



DE NIEUWE TUNNEL VAN HOEI

IN een artikel dat in februari 1968 in dit tijdschrift gepubliceerd werd, hebben wij uitgelegd waarom het, met het oog op de elektrificatie van de lijn Luik - Namen, nodig was te Hoi een nieuwe tunnel voor dubbelspoor te bouwen ter vervanging van de huidige tunnel voor enkelspoor. Hierin werd herinnerd aan de bewogen geschiedenis van de oude tunnel sedert zijn bouw, in 1847, voor verkeer op dubbelspoor, tot zijn wijziging, in 1904, toen er het rijden op enkelspoor ingevoerd werd. Uit deze beschrijving kon worden opgemaakt dat het terrein waarin de tunnel werd uitgegraven zeer gevaarlijk is, dat het gemakkelijk in beweging komt en dat het een aanzienlijke druk uitoefent op de kunstwerken.

De bouwwerken van de nieuwe tunnel bleken dus a priori erg moeilijk wegens de aard van het terrein, de nabijheid van de in dienst zijnde tunnel, de dunne grondlaag boven het gewelf, de aanwezigheid van woonhuizen boven de tunnel en de belangrijke doorsnede die men aan de tunnel diende te geven.

Daar een diepgaand onderzoek van de structuur en de eigenschappen van het betrokken terrein van het hoogste belang zijn bij dergelijke werken, hebben wij voor dat onderzoek een beroep gedaan op de h. De Beer, professor aan de Gentse Universiteit, die op het stuk van grondmechanica een specialist met internationale faam is.

Aard van het terrein.

De uitgevoerde grondboringen hebben aangetoond dat het terrein hoofdzakelijk samengesteld is uit silurische leisteen met veel barsten, talrijke afschuivingen, doorsneden met breuken die gevuld zijn met verweerde rotsen welke min of meer kleiachtig geworden zijn.

De algemene helling van de lagen schommelt tussen 20 en 65° in zuidelijke richting, dus bijna loodrecht op de aslijn van de tunnel.

Om de kenmerkende eigenschappen van de aanwezige rotsen te bepalen, werden, hetzij in het laboratorium, hetzij « in situ », talrijke proeven uitgevoerd, waaronder :

- Lugeon-proeven om de doorlatendheid van de rotsen te meten : deze bleek gering te zijn ;
- Pressiometerproeven waardoor de vervorming van de rotsen kan worden bepaald ten opzichte van de uitgeoefende druk. De bekomen waarden van de pressiometrische modulus zijn doorgaans gering, soms geringer dan die welke in de Boomse klei gemeten worden.

In het laboratorium werden de geboorde kernen aan diverse proeven onderworpen om de fysische en chemische eigenschappen van de monsters en hun mineralogische structuur te bepalen. Zo waren er o.m. :

- Drukproeven op prisma. Voor de gaafste delen vertoonden deze proeven zeer veranderlijke weerstanden begrepen tussen 17 en 235 kg/cm². Die grote spreiding is te wijten aan de richting van de barsten in de kernmonsters ;
- Het meten van de weerstand van de rots die evenwijdig met haar gelaagdheidsvlak belast wordt ;
- Zwellingsproeven na toevoeging van water en diffractometerproeven met X-stralen. De bekomen resultaten hebben het mogelijk gemaakt een deel van de beproefde monsters te rangschikken onder de zwellende of expansieve rotssoorten. Dat soort terrein wordt gekenmerkt door een aanzienlijke druk op de kunstwerken ;
- Verbrokkelingsproeven van de rots door onderdompeling in water. Merkwaardig was te zien hoe stukjes kernmonsters die in droge toestand gaaf en hard schenen te zijn, snel afbrokkelden en een zwartachtige modder vormden. Soms waren de monsters reeds na vijf minuten volledig ontbonden ;
- Ontledingen van het tijdens de boringen aangetroffen water, hebben aan het licht gebracht dat dit

water nogal rijk is aan sulfaten en, bijgevolg, het beton aantast.

Wat leerde het onderzoek van het terrein ?

De nieuwe tunnel te Hoesi moet worden gebouwd in een sterk gespleten leisteen die min of meer ontaard is.

Heel het terrein is breccieus, d.w.z. dat het gesteente gemakkelijk in kleine stukjes uiteenvalt. De aange troffen leisteen brokkelt snel af wanneer hij met water in aanraking komt; hij mag onder de gesteenten-vloei toestand gerangschikt worden, en bepaalde zones kunnen expansief zijn.

Gelet op de kenmerkende eigenschappen van dit gesteente en op de dikte van de grondlaag boven de tunnel (maximum 15 meter), mocht men besluiten dat de tunnel berekend diende te worden om bestand te zijn tegen een verticale druk van 40 ton per m² en een aanzienlijke horizontale druk die eventueel de verticale druk kon evenaren. Bij wijze van vergelijking weze gezegd dat die druk overeenstemt met die van een 40 m hoge waterzuil, of nog, dat hij tienmaal zo groot is als die welke voor de berekening van de spoorbruggen aangenomen wordt.

Gegevens van het probleem.

- De doorsnede van de opening is vanzelfsprekend afhankelijk van het profiel van vrije ruimte, vastgesteld voor een geëlektrificeerd dubbelspoor (zie fig. 1);
- De tunnel moet gebouwd worden met een kromtestraal van 409 m. De afstand tussen de oude en de nieuwe tunnel schommelt tussen 4 m en 20 m, hij is het kleinst aan de ingang kant Luik (zie fig. 2, blz. 8);
- Gezien de aard van de bodem en de enorme druk, heeft de h. De Beer, steunend op de werkzaamheden van de h. Terzaghi, Amerikaans specialist in grondmechanica en in tunnelbouwwerken, een volkomen ringvormige bekleding aanbevolen;
- Het kunstwerk moet zo opgevat en uitgevoerd worden dat de bewegingen van het terrein zoveel moge-

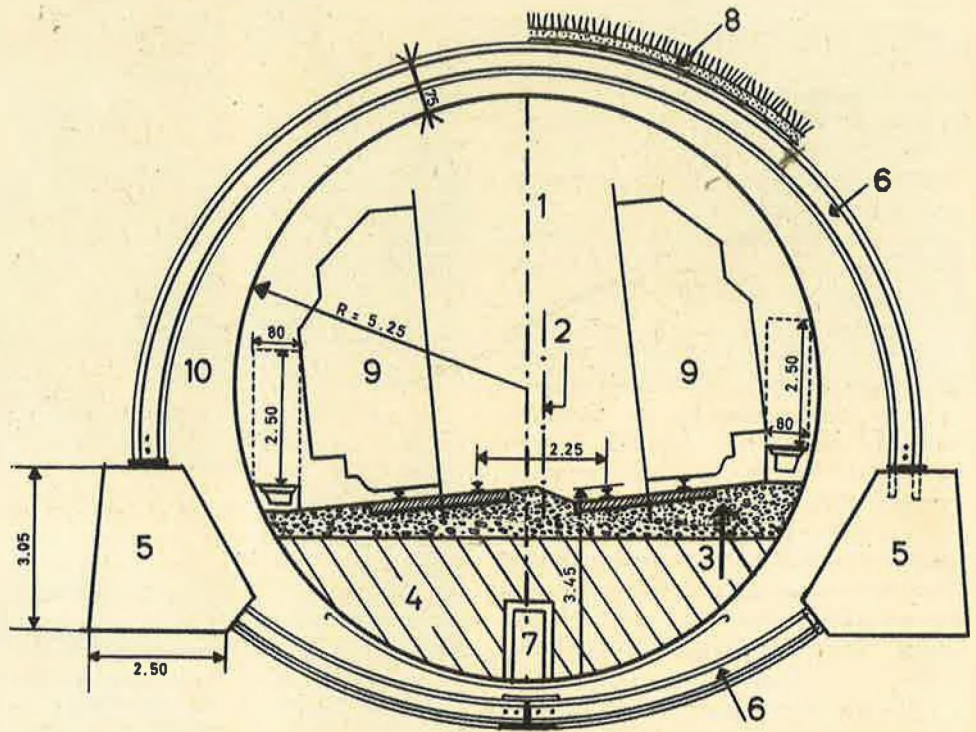


Fig. 1 : 1. Aslijn van de tunnel; 2. Aslijn van het tussenspoor; 3. Ballast; 4. Doorlatende materialen; 5. Galerijen van de steunmassieven; 6. Balken HE 340 B (farmen); 7. Centrale sleuf; 8. Injectie van cementmortel tussen het wandgesteente en de blinderingsplaten; 9. Profiel van vrije ruimte ter hoogte van de sporen in bocht; 10. Blinderingsplaten.

lijk beperkt worden, want eenmaal dat die bewegingen aan de gang zijn, wordt de druk al maar sterker.

De gekozen oplossing omvat :

- Het bouwen van twee betonnen steunmassieven (fig. 1, zie 5);
- Steunend op die massieven, het plaatsn — om de meter — van ringvormige, metalen formelen (zie 6). Die formelen zijn samengesteld uit Grey-liggers van 34 cm hoogte. Metalen blinderingsplaten ondersteunen de grond, ze zijn op de formelen vastgezet;
- Het plaatsn van metalen vloergewelven om de steunmassieven te schoren;
- Het bedekken van de formelen met een betonlaag van ten minste 75 cm dikte;
- Het aanleggen van een sleuf voor de afvoer van het water (zie 7);
- Het ophogen, tot op het niveau van de ballast, met doorlatende materialen (zie 4).

De werken werden toegewezen aan de firma Franki uit Luik, die ze uitgevoerd heeft volgens de uitgravingsmethode en met de hierna beschreven middelen.

Eerste fase : uitgraven van de galerijen voor de steunmassieven.

Twee galerijen voor de steunmassieven worden gelijktijdig uitgegraven. De opening van die galerijen bedraagt ongeveer 10 m². Naarmate het graven vordert, worden er, om de meter, metalen ramen geplaatst, samengesteld uit profielijzers van 22 cm hoogte.

Tussen die ramen en het wandgesteente worden metalen blinderingsplaten geschoven; de ruimte tussen deze platen en het wandgesteente wordt onmiddellijk aangevuld met behoorlijk aangestampte steenslag. Tijdens deze fase was de watertoevoer niet bijzonder overvloedig, maar toch voldoende om de bodem van de galerij te veranderen in een dikke laag slijk die het verkeer van de behandelingsmachines hinderde (zie foto 1).

Na de uitgraving van de galerijen wordt de bodem ervan zorgvuldig schoongemaakt, daarna wordt er een betonvloer gegoten en worden de steunmassieven gebetonneerd. Die werken waren vrij lastig wegens de aanwezigheid van water en de engheid van de beschikbare ruimte (zie foto 2).

Na het betonneren van de steunmassieven, voltooiën ten slotte, injecties van cementmortel de behoorlijke vastzetting van het wandgesteente aan de achterzijde van die massieven.

Tweede fase : uitgraving van het gewelf tot op het bovenste niveau van de steunmassieven.

De grootste moeilijkheid bestaat erin de blinderingsplaten aan te brengen en ze, om de meter, te ondersteunen met metalen formelen die op de steunmassieven rusten. Het komt er dus op aan, over heel de ontwikkeling van het gewelf tussen de steunmassieven, een cirkelvormige ring te kunnen uitgraven van ongeveer 13,50 m middellijn, die iets meer dan een meter diep is. Zelfs over een zo geringe diepte kon men, gezien de structuur van het terrein, niet verwachten dat de grond zonder steunen zou standhouden.

De door de ondernemer toegepaste werkwijze bestaat erin te werken onder een dak van metalen damplanken die horizontaal in het terrein voortschuiven. Die damplanken van 20 cm breedte en 1,50 m lengte worden horizontaal, één voor één en met schreden van 10 cm, in de rots geduwd. Aan de voorkant steunen ze op het terrein en aan de achterkant op een gewelf van gedreven platen van 40 cm breedte, « liner-plates » genoemd.

Die blinding, welke rust op de steunmassieven, wordt op bepaalde plaatsen geschraagd door vijzels



Foto 1 : ingang richting Namen - uitmonding van de galerijen. Let op de verluchtungsbuizen van het werkfront en het slijk dat uit de galerijen vloeit.

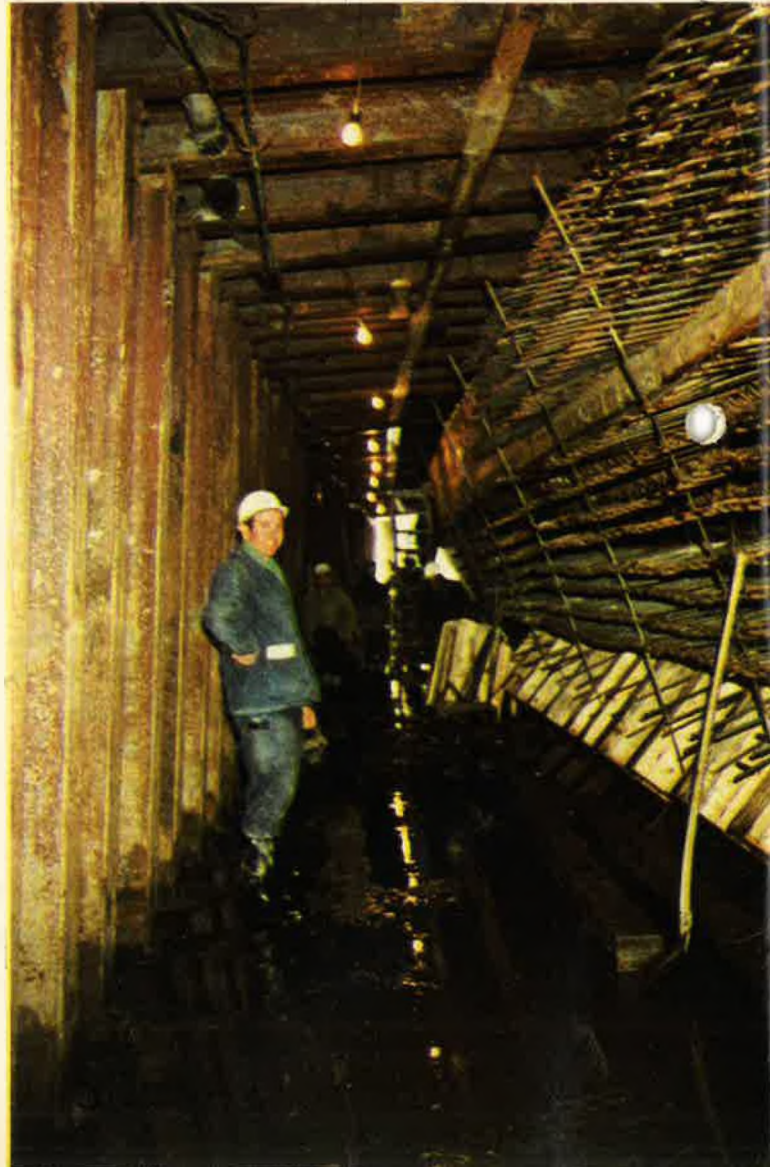


Foto 2 : galerijen van de steunmassieven - Plaatsen van de bewa- pening.



Foto 3 : ingang richting Namen. Plaatsen van de eerste formelen (mei 1968).



Foto 4 : ingang richting Namen - Buitenaanzicht van de blinderingsplaten (« liner-plates »). De horizontale damplanken zijn geplaatst, hun indringen in het rotsgesteente is begonnen. Bovenaan, in het midden, toestel voor het verplaatsen van de formelen.



Foto 5 : werkfront, beveiligd door de « liner-plates », steunvijzels, uiteinde van de damplanken. Let op de stut die gebruikt wordt om de damplanken in te duwen.



Foto 6 : werkfront. Formelen en centrale « stross ».

van 40 t die op de centrale « stross » steunen.

Beschermd door de damplanken wordt het terrein uitgegraven over de omtrek van de los te maken ring, en zulks op een hoogte van 1,70 m. De centrale « stross » wordt tegen het werkfront gehandhaafd om de druk van de grond op dit laatste te keer te gaan.

Zodra de uitgraving voldoende ver gevorderd is, wordt een nieuw gewelf van « liner-plates » aangebracht en met vijzels vastgezet. Wanneer de ruimte voor het plaatsen van een metalen formeel uitgegraven is, wordt dit laatste op de « liner-plates » aangebracht en vastgemaakt op de steunmassieven. De « liner-plates » worden vervolgens vastgezet op de formelen door middel van profielijzers die op twee opeenvolgende gewelvbogen steunen. Als dit werk gedaan is, worden de vijzels verwijderd die de « liner-plates » steunen en kan een nieuwe cyclus herbeginnen (zie foto's 3 tot 8).

De ruimten die ontstaan na het verwijderen van de damplanken, worden aangevuld met fijn grint dat achter de « liner-plates » ingespoten wordt.

Op minimum vijftien meter afstand van het werkfront, verwijderen machines de centrale « stross » tot op een hoogte die overeenkomt met de bovenkant van de steunmassieven. Een transportband voert

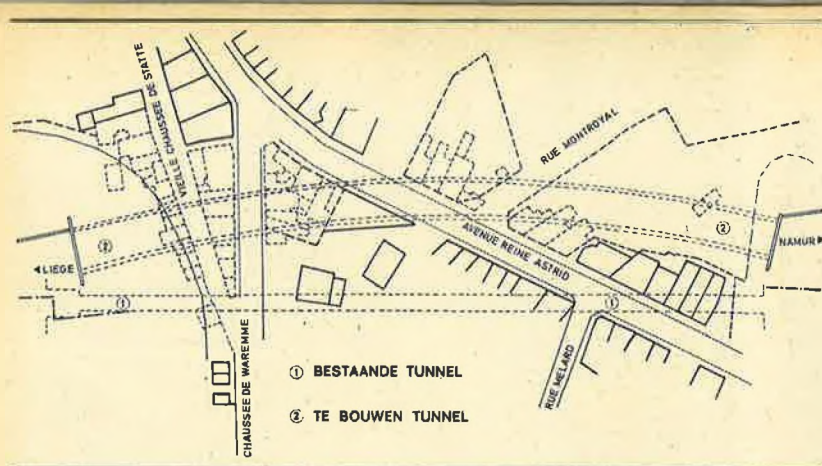


Fig. 2 : liggingsgrondplan.

de grond naar achteren waar hij op vrachtwagens gestort wordt.

Toen de werklieden (ingedeeld in twee ploegen, een dag- en een nachtploeg) eenmaal goed met hun werk vertrouwd waren, konden twee formelen per dag geplaatst worden.

De geleiding van de damplanken ging gepaard met enige moeilijkheden die een uitgraving buiten profiel tot gevolg hadden, een uitgraving die op sommige plaatsen 80 cm bereikte.

Het tracé in bocht van de tunnel veroorzaakte bovendien ook enkele bijkomende hindernissen bij het plaatsen van de « liner-plates ». Aangezien de platen een constante breedte van 40 cm hebben, dienden er vulstukken van veranderlijke dikte te worden aangebracht tussen de opeenvolgende gewelven van « liner-plates » om het verschil van ontwikkeling tussen de binnenkant en de buitenkant van de bocht te compenseren.

Derde fase : uitgraven van de vloer van de tunnel en plaatsen van de onderste formelen.

Tot hier toe zijn de steunmassieven nog altijd vastgezet op de ramen van de galerijen, die op hun beurt vastzitten op de rotswand. Nu volgt het weghalen van de rots tussen de steunmassieven en het uitgraven van het centraal gedeelte tot op 2 m onder het funderingsniveau van die massieven, ten einde de formelen van de vloer te kunnen aanbrengen.

Om elke beweging van de steunmassieven, als gevolg van de aanzienlijke horizontale druk van het wandgesteente te voorkomen, wordt, zodra de grond op de volle hoogte van de steunmassieven over een afstand van 2 m weggeruimd is, een stut met een weerstandsvermogen van 100 t geplaatst om de massieven te schoren (foto 9). Daarna wordt het graven van de vloer voortgezet.

Gegolfde plaatijzers worden op de grond geplaatst om de belasting van het onderste formeel te verdelen. Dit formeel wordt onmiddellijk aangebracht, ingemetseld in de gaten die reeds in de steunmassieven aanwezig zijn en vastgezet op de verdeelplaten door betonvulling.

De uitvoering van deze fase verloopt op ongeveer 40 m afstand van de plaats waar de frontwerken aan de gang zijn, zodat die frontwerken ongehinderd kunnen geschieden. Een retroschop, opgesteld op een brug



Foto 7 : werkfront. Plaatsen van een formeel.

waarvan de rolbaan zich op de steunmassieven bevindt, graaft de grond weg die via een transportband gestort wordt in de vrachtwagens die dan verder zorgen voor het verwijderen van die grond.

Na het vastgieten van de vloerformelen worden de stutten van 100 t tussen de steunmuren weggenomen.

Vierde fase : betonwerk.

De vloer wordt eerst gebetonneerd met moten van 4 m met behulp van een glijdende metalen bekisting.

Om het gewelf te betonneren, plaatst men dan een metalen bekisting die rijdt op de afgewerkte vloermoten; haar steunvakwerk is bijna 10 m hoog. De bekisting maakt het mogelijk het gewelf te betonneren met moten van 8 m lengte (foto 10). Het beton wordt er ingepompt via openingen die in de bekisting aangebracht zijn en die afgesloten worden naarmate de stijging van het beton. Voor het betonneren van de top van het gewelf worden speciale voorzorgsmaatregelen genomen ten einde het vormen van ledige ruimten onder de « liner-plates » te voorkomen. Vermeldenswaard is dat er, ten gevolge van de aantastende aard van het ter plaatse aanwezige water, voor het beton supersulfaatcement werd gebruikt dat volledig tegen calciumsulfaat houdend water bestand is.

Na verharding van het beton wordt tussen de « liner-plates » en het wandgesteente cementmortel ingespoten om de vastzetting volledig te maken.

Vervolgens en tot slot is het de beurt aan : de centrale sleuf, de kopmuren van de tunnel en de verschillende voltooiingswerken. De kopmuren zijn van gewapend beton, bekleed met breuksteen uit de streek.

Allerlei.

Bij wijze van inlichting willen we hier vermelden dat voor de bouw van de tunnel 68.000 m³ grond diende uitgegraven te worden, ongeveer 11.800 m³ beton verwerkt en 1.500 ton staal gebruikt werden.

Dank zij de getroffen veiligheidsmaatregelen viel er tijdens de werken geen enkel ernstig ongeval te betreuren.

De bewegingen van het terrein waren weinig belangrijk. Gedane metingen, in boringen die uitgevoerd wer-



Foto 8 : monding van de uitgraving aan de ingang naar Luik (geboord op 14-12-68).

den tussen de oude en de nieuwe tunnel met behulp van een inclinometer, brachten slechts geringe grondverschuivingen aan het licht. In de oude tunnel werd hiervan geen enkele ernstige terugslag waargenomen. Tijdens de werken onder de Koningin Astridlaan werden er, over een korte afstand recht boven de top van het gewelf, verzakkingen van stoëpbanden geconstateerd van nagenoeg 10 cm. Op die plaats bedraagt de deklaag van de tunnel ongeveer 12,50 m, maar men mag niet vergeten dat de uitgraving meer dan 15 m breed en 12 m hoog is.

De gronddruk manifesteerde zich binnen in de tunnel door vervorming van liggers geplaatst tussen de « liner-plates » en de metalen formelen. Op talrijke plaatsen werden die Grey-liggers volledig verwrongen of platgedrukt (foto 11).

Tijdens de uitgravingen bleek het rotsgesteente werkelijk uitvloeiend. Zijn weerstandsvermogen was uiterst veranderlijk ; rotswanden die op het eerste gezicht gaaf en hard leken, konden met de hand afgerukt worden, terwijl op andere plaatsen de hulp van een pneumatische hamer onontbeerlijk was. De leisteenachtige lagen, qua ligging zeer uiteenlopend, waren steeds erg glad, meestal bedekt met een laagje zeer fijne klei die vettig aanvoelde.

Bij het aanleggen van de taluds aan de ingang kant Luik, hebben zich belangrijke grondverschuivingen voorgedaan, voornamelijk in het noordelijke talud, zulks ondanks het feit dat de nieuwe hellingen identiek waren met die welke er vroeger bestonden (8,5/4). De stabiliseringswerken van dit talud zijn aan de gang : zijn helling wordt beperkt tot 12/4 terwijl er boorpalen in aangebracht worden van gewapend beton, met een middellijn van 1,5 m.

De werken voor het bouwen van de tunnel van Hoi werden aangevat op 4 september 1967, het betonwerk van de koker werd half-mei 1969 voltooid. Hij zal begin 1970 in gebruik genomen worden nadat de aanpassingswerken in de stations Statte en Hoi voltooid zijn. Zo zal, na 66 jaar, een belangrijke hinderpaal verdwijnen die de verbetering van de spoorwegverbindingen tussen Luik en Namen in de weg stond.

A. DEHAEN,
hoofdingenieur.



Foto 9 : plaatsen van de vloerformelen op de verdelingsplaten. Men bemerkt de 2 stutten van 100 t die de steunmassieven schragen.

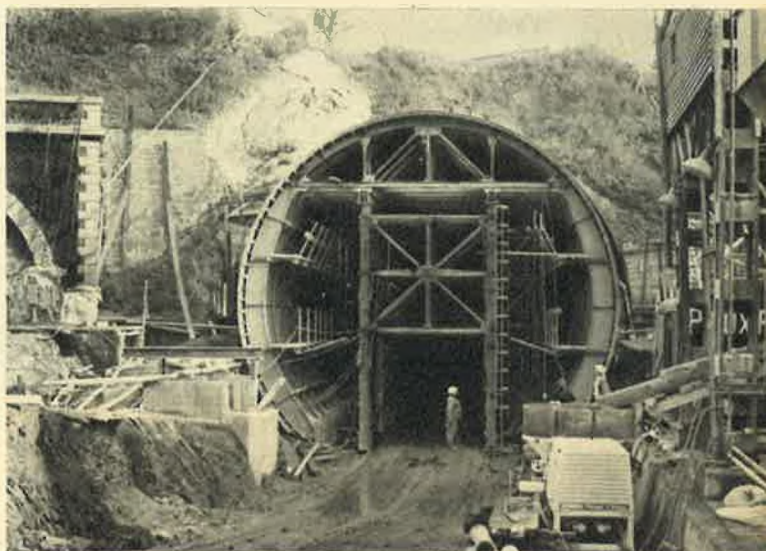


Foto 10 : monteren van de bekistingssteun voor het betonneren van het gewelf.

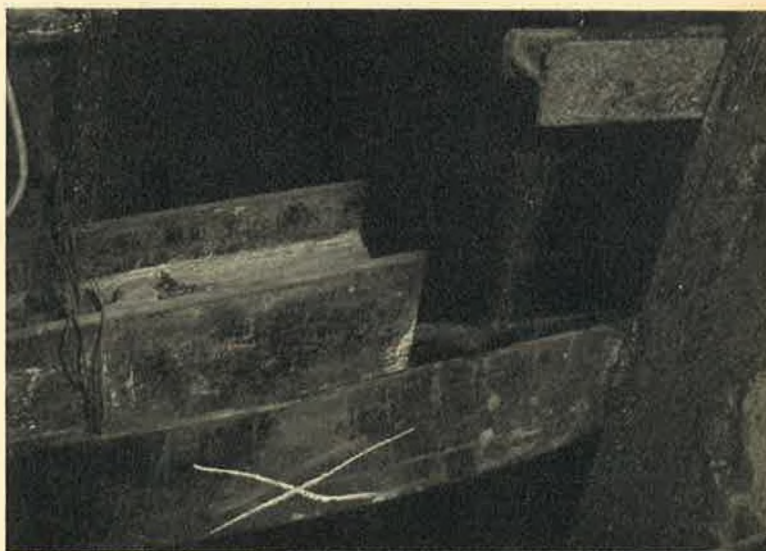


Foto 11 : ligger van 12 cm hoogte voor het stutten van de « liner-plates », volledig vervormd onder de druk van de grond.