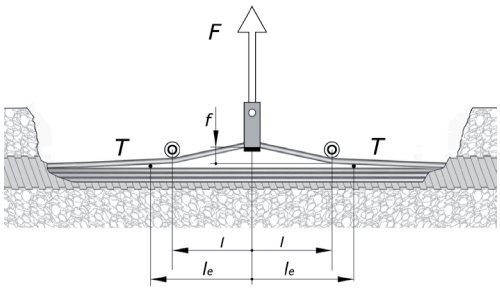
MESURE DE LA TENSION DES CÂBLES ET ARMATURES DE PRÉCONTRAINTE AU MOYEN DE L'ARBALÈTE

PRINCIPE ET DESCRIPTION SOMMAIRE

OBJECTIF	Mesure de la tension résiduelle dans les armatures et câbles de précontrainte intérieure ou extérieure au béton, que ce soit une précontrainte par post-tension ou par pré-tension.
PRINCIPE	 Principe de fonctionnement (CEREMA) Le principe de base du fonctionnement de l'arbalète, illustré par le schéma ci-dessus, est fondé sur le fait que plus une armature est tendue, plus l'effort F nécessaire à la dévier de son tracé d'une flèche f sera important : de fait, c'est la pente de la courbe d'arbalète F(f) qui est exploitée pour évaluer la force de tension T dans l'armature testée. Dans la pratique, on s'affranchit des effets parasites dus à la raideur en flexion, à la surtension introduite et à la géométrie complexe de la déformée de l'armature par une opération de calibration : l'exploitation des courbes d'arbalète s'appuie en effet sur un faisceau de courbes de référence établi en laboratoire sur le même type d'armatures.
CARACTÈRE DESTRUCTIF DE LA MÉTHODE	Partiellement destructif pour les matériaux traversés pour atteindre les câbles (béton, conduit, coulis), mais non endommageant pour l'armature de précontrainte.
MATURITÉ	Méthode éprouvée depuis une trentaine d'années
MATÉRIEL SPÉCIFIQUE EMPLOYÉ	L'arbalète est constituée d'un châssis métallique qui est posé sur l'armature par l'intermédiaire de deux roulettes, d'un vérin de traction, d'un capteur de force (mesure de F) et d'un capteur de déplacement (mesure de f). Le capteur de force de plage 5 à 30 kN, est adapté à l'usage spécifique de l'arbalète : essais sur fils, torons ou câbles de précontrainte (dans ce dernier cas, il s'agit de câbles constitués de torons toronnées entre eux comme dans le procédé SEEE). La course du capteur de déplacement est de 10 mm, pour mesurer une flèche maximale imposée à l'armature de l'ordre de 3 mm. Le vérin est actionné par une pompe à main. Les deux capteurs sont raccordés à une centrale d'acquisition pilotée par un micro-ordinateur. Divers matériels sont par ailleurs nécessaires pour dégager le béton, découper les conduits de précontrainte (feuillard, tube métallique ou tube en PEHD), et éliminer le coulis présent.  Arbalète pour fils et torons (CEREMA)  Arbalète pour câbles (CEREMA)

MODALITÉS D'APPLICATIONS	
DOMAINE D'APPLICATION	Cette méthode de mesure est la seule qui existe pour mesurer la tension dans des câbles de précontrainte intérieurs au béton. L'empattement des arbalètes est différent selon que l'on cherche à mesurer la tension dans des fils ou torons (25 cm) ou des câbles constitués de torons torsadés des anciens procédés CO2 ou F7500T de SEEE (40 cm). On mesure directement le véritable effort existant dans l'armature, et ceci quel que soit le degré de corrosion et donc la section résiduelle d'acier.
SUJÉTIONS PRATIQUES D'INTERVENTION	La position réelle du câble de précontrainte, notamment dans les âmes des VIPP, doit parfois être repérée au préalable à l'aide d'un profomètre ou d'un radar portatif. Les fenêtres ont une longueur variable de 40 à 80 cm, selon le type d'armature ou de câble testé, et une largeur d'environ 20 cm. Elles doivent être réalisées avec précaution de façon à éviter tout endommagement du câble de précontrainte. Le pré-découpage du périmètre de la fenêtre est réalisé à l'aide d'une tronçonneuse à béton sur les 2 à 3 premiers centimètres. Le dégagement du conduit est ensuite effectué progressivement à l'aide d'un burin et d'un marteau, ou d'outils mécaniques légers. L'ouverture du conduit est exécutée à l'aide d'un ciseau à métal ou d'un autre dispositif adéquat. La fenêtre est rebouchée à l'aide d'un produit de ragréage approprié (bonne tenue verticale, mortier à retrait compensé, bonne adhérence à l'ancien béton).
LIMITES D'UTILISATION	La méthode devient difficile à appliquer lorsque le câble est situé à une profondeur dans le béton supérieure à 20 cm (par exemple dans les goussets des caissons).
PRÉCISION ET/OU SENSIBILITÉ	L'incertitude sur la tension évaluée par un essai à l'arbalète dépend de nombreux facteurs dont le type d'armature, les conditions de la calibration et la qualité des courbes d'arbalète : elle ne peut donc être annoncée *a priori*. Elle reste toutefois généralement comprise dans une fourchette de +/- 2% de l'effort évalué.
PERSONNEL ET COMPÉTENCES	Un chargé d'investigations ayant l'expérience de la méthode, accompagné d'un agent d'investigations.
CARACTÉRISTIQUES OPÉRATOIRES	
ACCÈS À 1 OU 2 FACES	Accès à une seule face
COUPURES OU RESTRICTIONS DE CIRCULATION NÉCESSAIRES	Non, sauf usage d'un moyen d'accès aux fenêtres le nécessitant.
RENDEMENT ET/OU ÉCHANTILLONNAGE	6 à 12 mesures par jour sur les fils ou torons, 1 à 4 sur les câbles (sur la base de fenêtres déjà ouvertes). Echantillonnage : une ou plusieurs fenêtres sur les poutres ou des éléments de structures représentatifs. Pour les VIPP, les fenêtres sont réalisées de préférence en sous-face des talons à mi-travée, ainsi que sur les âmes à proximité de l'about des poutres ; des recommandations pour l'implantation et la réalisation des fenêtres d'accès aux câbles de précontrainte sont donnés dans le guide VIPP cité en référence.
DÉLAIS DE DISPONIBILITÉ DES RÉSULTATS	Pour assurer la meilleure précision, les courbes d'arbalète sont exploitées au bureau, au retour du chantier.
PERTURBATIONS DU TRAFIC SUR LES MESURES	Aucune
PERTURBATIONS DE L'ENVIRONNEMENT SUR LES MESURES	Aucune
RISQUES POUR LES UTILISATEURS OU LE PUBLIC	Pas de problème de sécurité
ENCOMBREMENT – POIDS	Matériel portable, autonome et léger. Courant secteur 220V non indispensable, sauf pour outils de démolition utilisés.

AVANTAGES – INCONVÉNIENTS	
AVANTAGES	Seule méthode « non destructive » permettant de mesurer une tension dans des armatures de précontrainte intérieure.
INCONVÉNIENTS	Méthode nécessitant des ouvertures de fenêtres dans le béton. Une réparation soignée limite cependant l'impact esthétique final des démolitions nécessaires.
DISPONIBILITÉ – COÛT	
DISPONIBILITÉ	Faible (méthode pratiquée par moins de cinq laboratoires en France)
COÛT	Moyen
RÉFÉRENCES	
NORMES – MODES OPÉRATOIRES – ARTICLES	Mesure de la tension des armatures de précontrainte à l'aide de l'Arbalète – Techniques et Méthodes des LPC, Guide technique, LCPC, novembre 2009, 23p. Viaducs à travées indépendantes à poutres précontraintes (VIPP), Guide méthodologique de surveillance et d'auscultation. Techniques et Méthodes des LPC, Guide Technique, LCPC, 2001, 72 p.