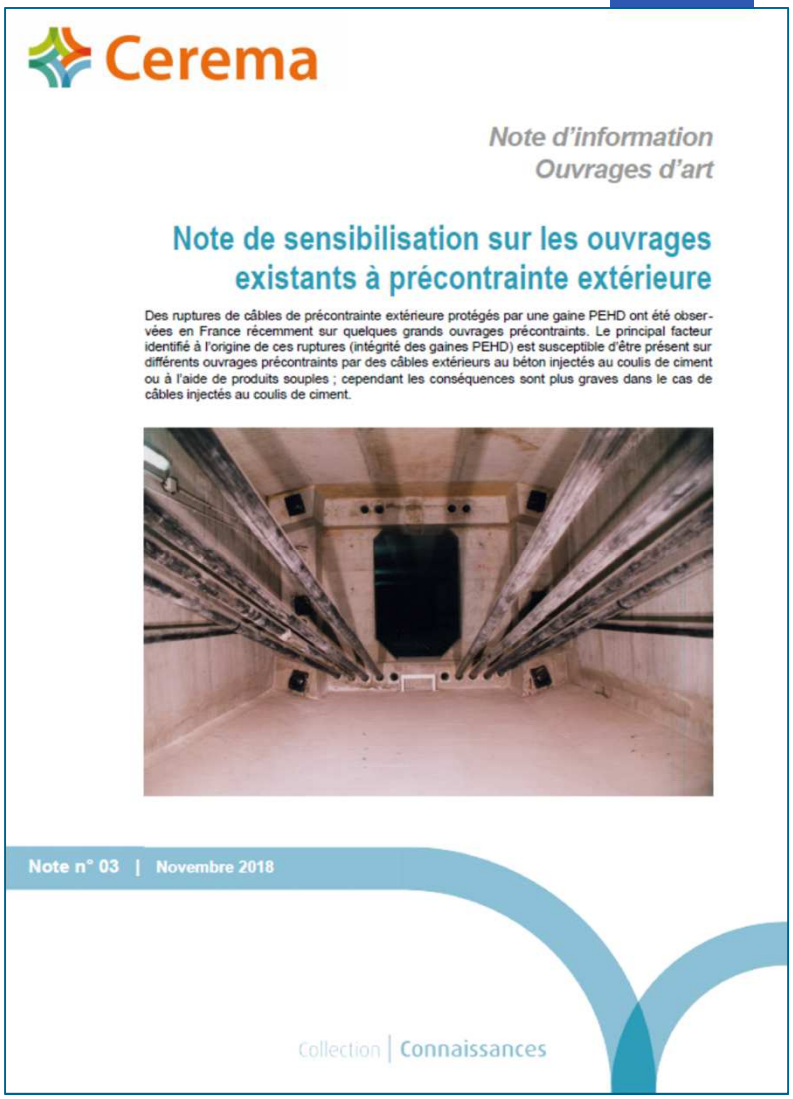
- **Place de l'auscultation** dans le diagnostic de la précontrainte extérieure
- **Réflectométrie en ondes guidées** : la technologie
- **Mise en œuvre** dans le cadre du diagnostic : mesure et analyse du signal
- **Classification de l'état de dégradation** des têtes d'ancrage
- **Contrôle a posteriori** : 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
  - 2ième 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) :

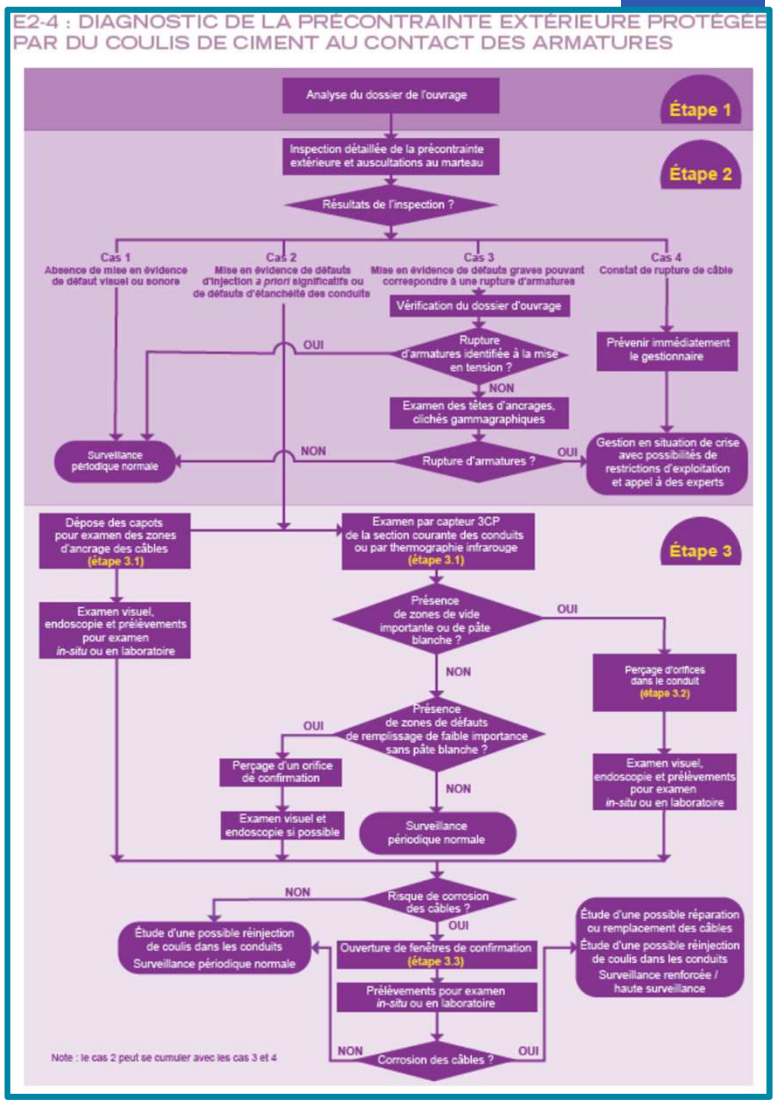
> au niveau des ancrages (après démontage des capots) : il est possible d'utiliser une technique d'auscultation par ondes ultrasonores guidées après un polissage soigné des abouts de torons ; cette technique qui permet de détecter des ruptures franches de fils ou de torons de précontrainte sur une longueur 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.



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 élancement, à partir d'un seul point d'accès (en réflexion), et sur toute leur section.

Les ondes guidées (2)

Principes

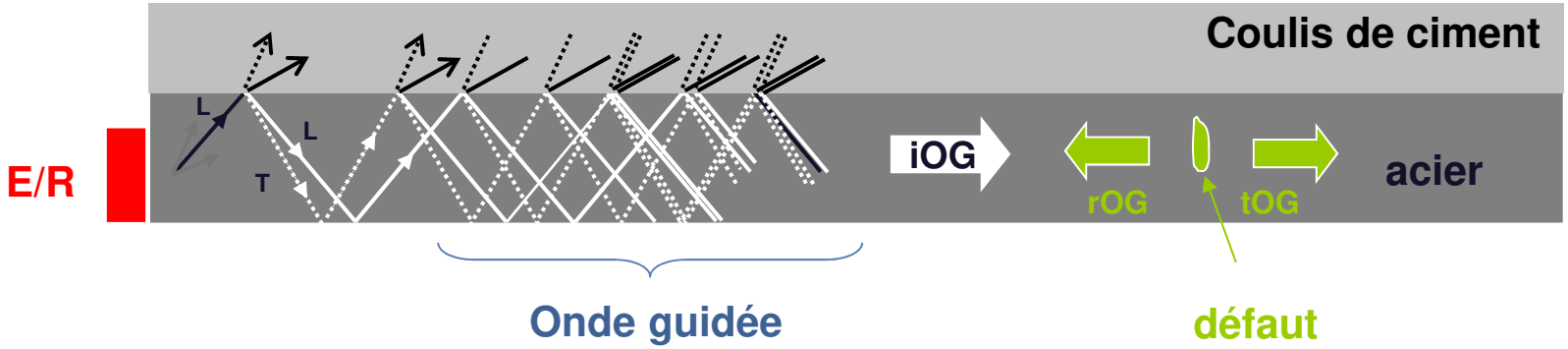


L'onde de volume excitée, interagit multiplement avec les parois latérales de l'élément à ausculter pour donner lieu à un régime particulier de vibration dans la section transverse se propageant dans la direction longitudinale (*modes transverses propagatifs dans la direction longitudinale, ayant des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

Les ondes guidées (3)

Principes



L'enfouissement de l'élément à ausculter (acier) dans un milieu «moins dur» (le coulis de ciment) donne lieu au rayonnement de l'onde depuis l'acier vers le coulis de ciment.

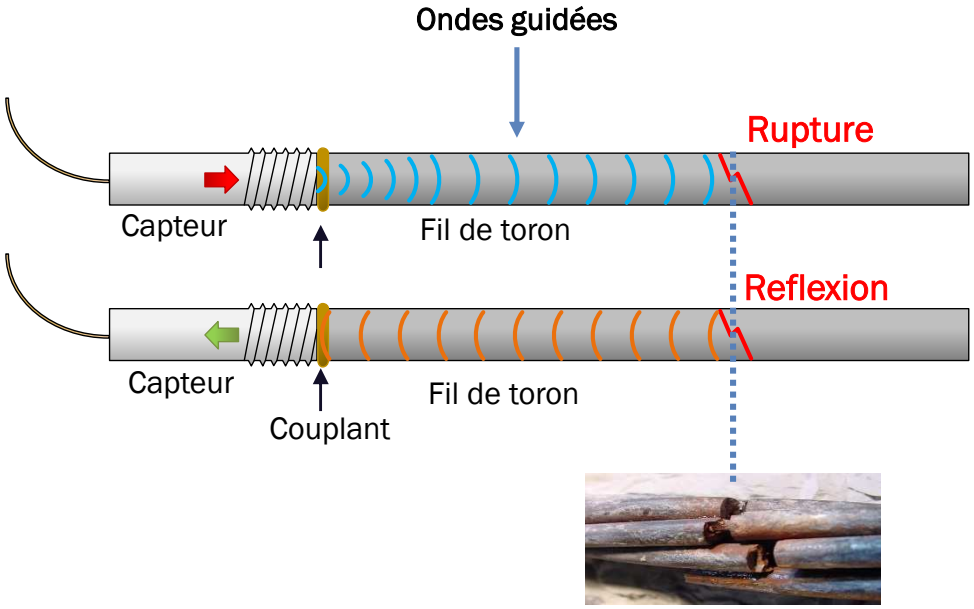
L'onde s'affaiblit alors par rayonnement au cours de sa propagation dans l'acier. La distance de propagation est diminuée.

Réflectométrie en ondes guidées

Technologie

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





Profondeur d'investigation : ~ 2,5 m

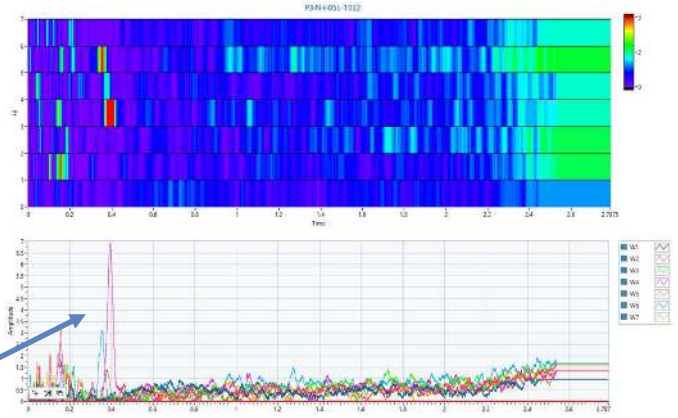
Mise en œuvre

Les différentes étapes

Préparation des fils/Prise de mesure

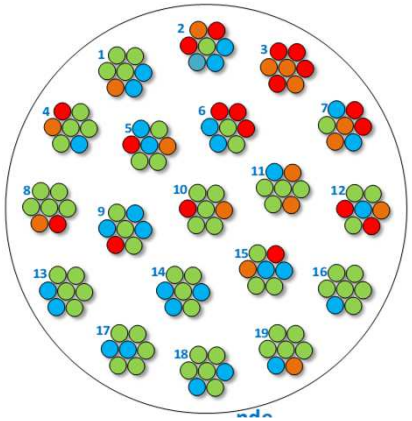


Interprétation directe du signal
« brut » fil par fil
Analyse par toron (7 fils)



rupture

Résultat par ancrage

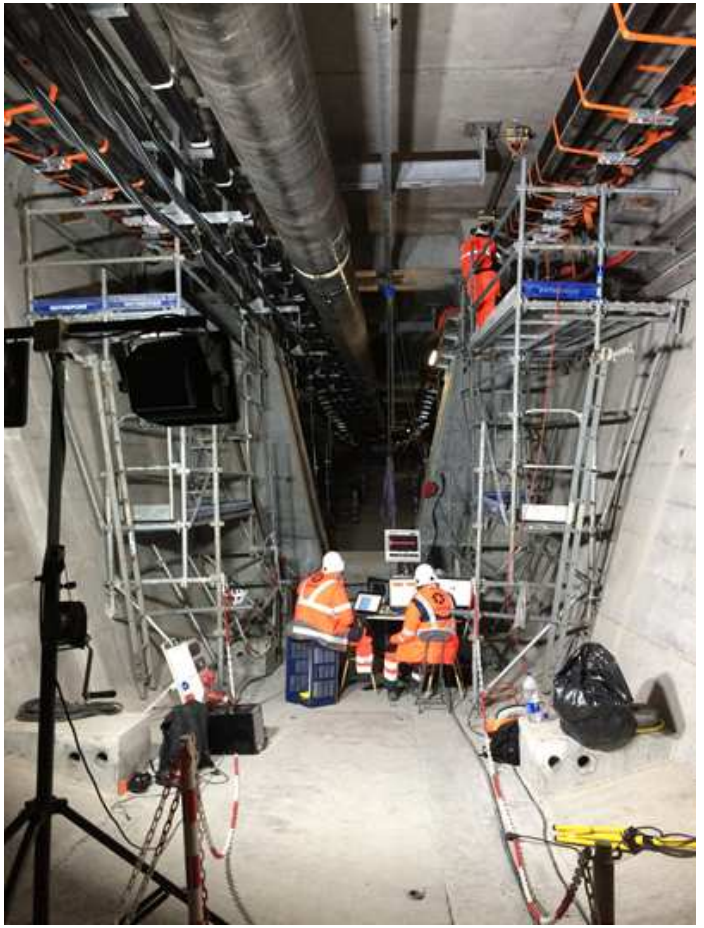


Mise en œuvre

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

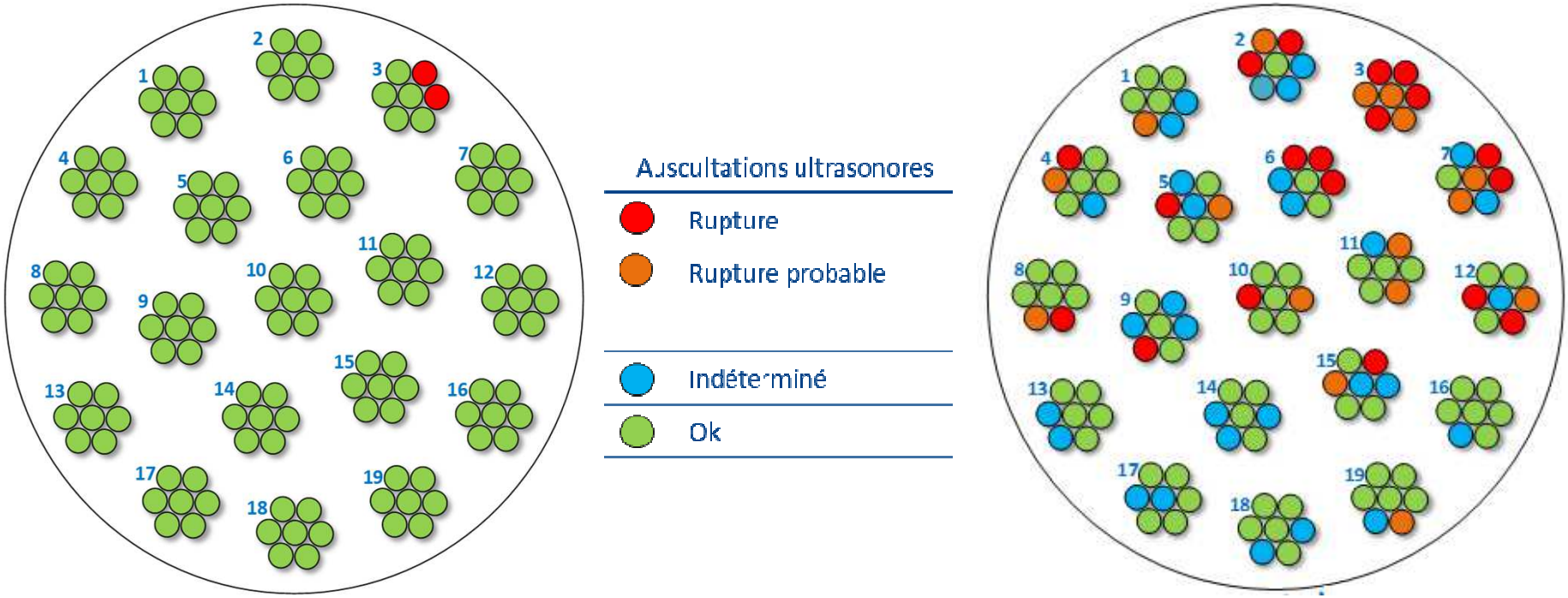
  > Rotation des opérateurs





Classification des têtes

Illustration graphique

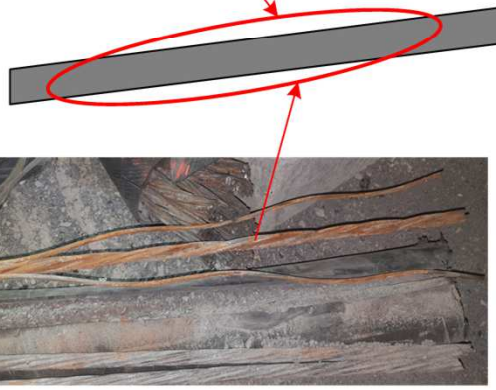


Permet d'identifier les têtes saines vs dégradées

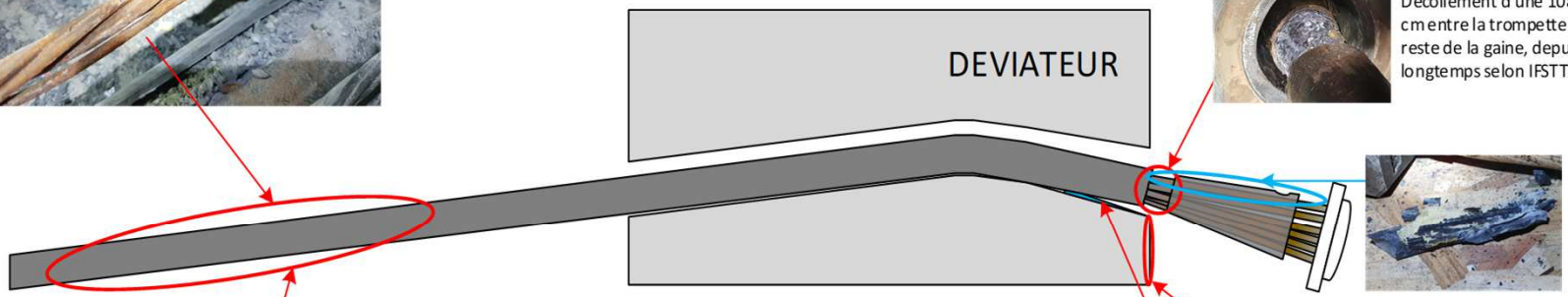
Contrôle a posteriori

Examen visuel après démontage d'un câble endommagé





Zone de corrosion en longueur courante à 5-6m de la tête d'ancrage.
3 torons bien attaqués avec propagation de liquide/humidité qui s'est faite entre le fil central et les fils périphériques du à une mauvaise injection (pas ou peu de coulis sur les torons en question).
[interprétation du phénomène par IFSTTAR]



Décollement d'une 10aine de cm entre la trompette et le reste de la gaine, depuis longtemps selon IFSTTAR

Présence d'hétérogénéités sur zone corrodée

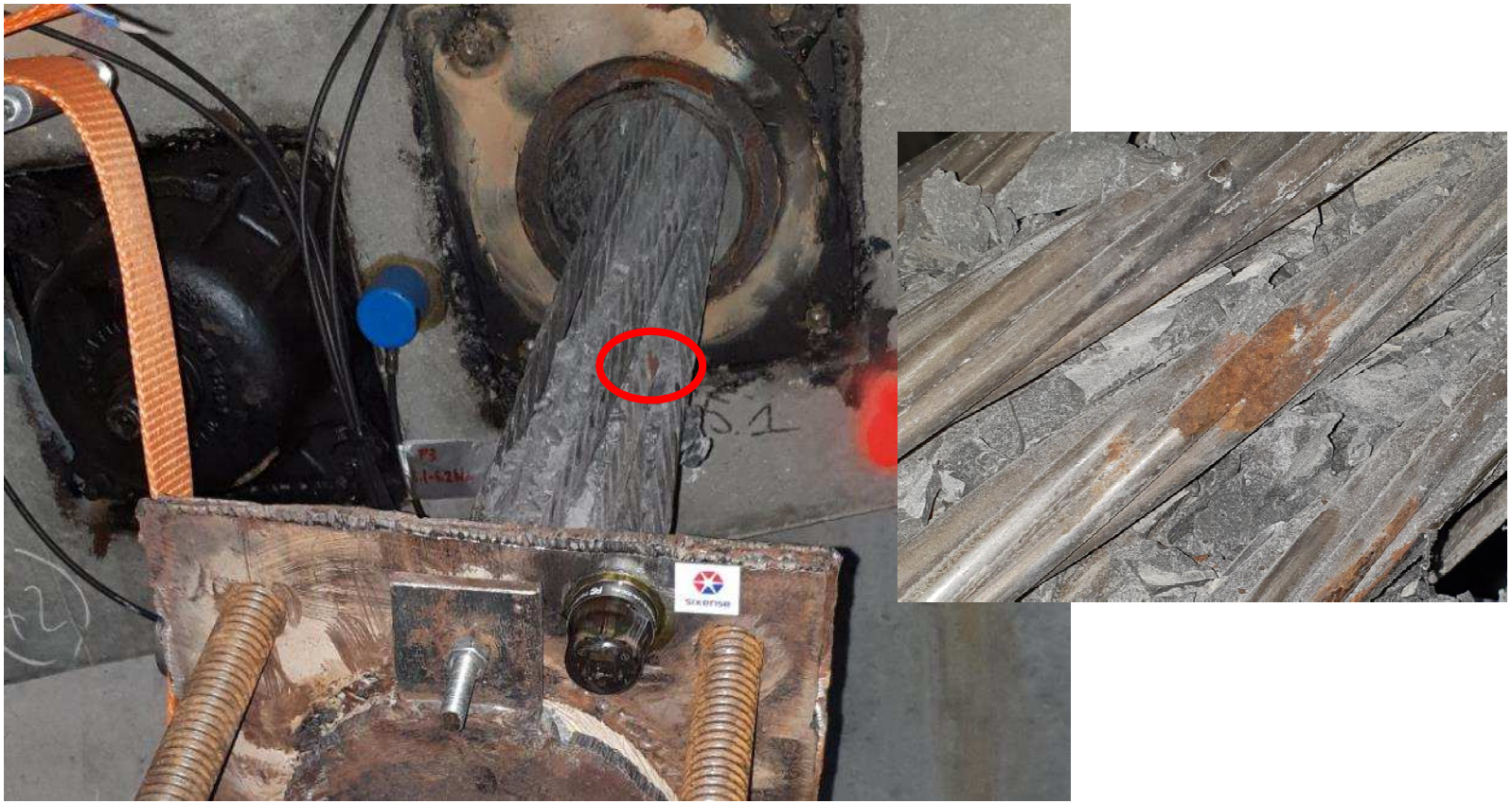


Ecoulement d'un liquide stocké apparemment plutôt en dehors de la gaine (torons non mouillés, extérieur gaine oui)
=> PH 13-14 au papier PH

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

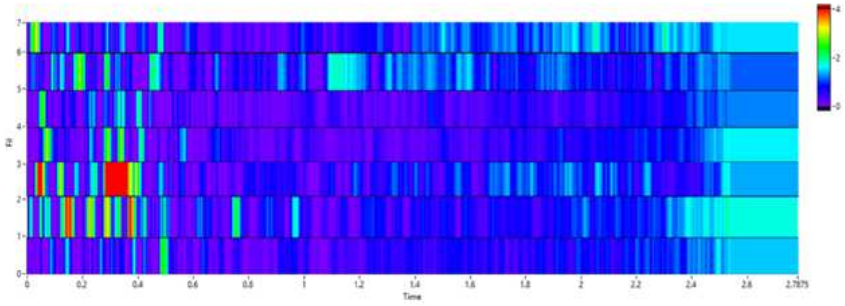
Identification des fils rompus et des faciès de ruptures



Poursuite du processus d'analyse

En cours





1. Ré-analyse des mesures ultrasoniques avant et après dépose des têtes

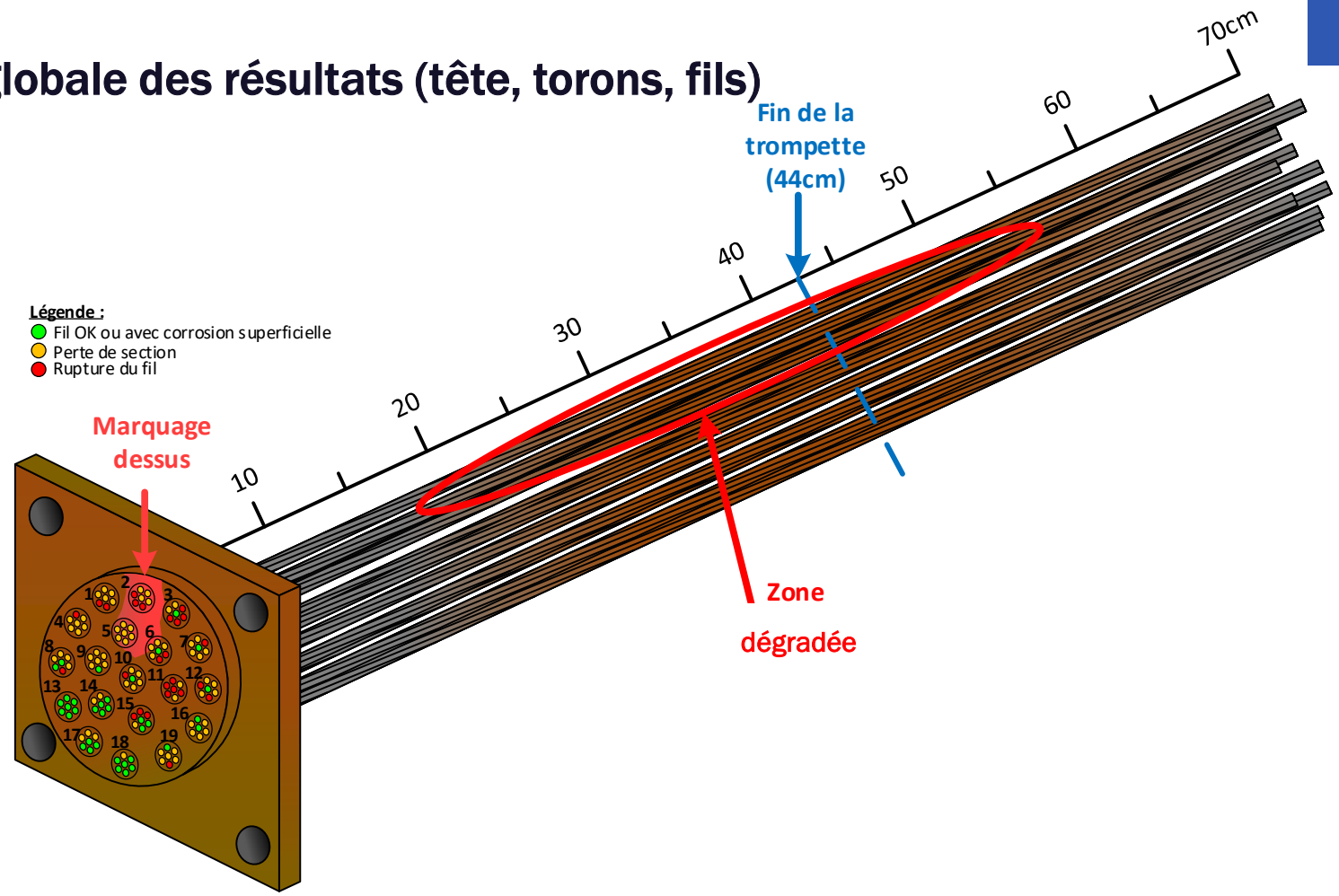
2. Amélioration de la méthode de traitement du signal - IA

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

