

Le T.G.V. (Train à grande vitesse)

ÉTUDE ET CONSTRUCTION DE LA NOUVELLE LIGNE PARIS-SUD-EST

par J. BOUTONNIER - Ingénieur S.N.C.F. - Chef de la Division Topographie

Résumé :

L'étude et la construction d'un ouvrage de type linéaire tel que la nouvelle ligne PARIS-SUD-EST ont nécessité de nombreuses interventions topographiques aux différents stades d'avancement du projet, puis de la réalisation.

Le présent exposé, après une évocation des raisons du choix de cette liaison ferrée, décrit les principales opérations topographiques et leur enchaînement de l'avant projet jusqu'à la mise en service.

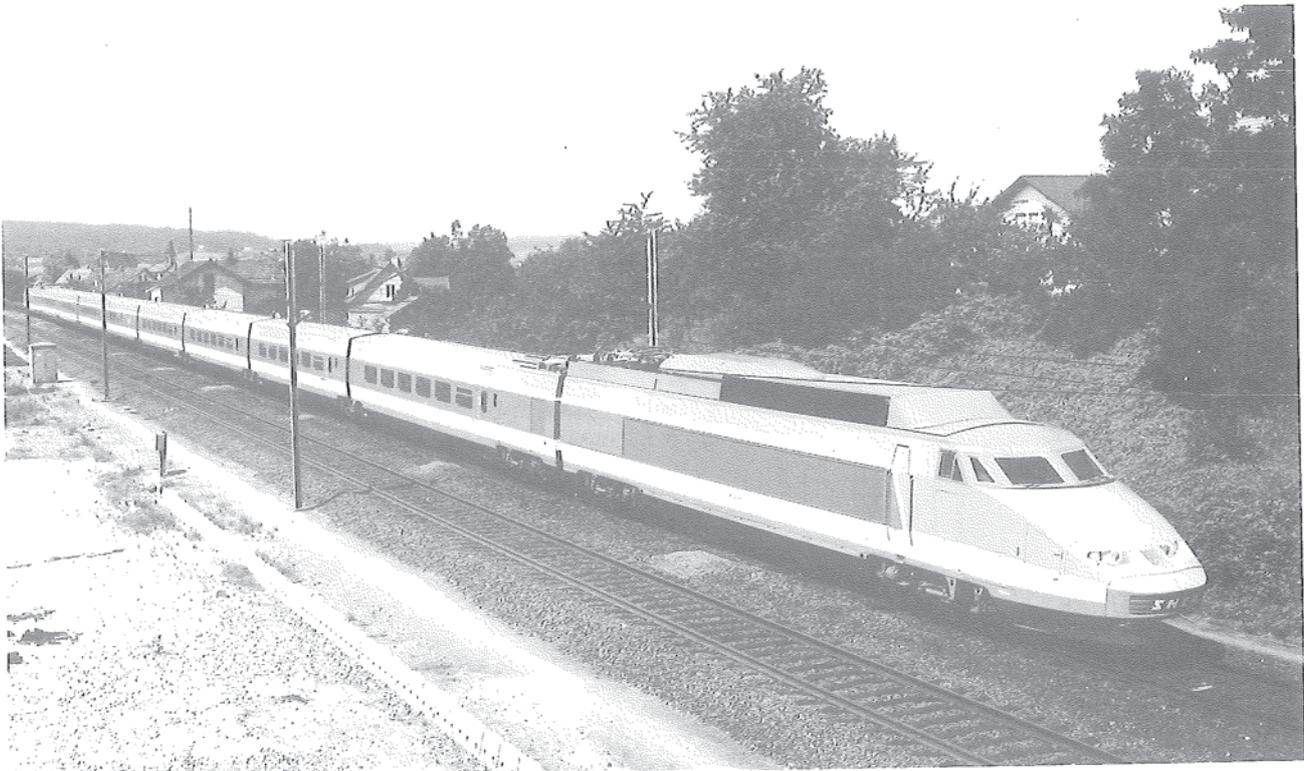


Photo : C. Delemarre.

Clichés S.N.C.F. - CAV

Actuellement se poursuit la construction d'une voie ferrée entre PARIS et LYON ; après avoir examiné rapidement les raisons de la réalisation d'une ligne nouvelle, (la S.N.C.F. n'ayant pratiquement pas construit de ligne depuis 50 ans, hormis des antennes de desserte dans la banlieue parisienne) nous verrons les différentes interventions topographiques nécessaires pour les besoins des études de génie civil et l'exécution des travaux jusqu'à la pose de la voie.

Le SUD-EST de la FRANCE est actuellement relié à la région parisienne par la ligne PARIS-DIJON-LYON qui comporte quatre voies électrifiées, à l'exception de deux sections de ligne (SAINT-FLORENTIN - LES LAUMES et BLAISY-BAS -

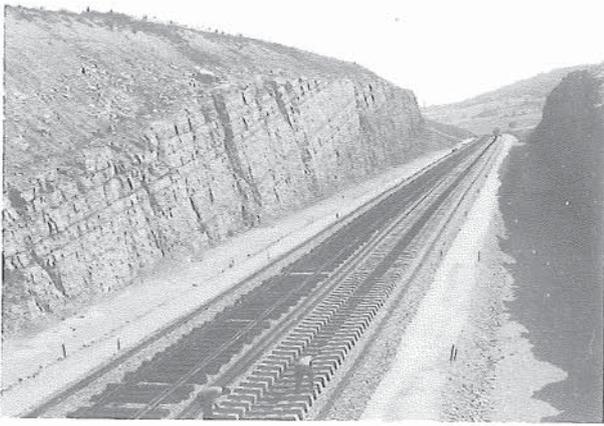
DIJON soit 109 km) dont le quadruplement ne peut être économiquement envisagé.

Reliant entre-eux des centres regroupant près de 40 % de la population française, cet axe doit faire face à un trafic intérieur considérable auquel se superpose un important trafic international vers la SUISSE et l'ITALIE.

Le taux de croissance de ces trafics s'établit à un niveau très sensiblement supérieur à celui constaté sur l'ensemble du réseau.

Dans ces conditions, la section ST-FLORENTIN DIJON, dont la capacité maximale est de 260 trains par jour, constitue un véritable goulet d'étranglement.

Photo : C. Deleamarre.



Clichés S.N.C.F. - CAV

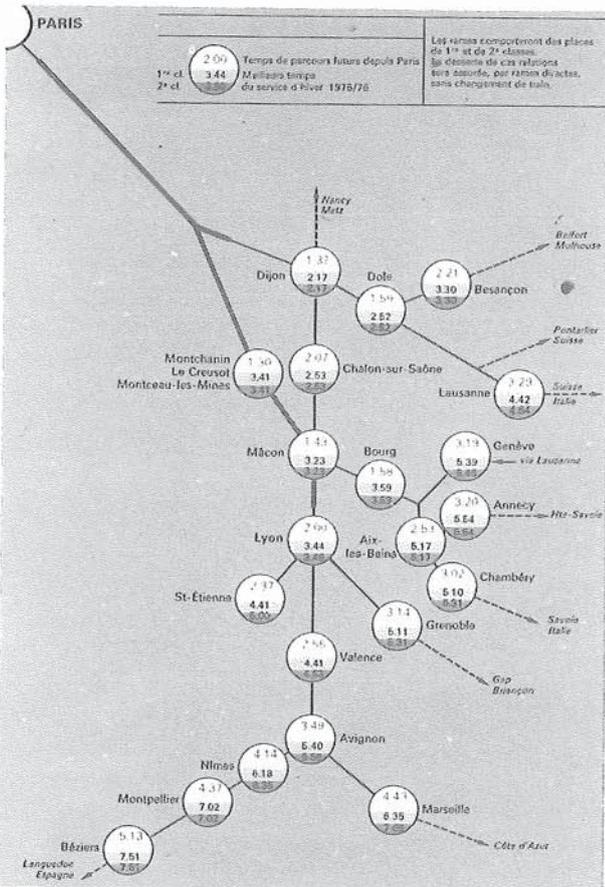


Photo : C. Deleamarre.

Clichés S.N.C.F. - CAV

Or, au début de 1975, le trafic atteignait une moyenne journalière de 250 circulations, ce qui compte tenu des fluctuations normales de celui-ci pose d'ores et déjà des problèmes d'exploitation extrêmement délicats.

Des phénomènes de saturation se manifestent qui entraînent une détérioration de la qualité du service offert aux voyageurs, un allongement du temps de parcours des trains de marchandises, ainsi que de sérieuses difficultés pour l'entretien des installations.

Une solution de type classique a été étudiée à diverses reprises qui consistait à doubler les sections ne comportant que deux voies, elle a dû être écartée car d'un coût très élevé bien qu'elle n'apportait

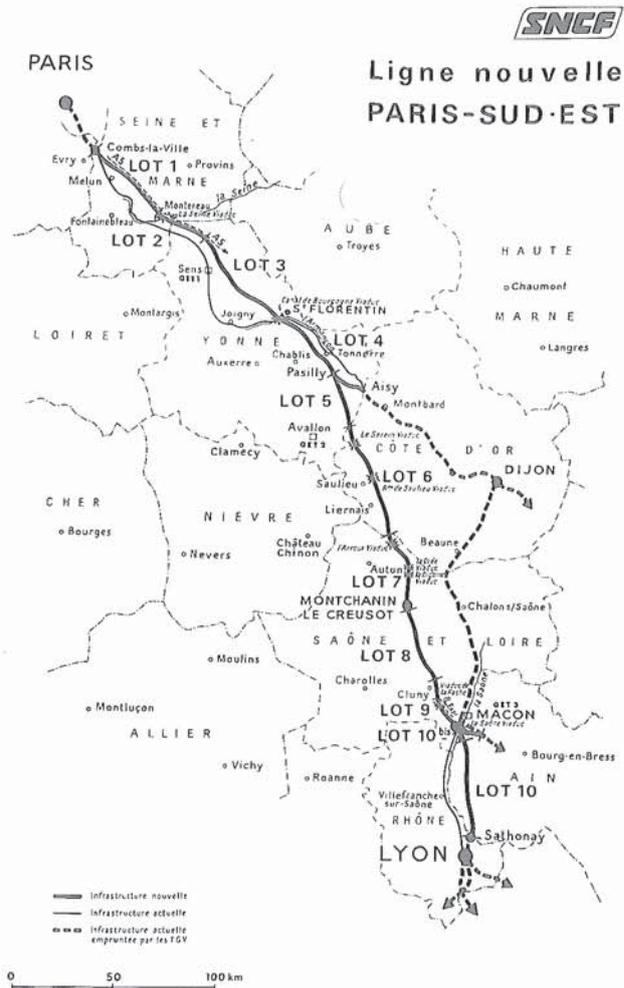
d'amélioration qu'au seul acheminement des trains de marchandises.

Il était donc logique d'étudier les possibilités offertes par la construction d'une ligne nouvelle à grande vitesse reliant PARIS à LYON, les Pouvoirs Publics avaient retenu en 1971 le principe de cette liaison entre PARIS et le quart SUD-EST de la FRANCE, ils ont le 23 mars 1976 donné définitivement leur accord à la réalisation de cette ligne dont la mise en service s'effectuera en deux phases : en octobre 1981 pour le tronçon SUD (ST-FLORENTIN - LYON) et en octobre 1983 pour la totalité.

La S.N.C.F. a choisi de spécialiser cette infrastructure au trafic voyageurs, ce qui permettra d'accroître très fortement le potentiel de transport marchandises de la ligne actuelle, la nouvelle ligne acheminant de son côté la plus grande partie des trains de voyageurs.

La ligne nouvelle aura le même écartement et le même type de voie que le réseau actuel, ce qui présente deux avantages primordiaux :

- les trains circulant sur la ligne nouvelle utiliseront les installations terminales des gares actuelles de PARIS, DIJON et LYON, ce qui évite les expropriations les plus coûteuses et les travaux les plus délicats.



— ces rames pourront, au-delà de la nouvelle ligne poursuivre leur marche sur les lignes du réseau actuel, en conservant par conséquent intégralement les gains de temps acquis sur les parcours à très grande vitesse.

— Cette ligne (390 km) se séparera de la ligne actuelle à 27 km au SUD-EST de PARIS à COMBS LA VILLE. Peu avant son entrée en COTE D'OR elle se subdivisera en deux branches, l'une se raccordant à la ligne actuelle au Nord de DIJON pour desservir la capitale de la BOURGOGNE, la FRANCHE COMTÉ et la SUISSE, l'autre desservant MONTCHANIN, LE CREUSOT, MACON (avec continuation vers la SAVOIE et GENEVE) pour s'intégrer au réseau actuel à 8 km au Nord de LYON.

En adoptant le parti de construire une ligne exclusivement réservée au trafic des voyageurs, il devient possible, grâce à la puissance et à l'adhérence élevée des T.G.V. (Trains à Grande Vitesse) d'accepter des rampes allant jusqu'à 35‰ (contre 5 à 10 ‰) en général sur une ligne classique). Le tracé peut alors, sans avoir recours à d'opéreux ouvrages d'art, se reporter sur les plateaux où les courbes à grand rayon (4000 m) s'inscrivent sans difficultés, en évitant les vallées, zones peuplées, sillonnées de cours d'eau et de routes dont la traversée grève lourdement les coûts d'infrastructure.

La nouvelle ligne sera électrifiée en courant alternatif à 25 000 volts, elle sera dotée d'une infrastructure de type classique mais conçue pour les grandes vitesses (jusqu'à 300 km/h) rails soudés de 60 kg/m, traverses de béton, ballast d'épaisseur renforcée, signalisation du type "Grande Vitesse" avec échange permanent d'informations entre les trains et les postes de régulation, elle ne comportera aucun passage à niveau. Les rames qui circuleront sur cette ligne dériveront de la rame prototype T.G.V. 001 que la S.N.C.F. a longuement expérimentée, elles offriront 375 places dont 240 en 2^e classe.

L'utilisation de rames légères permettra de mieux étaler la desserte sur l'ensemble de la journée et d'offrir une grande fréquence de circulations (pouvant par exemple atteindre 30 minutes pour les relations entre PARIS et LYON).

La construction de cette ligne constituera une opération très favorable à l'aménagement du territoire. Apportant la meilleure solution possible à la saturation de l'actuelle ligne du SUD-EST, elle permettra d'offrir à toutes les catégories de voyageurs qu'ils

Clichés S.N.C.F. - CAV

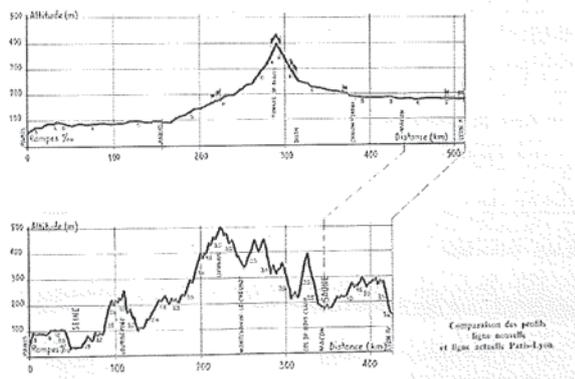


Photo : C. Delemarre.

soient de seconde ou de première classe, un mode de transport à la fois sûr, ponctuel et très rapide : PARIS-DIJON en 1 h 37 - PARIS-BESANÇON en 2 h 21 - PARIS-MONTCHANIN-LE CREUSOT en 1 h 30 - PARIS-LYON en 2 h 00 - PARIS-CHAMBÉRY en 3 h 02 - PARIS-MONTPPELLIER en 4 h 37 - PARIS-MARSEILLE en 4 h 43 - PARIS-GENÈVE en 3 h 19.

Tout ouvrage linéaire créé une coupure nécessitant des réaménagements importants, les autorités ministérielles ont incité les différentes administrations à coordonner leurs actions.

C'est ainsi que pour le projet PARIS-SUD-EST, on a pu créer de véritables jumelages :

- avec les autoroutes
 - Autoroute A5 (PARIS-TROYES) sur 56 km entre MELUN et SENS.
 - Route Express SUISSE Océan sur 14 km entre CLUNY et MACON.
- avec les P.T.T.

— Réserve d'une bande de terrain de 5 m de large environ permettant d'installer câbles ou guide d'onde nécessaires à l'accroissement des communications téléphoniques entre PARIS et LYON.

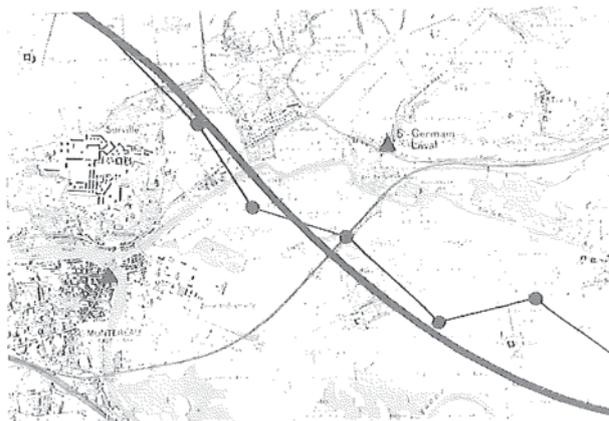


Photo : C. Delemarre.

Clichés S.N.C.F. - CAV

Après une étude de faisabilité engagée en 1968, l'infrastructure de la ligne a fait l'objet d'études techniques de plus en plus poussées, suivant un schéma, d'ailleurs classique, d'approche du tracé optimum.

- études préliminaires au 1/25 000
- études d'avant projet au 1/5 000
- étude du projet au 1/1 000

En ce qui concerne le tracé de la ligne, ces études ont nécessité la création d'un bureau d'études central à l'échelon de la Direction de l'Équipement SNCF, utilisant largement l'informatique. A cette époque, en effet, l'application de l'informatique dans les études de tracés routiers, de génie civil et de bâtiment a été extrêmement rapide. Le topographe, qui doit fournir les données de base, puis implanter ensuite les ouvrages projetés, a été concerné par l'utilisation de ces méthodes nouvelles.

De même que le matériel de calcul et de dessin automatique a évolué très vite, les développements de l'électronique ont permis la construction d'instruments de mesure plus performants. Les progrès réalisés dans les appareils ont conduit à adapter les méthodes de levé en fonction des besoins nouveaux exprimés par les utilisateurs.

Le Département des Lignes Nouvelles ainsi constitué comporte une Division de Topographie qui bénéficie de l'équipement de calcul et de dessin du bureau de tracé.

Si l'on reprend le déroulement des études de tracé :

— les études préliminaires réalisées sur des documents existants (cartes au 1/50 000 ou 1/25 000 de l'I.G.N., cartes géologiques et documents du B.R.G.M.) ont été menées conjointement avec des études économiques. Elles ont permis de définir une zone à l'intérieur de laquelle se situe le tracé d'axe définitif. Cette phase d'étude a été prise en considération par le ministre en décembre 1969.

— les études d'avant projet. A ce stade de l'étude, les documents existants ne suffisent plus, l'intervention des topographes devient nécessaire et se poursuivra tout au long de l'étude puis de la réalisation du projet.

Le levé au 1/5 000 a été précédé par l'établissement d'une polygonale de précision le long du tracé prévu.

Cette ossature de base ayant pour but d'appuyer les levés photogrammétriques au 1/5 000, les levés aux plus grandes échelles et tous les travaux d'implantation.

La réalisation de ce travail a été confiée à la division des travaux spéciaux de la géodésie de l'Institut Géographique National.

Cette polygonale située à l'intérieur d'une bande d'un kilomètre de large environ du tracé fixé à l'étude préliminaire, a été établie avec une densité moyenne d'un point par kilomètre. Elle a été rattachée au réseau géodésique existant, en principe tous les 8 à 10 kilomètres.

Les sommets ont été matérialisés par une borne en béton surmontée d'une dalle de 50², un repère en bronze étant placé au centre de cette dalle et un repère souterrain à l'aplomb à 0,50 m environ plus bas.

Les mesures angulaires ont été exécutées au théodolite Zeiss Th 2 et les distances avec le géodimètre AGA 6A ou le telluromètre MRA 101. Les altitudes des bornes ont été définies par nivellement géodésique et rattachées au réseau du Nivellement Général de la FRANCE par nivellement direct chaque fois que cela a été possible.

Sur presque toutes les bornes, il existe des visées d'orientation soit sur les bornes voisines, soit sur les points géodésiques environnants. De nombreux layonnages ont été exécutés dans les zones boisées, il a même fallu monter une tour tripode dans la forêt d'Othe.

Les calculs ont été effectués par tronçon comportant plusieurs segments (un segment étant une portion de la polygonale comprise entre deux points liés directement au réseau géodésique) la compensation par la méthode des moindres carrés faisant intervenir toutes les mesures d'angles et de distances.

Les mesures de cette polygonale ainsi que la méthode de calcul étant souvent de qualité supérieure à la triangulation générale, le réseau géodésique des zones situées au sud de MONTCEAU-LES-

MINES a été recalculé, ainsi que certains points entre MONTEREAU et le CREUSOT.

Les résultats sont repris sur des fiches signalétiques précisant les coordonnées X, Y, Z des sommets et leurs repèrments. La précision demandée de l'ordre de 2 cm entre sommets a été très largement respectée, les mesures complémentaires effectuées plus tard l'ayant montré.

Ces coordonnées sont données dans la projection Lambert I pour la partie Nord jusqu'à SENS et en projection Lambert II pour la partie Sud jusqu'à LYON, une zone commune de 20 km est définie dans les deux systèmes.

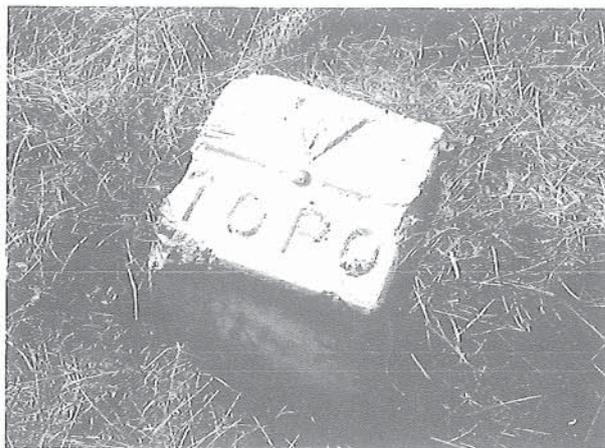


Photo : C. Delemarre.

Clichés S.N.C.F. - CAV

Conjointement était entrepris l'exécution d'un plan levé photogrammétrique au 1/5 000 d'une bande de 1 km de largeur moyenne, à partir d'une couverture aérienne à l'échelle de 1/12500 (Chambre WILD RC 8 152 mm de focale).

Le plan, présenté par planche de 4 km environ, reprend tous les renseignements habituels, les courbes de niveau étant tracées à l'équidistance de 2,50 m, un complément terrestre a été nécessaire dans les zones masquées.

L'ensemble de ces travaux a été réalisé en 18 mois soit plus de 500 km de polygonation et 40 000 hectares de levé au 1/5 000 repris sur 92 planches.

L'intervention des agents de l'IGN a été fort utile :
— pour le canevas de base en rendant cette polygonale homogène avec le réseau géodésique voisin.
— pour la livraison rapide de l'ensemble de ces documents, le calendrier demandé par le bureau d'études étant très réduit en fonction de l'importance du terrain levé.

Le plan au 1/5 000 est alors utilisé par le bureau d'études pour définir l'avant-projet. Des moyens informatiques sont utilisables à ce stade pour :

- l'établissement du profil en long,
- les cubatures,
- le report du projet sur plan.

ils ont l'avantage de permettre la recherche plus facile de variantes dans la bande de 1 kilomètre.

Les études de projet :

Dès que cet avant projet est fixé la phase suivante peut être préparée.

Polygonation complémentaire : Le réseau du canevas de base est densifié avec un point tous les

300 m environ, matérialisé par des bornes en béton préfabriquées comportant un repère en laiton au centre (poids 120 kg).

Les mesures sont effectuées à l'aide de théodolite WILD T2 et d'appareil de mesure de distance par réflexion d'ondes (AGA 12. HP. 3 800) par la méthode de centrage forcé et des 3 trépieds. L'altimétrie étant définie par nivellement géodésique.

Les cheminements passant par les sommets de la polygonation base sont calculés et compensés à l'aide d'un logiciel implanté sur mini ordinateur.

Ce travail réalisé par les équipes de la Division Topographique SNCF s'est poursuivi pendant deux ans au fur et à mesure de la définition des sections d'études.

Les résultats sont consignés dans un cahier correspondant au découpage des planches 1/5 000, reprenant :

- les fiches signalétiques des points de triangulation et de polygonation.
- les répertoires des repères de nivellement de précision.
- un plan de repérage au 1/5 000 des sommets et des repères.

Dans le secteur de recouvrement des deux zones Lambert, une planche, soit 4 km, a été calculée dans les deux systèmes.

La précision obtenue en fonction des points d'appui et du matériel de mesure utilisé permet d'assurer le centimètre entre sommets.

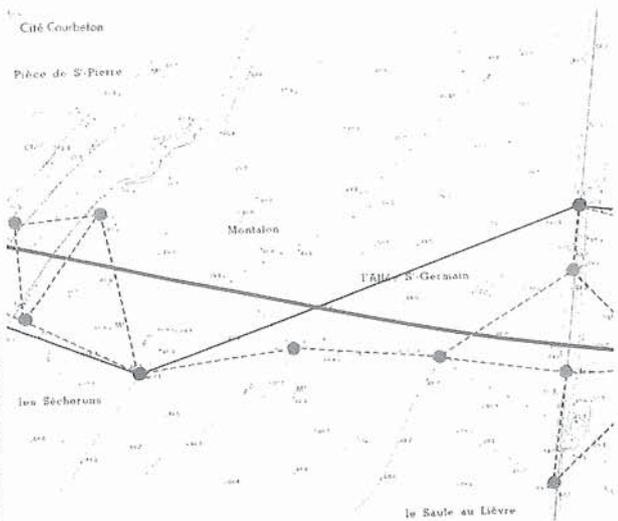


Photo : C. Delemarre.

Clichés S.N.C.F. - CAV

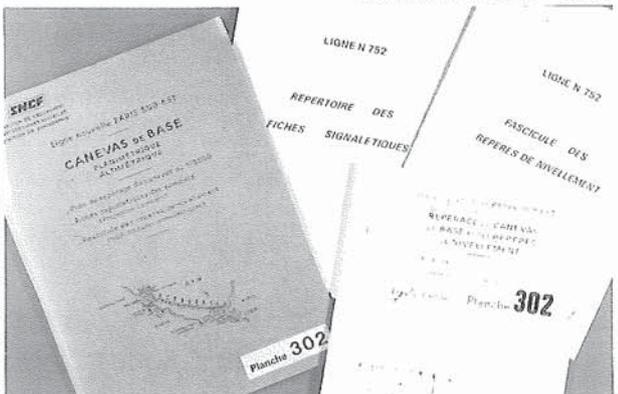


Photo : C. Delemarre.

Réseau de repères de nivellement : L'implantation de ce réseau a été retardée jusqu'à l'avant-projet, afin de placer les repères au plus près du tracé.

Cette maille a été définie par un nivellement de précision s'appuyant sur les sections existantes du NGF avec stabilité sur chacune de ces lignes, les repères sont du type médaillon, d'une densité linéaire de 700 mètres environ. La méthode d'observation fournissant la précision du 3^e ordre. Cette mission très spécialisée a été confiée au service du nivellement de l'IGN. Les résultats ont été repris dans les dossiers de canevas de base précités.

Tous ces points et repères qui doivent servir aux levés, au positionnement des emprises, des O.A., des terrassements et du tracé de la ligne sont contractuellement fournis aux entreprises chargées de réaliser les travaux. Il est d'un intérêt primordial d'assurer la conservation de cet important travail de base ; en effet, jusqu'à la finition du chantier, ces repères sont les points de liaison constants entre l'étude et l'exécution. Après travaux, il seront rabatus dans les emprises de la nouvelle ligne pour permettre aux services d'entretien d'assurer le repérage des installations.



Photo : C. Delemarre.

Clichés S.N.C.F. - CAV

Afin d'étudier la phase projet, un plan levé au 1/1000 a été établi sur une bande de 100 mètres de part et d'autre du tracé projeté. Le bureau d'études, dans l'ensemble des programmes d'informatique mis en application, ayant choisi la méthode d'interpolation par facettes à partir d'un semis de points, les documents issus de ce levé ont été :

- un contre type du plan topographique muet d'altimétrie nécessaire pour les travaux de parcellaire.
- le plan définitif avec tous les éléments altimétriques dont la représentation des courbes de niveau à l'équidistance de 1 m.
- le semis de points donnant sur cartes perforées les coordonnées X, Y, Z de points du terrain naturel judicieusement choisis, constituant une image numé-

rique représentative du modelé. Le maillage étant d'une densité variable de 25 points/ha à 60 points/ha selon la forme du terrain.

Ce travail a été proposé par appel d'offres, en lots de 10 km environ, aux géomètres locaux des régions traversées, à des cabinets spécialisés en topographie et à des photogrammètres, l'exécution du levé pouvant être réalisé au choix par méthode terrestre ou par méthode photogrammétrique.

Les topographes SNCF assurant la définition des spécifications techniques, le contrôle et le règlement de ces travaux.

D'autre part, des plans à plus grande échelle nécessaires aux études de rétablissement de voirie et aux ouvrages d'art ont été établis pour les 390 ponts à construire, des profils en long et en travers des cours d'eau pour les études hydrauliques, ainsi que des positionnements de tracé surtout dans les zones boisées pour permettre aux géologues d'effectuer leurs investigations.

Clichés S.N.C.F. - CAV

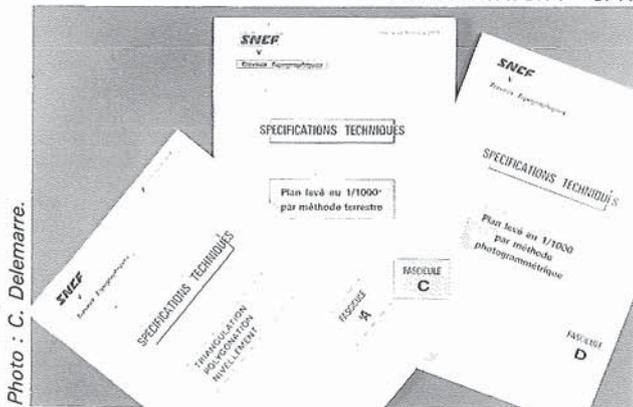


Photo : C. Delemarre.

Avant les travaux, il est indispensable pour pouvoir disposer de tous les terrains, de connaître les parcelles concernées par le projet. Un plan parcellaire de situation est dressé en utilisant le fond de plan du levé régulier au 1/1000 muet d'altimétrie et en calant les renseignements cadastraux à l'aide des planches cadastrales mises à l'échelle au 1/1000 par procédé photographique. Les surfaces des parcelles sont calculées et comparées aux surfaces du cadastre pour contrôler la mise au point du fond de plan.

Clichés S.N.C.F. - CAV

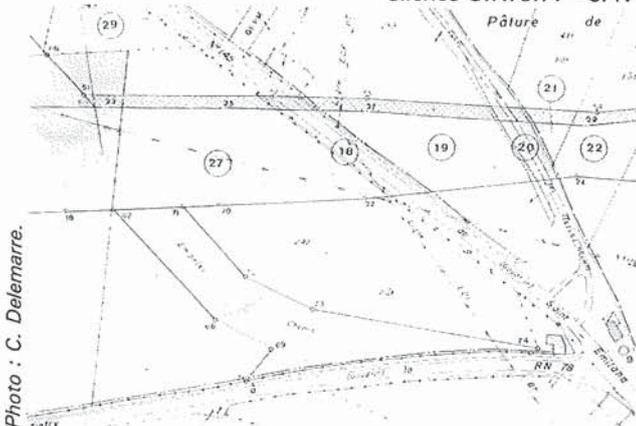


Photo : C. Delemarre.

Ce document permet de définir les emprises à l'aide du plan projet fixant les limites des terrasse-

ments, en laissant une marge de quelques mètres pour tenir compte des aléas du chantier. En vue de la phase administrative d'enquête parcellaire, un plan par commune est alors établi où les limites sont déterminées en coordonnées Lambert en utilisant une table lectrice couplée à un enregistreur sur cartes perforées.

Une liste de tous les points d'emprises est portée sur ce plan ainsi que les sommets de la polygonale de base de la zone intéressée. Les calculs de surface des parcelles à acquérir sont effectués et l'état parcellaire correspondant rédigé.

Ces plans parcellaires ont été établis pour les 173 communes touchées par le projet, pour une surface portant sur 2 300 ha environ, constituée de 10 000 parcelles.

Après les enquêtes d'usage, les négociations ont été conduites par les Directions Départementales des Services Fiscaux pour le compte de la S.N.C.F. Acquisitions par voie amiable ou par expropriation, cependant 123 communes ont demandé à bénéficier des dispositions de l'article 10 de la loi 62 933 du 8 août 1962 complémentaire à la loi d'orientation agricole qui fait obligation au maître d'œuvre de remédier aux dommages causés aux exploitations agricoles en participant à des opérations de remembrement, avec exclusion de l'emprise sur 42 communes ou avec inclusion de l'emprise pour 81 communes.

Les plans parcellaires numérisés permettent ainsi de fournir une documentation précise :

- pour les géomètres remembreurs,
- pour l'établissement des documents d'arpentage dans les zones exclues de remembrement,
- pour la délimitation et le bornage ultérieur des emprises.

La ligne nouvelle PARIS-SUD-EST ayant été déclarée d'utilité publique par décret du Premier Ministre le 23 mars 1976, les appels d'offres pour l'exécution des travaux ont été lancés à partir du deuxième semestre de cette même année.

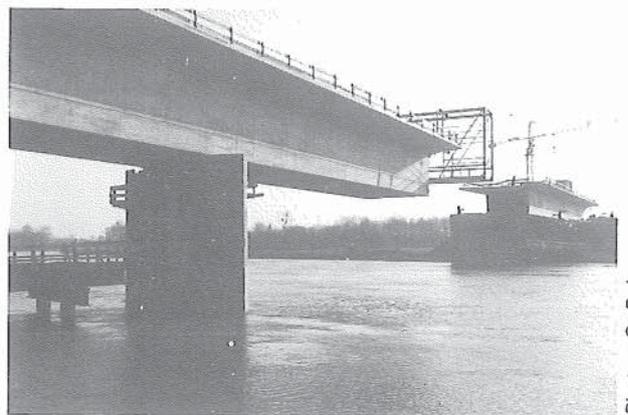


Photo : C. Delemarre.

Clichés S.N.C.F. - CAV

La future ligne étant divisée en 11 lots de travaux, les premiers chantiers ont débuté en SAONE-ET-LOIRE sur les lots 7 et 8, puis successivement tous les lots au SUD de SAINT-FLORENTIN, alors que les études se sont poursuivies jusqu'en 1979 pour les 3 lots du NORD.

Les entreprises de génie civil devant assurer l'auto contrôle de leurs différentes tâches, ce sont leurs équipes topographiques qui déterminent les emprises

de chantier, les entrées en terre, le piquetage d'axe sur les couches d'assise et les implantations des ouvrages d'art.

Les topographes de la S.N.C.F. interviennent pour :

- la conservation du canevas de base, en déportant les sommets se trouvant dans la zone de travaux ou en rétablissant les points disparus.
- le contrôle de positionnement et de gabarit des ouvrages d'art au fur et à mesure de l'avancement de leurs constructions.
- la réception altimétrique des couches d'assises (couche de forme et sous-couche) pour le respect du profil en long projeté.
- l'implantation des points principaux du tracé de la voie tous les 200 mètres environ (en particulier origine et fin de courbes et de raccordements paraboliques).

La définition (± 1 cm) de chaque point étant obtenue par deux déterminations minimum à partir des sommets du canevas de base.

Le piquetage de l'axe de la double voie est ensuite complété entre points principaux par des piquets espacés de 20 m en courbe et 50 m en alignement droit.

Cette opération topographique est très importante, car la voie ferrée assure le guidage de l'engin de transport et la précision doit être conservée jusqu'à la pose.

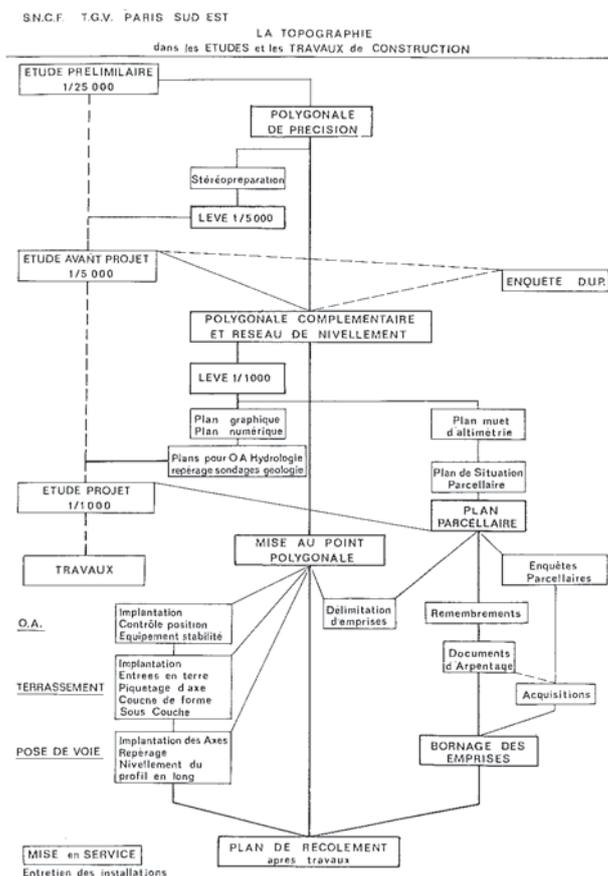
Le matériel moderne de pose de voies à rendement élevé (1 km/jour) impose un repérage de l'implanta-

tion avec des piquets de rejets de part et d'autre de la plate-forme, le piquetage axial étant très vite bousculé pendant le chantier.

Dès la mise en place de la voie sur ballast, le dressage, plus fin doit être réalisé, des piquets repères définitifs sont placés dans l'axe de la double voie tous les 10 mètres et leurs position est régularisée par une méthode classique pour l'entretien des voies actuelles de rectification par les flèches. Après un contrôle altimétrique des files de rail permettant au maître d'œuvre de s'assurer de la bonne exécution, les voies pourront être mise en service, d'abord pour les essais à grande vitesse des nouvelles rames sur une ligne spécialement construite pour cela, l'exploitation commerciale étant prévue ensuite à partir de fin 1981 pour la zone sud, la totalité du parcours devant être livrée fin 1983.

Ainsi cette longue énumération de toutes le opérations topographiques qui ont concouru à la réalisation de ce chantier linéaire montre :

- que les nombreux spécialistes, agents de l'IGN, du Cadaste, des Géomètres, remembreurs, photogrammètres et topographes des entreprises de génie civil et des chemins de fer sont intervenus et interviennent tout au long, d'une construction de ce type, en collaboration constante avec les concepteurs.
- que la création d'une ossature de base dès l'origine du projet a permis à ces spécialistes ainsi qu'à tous les autres intervenants (projeteurs, calculateurs, constructeurs) de travailler de façon homogène.



Clichés S.N.C.F. - CAV