



Mise en place de renforcements de pieds de support caténaire à Port-la-Nouvelle, sur la ligne Montpellier-Narbonne

L'utilisation des matériaux composites pour le renforcement des pieds de support caténaire corrodés

Certains cas de corrosion importante ont été détectés sur des pieds de support caténaire du réseau ferré national français. Afin de garantir le maintien des performances mécaniques de ces supports une méthode a été développée en partenariat entre la SNCF et l'entreprise 3X Engineering afin d'en renforcer les pieds. Cette méthode s'appuie sur une combinaison de matériaux métalliques et composites et de résines.

Introduction

Depuis de nombreuses années la SNCF ren- contre, dans des zones géographiques parti-

culières, un niveau de corrosion significatif des pieds de support caténaire. Cette cor- rosion peut être due notamment à des embruns salins. Sans intervention des équipes de maintenance, elle peut entraîner la ruine du support due à la diminution de sa section [1].

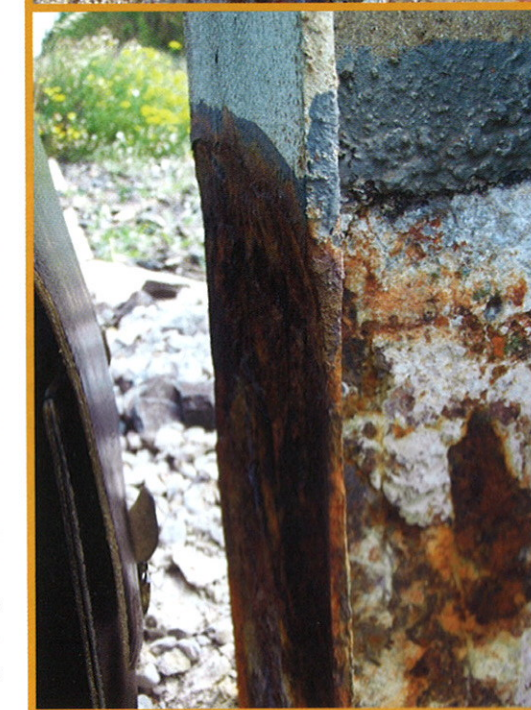
Pour cette raison la SNCF met en œuvre dif- férentes solutions techniques afin de mainte- nir les performances mécaniques du support : rehaussement du massif en béton ou renforcement mécanique du pied du sup- port à l'aide de montage mécano-soudé. Si ces solutions ont montré leur efficacité

depuis de nombreuses années, elles présen- tent l'inconvénient d'être consommatrices de ressources et de sillons travaux ferroviaires. La direction de l'Ingénierie a donc souhaité développer une nouvelle méthode de renfor- cement des pieds de support caténaire en- dommagés, en utilisant des moyens légers à mettre en œuvre (en préparation de surface et en matériaux utilisés). De là est né le prin- cipe d'un renforcement par l'utilisation hybride de matériaux composites et de ma- tériaux métalliques.

État de l'art et développements

La réparation des pieds de support caténaire s'effectue actuellement par des méthodes conventionnelles d'assemblage mécano-soudé ou de rehaussement du massif de fondation. Dans chacun de ces cas les plus gros inconvé- nients sont les moyens à mettre en œuvre afin que la reprise des efforts mécaniques soit effi- cace. En effet, le support caténaire étant noyé dans le béton, les efforts vont être repris par des scellements dans le massif de fondation. Ce type d'intervention ne peut être réalisé qu'en l'ab- sence de circulations ferroviaires et nécessite une logistique significative pour approvisionner les matériaux et outillages sur le chantier (parfois il est préférable de procéder au remplacement du support corrodé, le bilan économique étant plus favorable). De plus ces solutions techniques de renforcement nécessitent ensuite un suivi spé- cifique, une surveillance et une maintenance particulière.

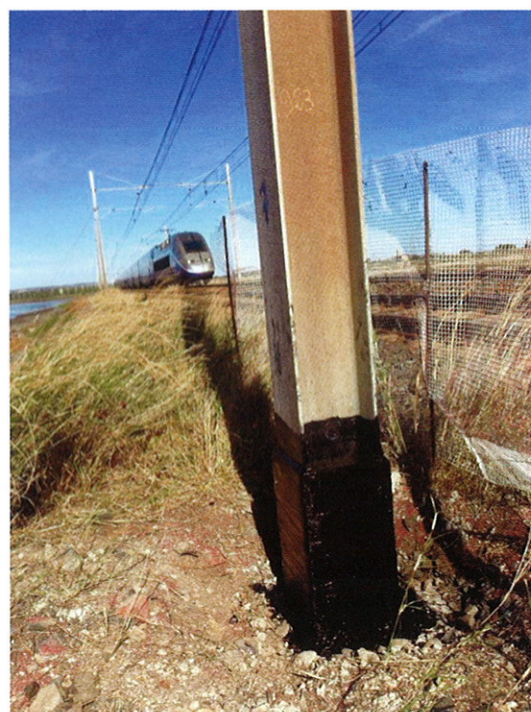
Pour ces différentes raisons la SNCF a recher- ché une solution innovante qui permette de répondre aux objectifs de réparation méca- nique tout en limitant fortement la contrainte logistique. En partenariat avec 3X Engineering, elle s'est appuyée sur une répa- ration par utilisation de matériaux compo- sites employés couramment pour renforcer ou réparer des structures ou des superstructures, comme des piles de pont en béton ou des pi- pelines en acier. Ces réparations sont réalisées dans des environnements les plus critiques, en milieu sous-marin par exemple. Ces solutions utilisent toutes le principe de bandage par tis- sus (généralement en Kevlar®) imprégnés,



← [1] Pieds de support caténaire corrodés

en y ajoutant des renforts localisés (qui peu- vent être en matériaux composites ou métal- liques).

Fort de son savoir-faire dans l'ingénierie et la mise en œuvre des matériaux composites, 3X Engineering propose une conception origi- nale permettant la restructuration des sup- ports de caténaire endommagés par la corrosion. Ce renforcement s'appuie sur des simulations par calculs par éléments finis en prenant en compte le vieillissement, la fatigue des matériaux et les vibrations et par des tests grandeur nature réalisés dans un centre d'es- sais de la SNCF.



→ [2] Pied de support renforcé

Ce concept « hybride » original imaginé par 3X Engineering et co-développé et breveté avec SNCF mélange matériaux et technologies pour obtenir un résultat en matière de rapport qualité prix très intéressant [2]. L'un des points majeurs est la mise en œuvre de ce renforcement avec un outillage portatif qui ne nécessite aucune interruption du trafic ferroviaire, mais seulement une annonce des circulations ferroviaires.

Ce renforcement est composé de plusieurs éléments : des inserts métalliques pour reprendre la rigidité, des mastics spéciaux pour bloquer la corrosion et absorber les vibrations et un bandage en matériaux composites qui maintient les inserts, contient les efforts de flexion et homogénéise l'ensemble. La plupart des efforts s'exerçant à la base du support caténaire sont ainsi récupérés par les inserts. De plus, un revêtement de type néoprène protège l'ensemble des UV et des éventuels impacts de ballast.

Simulations numériques

Ces renforcements ont fait l'objet d'une étude de pré-dimensionnement au moyen de calculs aux éléments finis. Pour ceci, il a été pris en compte le cas le plus défavorable, à savoir le chargement sur le support dû à un vent de 150 km/h, outre son poids propre. Une corro-

sion avec perte de 70 % de l'épaisseur initiale du poteau a été simulée lors de cette étude. En prévision du vieillissement de la réparation, il a été appliqué un coefficient de sécurité de 2 avec un vent de 150 km/h et de 2,7 pour un vent de 112 km/h en conformité avec les normes en vigueur. Les sollicitations ont été calculées à une hauteur de 20 cm par rapport au niveau de la fondation.

Pour le calcul des efforts sous l'effet de ces conditions les plus défavorables, différentes simulations ont été effectuées : un poteau HEA non corrodé (simulation de l'état initial du poteau), un poteau HEA présentant les 70 % de perte d'épaisseur à la base par corrosion, et ce même poteau HEA renforcé par le système composite ReinforceKiT HEA.

Les résultats des simulations permettent d'obtenir la contrainte maximale subie par le poteau lors de ce chargement dans les différents cas. Un récapitulatif des contraintes simulées à 200 mm de la base des supports (zone corrodée) est donné dans le [tableau 1].

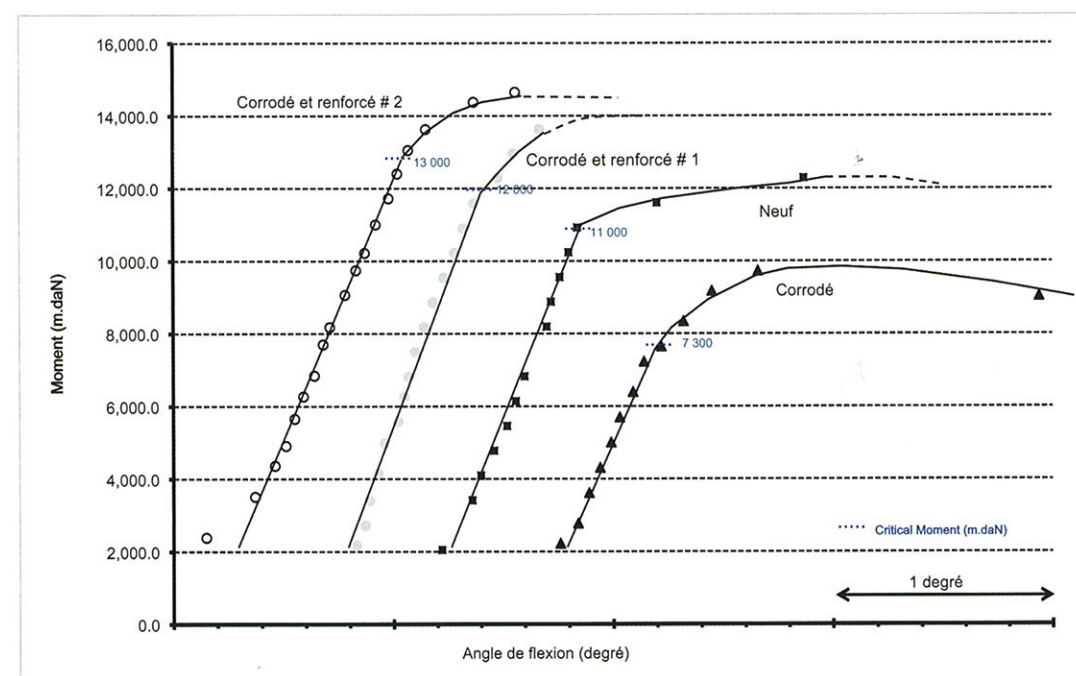
Tableau 1 - Estimation des contraintes maximales subies par les pieds de support caténaire

	Poteau neuf	Poteau corrodé	Poteau corrodé et renforcé
Contraintes (MPa)	174-195	389-437	96-120

Cette étude a permis de définir la réparation, tant pour les dimensions des inserts métalliques que pour le nombre de couches de composite à appliquer. Il a ainsi été confirmé qu'un poteau renforcé par le ReinforceKiT HEA retrouve et dépasse ses caractéristiques d'origine.

La limite d'élasticité minimale des supports étant de 235 MPa, dans le cas où le HEA est neuf, le coefficient de sécurité est de 1,2 avec un vent de 150 km/h (il passe à 1,7 avec un vent de 112 km/h). Dans le cas du HEA corrodé, il y a grand risque de rupture du support et dans ce cas précis, le cas extrême (moment maximum) a été pris en compte pour le dimensionnement.

Dans le cas du HEA renforcé, le coefficient de sécurité passe à 2 avec un vent de 150 km/h et



← [3] Graphique des évolutions comparatives

à 2,7 avec un vent de 112 km/h. La valeur de contrainte maxi de 215 MPa est due à la variation brusque de la section. Ces contraintes sont diminuées en variant progressivement par meulage la section au cours de la mise en œuvre du renforcement.

Grâce au [tableau 1] et aux simulations comparatives présentées dans la figure [3], il ressort clairement que le renfort rapporté va consolider la base de l'HEA nettement au-delà de ses valeurs mécaniques initiales à l'endroit de la corrosion maximale (à 200 mm de sa base). Une étude a également été menée sur le vieillissement de ce renforcement, qui a conduit aux conclusions suivantes [tableau 2] :

► le retour d'expérience des matériaux composites depuis les années 1960 prouve leur fiabilité et leur pérennité. L'élargissement de leur

domaine d'application dans différents secteurs d'activités le confirme ;

► aujourd'hui, après 20 ans d'expérience et de nombreuses installations dans le monde dans des environnements agressifs (mer du Nord, désert, immergé, enterré dans des sols humides...), sur des supports de différentes natures, 3X Engineering n'a pas connu de retour d'expérience négatif du ReinforceKiT.

Le bilan technique permet d'être optimiste quant à la tenue dans le temps du ReinforceKiT® 4D, d'autant plus que la partie composite est la moins sollicitée. Ce concept permet de garantir la pérennité des installations tout en évitant le coût d'un chantier lourd et fastidieux. La plus grande partie des contraintes mécaniques

Tableau 2 - Typologie de dégradations sur les différents composants

Matériaux	Type d'attaque				
	UV	Humidité	Stress	Chimique	Impact
Insert	Aucune	Aucune	Plus de 50 ans	Aucune	Aucune
Composite	Aucune car protégé	Aucune car protégé	Plus de 20 ans	Aucune	Vérifié sur place
Revêtement	5 ans	5 ans	Aucune	Aucune	5 ans

→ [4] Renversement du support sous l'action d'une contrainte mécanique



e s t absorbée par les inserts métalliques. Une action préventive d'application du produit anti-UV et anti-choc est à planifier (périodicité à définir).

Essais mécaniques in situ

Des essais ont été effectués dans le cadre de la validation du procédé de renforcement de pieds de support présentant une forte diminution de section. Ils ont consisté à mesurer le renversement du support sous l'action d'une contrainte de traction mécanique appliquée en tête de support [4].

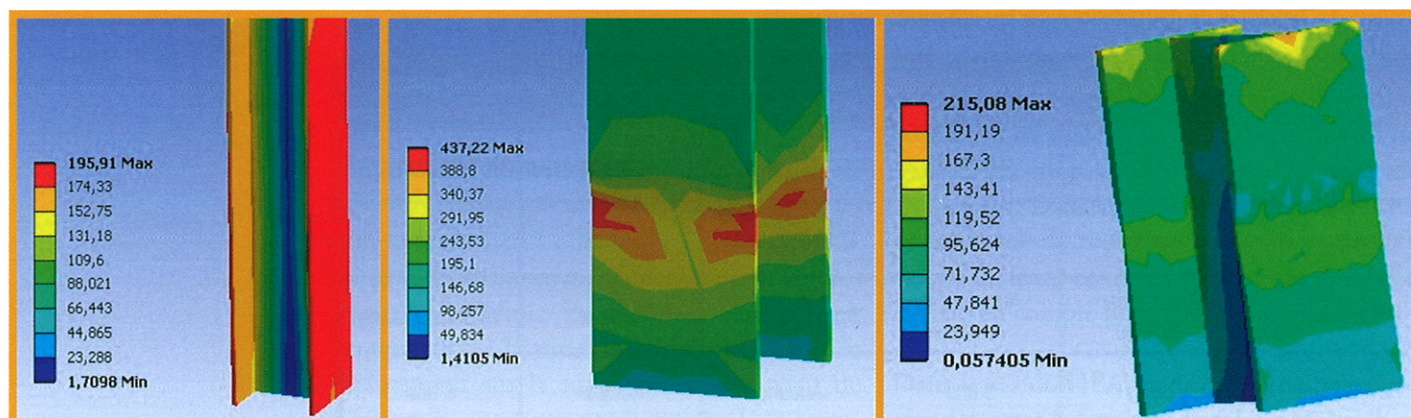
Ont été testés :

- ▶ un support neuf ;
- ▶ deux supports corrodés et renforcés ;
- ▶ un support corrodé et non renforcé.

Les supports ont été « usés » artificiellement (par meulage). Les résultats montrent clairement et de manière reproductible que le comportement des supports renforcés est nettement supérieur à celui du support usé. Il est de plus supérieur à celui du support neuf.

Les essais mécaniques prouvent que le renforcement mécanique du pied de support par des matériaux composites répond aux exigences initiales.

À noter que le meilleur comportement vis-à-vis du support neuf s'explique simplement par le fait que le renforcement du pied de support apparaît comme un déplacement de la zone d'encastrement, diminuant ainsi la hauteur libre de la poutre [5].



↑ [5] Simulation numérique des contraintes localisées à l'intérieur des poteaux

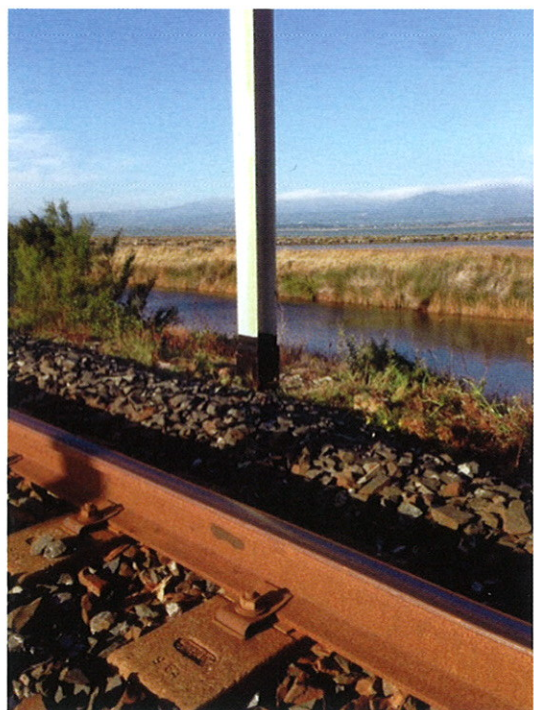


↑ [6] Mise en œuvre du renforcement des pieds de poteaux caténaire

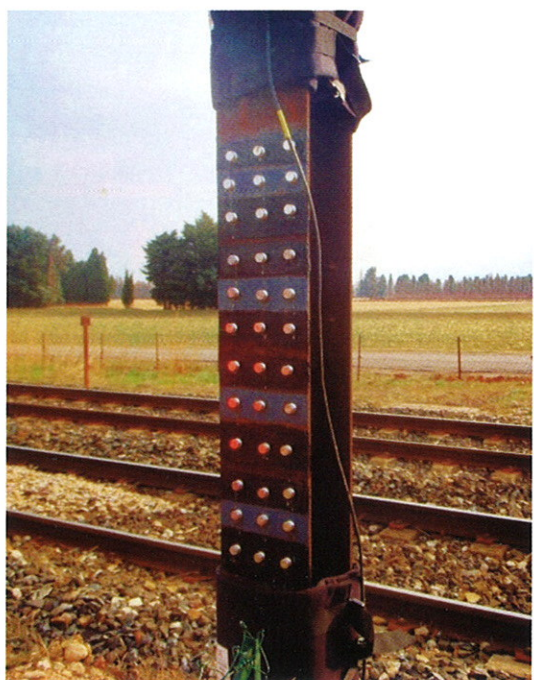
Mise en œuvre sur le Réseau Ferré National

La procédure de mise en œuvre est la suivante [6] :

- Étape 1 : Préparation de la surface du support par grenaillage (profil de rugosité de 60 μ m minimum) afin d'assurer une bonne adhérence du renfort sur le support et de la partie émergente du béton avec utilisation d'une aérogommeuse, sableuse ou grenailluse.



→ [7] Pied de support caténaire renforcé



→ [8] Expérimentation et test sur pied en acier de type CORTEN

- Étape 2 : Réagréage des chancres dû à la corrosion par l'application d'un mastic époxy. Ce mastic assure la transmission des contraintes du support caténaire vers les inserts constituant le renforcement. Il réalise aussi le « Soudage à froid » des quatre inserts.

- Étape 3 : Mise en place des quatre inserts. La dimension et la nature des matériaux choisis sont liées à leurs caractéristiques mécaniques et physiques. L'ensemble blocs et plaques reste maintenu en place au moyen de sangles pendant le temps de polymérisation du mastic afin d'éviter tout risque de décalage ou de décollement des inserts. Puis application de la résine sur la partie émergente du support, une attention particulière est portée à l'endroit de l'encastrement du support.

- Étape 4 : Enrubannage de l'ensemble de la réparation avec une bande de Kevlar imprégnée de résine époxyde. Plusieurs passages sont effectués, l'enrubannage est réalisé de la base vers le haut en ayant un recouvrement constant de 50 %. La partie supérieure des inserts est usinée avec une pente de manière à présenter une face inclinée pour éviter tout risque d'eau stagnante.

- Étape 5 : Application d'une résine élastomérique garantissant la protection contre les UV et les impacts.

La société 3X Engineering a déjà procédé à plusieurs campagnes de renforcements de ce type sur le réseau ferré national. La ligne de Narbonne à Port Leucate, dans l'Aude, a fait l'objet de deux campagnes en 2011 et 2013 afin de traiter plusieurs centaines de supports sur les deux voies [7].

Une nouvelle campagne a été préparée sur la ligne de Miramas à Avignon. Les supports concernés étaient au nombre de 54 et ont été réalisés en acier de type CORTEN [8]. Une analyse préliminaire du support a permis d'adapter la préparation du support et de déterminer la résine la plus appropriée. Cette intervention a été réalisée en septembre 2014.

Conclusions et perspectives

Cette solution innovante de réparation des supports caténaire a montré la facilité de mise en œuvre des matériaux composites. Elle permet de retrouver à minima la performance initiale du support mais le véritable avantage réside dans la diminution des moyens logistiques de réparation réduisant ainsi le coût de l'opération.

Ce nouveau système de réhabilitation des supports caténaire a de plus des avantages économiques notables. Il évite :

- la perturbation du trafic ferroviaire ;
- le remplacement du support ;
- la mise en place d'un chantier important.

En outre, il peut être mis en œuvre très rapidement si urgence.

Aujourd'hui cette méthode de réparation est homologuée par la SNCF pour les supports

de type H. Demain, ce type de réparation est envisagé pour les supports treillis installés sur le réseau depuis plus de 50 ans. Grâce aux matériaux composites cette opération peut être réalisée en maintenant la capacité opérationnelle de la ligne ferroviaire.

Alexandre MACHET
Responsable R&D Simulations,
Expertises et Mesures caténaire/EALE
Département Traction Électrique
SNCF Projets Système Ingénierie

Jean-Paul MENTEL
Directeur adjoint du département
Traction Électrique
SNCF Projets Système Ingénierie
Expert SYNAPSES SNCF

Stanislas BOULET d'AURIA
Président directeur général
3X Engineering