

# Essais de divers soutènements

## Proeven met verschillende ondersteuning

H. van DUYSE,

Ingénieur Principal Divisionnaire à l'INIEX  
Eerstaanwezend Divisieingenieur bij het NIEB

### RESUME

Lorsqu'il a lieu de choisir un soutènement de galerie, il importe d'être bien convaincu que les sollicitations sont différentes en boueux, en traçages et en voies de chantier accompagnant des tailles chassantes. Les soutènements auront donc des caractéristiques différentes suivant le type de galerie dont il s'agit. En traçages, par exemple, la forme trapézoïdale ou rectangulaire permet de ne pas entailler le toit. Au passage de la taille, on obtient une dalle de toit continue, ce qui facilite grandement le soutènement à la jonction « taille-voie ». On peut alors prolonger les éléments du soutènement mécanisé de la taille jusque dans la voie sans aucune difficulté.

Cependant, les bancs de toit n'ont pas souvent la solidité voulue pour se maintenir sans déformation ou fracturation au-dessus du vide de la voie. Le boulonnage avec ancrage à la résine sur toute la longueur des boulons constitue un renforcement très efficace des bancs qui ouvre un nouveau champ d'action aux voies de section rectangulaire. Le garnissage est formé par un treillis continu qui relie tous les boulons et qui redescend le long des parois quand cela s'avère nécessaire.

Dans les voies de chantiers liées aux exploitations chassantes, il faut rappeler qu'il n'existe pas de soutè-

### SAMENVATTING

Wie een ondersteuning moet kiezen voor een galerij moet er goed aan denken dat deze op verschillende wijze belast wordt in een steengang, een voorbereidende galerij of een galerij die een voorwaarts gedreven pijler volgt. Bijgevolg moet de ondersteuning andere kenmerken hebben naargelang van het type van galerij waarover het gaat. In voorbereidende galerijen bij voorbeeld heeft de trapeziumvormige of rechthoekige sectie het voordeel dat er niet in het dak gewerkt wordt. Aan de voet van de pijler loopt het dak ononderbroken door, hetgeen het ondersteunen ten zeerste vereenvoudigt aan de verbinding pijler-galerij. In die omstandigheden kan men de elementen der gemechaniseerde ondersteuning van de pijler zonder moeilijkheid verder plaatsen in de galerij.

Meestal zijn de dakbanken echter niet stevig genoeg om zich zonder vervorming of verbrotting te handhaven boven de open ruimte van de galerij. Het verankeren met hars over heel de lengte van de ankerbout betekent een doeltreffende verbetering van het gesteente en opent nieuwe mogelijkheden voor de rechthoekige galerijen. De bekleding bestaat uit een draadnet dat al de bouten onderling verbindt en zo nodig langs de wanden afdaalt.

Voor galerijen van voorwaarts ontgonnen werkplaatsen bestaat er geen enkele ondersteuning die sterk genoeg

(\*) Conférence présentée aux Journées d'Information « Pressions de terrains et soutènement dans les mines » organisées par la Commission des Communautés Européennes à Luxembourg, les 13 et 14 novembre 1969.

(\*) Voordracht gehouden op de Informatiedagen « Gesteentedruk en Ondersteuning in de Mijnen » georganiseerd door de Commissie der Europese Gemeenschappen te Luxemburg op 13 en 14 november 1969.

nement assez résistant pour empêcher tout affaissement des bancs après le passage de la taille. D'ailleurs, le soutènement de ces voies ne peut et ne doit pas s'opposer à l'affaissement général du massif, il doit au contraire le suivre sans offrir de résistance exagérée qui concentrerait la pression sur le revêtement. Il doit simplement avoir un rôle de filet protecteur.

Le soutènement par cadres articulés s'appuyant sur des piles en bois tendres a donné entière satisfaction, même dans les conditions les plus difficiles au point de vue pression de terrain.

L'affaissement régulier des cadres coulissants du genre T.H. n'est guère facile à obtenir du fait que les assemblages sont disposés à 45° par rapport à l'orientation des sollicitations principales.

De plus, certains profils, certaines formes d'assemblages et de cadres ne favorisent pas le coulissement. Celui-ci peut cependant être amélioré quand les extrémités des éléments en contact (bêles et montants) sont cintrés suivant le même rayon de courbure.

En Campine, les boueux sont généralement revêtus d'un soutènement circulaire, qui est le seul à avoir donné satisfaction dans les terrains tendres et fluants qui caractérisent ce gisement.

Des essais fructueux viennent d'être entrepris avec un soutènement circulaire en panneaux de béton armé de 0,20 m d'épaisseur. Par rapport aux claveaux, ce soutènement, qui peut être posé mécaniquement, a permis de doubler l'avancement et le rendement, tant dans des creusements en ferme que dans des recarrages. Dans un bouveau de 4,20 m de diamètre intérieur, l'avancement moyen dépasse actuellement 4 m/jour en 3 postes, avec un personnel de 4 hommes par poste. La résistance de ce soutènement est bonne à la condition expresse de bien remplir le vide entre le terrain et le revêtement.

## INHALTSANGABE

Steht man vor der Wahl eines Streckenausbaus, so muß man sich darüber im klaren sein, daß die Beanspruchungen, denen er ausgesetzt ist, je nach der Art der betreffenden Strecke — Gesteinsstrecken, Abbau-strecken für den Rückbau oder mit dem Streb zu Felde gehende Strecken — durchaus verschieden sind, und dementsprechend muß auch der Ausbau unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. In Flözstrecken für den Rückbau beispielsweise braucht man bei trapezförmigem oder rechtwinkligem Streckenquerschnitt die Hangendschichten nicht anzuschneiden. Beim Durchgang des Strebs hat man dann eine durchlaufende Hangendplatte, was den Ausbau am Übergang zwischen Streb und Strecke außerordentlich erleichtert: Man kann den schreitenden

is om elke verzakking van het dak na het voorbijgaan van de pijler te voorkomen. De ondersteuning moet zich ten andere in deze galerijen niet verzetten tegen de algemene verzakking, maar ze integendeel volgen zonder een overdreven weerstand te bieden, die slechts kan aanleiding geven tot een concentratie van de spanningen op de ondersteunen. Haar enige taak is een beschermende.

De ondersteuning met gelede ramen op houtbokken in zacht materiaal heeft volledige voldoening geschonken, zelfs in de moeilijkste gevallen uit oogpunt gesteentedruk.

Een regelmatige inzinking van de meegeevende ramen van het type TH kan niet gemakkelijk bekomen worden aangezien de verbindingen onder een hoek van 45° staan met de richting van de hoofdspanningen.

Bovendien zijn sommige profielen en sommige vormen van verbinding niet bevorderlijk voor het schuiven; dit verschijnsel verloopt evenwel beter wanneer de uiteinden van de elementen die met elkaar in aanraking komen (kappen en stijlen) dezelfde krommingsstraal hebben.

In de Kempen krijgen de steengangen in het algemeen een cirkelvormige ondersteuning, de enige die voldoening heeft gegeven in het weke en vloeiende gesteente dat dit bekken eigen is.

Men heeft zopas succesvolle proeven ondernomen met een cirkelvormige ondersteuning in panelen in gewapend beton met een dikte van 0,20 m. Deze ondersteuning kan mechanisch geplaatst worden en maakt een verdubbeling van de vooruitgang of het effect mogelijk, en dit zowel in nieuwbouw als in nabraak. In een steengang met een binnendoormeter van 4,20 m maakt men nu een vooruitgang van meer dan 4 m/dag in drie diensten, met een personeel van 4 m per dienst. Deze ondersteuning heeft een bevredigende weerstand op uitdrukkelijke voorwaarde dat de ledige ruimten tussen gesteente en ondersteuning goed opgevuld worden.

## SUMMARY

When a support has to be chosen for a gallery, it is important to be absolutely certain that the stresses are different in the stonedrifts, in the headings and in the main and supply gates involved in advancing faces. The supports will hence have different characteristics according to the type of gallery concerned. In development headings, for example, the trapezoidal or rectangular form makes it possible not to cut into the roof. In the passage of the face, a continuous rock beam is obtained, and this greatly facilitates the support at the junction of the face and road. The mechanized support units can then be extended as far as the road without any difficulty.

Strebausbau ohne weitere Schwierigkeiten bis an die Strecke setzen.

Häufig freilich sind die Dachschichten nicht fest genug, um sich über dem Streckenhohlraum ohne Verformung oder Zerklüftung zu halten. Der Klebankerausbau bedeutet eine äußerst wirksame Verstärkung der Schichten und eröffnet dem rechtwinkligen Streckenquerschnitt ein neues Feld. Als Verzug dient Maschendraht, der die einzelnen Anker miteinander verbindet, und erforderlichenfalls auch an den Streckenstößen heruntergezogen werden kann.

Geben die Abbaustrecken mit dem Streb zu Felde, so gibt es keinen Ausbau, dessen Widerstand groß genug wäre, jede Senkung des Hangenden nach dem Durchgang des Strebs zu verhindern. Im übrigen soll sich der Ausbau in diesen Strecken auch gar nicht der Absenkung des Gebirgskörpers entgegensetzen, sondern vielmehr diese Bewegung mitmachen, ohne ihr einen zu hohen Widerstand zu leisten, der nur hohe Spannkonzentrationen auf den Ausbau zur Folge haben könnte. Der Ausbau soll lediglich als eine Art Schutznetz wirken.

Voll und ganz bewährt haben sich, selbst unter schwierigsten Gebirgsverhältnissen, Gelenkbogen auf Weichholzpfleilern. Bei T.H.-Bogen ist eine gleichmäßige Absenkung des Ausbaus nur schwer zu erreichen, da die Gelenke mit den Hauptspannungen einen Winkel von  $45^\circ$  bilden. Außerdem wird das Gleitvermögen der Bogen durch einige Profile und Gelenkformen beeinträchtigt, läßt sich jedoch verbessern, wenn Firsten- und Stoßsegmente den gleichen Krümmungsradius aufweisen. In der Campine ist man in den Gesteinsstrecken allgemein zum Ringausbau übergegangen, die einzige Form, die in dem weichen und zum Fließen neigenden Gestein dieses Reviers brauchbar ist.

Aussichtsreiche Versuche hat man mit einem Ringausbau aus 20 cm starken Stablbetonschalen unternommen, die den Vorteil haben, daß sich die Ausbaurbeit mechanisieren läßt. Dadurch ist es gelungen, den täglichen Streckenvortrieb und die Auffabrleistung gegenüber dem Betonformsteinausbau zu verdoppeln, sowohl bei Vortriebsarbeiten im unverritzten Gebirge wie beim Nachbauen. In einer Gesteinsstrecke mit einem lichten Durchmesser von 4,20 m beträgt die mittlere Vortriebsleistung zur Zeit 4 m täglich, bei Arbeit in drei Schichten und vier Mann je Schicht. Der Ausbau hat einen hohen Widerstand; allerdings muß man den Hohlraum zwischen Gebirge und Ausbau gut ausfüllen.

Nevertheless, the roof strata do not often possess the necessary solidity to remain free of deformation or cracking above the empty space of the road. Bolting, with resin anchorage over the entire length of the bolts, constitutes a very efficient reinforcement of the beds and opens up a new field of action in roads of rectangular section. The lagging consists of a continuous trellis, which links the bolts together and goes down the walls where necessary.

In the main and supply gates connected with advancing faces, it must be remembered that there is no support that is sufficiently resistant to prevent all subsidence of the beds after the passing of the face. Moreover, the support of these roads cannot and must not oppose the general subsidence of the rock mass; it must, on the contrary, follow this subsidence without affording any exaggerated resistance which would concentrate the pressure on the lining. It must simply act as a protective net.

The support with articulated frames resting on soft wooden chocks has given complete satisfaction, even in the most difficult rock pressure conditions.

The regular subsidence of the sliding frames of the T.H. type is by no means easy to achieve owing to the fact that they are counted at an angle of  $45^\circ$  to the direction of the main stresses.

In addition, certain sections, certain forms of assembly and frames are not favourable to sliding. The latter can, however, be improved when the ends of the units in contact with one another (roof-bars and side sections) are curved according to the same radius.

In Campine, the stonedrifts are generally lined with a circular support, which is the only kind that has proved satisfactory in the soft, creeping rocks which are characteristic of the strata there.

Successful tests have just been undertaken with a circular support in panels of re-inforced concrete, 0.20 m thick. In comparison with concrete blocks, this support, which can be placed mechanically, has enabled the advance and output to be doubled, both when driving in the solid and when re-ripping. In a stonedrift with an inner diameter of 4.20 m, the average advance at present exceeds 4 m/day in 3 shifts, with 4 men per shift. The resistance of this support is good provided the space between the rock and the lining is well filled in.

## SOMMAIRE

1. GALERIES DE SECTION TRAPEZOIDALE.
  11. Cadres trapézoïdaux.
  12. Voies trapézoïdales boulonnées.
  13. Conclusions.
  
2. GALERIES DE SECTION SEMI-CIRCULAIRE OU OGIVALE EN COURONNE.
  21. Cadres coulissants.
    211. Profil, acier et assemblages des cadres.
    212. Coulissement des cadres dans le cas d'une charge appliquée en couronne.
    213. Coulissement de cadres dans le cas de charges appliquées sur des longueurs croissantes de leur pourtour.
    214. Résistance aux poussées latérales.
    215. Résistance maximale de cadres de 29 kg/m.
  22. Cadres articulés sur piles de bois.
  
3. SOUTÈNEMENT PAR CADRES METALLIQUES CIRCULAIRES OU ELLIPTIQUES.
  
4. REVÈTEMENT CIRCULAIRE PAR CLAVEAUX DE BETON OU PAR PANNEAUX EN BETON ARME.
  41. Essais sur les claveaux.
  42. Comparaison entre claveaux et panneaux dans le cas d'une même sollicitation.
  43. Élasticité des revêtements en claveaux et en panneaux.
  44. Influence de la répartition de la charge sur la résistance d'un anneau en panneaux.
  45. Essais sur des anneaux formés de claveaux et de panneaux.
  46. Évolution possible du soutènement circulaire en panneaux.
  47. Conclusions.
  
5. COMPARAISON ENTRE LES DIVERS REVÈTEMENTS CIRCULAIRES ESSAYÉS : CADRES METALLIQUES, CLAVEAUX ET PANNEAUX.

## INHOUD

1. GALERIJEN MET TRAPEZOIDALE SECTIE.
  11. Trapezoïdale ramen.
  12. Trapezoïdale galerijen met ankerbouten.
  13. Besluiten.
  
2. GALFRIJEN MET HALF-CIRKELVORMIGE OF BOVENAAN OVALE SECTIE.
  21. Meegevende ramen.
    211. Profiel, staal en verbindingen der ramen.
    212. Het meegeven der ramen in het geval van een belasting op de kroon.
    213. Het meegeven der ramen in geval de belasting wordt toegepast op een steeds groter wordend gedeelte van hun omtrek.
    214. Weerstand tegen zijdelingse drukkingen.
    215. Hoogste weerstand van de ramen van
  22. Gelede ramen op houtbokken.
  
3. ONDERSTEUNING MET METALEN CIRKELVORMIGE OF ELLIPTISCHE RAMEN.
  
4. CIRKELVORMIGE ONDERSTEUNING MET BETONBLOKKEN OF PANELEN IN GEWAPEND BETON.
  41. Proeven op de blokken.
  42. Vergelijking tussen blokken en panelen bij gelijke belasting.
  43. Elasticiteit van de ondersteuning met blokken en panelen.
  44. Invloed van de verdeling der belasting op de weerstand van een ring in panelen.
  45. Proeven op ringen gevormd uit blokken en uit panelen.
  46. Mogelijke evolutie in de cirkelvormige ondersteuning met panelen.
  47. Besluiten.
  
5. VERGELIJKING TUSSEN DE VERSCHILLENDE BEPROEFDE CIRKELVORMIGE ONDERSTEUNINGSSYSTEMEN : METALEN RAMEN, BLOKKEN EN PANELEN.

Le choix du soutènement le plus adéquat dépend de nombreux facteurs :

- du type de galeries : traçages, voies de chantier, nouveaux, etc;
- de la nature des épontes;
- des conditions tectoniques locales du gisement et de la profondeur;
- de l'épaisseur et de la nature des morts-terrains surplombant le gisement.

Avec les tailles actuelles et futures produisant de 2.000 à 5.000 tonnes par jour, avec un équipement dont le coût peut dépasser 30 millions par chantier, il importe de choisir un soutènement qui ne donne lieu à aucun entretien, ni dans les voies ni dans les nouveaux. Même un revêtement coûteux peut être payant s'il supprime tout entretien, à condition, toutefois, que sa pose n'en-trave pas la progression de la taille.

Il faut rappeler ici que, dans le cas des voies de chantiers liées à des exploitations avançantes, il n'existe pas de soutènement assez résistant pour empêcher toute déformation ou tout affaissement de la voie. Le soutènement de ces voies ne peut et ne doit pas s'opposer à l'affaissement général du massif; il doit au contraire le suivre sans offrir une résistance exagérée qui concentrerait la pression sur le soutènement de la voie. Celui-ci ne doit jouer qu'un rôle de garnissage en empêchant toute dislocation des bancs inférieurs.

### 1. GALERIES DE SECTION TRAPEZOIDALE

Les avantages principaux de la section trapézoïdale sont de maintenir les bancs de roches intacts au toit, d'offrir une hauteur uniforme sur toute la largeur de la voie et de faciliter l'utilisation de soutènements mécanisés aux extrémités des tailles chassantes ou rabattantes.

#### 11. Cadres trapézoïdaux.

La forme trapézoïdale permet de bien orienter les dispositifs coulissants éventuels des montants par rapport aux efforts principaux.

Par contre, ces cadres sont mal armés pour résister aux poussées latérales qui sont fréquentes à hauteur des veines de charbon et de certains bancs de schistes. Sous l'action de ces poussées, les montants fléchissent, les dispositifs coulissants se bloquent et le cadre devient rigide. De plus, ces cadres transmettent les charges directement au mur par l'intermédiaire des montants qui poinçonnent le mur ou qui provoquent le soufflage de la sole.

Seules jusqu'à présent des piles de bois compressibles servant de montants permettent d'atténuer fortement les effets de ces deux grands désavantages : grâce à leur

De keuze van de juiste ondersteuning hangt af van talrijke factoren :

- het type van galerij : galerij in de laag, ontginnings-galerij, steengang, enz...;
- de aard van het nevengeesteente;
- de plaatselijke tectonische kenmerken van de afzetting en de diepte;
- de dikte en de aard van het dekgebergte dat de afzetting bedekt.

Voor de pijlers van nu en die van morgen, waarin per dag 2.000 tot 5.000 ton wordt geproduceerd, en die per werkplaats voor meer dan 30 miljoen aan uitrustingsstukken kunnen bevatten, moet een type van ondersteuning gekozen worden die geen enkel onderhoud vergt, en dit zowel in de galerijen als in de steengangen. Ook een kostelijke ondersteuning wordt voordelig wanneer alle onderhoud wegvalt, op voorwaarde natuurlijk dat ze kan geplaatst worden zonder dat de pijler er door gehinderd wordt in zijn vooruitgang.

Het is het ogenblik om eraan te herinneren dat er voor de galerijen van voorwaarts ontgonnen werkplaatsen geen enkele ondersteuning bestaat die sterk genoeg is om iedere vervorming of verzakking van de galerij te voorkomen. In deze galerijen kan en mag de ondersteuning zich niet verzetten tegen de algemene verzakking van het massief; zij moet integendeel deze verzakking volgen en geen overdreven weerstand bieden, waardoor de drukking zou geconcentreerd worden op de galerijondersteuning. Deze moet hier enkel de rol van bekleding spelen en beletten dat de onderste gesteentebanken zouden loskomen.

### 1. GALERIJEN MET TRAPEZOIDALE SECTIE

De voornaamste voordelen van de trapezoïdale sectie zijn de volgende : de dakbanken blijven onaangerod, de hoogte is dezelfde over heel de breedte van de galerij en men ondervindt meer gemak bij het gebruik van een gemechaniseerde ondersteuning aan de uiteinden van de voorwaarts en de terugwaarts ontgonnen pijlers.

#### 11. Trapezoïdale ramen

Bij de trapezoïdale vorm kunnen de eventueel aanwezige meegeevende elementen van de stijlen gunstig opgesteld worden ten opzichte van de hoofdspanningen.

Daarentegen bezitten deze ramen slechts een zwakke weerstand tegen de zijdelingse drukkingen die veel voorkomen op de hoogte van de kolenlagen en van sommige schieferlagen. Deze drukkingen hebben voor gevolg dat de stijlen plooiën, de meegeevende verbindingen klem geraken en het raam star wordt. Daarenboven brengen deze ramen de belasting onmiddellijk over op de vloer, door tussenkomst van de stijlen die in de vloer dringen of deze doen zwellen.

Tot nu toe zijn het alleen de houtbokken uit samen-drukbaar materiaal die, als ze als stijlen gebruikt worden, deze beide belangrijke nadelen in grote mate eli-

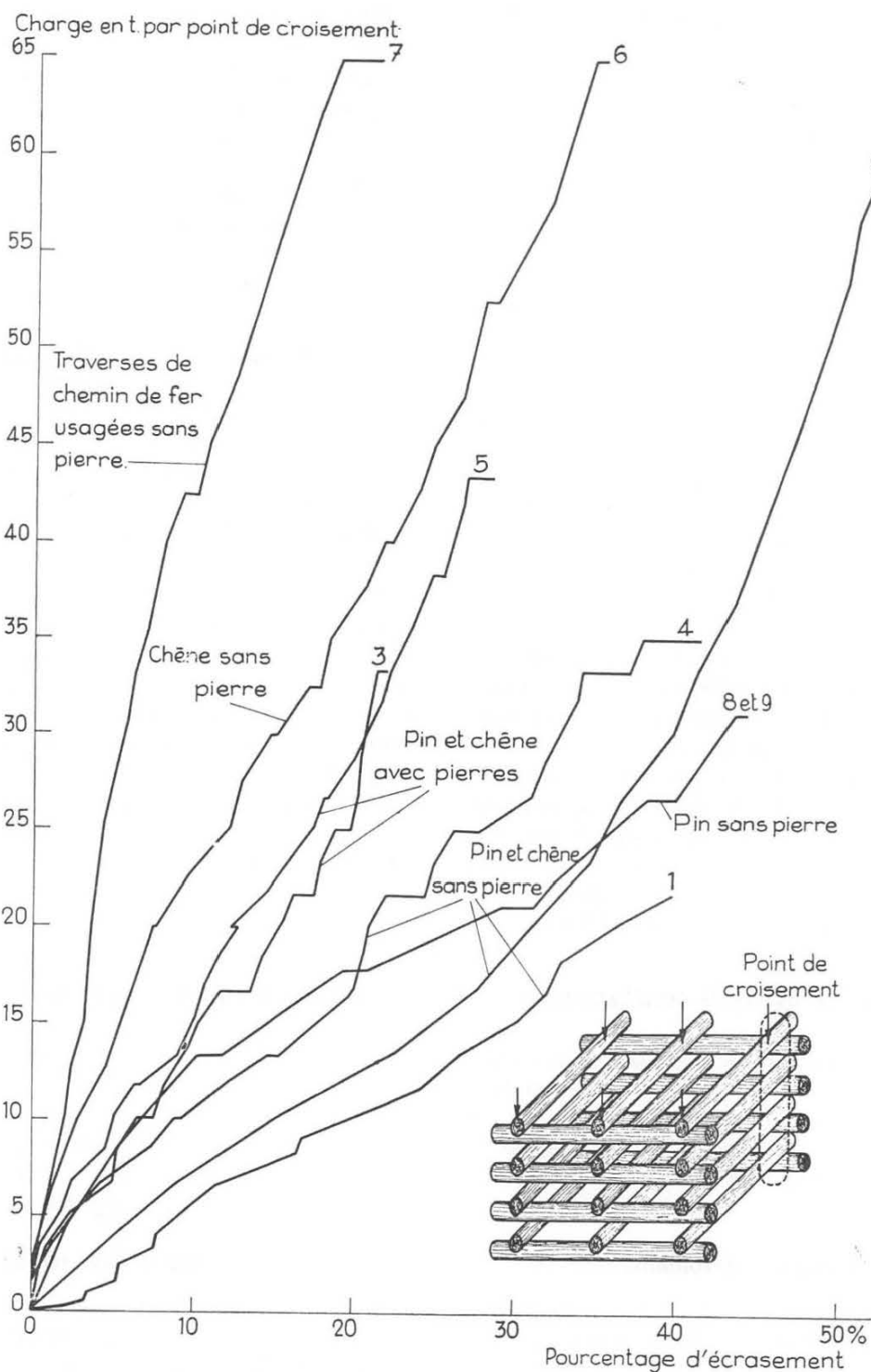


Fig. 1.

Courbes d'écrasement de piles en bois en fonction de la charge par point de croisement (voir dessin de la pile en bas à droite). Les piles essayées ont une section de  $1,60 \times 1,10$  m et une hauteur de 1,45 m ; elles sont constituées de 8 lits successifs de 2 et de 3 bois, c'est-à-dire qu'elles présentent 6 points de croisement.

La charge totale supportée par une pile de  $1,60 \times 1,10$  m est donc 6 fois plus grande que celle indiquée sur le graphique.

Verpletteringskrommen van houtbokken in functie van de belasting per kruispunt (zie schets van de bok rechts onder). De beproefde houtbokken hebben een sectie van  $1,60 \times 1,10$  m en een hoogte van 1,45 m ; ze bestaan uit 8 lagen van 2 en 3 balken, hetgeen betekent dat ze 6 contactpunten hebben.

De totale belasting gedragen door een bok van  $1,60 \times 1,10$  m is dus 6 keer groter dan die welke op de kromme wordt gegeven.

Charge en t par point de croisement : Belasting in t per kruispunt.

Traverses de chemin de fer usagées sans pierres : Gebruikte spoorwegdwarsliggers zonder stenen.

Chêne sans pierre : Eikehout zonder stenen.

Pin et chêne avec pierres : Denne- en eikehout met stenen.

Pin et chêne sans pierres : Denne- en eikehout zonder stenen.

Pin sans pierres : Dennehout zonder stenen.

Point de croisement : Kruispunt.

Pourcentage d'écrasement : Verplettering in percent.

grande assise, les piles ne transmettent sur le mur de la couche que des contraintes assez faibles; d'autre part, les grandes dimensions en largeur et en longueur de ces piles et l'imprégnation des bois les uns dans les autres offrent une grande résistance aux poussées latérales.

La figure 1 donne les courbes d'écrasement des différents types de piles de bois en fonction de la charge. L'écrasement est donné en pourcentage de la hauteur initiale et les charges données sont celles supportées par un point de croisement entre les bois des lits successifs. Ainsi, la charge totale supportée par une pile de 1,60 x 1,60 m avec 9 points de croisement est 9 fois plus grande que celle indiquée sur le graphique.

Des courbes de la figure 1, on peut tirer les conclusions suivantes :

1) Par rapport à une pile constituée uniquement de traverses de chemin de fer usagées, on constate (jusqu'à une charge de 30 t par point de chargement) que :

- une pile en chêne est 2 à 3 fois plus compressible;
- une pile constituée par moitié en chêne et par moitié en pin est 7 à 10 fois plus compressible;
- une pile en sapin est 8 à 10 fois plus compressible.

En faisant varier la nature des bois, on peut réaliser des piles dont la compressibilité varie de 1 à 10.

- 2) Le bourrage, au moyen de pierres, d'une pile mixte en chêne et en sapin, diminue la compressibilité de moitié, mais en augmente la stabilité et répartit mieux la charge sur le mur.
- 3) Malgré les charges très élevées atteintes au cours des essais, l'écrasement final des piles est relativement faible (écrasement de 20 à 50 %).
- 4) Au-delà d'une charge de 35 t par point de chargement, la compressibilité des piles devient semblable, quelle que soit la nature des bois.
- 5) Les piles de bois placées de part et d'autre d'une voie permettent de supporter une charge dépassant 400 t par mètre, ce qui correspond à une charge totale de 800 t par mètre de voie. Il n'existe aucun autre soutènement compressible pouvant supporter des charges aussi élevées.

L'écrasement des piles de bois dépend de leur hauteur au démarrage de l'essai. Ainsi, les deux courbes de la figure 2 correspondent aux deux limites de hauteur généralement utilisées dans le fond (1 et 2 m) pour le cas de piles compressibles. En faisant varier la hauteur, on peut donc obtenir toute courbe comprise entre les deux de la figure 2.

La figure 3 montre quelques types de montants coulissants : Usspurwies, Flexomatic, Vermée, Moll, Tousseint-Heintzmann.

mineren : dank zij hun groot steunoppervlak zetten deze bokken slechts betrekkelijk lage spanningen over op de vloer van de laag en anderzijds bezitten deze bokken met hun grote lengte en breedte en wegens het feit dat de elementen ervan in elkaar dringen een grote weerstand tegen de zijdelingse drukkingen.

Figuur 1 geeft verpletteringskrommen van verschillende typen van houtbokken in functie van de belasting. De verplettering wordt gegeven in procenten van de oorspronkelijke hoogte en de aangegeven belastingen zijn die welke bestaan in een punt waar de elementen van twee naburige lagen elkaar raken.

Zo is bij voorbeeld de totale belasting van een bok van 1,60 x 1,60 m met 9 contactpunten 9 keer groter dan de op de grafiek aangegeven belasting.

Uit de krommen van figuur 1 kan men de volgende besluiten trekken :

- 1) Vergelijkend met een bok die uitsluitend bestaat uit gebruikte spoorwegdwarsliggers, stelt men (gaande tot een belasting van 30 t per contactpunt) het volgende vast :
  - een bok in eikenhout is 2 tot 3 keer meer samendrukbaar;
  - een bok voor de helft gebouwd in eikenhout en voor de helft in dennehout is 7 tot 10 keer meer samendrukbaar;
  - een bok in dennehout is 8 tot 10 keer meer samendrukbaar.

Door de keuze van het hout krijgt men bokken waarvan de samendrukbaarheid varieert van 1 tot 10.

- 2) Wordt een gemengde bok uit eik en den met stenen gevuld, dan wordt de samendrukbaarheid vermindert met de helft, doch de stabiliteit wordt verbeterd en de belasting wordt beter over de bodem verdeeld.
- 3) Ondanks de hoge belastingen die tijdens de proef worden toegepast is de uiteindelijke verplettering van de bokken betrekkelijk klein (20 tot 50 %).
- 4) Voor belastingen van meer dan 35 t per contactpunt wordt de samendrukbaarheid van de bokken dezelfde eender uit welk hout ze gemaakt zijn.
- 5) Houtbokken die aan weerszijden van een galerij geplaatst worden kunnen belastingen opnemen van meer dan 400 t per meter, hetgeen overeenkomt met een totale belasting van 800 t per meter galerij. Geen enkele andere samendrukbare ondersteuning kan zo hoge belastingen verdragen.

De verplettering van de houtbokken hangt af van hun hoogte bij het begin van de proef. De twee krommen van figuur 2 komen dan ook overeen met twee afmetingen (1 en 2 m) die in de ondergrond als grens gelden voor samendrukbare bokken. Bijgevolg kan men door de hoogte te laten variëren elke kromme krijgen tussen de twee van figuur 2.

Figuur 3 stelt enkele typen van meegeevende stijlen voor : Usspurwies, Flexomatic, Vermée, Moll, Tousseint-Heintzmann.

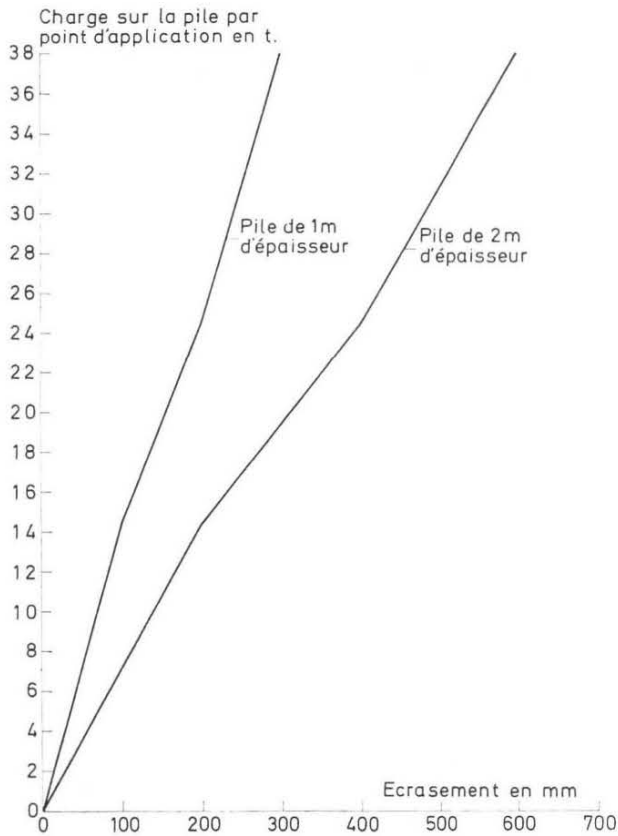


Fig. 2.

Ecrasement en fonction de la charge (par montant de cadre) d'une pile de bois de 1 m de hauteur et d'une pile de bois de 2 m de hauteur.

Verplettering in functie van de belasting (per raamstijl) van een houtbok met een hoogte van 1 m en van een houtbok met een hoogte van 2 m.

Charge sur la pile par point d'application en t : Belasting op de bok in t per draagpunt.

Pile de 1 m d'épaisseur : Bok met een hoogte van 1 m.  
Pile de 2 m d'épaisseur : Bok met een hoogte van 2 m.  
Ecrasement en mm : Verplettering in mm.

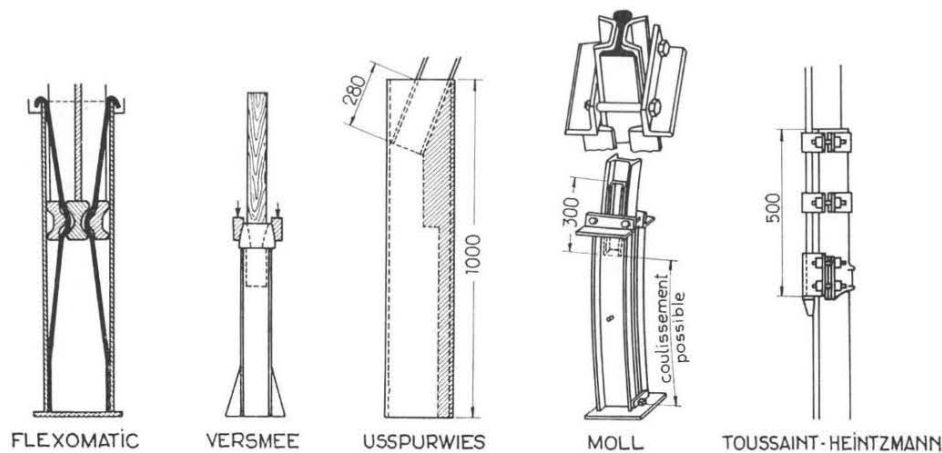


Fig. 3.

Quelques types de montants coulissants de cadres trapézoïdaux.

Enkele typen van meegevende stijlen, van trapezoidale ramen.

Coulissement possible : Mogelijke inzinking.

Dans le caisson Usspurwies, l'élément supérieur écrase à mesure de son enfoncement une épaisse planche de bois coupée en biseau.

Le principe du coulissement Flexomatic est basé sur l'utilisation du travail de déformation de deux bandes d'acier dans une serrure spéciale sur laquelle repose l'élément supérieur; les bandes métalliques sont fixes, mais la serrure est mobile.

Bij het doosprofiel Usspurwies verplettert het bovenste element naarmate het daalt een dikke houten plank die spievormig uitgesneden is.

Het meegevend element van de Flexomatic is gebaseerd op het aanwenden van de vervormingsarbeid bij het plooiën van twee stalen banden in een speciaal slot waarop het bovenste element rust; de metalen banden zijn onbeweeglijk, het slot is verplaatsbaar.



Le principe du coulissement Vermée est basé sur l'utilisation du travail de déformation et de compression des fibres d'un bois devant glisser dans une serrure métallique spéciale.

Dans les montants Toussaint-Heintzmann et Eris-Launay, le coulissement est obtenu par le frottement l'un sur l'autre de deux éléments serrés entre eux au moyen d'assemblages spéciaux.

Le principe du coulissement Moll est basé sur le travail de frottement des flancs de l'âme de l'élément supérieur dans une serrure formée par deux courts fers U fixés à la partie supérieure du caisson et serrés entre eux par deux boulons.

Bij Vermée is het meegeven gebaseerd op het aanwenden van de arbeid nodig voor het vervormen en samendrukken der vezels van een stuk hout dat moet glijden in een metalen slot van speciale vorm.

Bij de stijlen Toussait-Heintzmann en Eris-Launay wordt de inzakkling bekomen door de onderlinge wrijving tussen de twee elementen die door middel van speciale verbindingen tegen elkaar geklemd worden.

Bij de Moll is het inzinken gebaseerd op de wrijvingsarbeid geleverd door de lijfplaat van het bovenste element in een slot dat gevormd wordt door twee korte U-profielen die aan het bovenste deel van de kast vastgemaakt zijn en met twee bouten tegen elkaar geklemd worden.

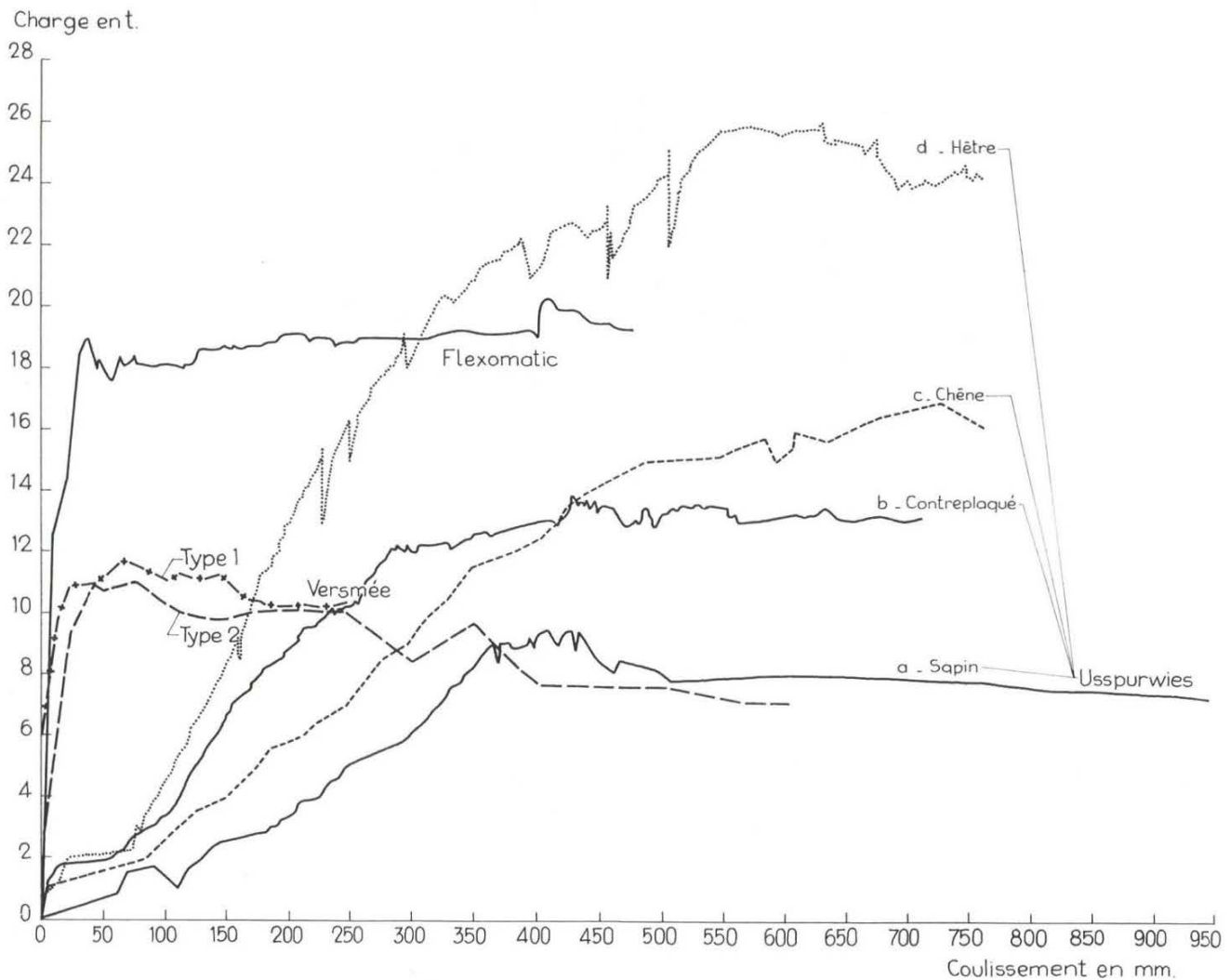


Fig. 4.

Coulissement en fonction de la charge de quelques montants de cadres trapézoïdaux :

- cadres Flexomatic
- montants Versmée des types 1 et 2
- cadres Usspurwies avec planchettes en hêtre, en chêne, en contreplaqué et en sapin.

Inzinking in functie van de belasting, van enkele stijlen van trapezoïdale ramen :

- ramen Flexomatic
- stijlen Versmée typen 1 en 2
- ramen Usspurwies met plankjes in beuk, eik, plakhout en den.

Charge en t : Belasting in t.  
Coulissement en mm : Inzinking in mm.  
Hêtre : Beuk.

Chêne : Eik.  
Contreplaqué : Plakhout.  
Sapin : Den.

Les figures 4 et 5 donnent les coulissemets obtenus en laboratoire sur ces différents montants. Pour les montants Usspurwies, la courbe dépend fortement de l'espèce de bois employé : sapin, contre-plaqué, chêne ou hêtre.

Figure 4 en 5 geven de inzinkwegen die in een laboratorium met deze verschillende typen van stijlen bekomen worden. Voor de Usspurwiesstijlen hangt de kromme in sterke mate af van de houtsoort die gebruikt wordt : den, plakhout, eik of beuk.

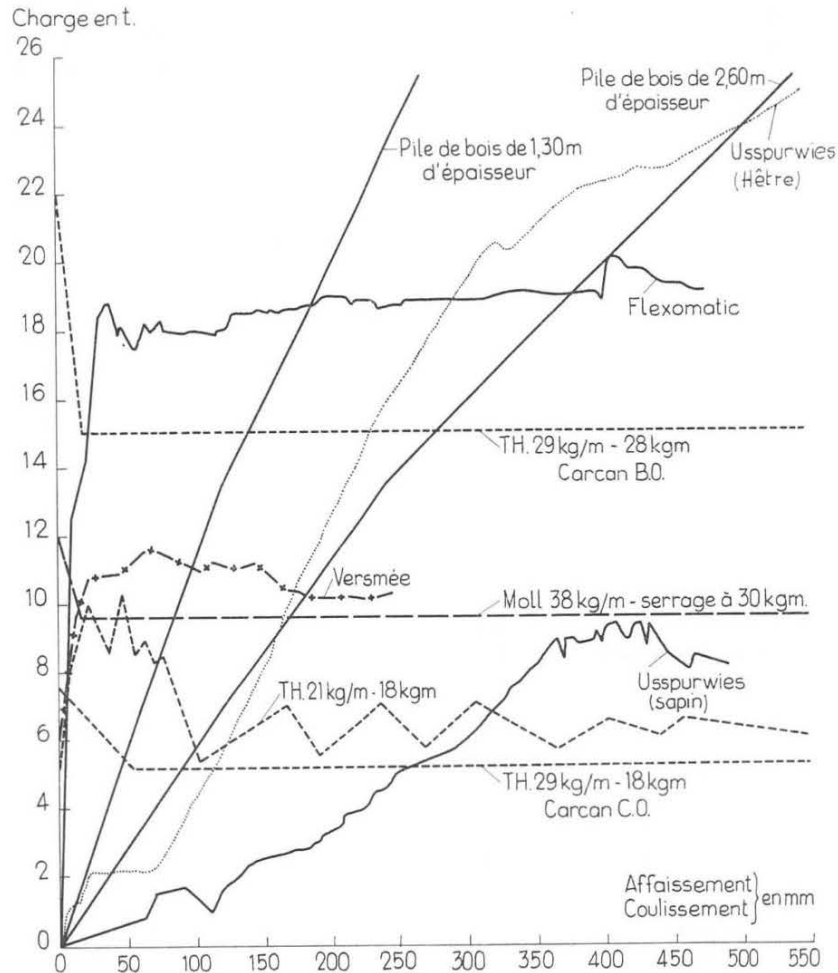


Fig. 5.

Coulissement ou affaissement en fonction de la charge de quelques montants ou piles de divers soutènements trapézoïdaux :

- cadres trapézoïdaux Flexomatic
- montants Versmée
- cadres trapézoïdaux Usspurwies (sapin et hêtre)
- caissons Moll
- montants TH de 29 kg/m avec serrage des boulons à 18 kgm et 26 kgm
- montants TH de 21 kg/m
- piles de bois de 1,30 m et de 2,60 m de hauteur.

Le soutènement par piles de bois ayant donné toute satisfaction, même dans les cas les plus difficiles, on peut considérer la courbe d'affaissement de ce soutènement comme courbe idéale.

En comparant avec les autres courbes de cette figure et de la figure 4, on constate que seuls les montants Usspurwies avec planchettes en hêtre ont un coulisement semblable à celui des piles de bois.

Inzinking of verzakking in functie van de belasting, van enkele stijlen of bokken van verschillende ondersteuning in trapeziumvorm :

- trapezoïdale ramen Flexomatic
- stijlen Versmée
- trapezoïdale ramen Usspurwies (den en beuk)
- Mollkasten
- stijlen TH van 29 kg/m met klemming der bouten op 18 kgm en op 26 kgm
- stijlen TH van 21 kg/m
- houtbokken van 1,30 m en 2,60 m hoogte.

Aangezien de houtbokken volledige voldoening hebben gegeven zelfs in de moeilijkste gevallen, kan men de verzakkingskomme van dit ondersteuningsmateriaal als de ideale beschouwen.

Door vergelijking van de andere krommen van deze figuur en van figuur 4 komt men tot het besluit dat alleen de stijlen Usspurwies met plankjes in beuk een inzinking vertonen die gelijkt op die van de houtbokken.

Charge en t : Belasting in t.

Pile de bois de 1,30 m d'épaisseur : Houtbok met een hoogte van 1,30 m.

Hêtre : Beuk.

Carcan : Beugel.

Serrage : Klemming.

Sapin : Den.

Affaissement, coulisement en mm : Verzakking, inzinking in mm.

On constate que seuls les montants Usspurwies présentent une courbe où la charge croît à mesure du coulisement réalisé. Pour tous les autres types de cadres, le coulisement a lieu à une charge à peu près constante, mais qui peut être réglée dans certaines limites par un serrage adéquat des assemblages.

## 12. Voies trapézoïdales boulonnées

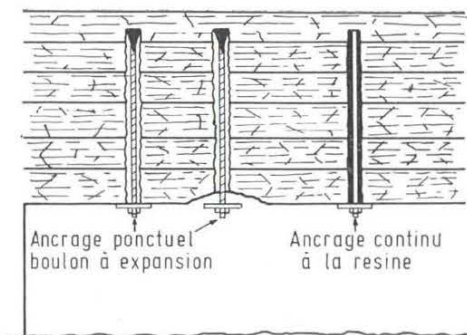
Le boulonnage du toit permet de maintenir intact l'ensemble des bancs du toit d'une manière plus sûre que la bête métallique d'un cadre trapézoïdal, dont les contacts avec les bancs de toit sont souvent ponctuels et qui fléchit souvent par suite de la poussée exercée sur ses deux extrémités par les parois latérales de la galerie.

L'absence de montants le long des parements, d'une part, permet le foisonnement des roches en paroi et, d'autre part, diminue la transmission de charges importantes du toit au mur et réduit ainsi le poinçonnement du mur.

Des essais de boulons à ancrage ponctuel (boulons à coin ou à expansion) avaient déjà été effectués il y a plus de 10 ans. Comme on le voit sur la figure 6, ces boulons enserrant, comme un étau, les bancs du toit entre l'ancrage ponctuel et la plaque d'appui. Malheureusement, les minces bancs de schiste qui forment la plus grande partie de nos toits se délitent facilement autour de la plaque d'appui, ce qui supprime totalement l'efficacité de ce type de boulon.

C'est l'utilisation de boulons à ancrage continu réalisé au moyen de résines qui a donné un regain d'intérêt au boulonnage. L'efficacité de ces boulons n'est guère diminuée par le délitement éventuel des bancs du bas-toit.

L'introduction de ces boulons à ancrage continu a permis d'améliorer considérablement l'efficacité du boulonnage en tant que procédé de soutènement et de renforcement des parois de galeries.



Men ziet dat de stijlen Usspurwies de enige zijn waarbij de belasting stijgt bij toenemende inzinking. Bij al de andere typen van ramen gebeurt het inzinken onder een bijna constante belasting die evenwel binnen zekere grenzen kan geregeld worden door het aanspannen der verbindingen.

## 12. Trapezoïdale galerijen met ankerbouten

Het verankeren van het dak is een beter middel om de gesteentebanken in hun oorspronkelijke staat te behouden dan wel de metalen kap van een trapezoïdaal raam, die vaak slechts enkele puntcontacten heeft met het dakgesteente en d'e dikwijls een doorbuiging ondergaat als gevolg van de druk die op haar twee uiteinden wordt uitgeoefend door de zijwanden van de galerij.

Omdat er langs de wanden geen stijlen zijn kan enerzijds het wandgesteente ongehinderd zwellen, terwijl er anderzijds geen zware belastingen worden overgeplant van het dak naar de vloer zodat die ook minder doorgesneden wordt.

Reeds tien jaar geleden werden er proeven gedaan met bouten met een puntverankering (bouten met wig of uitzettingsschelp). Men ziet op figuur 6 dat deze bouten de gesteentebanken tussen het ankerpunt en de steunplaat klemmen als in een bankschroef. Spijtig genoeg brokkelen de dunne schieferlaagjes waaruit het dak bij ons meestal bestaat gemakkelijk af rond de steunplaat, zodat de ankerbout van dit type al haar doeltreffendheid verliest.

Het ankerprocédé won opnieuw aan belangrijkheid door het gebruik van bouten waar de verankering continu gebeurt met behulp van hars. Het eventueel ververen van de dakbanken tast de doelmatigheid van deze bouten niet in het minst aan.

Het verankeren als procédé voor de ondersteuning en de versterking van de galerijwanden werd aanzienlijk verbeterd door het invoeren van deze bouten die over heel hun lengte met behulp van hars worden verankerd.

Fig. 6.

**A gauche :** boulons à expansion qui sont à ancrage ponctuel et qui enserrant, comme un étau, les bancs du toit entre l'ancrage ponctuel et la plaque d'appui; les bancs de schistes se sont délités autour de la plaque d'appui d'un boulon, ce qui supprime totalement l'efficacité de ce boulon.  
**A droite :** boulon à ancrage continu réalisé au moyen de résine.

**Links :** Ankerbouten met uitzettingsschelp die een puntverankering hebben en de dakbanken klemmen tussen de puntverankering en de steunplaat als in een bankschroef. De schieferbanken rondom de steunplaat van een ankerbout zijn afgebrokkeld, waardoor deze bout zijn doeltreffendheid geheel verloren heeft.

**Rechts :** Bout met continu verankering door middel van hars.

Ancrage ponctuel : Puntbelasting.

Boulon à expansion : Bouten met expansieschelp.

Ancrage continu à la résine : Continu verankering met hars.

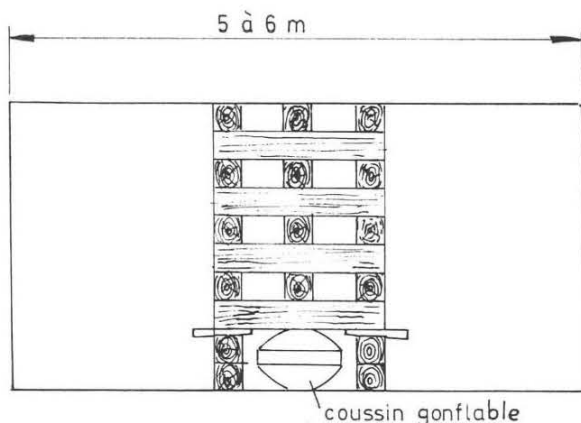
Ce procédé, en renforçant les bancs du toit, permet à la dalle de roche de se supporter elle-même au-dessus du vide de la voie et, de ce fait, le soutènement des galeries de section rectangulaire ou trapézoïdale redevient plus facile à réaliser.

Si le toit n'est pas entamé lors du creusement préalable de la voie, la jonction « taille-voie » est fortement simplifiée du fait que le toit de la taille se prolonge sans discontinuité dans la voie.

Si l'on veut tirer le maximum de profit d'une exploitation rabattante, il faut éviter le creusement des niches au passage de la taille en creusant des traçages d'une largeur suffisante, ce qui facilite d'autre part l'accès à la taille et le transport du matériel.

Pour diminuer la portée des bancs du toit, nous envisageons le placement d'une rangée de piles de bois au milieu de la voie, qui constituerait en plus un excellent soutènement auxiliaire. Comme la résistance à la compression d'une pile de bois est négligeable avant tout tassement de la pile, nous pensons utiliser des coussins gonflables (fig. 7) pour comprimer la pile immédiatement après sa pose. Le coussin sera retiré après le calage de la pile de part et d'autre du coussin.

En choisissant la forme des bois, leur nature (bois tendre, ou bois dur), la hauteur du coussin à sa pose et la pression de gonflage du coussin, on peut régler à volonté la forme de la courbe d'écrasement de la pile.



### 13. Conclusions

Outre les avantages déjà signalés (résistance aux poussées latérales et au poinçonnement du mur), les piles de bois, par le choix judicieux de la nature des bois et de leur hauteur initiale, permettent d'adapter la convergence de la galerie à la convergence inéluctable des bancs de toit à l'arrière de la taille. Pour tous

Dank zij dit procédé, dat een versterking van het dakgesteente betekent, kan de dakplaat zichzelf dragen boven de ledige ruimte die met de galerij overeenkomt, zodat het ondersteunen van galerijen met rechthoekige of trapezoïdale sectie er opnieuw door vergemakkelijkt wordt.

Wanneer het dak niet ingesneden wordt bij het voorafgaand drijven van de galerij betekent dit een merkelijke vereenvoudiging van de verbinding « pijler-galerij » aangezien het dak van de pijler zonder onderbreking over de galerij verder loopt.

Wil men het grootst mogelijk voordeel halen uit een terugkerende ontginning, dan moet men ervoor zorgen dat er aan de voet van de pijler geen nissen meer moeten gemaakt worden; men moet daartoe de voorafgedreven galerijen breed genoeg maken, hetgeen ook een betere toegang tot de pijler en een gemakkelijker vervoer van materieel betekent.

Om de spanwijdte voor de dakbanken te verminderen, denken wij eraan een rij houtbokken te plaatsen in het midden van de galerij, waardoor tevens een zeer geschikte bijkomende ondersteuning zou ontstaan. Aangezien de weerstand tegen samendrukking van een houtbok zeer klein is zolang er geen zetting is opgetreden, zullen wij waarschijnlijk gebruik maken van opblaasbare kussens (fig. 7), waarmee de bokken onmiddellijk na het plaatsen kunnen samengedrukt worden. Nadat de bok links en rechts van het kussen opgespannen is kan dit laatste worden weggenomen.

Door een oordeelkundige keuze van de vorm van het hout, de soort (week of hard), de hoogte van het kussen bij het plaatsen van de bok, de opblaasdruk van het kussen, kan men naar believen de vorm van de verpletteringskromme van de bok beïnvloeden.

Fig. 7.

Pile placée au centre d'un traçage de 5 à 6 m de largeur et serrée au terrain au moyen d'un coussin gonflable.

Bok geplaatst in het midden van een voorafgedreven galerij met een breedte van 5 tot 6 m; de bok werd voorgespannen met behulp van een opblaasbaar kussen.

Coussin gonflable : Opblaasbaar kussen.

### 13. Besluiten

Buiten de reeds gesignaleerde eigenschappen (weerstand tegen zijdelingse drukking en het doordrukken van de vloer) bieden de houtbokken het voordeel dat de convergentie van de galerij, mits een passende keuze van de houtsoort en van de oorspronkelijke hoogte van de bok, kan in overeenstemming gebracht worden met

les autres montants, le coulissement, indépendant de la hauteur initiale, ne dépend que du dispositif coulissant.

Suite aux nombreuses constatations effectuées dans le fond, on a remarqué que, dans les cas les plus difficiles, seules des piles de bois ayant à la pose une hauteur égale à 130 % de l'ouverture de la veine ont donné toute satisfaction (dans le cas de tailles foudroyées).

On peut donc considérer que la courbe d'affaissement de ces piles de bois se rapproche fort de la courbe de descente du toit en arrière de la taille. Seuls, les montants trapézoïdaux ayant une courbe de coulissement se rapprochant de cette courbe idéale peuvent être considérés comme acceptables pour les cas les plus difficiles (en faisant abstraction des poussées latérales).

La figure 5 permet de comparer l'allure du coulissement de divers montants avec la courbe souhaitée. On constate que seuls les montants Usspurwies avec planchettes en hêtre, ont un coulissement plus ou moins semblable à celui de piles de bois de hauteur convenable.

Si l'on tient compte de plus, des poussées latérales, seules les piles de bois (de dimensions suffisantes en largeur et en longueur) permettent de résister à ces sollicitations latérales. Des essais de laboratoire ont montré que, même sous l'effet de poussées latérales assez faibles, les montants de cadres trapézoïdaux fléchissent, empêchant ainsi leur bon coulissement.

## 2. GALERIES DE SECTION SEMI-CIRCULAIRE OU OGIVALE EN COURONNE

### 21. Cadres coulissants

Les cadres coulissants habituels : TH, Eris, Glockenprofil, présentent les avantages suivants :

- la bête peut être posée sur deux coras immédiatement après le tir et garantit ainsi la sécurité du personnel;
- les montants et la bête peuvent s'assembler facilement sans ajustage précis;
- coulissement non limité des éléments de cadre grâce au bon emboîtement de leur profil;
- récupération aisée des cadres à la fin du chantier.

#### 211. Profil, acier et assemblages des cadres

Le profil de ces cadres en forme de gouttière, d'une part, permet un coulissement guidé des deux éléments en contact et, d'autre part, possède un moment d'inertie transversal se rapprochant fort du moment d'inertie longitudinal, tout en lui étant légèrement supérieur.

de onafwendbare convergentie van het dakgesteente achter de pijler. Bij al de andere stijlen hangt de inzinking, die onafhankelijk is van de oorspronkelijke hoogte, enkel af van het inzinkmechanisme.

Na talrijke waarnemingen in de ondergrond heeft men opgemerkt dat voor de moeilijkste gevallen alleen die bokken voldoening geven waarvan de hoogte bij het plaatsen 130 % van de laagopening bedraagt (geval van breukpijlers).

Men kan bijgevolg aannemen dat de inzinkkromme van deze houtbokken sterk gelijk op de dalingskromme van het dak achter de pijler. Enkel die trapezoidale stijlen waarvan de inzinkingskromme met deze ideale kromme gelijkenis vertoont kunnen aanvaardbaar geacht worden voor de moeilijkste gevallen (waarbij abstractie wordt gemaakt van de zijdelingse drukkingen).

In figuur 5 wordt de inzinkkromme van verschillende stijlen met de gewenste kromme vergeleken. Men ziet dat alleen de stijlen Usspurwies met beukehouten plankjes een inzinking vertonen die min of meer gelijk op die van een houtbok met de juiste hoogte.

Houdt men bovendien rekening met de zijdelingse drukkingen, dan zijn het alleen de houtbokken (met voldoende afmetingen in de breedte en in de lengte) die voldoende weerstand bieden. Laboratoriumproeven hebben aangetoond dat de stijlen van trapezoidale ramen zelfs bij tamelijk zwakke zijdelingse drukkingen begeven, waardoor het inzinken gestoord wordt.

## 2. GALERIEN MET HALF-CIRKELVORMIGE OF BOVENAAN OVALE SECTIE

### 21. Meegeevende ramen

De gebruikelijke meegeevende ramen : TH, Eris, Glockenprofil bieden de volgende voordelen :

- de kap kan onmiddellijk na het schieten op twee voorspanbalken geplaatst worden waardoor het personeel in veiligheid kan verder werken;
- de stijlen worden gemakkelijk en zonder speciaal precisiewerk aan de kap bevestigd;
- de inzinkweg van de raamelementen is onbeperkt omdat de verschillende profielen goed in elkaar passen;
- na het beëindigen van de werkplaats kunnen de ramen gemakkelijk worden teruggewonnen.

#### 211. Profiel, staal en verbindingen der ramen.

Het profiel van deze ramen is goetvormig; van de ene kant wordt hierdoor een vlot glijden van de twee oppervlakken die met elkaar in contact komen verkregen, van de andere kant is het inertiemoment in de dwarsrichting ongeveer even groot als dat in de langsrichting, eigenlijk iets groter.

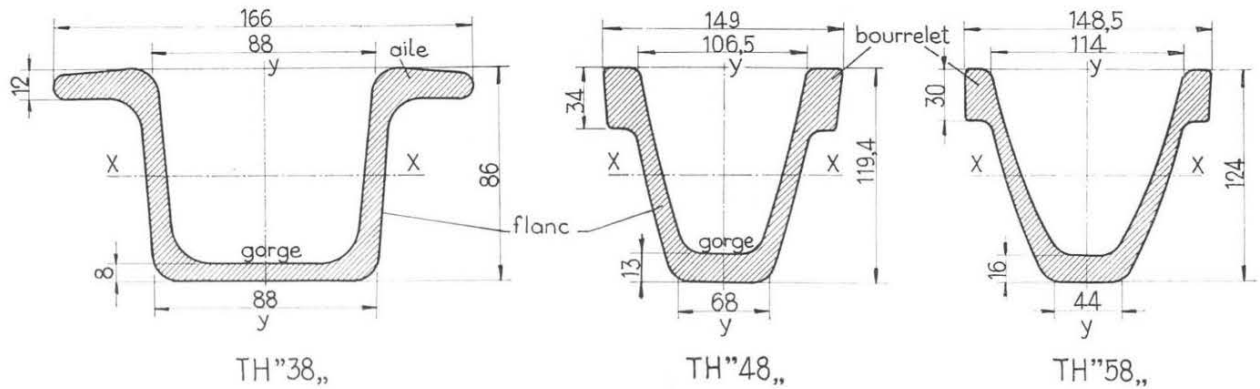


Fig. 8.

Profils de cadres Toussaint Heintzmann des types « 38 » - « 48 » et « 58 ».

Profielen van de ramen Toussaint-Heintzmann typen « 38 », « 48 » en « 58 ».

Les profils de cadres qui permettent les plus belles courbes de coulissement sont les types TH « 58 » (fig. 8) et Eris-Launay où les contacts métal sur métal d'un élément à l'autre s'effectuent, soit sur les bourrelets, soit sur les ailes. Grâce à l'interposition de planchettes en bois dur, le contact des éléments TH « 38 » s'effectue en fond de gorge, mais sur une longueur limitée à la planchette.

Dans les travaux miniers, l'acier des cadres est généralement sollicité à des contraintes dépassant la limite élastique de sorte que la tendance actuelle est d'augmenter la limite élastique et la résistance à la rupture de l'acier utilisé, tout en gardant une longue phase d'allongement plastique pour permettre la déformation du cadre sans rupture et faciliter le cintrage et les reconformations des éléments, tant à chaud qu'à froid.

L'introduction de deux carcans, dont l'un suit l'extrémité de la bête et l'autre l'extrémité du montant, favorise certainement le bon coulissement du cadre en obligeant les deux éléments en contact à se cintrer suivant un rayon de courbure identique et en empêchant que l'extrémité d'un des deux éléments ne s'écarte trop de l'autre, ce qui introduirait un effort de traction élevé dans les boulons des assemblages. D'autre part, la forme des carcans doit éviter tout coulissement par saccades ou par à-coups.

## 212. Coulissement des cadres dans le cas d'une charge appliquée en couronne.

Les premiers essais de laboratoire sur des cadres entiers ont été effectués sur des cadres TH de 29 et de 21 kg/m, Eris-Launay de 29 kg/m et Moll, identiques en profil et en forme à ceux utilisés à ce moment en Belgique (fig. 9).

De beste inzinkkrommen verkrijgt men met de raamprofielen van de typen TH « 58 » en Eris-Launay (fig. 8) waar het metaal- op metaal-contact tussen de elementen plaats vindt hetzij op de rug, hetzij op de vleugels. Bij de elementen TH « 38 » vindt het contact, dank zij de houten plank, in de bodem van de gleuf plaats, zij het ook over een lengte die beperkt is tot de lengte van de plank.

In de ondergrondse werken der mijnen wordt het staal van de ramen meestal onderworpen aan spanningen die de elasticiteitsgrens te boven gaan, zodat er nu een neiging bestaat om zowel de elasticiteitsgrens als de breukweerstand van het staal te verhogen terwijl tevens gezorgd wordt voor een breed veld van plastische verlenging; hierdoor kan het raam vervormd worden zonder dat het breekt en kunnen de elementen gemakkelijk worden gebogen en terug in vorm gebracht zowel warm als koud.

Het gebruik van twee beugels waarvan de ene het uiteinde van de kap volgt en de andere het uiteinde van de stijl, leidt ongetwijfeld tot een betere inzinking van het raam, vermits de twee elementen die met elkaar in contact zijn erdoor gedwongen worden eenzelfde kromming aan te nemen en vermits op die manier ook vermeden wordt dat het uiteinde van één element zich te ver van het andere verwijderd, hetgeen een hoge trekspanning zou doen ontstaan in de verbindingsbouten. Van de andere kant moet de vorm van de beugel zo gekozen worden dat een inzinken met stoten of sprongen vermeden wordt.

## 212. Het meegeven der ramen in het geval van een belasting op de kroon.

De eerste laboratoriumproeven op volledige ramen werden uitgevoerd op ramen TH van 29 en van 21 kg/m, op Eris-Launay-ramen van 29 kg/m en Moll-ramen met eenzelfde profiel en vorm als degene die nu in België worden gebruikt (fig. 9).

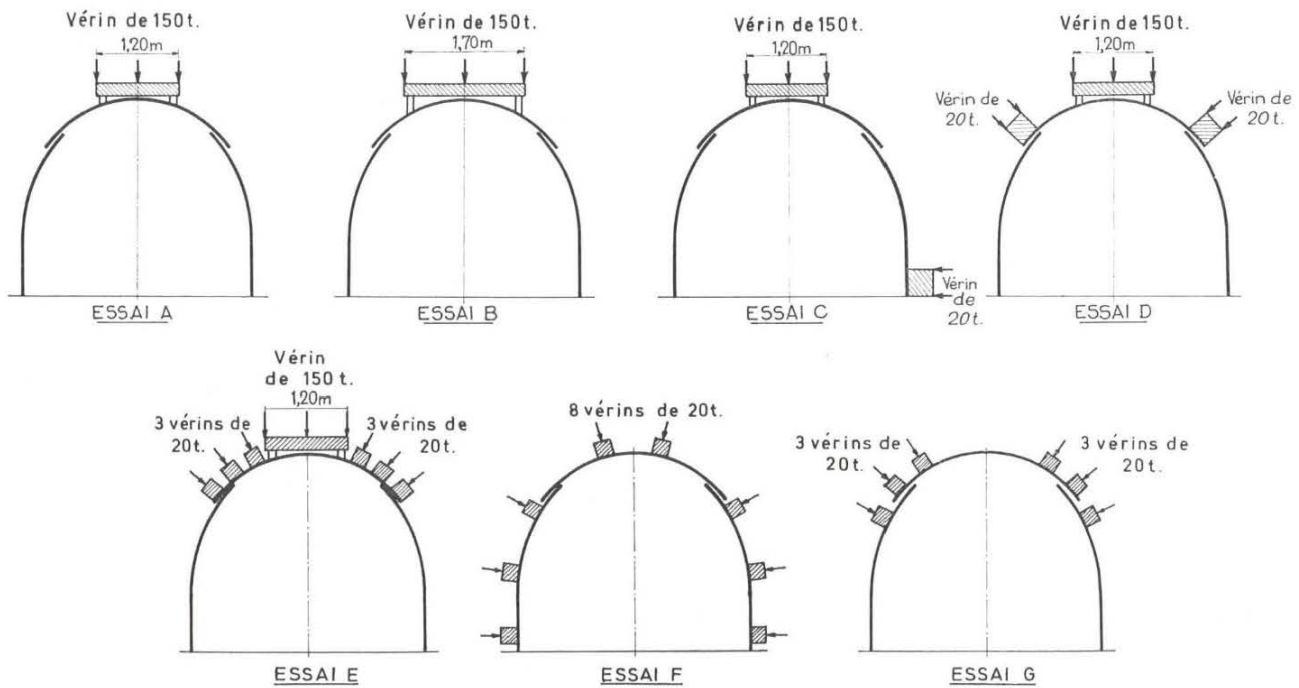


Fig. 9.

Modes de sollicitation adoptés pour les divers essais de résistances des cadres de section semi-circulaire ou ogivale en couronne.

Essais de mise en charge sur une partie (A et B) et sur la totalité (D et E) de la couronne; en couronne et au pied d'un montant (C); aux assemblages (G); sur tout le pourtour du cadre (F).

Wijze van belasting aangenomen voor de verschillende weerstandsproeven op ramen met halfcirkelvormige of bovenaan ovale sectie.

Proeven voor belasting over een gedeelte (A en B) of over het geheel (D en E) van de kroon; op de kroon en op de voet van één stijl (C); op de verbindingen (G); over heel de omtrek van het raam (F).

Essai: Proef.  
Vérin: Vijzel.

a) Cadres TH de 29 kg/m.

Les essais ont été effectués sur des cadres ayant les caractéristiques suivantes :

- le profil « 48 », le seul laminé en Belgique à ce moment;
- l'acier Cockerill-Ougrée (C.O.);
- les assemblages C.O.;
- un rayon de cintrage fort différent pour la bête et pour les montants.

Ces essais ont montré que ces cadres, même avec un faible serrage des carcans, ne coulisent qu'à des charges très élevées (32 à 36 t), voisines de la limite de résistance, de sorte que la bête a été tordue avant tout coulisement important.

Ces cadres peuvent être acceptables pour les galeries au rocher et les traçages, mais ne conviennent pas pour les voies de chantier liées à des exploitations avancantes.

Les essais ont été poursuivis dans le but de trouver des cadres coulisant à des charges plus faibles et, dans

a) TH-ramen van 29 kg/m.

De proeven werden uitgevoerd op ramen met de volgende kenmerken :

- het profiel « 48 », het enige dat op dat ogenblik in de Belgische walserijen werd vervaardigd;
- staal Cockerill-Ougrée (C.O.);
- verbindingen C.O.;
- een sterk verschillende krommingsstraal voor de kap en de stijlen.

Deze proeven hebben aangetoond dat de ramen in kwestie, zelfs bij een zwak aanspannen van de beugels, slechts inzinken bij zeer hoge belastingen (32 of 36 t), die in de buurt van de breukweerstand liggen, met het gevolg dat de kap verwrongen was voordat er een belangrijke inzinking was opgetreden.

Deze ramen kunnen gebruikt worden in galerijen in het gesteente en galerijen in de volle laag, maar ze komen niet in aanmerking voor werkplaatsgalerijen in het geval van voorwaarts ontgonnen pijlers.

De proeven werden voortgezet met het doel een raam te ontwikkelen dat inzinkt bij zwakkere belasting en zo

ce but, les facteurs suivants ont été améliorés les uns après les autres (après chaque changement, celui-ci a été maintenu pour les essais suivants, sauf en ce qui concerne la forme des cadres) :

- assemblages Bochum au lieu des assemblages C.O.;
- la forme du cadre en cintrant les extrémités de la bête et des montants suivant un même rayon de courbure, mais sur une longueur limitée;
- l'acier Bochum à haute résistance au lieu de l'acier C.O.;
- le profil « 58 » au lieu du profil « 48 »;
- l'utilisation de deux demi-bêtes avec un troisième assemblage en couronne;
- l'adoption d'une bête cintrée dont le rayon de courbure est le même que celui des montants.

Ces essais ont permis de constater que les trois modifications suivantes sont chacune indispensables pour obtenir un coulisement acceptable du cadre, tout en gardant éventuellement la même forme qu'au début (rayons différents pour la bête et les montants) :

- l'acier à haute résistance qui permet d'exercer des charges beaucoup plus élevées avant de provoquer la torsion d'un élément;
- les assemblages Bochum qui remplacent ceux de C.O. avec lesquels le coulisement s'opère par à-coups et par saccades;
- le profil « 58 » au lieu du « 48 » où le coulisement s'opérait sur des surfaces inclinées dont l'angle n'est pas rigoureusement constant.

En ce qui concerne la forme des cadres, signalons que :

- l'adoption d'un troisième assemblage en couronne favorise le coulisement régulier du cadre et permet un certain rapprochement des montants dans le cas de poussées latérales;
- l'adoption d'un même rayon de cintrage, mais sur une longueur limitée, améliore le coulisement du cadre sur cette longueur limitée;
- l'adoption de la bête cintrée en ogive a permis de réaliser un cadre coulissant parfaitement à des charges à peu près constantes, dépendant étroitement du serrage des boulons; en modifiant ce serrage, il est possible de régler à volonté le coulisement du cadre à des charges verticales comprises entre 9 et 44 t.

Comme dans le cas de voies de chantier liées à des exploitations avançantes, il est préférable, du moins pour les cas difficiles, d'avoir une charge de coulisement qui augmente avec le temps, ces cadres pourraient convenir à condition d'augmenter le serrage des carcans à mesure de l'avancement de la taille.

Si l'on élève la charge de coulisement, il faut glisser une poutrelle ou un bloc de béton sous le pied des cadres, car avec une charge de 30 t en couronne, la contrainte moyenne transmise par ce pied au mur de la voie est de 400 kg/cm<sup>2</sup> ce qui dépasse la résistance de la plupart des roches du mur.

werden de volgende factoren de ene na de andere verbeter (elke wijziging wordt tijdens al de volgende proeven behouden behalve wat de vorm van de ramen betreft).

- verbinding Bochum in plaats van de verbinding C.O.;
- de vorm van het raam, door het buigen van de uiteinden van kap en stijl volgens eenzelfde krommingsstraal maar dan over een beperkte lengte;
- het staal Bochum met hoge weerstand in plaats van het staal C.O.;
- het profiel « 58 » in plaats van het profiel « 48 »;
- het gebruik van twee halve kappen met een derde verbinding in de kroon;
- het gebruik van een gebogen kap waarvan de krommingsstraal dezelfde is als die van de stijlen.

De proeven leiden tot het besluit dat de volgende drie wijzigingen elk afzonderlijk noodzakelijk zijn zomen een behoorlijke inzinking van het raam wil bekomen, eventueel met behoud van de oorspronkelijke vorm (verschillende stralen voor de kap en de stijlen) :

- staal met hoge weerstand waarmee hogere belastingen kunnen verdragen worden vooraleer een element wordt verwrongen;
- de verbinding Bochum in plaats van de verbinding C.O. die aanleiding geeft tot stoten en sprongen bij het inzinken;
- het profiel « 58 » in plaats van het profiel « 48 » waarbij het inzinken gebeurt over hellende oppervlakken met een niet volkomen constante hoek.

Met betrekking tot de vorm van de ramen signaleren wij het volgende :

- met een derde verbinding in de kroon krijgt men een regelmatigere inzinking van het raam en kunnen de stijlen in zekere mate tot elkaar naderen bij zijdelingse drukking;
- eenzelfde krommingsstraal over een beperkte lengte geeft een beter schuiven van het raam over deze beperkte lengte;
- met een ovaal gebogen kap kan een raam gebouwd worden dat een volmaakte inzinking vertoont voor nagenoeg constante belastingen, die in nauw verband staan met de aanklemming der bouten; het is mogelijk door verandering van deze klemkracht het inschuiven van het raam te regelen voor alle verticale belastingen tussen 9 en 44 t.

In de galerijen van voorwaarts ontgonnen pijlers verdient het de voorkeur, althans voor de moeilijke gevallen, de inzinklast te doen toenemen met de tijd; welnu, deze ramen zijn voor dat doel geschikt op voorwaarde dat de beugels verder aangespannen worden naarmate de pijler vooruitgaat.

Wanneer men de inzinkbelasting opdrijft moet men een betonnen balk of blok onder de voet van de ramen leggen want een belasting van 30 t in de kroon veroorzaakt een gemiddelde spanning tussen de voet van het raam en het vloergesteente van 400 kg/cm<sup>2</sup> hetgeen meer is dan de meeste vloergesteenten verdragen.



b) *Cadres TH de 21 kg/m.*

Les essais ont été effectués sur des cadres de profil « 38 » avec interposition de planchettes en bois dur aux assemblages, semblables à ceux utilisés couramment en Belgique.

Ces essais ont montré qu'à condition de bien surveiller les assemblages et de leur donner, si nécessaire, quelques coups de marteaux, on peut considérer que ces cadres coulissent bien malgré une différence dans le rayon de courbure des éléments. La charge de coulissement varie de 10 à 22 t pour un serrage normal des boulons des carcans.

En effet, dans le cas de cadres avec rayons de courbure différents pour la bête et les montants, c'est le profil « 38 » qui se prête le mieux, grâce à son plus faible moment d'inertie, aux modifications continues du cintrage, imposées par les carcans, à mesure du coulissement.

Il semble que, si l'on veut avoir un cadre coulissant bien dans des voies de chantier à forte convergence, on ait intérêt à prendre des cadres de 21 kg/m avec un acier à haute résistance.

Par contre, s'il faut prévoir des poussées latérales importantes, un cadre de 29 kg/m offre une résistance plus forte à la flexion et à la torsion.

c) *Cadres Eris-Launay.*

Les cadres Eris-Launay ont leur bête cintrée en forme d'ogive, ce qui permet de leur donner le même rayon de cintrage qu'aux montants.

Le coulissement, fonction du serrage, varie de 8 à 18 t pour un serrage normal des boulons.

En comparant le coulissement de ce cadre avec celui d'un cadre TH de forme *identique*, on constate que :

- pour un même serrage, le coulissement du TH est plus régulier et se produit avec des fluctuations beaucoup plus faibles de la charge;
- aux faibles serrages, le coulissement du TH se produit à des charges plus faibles;
- à des serrages plus importants, le coulissement du TH se produit par contre à des charges beaucoup plus grandes.

Le cadre Eris-Launay, tel qu'il a été essayé, convient moins bien pour les galeries au rocher où la résistance au coulissement du cadre doit être plus importante.

d) *Cadres Moll à caissons coulissants.*

Le coulissement des cadres Moll cintrés avec caissons coulissants n'a pu se faire que très difficilement; tout au long de l'essai, il a fallu desserrer et resserrer les boulons et modifier le calage latéral des caissons. Ceci est dû à l'emploi de rails de réemploi fortement usés (poids de 40 kg/m au lieu de 51 kg/m à l'état neuf).

b) *TH-ramen van 21 kg/m.*

De proeven werden uitgevoerd met ramen in het profiel « 38 » met plankjes in hard hout in beide verbindingen, zoals de ramen die in België gewoonlijk gebruikt worden.

Indien de verbindingen in het oog gehouden worden en er zo nodig enkele hamerslagen worden op gegeven, mag men aannemen dat deze ramen goed in elkaar schuiven ondanks een verschil in krommingsstraal van de elementen. De inzinklast varieert van 10 tot 22 t bij een normale klemming van de bouten der beugels.

In werkelijkheid leent het profiel « 38 » zich voor ramen met kap en stijl van verschillende kromming het best aan de voortdurende wijziging van de kromming, opgelegd door de beugels tijdens het inzinken, en dit wegens zijn kleiner traagheidsmoment.

Indien men een raam wenst dat gemakkelijk inzinkt in werkplaatsgalerijen met sterke convergentie, dan schijnt het raam van 21 kg/m in staal met hoge weerstand een goede keuze te zijn.

Verwacht men zich daarentegen aan hoge zijdelingse drukkingen, dan is het raam van 29 kg/m beter bestand tegen buiging en wringing.

c) *Ramen Eris-Launay.*

Bij de ramen Eris-Launay is de kap gebogen in ovale vorm, zodat ze dezelfde krommingsstraal kan hebben als de stijlen.

Het inzinken is een functie van de klemming der beugels en gebeurt tussen 8 en 18 t voor normale klemkracht.

Vergelijkt men het inzinken van dit raam met dat van een TH-raam *van dezelfde vorm*, dan bemerkt men het volgende :

- bij dezelfde klemkracht gebeurt het inzinken van het TH-raam regelmatig en met veel kleinere schommelingen van de belasting;
- voor zwakke klemkracht zinkt de TH in bij kleinere belasting;
- voor grotere klemkrachten zinkt de TH daarentegen in voor veel hogere belastingen.

Het raam Eris-Launay zoals het beproefd werd, is minder geschikt voor de galerijen in het gesteente waar het raam een hogere inzinkweerstand moet hebben.

d) *Mollramen met meegeevende kasten.*

Bij de gebogen Mollramen met meegeevende kasten kon het inzinken slechts met veel moeite bekomen worden; zolang de proef duurde moesten de bouten worden losgemaakt en terug aangespannen en moest de zijdelingse klemming op de kasten gewijzigd worden. Dit was het gevolg van het feit dat gebruik werd gemaakt van oude en erg versleten spoorstaven (gewicht 40 kg/m in plaats van 51 kg/m zoals in nieuwe staat).

### 213. Coulissement de cadres dans le cas de charges appliquées sur des longueurs croissantes de leur pourtour.

Lorsque la surface de contact de la charge appliquée sur le cadre augmente, les poussées qu'il faut exercer pour obtenir le coulissement deviennent de plus en plus grandes.

Ainsi, suivant que la charge est appliquée sur 1,20 m au centre de la couronne, sur toute la couronne ou sur tout le pourtour du cadre, les charges totales qu'il faut appliquer sont dans l'ordre 11, 20 et 35,5 t (dans le cas de cadres semblables).

Lorsque la charge est appliquée sur tout le pourtour, la résistance au coulissement augmente rapidement et, après un coulissement limité, la seule déformation qui se poursuit est un rapprochement des montants à des charges variant entre 23 et 38 t.

### 214. Résistance aux poussées latérales.

L'effort à appliquer au pied d'un montant pour repousser celui-ci vers l'intérieur varie de 3 à 12 t suivant la charge appliquée en couronne.

Déjà après un très faible rapprochement des montants, le profil de ceux-ci se déforme fortement, l'assemblage situé du côté de la charge devient rigide et les mesures des contraintes développées dans l'acier indiquent que la limite élastique est rapidement dépassée.

### 215. Résistance maximale de cadres de 29 kg/m.

Après la torsion d'un élément, le cadre peut encore supporter une charge élevée, mais inférieure à celle qui a provoqué la déformation.

- a) Lors des essais de coulissement, les bèles de plusieurs cadres se sont tordues aux charges suivantes :
  - dans le cas d'un acier C.O. : à 25, 32, 32,2 et 35,9 t;
  - dans le cas d'un acier Bochum : à 52 t.
- b) Avant tout coulissement, les cadres ayant été rendus rigides par un serrage énergique des carcans, les résistances maximales suivantes ont été obtenues :
  - cadre TH et acier Bochum : 72 t;
  - cadre Eris : 44 t.
- c) Après un coulissement maximum des cadres, jusqu'à la mise en contact des extrémités des montants, les résistances suivantes ont été obtenues :
  - acier Bochum - cadres TH à rayons de cintrage différents : 76 t;
  - acier Bochum - cadres TH à rayons de cintrage identiques : 152 t;
  - acier Hainaut-Sambre - cadres Eris à rayons de cintrage identiques : 110 t

### 213. Het meegeven der ramen in geval de belasting wordt toegepast op een steeds groter wordend gedeelte van hun omtrek.

Wanneer het contactoppervlak tussen de toegepaste belasting en het raam toeneemt, wordt de drukking die vereist is om het inzinken te bekomen, groter en groter

Voor een belasting toegepast op 1,20 m van de kroon, op heel de kroon of op heel de omtrek van het raam, moet een totale drukking worden uitgeoefend van de orde van respectievelijk 11, 20 en 35,5 t (in het geval van gelijkaardige ramen).

Wordt de belasting op heel de omtrek toegepast dan stijgt de inzinklast zeer snel en na een beperkte inzinking treedt er geen andere vervorming meer op dan een toenadering tussen de stijlen voor belastingen gaande van 23 tot 38 t.

### 214. Weerstand tegen zijdelingse drukkingen.

De kracht die op de voet van een stijl moet toegepast worden om hem naar het midden van het raam te drijven varieert van 3 tot 12 t volgens de belasting op de kroon.

Reeds bij een zeer kleine toenadering tussen de stijlen wordt het profiel van deze laatste sterk vervormd, de verbinding aan de kant van de belasting wordt star en spanningsmetingen verricht op het staal duiden aan dat de elasticiteitsgrens spoedig wordt overschreden.

### 215. Hoogste weerstand van de ramen van 29 kg/m.

Na het verwringen van een element kan een raam nog een hoge belasting opnemen, echter lager dan die welke de vervorming veroorzaakte.

- a) Tijdens de inzinkproeven werden de kappen van verschillende ramen verwrongen onder de volgende belastingen :
  - met staal C.O. : bij 25, 32, 32,2 en 35,9 t;
  - met staal Bochum : bij 52 t.
- b) Wanneer de kaders star gemaakt worden door een krachtig aanklemmen van de beugels, noteert men voor elke inzinking de volgende maximale weerstand :
  - TH-raam in staal Bochum : 72 t;
  - Eris-raam : 44 t.
- c) Na maximale inzinking van de ramen, waarbij de uiteinden van de stijlen met elkaar in contact komen, werden volgende cijfers genoteerd voor de weerstand :
  - staal Bochum — TH-raam met verschillende krommingsstralen : 76 t;
  - staal Bochum — TH-raam met gelijke krommingsstralen : 152 t;
  - staal Hainaut-Sambre — Eris-raam met gelijke krommingsstralen : 110 t.

On constate que :

- l'acier à haute résistance permet d'atteindre des charges maximales beaucoup plus élevées et offre une possibilité plus grande de coulisser avant déformation;
- l'adoption d'éléments à rayons de courbure identiques pour la bête et les montants permet une résistance plus élevée par suite d'un chevauchement plus parfait des éléments en contact.

Les mesures des contraintes développées dans l'acier augmentent considérablement à mesure du coulisement des cadres.

## 22. Cadres articulés sur piles de bois

Le soutènement par cadres articulés sur piles de bois a donné toute satisfaction, même dans les conditions les plus difficiles, non seulement dans les gisements en plateures, mais aussi en semi-dressant et en dressant.

Ce soutènement se compose de deux éléments métalliques cintrés, disposés en forme d'ogive et constitués de rails de remploi de 40 à 52 kg/m. Ces éléments prennent appui l'un sur l'autre par un système d'articulation ou par deux sabots qui embrassent une longrine en bois disposée en couronne (voir fig. 10). Chaque élément est équipé à la base d'un sabot métallique qui coiffe une longrine en bois posée sur une pile de bois édifiée dans toute l'ouverture de la couche. Les cadres sont placés à 70 cm d'axe en axe.

Les piles de bois, dont la largeur varie de 1,10 à 1,50 m, forment un mur continu de bois le long des deux parements de la galerie. Elles sont souvent bourrées de pierres à mesure de leur édification.

Pour obtenir une bonne tenue de la voie, il est conseillé de creuser la section définitive de la voie entre

Men stelt het volgende vast :

- met staal met hoge weerstand worden veel hogere maximale belastingen bereikt en wordt een betere inzinking voor vervorming bekomen;
- gebruikt men gelijke krommingsstralen voor de kap en de stijlen dan verkrijgt men een hogere weerstand omdat de delen in contact elkaar beter overlappen.

De spanningen in het staal nemen aanzienlijk toe met toenemende inzinking der ramen.

## 22. Gelede ramen op houtbokken

De ondersteuning met gelede ramen op houtbokken heeft volledige voldoening gegeven, zelfs in de moeilijkste omstandigheden, niet alleen in vlakke maar ook in half-steile en steile afzettingen.

Deze ondersteuning bestaat uit twee gebogen metalen elementen, die samen een spitsboog vormen en bestaan uit gebruikte spoorstaven met een gewicht van 40 tot 52 kg/m. Deze elementen steunen tegen elkaar door middel van een geleedingsstelsel of door tussenkomst van twee klauwen die ingrijpen met een houten kap in de kroon van de galerij (fig. 10). Onderaan rust elk element op een metalen klauw die steunt op een houten kap, die op haar beurt gedragen wordt door de houtbok; deze laatste wordt gebouwd in de volledige laagopening. De ramen worden geplaatst op afstanden van 70 cm van hart tot hart.

De houtbokken hebben een breedte van 1,10 tot 1,50 m en vormen een doorlopende muur van hout langs de twee galerijwanden. Vaak worden ze bij het optrekken gevuld met stenen.

Opdat de galerij goed zou houden, wordt aangeraden de definitieve sectie te drijven tussen de 3 en de 6 m

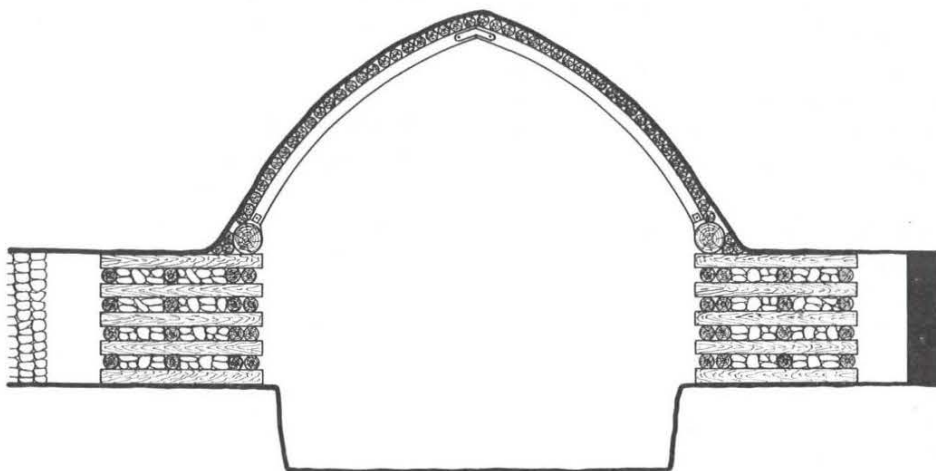


Fig. 10.

Cadres articulés sur piles de bois bourrées de pierres dans un gisement en plateure.  
Gelede ramen op met stenen gevulde houtbokken in vlakke afzetting.

3 et 6 m après le passage de la taille. Les cadres sont placés entièrement dans le toit de la couche. A mesure de l'éloignement de la taille, les piles de bois se compriment régulièrement, ce qui permet un affaissement du soutènement en harmonie complète avec les bancs du toit. Ce soutènement suit donc la courbe naturelle d'affaissement du massif sans provoquer aucun point dur, tout en opposant cependant une résistance suffisante pour empêcher la dislocation des bancs du toit. La cassure, qui naît inévitablement en bordure d'un panneau exploité, est rejetée en dehors du gabarit de la voie, si on prend la précaution d'établir une pile de bois suffisamment large du côté du massif en place.

Comme les piles de bois sont édifiées dans toute l'ouverture de la veine, la section de la voie au creusement est d'autant plus grande que la veine est grande et on peut estimer l'affaissement final à 50 % de cette ouverture.

Lorsque la technique est appliquée suivant les règles de l'art, l'entretien des voies est faible ou nul pendant toute la vie du chantier, même si le panneau exploité comporte plus de 1.000 m de chasse.

Rappelons que la figure 1 donne la courbe d'écrasement des divers types de piles de bois en fonction de la charge.

Dans une galerie qui accompagne une taille avançante, l'affaissement du toit est inéluctable. Il est proportionnel à l'ouverture de la veine, et atteindra au minimum 50 % de cette ouverture si on a pris la précaution d'édifier, de part et d'autre de la voie, des murs de remblai compacts.

Pour éviter de concentrer les charges sur le soutènement et les reporter sur les murs de remblai voisins, il faut que les piles soient un peu plus compressibles que le remblai. Ce sont les piles en bois de sapin, bourrées de pierres, qui paraissent le mieux convenir pour cet objectif. La pratique confirme d'ailleurs cette opinion, car dans les galeries ainsi traitées, on ne constate généralement aucune déformation des branches des cadres. A la fin de l'exploitation d'un panneau, on récupère intacts plus de 90 % des cadres.

Des mesures effectuées dans des voies de chantier indiquent que les charges verticales transmises par les cadres articulés sur les piles de bois par l'intermédiaire des longrines en bois peuvent atteindre 40 à 50 tonnes par mètre de voie, tant à l'amont qu'à l'aval. Les charges totales transmises par les cadres et le terrain sur les piles de bois sont environ 2 à 2,5 fois plus fortes et atteignent 80 à 120 tonnes par mètre de voie. La contrainte sur le mur, exercée par une charge de 100 tonnes sur une pile bien bourrée de pierres, est de 9 kg/cm<sup>2</sup> environ, tandis que, si la pile n'est pas bourrée de pierres, cette contrainte peut dépasser 25 kg/cm<sup>2</sup>.

achter de pijler. De ramen worden volledig in het dak van de laag geplaatst. Naarmate de pijler zich verwijderd worden de houtbokken regelmatig samengedrukt, waardoor de ondersteuning op volkomen harmonieuze wijze samen met de dakbanken inzinkt. Deze ondersteuning volgt dus de natuurlijke inzinkingskromme van het massief zonder harde punten te laten ontstaan, terwijl de weerstand toch voldoende blijft om te beletten dat de dakbanken loskomen. De scheur die onvermijdelijk ontstaat langs een ontgonnen paneel wordt verschoven buiten het gabariet van de galerij, ten minste als men de voorzorg neemt een voldoende brede houtbok te bouwen aan de kant van het onaangeroerd massief.

Vermits de houtbok de volledige laagopening in beslag neemt wordt de sectie van de galerij aan het front des te groter naarmate de laagopening toeneemt en men mag rekenen op een uiteindelijke verzakking van deze opening van 50 %.

Wanneer deze techniek volgens de regels van de kunst wordt toegepast vragen de galerijen gedurende heel de levensduur van de werkplaats weinig of geen onderhoud, zelfs wanneer het paneel meer dan 1.000 m ver gaat.

Wij herinneren eraan dat figuur 1 de inzinkingskromme geeft van verschillende typen van houtbokken in functie van de belasting.

In de galerij van een voorwaarts ontgonnen pijler is de verzakking van het dak onvermijdelijk. Ze is evenredig met de laagopening en bereikt hiervan 50 % minimum wanneer men de voorzorg genomen heeft aan weerszijden van de galerij dichte steendammen op te richten.

Om te voorkomen dat de belasting wordt geconcentreerd op de houtbokken en ze daarentegen te doen neerkomen op de naburige dammen, moet men ervoor zorgen dat de houtbokken een weinig meer samendrukbaar zijn dan de vulling. De bokken in dennehout opgevuld met stenen, schijnen aan deze voorwaarde het best te beantwoorden. Deze mening wordt ten andere in de praktijk bevestigd want in aldus gebouwde galerijen stelt men in het algemeen geen enkele vervorming van de elementen der ramen vast. Na de ontginning van een paneel worden meer dan 90 % van de ramen ongeschonden teruggewonnen.

Uit metingen uitgevoerd in ontginningsgalerijen is gebleken dat de verticale belasting overgebracht door gelede ramen op houtbokken, door tussenkomst van houten kappen, 40 tot 50 ton per meter galerij kan bereiken, zowel bovenkant als onderkant. De totale belasting uitgeoefend door de ramen en het gesteente op de houtbokken zijn nog 2 tot 2,5 keer groter en gaan tot 80 en 120 ton per meter galerij. De spanning op de vloer uitgeoefend door een belasting van 100 ton op een goed met stenen gevulde houtbok bedraagt ongeveer 9 kg/cm<sup>2</sup>; bij niet gevulde bokken kan deze spanning boven de 25 kg/cm<sup>2</sup> stijgen.

Bouwt men integendeel bokken met spoorwegdwarsliggers, dan is de verplettering onvoldoende. De belas-

Au contraire, quand on édifie les piles avec des traverses de chemin de fer, l'écrasement est insuffisant. On concentre les charges sur les cadres et les branches se déforment. Les piles constituent des points durs qui empêchent un affaissement uniforme des bancs du toit au-dessus de la galerie et de la zone exploitée. Les bancs du toit se disloquent.

De plus, les piles très dures transmettent au mur des charges exagérées qui favorisent le soufflage de la sole des galeries, et entraînent des travaux d'entretien que l'on peut facilement éviter quand les piles sont suffisamment compressibles. De l'expérience acquise en Belgique, on peut dire, sans exagération, qu'il est actuellement possible de conduire des voies de chantier sans recarrage, même dans des terrains tendres et fluants, à condition de respecter les principes énoncés ci-dessus.

### 3. SOUTÈNEMENT PAR CADRES METALLIQUES CIRCULAIRES OU ELLIPTIQUES

Pour s'opposer au soulèvement du mur, pour mieux résister aux poussées latérales et pour éviter la flexion des chapeaux droits, on peut envisager l'emploi de cadres entièrement fermés de forme circulaire ou elliptique.

Des essais préliminaires ont eu lieu en laboratoire sur les différents types de cadres suivants :

1. Cadres rigides circulaires en profil I de 29,5 kg par mètre, de la firme Rheinstahl-Wannheim.
2. Revêtement circulaire constitué par un cadre rigide enveloppé par un cadre coulissant, tous deux en profil I de 29,5 kg par mètre, de la firme Rheinstahl-Wannheim.
3. Cadres circulaires rigides TH en profil Zorès de 36 kg par mètre (en forme de gouttière) de la firme Heintzmann.
4. Cadres circulaires coulissants TH en profil Zorès de 36 kg par mètre de la firme Heintzmann.
5. Cadres elliptiques coulissants TH en profil Zorès de 36 kg par mètre de la firme Heintzmann.

Les essais ont consisté à exercer des efforts radiaux sur un quart de la circonférence extérieure, le reste de l'anneau étant maintenu par des appuis (fig. 11). Les efforts ont été augmentés progressivement jusqu'au flambage de l'anneau métallique.

La figure 11 schématise la façon dont la mise en charge a été réalisée sur les anneaux dans tous les essais. Chacun des essais a été effectué sur deux cadres complets, espacés de 33 cm d'axe en axe et solidarisés entre eux par des entretoises métalliques faisant fonction de tirants et de poussards à la fois. Il s'agit là d'un revêtement très dense et exceptionnellement robuste puisqu'il correspond à une densité de soutènement de 3 cadres par mètre de galerie.

Le tableau I résume les résultats des essais.

ting wordt geconcentreerd op de ramen en de elementen worden vervormd. De bokken vormen harde punten die een gelijkmatige verzakking van de dakbanken boven de galerij en boven de ontgonnen zone verhinderen. De dakbanken komen los.

Bovendien planten de te harde bokken op de vloer overdreven belastingen over, waardoor het zwellen van de vloer der galerij wordt in de hand gewerkt en onderhoudswerken worden nodig gemaakt die men gemakkelijk kan vermijden door voldoende samendrukbare bokken te nemen. Met de in België opgedane ervaring kan men zonder overdrijven zeggen dat het thans mogelijk is ontginningsgalerijen zonder onderhoud te bewaren, zelfs in weke en vloeiende gesteenten, op voorwaarde dat de hierboven uiteengezette principes worden nageleefd.

### 3. ONDERSTEUNING MET METALEN CIRKELVORMIGE OF ELLIPTISCHE RAMEN

Om het zwellen van de vloer tegen te gaan, voor een betere weerstand tegen zijdelingsdrukkingen en om doorbuiging van rechte kappen te voorkomen, kan men gebruik maken van volledig gesloten cirkelvormige of elliptische ramen.

Voorafgaande proeven werden uitgevoerd in een laboratorium op de volgende kadertypen :

1. Starre cirkelvormige ramen in I-profielen van 29,5 kg/m, van de firma Rheinstahl-Wannheim.
2. Cirkelvormige bekleding bestaande uit een star raam gevat in een meegevend raam, beide in I-profielen van 29,5 kg/m, van de firma Rheinstahl-Wannheim.
3. Starre cirkelvormige TH-ramen in Zorès-profiel van 36 kg/m (in gootvorm) van de firma Heintzmann.
4. Meegevende cirkelvormige TH-ramen in Zorès-profiel van 36 kg/m van de firma Heintzmann.
5. Meegevende elliptische TH-ramen in Zorès-profiel van 36 kg/m van de firma Heintzmann.

De proeven bestonden in het uitoefenen van radiale krachten op een vierde gedeelte van de buitenomtrek, waarbij het overige van het raam wordt ondersteund door vaste punten (fig. 11). De krachten worden geleidelijk groter tot de metalen ring knikt.

Figuur 11 laat schematisch zien hoe de belasting werd opgelegd in al de proeven. Elke proef werd toegepast op twee volledige ramen, die op een asafstand van 33 cm stonden en met elkaar verbonden waren door middel van metalen steunijzers die terzelfdertijd trekken en drukken. Dit betekent een zeer dichte en weerstandbiedende ondersteuning, die overeenkomt met een dichtheid van drie ramen per meter galerij.

Tabel I geeft een samenvatting van de resultaten der proeven.

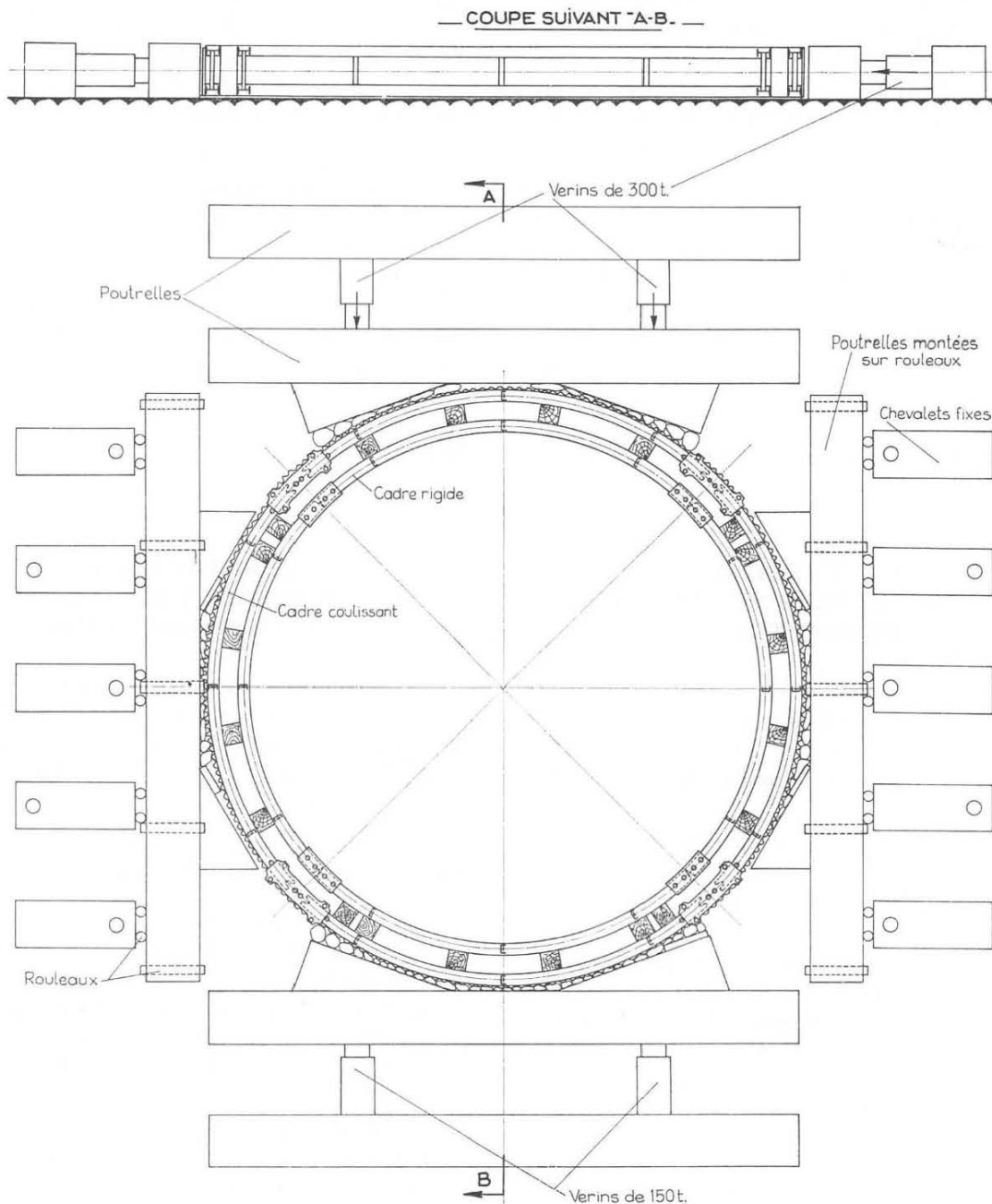


Fig. 11.

Disposition des vérins et des poutres d'appui utilisés lors de la mise en charge de cadres métalliques circulaires; les essais ont été effectués sur deux cadres superposés comme l'indique la coupe en haut de la figure.

Deux vérins de 300 t permettent d'exercer des efforts sur un quart du périmètre extérieur; les deux vérins de 150 t disposés du côté opposé permettent de mesurer la réaction absorbée par le quart opposé à celui de la mise en charge.

La figure représente l'essai d'un double revêtement (rigide et coulissant) de la firme Rheinstahl-Wannheim (profil des cadres en T 120).

Opstelling van de vijzels en steunbalken bij het belasten van cirkelvormige metalen ramen; de proeven werden uitgevoerd op twee opengeplaatste ramen zoals de doorsnede bovenaan de figuur verduidelijkt.

Twee vijzels van 300 t drukken op een vierde van de buitenomtrek; met de twee vijzels van 150 t opgesteld aan de overzijde wordt de reactie gemeten die opgenomen wordt door het vierde deel van het raam dat gelegen is tegenover datgene dat belast wordt.

De figuur stelt de proef voor op een dubbele ondersteuning (star en meegevend) van de firma Rheinstahl-Wannheim (profiel van de ramen in T 120).

Coupe suivant ... : Doorsnede volgens.

Vérin : Vijzel.

Poutrelle : Balk.

Poutrelle montée sur rouleaux : Op rollen lopende balk.

Chevalets fixes : Vaste bokken.

Cadre rigide : Star raam.

Cadre coulissant : Meegevend raam.

Tableau I — Tabel I  
*Résultats des essais sur des cadres métalliques*  
*Resultaten van de proeven op metalen ramen*

Numéro d'essai Nummer van de proef	Firme Firma	Profil Profiel	Poids en kg/mètre Gewicht in kg/m	Forme Vorm	Anneau rigide ou coulissant Starre of meegevende ring	Diamètres ou axes principaux int. (m) Binnendoormeter of hoofdassen (m)	Charge max. avant flambage en tonnes Max. belasting vóór knik in t	Pourcentage de diminution de section utile Vermindering van nuttige sectie in percent
1	Rheinstahl-Wannheim	I 120	29,5	circulaire cirkelvormig	rigide star	4,32	298	0
2	Rheinstahl-Wannheim	I 120	29,5	circulaire cirkelvormig	double revêtement rigide et coulissant starre en meegevende dubbele bekleding	4,32 4,86	280	4,6
3	Heintzmann	dit Zorès zg Zorès	36	circulaire cirkelvormig	rigide star	4,32	320	1,4
4	Heintzmann	dit Zorès zg Zorès	36	circulaire cirkelvormig	coulissant meegevend	4,32	317	12
5	Heintzmann	dit Zorès zg Zorès	36	elliptique elliptisch	coulissant meegevend	4,29 x 3,78	392 (pas de flambage) (geen knik)	9,4

Les tensions dans l'acier des éléments des cadres ont été mesurées en de nombreux points à l'aide de jauges de mesure de contraintes (fig. 12 et 13).

*Conclusions de ces essais.*

1. Les deux essais effectués sur des cadres Rheinstahl-Wannheim avaient pour but de voir si le fait d'envelopper un revêtement simple rigide par un anneau extérieur coulissant, augmentait ou non la résistance de l'ensemble du soutènement et dans quelle proportion.

On peut voir sur le tableau I que le flambage des cadres a eu lieu à 298 t pour l'anneau simple et à 280 t seulement pour l'anneau double.

Non seulement la résistance du revêtement n'a pas été augmentée, mais de plus les déformations de l'anneau rigide interne ont été beaucoup plus impor-

De spanningen in het staal van de raamelementen werden in een groot aantal plaatsen gemeten door middel van strippen (zie figuren 12 en 13).

*Besluiten uit deze proeven.*

1. De twee proeven uitgevoerd op de ramen Rheinstahl-Wannheim hadden voor doel na te gaan of het feit van een eenvoudige starre ondersteuning te omhullen met een uitwendige meegevende ring, al dan niet voor gevolg had van het geheel dezer ondersteuning de weerstand te verhogen, en in welke verhouding.

Op tabel I kan men zien dat de knik der ramen optrad bij 298 ton voor een enkele ring en bij 280 ton voor de dubbele ring.

Niet alleen werd de weerstand van de ondersteuning niet verhoogd, bovendien waren de vervormingen van de starre inwendige ring veel groter

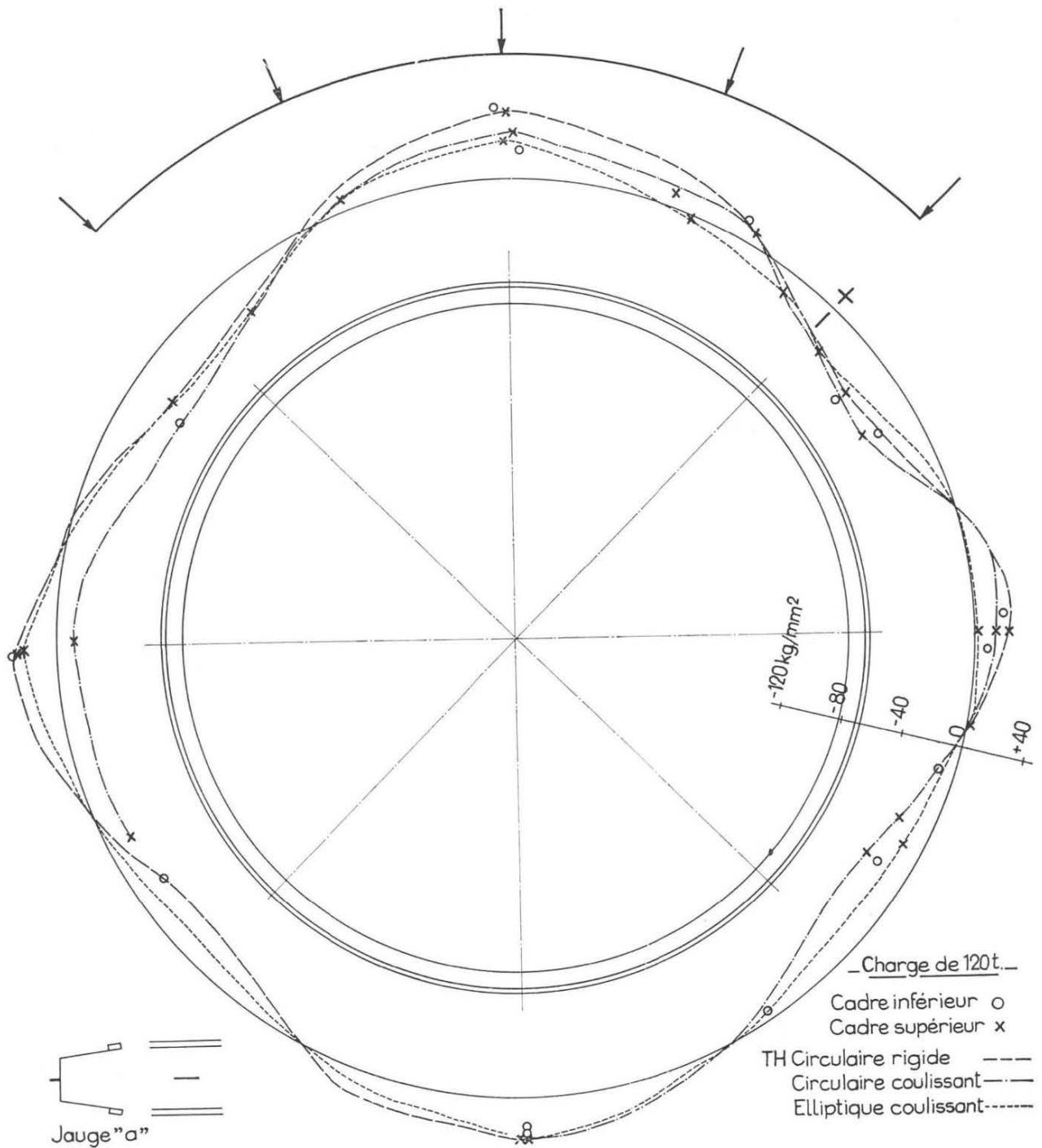


Fig. 12.

Variations des contraintes dans l'acier des cadres TH circulaires rigides, circulaires coulissants et elliptiques coulissants mesurées au moyen de jauges collées sur la face intrados des cadres suivant l'axe longitudinal des cadres (jauge « a » représentée dans le petit dessin en bas à gauche) pour la charge de 120 t.

Pour faciliter la représentation, un cercle figurant les tensions nulles a été tracé à l'extérieur du cadre; l'échelle des tensions est donnée par une droite graduée tracée à droite du dessin; les tensions situées à l'extérieur du cercle de référence sont de traction.

Veranderingen van de spanning in het staal van de starre cirkelvormige, meegevende cirkelvormige en meegevende elliptische TH-ramen, gemeten met behulp van stripjes die op de binnenkant van de ramen geplakt worden volgens de langsas der ramen (strip « a » voorgesteld in inzet links onder) voor een belasting van 120 t.

Om de voorstelling te vergemakkelijken werd een cirkel die de spanning « nul » voorstelt getekend buiten het raam; de spanningsschaal wordt gegeven door een gegradeerde rechte rechts op de figuur; de spanningen gelegen buiten de referentiecirkel zijn trekspanningen.

Charge de 120 t: Belasting van 120 t.

Cadre inférieur: Onderste raam.

Cadre supérieur: Bovenste raam.

TH circulaire rigide: Star cirkelvormig TH-raam.

Circulaire coulissant: Meegevend cirkelvormig TH-raam.

Elliptique coulissant: Meegevend elliptisch.

Jauge « a »: Strip « a ».



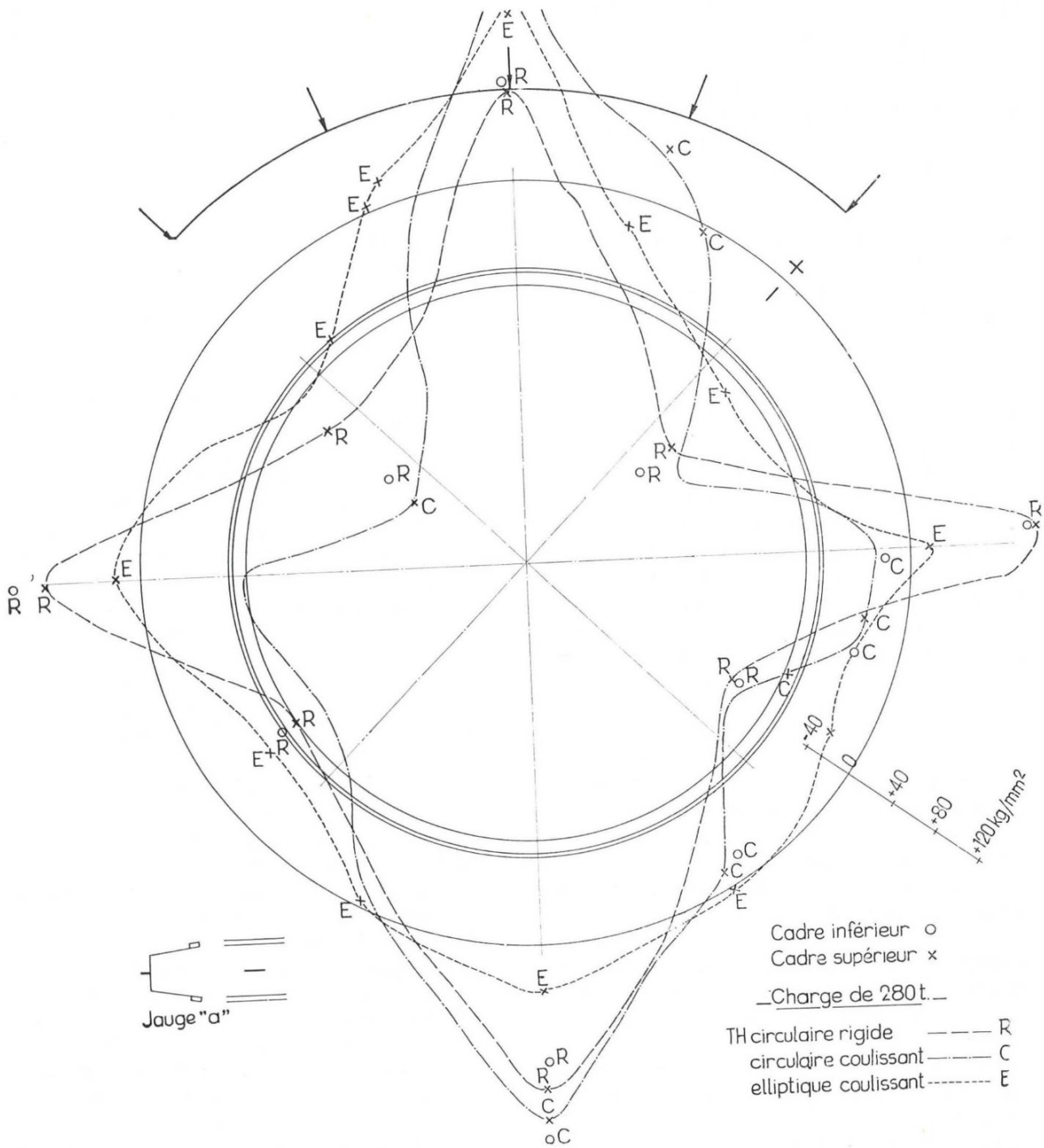


Fig. 13.

Variations des contraintes dans l'acier par les mêmes cadres TH, mesurées aussi au moyen des jauges « a » mais pour la charge de 280 t.

On constate que la limite élastique de 55 kg/mm<sup>2</sup> est dépassée sur la plus grande partie de l'intrados des cadres.

Veranderingen van de spanning in het staal van dezelfde TH-ramen, eveneens gemeten met de strip « a » maar dan voor een belasting van 280 t.

Men ziet dat de elasticiteitsgrens van 55 kg/mm<sup>2</sup> overschreden wordt over het grootste gedeelte van de binnenkant der ramen.

tantes dans le cas de l'anneau double que dans le cas de l'anneau unique.

Les tensions dans l'acier ont évolué parallèlement. Une contrainte de 21 kg par mm<sup>2</sup> a été mesurée à la charge de 280 t dans le cas de l'anneau rigide simple, et cette même contrainte a déjà été atteinte à 65 t dans le cas de l'anneau double. Dans ce dernier cas, la tension est rapidement montée à 50 kg par mm<sup>2</sup> pour une charge de 120 t seulement.

Avec ce revêtement double, les déformations du cadre rigide interne ont été trois à neuf fois plus fortes, et les tensions dans l'acier trois fois plus fortes au moins que quand le même anneau rigide est employé seul. Le double revêtement est non seulement beaucoup plus coûteux, mais il est nuisible à la bonne utilisation de la résistance de l'acier.

Dans l'anneau rigide unique, les charges sont appliquées d'une manière uniforme sur un quart de la circonférence. Dans l'anneau double, par suite de la faible résistance au coulissement des assemblages de l'anneau extérieur, la charge uniformément appliquée sur un quart de la circonférence est presque entièrement transmise à l'anneau rigide interne par l'intermédiaire de quelques madriers en bois dur de 16 cm de largeur, interposés entre les deux anneaux. La concentration des charges en quelques points fait monter rapidement les tensions dans l'acier et donne lieu à des déformations précoces.

2. La comparaison des profils I et Zorès semble donner l'avantage au profil I. En comparant les essais 1 et 3 (tableau I), on constate que, pour un anneau de même diamètre (4,32 m), les charges de flambage sont respectivement de 298 t et de 320 t, soit une augmentation de 7,5 % pour une augmentation du poids du profil de 22 %.

Le profil I a flambé par flexion locale dans le sens transversal (fig. 14) pour lequel le moment résistant n'est que de 32,6 cm<sup>3</sup>. Avec le profil « Zorès », dont le moment résistant transversal est de 151 cm<sup>3</sup>, l'essai a dû être arrêté par suite de l'écartement des deux lèvres du profil (fig. 15). A poids égal, le profil Zorès coûte un peu plus cher que le profil I de fabrication plus courante, mais il convient mieux pour les cadres coulissants.

3. En comparant les résultats des essais 3 à 5 effectués sur des cadres TH de même profil, on peut en conclure que la forme elliptique offre une meilleure résistance que la forme circulaire dans les conditions de l'essai, c'est-à-dire quand les charges sont appliquées sur un quart de la circonférence et orientées suivant le grand axe de l'ellipse. Dans ces conditions, la charge maximale portée par un anneau elliptique coulissant est 24 % plus élevée que celle

in het geval van de dubbele ring dan in het geval van één enkele ring.

De spanningen in het staal zijn op gelijkaardige wijze geevolueerd. Een spanning van 21 kg/mm<sup>2</sup> werd gemeten bij een belasting van 280 ton in het geval van een starre ring, en dezelfde spanning werd reeds bij 65 ton bereikt in het geval van de dubbele ring. In dat laatste geval steeg de spanning snel tot 50 kg/mm<sup>2</sup> voor een belasting van slechts 120 ton.

Met deze dubbele bekleding waren de vervormingen van de inwendige starre ondersteuning drie tot negen keer zo groot, en de spanningen in het staal ten minste drie keer zo hoog als wanneer dezelfde starre ring alleen gebruikt wordt. Niet alleen is de dubbele bekleding veel kostelijker, ze doet ook afbreuk aan het goede gebruik van de weerstand van het staal.

In het geval van de enkele starre ring worden de belastingen op eenvormige wijze uitgeoefend over een vierde gedeelte van de omtrek. In het geval van de dubbele ring wordt de belasting, die gelijkvormig wordt toegepast op een vierde gedeelte van de omtrek, wegens de zwakke inzinkweerstand van de verbindingen van de buitenste ring, bijna volledig overgebracht op de inwendige starre ring door tussenkomst van balken in hard hout met een breedte van 16 cm, die tussen beide ringen worden gestoken. De concentreren van de belasting in enkele punten doet de spanningen in het staal snel stijgen en veroorzaakt voortijdige vervormingen.

2. Een vergelijking van de I-profielen en de Zorès-profielen schijnt in het voordeel van de I-profielen uit te vallen. Door vergelijking tussen de proeven 1 en 3 (tabel I) ziet men dat de knikbelasting, voor een ring met dezelfde doormeter (4,32 meter) respectievelijk 298 en 320 ton bedraagt, dit is een verhoging van 7,5 % tegenover een verhoging van het gewicht van het profiel van 22 %.

Het I-profiel heeft geknikt door lokale doorbuiging in de dwarsrichting (fig. 14) in welke richting het weerstandbiedend moment slechts 32,6 cm<sup>3</sup> bedraagt. Met het Zorès-profiel, met een dwars weerstandbiedend moment van 151 cm<sup>3</sup>, moest de proef gestaakt worden omdat de twee lippen van het profiel (fig. 15) zich van elkaar verwijderden. Bij gelijk gewicht kost het Zorès-profiel een weinig meer dan het veel gefabriceerde I-profiel, maar het is beter geschikt voor meegeevende ramen.

3. Een vergelijking tussen de resultaten van de proeven 3 en 5 leidt tot het besluit dat bij de ramen TH van hetzelfde profiel de elliptische vorm een betere weerstand biedt dan de cirkelvormige, in de omstandigheden van de proef, dit wil zeggen wanneer de belasting wordt toegepast over een vierde gedeelte van de omtrek en volgens de grote as van de ellips. In die omstandigheden ligt het hoogste draagvermogen van een meegeevende elliptische ring 24 % hoger dan die van een meegeevende cirkelvormige ring

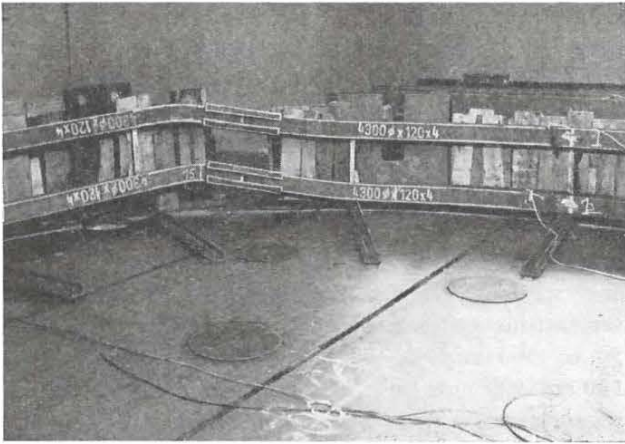


Fig. 14.

Flambage des cadres inférieurs et supérieurs de l'anneau rigide en profil I à la charge de 298 t; on constate que les deux cadres sont restés parallèles.

Knik van het onderste en bovenste raam van de starre ring in I-profielen bij een belasting van 298 t; men ziet dat beide ramen evenwijdig gebleven zijn.

portée par un anneau circulaire coulissant de même périmètre. Si des poussées latérales devaient être prédominantes, il n'en serait plus de même.

Lors de la mise en charge et par suite du coulisserment des assemblages, l'anneau, de forme elliptique au départ, prend petit à petit la forme circulaire. Après un coulisserment total des quatre assemblages de 870 mm, on obtient un cercle de 3,77 m de diamètre intérieur, dont la résistance dépasse 340 t. Les figures 12 et 13 montrent les variations des tensions dans l'acier des cadres coulissants circulaires et elliptiques (essais 3, 4 et 5 du tableau I) pour les jauges « a », collées à la face intrados des cadres aux charges de 120 t et de 280 t. Ces jauges mesurent les contraintes suivant l'axe longitudinal des profils.

Les contraintes dans l'acier sont beaucoup plus faibles dans les anneaux elliptiques et la réduction de section utile est plus petite que dans le cas du cadre circulaire.

4. Les cadres circulaires rigides paraissent un peu plus résistants que les cadres circulaires coulissants si nous comparons les contraintes dans l'acier aux mêmes charges (fig. 12 et 13). Celles-ci sont toujours un peu plus faibles dans le premier cas que dans le second. De plus, la réduction de section utile est naturellement beaucoup plus faible avec le cadre rigide et son prix est un peu plus avantageux.

#### Conclusions.

Plusieurs essais de cadres métalliques circulaires ou elliptiques ont été effectués dans le fond, tant dans des galeries au rocher que dans des voies de chantier.

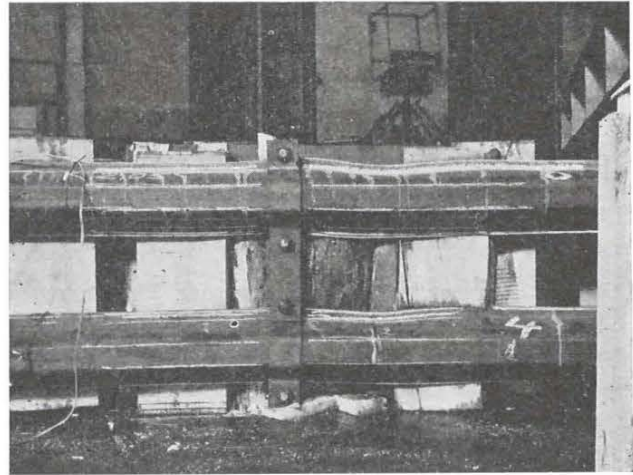


Fig. 15.

Déformation par flambage des cadres inférieurs et supérieurs de l'anneau de profil « Zorès », à la charge de 320 t.

Vervorming door knik van het onderste en het bovenste raam van de ring in Zorès-profielen, bij een belasting van 320 t.

met dezelfde omtrek. Indien de zijdelingse drukkingen de overhand hadden zou dit anders zijn.

Tijdens het opkomen van de belasting neemt de ring, die aanvankelijk elliptisch is, als gevolg van het schuiven der verbindingen langzaam de cirkelvorm aan. Na een totale inzinking van de vier verbindingen over 870 mm bekomt men een cirkel met een inwendige doormeter van 3,77 m en een weerstand van meer dan 340 ton.

Figuren 12 en 13 geven de spanningsvariaties in het staal van de meegeevende elliptische en cirkelvormige ramen (proeven 3, 4 en 5 van tabel I) voor de strippen « a », geplakt binnenkant de ramen, voor belastingen van 120 ton en 280 ton. Deze strippen meten de spanningen volgens de langsas van de profielen.

Bij elliptische ramen zijn de spanningen in het staal veel lager en wordt de nuttige sectie niet zo veel verminderd als bij cirkelvormige.

4. De starre cirkelvormige ramen lijken een weinig sterker dan de meegeevende cirkelvormige ramen, wanneer wij de spanningen in het staal bij gelijkblijvende belasting vergelijken (figuren 12 en 13). Deze spanningen zijn altijd lager in het eerste dan in het tweede geval. Bovendien is de vermindering van nuttige sectie vanzelfsprekend veel kleiner in het geval van de starre ring, en ook is zijn prijs een weinig lager.

#### Besluiten.

Verschillende proeven met metalen cirkelvormige of elliptische ramen werden uitgevoerd in de ondergrond, zowel in steengalerijen als in ontginningsgalerijen.

Dans les galeries au rocher, le soutènement coulissant TH utilisé a pu résister aux pressions à condition que celles-ci ne soient pas trop élevées.

Les deux essais suivants ont été effectués dans des voies de chantier de tailles avançantes :

- pose du soutènement en arrière de la taille;
- pose du soutènement en avant de la taille.

Dans le premier cas, le soutènement TH coulissant elliptique s'est bien comporté; le coulisement moyen pour chacun des 4 assemblages a varié de 50 à 500 mm, le soufflage du mur a varié de 130 à 220 mm, quelques déchirures de l'acier se sont produites aux extrémités supérieures de certains montants, accompagnées d'une ouverture du profil.

Par contre, la pose des cadres n'est guère aisée et il n'a pas été possible de suivre l'avancement de la taille; d'autre part, la reprise des cadres n'a pas été facile et en moyenne seuls 3 cadres elliptiques ont été repris par poste en laissant sur place 40 à 60 % d'éléments.

Dans le deuxième cas, bien que le soutènement se soit déformé, aucun entretien n'a dû être effectué dans le tronçon revêtu de ces cadres TH elliptiques coulissants. Le coulisement par assemblage a varié de 60 à 920 mm.

Cependant, l'avancement de la voie revêtue de ces cadres a été bien inférieur à celui obtenu avec les cadres ouverts, de nombreux éléments de cadres se sont pliés ou tordus et la récupération en a été très difficile; seuls les bèles et quelques montants ont pu être repris.

#### 4. REVETEMENT CIRCULAIRE PAR CLAVEAUX DE BETON OU PAR PANNEAUX EN BETON ARME

Dans le bassin de Campine, la plupart des boueux doivent être revêtus d'un soutènement circulaire en blocs de béton préfabriqués, qui est le seul à avoir donné satisfaction dans les terrains tendres et fluants qui caractérisent ce gisement.

Jusqu'il y a moins d'un an, tous ces revêtements étaient formés au moyen d'une juxtaposition de claveaux en béton d'un poids variant de 80 à 130 kg formant des anneaux d'une épaisseur de 50 à 55 cm (fig. 16). La mécanisation partielle de la pose de ces claveaux et l'organisation réalisée dans ces chantiers ont permis d'atteindre des avancements maxima de 1,80 à 2,80 m par jour. En 1967, le rendement moyen réalisé dans un siège était de 12,90 cm/Hp ou de 3,4 m<sup>3</sup>/Hp.

Une nouvelle augmentation de l'avancement n'était cependant possible que si l'on modifiait les dimensions des éléments en béton.

In de steengalerijen bleek de meegeevende ondersteuning TH bestand tegen de drukkingen zo lang deze niet te hoog waren.

Volgende twee proeven werden uitgevoerd in ontginningsgaleries van voorwaarts gaande pijlers :

- de ondersteuning wordt achter de pijler geplaatst;
- de ondersteuning wordt voor de pijler geplaatst.

In het eerste geval heeft de meegeevende elliptische ondersteuning TH zich goed gehouden; de gemiddelde verplaatsing varieerde voor de vier verbindingen tussen 50 en 500 mm, de zwelling van de vloer ging van 130 tot 220 mm, enkele scheuren in het staal werden waargenomen aan de bovenste uiteinden van sommige stijlen, met opentrekken van het profiel.

Daarentegen is het plaatsen van deze ramen lang niet eenvoudig en kon de vooruitgang van de pijler niet gevolgd worden; anderzijds is het terugwinnen der ramen niet gemakkelijk en gemiddeld konden slechts 3 elliptische ramen per dienst gerecupereerd worden, waarbij 40 tot 60 % van de elementen moesten worden achtergelaten.

In het tweede geval trad wel een vervorming van de ondersteuning op maar in het galerijgedeelte uitgerust met meegeevende elliptische TH-ramen moest geen onderhoud verricht worden. De verplaatsing per verbinding varieerde van 60 tot 920 mm.

Evenwel was de vooruitgang van de galerij waarin deze ramen stonden veel kleiner dan wat met open ramen bekomen wordt, talrijke elementen van deze ramen waren geplooid of verwrongen en de terugwinning ervan was zeer moeilijk; enkel de kappen en enkele stijlen konden worden gerecupereerd.

#### 4. CIRKELVORMIGE ONDERSTEUNING MET BETONBLOKKEN OF PANELEN IN GEWAPEND BETON

In het Kempens Bekken moeten de meeste steenganen ondersteund worden met een cirkelvormige ondersteuning in geprefabriceerde betonblokken, omdat dit de enige ondersteuning is die voldoening geeft in de weke en vloeiende gesteenten die kenmerkend zijn voor deze afzetting.

Tot voor minder dan een jaar bestond deze ondersteuning uitsluitend uit naast elkaar geplaatste betonnen gewelfblokken met een gewicht van 80 tot 130 kg die ringen vormden met een dikte van 50 tot 55 cm (fig. 16). Dank zij een gedeeltelijke mechanisering van het plaatsen der blokken en de organisatie van de werkpunten kon een vooruitgang bereikt worden van maximum 1,80 tot 2,80 m per dag. In 1967 werd in een zetel een gemiddeld effect bereikt van 12,90 cm/Md of 3,4 m<sup>3</sup>/Md.

De vooruitgang nog verder opdrijven was evenwel enkel mogelijk indien men de afmetingen van de beton-elementen veranderde.

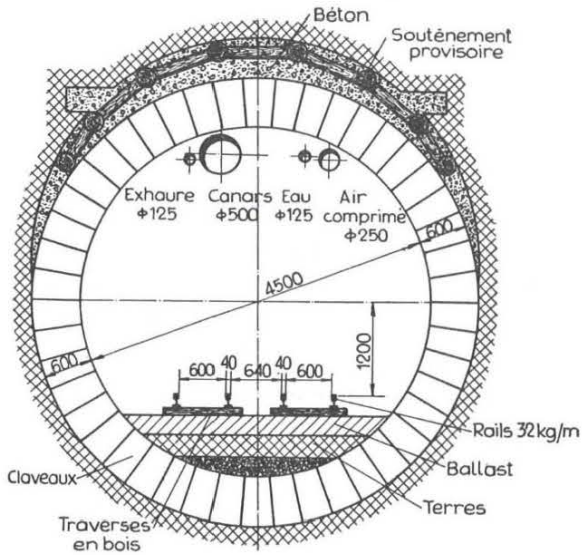


Fig. 16.

Revêtement circulaire au moyen de claveaux en béton.

Cirkelvormige bekleding met betonblokken.

- Béton : Beton.
- Soutènement provisoire : Voorlopige ondersteuning.
- Exhaure : Bemalingsleiding.
- Canars : Kokers.
- Eau : Zuiver water.
- Air comprimé : Perslucht.
- Rail : Spoorstaaf.
- Ballast : Ballast.
- Terres : Stenen.
- Claveaux : Gewelfblokken.
- Traverses en bois : Houten dwarsliggers.

C'est pourquoi, suite à des visites effectuées en Tchécoslovaquie, des essais ont été entrepris en Belgique avec un revêtement circulaire formé au moyen de 5 panneaux en béton armé réalisant des anneaux de 20 cm d'épaisseur et dont la pose a pu être entièrement mécanisée (fig. 17).

Daarom heeft men, na bezoeken in Tsjeko-Slovakije, in België proeven ondernomen met een cirkelvormige bekleding gevormd uit vijf panelen in gewapend beton die samen een ring vormen met een dikte van 20 cm en waarvan het plaatsen volledig kan worden gemechaniseerd (fig. 17).

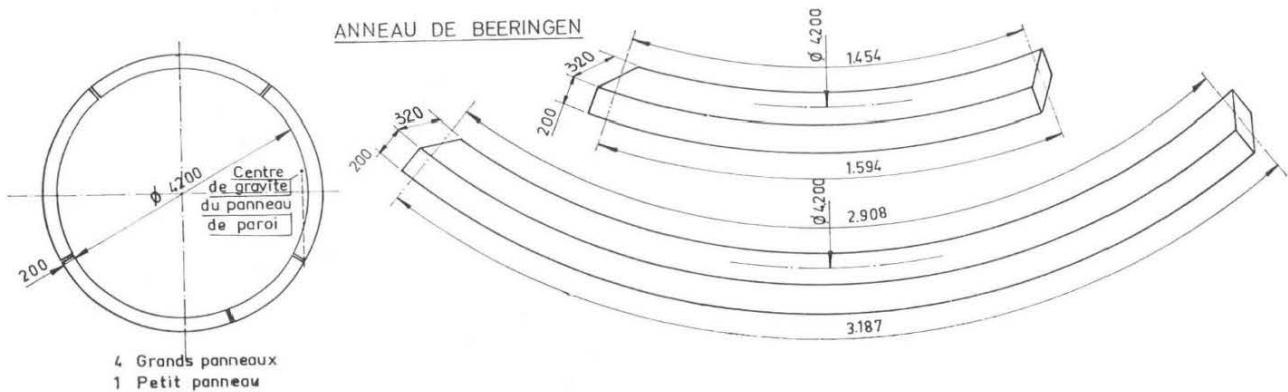


Fig. 17.

Revêtement circulaire au moyen de panneaux en béton armé.

Cirkelvormige bekleding met panelen in gewapend beton.

- Anneau de Beringen : Ring van Beringen.
- Centre de gravité du panneau de paroi : Zwaartepunt van het wandpaneel.
- 4 grands panneaux : 4 grote panelen.
- 1 petit panneau : 1 klein paneel.

Avant d'appliquer ce procédé en Belgique, il nous a paru opportun d'effectuer des essais de résistance en laboratoire sur ces anneaux et de comparer les résultats avec ceux obtenus sur les anneaux formés de claveaux en béton.

De nombreux essais ont été effectués en laboratoire sur des anneaux entiers d'un diamètre égal à celui des

Vooraleer het procédé in uitvoering te brengen hebben wij laboratoriumproeven willen uitvoeren om de weerstand van deze ringen vast te stellen en de resultaten te kunnen vergelijken met deze bekomen op ringen gevormd uit betonblokken.

Talrijke laboratoriumproeven werden uitgevoerd op volledige ringen met dezelfde doormeter als de steen-

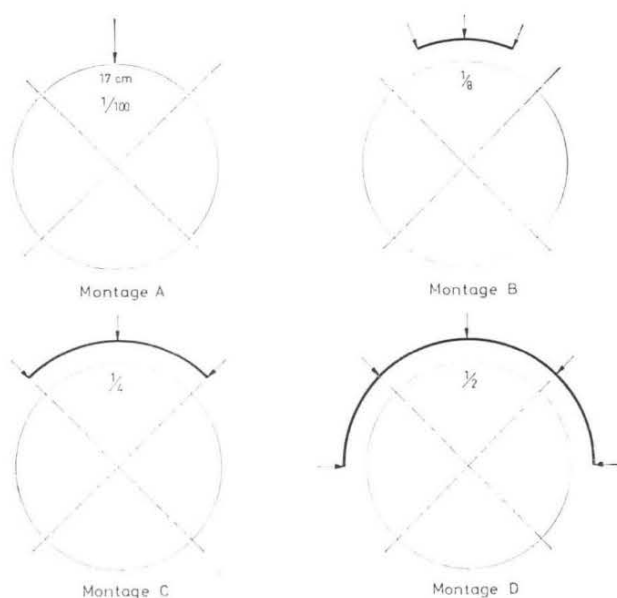


Fig. 18.

Représentation schématique des divers modes de sollicitation auxquels les anneaux en claveaux et en panneaux de béton ont été soumis — Rappelons que la partie du contour extérieur non directement chargée, est mise en butée contre des points fixes.

Schematische voorstelling van de verschillende wijzen van belasting waaraan de ringen in betonblokken en in betonnen panelen onderworpen werden — Het gedeelte van de buitenomtrek dat niet rechtstreeks wordt belast, wordt ondersteund door vaste steunpunten.

Montage : Opstelling.

bouveaux, de façon à mieux connaître les sollicitations auxquelles ces revêtements doivent résister et à pouvoir améliorer encore leur résistance.

La figure 18 schématise les divers modes de sollicitation auxquels les anneaux ont été soumis et qui varient d'une charge ponctuelle jusqu'à une mise en charge uniformément répartie sur un demi-anneau.

Cette série d'essais permet d'apprécier l'efficacité d'un remplissage convenable du vide entre l'anneau et le terrain, remplissage qui répartit la charge exercée par les bancs de roches sur la plus grande surface possible de l'anneau.

D'après les essais effectués et les observations faites dans le fond, c'est le montage C (charges réparties sur un quart de l'anneau) qui présente les déformations et modes de ruptures se rapprochant le plus de ceux observés dans les boueaux en claveaux de béton qui ont dû être recarrés après avoir subi de fortes poussées de terrain.

Dans le cas des boueaux à claveaux, on creuse en effet généralement une section plus grande en couronne (vide de 0,60 à 1 m d'épaisseur) pour pouvoir placer facilement les claveaux de couronne. Ce vide n'est généralement plus rempli, ou très peu, de sorte que par après, le contact terrain-revêtement se fait très mal et souvent ponctuellement.

Pour réaliser dans des travaux souterrains les conditions de l'essai D, il est indispensable de remplir convenablement le vide annulaire entre le revêtement et le terrain.

#### 41. Essais sur les claveaux

Le tableau II donne le résultat de quelques essais de laboratoire effectués sur des anneaux en claveaux de béton.

gangen, met het doel een beter inzicht te bekomen in de belastingen waaraan deze ondersteuning moet weerstand bieden en deze weerstand nog te kunnen verbeteren.

Figuur 18 geeft een schematisch beeld van de verschillende manieren waarop deze ringen belast werden, en die gaan van een puntbelasting tot een belasting die eenvormig verdeeld is over de helft van een ring.

Deze reeks proeven bewees het nut van een goede opvulling van de ledige ruimten tussen de ring en het gesteente, opvulling waardoor de belasting uitgeoefend door de gesteentebanken wordt verdeeld over de grootst mogelijke oppervlakte van de ring.

Volgens de uitgevoerde proeven en de waarnemingen die in de ondergrond verricht werden is het de opstelling C (belasting verdeeld over een vierde van de ring) waarbij de vervormingen en de manieren van breken het best overeenkomen met wat men waarneemt in blokkensteengangen die moesten nagebroken worden tengevolge van de zware drukkingen die ze hadden doorstaan.

Bij blokkensteengangen wordt in het algemeen een grotere sectie uitgedreven in de kroon (een open ruimte van 0,60 tot 1 m) zodat de bovenste blokken gemakkelijk kunnen geplaatst worden. Deze ruimte wordt in het algemeen niet of zeer onvoldoende opgevuld, met het gevolg dat het contact tussen ondersteuning en terrein later zeer zlechts en zelfs puntvormig is in vele gevallen.

Wil men in de ondergrond de omstandigheden van de proef D bekomen, dan moet men noodzakelijkerwijze de cirkelvormige ruimte tussen de ondersteuning en het gesteente behoorlijk opvullen.

#### 41. Proeven op de blokken

Tabel II geeft de resultaten van enkele laboratoriumproeven uitgevoerd op ringen in betonblokken.

Tableau II — Tabel II

*Résultats des essais sur des anneaux en claveaux de béton**Resultaten van de proeven op ringen in betonnen gewelfblokken*

Essais Proef	Forme des graviers Aard van het grond	Intercalaires compres- sibles utilisés Samendrukbare voe- ringen		Type de montage réalisé	Nom- bre de cla- veaux	Diamètre intér. en m	Epaisseur de l'anneau en cm	Largeur de l'an- neau en cm	Charge max. atteinte av. rupture en t
		Nature Aard	épaiss. en mm. dikte in mm	Type van opstel- ling	Aantal blok- ken	Binnen- doormeter in m	Dikte van de ring in cm	Breedte van de ring in cm	Max. belasting bereikt vóór breuk in t
1	roulés rolgrind	Linex Linex	40	D	43	4,10	54	30	> 400 (1)
2	roulés rolgrind	Sapin Dennehout	40	D	43	4,10	54	30	> 400 (1)
3	roulés rolgrind	Pas d'intercalaires g e e n		D	43	4,10	54	30	400
4	roulés rolgrind	Linex Linex	40	C	43	4,10	54	30	470
5	roulés rolgrind	Linex Linex	40	C	43	4,10	54	30	484
6	roulés rolgrind	Sapin Dennehout	40	C	43	4,10	54	30	340
7	roulés rolgrind	Nové Nové	11	C	47	4,10	54	30	442
8	roulés rolgrind	Linex Linex	40	C	43	4,10	44	30	270
9	concassés gebroken grind	Linex Linex	40	C	43	4,10	44	30	232
10	concassés gebroken grind	Linex Linex	20	C	72	4,80	50	33	480
11	concassés gebroken grind	Linex Linex	20	C	42	4,80	50	33	520
12	concassés gebroken grind	Linex Linex	20	C	42	4,80	50	33	400

(1) Dans le cas de ces essais, les montages réalisés en laboratoire n'ont pas permis de dépasser une charge de 400 t; mais il est certain (d'après les mesures des aplatissements des fourrures compressibles) que la charge de rupture est loin d'avoir été atteinte.

(1) Bij deze proeven lieten de opstellingen in het laboratorium geen grotere belasting toe dan 400 t; het staat evenwel vast (te oordelen naar de graad van verplettering van de samendrukbare voeringen) dat de breukbelasting nog lang niet bereikt is.

De l'ensemble des essais, on peut observer :

- 1) Lorsque la charge est répartie sur une demi-circonférence, la charge à laquelle ce type de revêtement peut résister est très élevée et peut atteindre 1.500 t par anneau de 30 cm de largeur. Dans ces conditions, le revêtement d'un mètre de bouveau pourrait tenir une charge supérieure à 5.000 t.
- 2) Les essais 4 ou 5 et l'essai 8 ne diffèrent que par l'épaisseur de l'anneau qui était respectivement de 54 et de 44 cm. En augmentant l'épaisseur des claveaux de 23 %, ce qui améliore la surface de contact entre les claveaux, la charge de rupture de l'anneau a été augmentée de 78 %.
- 3) Les essais 8 et 9 ne diffèrent que par la forme des graviers qui constituent le béton. Avec les graviers roulés, la première fissure apparaît dans le béton à la charge de 184 t et la rupture à 270 t; les mêmes phénomènes apparaissent respectivement à 230 et 232 t avec les graviers concassés.  
Les fissures dans le béton sont dues à une traction et, dans ce cas, les graviers concassés permettent une plus grande résistance. Par contre, l'éclatement du béton est dû en grosse partie à la compression et, dans ce cas, les graviers roulés conviennent mieux. Comme dans le fond, il faut éviter l'apparition des premières fissures dans le béton des claveaux, il semble qu'il soit préférable d'utiliser des graviers concassés.
- 4) Les essais 4 et 10 diffèrent principalement par le diamètre intérieur utile des anneaux. Les claveaux, bien que de provenance différente, ont pratiquement les mêmes surfaces de contact. La charge de rupture est sensiblement la même, 470 t et 480 t, bien que le diamètre passe de 4,10 à 4,80 m.
- 5) De l'ensemble des essais effectués sur les claveaux, il résulte qu'il faut absolument éviter d'empiler des claveaux bruts sans interposition de fourrures compressibles. Les surfaces de claveaux bruts présentent des creux ou des bombements (dont la flèche peut atteindre 1 cm), ce qui donne lieu à des concentrations de charges, à des contraintes de flexion et à des ruptures précoces des claveaux.
- 6) En ce qui concerne la nature et l'épaisseur optimale de ces planchettes, on a observé les points suivants. Tous les essais ont montré que, si on utilise des planchettes en bois comme fourrures compressibles, celles-ci ont pour effet d'abaisser considérablement le taux de rupture à la compression des claveaux. Par la compression, le bois s'écrase et flue parallèlement aux fibres, provoquant des contraintes de traction dans le béton.  
Les fourrures compressibles doivent avoir une épaisseur suffisante pour absorber toutes les irrégularités des surfaces en contact. Des épaisseurs trop fortes, par contre, facilitent le déboîtement de claveaux d'un anneau. Ainsi, des intercalaires de 10 mm d'épaisseur ne sont pas suffisants pour reprendre les

Het geheel van deze proeven leidt tot volgende waarnemingen :

- 1) Wordt de belasting verdeeld over de helft van de cirkelomtrek, dan kan dit type van ondersteuning weerstaan aan zeer hoge lasten die 1500 t kunnen bereiken per ring van 30 cm breedte. In die omstandigheden zou de bekleding van 1 meter steengang kunnen weerstaan aan een belasting van meer dan 5.000 t.
- 2) De proeven 4 of 5 en de proef 8 verschillen onderling enkel door de dikte van de ring die respectievelijk 34 en 44 cm bedroeg. Verhoogt men de dikte der blokken met 23 %, zodat tussen de blokken een beter contactvlak tot stand komt, dan vermeerderd men de breukweerstand van de ring met 78 %.
- 3) Proeven 8 en 9 verschillen enkel door de vorm van het gebruikte betongrind. Met rolgrind verschijnt de eerste barst in het beton bij een belasting van 184 ton en de breuk treedt op bij 270 ton; met gebroken grind treden dezelfde verschijnselen op bij 230 respectievelijk 232 ton.  
De barsten in het beton zijn een gevolg van trek, en in dat geval biedt gebroken grind een grotere weerstand. Het springen van beton is daarentegen vooral een gevolg van druk en daarvoor zijn rolkeien beter geschikt. Daar men in de ondergrond het verschijnen van de eerste scheuren in de betonblokken moet vermijden schijnt het dat de voorkeur moet gaan naar gebroken grind.
- 4) Proeven 4 en 10 verschillen hoofdzakelijk door de nuttige doormeter der ringen. Alhoewel de blokken van verschillende herkomst zijn, hebben ze praktisch dezelfde contactoppervlakken. De breukweerstand is ongeveer dezelfde, 470 ton en 480 ton, alhoewel de doormeter in het ene geval 4,10 m bedraagt en in het andere 4,80 m.
- 5) Uit het geheel van de proeven uitgevoerd op blokken volgt dat men absoluut moet vermijden de blokken op elkaar te stapelen zonder er samendrukbare voeringen tussen de leggen. De oppervlakken van de blokken vertonen holten en bulten (waarvan de pijl tot 1 cm kan gaan) en dit geeft aanleiding tot spanningsconcentraties, buigkrachten en voortijdige breuk van de blokken.
- 6) Wat de aard en de optimale dikte van deze vulling aangaat, hebben wij de volgende punten waargenomen. Alle proeven hebben uitgewezen dat houten plankjes als samendrukbare vulling de breukweerstand tegen samendrukking van de blokken sterk verminderen. Het hout wordt door de samendrukking verpletterd en vloeit zijdelings weg, daarbij trekspanningen in het beton veroorzakend.  
De samendrukbare voeringen moeten voldoende dik zijn om alle onregelmatigheden in de contactoppervlakken te kunnen opnemen. Te grote dikte veroorzaakt daarentegen het uiteen vallen van de ringen. Een dikte van 10 mm is bij voorbeeld niet genoeg om de holten en bulten in de oppervlakken der



creux et les bombements des surfaces des claveaux; par contre, une épaisseur de 40 mm semble favoriser le déboîtement d'un claveau de l'anneau. Avec des fourrures de 40 mm d'épaisseur, le déboîtement s'est produit prématurément à une charge de 272 t, tandis qu'avec des fourrures de 20 mm d'épaisseur, on ne constate aucun déboîtement avant la rupture de l'anneau.

Les fourrures compressibles épaisses diminuent le serrage obtenu par l'obliquité des faces des claveaux. En effet, au moment de la mise en charge d'un anneau, on constate parfois un écrasement très différent d'une même fourrure à l'intrados et à l'extrados. Cet écrasement différent facilite le glissement et le déboîtement des claveaux d'un anneau comme cela a été observé dans maints bouveaux (fig. 19).

**42. Comparaison entre claveaux et panneaux dans le cas d'une même sollicitation**

Le tableau III donne les charges de rupture atteintes lors de différents essais, mais pour le seul cas d'une répartition de la charge sur un quart du périmètre (montage C de la figure 18).

blokken op te nemen; daarentegen schijnt een dikte van 40 mm het uiteenvallen van de blokken van een ring te bevorderen. Met voeringen van 40 mm vielen de ringen voortijdig uiteen bij een belasting van 272 ton, terwijl met voeringen van 20 mm dit verschijnsel niet waargenomen werd vooraleer de ring het begaf.

Dikke samendrukbare voeringen veroorzaken een vermindering van de inklemming die een gevolg is van de koniciteit der blokkoppervlakken. In feite ziet men dikwijls bij het opkomen van de belasting op een ring dat eenzelfde voering op heel verschillende wijze verpletterd wordt aan de binnenkant en aan de buitenkant. Door dit verschil in verplettering wordt het glijden en uiteenvallen van de blokken van een ring bevorderd zoals men in vele steengangen heeft waargenomen (fig. 19).

**42. Vergelijking tussen blokken en panelen bij gelijke belasting**

Tabel III geeft de breukbelasting bekomen tijdens verschillende proeven, maar alleen voor het geval van een verdeling der belasting over een vierde van de omtrek (opstelling C van figuur 18).

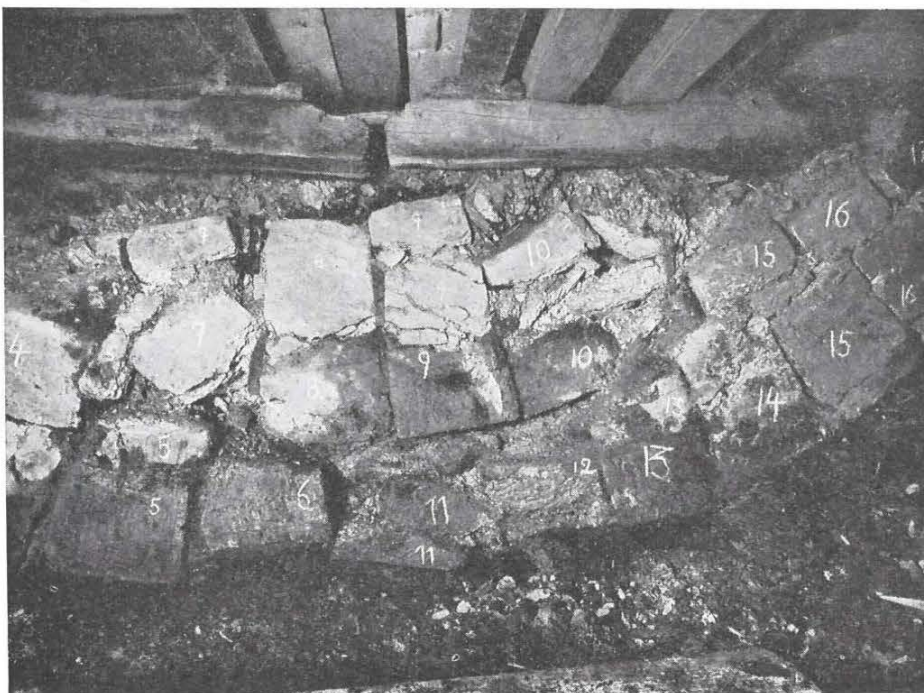


Fig. 19.

Photographie prise dans le radier d'un bouveau à claveaux de Campine. On remarque bien le raillage du bouveau dans le haut de la photo.

L'anneau a été cisailé entre les claveaux numérotés 6 à 11.

Foto van de bedding van een blokkensteengang in de Kempen. In het bovendee van de foto ziet men duidelijk de sporen van de steengang.

De ring werd doorgesneden tussen de blokken genummerd 6 tot 11.

Tableau III — Tabel III

*Charges de rupture atteintes lors de quelques essais suivant le montage C, sur un revêtement circulaire en claveaux ou en panneaux*

*Breukbelastingen, bereikt tijdens enkele proeven met de opstelling C, op een cirkelvormige ondersteuning in blokken of in panelen*

Matériel Materiaal	Nombre des claveaux ou panneaux  Aantal blokken of pa- nelen	Dimensions de l'anneau Afmetingen van de ring			Joints entre éléments Voegen tussen de elementen		Charge de rupture moyen- ne en t  Gemiddelde breukbelas- ting in t
		Diamètre int. en m.	Epaisseur du revê- tement en cm	Largeur en cm	Nature	Epaisseur en mm	
		Binnen- doorme- ter in m	Dikte van de bekleding in cm	Breedte in cm	Aard	Dikte in mm	
Claveaux	43	4,10	54	30	Linex	40	470
Blokken	43	4,10	44	30	Linex	40	251
	72	4,80	50	33	Linex	20	480
	42	4,80	50	33	Linex	20	520
Panneaux tchécos- lovaques	4	3,70	14	31	Mortier Mortel	35	130
Tsjeko- Slovaakse panelen	4	3,70	34*	31	Mortier Mortel	35	382
	4	3,70	14	31	Linex	20	160
Panneaux de Zolder Panelen van Zolder	6	4,20	20	30	Ménotex	16	288
Panneaux de Beringen Panelen van Beringen	5	4,20	20	32	Linex	20	183

(\*) Pour cet anneau constitué aussi de panneaux de 14 cm d'épaisseur, un anneau enveloppe en béton de 20 cm d'épaisseur a été coulé autour des panneaux en béton armé.

(\*) Deze ring was eveneens samengesteld uit panelen met een dikte van 14 cm, doch er werd bovendien een omhullende ring in beton met een dikte van 20 cm gegoten rondom de panelen in gewapend beton.

Sur le graphique de la figure 20, nous avons indiqué les charges de rupture atteintes en fonction de l'épaisseur du revêtement essayé.

On constate que, s'il est évident qu'un revêtement de 14 ou de 20 cm d'épaisseur est moins résistant qu'un de 50 cm, cette différence diminue fortement quand le béton de l'anneau est armé.

Op de grafiek van figuur 20 hebben wij de breukbelasting aangeduid in functie van de dikte van de bekleding.

Vanzelfsprekend is een bekleding van 14 of 20 cm dikte minder sterk dan één van 50 cm, maar men ziet dat dit verschil snel vermindert wanneer de ring bestaat uit gewapend beton.

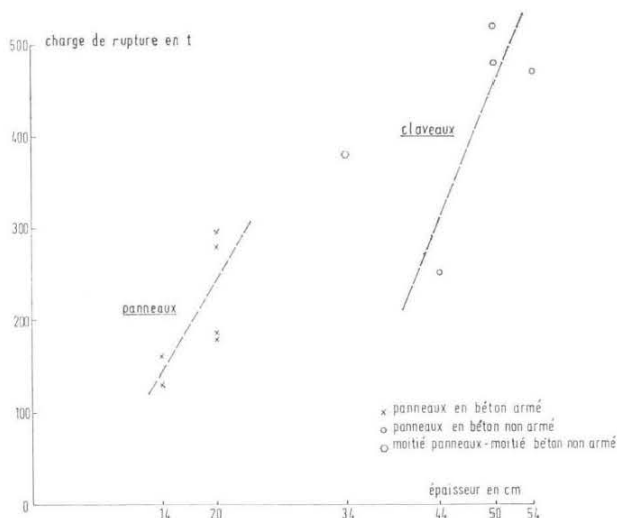


Fig. 20.

Charge de rupture de différents anneaux en claveaux ou en panneaux de béton, dans le cas d'une mise en charge répartie sur un quart du pourtour, en fonction de l'épaisseur du revêtement.

Brukweerstand van verschillende ringen in betonblokken of betonpanelen in functie van de dikte van de bekleding, met belasting verdeeld over een vierde van de omtrek.

Charge de rupture en t : Brukweerstand in t.

Panneaux : Panelen.

Claveaux : Blokken.

Panneaux en béton armé : Panelen in gewapend beton.

Panneaux en béton non armé : Panelen in ongewapend beton.

Moitié panneaux, moitié béton non armé : Half panelen, half ongewapend beton.

Epaisseur en cm : Dikte in cm.

Ainsi, la résistance d'un anneau en claveaux de béton de 44 cm d'épaisseur serait du même ordre de grandeur que celle d'un anneau en panneaux de béton armé de 20 cm d'épaisseur.

Dans tous les essais relatés, la rupture de l'anneau s'est produite par éclatement d'une section comprimée. La différence de comportement entre un revêtement armé ou non est due à une meilleure répartition de la partie comprimée sur la section de l'anneau, obtenue grâce aux étriers.

#### 43. Elasticité des revêtements en claveaux et en panneaux

Au cours des essais effectués sur un quart du pourtour de l'anneau, nous avons mesuré régulièrement le rétrécissement sous l'effet de la charge, du diamètre parallèle à l'axe de la charge (diamètre 1-9). La figure 21 donne quelques courbes de la diminution de ce diamètre en fonction de la charge, toujours dans le cas d'une charge répartie sur le quart de l'anneau.

Les graphiques correspondants de la figure 21 indiquent qu'à une charge de 150 t, la diminution de ce diamètre a varié de 55 à 90 mm pour le cas des panneaux de Zolder et de Beringen, soit 1,3 à 2,1 % du diamètre intérieur.

Lors des essais effectués sur des anneaux formés de claveaux fabriqués à Langerlo, la diminution de ce diamètre à la même charge de 150 t a varié de 50 à 150 mm, soit 1,1 à 2,7 % du diamètre intérieur.

Or, dans le cas d'anneaux constitués de panneaux, l'épaisseur totale des intercalaires compressibles est de 10 cm, tandis que cette épaisseur totale est de 144 cm dans le cas des claveaux de Langerlo.

On constate donc que, malgré une diminution élevée de l'épaisseur totale compressible du revêtement en panneaux, les déformations réelles de l'anneau ne sont pas

#### 43. Elasticiteit van de ondersteuning met blokken en panelen

Tijdens de proeven uitgevoerd op een vierde gedeelte van de ringomtrek hebben wij regelmatig de inkorting gemeten, onder invloed van de belasting, van de doormeter die evenwijdig loopt met de as van de belasting (doormeter 1-9). Figuur 21 geeft enkele krommen die de inkorting van deze doormeter in functie van de belasting voorstellen, altijd in de veronderstelling van een belasting die verdeeld is over een vierde van de omtrek.

De overeenkomstige krommen van figuur 21 tonen aan dat de inkorting van deze doormeter bij een belasting van 150 t varieert van 55 tot 90 mm voor de panelen van Zolder en die van Beringen, dit wil zeggen 1,3 tot 2,1 % van de binnendoormeter.

Tijdens proeven op ringen uit blokken van Langerlo varieerde de inkorting van deze doormeter voor dezelfde belasting van 50 tot 150 mm, dit is 1,1 tot 2,7 % van de binnendoormeter.

Welnu, bij ringen die uit panelen samengesteld zijn is de totale dikte van de samendrukbare voeringen 10 cm; bij blokken van Langerlo is deze totale dikte 144 cm.

Men ziet dus dat de werkelijke vervorming van de ring, ondanks het feit dat de totale samendrukbare dikte

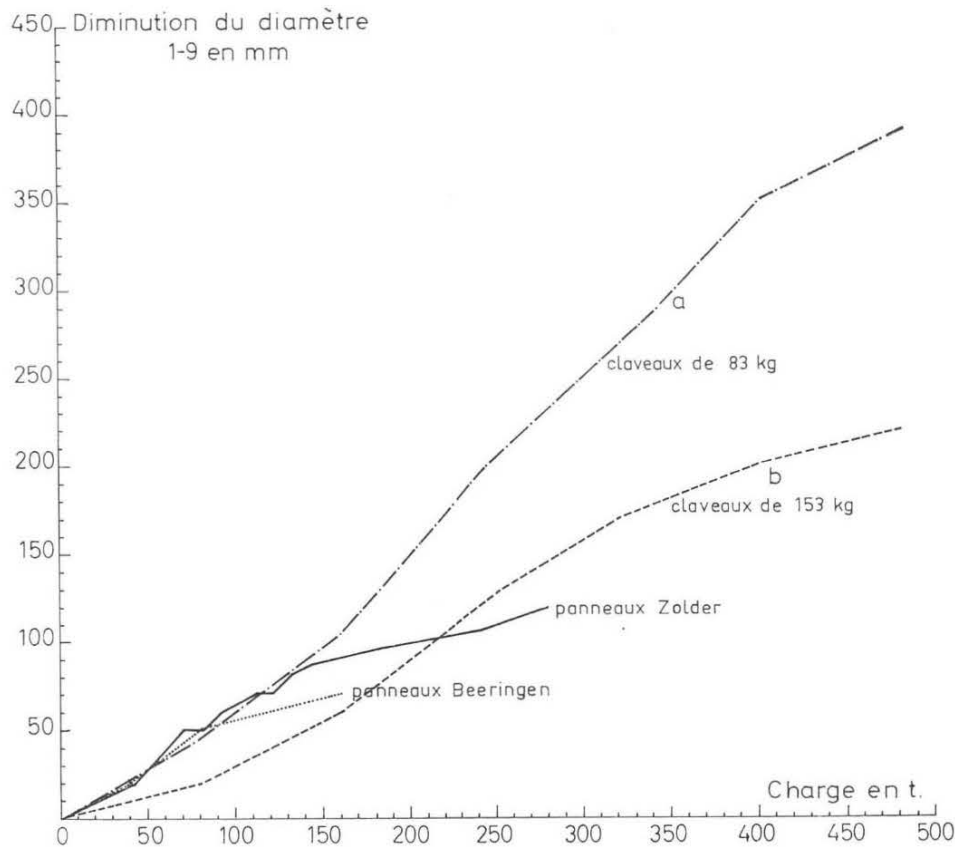


Fig. 21.

Diminution du diamètre (1-9) situé dans l'axe de la charge en fonction de celle-ci pour des anneaux et claveaux de 83 kg et de 153 kg et en panneaux de Zolder et de Beringen (le diamètre 1-9 va de haut en bas au-dessus de la figure 18).

Vermindering in functie van de belasting, van de doormeter (1-9), gelegen in de as van de belasting, voor ringen in blokken van 83 kg en van 153 kg en voor panelen van Zolder en Beringen (de doormeter 1-9 loopt van boven naar onder op de figuur 18).

Diminution du diamètre 1-9 en mm : Vermindering van de doormeter 1-9 in mm.  
Claveaux : Blokken.

Panneaux : Panelen.  
Charge en t : Belasting in t.

sensiblement différentes de celles mesurées avec les claveaux.

bij de panelen sterk verminderd is, niet merkkelijk verschil van hetgeen bij blokken gemeten wordt.

#### 44. Influence de la répartition de la charge sur la résistance d'un anneau en panneaux

Le tableau IV donne les résistances à la rupture obtenues lors des divers essais, en fonction de la répartition de la charge sur le pourtour de l'anneau.

Par suite de la présence des armatures, la charge ponctuelle (sur 17 cm du pourtour) se répartit sur une largeur beaucoup plus grande du revêtement, ce qui explique que la rupture, lors de l'essai, a eu lieu sous une charge relativement plus élevée que celle à laquelle on pouvait s'attendre.

On constate que la résistance d'un anneau, formé de panneaux de même provenance, est 3,3 fois plus grande

#### 44. Invloed van de verdeling der belasting op de weerstand van een ring in panelen

Tabel IV geeft de breukweerstand bekomen tijdens verschillende proeven, in functie van de verdeling van de belasting over de omtrek van de ring.

Door de aanwezigheid van de bewapening verdeelt de puntbelasting (over 17 cm van de omtrek) zich over een veel grotere breedte van de ondersteuning, hetgeen verklaart waarom de breuk tijdens de proef optrad bij een veel grotere belasting, relatief gesproken, dan die waaraan men zich kon verwachten.

Men ziet dat de weerstand van ringen uit panelen van dezelfde herkomst 3,3 keer groter is wanneer de

Tableau IV — Tabel IV

Résistance à la rupture en fonction de la répartition de la charge

Breukweerstand in functie van de verdeling van de belasting

Répartition de la charge sur le pourtour de l'anneau en panneaux Verdeling van de belasting over de omtrek van de ring in panelen	Provenance des panneaux Herkomst der panelen	Charge de l'apparition de la première fissure en tonnes Belasting bij het verschijnen van de eerste barst in ton	Résistance à la rupture en tonnes Breukweerstand in ton	% de résistance par rapport à celle sur 1/2 circonférence % van de weerstand ten opzichte van die optreedt bij belasting over de halve omtrek	
sur 1/100 over 1/100 (ponctuelle) (puntbelasting)	Beringen	5	33	41	6,5
	Beringen	5	49		
sur 1/8 over 1/8	Beringen	20	109		18
sur 1/4 over 1/4	Beringen	90	180	183	30
	Beringen	40	186		
	Zolder	60	280		
	Zolder	70	296	288	
sur 1/2 over 1/2	Beringen	40	610		100

lorsque la charge est répartie sur la moitié que lorsqu'elle est répartie sur un quart du pourtour.

Si l'on veut obtenir une résistance maximale, il est donc indispensable de remplir convenablement le vide annulaire entre le revêtement et le terrain pour que la pression se répartisse uniformément sur la plus grande partie du pourtour du revêtement (et supprimer ainsi au maximum les contraintes de flexion, nuisibles à la résistance de l'anneau).

La figure 22 localise et indique les modes de rupture constatés lors des divers essais de mises en charge. Les emplacements des ruptures sont indiqués par des croix, les parties hachurées correspondent aux zones soumises à des sollicitations de traction ayant entraîné une fissuration du béton.

Quand la charge est appliquée sur une demi-circonférence, les deux zones principales de rupture sont situées sur un même diamètre, tandis que, lorsque la

belasting verdeeld wordt over de helft van de omtrek dan wanneer ze verdeeld wordt over een vierde.

Voor een maximale weerstand is het dan ook noodzakelijk de ringvormige opening tussen de bekleding en het gesteente behoorlijk op te vullen zodat de drukking gelijkvormig over het grootste gedeelte van de omtrek wordt gespreid (en de buigspanningen, die schadelijk zijn voor de weerstand van de ring, zoveel mogelijk worden vermeden).

Figuur 22 geeft plaats en aard van de breuken die tijdens de verschillende belastingsproeven werden vastgesteld. De plaats van de breuk wordt aangeduid door een kruis; de gearceerde gedeelten komen overeen met zones die onderworpen werden aan trekspanningen en waar dan ook barsten in het beton ontstonden.

Wanneer de belasting wordt toegepast over de helft van de omtrek liggen de twee voornaamste breukzones op dezelfde doormeter; wanneer de belasting wordt toe-

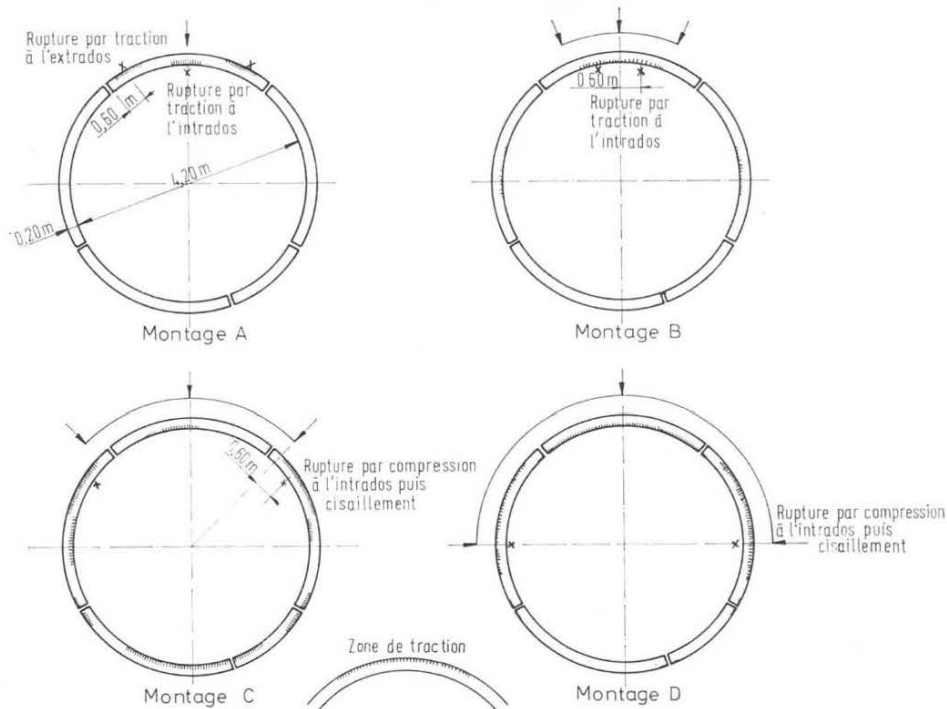


Fig. 22.

Localisation et mode de rupture constatés lors des essais effectués avec différentes répartitions de la charge sur le pourtour de l'anneau.

Les croix indiquent les endroits où les ruptures se sont produites (et le point symétrique par rapport à l'axe de la charge).

Les petits traits montrent les zones soumises à traction.

Plaats en aard van de breuk die optreedt bij proeven uitgevoerd met verschillende manieren van verdelen van de belasting over de omtrek van de ring.

De kruisjes duiden de plaatsen aan waar de breuken zijn ontstaan (alsook het symmetriepunt ten opzichte van de as van de belasting).

De kleine streepjes duiden de zones van trekkracht aan.

Montage : Opstelling.

Rupture par traction : Breuk door trek.

Rupture par compression : Breuk door druk.

A l'extrados : Op de buitenomtrek.

A l'intrados : Op de binnenomtrek.

Puis cisaillement : Gevolgd door afschuiving.

Zone de traction : Zone van trekkracht.

charge est appliquée sur un quart de circonférence, les deux zones de rupture sont plus ou moins séparées par un quart de circonférence.

gepast over een vierde van de omtrek, worden de twee breukzones gescheiden door zowat een vierde van de omtrek.

#### 45. Essais sur des anneaux formés de claveaux et de panneaux

Dans le but d'augmenter l'élasticité de l'anneau par un plus grand nombre de joints compressibles, des essais ont été effectués sur des anneaux composés de panneaux (en parois et en couronne) et de longs éléments (dans le radier) (fig. 23). L'épaisseur totale de l'ensemble des joints compressibles est passée ainsi de 10 à 68 cm.

Deux essais ont été effectués avec une répartition des efforts suivant le montage C (fig. 18), avec une mise en charge sur un quart du périmètre extérieur. Dans l'un de ces deux essais, la charge a été appliquée du

#### 45. Proeven op ringen gevormd uit blokken en uit panelen

Om de elasticiteit van de ring te verhogen door het invoeren van een groter aantal samendrukbare voegen, heeft men proeven uitgevoerd op ringen bestaande uit panelen (wanden en kroon) en uit lange elementen (bedding) (fig. 23). De totale dikte van de samendrukbare voeringen is daardoor gestegen van 10 tot 68 cm.

Er werden twee proeven uitgevoerd met verdeling van de belasting volgens opstelling C (figuur 18) en een belasting van een vierde van de buitenomtrek. Bij een van deze proeven werd de belasting aangebracht

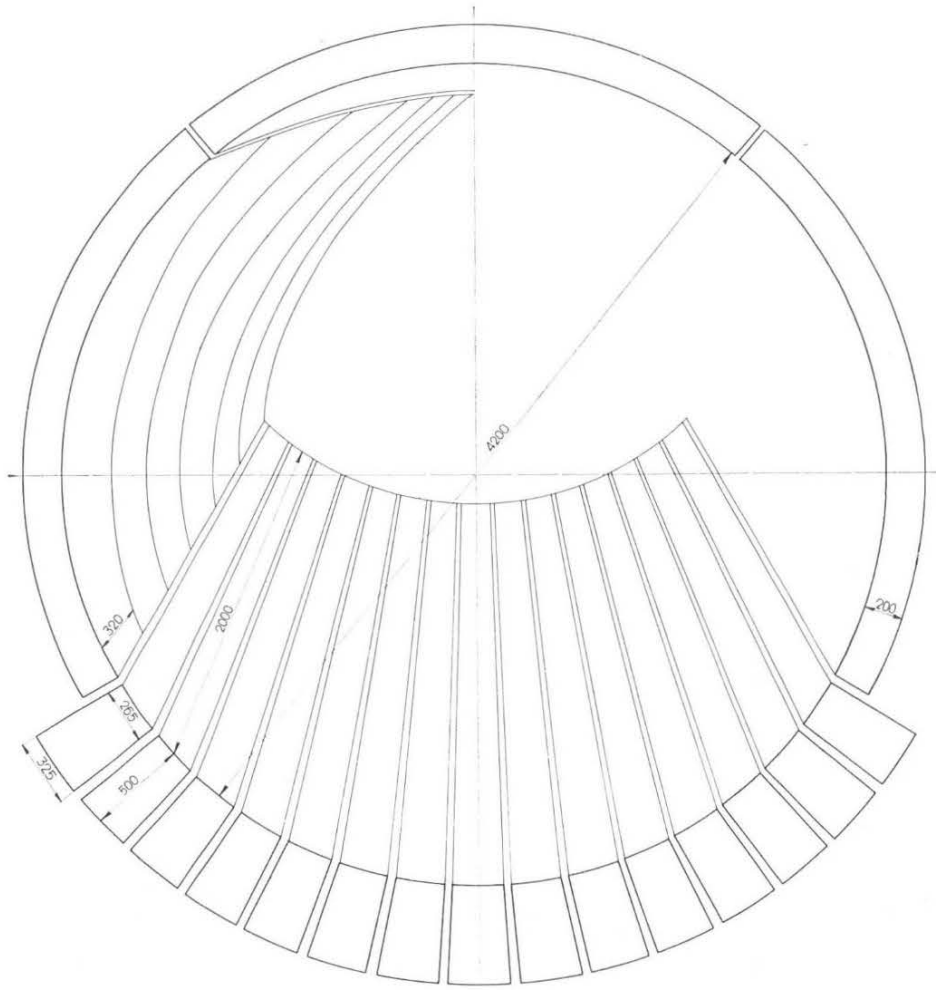


Fig. 23.

Revêtement d'une passe de 2 m d'un bouveau circulaire formé :

- dans le radier : de 15 longs éléments de 50 cm d'épaisseur et de 2 m de longueur (poids 740 kg) ;
- en parois : de 12 ou de 6 panneaux de 20 cm d'épaisseur et de 32 ou de 64 cm de largeur (poids 500 kg ou 1.000 kg) ;
- en couronne : de 6 ou de 3 panneaux identiques à ceux des parois.

Bekleding van een pas van 2 m in een cirkelvormige steengang bestaande uit :

- in de bedding : 15 lange elementen met een dikte van 50 cm en een lengte van 2 m (gewicht 740 kg) ;
- in de wanden : 12 of 6 panelen met een dikte van 20 cm en een breedte van 32 of 64 cm (gewicht 500 kg of 1.000 kg) ;
- in de kroon : 6 of 3 panelen van dezelfde soort als in de wanden.

côté du panneau central (panneau de couronne), tandis que dans l'autre essai, la charge a été appliquée du côté des claveaux (placés du côté du radier).

Le troisième essai a été effectué avec une répartition des efforts suivant le montage B (fig. 18), avec une mise en charge sur un huitième du pourtour extérieur, cette charge étant appliquée du côté des claveaux.

Le tableau V rappelle les résultats des essais sur des anneaux entièrement en claveaux et entièrement en panneaux, puis donne les résultats des essais effectués sur les anneaux en claveaux et en panneaux (anneaux de 32 cm d'épaisseur) (fig. 23).

On constate que, si la charge est appliquée du côté des panneaux, la charge de rupture est la même que celle obtenue sur un anneau entièrement en panneaux.

aan de zijde van het centrale paneel (kroonpaneel), bij de andere werd ze aangelegd aan de kant van de blokken (die in de bedding geplaatst werden).

De derde proef werd uitgevoerd met een verdeling van de belastingen volgens opstelling B (fig. 18), met belasting over een achtste van de buitenomtrek, en wel aan de kant van de blokken.

Tabel V geeft eerst de resultaten van de proeven op ringen die geheel in blokken en geheel in panelen zijn gebouwd, en geeft dan de resultaten van de proeven op de ringen gebouwd in blokken en panelen (ringen met een dikte van 32 cm, zie fig. 23).

Wanneer de belasting wordt aangelegd aan de zijde van de panelen is de breukbelasting dezelfde als die van ringen die geheel in panelen gebouwd zijn. Wordt

Tableau V — Tabel V  
*Charges de rupture atteintes lors de quelques essais*  
*Breukbelasting bereikt tijdens enkele proeven*

Matériel Materiaal	Application de la charge Toepassing van de belasting	Charge de rupture en tonnes Breukbelasting in ton	
		Mode d'essai C Opstelling C	Mode d'essai B Opstelling B
Claveaux Blokken		470	
Panneaux Panelen		183	109
Claveaux- Panneaux	du côté des panneaux du côté des claveaux	173 supérieure à 255	supérieure à 130
Blokken- Panelen	aan de kant van de panelen aan de kant van de blokken	173 meer dan 255	meer dan 130

Par contre, si la charge est appliquée du côté des claveaux, la charge de rupture est beaucoup plus importante.

Le point faible de ce soutènement mixte est constitué par le rebord des claveaux à la séparation entre les deux matériaux.

#### 46. Evolution possible du soutènement circulaire en panneaux

La pose des panneaux actuels d'un poids de 500 kg ne donnant aucune difficulté, on peut se demander s'il ne faut pas encore franchir une étape dans la dimension des panneaux en choisissant des éléments de plus de 1.000 kg.

Cette augmentation des dimensions pourrait se faire en épaisseur, en largeur et en longueur. Des raisons de transport ne permettent cependant pas une augmentation de la longueur des éléments et, d'autre part, limitent la largeur des éléments à 64 cm ou à un sous-multiple de 64 cm.

En ce qui concerne l'épaisseur des éléments, rappelons que, dans les mines tchécoslovaques visitées, celle-ci n'est que de 14 cm; il est certainement possible d'augmenter cette épaisseur à plus de 30 cm.

D'autre part, le diamètre intérieur des anneaux en panneaux, qui est actuellement de 4,20 m, peut certainement être augmenté; on envisage de fabriquer des panneaux pour les deux diamètres intérieurs de 4,20 m

de la charge intègrement aangelegd aan de kant van de blokken, dan ligt de breukbelasting veel hoger.

Het zwakke punt van deze gemengde ondersteuning ligt aan de uitsprong van de blokken bij de overgang der twee materialen.

#### 46. Mogelijke evolutie in de cirkelvormige ondersteuning met panelen

Aangezien thans het plaatsen van panelen met een gewicht van 500 kg geen problemen stelt, kan men zich afvragen of men niet nog een stap verder moet gaan in de afmetingen der panelen en elementen gebruiken van meer dan 1.000 kg.

Deze vergroting kan gebeuren in de dikte, de breedte of de lengte. Om redenen van transport kunnen de elementen evenwel niet langer gemaakt worden en mogen ze evenmin breder worden dan 64 cm of een deler van 64 cm.

Wat de dikte der elementen betreft herinneren wij eraan dat deze in de Tsjeko-Slovaakse mijnen die wij bezocht hebben slechts 14 cm bedroeg; het is ongetwijfeld mogelijk de dikte op te voeren tot meer dan 30 cm.

Anderzijds kan de binnendoormeter van de ringen in panelen, die nu 4,20 m bedraagt, zeker vermeerderd worden; men denkt aan panelen te maken voor ringen



et de 4,80 m (pour les cas où 3 voies de roulage sont nécessaires).

A titre d'essai, quelques panneaux de 64 cm de largeur et 20 cm d'épaisseur, d'un poids de 1.000 kg, ont été placés avec succès dans le fond. Le temps de manutention et de pose a été réduit de plus de moitié par rapport au temps nécessaire pour les panneaux habituels de 32 cm de largeur.

**47. Conclusions**

*Avantages des panneaux par rapport aux claveaux.*

a) *Résistance du soutènement.*

Les essais ont montré que la résistance d'un anneau en claveaux est voisine de 480 t pour le cas d'une répartition de la charge sur un quart de la circonférence extérieure et que la résistance d'un anneau constitué de panneaux est de 610 ou de 960 t suivant leur provenance, dans le cas d'une répartition de charge sur une demi-circonférence.

De ces résultats, on peut donc conclure qu'un soutènement formé de panneaux en béton armé 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 condition expresse d'exécuter un excellent remplissage du vide annulaire entre le revêtement et le terrain (ce qui nous rapproche du cas où la charge est appliquée sur tout le pourtour de l'anneau et qui est très difficile à réaliser dans le cas de claveaux).

Lors du creusement de boueux en claveaux, un vide de 40 à 80 cm existe en couronne entre les claveaux et le terrain (fig. 24).

Ce vide qui est très important n'est généralement pas remblayé et est laissé tel quel, ce qui occasionne des contacts ponctuels entre le revêtement et les blocs détachés petit à petit des bancs de roches qui fléchissent vers le bas.

Ces contacts discontinus provoquent des charges locales très élevées en répartissant très mal les pressions de terrain sur le revêtement.

Dans le cas de panneaux par contre, le vide en couronne, entre le terrain et le revêtement, n'a plus que 10 à 30 d'épaisseur de sorte qu'il peut être facilement remblayé ou injecté. Ceci permet de mieux répartir les pressions du terrain sur tout le pourtour du revêtement comme on peut le voir à droite sur la figure 24, où les lignes en pointillé indiquent la résistance de l'anneau de claveaux ou en panneaux dans le cas d'une répartition uniforme de la charge sur une demi circonférence.

b) *Avancement plus grand dans le creusement des boueux.*

Divers facteurs permettent d'augmenter la vitesse d'avancement :

— La section à creuser est 20 à 30 % plus faible par suite d'une diminution de l'épaisseur du revêtement

met als binnendoormeter 4,20 m en 4,80 m (voor die gevallen waar drie sporen nodig zijn).

Als proef heeft men enkele panelen met een breedte van 64 cm en een dikte van 20 cm, met een gewicht van 1.000 kg, in de ondergrond geplaatst, en met goed gevolg. De tijd voor het verhandelen en plaatsen lag meer dan de helft lager dan die welke men nodig heeft met de gebruikelijke panelen van 32 cm breedte.

**47. Besluiten**

*Voordelen van panelen ten opzichte van blokken.*

a) *Weerstand van de ondersteuning.*

De proeven hebben aangetoond dat de weerstand van een ring in blokken ligt bij de 480 t voor een verdeling van de belasting over een vierde van de buitenomtrek, en dat de weerstand van een ring in panelen 610 of 960 t bedraagt naargelang van de herkomst, voor een verdeling van de belasting over de helft van de omtrek.

Uit deze resultaten kan men het besluit trekken dat een ondersteuning gevormd uit panelen in gewapend beton met een dikte van 20 cm dezelfde weerstand kan vertonen als een ring uit blokken met een dikte van 50 tot 54 cm, op uitdrukkelijke voorwaarde dat de ringvormige ruimte tussen de bekleding en het gesteente zorgvuldig wordt opgevuld (hetgeen ons terugbrengt tot het geval waarin de belasting wordt aangebracht over heel de omtrek van de ring, iets dat zeer moeilijk te bekomen is met blokken).

Bij het drijven van blokkensteengangen blijft er aan de kroon tussen de blokken en het gesteente een opening van 40 tot 80 cm bestaan (fig. 24).

Deze aanzienlijke ruimte wordt in het algemeen niet opgevuld maar zo gelaten, hetgeen aanleiding geeft tot een puntcontact tussen de bekleding en steenblokken die zich stilaan losmaken van de gesteentebanken als deze naar beneden komen.

Deze discontinu contacten veroorzaken zeer hoge plaatselijke spanningen en betekenen een zeer slechte verdeling van de gesteentedruk op de ondersteuning.

Gebruikt men integendeel panelen, dan wordt de ledige ruimte tussen de bekleding en het gesteente beperkt tot 10 tot 30 cm en kan deze ruimte dan ook gemakkelijk worden opgevuld of volgespoten. Hierdoor wordt een betere verdeling van de gesteentedruk over heel de omtrek van de bekleding bekomen, zoals men kan zien op figuur 24, waarop de stippellijnen aangeven hoe een ring in blokken of in panelen weerstaat aan een belasting die gelijkmatig wordt verdeeld over de halve omtrek.

b) *Snellere vooruitgang bij het drijven der steengangen.*

De vooruitgangssnelheid kan op verschillende manieren opgevoerd worden :

— De uit te werken sectie is 20 tot 30 % kleiner wegens de geringere dikte van de ondersteuning en

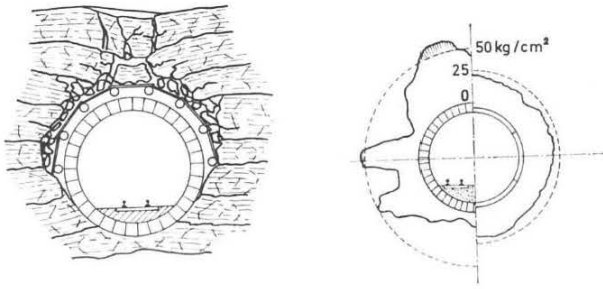


Fig. 24.

Lors du creusement de boueaux revêtus de claveaux, un vide de 40 à 80 cm existe en couronne entre le soutènement et le terrain; ce vide n'est guère remblayé et provoque des contacts ponctuels entre le revêtement et les blocs se détachant des bancs qui fléchissent vers le bas.

Sur la figure de droite, on a dessiné en traits pointillés la résistance limite offerte par un anneau dans le cas d'une charge uniformément répartie sur un demi-anneau;

et de la suppression du vide en couronne, nécessaire pour la pose des claveaux sur le cintre.

- Diminution dans la même proportion du nombre de trous de mines à forer, à charger et à raccorder.
- Diminution du volume des déblais à charger et à évacuer.
- Suppression presque complète du volume de terres du radier à charger à la pelle et qui prend actuellement près de 50 % du temps du chargement total.
- Suppression et en tout cas réduction du temps pris par le boisage provisoire.
- Diminution du nombre d'éléments de revêtement à placer et pose presque entièrement mécanique des panneaux.

Par contre, il faut tenir compte du remplissage intégral du vide entre le revêtement et le terrain au moyen de mortier (injecté à l'arrière) ou de gravier (injecté à front même).

#### c) Economie de matériel.

En plus du gain de temps, les panneaux permettent une économie de matériel en réduisant les coûts :

- du revêtement (20 cm de béton faiblement armé au lieu de 50 cm dans le cas des claveaux);
- des fourrures compressibles (qui reviennent à plus de 1.600 FB/m de boueau dans le cas des claveaux);
- des bois du soutènement provisoire (environ 600 FB/m de boueau dans le cas de claveaux);

à gauche, soutènement en claveaux de 50 cm d'épaisseur; à droite, soutènement en panneaux de 20 cm d'épaisseur. On constate que par suite du mauvais remplissage du vide autour des claveaux, la répartition de la charge réellement exercée sur le soutènement est mauvaise (ligne en trait continu).

Bij het drijven van steengangen met betonblokken blijft er een ledige ruimte bestaan van 40 tot 80 cm, in de kroon, tussen de bekleding en het gesteente; de ruimte wordt in het geheel niet opgevuld en veroorzaakt puntcontacten tussen de bekleding en de steenblokken die loskomen van het dak wanneer dit begint te zakken.

Op de figuur rechts werd in puntlijnen de weerstand getekend waaraan een ring kan weerstaan in het geval van een belasting die gelijkmatig verdeeld is over een halve omtrek; links staat een ondersteuning in blokken met een dikte van 50 cm, rechts een ondersteuning in panelen met een dikte van 20 cm. Men ziet dat er, ingevolge de gebrekkige opvulling van de ledige ruimte rondom de blokken, een slechte verdeling optreedt van de belasting die effectief op de ondersteuning wordt uitgeoefend (doorlopende streeplijn).

het wegvallen van de ruimte tegen de kroon, die vereist was voor het plaatsen van de blokken op de mal.

- Vermindering in dezelfde verhouding, van het aantal mijnen dat moet geboord, geladen en aangekoppeld worden.
- Vermindering van het volume van de afslag die moet geladen en weggevoerd worden.
- Bijna volledige afschaffing van de hoeveelheid stenen in de bedding, die moet geladen worden met de schop en thans zowat 50 % in beslag neemt van de totale tijd besteed aan het laden.
- Afschaffing en alleszins inkorting van de tijd nodig voor het plaatsen van de voorlopige ondersteuning.
- Vermindering van het aantal te plaatsen ondersteuningselementen en praktisch volledige mechanisering van het plaatsen der panelen.

Daarentegen moet men rekening houden met de noodzaak om de ruimte tussen de bekleding en het gesteente volledig op te vullen met mortel (die achteraf ingespoten wordt) of grind (die aan het front zelf wordt ingespoten).

#### c) Besparing van materiaal.

Behalve de tijdwinst verschaffen de panelen een besparing van materiaal door vermindering van de kosten :

- van de ondersteuning (20 cm licht gewapend beton in plaats van 50 cm bij blokken);
- van de samendrukbare voeringen (die meer dan 1600 BF/m steengang kosten in het geval van blokken);
- van hout voor de voorlopige ondersteuning (ongeveer 600 BF/m steengang in het geval van blokken);

— des explosifs (30 % en moins sur un coût de 1.160 FB/m dans le cas des claveaux).

Par contre, il faut tenir compte des matériaux utilisés pour l'injection de mortier ou de gravier.

d) *Amélioration des conditions de travail.*

La suppression presque complète du chargement des déblais du radier à la main et la pose entièrement mécanisée des panneaux du revêtement améliorent les conditions de travail et permettent d'utiliser un personnel moins qualifié.

Ce nouveau procédé permet aussi de réduire fortement les manipulations de matériel.

**5. COMPARAISON  
ENTRE LES DIVERS REVÊTEMENTS CIRCULAIRES  
ESSAYÉS :  
CADRES MÉTALLIQUES, CLAVEAUX ET PANNEAUX**

La comparaison entre ces différents types de revêtement circulaire sous les divers aspects de leur résistance, de leurs prix d'achat, de leur mise en œuvre et des avancements réalisables permet de tirer les observations suivantes.

a) *Résistance aux pressions de terrains.*

Pour pouvoir comparer les résistances obtenues avec les cadres métalliques, les panneaux et les claveaux, le tableau VI donne les charges de rupture par mètre de bouveau, revêtu soit de 2 ou de 3 cadres métalliques, soit de 3,2 anneaux jointifs en panneaux ou en claveaux (toujours dans le cas d'une répartition de la charge sur un quart de la circonférence extérieure).

La résistance d'un revêtement circulaire métallique dépend de la densité du soutènement.

En fonction des essais exécutés en laboratoire, la résistance d'un soutènement par panneaux de 20 cm d'épaisseur est supérieure à celle d'un soutènement constitué de 2 et même de 3 cadres par mètre de voie (densité de soutènement très élevée).

La résistance d'un anneau en claveaux de béton est de 1.500 t par mètre et dépasse donc de beaucoup celle d'un revêtement métallique même très serré.

b) *Prix d'achat.*

Le coût des cadres métalliques espacés à 0,50 m est de 9.000 FB par mètre de voie avec des cadres rigides circulaires RW d'un profil de 29,5 kg/m et de 18.000 FB par mètre avec des cadres circulaires coulissants TH d'un profil de 36 kg/m, y compris le garnissage.

— van springstoffen (ten minste 30 % op een waarde van 1160 BF/m steengang in het geval van blokken).

Daarentegen moet rekening gehouden worden met de materialen die gebruikt worden voor het injecteren van mortel of grind.

d) *Verbetering van de werkomstandigheden.*

Het feit dat de handarbeid bij het laden van de stenen uit de bedding bijna geheel afgeschafte is en dat de ondersteuningspanelen volledig mechanisch geplaatst worden betekent een verbetering van de werkomstandigheden en maakt de tewerkstelling van minder geschoold personeel mogelijk.

Met het nieuwe procédé wordt ook de verhandeling van materieel sterk verminderd.

**5. VERGELIJKING  
TUSSEN DE VERSCHILLENDE BEPROEFDE  
CIRKELVORMIGE ONDERSTEUNINGSSYSTEMEN :  
METALEN RAMEN, BLOKKEN EN PANELEN**

Een vergelijking tussen deze verschillende typen van cirkelvormige ondersteuning uit oogpunt van weerstand, aankoopprijs, aanwending en mogelijkheden van vooruitgang leidt tot de volgende beschouwingen.

a) *Weerstand tegen de gesteentedruk.*

Ten einde een vergelijking mogelijk te maken tussen de weerstand bekomen met de metalen ramen, de panelen en de blokken, geven wij in tabel VI de breukweerstand per meter steengang, ondersteund met 2 of 3 metalen ramen, ofwel met 3,2 aan elkaar sluitende ringen in panelen of blokken (altijd in de veronderstelling dat de belasting verdeeld wordt over een vierde van de buitenomtrek).

De weerstand van een metalen cirkelvormige ondersteuning hangt af van de ondersteuningsdichtheid.

Luidens de laboratoriumproeven is de weerstand van een ondersteuning in panelen met een dikte van 20 cm groter dan die van een ondersteuning bestaande uit 2 of zelfs 3 ramen per meter galerij (een zeer hoge ondersteuningsdichtheid).

De weerstand van een ring in betonblokken bedraagt 1.500 t per meter en ligt dus ver boven die van een zelfs zeer dicht aaneengesloten metalen ondersteuning.

b) *Aankoopprijs.*

Metalen ramen op afstanden van 0,50 m kosten 9.000 BF per meter galerij voor starre cirkelvormige ramen RW met een profiel van 29,5 kg/m en 18.000 BF per meter met meegeevende cirkelvormige ramen TH en een profiel van 36 kg/m, bekleding inbegrepen.

Tableau VI — Tabel VI

*Résistance à la rupture par mètre de bouveau (charge sur un quart du périmètre)*  
*Breukweerstand per meter steengang (belasting over een vierde van de omtrek)*

Nature de l'anneau Aard van de ring	Nombre de cadres métalliques ou d'anneaux en béton par mètre de voie Aantal metalen ramen of betonringen per meter galerij	Diamètre intérieur en m Binnendoormeter in m	Résistance par mètre de bouveau en t Weerstand per meter steengang in t
Cadres métalliques Rheinstahl de 29,5 kg/m, rigides	2	4,32	298
Metalen ramen Rheinstahl van 29,5 kg/m, star	3	4,32	447
Cadres métalliques Heintzmann de 36 kg/m, rigides	2	4,32	320
Metalen ramen Heintzmann van 36 kg/m, star	3	4,32	480
Cadres métalliques Heintzmann de 36 kg/m, coulissants	2	4,32	317
Metalen ramen Heintzmann van 36 kg/m, meegevend	3	4,32	476
Panneaux en béton armé Panelen in beton — de Zolder	3,3	4,20	950
— van Zolder — de Beringen — van de Beringen	3,2	4,20	584
Claveaux en béton Betonblokken	3	4,80	1560
	3,3	4,10	1600

Le prix des claveaux en béton et des intercalaires nécessaires pour revêtir un mètre de bouveau est de 7.320 FB.

Le prix des panneaux en béton armé et des quelques intercalaires nécessaires est semblable à celui du revêtement par claveaux.

c) *Creusement.*

Pour un même diamètre, le volume de roches à abattre est pratiquement le même dans le cas de cadres métalliques que dans le cas de panneaux en béton armé.

De prijs van betonblokken en de nodige voeringen voor het bekleden van een meter steengang bedraagt 7.320 BF.

De prijs van de gewapende-betonpanelen en de weinige voeringen die men nodig heeft komt ongeveer overeen met die van de ondersteuning in blokken.

c) *Het drijven.*

Voor gelijke doormeter is het volume af te bouwen stenen praktisch hetzelfde bij metalen ramen en bij panelen in gewapend beton.

Tableau VII — Tabel VII

*Comparaison entre les deux types de revêtement circulaire par cadres métalliques et par claveaux en béton*

*Vergelijking tussen de twee typen van cirkelvormige ondersteuning : metalen ramen en betonblokken*

	Cadres métalliques Metalen ramen	Claveaux en béton Betonblokken	Panneaux en béton armé Panelen in gewapend beton
Type	Profil de 36 kg/m Cadres placés à 0,50 m d'axe en axe Profiel van 36 kg/m Ramen geplaatst op 0,50 m van hart tot hart	Anneaux jointifs de 30 cm de largeur et 50 cm d'épaisseur Aaneensluitende ringen met een breedte van 30 cm en een dikte van 50 cm	Anneaux jointifs de 32 cm de largeur et 20 cm d'épaisseur Aaneensluitende ringen met een breedte van 32 cm en een dikte van 20 cm
Diamètre utile Nuttige doormeter	4,30 m	4,20 m	4,20 m
Diamètre à terre nue Doormeter in volle grond	4,70 m	5,60 m	4,80 m
Section de creusement Te drijven sectie	17,3 m <sup>2</sup>	23 m <sup>2</sup>	18 m <sup>2</sup>
Résistance du soutènement par mètre de voie (charge sur un quart du périmètre) Weerstand van de ondersteuning per meter galerij (belasting over een vierde van de omtrek)	entre 280 et 400 t/m  tussen 280 en 400 t/m	1500 t/m	950 t/m
Coût du matériel Prijs van het materiaal	17.000 à 20.000 F/m 17.000 tot 20.000 F/m	7.320 F/m	7.360 F/m
Avancements réalisés Bereikte vooruitgang	2,40 à 3 m en 3 postes de 4 hommes 2,40 tot 3 m in drie diensten met telkens 4 man	2 m en 3 postes de 4 hommes 2 m in drie diensten met telkens 4 man	4,40 m en 3 postes de 4 hommes 4,40 m in drie diensten met telkens 4 man
Rendements Effecten	20 à 25 cm/HP 20 tot 25 cm/Md	16,6 cm/HP 16,6 cm/Md	36,6 cm/HP 36,6 cm/Md

Pour un même diamètre intérieur, le volume de roches à abattre est plus important avec les claveaux en béton qui ont 50 à 60 cm d'épaisseur. Ainsi, pour un diamètre utile de 4,20 m, le volume de roches à abattre par mètre de voie est 27 % plus grand avec ce type de revêtement qu'avec les deux autres.

d) *Avancements réalisables.*

Le tableau VII permet de comparer les avancements réalisés avec les divers soutènements.

Dans le bassin de Campine, on parvient actuellement à réaliser un avancement de 2 m par jour dans le creusement de boueaux en claveaux de béton d'un diamètre de 4,10 à 4,80 m avec un personnel total de 12 hommes.

Lors des essais effectués en Campine avec un revêtement par cadres métalliques circulaires, les avancements réalisés n'ont pas atteint 2 m en 3 postes de 3 hommes chacun.

Jusqu'ici, plus de 800 m de boueaux revêtus de panneaux en béton armé ont été creusés en Campine avec un avancement de 3 m par jour, avec un personnel total de 9 hommes par jour dans un cas, et de 4,40 m par jour, avec un personnel total de 12 hommes par jour dans un deuxième cas.

Voor eenzelfde binnendoormeter is het volume af te bouwen stenen groter bij betonblokken die een dikte hebben van 50 tot 60 cm. Voor een nuttige binnendoormeter van 4,20 m bij voorbeeld is het volume af te bouwen stenen per meter galerij 27 % groter met dit type van ondersteuning dan met de andere twee.

d) *Mogelijkheden inzake vooruitgang.*

In tabel VII wordt een vergelijking gemaakt tussen de verschillende systemen inzake verkregen vooruitgang.

In het Kempens Bekken geraakt men tegenwoordig aan een vooruitgang van 2 m per dag in steengangen met betonblokken met een doormeter van 4,10 tot 4,80 m en een bezetting van 12 man in totaal.

Bij proeven uitgevoerd in de Kempen met cirkelvormige metalen ramen kon men geen 2 m bereiken met 3 diensten van 3 man elk.

Tot nu toe werden meer dan 800 m steengang met panelen in gewapend beton gemaakt in de Kempen, met een vooruitgang van 3 m per dag, en een totaal personeel van 9 m per dag in een geval, en een vooruitgang van 4,40 m met een personeel van 12 m in totaal per dag in het andere geval.