

# Creusement et soutènement de galeries circulaires en terrains tendres \*

## Het drijven en ondersteunen van cirkelvormige galerijen in week gesteente \*

H. van DUYSE,

Ingénieur Principal Divisionnaire à l'INIEX  
E.A. Afdelingsingenieur bij het NIEB

### RESUME

*En terrains tendres, le problème principal qui se pose est celui du soutènement tant provisoire que définitif. Il n'est plus guère possible de creuser par longues passes en laissant de larges espaces découverts.*

*Dans certains charbonnages belges, la plupart des galeries de 5 à 6 m de diamètre à terre nue sont revêtues, par mètre de voie, de 138 à 238 claveaux en béton de 50 cm d'épaisseur. Dans le but de mécaniser au maximum le creusement de ces galeries, ce soutènement est remplacé par des panneaux en béton armé, ce qui a déjà permis de doubler l'avancement.*

*Un tunnel de chemin de fer de 13 à 15 m à terre nue a dû être creusé dans des terrains éboulés sous une colline habitée. Ce travail a pu être mené à bien en limitant l'affaissement en surface à 3 cm.*

### ZUSAMMENFASSUNG

*Das schwierigste Problem beim Streckenvortrieb in weichem Gebirge ist das Einbringen des vorläufigen und endgültigen Ausbaus. Ein Vortrieb in langen Abschlügen, bei denen grössere Räume unausgebaut bleiben, ist kaum möglich.*

### SAMENVATTING

*In week gesteente stelt de ondersteuning, zowel de voorlopige als de definitieve, het voornaamste probleem. Het is niet langer mogelijk met grote passen te werken en brede oppervlakken zonder ondersteuning te laten.*

*In sommige Belgische steenkolenmijnen worden de meeste galerijen, met een doormeter van 5 tot 6 m in het gesteente, ondersteund met 138 tot 238 betonblokken met een dikte van 50 cm, per meter galerij. Ten einde het drijven van deze galerijen zo ver mogelijk te kunnen mechaniseren vervangt men deze ondersteuning door panelen in gewapend beton; hiermee heeft men de vooruitgang reeds kunnen verdubbelen.*

*Een spoorwegtunnel met een doormeter van 13 tot 15 m in het gesteente moest aangelegd worden in brokkelig gesteente dwars door een heuvel waarop woningen stonden. Men heeft dit werk tot een goed einde gebracht en de verzakking aan de bovengrond beperkt tot 3 cm.*

### SUMMARY

*In soft rocks, the main problem is that of both the temporary and the permanent support. It is no longer possible to drive long pulls and leave large unsupported areas.*

\* International Symposium on Large Permanent Underground Openings — Oslo 1969.

*In einigen belgischen Zechen werden die meisten Strecken mit einem Ausbruchdurchmesser von 5-6 m mit 50 cm starken Betonformsteinen ausgebaut, wobei auf einen Meter Strecke 138 - 238 Steine kommen. Um die Auffabbrarbeit so weit wie möglich zu mechanisieren, verwendet man neuerdings statt der Steine Platten aus Stahlbeton, wodurch eine Verdoppelung der Aufabbrleistungen erreicht wurde.*

*Beim Auffahren eines Eisenbahntunnels mit einem Ausbruchsdurchmesser von 13 - 15 m, der unter einen bebauten Hügel durch brüchiges Gestein geführt werden musste, gelang es, die Bodenabsenkung an der Oberfläche auf 3 cm zu beschränken.*

*In some Belgian coal mines, most of the galleries of 5 to 6 m in diameter in the excavated rock are lined with 138 to 238 concrete blocks 50 cm thick per metre of gallery. With a view to mechanizing the driving of these galleries as much as possible, this support has been replaced by panels of reinforced concrete, whereby it has been possible to double the advance.*

*A railway tunnel of 13 to 15 m in the bare rock had to be driven into crumbling rocks beneath an inhabited hill. This work was successfully carried out and the subsidence at the surface was limited to 3 cm.*

### I. GALERIES DE 5 A 6 M DE DIAMETRE A TERRE NUE DANS LES CHARBONNAGES BELGES

Les roches constituant le terrain stérile des différents gisements sédimentaires paraissent, à première vue, semblables. Elles ont cependant des propriétés mécaniques très variables. La résistance à la compression simple par exemple varie entre 25 kg/cm<sup>2</sup> et 1.500 kg/cm<sup>2</sup>.

Ces propriétés dépendent de la nature des roches, de la dimension de leurs éléments constituants, de leur pétrification plus ou moins avancée, de leur fissuration, etc...

En Belgique, dans le bassin de Campine, les terrains sont généralement constitués de schistes très tendres. Les roches, qui au creusement paraissent fermes, s'altèrent rapidement sous l'action de l'air chaud et humide. Les roches n'offrent plus aucune résistance aux poussées et fluent comme de l'argile.

Les soutènements habituels en cadres métalliques, si serrés soient-ils, se déforment rapidement sous l'action de ces poussées, ce qui entraîne des travaux d'entretien onéreux et des résistances aux courants de ventilation incompatibles avec une large extension des travaux à grande profondeur.

Les mouvements de terrains en boueux n'ont pu être maîtrisés dans ce bassin que le jour où ces galeries ont été équipées de revêtements entièrement circulaires, formés d'éléments préfabriqués en béton avec intercalation d'éléments compressibles.

En 1968, il y avait en service en Campine plus de 300 km de boueux circulaires revêtus de claveaux en béton. On creuse annuellement environ 10 km de ces galeries.

Ces boueux ont généralement un diamètre intérieur variant de 4 à 4,80 m, ce qui nécessite le creusement à terre nue d'un cylindre de 5 à 6 m de diamètre.

### I. GALERIJEN MET EEN DOORMETER VAN 5 TOT 6 M IN HET GESTEENTE IN DE BELGISCHE STEENKOLENMIJNEN

Op het eerste zicht lijken al de rotsen die in de sedimentaire afzettingen het steriele element vormen, gelijkaardig. Nochtans hebben ze zeer uiteenlopende mechanische eigenschappen. De weerstand tegen eenvoudige samendrukking varieert van 25 tot 1.500 kg/cm<sup>2</sup>.

Deze eigenschappen hangen af van de aard van het gesteente, van de afmetingen der samenstellende delen, van hun min of meer gevorderde verstening, van hun splijtingstoestand, enz...

In België, in het Kempens bekken, bestaat het gesteente meestal uit zeer zachte schiefer. Het gesteente dat bij het ontbloten vast lijkt, wordt vlug verweerd onder invloed van de vochtige en warme lucht. De rotsen bieden dan geen enkele weerstand meer aan de druk en vloeien gelijk leem.

De gebruikelijke ondersteuningssystemen in metalen ramen lopen spoedig vervormingen op onder invloed van deze drukkingen, hoe dicht de elementen ook bij elkaar gezet worden; dit leidt tot kostelijke onderhoudswerken en een weerstand voor de luchtstroom die onaanvaardbaar is gezien de uitgestrektheid en de diepte der werken.

Men heeft de grondbewegingen in de steengangen in dit bekken slechts kunnen meester worden door het aanbrengen van een volledig cirkelvormige ondersteuning bestaande uit geprefabriceerde elementen in beton aangevuld met samendrukbare voeringen.

In 1968 waren er in de Kempen meer dan 300 km cirkelvormige steengangen met betonblokkenbekleding in gebruik. Per jaar worden van deze soort galerijen ongeveer 10 km bijgemaakt.

Meestal hebben deze steengangen een binnendoormeter van 4 m tot 4,80 m, hetgeen betekent dat in het gesteente een cilinder moet gedreven worden met een doormeter van 5 tot 6 m.

*Brève description du creusement des boueaux circulaires revêtus de claveaux en béton.*

Jusqu'il y a très peu de temps, tous les boueaux circulaires étaient revêtus de claveaux en béton non armé (fig. 1).

Le creusement de ces boueaux d'environ 6 m de diamètre à terre nue s'effectue par les méthodes conventionnelles : forage de 60 à 80 trous, minage, pose d'un soutènement provisoire en bois, chargement des déblais au moyen d'une chargeuse à godet sur rails, pose des claveaux.

*Korte beschrijving van de bekleding der steengangen met cirkelvormige sectie en betonblokkenondersteuning.*

Tot voor kort waren al de cirkelvormige steengangen bekleed met blokken in niet gewapend beton (fig. 1).

Deze steengangen met een doormeter van ongeveer 6 m in het gesteente worden gedreven volgens de conventionele methoden : het boren van 60 tot 80 mijnen, het afvuren, het plaatsen van een houten voorlopige ondersteuning, het laden van de afslagstenen met behulp van een emmerlaadmachine op sporen, het plaatsen van de gewelfblokken.

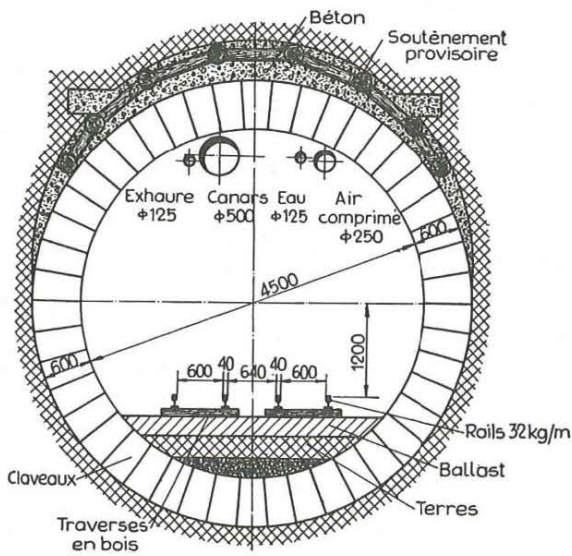


Fig. 1

Scutènement d'un boueau circulaire au moyen de claveaux en béton; l'épaisseur de ce revêtement est de 50 cm; le diamètre à terre nue est d'environ 6 m.

Ondersteuning van een cirkelvormige steengang door middel van betonnen gewelfblokken; deze bekleding heeft een dikte van 50 cm; de doormeter in het gesteente bedraagt zowat 6 m.

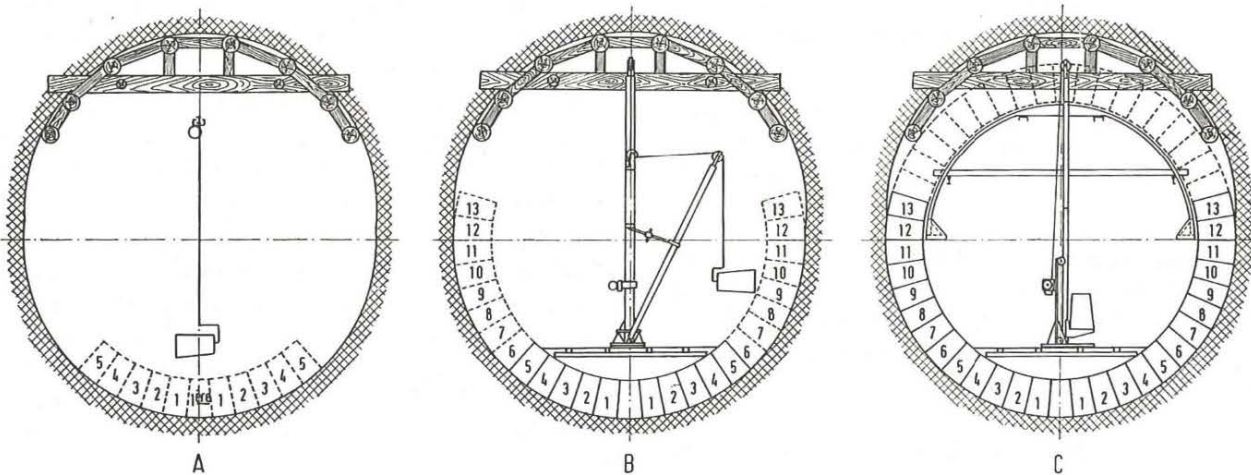


Fig. 2

Vue d'ensemble de la pose des claveaux.

- a) du radier au moyen d'une broche fixée à un monorail,
- b) des parois au moyen d'un mât incliné,
- c) de couronne au moyen d'un élévateur relevant les claveaux jusqu'au-dessus du cintre.

Overzicht van het plaatsen van de blokken.

- a) in de kelder door middel van een haak aan een monorail,
- b) in de wanden door middel van een hellende mast,
- c) in de kroon door middel van een hijstoestel dat de blokken opheft tot boven de mal.

La figure 2 montre comment les claveaux sont posés :

- les claveaux du radier sont mis en place au moyen d'une broche fixée à un monorail; cette broche est introduite dans le trou de manutention situé au centre de la face intrados de chaque claveau (fig. 2, a);
- les claveaux de paroi sont placés à l'aide d'un mât qui peut avoir deux inclinaisons possibles (fig. 2, b);
- les claveaux de couronne sont mis en place sur un cintre métallique au moyen d'un élévateur (fig. 2, c).

L'introduction de cette semi-mécanisation de la pose du revêtement a permis de doubler l'avancement et de le porter à 2 m par jour en trois postes avec un personnel de 4 hommes par poste.

La mécanisation du forage et du chargement des déblais ne pouvait être envisagée au point de vue rentabilité que si l'on mécanisait aussi la pose des éléments préfabriqués en béton constituant le soutènement.

Cette mécanisation ne pouvait être réalisée avec les claveaux utilisés. Pour une passe de 2 mètres, il fallait en effet manutentionner et mettre en place 276 à 472 claveaux d'un poids d'environ 120 kg. Il fallait donc modifier le soutènement des galeries circulaires.

On a d'abord pensé à un soutènement métallique circulaire mais celui-ci a été rapidement abandonné pour les raisons suivantes :

- prix d'achat plus élevé que les claveaux de béton (dans le cas de 2 cadres par mètre de voie);
- résistance aux pressions de terrains plus faible que dans le cas de claveaux;
- difficulté de mécaniser la mise en place de ces cadres en 4 éléments et surtout de la pose du garnissage.

Les éléments préfabriqués en béton donnant toute satisfaction en ce qui concerne leur résistance aux pressions de terrains, on a préféré augmenter leur poids unitaire.

Une visite effectuée en Tchécoslovaquie a permis d'y voir des boueuses circulaires revêtus de panneaux en béton armé d'un poids de 350 kg qui, malgré une épaisseur de 14 cm seulement, donnaient toute satisfaction. L'utilisation de ces panneaux, mis en place mécaniquement au moyen d'élevateurs à bras, a permis de réduire fortement la durée de la pose du revêtement.

Avant d'appliquer ce procédé en Belgique, nous avons effectué toute une série d'essais de laboratoire sur un soutènement en panneaux de béton armé de 20 cm d'épaisseur. De ces essais, on peut conclure que ce type de soutènement de 20 cm d'épaisseur peut résister au moins aussi bien qu'un anneau formé de claveaux en béton de 50 à 54 cm d'épaisseur, à la con-

Figuur 2 toont hoe de blokken geplaatst worden :

- de blokken van de bedding worden geplaatst met behulp van een haak die aan een monorail hangt; deze haak wordt in de hanteeropening gestoken, die zich in het midden van het binnenvlak van het blok bevindt (fig. 2 a);
- de blokken van de wanden worden geplaatst met behulp van een mast die twee hellingen kan aannemen (fig. 2 b);
- de blokken van de kroon worden geplaatst op de metalen mal met behulp van een hijstoestel (fig. 2 c).

Dank zij deze gedeeltelijke mechanisering van het plaatsen der bekleding kon de vooruitgang verdubbeld worden en opgevoerd worden tot 2 m per dag op drie diensten met een bezetting van 4 man per dienst.

Het mechaniseren van het boren en het laden van de afslagstenen kon uit oogpunt rendabiliteit niet overwogen worden zolang de ondersteuning niet bestond uit geprefabriceerde betonelementen die mechanisch konden geplaatst worden.

Deze mechanisering was onmogelijk met de gebruikelijke blokken. Voor een pas van 2 m moesten immers 276 tot 472 blokken worden gehanteerd en op hun plaats gebracht, elk met een gewicht van zowat 120 kg. Bijgevolg moest de ondersteuning van de cirkelvormige galerijen veranderd worden.

Men heeft vooreerst gedacht aan een cirkelvormige metalen ondersteuning, maar deze idee werd vlug opgegeven om de volgende redenen :

- hogere aankooprijks dan de betonblokken (in het geval van 2 ramen per meter galerij);
- minder weerstand tegen gesteentedruk dan bij betonblokken;
- moeilijkheden om deze elementen in vier delen mechanisch te plaatsen, en dan vooral in verband met de bekleding.

Aangezien de geprefabriceerde betonelementen volledige voldoening gaven uit oogpunt weerstand tegen de gesteentedruk heeft men er de voorkeur aan gegeven het gewicht per element te verhogen.

Tijdens een bezoek in Tsjecho-Slovakije zagen wij cirkelvormige steengangen ondersteund met panelen in gewapend beton met een gewicht van 350 kg die slechts 14 cm dik waren en toch volledige voldoening gaven. Dank zij deze panelen, die mechanisch geplaatst werden met behulp van giekkransen, kon de duur van het plaatsen der ondersteuning sterk ingekort worden.

Vooraleer deze methode in België toe te passen hebben wij een hele reeks laboratoriumproeven uitgevoerd op een ondersteuning in panelen van gewapend beton met een dikte van 20 cm. Deze proeven hebben bewezen dat dit type van ondersteuning, met een dikte van 20 cm, tenminste even veel weerstand biedt als een ring in betonblokken van 50 tot 54 cm, op uitdrukkelijke voorwaarde dat de ringvormige ledige ruimte tus-

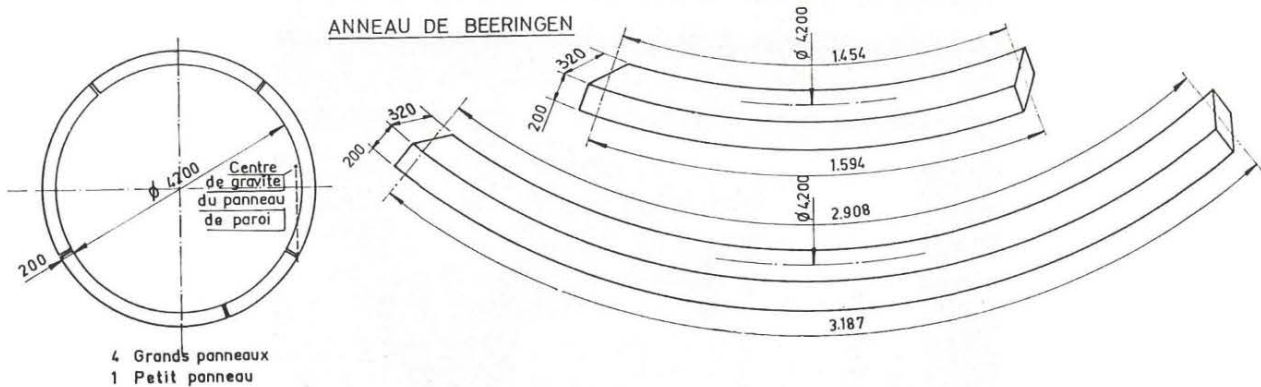


Fig. 3

Dimensions des panneaux utilisés à Beringen et à Zolder. Sur l'anneau (à gauche), nous avons dessiné la projection verticale du centre de gravité d'un des panneaux de paroi, montrant que, lors de la pose, la stabilité de ces panneaux peut être assurée sans poutres d'appui.

Afmetingen van de panelen te Beringen en te Zolder geplaatst. Op de ring (links) hebben wij de projectie van het zwaartepunt der wandpanelen getekend, en daardoor aangetoond dat de stabiliteit bij het plaatsen bereikt wordt zonder steunbalken.

grands panneaux = groot paneel

centre de gravité... = zwaartepunt van het wandpaneel.

*dition expresse* d'exécuter un excellent remplissage du vide annulaire entre le revêtement et le terrain.

Suite à ces résultats favorables, il a été décidé d'utiliser les panneaux en béton armé comme revêtement d'un tronçon de bouveau dans un siège de Campine. Le choix s'est porté sur des anneaux de 4,20 m de diamètre utile, constitués de cinq panneaux (quatre grands de 500 kg et un petit de 250 kg; fig. 3).

Grâce au fait que la projection verticale du centre de gravité de chacun des deux panneaux de paroi tombe à l'extrados de sa surface d'appui sur le panneau inférieur, il est possible de placer l'ensemble des panneaux d'un anneau sans utiliser ni cintre ni poutrelle d'appui; les panneaux latéraux sont stables par eux-mêmes.

La machine de pose (fig. 4) comporte un châssis de base sur lequel est fixée une plate-forme supportant le bras télescopique utilisé pour la manutention des panneaux.

L'extrémité du bras télescopique est munie d'une genouillère dont la surface intérieure sphérique concave vient saisir la tête sphérique de la tige de manutention des panneaux. Chaque panneau possède en effet un trou central le traversant de part en part; ce trou est revêtu d'un tube métallique prolongé du côté extrados par un écrou soudé au tube. Cet écrou est à la base du système de manutention et de mise en place des éléments qui a lieu par l'intermédiaire d'une tige métallique, terminée d'un côté par une partie filetée vissée dans l'écrou et de l'autre par une tête sphérique. Le centre de cette tête coïncide exactement avec le centre de gravité du panneau, de sorte que, si on le saisit à l'aide de la genouillère de même diamètre intérieur, on peut donner au panneau toutes les positions désirées sans aucun effort.

sen de ondersteuning en het gesteente volledig wordt opgevuld.

Ingevolge deze gunstige resultaten werd besloten gebruik te maken van panelen in gewapend beton voor het ondersteunen van een eind steengang in een Kempense zetel. De keuze viel op ringen met een nuttige doormeter van 4,20 m bestaande uit vijf panelen (vier grote van 500 kg en een klein van 250 kg, fig. 3).

Aangezien de verticale projectie van het zwaartepunt van elk der twee wandelementen aan de buitenkant valt van het raakvlak met het onderliggend paneel, kan men al de panelen van een ring plaatsen zonder mal of voorspanbalken; de zijpanelen zijn uit zichzelf stabiel.

De zetmachine (fig. 4) bestaat uit een basisraam waarop een platform dat de telescopische arm draagt, die voor het hanteren van de panelen gebruikt wordt.

Aan het uiteinde van de telescopische arm zit een bolscharnier waarvan de holle binnenkant zich sluit omheen de bolvormige kop van de hanteerstang der panelen. In elk paneel is er immers in het middelpunt een opening die er dwars doorheen gaat; deze opening is bekleed met een eind buis die aan de buitenkant overgaat in een moer die aan de buis vastgelast is. Deze moer vormt het sluitstuk van heel het systeem voor het hanteren en plaatsen van de elementen, dat namelijk berust op het gebruik van een metalen stang, die aan de ene kant uitloopt op een draad die in de moer gedraaid wordt en aan de andere kant op een bol. Het centrum van deze bol komt precies overeen met het zwaartepunt van het paneel, zodat men zonder moeite aan het paneel elke gewenste stand kan geven eens dat het ophangt in het bolgewricht dat dezelfde inwendige doormeter heeft.

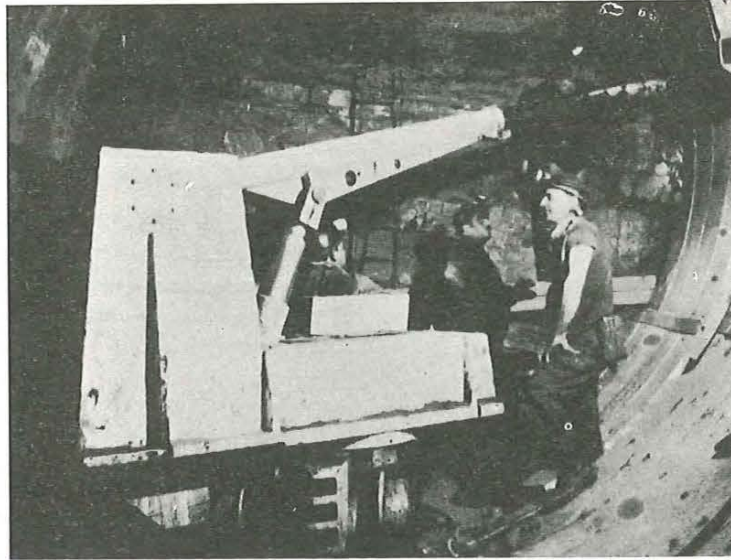


Fig. 4

Machine utilisée à Beringen pour la pose de panneaux, d'un poids de 500 kg. Cette machine comporte un bras télescopique et orientable, monté sur une plate-forme qui peut tourner sur le châssis de base.

Machine die te Beringen gebruikt wordt voor het plaatsen van de panelen die 500 kg wegen. Ze bevat een telescopische mast die kan georiënteerd worden, en opgesteld is op een platform dat kan draaien op het basisraam.

L'extrémité du bras télescopique peut occuper toutes les positions voulues pour effectuer toutes les manipulations souhaitées grâce aux dispositifs suivants :

- rotation de la plate-forme de 360° sur le châssis de base;
- abaissement et relevage du bras dans un plan vertical;
- coulissement du fût intérieur télescopique du bras.

Dès les premiers mois, le rendement global du creusement d'un bouveau de ce genre a été amélioré de plus de 100 %. Dans un chantier, l'avancement atteint 3 m par jour en 3 postes avec un personnel de 3 hommes par poste tandis que dans un deuxième chantier, l'avancement est de 4 m par jour en 3 postes avec un personnel de 4 hommes par poste.

Suite à ces premiers résultats favorables, on a doublé la largeur et le poids des panneaux utilisés ce qui a permis de réduire encore le temps de pose du soutènement.

Il est important de signaler que l'augmentation de l'avancement réalisée jusqu'ici n'est due qu'à un changement du revêtement et à une mécanisation plus poussée de sa pose, mais qu'aucun changement n'a été apporté ni au forage ni au chargement des déblais. L'utilisation d'un matériel nouveau plus élaboré pour l'accomplissement de ces deux opérations permettrait de réaliser un nouveau bond en avant dans le rendement du creusement des bouveaux circulaires.

Nous étudions actuellement la réalisation d'une machine unique permettant éventuellement la mécanisation du forage, du chargement des déblais et de la pose

Het uiteinde van de telescopische arm kan iedere stand innemen die voor de verschillende behandelingen nodig is, dank zij de volgende apparatuur :

- rotatie van het platform ten opzichte van de basis, over 360°;
- heffen en laten zakken van de arm in een vertikaal vlak;
- laten inzinken van de binnenkant van de telescopische arm.

Tijdens de eerste maanden steeg het globaal effect bij het drijven van een soortgelijke steengang met meer dan 100 %. Op een werkpunt werd een vooruitgang bereikt van 3 m per dag met drie diensten en een bezetting van 3 man per dienst; in een tweede werkpunt bereikte men 4 m per dag, in drie diensten met telkens 4 man.

Ingevolge deze gunstige resultaten heeft men de breedte en het gewicht van de panelen verdubbeld waardoor het plaatsen nog vlugger ging.

Belangrijk is de opmerking, dat de verbetering van de vooruitgang tot op dit ogenblik enkel het gevolg is van een verandering van bekleding en een verder doorgedreven mechanisering van het plaatsen ervan, terwijl er geen enkele wijziging werd ingevoerd inzake boren of laden van de afslagstenen. Indien men nieuw en beter bestudeerd materieel zou gebruiken voor deze twee bewerkingen zou dit een nieuwe sprong in de goede richting betekenen inzake het effect bij het drijven van cirkelvormige steengangen.

Momenteel trachten wij één enkele machine te bouwen waarmee eventueel het boren, het laden van de stenen en het plaatsen van de ondersteuning kunnen

du soutènement. La mécanisation du forage au moyen de marteaux-perforateurs sur glissières et sur affûts permettrait d'augmenter aussi la longueur de chaque passe de creusement.

**II. TUNNEL DE GRAND DIAMETRE DANS UN TERRAIN TRES FRIABLE**

Pour réaliser l'électrification d'une ligne internationale à trafic rapide, la Société Nationale des Chemins de Fer Belges doit creuser un nouveau tunnel circulaire en béton dont le diamètre intérieur est de 10,50 m et dont les dimensions à terre nue sont de 12,70 m en hauteur et de 16,50 m en largeur.

Ce tunnel a été creusé dans un terrain ébouloux composé de schistes altérés rendus très friables, ce qui a obligé les entrepreneurs à avancer pas à pas en garantissant à tout moment une couverture métallique continue sur tout le pourtour du tunnel.

Le creusement du tunnel a été effectué en plusieurs fois à partir de deux tunnels situés à hauteur des « piédroits » et creusés sur toute la longueur de l'ouvrage.

Les travaux ont été menés à bonne fin par la S.A. Compagnie Internationale des Pieux armés Frankignoul (« Pieux Franki »), à Liège.

Monsieur De Beer, Professeur aux Universités de Gand et de Louvain, Directeur de l'Institut Géotechnique de l'Etat à Gand a été l'Ingénieur-Conseil du Maître de l'œuvre, la Société Nationale des Chemins de Fer Belges.

gemechaniseerd worden. Door het mechaniseren van de boorarbeid, met behulp van boorhamers op glijbanen en kolommen, zou men ook de lengte van de pas kunnen verbeteren.

**II. TUNNEL MET GROTE DOORMETER IN ZEER BROKKELIG GESTEENTE**

Voor de elektrifikatie van een internationale lijn met snelvervoer moet de Nationale Maatschappij der Belgische Spoorwegen een nieuwe cirkelvormige tunnel aanleggen in beton, met een nuttige doormeter van 10,50 m en de volgende afmetingen in het gesteente : hoogte 12,70 m, breedte 16,50 m.

Deze tunnel werd aangelegd in brokkelig gesteente, bestaande uit verweerde en zeer schilferig geworden schiefer, zodat de aannemer gedwongen was stap voor stap vooruit te gaan en de tunnel over heel zijn omtrek ogenblikkelijk te voorzien van een metalen bekleding.

Het drijven van de tunnel verliep in verschillende fazen, beginnend met twee tunnels die gelegen waren ter hoogte van de « steunberen » en gedreven waren over heel de lengte van het kunstwerk.

De onderneming werd tot een goed einde gebracht door de N.V. Compagnie Internationale des Pieux armés Frankignoul (« Pieux Franki ») te Luik.

De Heer De Beer, Professor aan de universiteiten van Gent en Leuven, Directeur van het Rijksinstituut voor Geotechniek te Gent, fungeerde als raadgevend ingenieur voor de bouwheer, de Nationale Maatschappij der Belgische Spoorwegen.

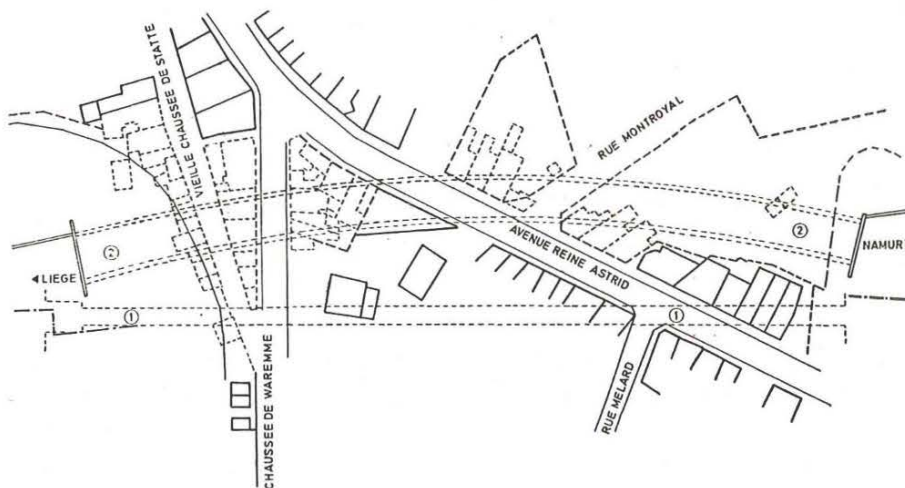


Fig. 5

Localisation des tunnels de chemin de fer près de Huy.

- 1. Tunnel existant à simple voie
- 2. Tunnel en construction.

On constate que le tunnel doit traverser une colline sur laquelle se trouvent plusieurs habitations et des routes.

Ligging van de spoortunnel bij Huy.

- 1. Bestaande tunnel met enkel spoor
- 2. Tunnel in aanbouw.

Men ziet dat de tunnel een heuvel moet doorboren waarop een aantal huizen en wegen liggen.

Ce travail était particulièrement difficile car ainsi que le montre la figure 5, le tunnel doit traverser une colline sur laquelle se trouvent de nombreuses habitations et des routes.

### 1. Localisation du tunnel et terrains traversés

La figure 5 montre la position du tunnel situé près de Huy sur la ligne internationale Stockholm — Köln — Liège — Paris.

Ce nouveau tunnel à double voie doit remplacer un autre à simple voie.

Le rayon de courbure du tunnel est de 410 mètres; sa longueur est de 232 m.

L'épaisseur des terrains situés au-dessus du tunnel atteint 14 à 16 m sur une bonne partie de l'ouvrage.

On constate (fig. 6) que l'ouvrage est entièrement situé dans des bancs schisteux (du Silurien Sl 1. a) fortement altérés, partiellement transformés en argile sous l'action de l'eau. La roche a perdu toute sa cohésion et les terrains traversés peuvent être assimilés à des éboulis rocheux.

Wat het werk bijzonder moeilijk maakte was het feit dat de heuvel, waar de tunnel doorheen moest, zoals men ziet op figuur 5, bedekt was met talrijke huizen en wegen.

### 1. Ligging van de tunnel en omgevend gesteente

Figuur 5 geeft de ligging van de tunnel nabij Huy op de internationale lijn Stokholm — Keulen — Luik — Parijs.

Deze nieuwe tunnel met dubbel spoor moet een andere met enkel spoor vervangen.

De tunnel heeft een krommingsstraal van 410 m; de lengte is 232 m.

De dikte van de dekgrond gaat tot 14 en 16 m over een groot gedeelte van het kunstwerk.

Men ziet (fig. 6) dat het kunstwerk helemaal gelegen is in sterk verweerde schieferbanken (van het Siluur Sl 1. a) die onder invloed van het water gedeeltelijk zijn omgezet in leem. Het gesteente is elke samenhang kwijt en kan beschouwd worden als steenachtig instortingspuin.

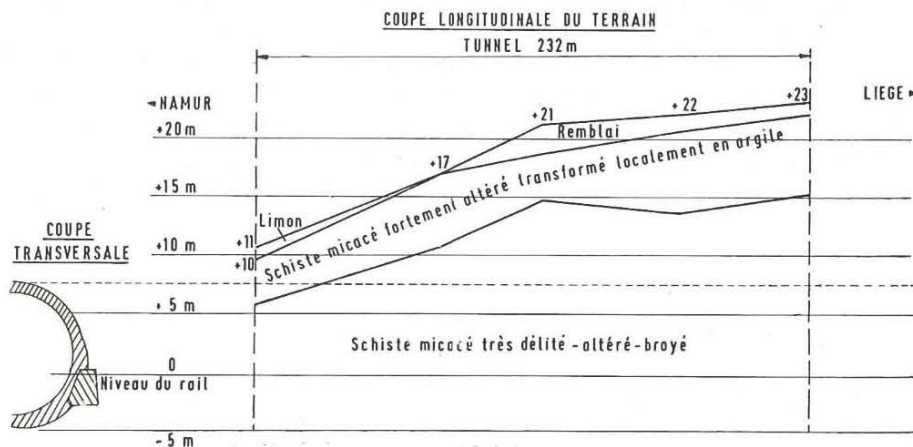


Fig. 6

Coupe longitudinale des terrains formant la colline.  
Langsdoorsneden door het gesteente van de heuvel.

Le niveau de la nappe phréatique est très variable et a été atteint, au-dessus de la voûte du tunnel, par deux des cinq sondages.

Comme dans les schistes houillers du Bassin de Campine Belge, les schistes rencontrés à Huy se désagrègent rapidement et totalement au contact de l'eau, même si l'on choisit des échantillons qui paraissent très durs.

### 2. Creusement du premier tunnel

Le premier tunnel (1 sur la figure 5) a été construit en 1847 avec une largeur de 8 m, suffisante pour deux

Het peil van het freatisch watervlak is zeer veranderlijk en werd boven het tunnelgewelf aangeboord door twee van de vijf peilboringen.

Evenals het geval is in de Belgische Kempen valt de schiefer van Huy snel en volledig uiteen in aanraking met water, zelfs als het gekozen monster zeer hard schijnt te zijn.

### 2. Het drijven van de eerste tunnel

De eerste tunnel (1 op fig. 5) werd gebouwd in 1847 met een breedte van 8 m, dit is voldoende voor



voies. Ce tunnel a été réalisé à partir de 3 galeries pilotes dont deux sont situées aux piédroits et la troisième à la partie centrale de la voûte.

A partir de ces tunnels, la voûte a été montée par passes de 6 m au moyen de petites galeries de communication en maintenant les roches en place à l'intérieur du futur tunnel. Malgré les précautions prises, plusieurs éboulements importants se sont produits durant cette phase du travail.

Mais lorsque l'on enleva les roches à l'intérieur du tunnel, les piédroits se sont rapprochés entraînant un affaissement de la voûte. Une contre-voûte a dû être ajoutée à l'intérieur du tunnel pour contrebuter les piédroits.

Des éboulements ultérieurs ont obligé les Chemins de Fer à renforcer le revêtement de celui-ci par une voûte intérieure de 80 cm d'épaisseur et une nouvelle contre-voûte de 48 cm d'épaisseur, mettant ainsi le tunnel à simple voie.

### 3. Revêtements du nouveau tunnel

Un trafic ferroviaire international très dense passant par ce tunnel, le calcul du soutènement a été établi pour ne permettre aucune déformation.

La figure 7 montre le revêtement adopté pour le tunnel : celui-ci est double, métallique à l'extrados et en béton armé à l'intrados. L'anneau intérieur a un diamètre intérieur de 10,50 m et son épaisseur est partout d'au moins 75 cm.

Chacun des deux revêtements a été calculé pour résister, avec un coefficient de sécurité suffisant, aux pressions dues aux roches surmontant le tunnel. C'est à une charge de 40 t/m<sup>2</sup> que chacun de ces deux revêtements peut résister.

Le revêtement métallique a été placé à mesure du creusement et a servi de point d'appui au soutènement provisoire.

La base d'appui du soutènement du tunnel est constituée par deux massifs de piédroits en béton armé (fig. 7).

Des cintres métalliques constitués de poutrelles HEB de 340 mm de hauteur, placées à 1 m d'axe en axe, viennent s'emboîter dans les massifs des piédroits.

Le garnissage des poutrelles est formé de poutrelles I de 120 mm et de coins en bois reprenant un rideau continu formé de plats en tôles ondulées. Le vide entre les tôles et le terrain est rempli par du gravier injecté à mesure du creusement; ce gravier sera injecté à son tour de mortier à la fin des travaux.

Le revêtement intérieur en béton est coulé après la fin du creusement du tunnel.

### 4. Creusement du tunnel

Le terrain à traverser étant très ébouleux, les travaux de creusement ont été effectués avec beaucoup de pré-

cautions. Cette tunnel werd gebouwd uitgaande van drie richttunnels, één in elke steunbeer en één in het midden van het gewelf.

Van uit deze tunnels werd het gewelf gebouwd in passen van 6 m door middel van kleine verbindingsgalerijen terwijl het gesteente in het inwendige van de tunnel ter plaatse bleef. Ondanks alle voorzorgen traden gedurende deze fase van het werk verschillende instortingen op.

Toen men evenwel het gesteente in het binnenste van de tubbel wegnam, kwamen de steunberen dichterbij, waardoor het gewelf zakte. Binnen in de tunnel moest een tweede gewelf worden aangebracht om de steunberen tegen te houden.

Wegens latere instortingen was de spoorwegmaatschappij verplicht de bekleding te versterken met een binnengewelf met een dikte van 80 cm, waar vervolgens een versterking van 48 cm moest bijkomen voor de steunberen, dit bracht mee dat de tunnel nog geschikt was voor enkel spoor.

### 3. Bekleding van de nieuwe tunnel

Aangezien een zeer dicht internationaal spoorverkeer door deze tunnel gaat werd de bekleding zo berekend dat er geen enkele vervorming te vrezen is.

Figuur 7 toont de bekleding die voor de tunnel gekozen werd; het is een dubbele bekleding, in metaal aan de buitenkant en in beton aan de binnenkant. De binnering heeft een nuttige doormeter van 10,50 m en de dikte ervan is nergens minder dan 75 cm.

Elk der bekledingen werd berekend om met een behoorlijke veiligheidscoëfficiënt te weerstaan aan de druk van het gesteente boven de tunnel. Deze belasting bedraagt voor elk der bekledingen 40 t/m<sup>2</sup>.

De metalen ondersteuning werd geplaatst naarmate de tunnel vooruitging en diende als steunpunt voor de voorlopige ondersteuning.

De basis van de tunnelondersteuning bestaat uit twee steunbeermassieven in gewapend beton (fig. 7).

Metalen bogen bestaande uit HEB-profielen met een hoogte van 340 mm en een asafstand van 1 m staan in deze betonmassieven geplant.

Deze bogen worden bedekt met I-profielen van 120 mm en houten wiggen die een aaneengesloten ijzeren scherm van gegolfd plaatijzer dragen. De ruimte tussen deze platen en het gesteente wordt naarmate het werk vordert opgevuld met grind die aan het front wordt geïnjecteerd; op het einde van het werk zal dit grind nog met mortel worden geïnjecteerd.

De binnenondersteuning in beton wordt gegoten nadat het drijven van de tunnel beëindigd is.

### 4. Het drijven van de tunnel

Vermits het te bewerken gesteente zeer brokkelig was, werden bij het drijfwerk allerlei voorzorgen geno-

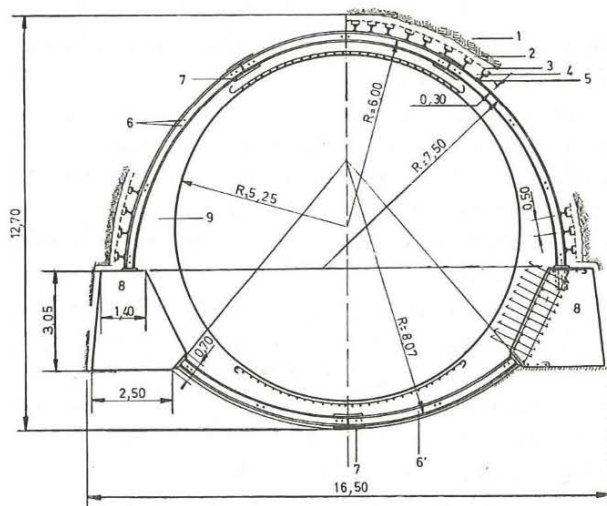


Fig. 7

Coupe transversale du revêtement double adopté pour le tunnel; la largeur maximale du tunnel à terre nue est de 16,50 m; le diamètre intérieur est de 10,50 m.

- revêtement extrados formé par deux massifs de piliers en béton et par des poutrelles métalliques;
- revêtement intrados formé par un anneau en béton armé.

cautions pour éviter tout éboulement qui risquerait de se répercuter jusqu'à la surface de la colline.

Les travaux ont été conduits pour que la moindre surface de terrain découverte soit immédiatement soutenue. Le creusement a été effectué sans discontinuité à trois postes par jour.

La figure 8 montre les différentes phases de creusement du tunnel.

L'ensemble du revêtement métallique devant reposer sur les deux massifs en béton des piliers, on a commencé le travail par le creusement (fig. 9) et le bétonnage de ces deux massifs.

Le travail a ensuite continué en excavant une saignée sur tout le pourtour de la voûte pour pouvoir placer le soutènement métallique.

Après ce travail, les terres de la partie centrale du tunnel ont été enlevées en plusieurs phases pour permettre la pose des poutrelles du radier.

Le travail a ensuite été achevé par le bétonnage de l'anneau sur tout le pourtour du tunnel.

#### 41. Creusement des deux galeries pilotes et bétonnage des piliers

Deux galeries ont été creusées à l'emplacement des piliers, sur toute la longueur du tunnel.

Ces galeries, de section rectangulaire, ont une largeur de 3 m et une hauteur de 3,50 m. Elles ont été creusées entièrement au marteau-piqueur et au pic avec chargement des déblais au moyen d'une petite chargeuse à godet sur pneus. Signalons ici qu'aucun explosif n'a

1. Roche = Gesteente
2. Gravelle injectée après la pose de chaque cintre et injectée de mortier après le bétonnage de la voûte intérieure = Keien die aangebracht worden na het plaatsen van elk raam en die met mortel geïnjecteerd worden na het betonneren van het binnengewelf.
3. Tôles embouties ou « liner-plates » - Gegolfde platen « liner-plates ».
4. Cale en bois dur = Spie in hard hout
5. Poutrelle I 120 = Profielen I 120.
6. Poutrelles HE 340 B placées tous les mètres = Profielen HE 340 B geplaatst om de meter.
7. Couvre-joint = Strip
8. Massif de piliers en béton = Steunbeermassief in beton.
9. Anneau intérieur en béton armé = Binnenring in gewapend beton.

Dwarsdoorsneden door de dubbele bekleding die voor de tunnel gekozen werd; de grootste breedte van de tunnel in het gesteente bedraagt 16,50 m; de binnendoormeter is 10,50 m.

- buitenbekleding gevormd door de twee massieven van de steunberen en de metalen profielen;
- binnenbekleding bestaande uit een ring in gewapend beton.

men om iedere instorting te voorkomen, aangezien die wel eens voelbaar kon worden op de top van de heuvel.

Het werk werd zo georganiseerd dat de kleinste oppervlakte die ontbloot werd onmiddellijk werd ondersteund. Het werk ging zonder onderbreking voort gedurende drie diensten.

Figuur 8 toont de verschillende fazen van het drijven van de tunnel.

Vermits de metalen bekleding in haar geheel moest komen rusten op de twee betonnen massieven van de steunberen, is men begonnen met het drijven (fig. 9) en betonneren van deze twee massieven.

Vervolgens werd een snede aangebracht over heel de omtrek van het gewelf zodat de metalen ondersteuning kon geplaatst worden.

Daarna werd het gesteente in het binnenste van de tunnel weggenomen in verschillende fazen, zodat de profielen van de bedding konden gelegd worden.

Tenslotte werd de betonring gegoten over heel de omtrek van de tunnel.

#### 41. Het drijven van de twee richtgalerijen en het betonneren van de steunberen.

Er werden twee galerijen gemaakt op de plaats waar de steunberen moesten komen, en dat over heel de lengte van de tunnel.

Deze galerijen zijn rechthoekig en hebben een breedte van 3 m en een hoogte van 3,50 m. Ze werden volledig uitgehouwen met afbouwamer en pikhouwel en de stenen werden geladen met een kleine emmer-

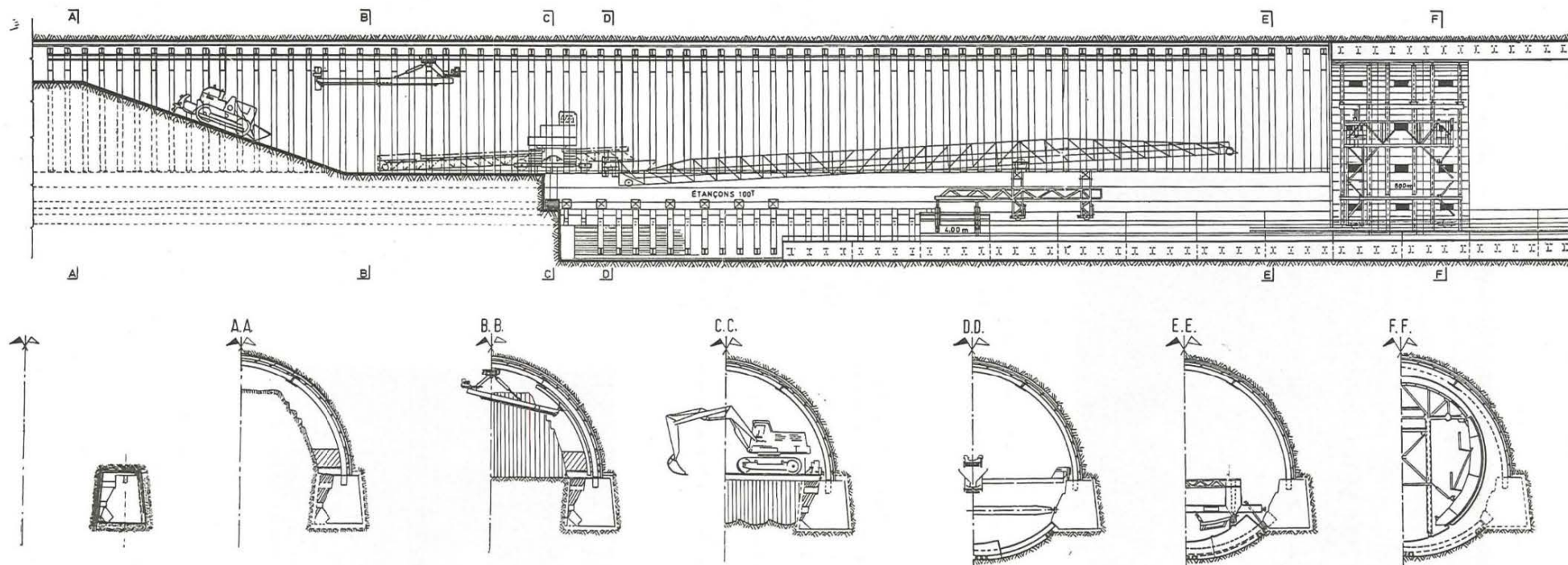


Fig. 8

Différentes phases de creusement du tunnel depuis le creusement des deux galeries pilotes des piédroits jusqu'au bétonnage de l'anneau intérieur.

Verschillende fazen bij het drijven van de tunnel, van het drijven der twee richtgalerijen af tot het betonneren van de binnenring.

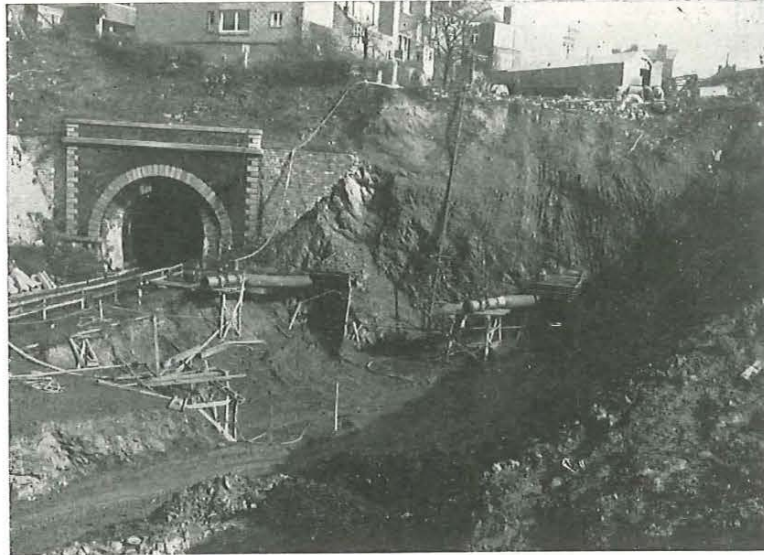


Fig.9

Photo montrant les deux galeries pilotes.

Foto van de twee richtgalerijen.

dû être utilisé lors du creusement de l'entièreté du tunnel. A mesure du creusement qui s'effectuait par courtes passes, des cadres rigides étaient placés tous les mètres, ainsi qu'un garnissage continu formé de tôles métalliques (fig. 10). Les cadres étaient formés chacun de quatre poutrelles I 220 (au toit, aux parois et au mur). Le vide entre le terrain et le garnissage était rempli à mesure avec des pierrailles convenablement damées.



Fig. 10

Creusement d'une des deux galeries pilotes effectué entièrement au marteau-piqueur avec pose d'un revêtement métallique trapézoïdal (fermé au pied) et d'un garnissage jointif.

Het drijven van één der richtgalerijen, uitsluitend met behulp van de afbouwamer: de ondersteuning bestaat uit een trapeziumvormige raam (aan de voet gesloten); de bekleding is aaneengesloten.

L'avancement a été de 3 m par jour en 3 postes avec un personnel à front de 3 hommes par poste, auxquels il faut ajouter deux autres pour le transport du matériel et des déblais.

Après l'achèvement du creusement, le radier de ces galeries pilotes a été bétonné en remplissant le vide entre les poutrelles de la sole. Le niveau supérieur de

Men maakte een vooruitgang van 3 m per dag, in drie diensten, met 3 man aan het front, waarbij men er nog twee moet voegen voor het vervoer van materieel en stenen.

Zodra deze richtgalerijen gedreven waren werd hun bedding gebetonneerd waarbij de ruimte tussen de vloerbalken werd opgevuld. De bovenkant van deze

ce béton a été soigneusement réglé pour servir d'appui aux massifs des piédroits. En même temps que le radier, on a bétonné aussi les semelles de blocage de ces massifs dans le coin intrados de ces galeries (fig. 8). Ces semelles seront démolies localement plus tard lors de la pose des poutrelles du radier.

Après ce travail, on a commencé le coffrage des massifs de piédroits ainsi que la pose des armatures métalliques. La figure 7 montre la disposition de ces armatures dont le but est de relier ces massifs au futur anneau intérieur en béton. Pour pouvoir réaliser cet objectif, les armatures devant faire partie du revêtement circulaire sont repliées provisoirement le long du coffrage des piédroits.

Des ouvertures sont aussi ménagées dans les deux massifs pour servir d'assise aux futures poutrelles métalliques de la voûte et du radier.

Ces massifs sont ensuite bétonnés en laissant en place les poutrelles et le garnissage du revêtement des galeries pilotes. Par suite de la nature de l'eau d'infiltration, on a utilisé du ciment sursulfaté.

Après la prise du béton, les pierrailles remplissant le vide entre le terrain et le garnissage métallique sont injectées au moyen d'un mortier.

Les massifs de béton sont ensuite calés contre la paroi intrados au moyen d'étauçons en bois. Ce mortier est introduit entre les pierrailles au moyen de tuyauteries métalliques de 15 mm de diamètre noyées dans le béton; ces tuyaux sont placés tous les mètres.

#### 42. Creusement d'une saignée sur le pourtour de la voûte avec pose du revêtement métallique

Cette phase du travail est évidemment la plus délicate de l'ensemble du creusement.

Les Chemins de Fer avaient demandé d'abord de creuser une troisième galerie pilote à la clef de la voûte et d'effectuer le creusement de la saignée de la voûte à partir de cette galerie centrale.

Monsieur Allard, ingénieur à la « Société Franki » et responsable du chantier a préféré travailler par gradins montants à partir des deux galeries pilotes des piédroits.

Afin de diminuer le risque d'éboulement, on a réduit au maximum les dimensions de la saignée creusée sur tout le pourtour de la voûte et qui relie les deux galeries pilotes. Le stot central laissé temporairement au centre du tunnel procure ainsi un bon appui pour les vérins et les étauçons métalliques de calage. La distance entre le stot central et le terrain découpé en couronne est d'environ 1,70 m.

Le terrain situé en couronne de cette saignée doit être soigneusement soutenu par un blindage continu avancé à mesure du creusement.

betonlaag werd juist op hoogte gelegd om te kunnen dienen als steunpunt voor de massieven van de steunberen. Samen met de bedding betonnerde men ook de ankerzolen van deze massieven in de binnenhoeken der galerijen (fig. 8). Later zullen deze zolen plaatselijk afgebroken worden bij het plaatsen van de profielen van de bedding.

Nadien begon men met het aanbrengen van de bekisting voor de steunmassieven en met het plaatsen van de ijzeren bewapening. Fig. 7 geeft de schikking van deze bewapening die tot doel heeft deze massieven te verbinden met de later te plaatsen binnenring in beton. Hiertoe worden de staven die later deel moeten uitmaken van de bewapening van de ringvormige bekleding voorlopig langs de bekisting van de steunberen geplaatst.

Er worden ook openingen in het massief gelaten voor de later aan te brengen ijzeren profielen van het gewelf en de bedding.

Vervolgens worden deze massieven gebetonneerd waarbij de profielen en de bekleding van de richtgalerijen ter plaatse blijven. Wegens de aard van het infiltratiewater heeft men overgesulfateerde cement gebruikt.

Zodra het beton hard is wordt de steenslag tussen het gesteente en de bekleding geïnjecteerd met mortel.

Vervolgens worden de betonmassieven tegen de binnenwand opgespannen door middel van houten stutten. Voor het inspuiten van deze mortel tussen de steenslag gebruikt men in het beton verzonken metalen buizen met een doormeter van 15 mm; elke meter wordt een dergelijke buis geplaatst.

#### 42. Het drijven van een gleuf over de omtrek van het gewelf en het plaatsen van de metalen ondersteuning.

Vanzelfsprekend is dit de meest gewaagde fase van heel de uitvoering.

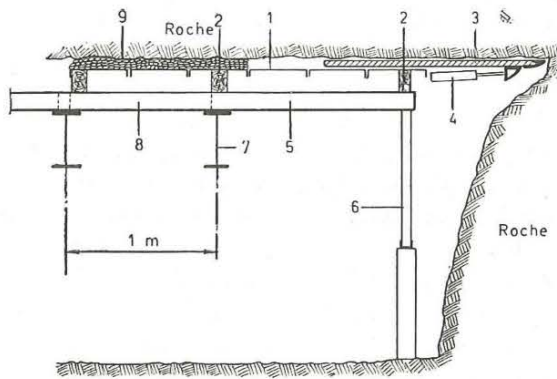
De Spoorwegen hadden eerst gevraagd een derde richtgalerij te drijven in de kop van het gewelf en het gewelf uit te snijden van uit deze centrale galerij.

De heer Allard, ingenieur bij de maatschappij Franki, die verantwoordelijk was voor het werk, gaf er de voorkeur aan te werken met stijgende trappen, vertrekkend uit de twee zijdelings gelegen richtgalerijen.

Om het gevaar voor instortingen te verminderen heeft men de afmetingen van de gleuf die over de omtrek van het gewelf gedolven wordt en beide richtgalerijen verbindt zoveel mogelijk beperkt. Op die manier vormt het centrale massief dat voorlopig in het midden van de tunnel ter plaatse blijft een goed steunpunt voor de vizels en ijzeren stijlen van de ondersteuning. De afstand tussen het centrale massief en het ontblote gesteente in de kroon is ongeveer 1,70 m.

Het kroongesteente in deze gleuf moet zorgvuldig ondersteund worden met een aaneengesloten pantsering die vooruitgaat naarmate het werk vordert.

Le creusement s'effectue à l'aide de palplanches métalliques, de la Société « Commercial Hydraulics », emboîtées les unes dans les autres. Ces palplanches de 25 mm d'épaisseur ont chacune 20 cm de largeur et 150 cm de longueur. Leur extrémité avant est coupée en biseau et recouverte de Verdur. Elles sont poussées contre le terrain au moyen de vérins de 5 t venant prendre appui contre une cornière soudée sur ces palplanches (fig. 11). Chaque palplanche est avancée à tour de rôle à mesure qu'un ouvrier fait la place au marteau-piqueur et qu'un deuxième actionne la pompe alimentant le vérin de poussée correspondant. Après un avancement total de 40 cm, les ouvriers passent à la palplanche voisine.



Détail de la pose des « liner-plates » lors du creusement de la voûte. Les palplanches sont avancées dans le terrain au moyen d'un petit vérin à mesure de l'abattage des roches au marteau-piqueur.

Detail betreffende het plaatsen van de « liner-plates » tijdens het drijven en het gewelf. De damplanken worden in het gesteente gedreven met behulp van een kleine vijzel naarmate het gesteente met de afbouwamer wordt verwijderd.

Het drijfwerk gebeurt met behulp van ijzeren damplanken van de Maatschappij « Commercial Hydraulics » die in elkaar grijpen. Deze planken hebben een dikte van 25 mm, een breedte van 20 cm en een lengte van 150 cm. Hun voorste rand is uitgesneden als een beitel en bedekt met Verdur. Ze worden in het gesteente gedrukt door middel van vijzels met een kracht van 5 t die zich afzetten tegen een op de damplank gelast hoekijzer (fig. 11). Om de beurt wordt elke damplank vooruitgedreven, terwijl een arbeider plaats maakt met de afbouwamer en een andere de pomp van de overeenstemmende drukcilinder bedient. Na een vooruitgang van 40 cm nemen de werklieden de volgende damplank.

1. « Liner-plates ».
2. Cales en chêne — Eiken spieen
3. Palplanches — Damplanken
4. Vérins de 5 t — Vijzels van 5 t
5. Poutrelles-coras de 120 mm et 2,50 m de longueur — Voorspanbalken van 120 mm met een lengte van 2,50 m
6. Etançons hydrauliques Wannheim de 100 t — Hydraulische stijlen Wannheim van 100 t
7. Cintres en profil HE 340 B — Bogen in profiel HE 340 B
8. Poutrelles définitives de 120 mm et 97 cm de longueur — Definitieve profielen van 120 mm met een lengte van 97 cm
9. Le vide de 30 mm laissé par le passage des palplanches s'éboule souvent assez vite; ce vide est remblayé après chaque pose d'un cintre au moyen de gravelles, puis a été injecté de mortier à la fin des travaux — De ruimte van 30 mm die door de damplanken wordt achtergelaten vult zich soms zeer vlug; na het plaatsen van elke nieuwe boog wordt deze ruimte opgevuld met keien; bij het beëindigen van het werk wordt ze met mortel geïnjecteerd.

Fig. 11

Les palplanches prennent appui à l'arrière contre un premier revêtement métallique continu, formé de tôles embouties (dénommées « liner-plates », de la Société « Commercial Hydraulics ») de 7 mm d'épaisseur, de 40 cm de largeur et de 90 cm de longueur comme on peut le voir aux figures 11 et 12. Toutes ces tôles d'un poids de 35 kg sont soigneusement boulonnées les unes aux autres.

Cette voûte métallique formée de tôles jointives prend appui à sa partie inférieure sur les massifs de piédroits et est soutenue par de nombreux étançons Wannheim de 40 t callés contre le massif central (fig. 13).

Après un avancement de 40 cm d'un groupe de palplanches voisines sur une largeur suffisante, on boulonne une nouvelle tôle ou liner-plate. Après le placement de cette tôle, on avance une poutrelle-cora de 120 mm, de 2,50 m de longueur, (fig. 11) qui repose à l'arrière sur les derniers cintres métalliques; une cale en bois est placée entre la dernière tôle placée et la

Achterwaarts steunen de damplanken op een eerste ijzeren aaneengesloten bekleding bestaande uit geprofileerde platen (zo genaamde « liner-plates » van de Maatschappij « Commercial Hydraulics ») met een dikte van 7 mm, een breedte van 40 cm en een lengte van 90 cm zoals men ziet op de figuren 11 en 12. Al deze platen, met een gewicht van 35 kg, worden zorgvuldig aan elkaar geschroefd.

Dit metalen gewelf, gevormd uit aaneensluitende platen, steunt met zijn onderste rand op de massieven der steunberen, en wordt gestut met een groot aantal stijlen Wannheim van 40 t die zelf rusten op het centrale massief (fig. 13).

Nadat een groep naast elkaar gelegen damplanken over een voldoende breedte 40 cm zijn vooruitgekomen, brengt men een nieuwe plaat of liner-plate aan. Nadien brengt men een voorspankap van 120 mm-profiel aan (fig. 11) met een lengte van 2,50 m, die aan de achterzijde rust op de laatste ijzeren bogen. Men steekt

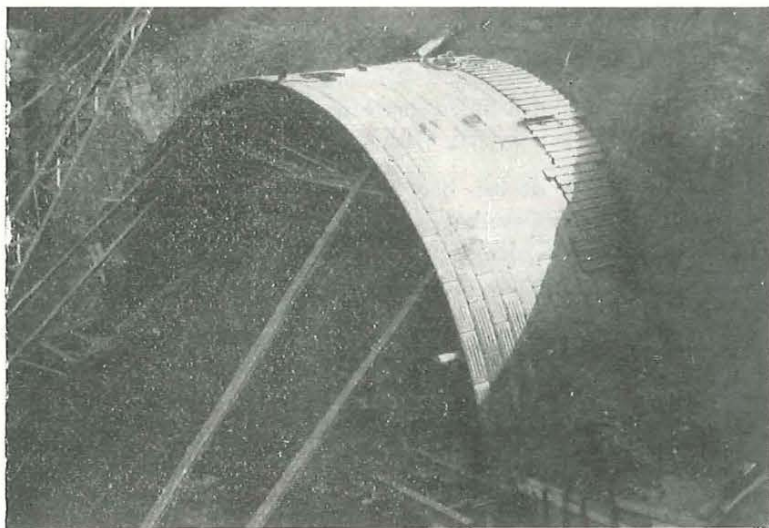


Fig 12

Début du creusement de la saignée, ce qui permet de voir la série de palplanches qui seront poussées contre le terrain au moyen de vérins. On remarque aussi la voûte continue en « liner-plates » qui sera soutenue par des poutrelles reposant sur les cintres métalliques.

Aanvang van het drijven van het gleuf; men ziet hier de reeks damplanken die met behulp van vijzels tegen het gesteente moeten gedrukt worden. Men ziet ook het aaneengesloten gewelf van « liner-plates » dat zal ondersteund worden met profielen die op de ijzeren bogen rusten



Fig. 13

Photo prise à front montrant les étais Wannheim soutenant les poutrelles-coras.

Foto genomen aan het front; men ziet de stijlen Wannheim die de voorspanbalken ondervangen.

poutrelle de 120 mm, puis on pose un étau entre cette poutrelle et le terrain. Les poutrelles-coras de 120 mm sont placées, soit tous les 0,50 m, soit tous les mètres suivant l'état des roches.

Tous les mètres, on pose un cintre métallique, qui reprend les poutrelles-coras de 120 mm. Ce cintre métallique rigide, en profil 340, est formé de trois éléments assemblés par éclisses et couvre-joints. Les pieds du cintre sont boulonnés et scellés aux massifs des piédroits. Le cintre est relié au précédent au moyen de tirants et de poussards.

een houten spie tussen de laatst aangebrachte plaat en het profiel van 120 mm. Naargelang de toestand van het gesteente worden de voorspankappen om de halve meter of om de meter gezet.

Om de meter plaatst men een ijzeren boog die de voorspankappen van 120 mm opvangt. Deze starre metalen boog, uitgevoerd in profielen van 340 mm, bestaat uit drie delen die met behulp van lasplaten en strippen samengevoegd worden. De voet van deze bogen zit vastgemetsel en -geschroefd aan de massieven van de steunberen. Iedere boog wordt aan de voorgaande verbonden door middel van trekkers en stoters.

Voor het plaatsen van de boogelementen gebruikt men een giek die op een wagen zit en zich voortbeweegt over twee profielen die zelf opgehangen zijn in de kroon van de reeds geplaatste bogen (fig. 14).



Fig. 14

Bras mobile roulant sur deux rails fixés en couronne, utilisé pour la pose des éléments d'un cintre I de 340 mm.

Beweegbare mast die rolt over twee in de kroon vastgemaakte sporen en gebruikt wordt voor het plaatsen van de I-profielen van 340 mm van een boog.

La pose des éléments du cintre est effectuée au moyen d'un bras mobile fixé à un chariot suspendu et glissant sur deux poutrelles fixées à la clef des cintres placés (fig. 14).

L'extrémité de ce bras mobile saisit l'élément de cadre, d'un poids de 1,5 t, en son centre de gravité au moyen d'une pince, ce qui permet d'orienter facilement la poutrelle lors de sa pose. Ce bras est télescopique et peut tourner dans son plan grâce à un vérin.

Après le placement d'un cintre, on pose sur les deux derniers cintres placés les poutrelles définitives de 120 mm et de 97 cm de longueur en les intercalant entre les poutrelles-coras qui ont aussi 120 mm. Les poutrelles définitives de 120 mm sont calées contre les « liner-plates » au moyen de coins en bois. On enlève ensuite les étançons de calage puis on remplit le vide de 30 mm d'épaisseur laissé entre le terrain et la voûte en liner-plates par le passage des palplanches, au moyen de gravillons injectés par des trous prévus à cet effet dans les liner-plates.

Le remplissage parfait de ce vide est indispensable si l'on veut éviter d'une part tout mouvement de détente des terrains autour du tunnel et surtout pour éviter tout dégât aux habitations et aux routes situées à l'aplomb du tunnel.

L'injection est effectuée par une pompe du type Placy à air comprimé; on injecte des gravelles 2/8 roulées et lavées.

De nombreux essais ont été effectués pour trouver le mélange le plus adéquat. Des essais ont entre autres été effectués d'abord avec du sable blanc et du sable du Rhin bien secs. Le sable projeté ne pénétrant pas assez profondément dans le vide annulaire, il se formait rapidement un bouchon pour le passage ultérieur des produits.

Le diamètre des conduites d'injection était de 30 mm; on injectait par un trou ménagé dans une plaque sur sept. Les coudes de la tuyauterie étaient lisses pour éviter toute usure prématurée; la tuyauterie ne pouvait avoir aucun point d'étranglement.

Le creusement et la pose de la voûte ont été effectués en 3 postes par jour avec un personnel de 12 hommes par poste.

Afin d'augmenter la résistance des piédroits en béton, il a été décidé de maintenir intact le soutènement des deux galeries pilotes en n'enlevant pas les poutrelles de couronne à ce moment-là. Un massif de roche de 1,30 m de hauteur a été laissé au-dessus des massifs de béton des piédroits (voir coupe B-B et C-C, fig. 8). Seuls des trous étaient creusés dans le massif pour le passage des extrémités inférieures des poutrelles du cintre.

Les ouvriers étaient répartis en quatre fronts sur le pourtour de la saignée, les deux fronts supérieurs étant situés 1 m en avant des deux fronts inférieurs. Les ouvriers des fronts inférieurs étaient protégés de la chute des pierres par un solide para-pierres incliné formé par une double épaisseur de madriers de 20 cm

Het uiteinde van deze giek grijpt het boogelement, dat 1,5 t weegt, met behulp van een tang in het zwaar-tepunt; zodoende kan men het profiel zonder moeite oriënteren tijdens het plaatsen. Deze giek is telescopisch en kan in haar vlak draaien dank zij een vijzel.

Nadat een boog aangebracht is plaatst men op de laatste twee bogen de definitieve profielen van 120 mm met een lengte van 97 cm; men zet ze tussen de voorspankappen die eveneens 120 mm hoog zijn. De definitieve profielen van 120 mm worden tegen de liner-plates opgespannen door middel van houten wiggen.

Vervolgens neemt men de stutten weg en vult men de opening van 30 mm tussen de stenen en de liner-plates, die nodig was voor de damplanken, aan met grind die ingespoten wordt langs openingen die daartoe in de liner-plates gelaten zijn.

Het volledig vullen van deze ruimte is nodig zo men elke ontspanning van het gesteente rond de tunnel wil voorkomen en vooral zo men elke beschadiging wil vermijden aan woningen en wegen boven de tunnel.

Het injecteren gebeurt met een persluchtpomp type Placy; men gebruikt gewassen rolkeien 2/8.

Men heeft talrijke proeven uitgevoerd om het beste mengsel te vinden. De eerste proeven werden onder meer gedaan met wit zand of rijnzand dat goed gedroogd was. Aangezien het geprojecteerde zand niet ver genoeg in de ruimten doordrong ontstond er vlug een stop die de verdere doorstroming tegenhield.

De injectieleidingen hadden een doormeter van 30 mm; men injecteerde langs openingen die in één plaat op zeven werden gemaakt. Om vroegtijdige sleet te voorkomen maakte men de bochten in de leiding glad; in de leiding mocht geen enkele vernauwing voorkomen.

Het drijven en bekleden van het gewelf gebeurde gedurende drie diensten per dag met een bezetting van 12 man per dienst.

Ten einde de weerstand van de betonnen steunberen te verhogen had men besloten de ondersteuning van de richtgalerij onaangeroerd te laten en de profielen in de kroon vooralsnog niet weg te nemen. Een steenmassief met een hoogte van 1,30 m werd ter plaatse gelaten boven de betonmassieven van de steunberen (zie doorsneden B-B en C-C, fig. 8). In het massief werden enkel de gaten gemaakt die nodig waren om de onderste uiteinden van de bogen van het ondersteuningsprofiel doorgang te verlenen.

De werklieden waren verdeeld over vier groepen verspreid langs de omtrek van de gleuf; de bovenste twee fronten bleven 1 m voor op de onderste. De werklieden van de onderste groepen werden tegen steenval beschermd door een stevig schuin opgesteld steenschild, bestaande uit een dubbele laag balken met een dikte van 20 cm, steunend op twee horizontale stijlen en een gleuf in het front.



d'épaisseur prenant appui sur deux étaçons horizontaux et dans une saignée à front.

Les déblais, jetés dans le fond des deux saignées, étaient chargés à mesure par les petites chargeuses à godet montées sur pneus, utilisées auparavant pour le creusement des deux galeries-pilotes (fig. 15).

Il est certain que la nécessité de creuser la voûte lentement à l'abri d'un rideau de palplanches ne permettait pas de réaliser de grands avancements et a entraîné un retard dans le timing des travaux.

Afin de rattraper ce retard, la S.N.C.B. avait demandé de continuer le creusement de la voûte en protégeant le terrain à mesure de sa mise à découvert par un gunitage. Cet essai a dû être rapidement abandonné car après quelques heures les terrains s'éboulaient par suite de l'épaisseur trop faible de la couche de béton projeté.

De stenen werden op de bodem van beide gleuven gestort en vervolgens geladen met de kleine emmerlaadmachines op luchtbanden, die voorheen gebruikt waren geweest voor het drijven van de richtgalerijen (fig. 15).

Het staat vast dat het langzaam drijven van het gewelf onder de bescherming van een scherm van damplanken een grote vooruitgang onmogelijk maakte en een zekere vertraging heeft veroorzaakt in de uitvoering van het programma.

Om deze vertraging in te lopen had de N.M.B.S. gevraagd het drijven van het gewelf voort te zetten en het gesteente vervolgens dat het ontbloot werd te beschermen met behulp van een laag guniet. Men heeft deze proef na korte tijd moeten opgeven daar het dak instortte gezien de laag guniet te dun was.

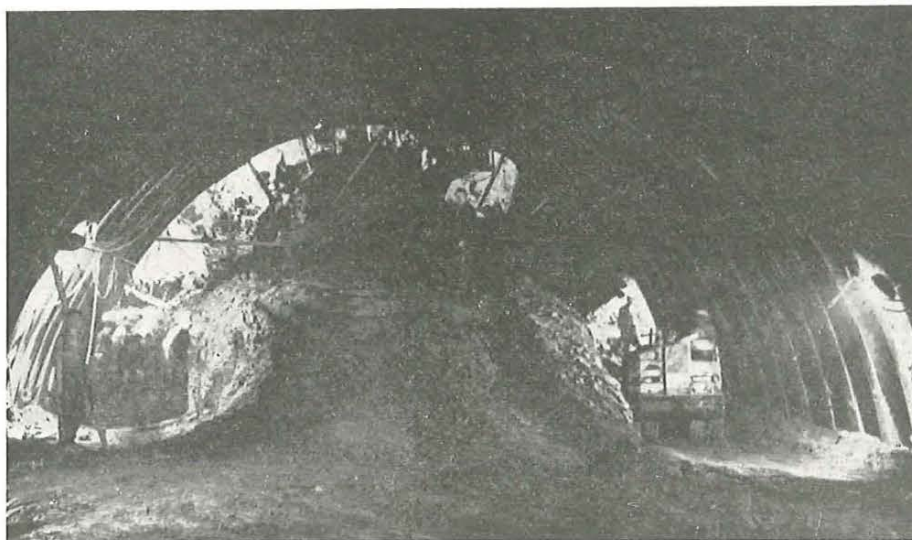


Fig. 15

Creusement de la saignée annulaire; on aperçoit en couronne à front les étaçons Wannheim soutenant les poutrelles coras, ainsi que la machine de pose des cintres. Le chargement des déblais dans les deux tranchées latérales est effectué au moyen d'une chargeuse à godet sur pneus.

Het drijven van een ringvormige gleuf; men ziet in de kroon aan het front de stijlen Wannheim die de voorspankappen ondersteunen alsook de machine voor het plaatsen van de bogen. Het laden van de stenen in de beide zijdelings geplaatste grachten gebeurt met een emmerlaadmachine op luchtwielen.

#### 43. Enlèvement des terres du stot central

L'enlèvement des terres du stot central s'effectue en plusieurs étapes.

a) A 15 m en arrière du front d'attaque de la voûte, les roches sont abattues et chargées jusqu'à 1,30 m au-dessus des massifs de piédroits au moyen d'un track-excavator (fig. 16) sur chenilles, qui enlève facilement les roches fortement altérées. Le front de travail est incliné. Les déblais sont évacués par un transporteur à courroies jusqu'au point de chargement en camions. Le volume de roches en place

#### 4.3. Het wegnemen van het centrale massief

Het wegnemen van het centrale massief gebeurt in verschillende fazen.

a) 15 m achter het front van het gewelf wordt het gesteente weggenomen tot op 1,35 m boven het peil van de steunbeermassieven met behulp van een track-excavator (fig. 16) op rupskettingen, die met het wegnemen van de sterk verweerde rotsen geen moeite heeft. Het werkfront ligt hellend. De stenen worden op een vervoerband naar het punt gebracht waar ze in vrachtwagens komen. Dit toestel laadt

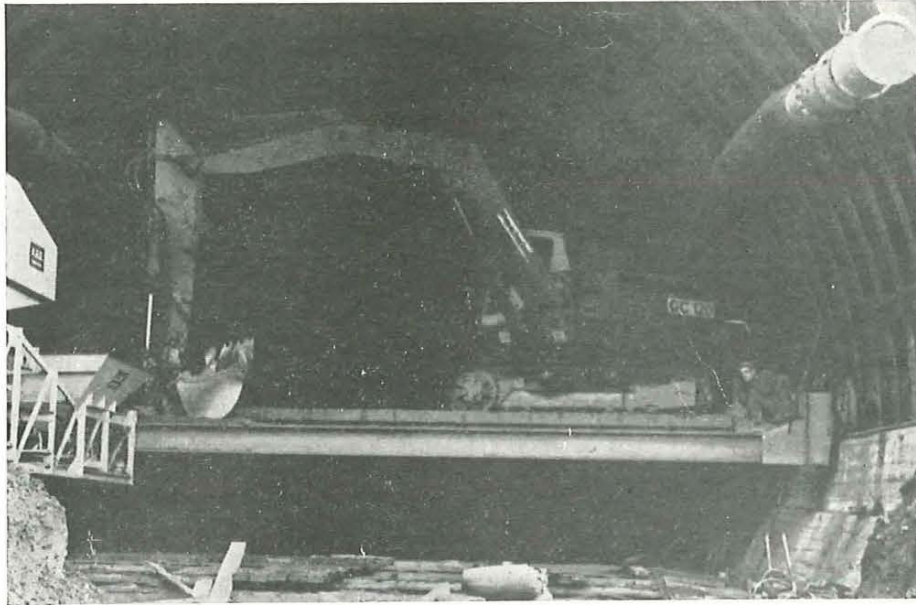


Fig. 16

Track-excavator monté sur chenilles utilisé pour le chargement des déblais du stot central.

Track-excavator op rupskettingen die gebruikt wordt voor het laden van de stenen van het centrale massief.

chargé par cet engin est de 150 m<sup>3</sup>/jour, ce qui correspond à un avancement de 2 m.

- b) A 40 m en arrière du front, les roches du radier sont chargées et enlevées par une pelle à godet Poclairn sur chenilles roulant sur un jeu de grosses poutrelles prenant appui sur les deux massifs de piédroits. Le bord d'attaque du godet a été renforcé et armé de pics pour attaquer et briser le massif de roches du radier.

Les déblais sont également évacués vers l'arrière par un transporteur à courroies fixé à deux petits ponts roulants. Le volume de roches en place chargé par cet engin est de 250 m<sup>3</sup>/jour, ce qui correspond à un avancement de 5 m. Le personnel nécessaire à ce travail a été de 4 hommes/poste en 2 postes de travail.

#### 44. Creusement et revêtement du radier

Dès que les déblais sont suffisamment enlevés, on cale un étau d'une capacité de 100 t entre les deux massifs de piédroits. Ces étaux sont placés tous les 2 m à la base de ces massifs.

On enlève ensuite à mesure de l'avancement la poutrelle de couronne du revêtement des deux galeries pilotes et on coupe au chalumeau la partie supérieure de la poutrelle de paroi située du côté de l'axe du tunnel.

Dès que le creusement du fond du radier est achevé sur une passe de 1 m, on pose des tôles ondulées sur le sol, puis on place un cintre métallique contre les tôles. Ces cintres sont formés de deux éléments cintrés en profil 340, reliés par éclisses et couvre-joints. Les

per dag 150 m<sup>2</sup> vast gesteente; deze hoeveelheid komt overeen met een vooruitgang van 2 m.

- b) 40 m achter het front wordt het gesteente van de bedding weggenomen en opgeladen door een schep-lader Poclairn op rupskettingen; deze machine loopt over een stel zware balken die zelf op de massieven der steunberen rusten. De snijkant van de lader Poclairn werd versterkt en voorzien van beitels, waarmee hij het rotsmassief van de bedding kan bewerken en breken.

De stenen worden eveneens naar achter gebracht met behulp van een vervoerband die aan twee rolbruggen hangt. Dit toestel laadt 250 m<sup>3</sup>/dag vast gesteente, hetgeen overeenkomt met een vooruitgang van 5 m. Dit werk vergde twee diensten per dag en 4 man per dienst.

#### 44. Drijven en bekleden van de bedding.

Zohaast de stenen voldoende verwijderd zijn spant men een stijl van 100 t tussen de twee massieven der steunberen. Deze stijlen worden om de twee meter geplaatst tussen de basissen der massieven.

Vervolgens neemt men naargelang van de vooruitgang de twee kroonprofielen van de bekleding in de twee richtgalerijen weg en van het wandprofiel aan de kant van de tunnelas brandt men het bovenste deel weg.

Zohaast de bodem van de bedding gevormd is over een afstand van 1 m plaatst men op deze bodem gegolfde platen en legt men op deze platen een ijzeren boog. Deze bogen zijn gevormd uit twee gebogen profielen van 340 mm, aan elkaar gemaakt door middel van lasplaten en strippen. De uiteinden van deze bogen

extrémités de ces cintres sont scellées et boulonnées dans les logements prévus à la base des massifs de piédroits.

Le vide entre les cintres et les tôles ondulées est soigneusement bétonné.

#### 45. Bétonnage de l'anneau intérieur

Après l'achèvement de la pose en plusieurs étapes du soutènement métallique commence le bétonnage de l'anneau intérieur du tunnel, qui s'opère en deux phases se suivant de près.

Le radier est d'abord bétonné (fig. 17) par tronçons de 4 m de largeur à l'aide d'un coffrage métallique (voir coupe EE, fig. 8).

worden vastgeankerd en geschroefd in openingen die daartoe in de voet van de massieven gelaten werden.

De ruimten tussen de bogen en de gevolgde platen wordt zorgvuldig betonneerd.

#### 45. Het betonneren van de binnenste ring

Nadat de verschillende fazen van het plaatsen der metalen ondersteuning beëindigd zijn begint men met het betonneren van de binnenste ring van de tunnel, hetgeen ook gebeurt in twee fazen die kort op elkaar volgen.

Vooreerst wordt de bedding gebetonneerd (fig. 17) in stukken met een breedte van 4 m en met behulp van een metalen bekisting (zie doorsnede EE op fig. 8).



Fig. 17

Tunnel après le bétonnage du radier.

De tunnel na het betonneren van de bedding.

Le coffrage de la partie supérieure de l'anneau est fixé sur un échafaudage métallique roulant sur des redents prévus dans le radier bétonné (voir coupe FF, fig. 8). Cet échafaudage sert aussi de plancher pour la pose des armatures. La longueur de ce coffrage est de 8 m.

Le bétonnage est effectué par une pompe Schwing placée à l'entrée du tunnel, qui a un débit de 20 m<sup>3</sup>/heure à une pression maximale de 180 kg/cm<sup>2</sup>. Le béton est envoyé par une conduite métallique de 150 mm de diamètre jusqu'à l'échafaudage. Cette tuyauterie est terminée par un flexible de 1 m de longueur et 2 cm d'épaisseur de paroi qui est introduit dans des ouvertures ménagées dans le coffrage. Ces ouvertures sont obturées à mesure de la montée du béton dans le coffrage.

De bekisting van het bovenste gedeelte van de ring rust op een ijzeren stelling die zich voortbeweegt over ribben die in het beton van de bedding gemaakt zijn (zie doorsnede FF op fig. 8). Deze stelling dient tevens als werkvloer tijdens het plaatsen van de bewapening; de bekisting is 8 m lang.

Het betonneren gebeurt met een Schwing-pomp aan de tunnelingang, met een uurdebiet van 20 m<sup>3</sup> en een maximale druk van 180 kg/cm<sup>2</sup>. Het beton gaat door een metalen buis met een doormeter van 150 mm tot aan de stelling. Ze eindigt in een slang van 1 m lengte en een wanddikte van 2 cm die men in de daartoe bestemde openingen in de bekisting steekt. Naarmate het beton achter de bekisting stijgt worden deze openingen dichtgemaakt.

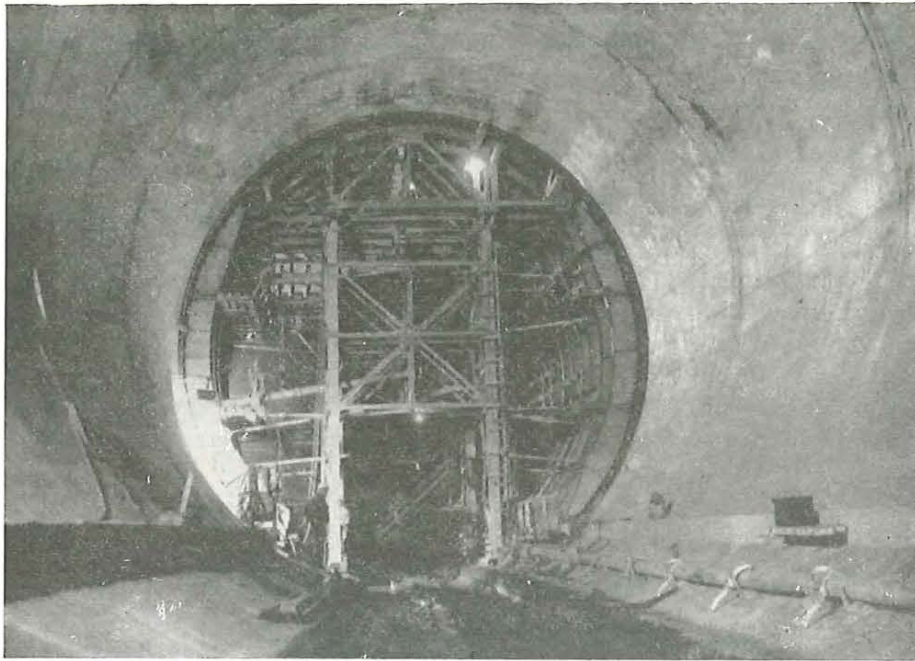


Fig. 18

Vue du coffrage métallique mobile pour le bétonnage de la partie supérieure de la voûte.

Zicht op de beweegbare metalen bekisting gebruikt voor het betonneren van het bovenste deel van het gewelf.

Le bétonnage de la clef de voûte est réalisé par une tuyauterie fixée contre la face intérieure du coffrage métallique. Cette tuyauterie possède quatre tiroirs qui permettent de régler la progression du bétonnage dont l'avancement est contrôlé par des trous de visite. En réalité, un seul de ces tiroirs a été utilisé par passe de 8 m.

#### 46. Injection de mortier derrière les liner-plates.

Avant le bétonnage de l'anneau intérieur, une série de tuyauteries ont été placées, destinées à l'injection de mortier dans le vide entre les liner-plates et le terrain, rempli antérieurement déjà de gravelles.

La pression du produit injecté ne peut dépasser  $10 \text{ kg/cm}^2$  suivant les prescriptions des Chemins de Fer.

La composition qui a donné les meilleurs résultats est la suivante :

- 130 litres d'eau;
- 150 kg de ciment sursulfaté;
- 130 kg de sable jaune;
- 5 kg de bentonite.

### 5. Conclusions

Ce travail a pu être mené à bonne fin, sans aucun éboulement malgré la très mauvaise qualité des roches traversées.

Voor het betonneren van de sluitsteen van het gewelf gebruikt men een leiding die bevestigd wordt aan de binnenkant van de ijzeren bekisting. Deze leiding bevat vier schuiven voor regeling van de vooruitgang van het betonneren, waarvan de vordering langs kijk-gaten gecontroleerd wordt. In werkelijkheid wordt er één van deze schuiven gebruikt per pas van 8 m.

#### 46. Het inspuiten van mortel achter de liner-plates.

Vooraleer de binnenring gebetonneerd wordt, werd een aantal buizen geplaatst voor het injecteren van mortel in de ruimte tussen de liner-plates en het gesteente, welke ruimte reeds vroeger opgevuld werd met keien.

Volgens de voorschriften van de Spoorwegen mag de druk bij het injecteren niet boven de  $10 \text{ kg/cm}^2$  gaan.

De beste resultaten werden bekomen met de volgende samenstelling :

- 130 liter water;
- 150 kg overgesulfateerde cement;
- 130 kg geel zand;
- 5 kg bentoniet.

### 5. Besluiten

Ondanks de zeer slechte hoedanigheid van het gesteente kon dit kunstwerk tot een goed einde gebracht worden zonder één enkele instorting.

Cette exactitude dans la découpe de l'excavation a permis de réduire au minimum les quantités de mortier et de béton injectées.

Un tassement de 2 à 3 cm et même localement de 10 cm a été constaté au sommet de la colline, à l'aplomb du tunnel. Ce tassement doit être attribué, en partie, au vide d'au moins 3 cm d'épaisseur laissé entre le terrain et les liner-plates, par le passage des palplanches. Ce vide était déjà envahi par les éboulis avant l'injection de gravelles qui suivait le placement de chaque cintre métallique.

\* \* \*

Nous remercions la Société des « Pieux Franki » et la Société Nationale des Chemins de Fer Belges de nous avoir autorisés à publier un compte rendu sur le travail de creusement du tunnel de Huy.

Nous tenons à féliciter et à remercier spécialement Monsieur Allard, Ingénieur, Chef de Service aux Pieux Franki, qui a mené à bonne fin ce chantier très difficile et qui nous a beaucoup aidés pour la rédaction de ces notes.

Dank zij de nauwkeurigheid waarmee het drijfwerk werd verricht kon een minimale hoeveelheid mortel en beton volstaan.

Een verzakking van 2 tot 3 cm en plaatselijk zelfs van 10 cm kon op de top van de heuvel vastgesteld worden, vlak boven de tunnel. Deze verzakking moet althans gedeeltelijk toegeschreven worden aan de opening met een dikte van 3 cm die gelaten wordt tussen het gesteente en de liner-plates voor het doorlaten van de damplanken. Deze opening was reeds door breukstenen ingenomen voor de keien, onmiddellijk na het plaatsen van de ijzeren ondersteuning, konden aangebracht worden.

\* \* \*

Wij danken de Maatschappij « Pieux Franki » en de Nationale Maatschappij der Belgische Spoorwegen die ons toegestaan hebben een verslag te publiceren over het drijven van de tunnel te Huy.

Onze bijzondere gelukwensen en dank aan dhr Allard, Ingenieur Diensthoofd bij Pieux Franki, die dit moeilijk werk tot een goed einde gebracht heeft en ons voortreffelijk geholpen heeft bij het opstellen van onze nota.

---