

RÉGIE AUTONOME DES TRANSPORTS PARISIENS

**APPAREIL A RELEVER LE PROFIL
DES OUVRAGES SOUTERRAINS**



BID 0002

APPAREIL A RELEVER LE PROFIL DES OUVRAGES SOUTERRAINS

par M. Charles LECHARTIER

Ingénieur chef de division au Service de la voie et des accès de la R.A.T.P.

GÉNÉRALITÉS

Limité au point de vue géométrique, l'examen d'une voûte d'ouvrage souterrain montre que la courbure d'intrados peut être soit un demi-cercle (plein cintre) soit une anse de panier ou une ellipse.

S'il est parfois superflu de définir avec précision le débouché d'ouvrages suffisamment vastes, la connaissance du tracé exact de certaines voûtes est indispensable à l'ingénieur. C'est le cas notamment des ouvrages ferroviaires ⁽¹⁾.

Les distances telles que A, B, C, (fig. 1) souvent réduites entre la paroi du souterrain et l'enveloppe du matériel roulant, rendent difficiles l'accroissement du gabarit de ce matériel, une modification dans le tracé des voies et même la réparation de ce souterrain.

La pose des caténaires sur les lignes électrifiées nécessite de minutieux travaux dans les tunnels ⁽²⁾.

La précision exigée pour la mesure de ces distances est incompatible avec l'utilisation des profils théoriques trop différents parfois des coupes réelles

(1) — Consulter l'ouvrage « La construction des tunnels, galeries et souterrains » par MM. BARDOUT et BERNY.

(2) — Voir Revue Générale des Chemins de Fer de novembre 1955 et septembre 1957.

quelles que soient les précautions prises à la construction.

La vérification des conditions de stabilité (épure de Méry) ne peut être envisagée qu'à partir du profil vrai afin d'éviter des erreurs dans la lecture des efforts.

A l'extrême, lorsqu'une voûte présente d'importants signes de fatigue, les difficultés de mise en place des cintres ou des échafaudages nécessaires à la réparation sont accrues par l'interdiction pratique de refouiller les maçonneries.

Une section exacte de l'ouvrage montre alors, compte tenu de la déformation caractéristique de l'intrados consécutive à l'ouverture de fissures, la possibilité de procéder aux travaux sans répercussions gênantes sur le trafic.

Pour obtenir ce tracé réel les méthodes classiques de la topographie sont beaucoup trop lentes et difficilement applicables, l'introduction d'un échafaudage léger est malaisée parfois même impossible, eu égard à la circulation des trains. Les tunnels sont toujours parcourus par des courants d'air qui faussent l'emploi de fils à plomb.

La présence de canalisations électriques sous tension ainsi que la grande section à étudier rendent souvent délicat l'emploi d'un système à palpeurs mécaniques.

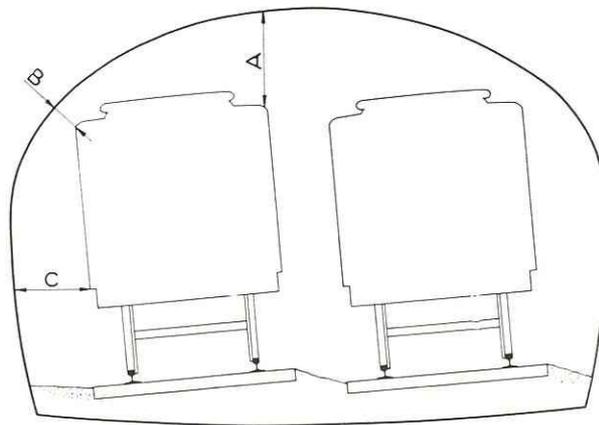


Fig. 1 — Coupe type d'un tunnel de chemin de fer métropolitain.

DESCRIPTION - FONCTIONNEMENT

L'appareil décrit ci-après, utilise une méthode optique et répond aux exigences particulières d'un relevé en souterrain.

Il donne à une échelle définie l'image exacte de l'ouvrage étudié. Cette image s'établit par points sous les yeux mêmes de l'opérateur.

Le principe de la mesure est le suivant (fig. 2 et 3).

Un châssis rigide porte à chacune de ses extrémités un projecteur P1 (P2) donnant un faisceau lumineux intense. Chaque projecteur monté sur un support peut balayer l'intrados de la voûte à étudier, grâce à une liaison cinématique sans jeu il entraîne dans son mouvement de rotation une réglette R1 (R2).

Châssis et rayons lumineux issus des projecteurs d'une part, support des réglettes et réglettes d'autre part, forment deux triangles semblables (triangle primaire et triangle secondaire).

Si l'on assujettit en permanence les rayons lumineux à se rencontrer sur la paroi du souterrain, le croisement des réglettes décrit l'image homothétique du profil relevé.

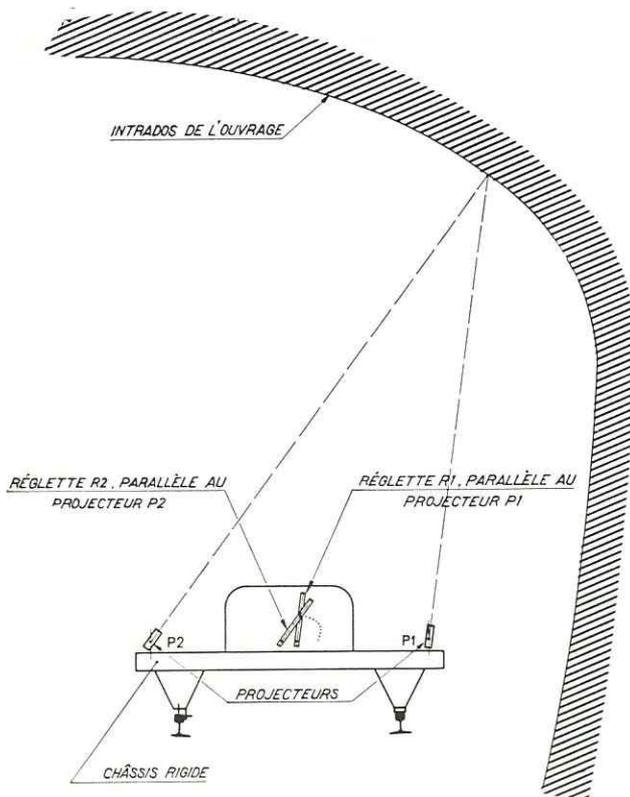


Fig. 2 — Schéma de principe de l'appareil.

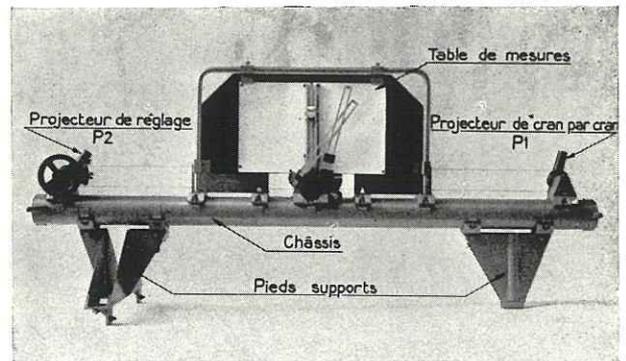


Fig. 3 — Vue d'ensemble de l'appareil.

Normalement l'appareil est destiné à reposer sur une voie ferrée d'écartement classique. Un support double sur une file de rail, un support simple sur l'autre file de rail (fig. 4) assurent la stabilité du bâti.

Le support double est équipé de deux couples de vis d'appui réglées une fois pour toutes, les vis verticales permettent d'obtenir le parallélisme du plan d'appui et de la base du triangle primaire. Les vis horizontales constituent l'origine des abscisses du relevé et elles garantissent la perpendicularité du relevé et de la base de référence.

Un tube d'acier mi-dur de 114 mm de diamètre formant bâti, la tôle d'acier de 3 mm, nervurée et soudée des supports, garantissent la rigidité de cet ensemble pour un poids limité (fig. 5 et 6).

Les supports des projecteurs et les supports des réglettes sont en alliage léger, les parties tournantes sont soigneusement rectifiées et les alésages munis de bagues en acier spécial afin de supprimer toute usure ou ovalisation même après un long usage.

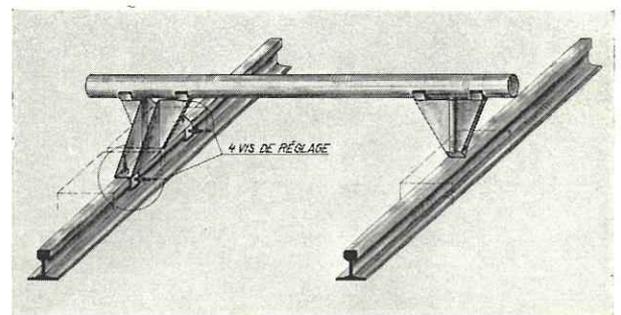


Fig. 4 — Le châssis reposant sur ses supports.

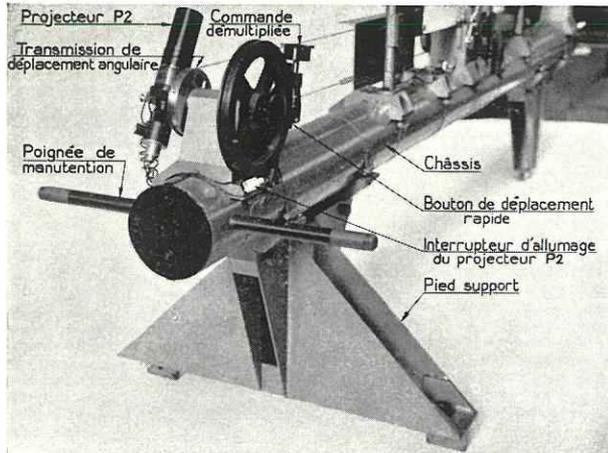


Fig. 5 — Le projecteur de réglage P2.

Le montage sur le châssis a été conçu pour que les axes des projecteurs et des réglottes restent rigoureusement parallèles.

Une poignée de manutention a été prévue à chaque extrémité du tube.

Traités avec une optique de haute précision, les projecteurs donnent, sur la voûte, l'image à bords nets d'un réticule de dimensions permettant une lecture commode.

Axe géométrique et axe optique de la lunette coïncident pratiquement et l'ouverture de l'objectif a été choisie pour avoir une profondeur de champ telle que toute mise au point est inutile pour un souterrain classique de chemin de fer. L'utilisation comme projecteurs de lunettes de visée type marine a autorisé l'emploi de lampes à filament non punctiforme.

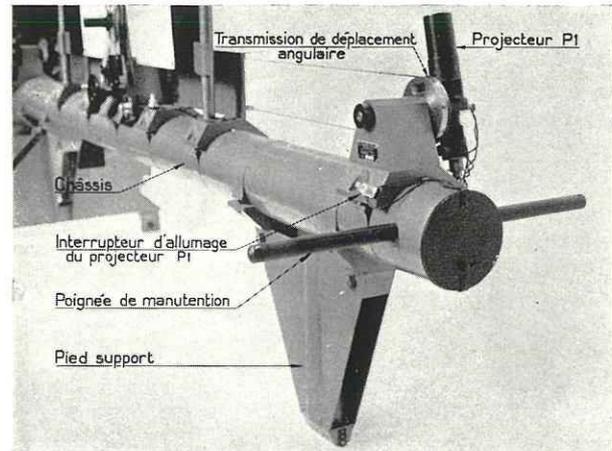


Fig. 6 — Le projecteur de « cran par cran » P1.

Dans un souterrain de chemin de fer pour une portée moyenne de 10 m environ l'éclairage des spots, par une ampoule de 6 W est suffisant.

Porte-réglottes et planchette à dessin constituent la table de mesure ou d'enregistrement des profils.

Afin de faciliter le travail du bureau d'études les reports s'effectuent directement sur papier calque (fig. 7).

Construite en alliage léger à l'exception de l'axe de rotation, chaque réglotte de section évidée a reçu un fil de réticule de finesse convenable. L'intersection des réglottes, représentation homothétique de la superposition des spots, est matérialisée par le croisement des fils des réticules. Une petite lunette solidaire de l'une des réglottes permet de préciser ce croisement (fig. 8).

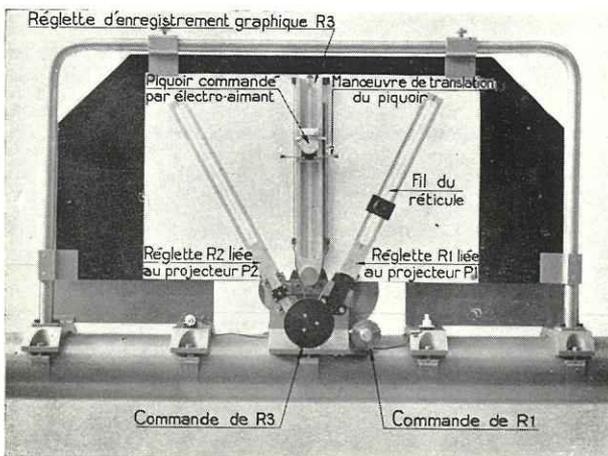


Fig. 7 — La table de mesures.

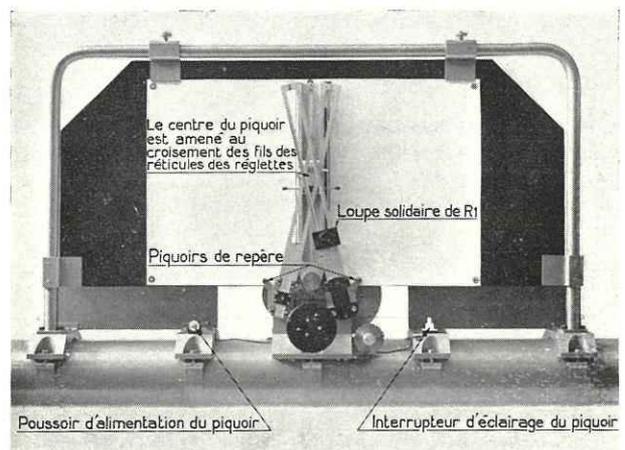


Fig. 8 — Enregistrement d'un point.

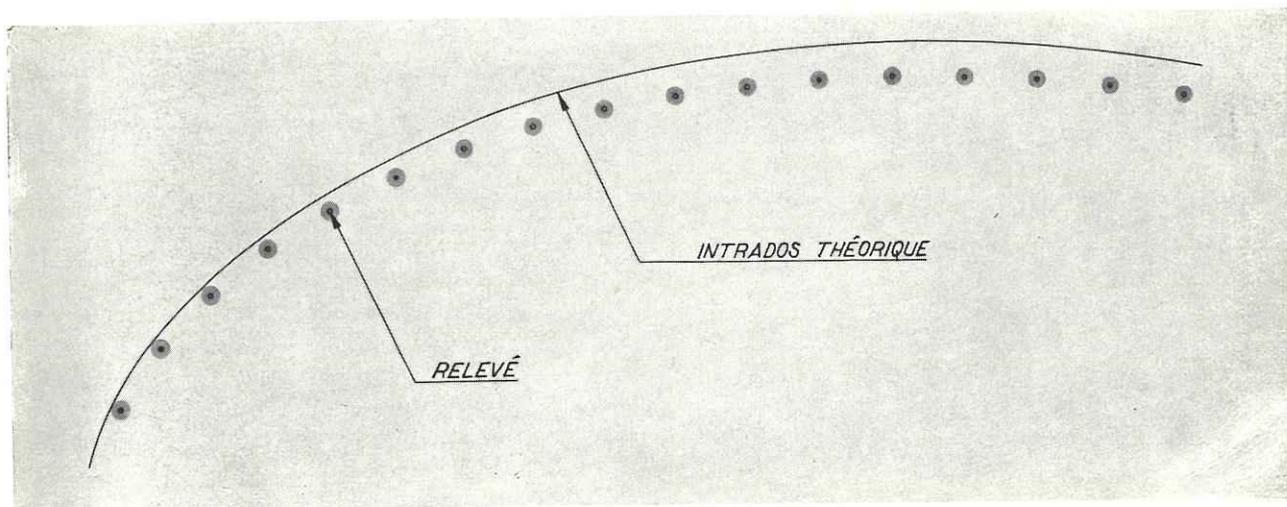


Fig. 9 — Reproduction d'un relevé de voûte.

La liaison cinématique parfaite entre projecteur et réglette est garantie par un mince ruban d'acier spécial reliant deux tambours de diamètre rigoureusement identique, l'un solidaire du projecteur, l'autre de la réglette correspondante.

La rotation des tambours étant inférieure à 180° , les rubans ont pu être fixés à chacune de leurs extrémités sur les génératrices correspondantes de ces tambours.

Grâce à une tension constante par ressort de rappel et à l'absence de tout glissement, un parallélisme rigoureux existe, en permanence, entre chaque réglette et le rayon lumineux associé.

Un encliquetage débrayable limite, en principe, à 3° chaque déplacement angulaire successif du projecteur P1 appelé projecteur de « cran par cran » (fig. 3).

Afin d'obtenir commodément la coïncidence des spots, l'autre projecteur P2 (fig. 5) est équipé d'une commande démultipliée par vis et roue dentée. Cette commande est, elle aussi, débrayable pour accélérer les déplacements préliminaires d'approche.

Un boîtier de petites dimensions renfermant un piquoir mû par un électro-aimant coulisse le long d'une réglette auxiliaire R3 articulée entre les réglottes R1 et R2 (fig. 7).

Le déplacement angulaire par bouton moleté de cette réglette R3, la translation sur cette réglette du boîtier par pignon et crémaillère permettent la superposition d'un repère tracé sur une face du piquoir avec le croisement des fils des réticules.

L'éclairage local du boîtier et la petite lunette portée par la réglette R1 assurent la rapidité et la précision de cette mise en coïncidence sans erreur de parallaxe en raison des dispositions constructives adoptées.

La consommation très réduite des ampoules des projecteurs, du dispositif d'éclairage du boîtier piquoir et même de l'électro-aimant a permis de simplifier l'alimentation électrique par utilisation de piles du type torche ou mieux, d'une petite batterie d'accumulateurs.

Le rapport des distances entre les projecteurs P1 P2 d'une part et l'écartement des réglottes R1 R2 d'autre part donne l'échelle du relevé.

Pour un souterrain de chemin de fer la réduction au $1/20$ permet d'avoir une représentation convenable de la voûte à étudier et de mesurer avec une précision acceptable les distances souvent réduites entre matériel roulant et infrastructure.

Afin de rendre plus visible la minuscule perforation du papier calque par le piquoir et sans nuire à l'exactitude du tracé, une feuille de papier carbone est glissée sous le calque, les points marqués apparaissent alors entourés d'un cercle de 2 mm de diamètre (fig. 9).

UTILISATION DE L'APPAREIL

Bien que l'appareil ait été conçu ainsi qu'il a été dit plus haut pour s'adapter à une voie ferrée, toute autre base d'appui peut convenir à condition qu'elle soit stable.

On peut concevoir dans un radier quelconque ou une plate-forme trois supports métalliques scellés, convenablement protégés contre les déformations, les déplacements accidentels ou les chocs et repérés dans un quadrillage général de nivellement. L'ouvrage à examiner peut être ainsi contrôlé périodiquement.

Entièrement autonome et d'encombrement réduit (0,30m × 1,00 m × 2,00 m), l'appareil relativement léger de l'ordre de 40 kg, ne pose aucun problème pour sa manutention, même en terrain accidenté.

Servi par deux opérateurs il peut être instantanément mis en place ou retiré du chantier et garé dans un espace restreint.

Le relevé peut être repris aussitôt après le passage d'un convoi sans qu'il y ait nécessité d'un réglage complémentaire, il suffit d'assurer l'appui convenable des vis calantes horizontales exactement sur leur position initiale.

La conception de l'appareil et sa construction ont été menées de façon à concilier précision et mania-bilité.

La mise en œuvre de l'appareil a été étudiée afin d'obtenir le meilleur rendement possible eu égard aux difficultés inéluctables des travaux en souterrain.

L'un des deux opérateurs est assis devant la table de mesure, il déplace la réglette R1 et par voie de conséquence le projecteur P1 à l'origine de la zone à relever.

Le deuxième opérateur oriente le projecteur P2 avec la commande appropriée et assure la coïncidence des spots sur la paroi du souterrain. Le premier opérateur intervient à nouveau et amène réglette R3 et piquoir, à l'intersection des fils des réticules. Une fois la coïncidence obtenue, il actionne le bouton d'alimentation du piquoir situé à sa gauche et marque le premier point du relevé sans risquer de déplacer les réglettes et de modifier ainsi leur point de croisement.

Il braque ensuite le projecteur P1 vers le deuxième point à relever au moyen de la commande de « cran par cran » située à sa droite. Le deuxième opérateur intervient comme pour le premier point et ainsi de suite.

L'intensité suffisante mais sans excès des faisceaux lumineux, l'éclairage modéré du boîtier piquoir sur la table de mesure et surtout les conditions d'accommodation et d'éclairage quasi constantes pendant la durée d'un relevé réduisent au minimum la fatigue visuelle des opérateurs.

C'est ainsi qu'un rendement moyen de 50 à 60 points levés par heure peut facilement être maintenu, ce qui correspond à deux relevés complets d'un souterrain de 7,10 m d'ouverture.

La surélévation du bâti donne à la fois une commodité pour le premier opérateur qui a sensiblement le centre de la table de mesure à la hauteur de son regard et la possibilité d'éviter les obstacles divers proches d'une voie ferrée (contrerails surélevés, connexions de signalisation, tringlages de manœuvre, barres de prise de courant, etc.).

Dans certains cas, l'ingénieur peut limiter son étude à la section critique d'un ouvrage, déduite d'un relevé préalable ⁽¹⁾. Les opérateurs ont la possibilité d'intervenir rapidement sans exiger la présence d'échafaudages ou de trains de travaux.

L'occupation de la voie mise en évidence par le shuntage, grâce au bâti métallique, des deux files de rails d'un circuit de signalisation, contribue éventuellement à assurer la protection des opérateurs.

Deux piquoirs auxiliaires disposés dans le porte-réglettes et manœuvrés par un bouton moleté fixent la position du relevé par rapport à la base de référence.

Ce pointage étant effectué les opérateurs peuvent immédiatement, si besoin est, étudier l'épure, la comparer avec un profil type ou avec le gabarit d'un matériel roulant et déduire, sur le champ, toutes observations utiles.

Au début et à la fin de chaque séance de relevés un contrôle du parallélisme faisceaux lumineux-réglettes garantit les opérateurs contre l'utilisation d'un appareil dérégulé au cours d'une manutention. A cette fin, une jauge étalonnée est posée sur le bâti support de la table de mesure (fig. 10) ; les spots étant amenés sur les repères situés à chaque extré-

(1) — L'appareil palpeur mesureur conçu et mis au point par M. CASTAN, de la S.N.C.F. donne cette section optimum par la simple analyse d'un graphique. Voir Revue Générale des Chemins de Fer de janvier-février 1942.

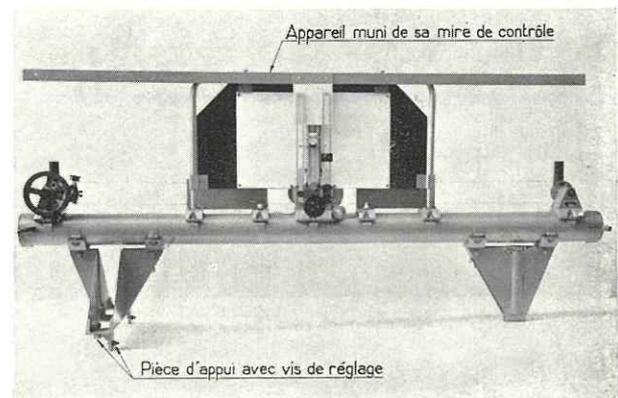


Fig. 10 — Utilisation de la mire de contrôle.

mité de la jauge, les fils des réticules doivent recouvrir des repères correspondants dans la partie centrale de cette jauge. S'il n'y a pas coïncidence, les opérateurs après avoir vérifié qu'aucune anomalie n'intervient pour troubler la liaison cinématique entre les tambours des réglettes et des projecteurs, peuvent agir sur un réglage micrométrique prévu sur chaque tambour projecteur : le parallélisme est ainsi rétabli.

APPLICATIONS

Cet appareil s'adapte à tous les ouvrages et à tous les profils réguliers ou non, égouts, galeries, tunnels de sections circulaires, elliptiques ou quelconques, ouvrages routiers, ferroviaires ou fluviaux.

On peut, soit relever quelques points d'un tunnel pour concrétiser par exemple l'inscription d'un matériel roulant en mesurant des distances telles que A, B, C (fig. 1) ou définir la position d'un obstacle, soit procéder à l'étude minutieuse d'un ouvrage. La sensibilité de l'appareil et la précision de la mesure qui est de l'ordre de 0,3% mettent en lumière la

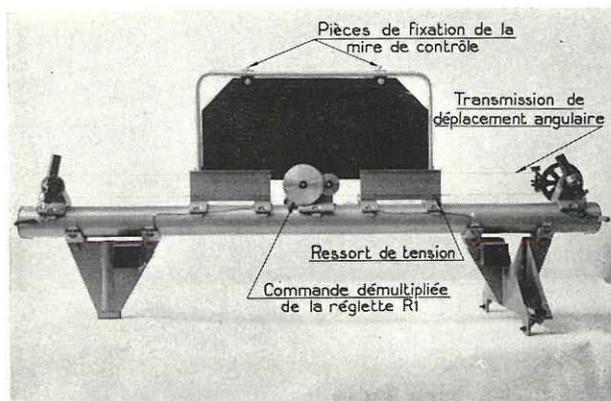


Fig. 11 — Vue arrière de l'appareil.

différence entre profil réel et profil théorique et permettent de suivre dans le temps toute modification de ce profil réel.

La précision du relevé a été calculée puis vérifiée sur place au moyen de nombreux nivellements de contrôle. Ces opérations ont confirmé que la forme d'une voûte pouvait, dans les conditions courantes, être définie pratiquement à moins de deux centimètres près. Il est possible d'améliorer cette valeur

en traitant la paroi du souterrain à étudier par un broissage suivi d'un badigeonnage à la chaux.

La précision de cet appareil permet son emploi dans toutes les applications envisagées précédemment.

Ce résultat est dû en grande partie à la qualité de la fabrication de l'appareil par un spécialiste en instruments de topographie de précision (1).

(1) — Cet appareil a été étudié par la R.A.T.P. et réalisé en collaboration avec les Etablissements R. Poulin à Bagneux.



