



▾ Dossier Technique : Le BOA ...

... train de substitution et de neutralisation de rails .

Chantier visité par P. BALSON qui a profité des explications techniques du représentant de l'Entreprise SCHEUCHZER.
LGV PSE PK 82 : Les rails étaient disposés classiquement à l'extérieur et ramenés à l'intérieur par une substitueuse de rail.
L'entreprise TSO réalisait ce chantier avec le sous-traitant SCHEUCHZER pour le train BOA proprement dit.

INTRODUCTION :

Le **train de substitution et de neutralisation des rails BOA** est conçu pour enlever les anciens rails d'une voie et poser à leur place de nouveaux rails soudés et neutralisés. Les opérations de dépose des anciens rails, de chauffage et pose des nouveaux rails s'effectuent toutes **en continu** jusqu'à une **vitesse de 320 m à l'heure**.



COMPOSITION DU TRAIN BOA :

Le train BOA se compose de 2 machines :

- machine de soudage des rails, n° 811,
- machine de substitution et de libération, n° 821.

La machine de soudage 811 est autonome, en ce sens qu'elle peut travailler indépendamment de la machine 821. Son rythme de travail (2 soudures toutes les 25 minutes, déplacement compris) lui permet de respecter l'allure de la machine 821, pour autant que les nouveaux rails déchargés aient une longueur minimum de 100 m et soient de qualité standard.

CONDITIONS NECESSAIRES A L'UTILISATION DU BOA :

Le train BOA peut travailler lorsque les conditions suivantes sont remplies :

1. Il faut que les nouveaux rails à poser soient disposés - avant le début du travail - à l'intérieur de la voie, approximativement à l'endroit de pose.
2. Il faut qu'il y ait d'anciens rails à déposer. L'opération de substitution des rails est nécessaire : le BOA ne peut pas libérer des rails (neufs ou anciens) qui sont déjà en voie.
3. Le BOA est conçu pour libérer les rails par chauffage. On part donc du principe que les rails neufs à poser ont une température qui ne dépasse pas la température usuelle de pose (25° à 32°), puisque le BOA n'est pas pourvu d'installation de refroidissement des rails.
4. Lorsqu'il est nécessaire de substituer le matériel de fixation (tirefonds, attaches, etc.), il faut au préalable approvisionner en menu matériel la machine 821, dont l'autonomie de stockage est de 1700 m - 2000 m de menu matériel.

POSE DES RAILS NEUFS SUR SUPPORTS A GALETS :

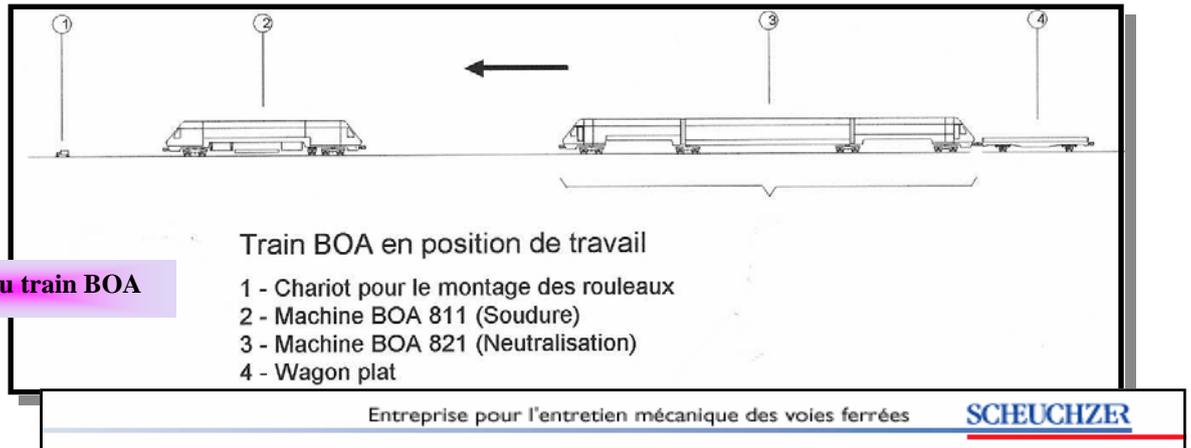
En tête du chantier, un chariot de service autonome (rangé, en marche haut le pied, à l'avant de la machine de soudage BOA 811) conduit par un opérateur, permet d'intercaler, tous les 15 m, des **supports à galets** entre le ballast et les nouveaux rails. Ces supports ont pour but d'assurer le « flottement » longitudinal des barres, ce qui autorise la dilatation à se répercuter sans contraintes. Le fait que les nouveaux rails à poser soient disposés sur ces supports a l'avantage de faciliter la saisie et le traitement des barres (dont l'emplacement ne varie pas), notamment en courbe, aussi bien pour la soudure que pour l'introduction dans la machine de substitution et de neutralisation. Ces supports sont stockés dans la machine BOA 811.

Chaque support est muni de deux galets et pèse environ 16 kg. Les dimensions des supports et la position des galets sont tels, qu'une fois installés sur ces derniers, les nouveaux rails restent hors gabarit.

Les supports sont ramassés, au fur et à mesure, par un opérateur et stockés à l'avant du BOA 821, sur un chariot. A la fin du chantier, ils sont retransférés sur le BOA 811.



Le Positionnement des rails



L LA MACHINE DE SOUDAGE, BOA 811 :

La machine de soudage BOA 811 se présente ainsi :

Cette machine opère en tête de chantier. Elle a pour mission de souder, par étincelage-forgeage, les longues barres de rails les unes aux autres.

Le BOA 811 traite simultanément les joints des deux files de rails. Les extrémités des rails à traiter sont saisies et maintenues par un établi.

La machine de soudage effectue les opérations suivantes :

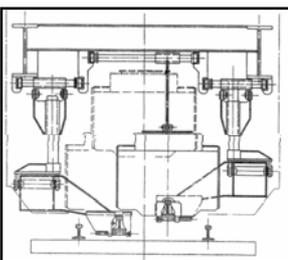
- ▶ nettoyage des abouts de rail et des points de contact de la soudeuse,
- ▶ soudage par étincelage-forgeage,
- ▶ refroidissement accéléré de la surface de roulement,
- ▶ meulage du patin du rail.



Les établi (un par file de rail), maintiennent les extrémités des rails à traiter pendant toute la durée des opérations précitées. Ainsi, on évite de manipuler les rails durant le refroidissement des soudures.

Les mâchoires de l'établi emprisonnent les extrémités des rails, tout en laissant libre une zone de 2500 mm pour l'intervention de la soudeuse, du dispositif de refroidissement et des organes de meulage.

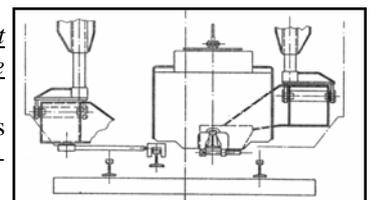
Les figures montrent en coupe transversale la position de chaque file de rail au cours par exemple de la deuxième soudure :



*Éta*bli avec tête de soudage (coupe) en place pour la deuxième soudure

*Éta*bli avec tête de soudage (coupe) en place pour la 2^{ème} soudure et dispositif de refroidissement de la première soudure

Chaque établi est amovible longitudinalement, ce qui permet à la fois de compenser la dilatation des nouveaux rails et de traiter simultanément des joints décalés dans les courbes (décalage maximum : 4 m).



Pendant le soudage-forgeage, les pinces ou mâchoires avant de l'établi sont légèrement desserrées, pour permettre au rail de coulisser. Dès la fin du forgeage, les pinces sont de nouveau serrées et le segment de rail avant est bloqué.

Voici le plan de travail pour l'exécution complète de 2 soudures par la machine 811 :

- ▶ Déplacement de la machine de soudage,
- ▶ BOA 811 au-dessus du joint à exécuter,
- ▶ Saisie des abouts de 2 longs rails, nettoyage des points de contact, saisie et nettoyage des abouts des 2 files de rails postérieures, positionnement pour l'intervention de la tête de soudage,
- ▶ Installation de la tête de soudage pour le premier joint,
- ▶ Contrôle de la position des 2 abouts de rail et, si nécessaire, réglage de celle-ci,
- ▶ Refroidissement accéléré (si nécessaire) de la surface du 1^{er} champignon,
- ▶ Meulage du patin du premier rail et,
- ▶ Exécution de la deuxième soudure,
- ▶ Refroidissement accéléré de la surface du 2^{ème} champignon et,
- ▶ Évacuation de la tête de soudage et,
- ▶ Meulage du patin du deuxième rail.

La durée du processus complet est d'environ 25 minutes.



La machine de soudage 811 est mise en œuvre par 4 opérateurs :

- ▶ 1 conducteur chef de machine dans la cabine de commande (contrôle et mise en marche du processus de soudage).
- ▶ 1 homme à l'endroit des établis (commande de la prise des rails en début de cycle).
- ▶ 1 homme sur le chariot de mise en place des supports à galets de nouveaux rails, y compris le nettoyage des abouts de rail avant le meulage.
- ▶ 1 homme derrière la machine pour le prémeulage des soudures (le meulage de finition est effectué lors d'une autre interception).

L A MACHINE DE SUBSTITUTION ET DE LIBERATION DES RAILS, BOA 821 :

La machine de substitution et de libération (abrégée ci-après : machine de libération) BOA 821 se présente ainsi :



Cette machine de libération accomplit pour l'essentiel les tâches suivantes en continu :

- détirefonnage des anciens rails,
- chauffage des nouveaux rails,
- convoyage et évacuation des anciennes attaches,
- installation des nouveaux rails,
- stockage et convoyage des nouvelles attaches,
- tirefonnage des nouveaux rails.

A cet effet, la machine BOA 821 est équipée des dispositifs suivants :

- diverses pinces à rails pour l'introduction et le cheminement des anciens et des nouveaux rails,
- 2 chariots de tirefonnage automatique à quatre têtes indépendantes chacun,
- 4 tunnels de chauffage par induction (2 tunnels par file de rails),
- 2 tunnels de chauffage auxiliaire (1 tunnel par file de rails),
- 2 postes de détirefonnage,
- 4 postes de tirefonnage,
- convoyeurs de matériel de tirefonnage,
- logements pour le stockage du nouveau matériel de tirefonnage,
- 1 appuie-traverses,
- 2 postes pour l'enlèvement et l'installation des semelles (opération non automatisée à ce jour),
- 1 poste pour tronçonner et ajuster les abouts de la 1^{ère} paire de longs rails qui seront soudés après le passage de la machine, aux rails déjà en place pour le procédé aluminothermique,
- 1 ou 2 wagons plats avec un dispositif de répartition et de convoyage des attaches.

D'une longueur de 49,7 m et d'un poids de 133 tonnes, le BOA 821 est une machine articulée sur 4 boggies. Le châssis central repose sur les 2 boggies intérieurs, alors que le châssis avant et arrière forment des bissels articulés sur lesdits boggies intérieurs. Deux groupes générateurs de 450 kW fournissent l'énergie nécessaire et six réservoirs à mazout de 1000 litres procurent une autonomie de travail d'une semaine.

A) CABINES :

La machine BOA 821 a 5 cabines :

- ☒ 1 cabine avant équipée pour la conduite en marche HLP,
- ☒ 1 cabine principale centrale, équipée pour la surveillance et les commandes des outils de travail, en particulier la régulation du chauffage,
- ☒ 1 cabine arrière équipée pour la conduite m.h.l.p. et les commandes arrière, notamment pour la commande des transporteurs de matériel,
- ☒ 1 cabine interne pour le contrôle de la dépose des anciens rails,
- ☒ 1 cabine interne pour le contrôle de la pose des nouveaux rails.



Poste de commande



B) POSTES DE TRAVAIL :

Le BOA 821 comprend les postes de travail suivants reliés entre eux par radio :

- 1 conducteur chef de machine dans la cabine centrale (contrôle de la régulation du chauffage et du bon fonctionnement des unités de tirefonnage),
- 1 surveillant des pinces à rail de dépose et de pose, dans la cabine interne avant,
- 1 surveillant des pinces à rails de pose, dans la cabine interne arrière,
- 1 approvisionneur du nouveau matériel d'attache (magasinier),
- 1 surveillant des opérations de démontage du matériel de fixation et du ramassage des supports à galet,
- 1 surveillant des opérations de montage du nouveau matériel de fixation.

En plus, entre 8 et 12 auxiliaires selon le type de travail et le genre d'attaches se répartissent les tâches suivantes :

- 4 hommes au ramassage du matériel d'attache et à la pose des bouchons sur les inserts,
- 2 hommes au chargement des semelles,
- 6 hommes au démontage des bouchons des inserts et au montage du nouveau matériel d'attache.



C) TIREFONNAGE :

Le BOA 821 est équipé de deux chariots de tirefonnage automatique hydraulique. Pour gagner de la place, le chariot de tirefonnage pour la dépose comprend également, dans sa partie centrale, le premier tunnel de chauffage (T 1). Ce chariot se présente ainsi :



Démontage du matériel d'attache (tirefonnage automatique et dépose)

Chaque tête de tirefonnage agit individuellement comme un robot. Une caméra vidéo détecte les tirefonds ou tout autre modèle d'attache présélectionné et un automate programmable régit les mouvements de chaque tirefonneuse. Au moment du desserrage (ou du serrage), chaque outil est bloqué en position de travail par rapport au rail, cependant que le chariot de tirefonnage, solidaire de la machine, continue son avance à la vitesse de croisière de 320 m/h. Une fois le tirefonds dévissé (le nombre de tours est compté), la tête de tirefonnage rattrape le chariot par un mouvement relatif en avant. Le temps d'un cycle de tirefonnage, déplacement compris, est de 5 secondes. Le couple maxi de desserrage est de 1000 Nm, et le couple maximum de serrage de 300 Nm. La vitesse maxi de desserrage est de 13 tours en 3 secondes, soit 260 t/min. Une pompe à débit variable

servo-commandé assure le réglage précis du couple au serrage.

D) LE CHAUFFAGE :

Le BOA 821 chauffe les nouveaux rails au défilé, par une installation d'induction à moyenne fréquence. En créant une multitude de champs magnétiques enveloppant le rail, il est possible de le chauffer rapidement jusqu'au cœur, et d'en contrôler l'échauffement selon l'intensité du courant. On sait que le chauffage par induction est le procédé qui permet de transférer l'énergie électrique d'un circuit primaire à une pièce métallique constituant un circuit secondaire dans lequel les pertes Joule sont transformées en chaleur.

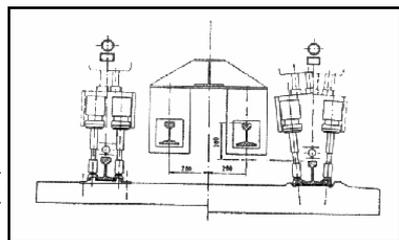


Le transfert énergétique est fondé sur les propriétés de l'induction électromagnétique : la propriété essentielle est que l'énergie est transmise directement à l'intérieur du rail **sans aucun contact matériel**. D'autres propriétés du chauffage par induction résident en ce que les puissances massiques sont plus élevées que tout autre procédé de chauffage, en ce que les échauffements sont plus rapides, en ce que l'on contrôle parfaitement la quantité d'énergie introduite dans le rail et, partant, que l'on atteint une plus grande précision de la température et généralement, un meilleur rendement.

L'installation de chauffage comprend les appareils suivants :

- ↪ 2 **onduleurs** de 100 kW. L'onduleur est destiné à fournir, à partir du réseau triphasé 60 Hz, un courant alternatif monophasé de fréquence adaptée à la charge à chauffer au moyen d'un inducteur. Chaque onduleur (un par file de rails) est logé dans une armoire en tôle d'acier et comprend :
 - un pont onduleur à thyristor refroidi par eau,
 - un ensemble de transformateurs d'impulsions,
 - un ensemble de résistances, condensateurs de limitation de variation de tension,
 - un limiteur de surtension,
 - un ensemble de commande du pont onduleur avec régulation du courant, de la tension et de la fréquence,
 - une section de refroidissement constituée de la tuyauterie et robinetterie internes et d'un dispositif de sécurité de débit et de température d'eau,
 - une section de commande.
- ↪ 2 **onduleurs** (un par file de rails) de 50 kW à 2000 Hz. Ils ont les mêmes caractéristiques que les précédents, mais alimentent les deuxièmes tunnels de chauffage (T 2).
- ↪ 6 **postes de chauffe**, comprenant notamment une batterie de condensateurs et un circuit d'eau.
- ↪ 2 **inducteurs** de 100 kW chacun. Il s'agit d'un enroulement de cuivre refroidi à l'eau noyé dans une masse de céramique, formant un tunnel d'une longueur de 2 m.
- ↪ 2 **inducteurs** de 50 kW chacun, formant les deuxièmes tunnels de chauffage, ayant 1 m de long.
- ↪ Une installation de refroidissement comprenant un circuit d'eau et des radiateurs.
- ↪ 2 tunnels de chauffage auxiliaire (T 3) comprenant 2 inducteurs de 50 kW chacun.

La figure ci-contre montre en coupe transversale la position des tunnels de chauffage T1, par rapport aux têtes de tirefonnage :



E) CONTRÔLE DE LA TEMPÉRATURE ET COMMANDES :

Le système de chauffage par induction dont dispose le BOA permet de contrôler et d'assurer une température de pose (par ex. 25°) à $\pm 1^\circ$ près. Cette précision a pour avantage qu'il n'est plus nécessaire de mesurer l'allongement des rails chauffés. Néanmoins sur le RFN Français, un dispositif (complexe) a été installé lors de cet essai à la demande d'IGEV pour valider la température par des mesures d'allongement.

Des capteurs (thermomètres à infrarouge par exemple) mesurent :

- la température du rail neuf avant chauffage,
- la température du rail après son passage dans le premier tunnel de chauffage,
- la température du rail avant son entrée dans le tunnel n° 2,
- la température du rail après son chauffage par le deuxième tunnel,
- idem avant et après le tunnel n° 3,
- la température du rail au moment de la fixation.



Toutes ces informations sont intégrées et, tenant compte de paramètres tels que la température extérieure, la vitesse de défilement et la vitesse de refroidissement du rail, un ordinateur commande la régulation du chauffage. Sur écran, l'opérateur peut voir le profil de température et l'état du processus de chauffage. Il est prévu d'imprimer des protocoles, de sorte qu'il sera possible de contrôler les températures de pose pour l'ensemble du chantier.



A APPROVISIONNEMENT, CONVOYAGE ET STOCKAGE AU MATERIEL DE FIXATION :

Pour faciliter le chargement et le déchargement du matériel de fixation, le BOA 821 est pourvu, à l'arrière, d'un dispositif de transport des attaches (anciennes et nouvelles). Ainsi, il sera possible, hors chantier, d'évacuer les anciennes attaches stockées en vrac sur un wagon plat et d'amener, toujours sur wagon plat, les nouvelles attaches qui seront alors réparties dans les magasins de la machine BOA 821, situés au-dessus des postes de tirefonnage.

En conséquence, il n'est pas nécessaire d'opérer des chargements ou déchargements de matériel durant l'interception à disposition.

Quant à l'approvisionnement en nouveau matériel, il peut avoir lieu en gare, à partir d'un wagon plat par exemple. Si un pré-montage est nécessaire, il peut se faire sur ce même wagon plat.

Les magasins du BOA 821 peuvent accueillir 16 tonnes de matériel, ce qui suffit pour un travail de 1700 à 2000 m.

Pour les interceptions plus conséquentes, un wagon plat supplémentaire peut être accroché et son contenu chargé dans la machine lors du changement d'équipe.

PROTOCOLES DE RECEPTION DES TRAVAUX :

Pour contrôler et assurer la bonne facture des soudures, la machine dispose d'un enregistreur représentant graphiquement les paramètres suivants tout au long du processus de soudage :

- la force d'application des deux rails l'un contre l'autre (en KN),
- le courant électrique passant dans les rails (en A),
- la quantité de rail consommé (en mm).

Un enregistrement graphique est effectué pour chaque soudure. Il représente le **protocole de fabrication**.

A la fin du chantier un **protocole de réception des travaux de libération** est fourni par l'ordinateur de commande du système de chauffage. Il est établi à partir des mesures effectuées et stockées lors du travail sur chaque file de rail. Sur le listing du rapport de travail apparaissent les valeurs choisies (par exemple) :

- Lieu de la mesure (km), heure de travail,
- Température initiale du rail (°C).
- Température atmosphérique (°C).
- Température moyenne de pose de chaque file de rail par tronçons de 50 m.

En plus, en temps réel pendant le travail, un enregistreur graphique fournit un diagramme des températures de chaque file de rail avec les valeurs suivantes :

- Température du rail avant chauffage.
- Température du rail à la pose.
- Température atmosphérique.



Dossier BOA 811-821

