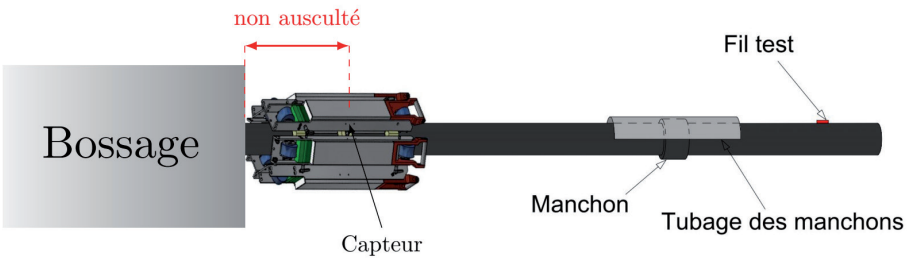
B5-6

DÉTECTION DE DÉFAUTS DE SECTION DANS LES CÂBLES DE PRÉCONTRAINTE EXTÉRIEURE PAR AUSCULTATION MAGNÉTIQUE

PRINCIPE ET DESCRIPTION SOMMAIRE	
OBJECTIF	Détecter et quantifier les défauts de section des fils de torons composant les câbles de précontrainte extérieure.
PRINCIPE	L'auscultation magnétique consiste à déplacer sur le câble de précontrainte extérieure un appareil qui entoure complètement le câble. Cet appareil, dénommé bobine magnétique, est constitué d'un capteur de champ magnétique et d'un système à aimant permanent qui génère un champ magnétique au sein du câble de précontrainte. La présence de défaut de section interne ou externe génère une perturbation locale du champ, alors détectée par le capteur.
CARACTÈRE DESTRUCTIF DE LA MÉTHODE	Méthode de contrôle non destructive, à l'exception des cosses et témoins de soudage dans le cas de manchons thermo-soudés.
MATURITÉ	Cette méthode est éprouvée sur les câbles de précontrainte extérieure depuis 2016 en laboratoire et depuis 2018 sur site.
MATÉRIEL SPÉCIFIQUE EMPLOYÉ	– Système magnétisant : aimants permanents qui peuvent être sous forme de barres rectangulaires. Le nombre d'aimants peut varier en fonction de la section d'acier à magnétiser. – Capteur : capteurs à bobine inductrice, les diamètres varient en fonction du diamètre du câble de précontrainte à ausculter.  Exemple de dispositif d'auscultation en position sur un câble de précontrainte extérieure. – Cordes, poulies et treuils peuvent être utilisés pour le déplacement de l'appareil. – Le cas échéant, le gainage des manchons peut permettre d'éliminer des perturbations lors du passage de l'appareil de mesures.

MATÉRIEL SPÉCIFIQUE EMPLOYÉ	 Exemple de gaine positionnée sur un manchon (Cerema) – La roue codeuse permet de définir précisément la position du défaut.  Exemple de dispositif d'auscultation avec roue codeuse en position sur un câble (Cerema) – La présence d'un fil test posé sur la gaine peut permettre la vérification et le bon fonctionnement du matériel.
MODALITÉS D'APPLICATIONS	
DOMAINE D'APPLICATION	La méthode est actuellement utilisée sur les câbles de précontrainte extérieure, et en phase de développement sur les haubans de type MTP (multi torons parallèles).
SUJÉTIONS PRATIQUES D'INTERVENTION	Le matériel peut être déplacé le long du câble de précontrainte à l'aide d'un système de cordes et poulies. La présence de manchon peut perturber le signal et il convient donc de limiter son impact par un gainage en matériau souple afin d'atténuer les dénivelées en entrée et sortie de manchon. L'espacement entre les câbles ainsi qu'entre câbles et parement en béton doit permettre la mise en place de la bobine (espacement de l'ordre de 30 cm), même si de manière exceptionnelle, en fonction du matériel utilisé, celle-ci peut être utilisée en montage dit « demi-bobine » ce qui permet de gagner en encombrement (espacement de l'ordre de 10 cm).
LIMITES D'UTILISATION	L'auscultation est possible uniquement en partie courante, ce qui exclut notamment les zones proches des ancrages et des zones de déviation. La bobine détectrice peut être située au centre du matériel, dans ce cas la mesure ne permet pas d'obtenir de résultat sur les premiers et derniers décimètres. La qualité de la mesure dépend en partie de la vitesse de déplacement de la bobine sur le câble et de l'absence de rugosité à sa surface, afin de limiter les bruits parasites dans le signal. La méthode n'est pas applicable en l'état aux câbles amagnétiques et la mesure sera non exploitable en présence de zones comprenant des feuillards, gaines ou manchons métalliques. La méthode a pour effet de magnétiser le câble pendant plusieurs semaines, voire plusieurs mois, ce qui empêche l'application de méthodes d'auscultation électromagnétique. Pour l'instant, la méthode est limitée à des conduits de diamètre maximal 140 mm (manchon et tubage compris).

PRÉCISION ET/OU SENSIBILITÉ	Les essais *in situ* indiquent qu'il est possible, a minima, de détecter un défaut de section de type rupture d'un fil constitutif d'un toron sur un câble de 19T15 et les essais en laboratoire montre la possibilité théorique d'aller au-delà car le matériel dispose déjà d'une précision plus fine avec la possibilité de détecter des piqûres et des zones de corrosion. La présence d'oxydation et/ou de corrosion entraîne une augmentation du niveau de bruit, ce qui peut rendre difficile le repérage du fil test. Cette méthode permet une classification des défauts de type faible, moyen ou important, mais il ne permet pas de fournir directement une perte de section utilisable pour un recalcul. L'ouverture de fenêtres d'observation au droit des défauts de section constatés est recommandée.
PERSONNEL ET COMPÉTENCES	Chargé d'investigations spécialisé et au moins deux agents d'investigations. Quels que soient les cas, une grande expérience des câbles et des ouvrages d'art est nécessaire pour l'interprétation des résultats. L'intégration des résultats de mesures dans un recalcul doit faire l'objet d'une analyse par un bureau d'étude spécialisé.
CARACTÉRISTIQUES OPÉRATOIRES	
ACCÈS À 1 OU 2 FACES	Accès à l'ensemble du câble de précontrainte et sur toute sa section. Des mesures en demi section sont réalisables en fonction de l'espace disponible entre le câble et l'obstacle.
COUPURES OU RESTRICTIONS DE CIRCULATION NÉCESSAIRES	En règle générale, pas de coupures ou de restrictions nécessaires, sauf lorsque l'accès aux câbles nécessite l'utilisation d'une passerelle négative.
RENDEMENT ET/OU ÉCHANTILLONNAGE	L'appareil d'auscultation peut être lourd pour les conduits de diamètre important ; il exerce une force magnétique intense sur le câble ce qui nécessite des manœuvres nombreuses et longues pour la mise en place de la bobine. L'auscultation peut demander la mise en place systématique de matériel de type cordes et poulies afin de tracter la bobine. Le temps d'investigation d'un ouvrage composé de câbles de précontrainte extérieure est alors fonction : - De l'accès aux câbles ; - Du nombre de câbles à ausculter ; - Du nombre de montages/démontages à réaliser en fonction des obstacles rencontrés. En section libre la bobine est généralement déplacée à raison de 1 à 2 m/s. Compte tenu des difficultés et du temps nécessaire à la mise en œuvre de ce type d'auscultation, des contrôles ciblés sur des zones suspectes de l'ouvrage peuvent être réalisés mais il est préférable de réaliser des auscultations pluriannuelles pour permettre l'exhaustivité du contrôle de l'ouvrage.
DÉLAIS DE DISPONIBILITÉ DES RÉSULTATS	L'exploitation de la mesure peut être réalisée en direct sur des défauts dits critiques mais un diagnostic plus fin demande un temps d'interprétation plus long.
PERTURBATIONS DU TRAFIC SUR LES MESURES	Aucune, pas d'effet constaté sur la mesure au passage de charges lourdes sur des câbles soumis à des vibrations.
PERTURBATIONS DE L'ENVIRONNEMENT SUR LES MESURES	Présence de ligne THT, pluie importante (perte de sensibilité et court-circuit possibles sur les matériels électroniques et magnétiques). En cas d'exposition aux intempéries, le matériel d'enregistrement doit être positionné à l'abri.
RISQUES POUR LES UTILISATEURS OU LE PUBLIC	Le poids et l'aimantation très élevés de la bobine présentent des risques (manutention, pincement, écrasement, etc.). Les personnes disposant d'un appareillage de type pacemaker ne doivent pas approcher de ce type de matériel. Les matériels de type montre, carte bancaire, badge, etc. doivent être mis à l'abri du champ magnétique.
ENCOMBREMENT – POIDS	Ce type de matériel peut être lourd (120 kg en configuration complète pour certains types d'appareils), de manipulation complexe (montage de cordes, poulies et treuil) et la forte aimantation ajoute une contrainte supplémentaire.

AVANTAGES – INCONVÉNIENTS	
AVANTAGES	Méthode permettant d'ausculter de façon non destructive des câbles de précontrainte extérieure pour la détection de défauts de section sous gaine et donc non visibles lors de l'inspection détaillée. Excellente capacité de détection de la corrosion.
INCONVÉNIENTS	La manipulation complexe avec un rendement fortement dépendant de la configuration ainsi que l'interprétation des signaux enregistrés nécessitent de faire appel à des spécialistes de la méthode et des ouvrages d'art pour son utilisation et son interprétation.
DISPONIBILITÉ – COÛT	
DISPONIBILITÉ	Rare, à ce jour, une seule équipe spécialisée est identifiée au Cerema.
COÛT	Élevé en raison des besoins de manipulation et dépendant du nombre de mesures et de l'accès aux câbles de précontrainte.
RÉFÉRENCES	
NORMES – MODES OPÉRATOIRES – ARTICLES	Gourmelon J.P., Robert J.L. – Méthodologie d'auscultation et de surveillance des câbles de pont suspendus. - Bull. liaison LPC 139, Sep-Oct 1985, pp 85-92. Les ponts suspendus en France – Annexe 4 : Notices techniques sur les moyens de contrôle et de surveillance des câbles – Guide LCPC-SETRA, décembre 1989. NF EN 12927-8, Prescriptions de sécurité pour les installations à câbles transportant des personnes, partie 8 : Contrôles non-destructifs par contrôle électromagnétique. O.I.T.A.F., Book 3-1, Survey of magnetic rope testing of steel wire ropes, 2015. Vaurigaud B., Cherrier J.-F., Pernot S., Insertion/détection de défauts par méthode magnétique dans un câble monotorons multi-couches, Journée ouvrages d'art 2014, Marne-la-Vallée. Chemineau H., Cherrier J.-F., Piednoir R., Vaurigaud B., Contrôle non destructif de précontrainte extérieure par méthode magnétique - Application aux viaducs de Sylans et Glacières, Journées Techniques Ouvrages d'Art, 2019.