

SNCF
SGRDD-Bibliothèque
45, rue de Londres
75379 PARIS CEDEX 08
(PARIS SAINT-LAZARE)
Tél. : 01 53 42 90 11

REFERENCE

FER044207

CAHIER

169

3152

RGCF

avril 2004, pp. 39-44, 8 fig. - (REVUE) - S/C : 0610

La genèse d'une innovation : Appitrack pose de voie automatisée

JB

Genèse d'une innovation :

Appitrack

Pose de voie automatisée

La mise au point d'une innovation, relève d'abord de l'intuition, puis de l'aptitude à porter un nouveau regard sur la question posée, enfin sur la capacité à évaluer en permanence les technologies nouvelles.

Quelle exaltation, lorsque les idées prennent corps et que l'on parvient à la réalisation de l'objet souhaité et imaginé!

Appitrack™ est né de la demande de réduire de façon très substantielle le coût de construction d'une voie ancrée. La réflexion s'est tout de suite portée sur l'emploi de machines à mouler le béton en continu (slip form), utilisées principalement pour la construction de routes, de pistes d'aéroports et de séparateurs routiers de sécurité.

Les constructeurs de dalles en béton moulé en continu savent incorporer des aciers dans le béton moulé, et même des goujons de liaison entre dalles successives, mais lorsque le béton sort du moule, rien ne dépasse de la surface du béton moulé!

Comment disposer dans ce béton des pièces d'appui et d'ancrage des rails, comment le faire économiquement et avec la précision requise? La réponse est venue au bout de plusieurs années de réflexion, de recherche, d'expérimentation, de veille technologique. De l'intuition en passant par les tâtonnements, Alstom est passée de l'idée à la réalisation, puis à la validation d'un procédé novateur qui va changer la façon d'envisager les projets futurs de tramways, de métro, et pour-

quoi pas ceux de lignes à grande vitesse.

Appitrack™ est un procédé automatique qui permet de réaliser sans coffrage et sans mannequin, une voie ancrée, voie constituée d'une dalle de béton dans laquelle sont scellées les pièces d'ancrages des supports de rails, selles et douilles (figure 1). Il s'agit par conséquent d'une voie sans ballast, technique qui semble intéresser de plus en plus les grands pays européens pour

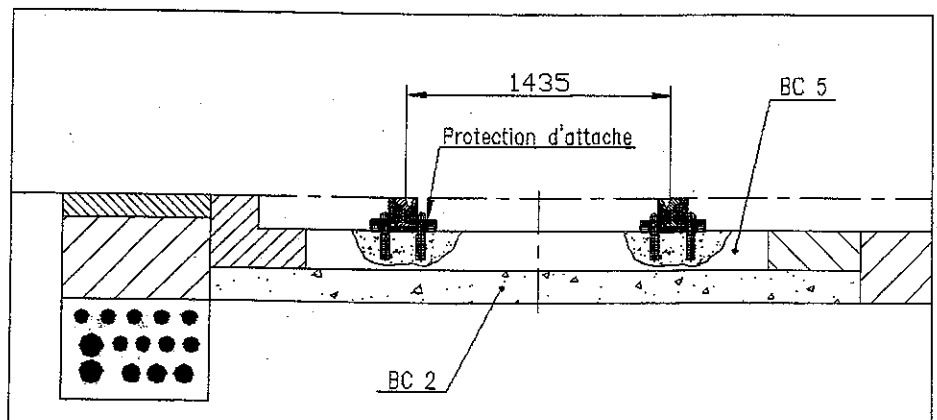


Fig. 1 - Coupe de voie courante

Dossier



Denis MANSANT

Responsable Développements Infrastructures chez Alstom Transport



Michel FROVENS

Chef de Projet au sein du Segment Systèmes Infrastructures, spécialiste de la construction de voie sans ballast chez Alstom Transport

les prochains réseaux à grande vitesse.

Le mode habituel de réalisation d'une telle voie consiste :

- à préparer un coffrage qui contiendra le béton de la dalle pendant son coulage ;
- à suspendre sur des mannequins ou à l'aide de vérins les rails équipés des selles supports de rail ;
- à régler avec un contrôle topographique tout cet ensemble suspendu ;
- puis à couler le béton en veillant à ne rien dérégler lors des opérations (contact avec la goulotte de transport du béton, les passages des ouvriers, les aiguilles vibrantes qui assurent sa répartition et son dégaillage, le talochage de finition de la surface qui donne la fini et les formes de pentes, etc).

Il faut ensuite démonter coffrages et mannequins, les nettoyer, les recycler en aval sur le chantier, lourde opération. La voie ainsi obtenue a également besoin d'être nettoyée des résidus de béton qui polluent les attaches, les selles et le rail.

Avec Appitrack™, le processus est simplifié à l'extrême, il est fiabilisé et les rares interventions humaines ne font courir aucun risque à la qualité du travail :

- la dalle en béton est réalisée à l'aide d'une machine à coffrage glissant. Le béton utilisé est de haute résistance et très « sec ». Il est mis en forme par le moule de la machine, ce qui supprime les coffrages fixes ;
- les pièces support de rail et leurs ancrages sont insérés par vibration dans le béton qui vient d'être moulé, directement à la bonne position. Plus de mannequins, de vis de réglage, de butons de calage.

Une fois le béton sec, il suffit de distribuer les rails et de les monter sur les supports. Aucun réglage n'est plus nécessaire pour obtenir le tracé désiré avec les tolérances habituelles.

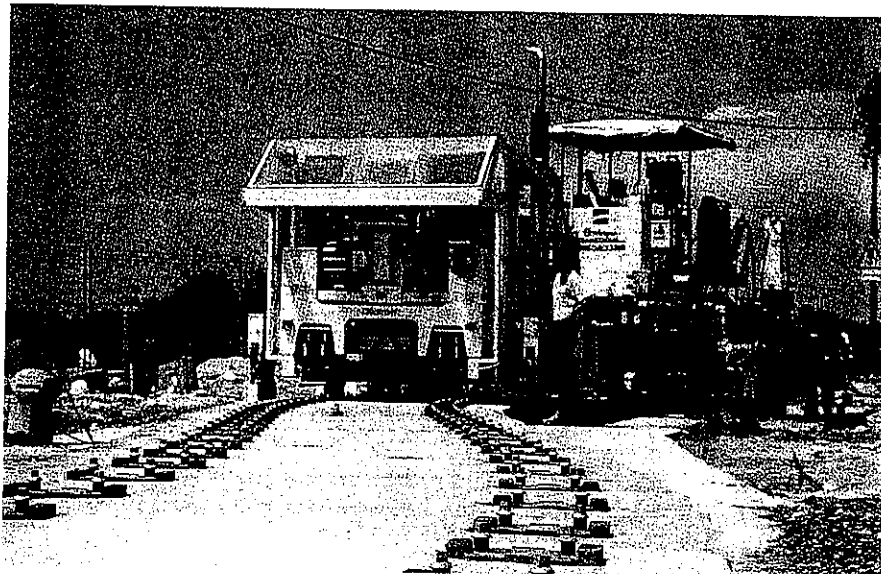


Fig. 2 - Pose de voie en courbe et contre courbe R18 m



Fig. 3 - Pose de voie avec dévers

Appitrack™ permet de réaliser des courbes serrées, jusqu'à 18 m au moins, ainsi que le dévers désiré (figures 2 et 3).

Une innovation menée pas à pas

L'emploi d'une machine à mouler le béton par coffrage glissant pour réaliser la voie ancrée a été identifié dès les années 1995. En 1996, le procédé d'insertion des pièces support de rails et de leurs ancrages

dans le béton frais par vibration a été imaginé, testé et breveté par Alstom et la Société Nouvelle Franex¹.

Il restait à effectuer cette opération avec la précision requise et une cadence élevée pour tirer tout le profit de la haute productivité apportée par l'emploi du slip form pour construire la dalle de voie.

Le guidage du slip form réalisé par un fil porté sur des consoles posées

¹ Brevet EP 803609 déposé en avril 1996

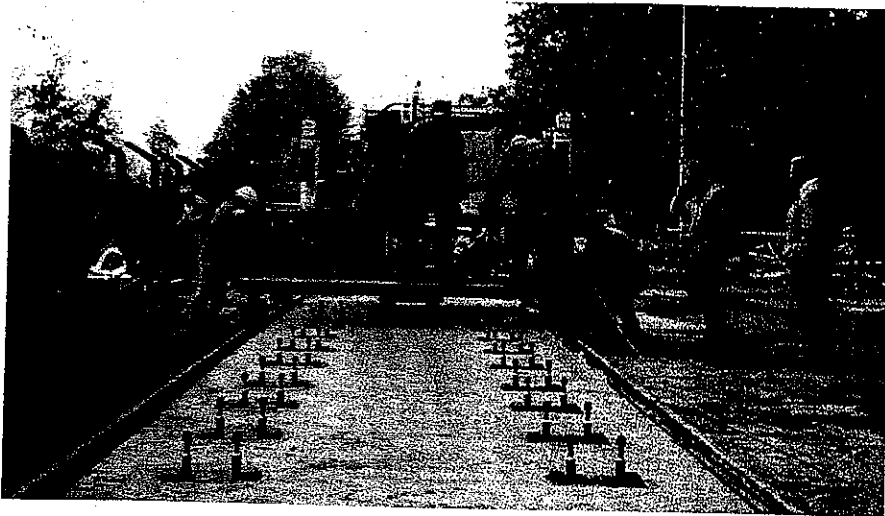


Fig. 4 - 1996 : pose de voie par insertion avec guidage des rails

sur le sol, réglé et tendu le long de l'ouvrage à réaliser, permettait alors d'obtenir une précision de +/- 5 mm sur le niveau du béton. Ce procédé rustique, mais aussi susceptible de dérèglages fréquents sur un chantier, ne convenait pas pour atteindre les performances de précision requises.

Des essais ont été réalisés en 1996 avec l'emploi de rails provisoires pour servir de guide au slip form et à la machine à insérer les pièces dans le béton (figure 4). Bien que satisfaisant sur le plan de la précision obtenue, ce procédé n'a pas convaincu ses promoteurs. Le passage par des rails provisoires, qui devaient être réglés avec précision, était incompatible avec les gains de productivité escomptés.

Le guidage par plan laser, largement utilisé dans les années 1990 pour les travaux de terrassements, pouvait constituer une solution. Il offrait une référence de premier ordre en contrôle d'altitude, acceptable en tracé pour autant que celui-ci ne soit pas trop sinueux, mais tout devenait complexe dès que l'on envisageait des tracés urbains sinueux, avec des angles morts, des difficultés d'implantation et de reprise en fonction de l'avancement du chantier. Il n'était pas envisageable dans un environnement urbain, qui était au départ le domaine d'application recherché pour AppitracTM.

Dès 1997, le guidage du slip form et de la machine à insérer les pièces d'ancrage du rail, par stations topographiques automatiques a été envisagé par Alstom et ses partenaires. Le slip form devait être asservi dans ses mouvements à la position donnée par échange de données avec une station topographique, et la machine à insérer devait se positionner de la même façon avec précision par échange d'information avec une autre station topographique.

Les stations topographiques automatiques sont apparues vers 1996-1997. Leur précision d'alors,

de l'ordre de +/- 2 à 3 mm, a permis de supprimer les fils de guidage des slip forms. Même si ce niveau de précision était suffisant pour les applications du BTP, il n'était pas envisageable pour une pose de voie ferrée à haute productivité, pour laquelle il était exclu de venir effectuer des réglages ultérieurs de la position des rails.

Fin 1997 le guidage optique par reconnaissance d'image a également été envisagé. Il permettait de guider en plan le suivi d'un tracé, le guidage en altitude restant assuré par un plan laser. Les investigations menées pour guider automatiquement une pose de voie ancrée n'ont pas donné de résultats satisfaisants : un procédé insuffisamment sécurisé, ne garantissant pas le niveau de précision requis, coûteux en raison de sa nouveauté, les autres applications de l'époque étant surtout à caractère militaire.

Ce n'est que fin 1999, début 2000, que grâce aux progrès réalisés par les stations topographiques automatiques, qu'il a été possible de revenir à l'idée conçue plus de deux ans auparavant. Alstom a décidé de réaliser un prototype de machine à poser automatiquement une voie ancrée et de réaliser la voie d'expérimentation de La Rochelle par ce procédé.

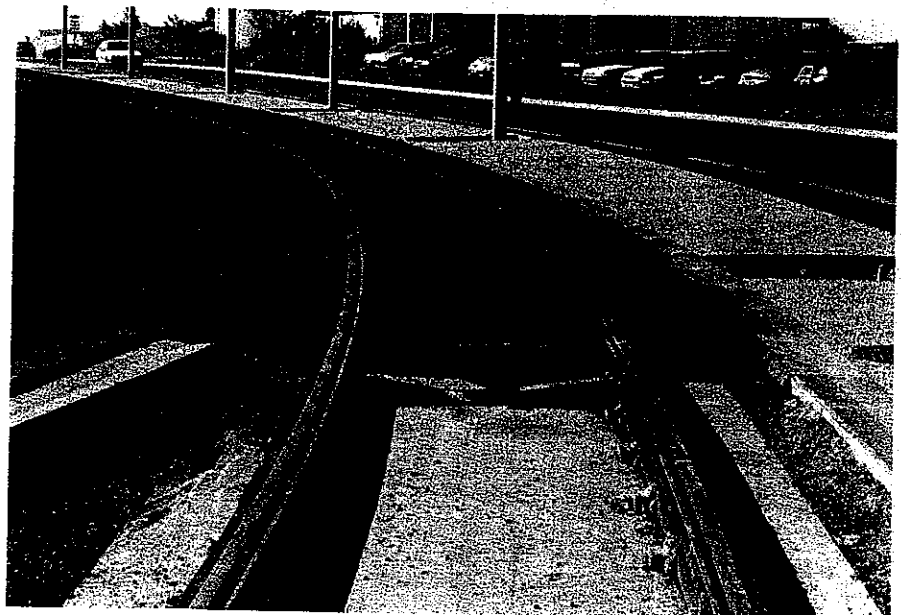


Fig. 5 - La Rochelle : voie avec revêtement partiel en enrobés

Cette voie de 1400 m, réalisée conjointement par Alstom et la Communauté d'Agglomérations de La Rochelle, est destinée dans un premier temps à être la vitrine d'une agglomération fortement marquée par la construction de matériel ferroviaire, et sert de ligne de test et de présentation de tramways. Elle préfigure le projet de liaison entre les nouveaux quartiers, l'université, la gare, et le centre ville de La Rochelle (figure 5).

Un saut technologique

C'est donc grâce au progrès réalisé dans la précision du guidage d'engins de TP, par station topographique automatique qu'il a été possible de reconsidérer complètement le processus de construction automatisé de la voie ferrée de type ancré :

- implantation d'une polygonale le long du tracé (ensemble de points topographiques matérialisés sur le terrain à raison d'un point tous les 60 mètres permettant à la station topographique de se positionner par rapport au tracé) ;

- réalisation de la dalle de voie au slip form guidé par une station topographique placée à l'avant du slip form ;
- déplacement, réglage avant insertion, puis insertion, par enfoncement et vibration, des supports de rail par la machine Appitrack sous la supervision d'une autre station topographique automatique placée en arrière de la machine ;
- distribution, soudure, pose des rails sur leurs supports, et serrage sans autre réglage.

La voie est posée, il ne reste plus qu'à l'équiper en fonction du contexte : revêtements en ville, équipotentielles, signalisation, etc. Comme toute voie neuve un bon rodage lui donnera ses performances optimales.

La conception de la machine automatique à poser la voie ferrée

Pour réaliser une machine de pose automatique, Alstom a défini principalement deux sous-ensembles :

- le système de guidage, par station topographique automatique, pre-

nant appui sur la polygonale du tracé et sur des capteurs placés sur la machine elle-même. Ces capteurs ont pour fonction de guider le déplacement de la machine et de guider le dispositif d'insertion des supports de rails ;

- la machine de pose de voie automatique, ses fonctionnalités et ses performances.

Le logiciel de conduite de la machine automatique à insérer les supports de rail, est étudié et réalisé, sur la base d'un cahier des charges, avec une entreprise de premier plan dans la conduite ou la surveillance automatique des processus guidés de machines de TP, slip form, mais aussi niveleuses, graders, etc. et sur l'expertise de cette société dans le traitement des données.

La machine de pose de voie automatique se compose de 3 ensembles principaux :

- un châssis automoteur monté sur des roues orientables de grand diamètre aptes au déplacement sur des surfaces dures (béton de propreté ou de fondation) ;
- un bras d'insertion, muni de 3 mouvements de translation (x, y, z), et de 3 mouvements de rotation (xx', yy', zz'). De plus ce bras est pourvu d'un mouvement de translation perpendiculaire au plan de la voie, pour assurer l'insertion. Sur ce bras sont placées les têtes d'insertion des supports de rail qui vont les tenir et les vibrer pendant toute la course d'insertion, afin de fluidiser le béton autour des pièces, et de permettre un bon contact béton-selles et béton-ancrages (figure 7) ;
- un automate contrôle et commande les séquences de fonctionnement de la machine et notamment les actionneurs et organes de contrôle des différents mouvements du châssis, du bras, des vérins d'insertions et des vibreurs. Cet automate est relié à l'ordinateur embarqué qui assure

Machine d'insertion automatique des selles de rail et ancrages

Point topographique avec mire

Selles insérées dans le béton frais

Dalle de voie

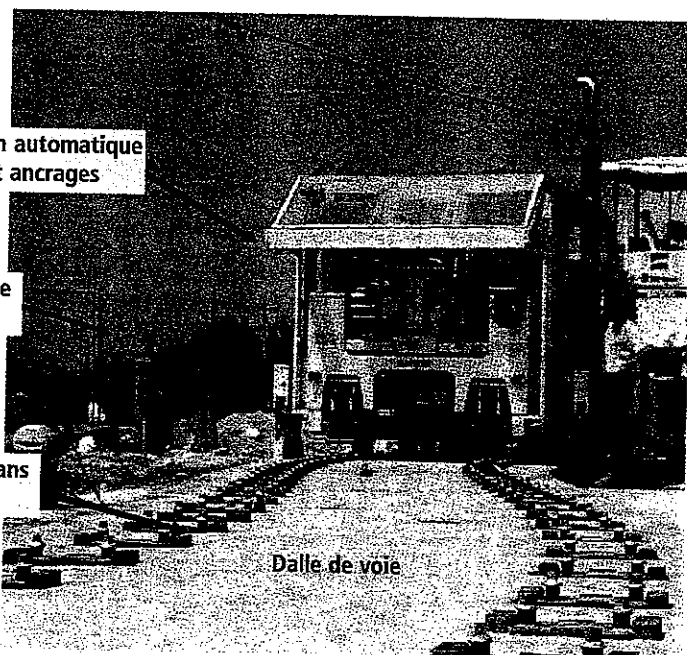


Fig. 6 - Vue d'ensemble de l'atelier de pose en courbe et contre courbe R18 m

² Affaissement en cm du cône de béton frais normalisé

Robot d'insertion des
selles support de rail

Dalle en béton
fraîchement posée



Fig. 7 - Détail du bras d'insertion avec pose d'une selle

l'interface entre la station topographique qui relève la position des mires placées sur la machine.

La machine enjambe la dalle de voie qui vient d'être moulée, et comporte deux têtes d'insertion commandées simultanément.

La qualification du procédé a été la première préoccupation d'Alstom, afin de proposer un produit achevé, prêt à l'emploi.

Elle a porté d'abord sur la qualification de l'insertion :

- la qualité du béton à utiliser, formulation, granulométrie, maniabilité, slump², adjuvants (retardateur de prise, entraîneur d'air, air occlus...);
- les types d'ancrages utilisables, des douilles isolantes avec tire-fonds ; deux types ont été utilisés le VAPE PLASTIRAIL et principalement le STEDEF GS.

Des essais ont été réalisés au LRPC (Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées) d'Autun. Ils ont permis d'arrêter une série de formules de béton. L'ancrage STEDEF GS a été testé, et a subi avec succès les essais habituels à ce type de matériel (NF F 50-009). Il est à noter que le béton, pourtant très

« sec » hors vibration, est parfaitement venu se loger dans les volutes de l'hélice de l'ancrage STEDEF GS (figure 8).

La qualification de la précision géométrique du positionnement de la machine et du bras a été réalisée d'abord en usine chez le constructeur de la machine de pose automatique, avec le support du réalisateur du logiciel de guidage et l'Université de East-London, Pr. B J Gorham, puis sur le site lors de la construction de la voie. Il s'est révélé conforme aux attentes dès les premiers mètres de pose de voie par la régularité et la répétitivité de la précision tout au long de la réalisation de la voie d'essai.

La qualification du procédé pour réaliser les différents types d'amortissements vibratoires exigés sur les projets. Le mode de réalisation de la voie « de bas en haut » a permis de construire, avec la même productivité que de la voie normale, de la voie sur dalle flottante, simplement en posant la dalle de béton sur le tapis anti-vibratile reposant sur la dalle de fondation. Les parties verticales isolantes doivent être mises en place ultérieurement au cours des finitions.

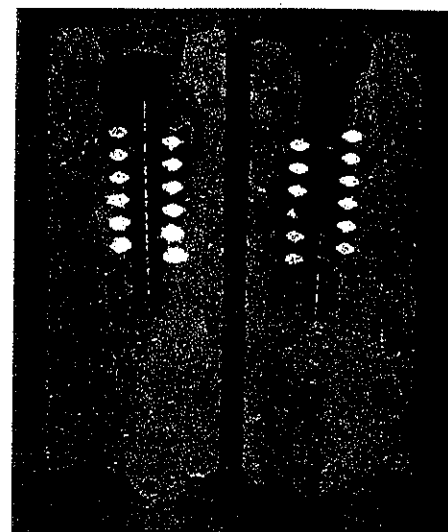


Fig. 8 - Sections d'ancrages STEDEF GS posées par insertion selon le procédé Appitrack

Les mises au point, effectuées à l'occasion de cette première réalisation ont surtout porté sur l'environnement des essais. Elles ont permis d'optimiser pour le futur, l'emplacement des points de la polygonale, de définir les tolérances de réalisation du terrassement et de la dalle de fondation, de choisir la puissance des vibreurs, de concevoir un système d'alimentation automatique en pièces plus performant, etc. Alstom dispose aujourd'hui de toutes les données pour utiliser au mieux ce procédé à haut rendement.

Une cinquantaine de spécialistes, maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvres, bureaux d'ingénierie, entreprises, exploitants, ont pu assister à la construction de la voie sous leurs yeux et se rendre compte des niveaux de productivités qu'il était possible d'atteindre. Cent soixante mètres de voie ont pu être mis en place en une journée de travail normale de 8 heures incluant les temps morts de démarrage et d'arrêt de journée³, sur un chantier de 600 m au global lors de la seconde phase

³ la productivité du processus traditionnel de pose sur traverses ou mannequins bétonnés est de 40 m/journée de 8 heures.

des travaux, ce qui laisse une bonne marge de progression pour des chantiers de plusieurs kilomètres.

Il a été ainsi possible de « sauter » des carrefours, puis de revenir en arrière pour les réaliser en se raccordant exactement sur les extrémités de dalles.

La souplesse offerte par le guidage par station topographique, permet de réaliser sans aucune difficulté des reprises nombreuses, ce qui rend le procédé parfaitement adapté à des mises à dispositions des lots de terrassements un peu aléatoires et géographiquement dispersés, typiques des projets urbains.

La méthode est bien adaptée aux travaux urbains, elle permet d'avoir un atelier de construction de la dalle très court et qui avance rapidement, réduisant notablement les perturba-

tions pour les riverains, les piétons ainsi que pour la circulation des véhicules routiers.

Lors de chantiers futurs les passerelles routières et piétonnières amovibles placées sur les zones terrassées, qui sont déjà employées dans le processus traditionnel, permettront d'accroître encore la productivité en les relevant lors du passage de l'atelier de construction de la dalle, et en les remettant en place juste après.

La conception de l'ouvrage est celle d'une voie ancrée, ou voie sans ballast, traditionnelle. La voie est constituée d'une, ou le plus souvent, de deux dalles de béton posées sur un terrassement de type PF2. Alstom étant en charge de la conception de la voie réalisée conjointement avec la CDA de La Rochelle a fait appel pour dimensionner cette dalle de

voie aux méthodes de calcul des chaussées routières. Ce fut l'occasion de transposer ces méthodes aux voies sans ballast⁴.

La voie ainsi conçue et réalisée à partir de constituants de qualité (béton, rails, attaches, matériaux résilients et isolants), par un procédé offrant une garantie de mise en œuvre améliorée par rapport à la pose traditionnelle, est donc globalement au moins équivalente, GAME, à la pose traditionnelle, plus rapide et donc plus économique.

L'avancée constituée par cette réalisation est certainement un des progrès majeurs réalisés dans le domaine de la technologie de construction des voies ferrées modernes.

⁴ RGCF juillet-août 2003

Résumés

JEAN EHRSAM
MARC SAYADI

Genèse d'une innovation, Appitrack™ Pose de voie automatisée

La recherche d'une productivité accrue sans sacrifier la qualité du travail exécuté a conduit Alstom, dans ses activités de concepteur et constructeur de voies ferrées, à imaginer et mettre au point un procédé entièrement automatisé pour construire une dalle de voie en y insérant les supports de rails directement à la bonne position. Il ne reste plus ensuite qu'à venir poser rails et

attaches, sans avoir besoin de procéder à d'autres réglages.

La mise au point de ce nouveau procédé a pris plusieurs années, en raison du manque de maturité de certaines technologies néanmoins identifiées dès le début de la recherche.

Ce dossier expose le cheminement de la recherche et son aboutissement par la construction de 1 400 m de voie à La Rochelle.

Genesis of an innovation, Appitrack™ Automated track laying

Efforts to improve productivity without sacrificing the quality of work performed have prom-

ted the railway track design and construction business division of Alstom to design and develop a fully automated procedure for building a track slab by inserting the rail bearers directly in the correct position. All that is left to do is to lay the rails and fastenings without having to make any other adjustments.

It took several years to fine-tune this new process due to the lack of experience with certain technologies identified nonetheless at the start of the research.

This article describes the research carried out, culminating in construction of 1,400 m of track at La Rochelle.