

# ESSAIS COMPARATIFS EFFECTUES SUR DES CLAVEAUX MOYENS DE 83 KG ET SUR DES CLAVEAUX LOURDS DE 153 KG

par H. van DUYSE,

Ingénieur Principal Divisionnaire à INICHAR.

# VERGELIJKENDE PROEVEN OP MIDDELGROTE BLOKKEN VAN 83 KG EN ZWARE BLOKKEN VAN 153 KG

H. van DUYSE,

Divisie Eerstaanwend Ingenieur bij INICHAR.

## RESUME

*Les essais ont eu pour objet de comparer, au point de vue de leur résistance à la pression, des claveaux de 83 kg et de 153 kg.*

*Au moment du creusement des premiers bouveaux à claveaux vers les années 1930, la manutention et la pose de ces lourdes pièces s'effectuaient manuellement, ce qui en limitait nécessairement le poids.*

*Mais actuellement, grâce aux procédés mécaniques mis au point par les divers charbonnages belges, il n'y a plus aucune difficulté à manipuler aussi aisément et aussi rapidement des claveaux de 83 kg et de 153 kg.*

*Cette augmentation du poids des claveaux entraînerait une diminution du nombre de pièces à placer par passe. Celui-ci est ainsi réduit de 216 à 126 unités par mètre de bouveaux. Ce fait a pour conséquence de réduire le temps de pose des claveaux et d'améliorer encore la vitesse de creusement des bouveaux.*

*De l'ensemble des essais effectués, il résulte que la résistance d'un anneau constitué de claveaux de 153 kg n'est pas inférieure à celle d'un anneau constitué de claveaux de 83 kg.*

*Ces essais montrent l'intérêt d'utiliser des claveaux aussi hauts que possible en ne modifiant ni la largeur ni l'épaisseur, compte tenu naturellement des possibilités de fabrication et de manutention.*

## INHALTSANGABE

*Ziel der Versuche war es, die Druckfestigkeit von Betonsteinen im Gewicht von 83 und 153 kg miteinander zu vergleichen.*

*Als man um 1930 die ersten Gesteinsstrecken mit Betonformsteinen ausbaute, wurden die schweren*

## SAMENVATTING

*Doel van de proeven was het vergelijken, uit oogpunt van drukweerstand, van betonblokken van 83 kg en van 153 kg.*

*Toen rond 1930 de eerste steengangen met bekleding in betonblokken werden aangelegd werden deze zware stukken met de hand aangebracht en geplaatst, zodat men wel verplicht was hun gewicht binnen zekere grenzen te houden.*

*Inmiddels hebben de verschillende Belgische kolenmijnen mechanische toestellen ontworpen, zodat het behandelen van de blokken van 153 kg net zo vlug en gemakkelijk gebeurt als het werken met die van 83 kg.*

*Hoe zwaarder de blokken, hoe minder eenheden er per pas moeten aangebracht worden. Hun aantal valt van 216 tot 126 per meter steengang. Bijgevolg duurt het plaatsen der blokken minder lang en gaan de steengangen sneller vooruit.*

*Uit het geheel der uitgevoerde proeven blijkt dat de ring in blokken van 153 kg zeker geen kleinere weerstand heeft dan die in blokken van 83 kg.*

*Uit de proeven volgt dus dat men er belang bij heeft de hoogte van de blokken zoveel mogelijk op te voeren, bij gelijkblijvende breedte en dikte, zonder natuurlijk de mogelijkheden van fabricage en behandeling uit het oog te verliezen.*

## SUMMARY

*The purpose of the tests was to compare 83 kg concrete blocks with 153 kg concrete blocks from the point of view of their resistance to pressure.*

*When the first cross-cuts with concrete blocks were driven, during the nineteen-thirties, these*

Steine noch von Hand verlegt, was zu einer Beschränkung ihres Gewichtes nötigte.

Heute aber haben verschiedene belgischen Zechen Verfahren zur Mechanisierung der Ausmauerarbeit entwickelt, und man kann Steine im Gewicht von 83 kg und 153 kg ebenso bequem und rasch verlegen.

Bei Erhöhung des Gewichtes entfällt auf einen Ring eine geringere Anzahl von Steinen, und man kommt je Meter Strecke mit 126 statt 216 Blöcken aus. Hierdurch verringert sich auch die Zeit, die man zum Einbringen der Steine benötigt, und dies bedeutet eine Erhöhung der Vortriebsgeschwindigkeit.

Die Versuche haben gezeigt, dass ein Ring aus Steinen von 153 kg Gewicht die gleiche Festigkeit hat wie ein Ring aus Steinen von nur 83 kg.

Ferner haben die Versuche ergeben, dass es zweckmässig ist, nach Möglichkeit die Höhe der Steine zu vergrössern, ihre Tiefe und Breite jedoch unverändert zu lassen, soweit Herstellungsverfahren und Transportmöglichkeiten dies gestatten.

heavy pieces were moved and placed by hand, and hence the weight was necessarily limited.

But nowadays, thanks to the mechanical processes developed in various Belgian collieries, concrete blocks of 83 kg and 153 kg can be handled with equal ease and speed.

This increase in the weight of the concrete blocks would mean a decrease in the number of pieces to be placed per section. Hence, this number falls from 216 to 126 units per metre of road. This results in a reduction in the time required for placing the concrete blocks and a further improvement in the rate of driving the cross-cuts.

From all the tests carried out, it can be seen that the resistance of a ring of 153 kg concrete blocks is no less than that of 83 kg concrete blocks.

These tests show the advantage of using concrete blocks as high as possible without modifying their width or thickness, and, of course taking into account manufacturing and handling possibilities.

## SOMMAIRE

0. Introduction.
1. Résistance du béton des claveaux moyens et lourds.
2. Essais de compression sur claveaux entiers, moyens et lourds.
3. Essais d'écrasement des intercalaires utilisés.
4. Essais sur des anneaux entiers de claveaux de béton.
  41. Essais sur un anneau constitué de claveaux moyens de 83 kg.
  42. Essais sur anneaux constitués de claveaux lourds de 153 kg.
    421. Premier essai.
    422. Deuxième essai.
5. Conclusion.

## 0. INTRODUCTION

Les divers Bulletins Techniques « Mines » d'Inchar consacrés au creusement des bouveaux en claveaux ont bien mis en évidence les procédés mécaniques utilisés pour la pose des claveaux dans les chantiers du fond. Ces procédés permettent de placer aussi facilement un claveau de 153 kg qu'un claveau de 83 kg.

Dans les trois charbonnages dépendant de l'usine à claveaux de Langerlo, la largeur des anneaux de

## INHOUD

0. Inleiding.
1. Weerstand van het beton der middelgrote en zware blokken.
2. Drukproeven op volledige middelgrote en zware blokken.
3. Verpletteringsproeven op de gebruikte voegmaterialen.
4. Proeven op volledige blokkenringen.
  41. Proef op een ring bestaande uit middelgrote blokken van 83 kg.
  42. Proeven op ringen uit zware blokken van 153 kg.
    421. Eerste proef op zware blokken.
    422. Tweede proef op zware blokken.
5. Besluit.

## 0. INLEIDING

In de verschillende Technische Mededelingen uitgegeven door Inchar in verband met blokkensteengangen vindt men alle inlichtingen over het ter plaatse brengen van deze blokken in de ondergrondse werken. Het plaatsen van een blok van 153 kg biedt geen grotere moeilijkheden dan wanneer het gaat om een blok van 83 kg.

De drie kolenmijnen die van de blokkenfabriek te Langerlo afhangen gebruiken blokken met een

claveaux utilisés jusqu'ici est de 33 cm. Afin de pouvoir conserver les équipements actuels conçus pour des longueurs de passes de 1 ou de 2 m, il était nécessaire que la largeur des claveaux reste un sous-multiple du mètre. On a préféré maintenir la largeur des anneaux à 33 cm. En conservant aussi l'épaisseur constante, on a finalement augmenté la hauteur des claveaux, ce qui conduisait à une diminution du nombre de pièces par tour. On pourrait ainsi réduire le temps de pose des claveaux et améliorer encore la vitesse de creusement des boueux.

Cette façon de procéder amenait aussi une diminution de la consommation de matériaux intercalaires compressibles placés entre claveaux ; or ces matériaux étant plus chers que le béton, la modification proposée apportait aussi une réduction du coût du revêtement.

Avant de passer à la fabrication en série de ces nouveaux claveaux, il fallait avoir la certitude que la diminution du nombre de claveaux par anneau n'entraînerait pas une diminution de la résistance de l'anneau. C'est pourquoi nous avons effectué une série d'essais tant sur des claveaux isolés que sur des anneaux entiers de claveaux.

Cette étude comparative a été faite sur des claveaux destinés à des anneaux de 4,80 m de diamètre intérieur.

Le but des essais est de comparer les claveaux de 83 kg et les claveaux lourds de 153 kg représentés sur la figure 1.

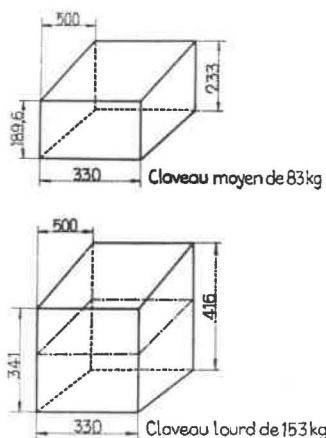


Fig. 1.

Dimensions des claveaux de 83 et de 153 kg. Les traits pointillés indiqués sur le claveau de 153 kg permettent de comparer les dimensions des 2 types de claveaux.

Afmetingen van de blokken van 83 en 153 kg. Men kan beide vergelijken met behulp van de puntlijnen op de blok van 153 kg.

Claveau moyen de 83 kg : Middelgrote blok van 83 kg —  
Claveau lourd de 153 kg : Zwارة blok van 153 kg

Dans ce but, les essais effectués ont permis de comparer :

- 1) Le béton constituant les deux types de claveaux.
- 2) La résistance à la compression de claveaux entiers par groupe de deux avec les faces du contact :
  - brutes (sans intercalaires)
  - cimentées
  - séparées par des intercalaires compressibles.

largeur de 33 cm. Opdat men verder zou kunnen gebruik maken van de bestaande uitrusting, waarmee passen van 1 m en 2 m gemaakt worden, moet de breedte van een blok steeds een deeler van de meter zijn. Men heeft er de voorkeur aan gegeven de breedte te houden op 33 cm. Ook de dikte is onveranderd gebleven, zodat de blok tenslotte hoger werd en er ook minder stuks in een ring gingen. Op die manier zou het plaatsen van de blokken vlugger gaan en de vooruitgangssnelheid van de steengangen kunnen opgedreven worden.

Er is in dat geval ook minder samendrukbaar materiaal nodig als opvulling tussen de blokken ; nu kost dit materiaal meer dan beton, zodat de voorgestelde verandering in de konstruktie de ondersteuning ook goedkoper maakt.

Vooraleer tot de serieproduktie der nieuwe blokken te besluiten moest men er zeker van zijn dat uit een kleiner aantal blokken per ring geen vermindering van de weerstand van de ring zou volgen. Daarom werden en ganse reeks proeven uitgevoerd zowel op geïsoleerde blokken als op ganse ringen.

Voor deze vergelijkende studie gebruikte men blokken gemaakt voor ringen met een binnendoormeter van 4,80 m.

Het doel der proef is de blokken van 83 kg te vergelijken met die van 153 kg die op figuur 1 voorgesteld worden.

De vergelijking slaat op de volgende punten :

- 1) Het beton gebruikt voor de samenstelling van beide blokken.
- 2) De drukweerstand van ganse blokken in groepen van twee met als kontaktoppervlak :
  - het ruwe vlak (zonder voeg)
  - een cementlaag
  - een samendrukbare voeg.

- 3) La résistance d'anneaux entiers constitués :  
 — de claveaux moyens de 83 kg  
 — de claveaux lourds de 153 kg.

### 1. RESISTANCE DU BETON DES CLAVEAUX MOYENS ET LOURDS

Les claveaux de 83 kg, qui constituent la fabrication habituelle de l'usine « Het Kempisch Beton » de Langerlo-Genk, sont vibrés dans leurs moules pendant 1 min 55 s par le bas (face intrados du claveau) et 45 s par le haut (face extrados). Par contre, les claveaux d'essai de 153 kg n'ont pu être vibrés que par le bas.

Les claveaux lourds ont été fabriqués dans un moule à 4 alvéoles, tandis que les claveaux de 83 kg sont fabriqués dans des moules à 6 alvéoles. Malheureusement, les plaques à 6 plateaux assurant la vibration de la partie supérieure des moules habituels à 6 alvéoles ne s'adaptaient pas au nouveau moule. De sorte que les claveaux lourds n'ont pu être vibrés que du côté inférieur, c'est-à-dire sur la face intrados. Un second avantage de ces plateaux qui comprimaient le béton, était d'obtenir des claveaux d'une épaisseur de 50 cm à 1 cm près, ce qui n'a pas été le cas des claveaux lourds soumis aux essais (épaisseur 45 à 50 cm).

Les deux types de claveaux, ayant exactement la même composition du béton, ont subi le même traitement qui consiste en un durcissement accéléré dans un bain de vapeur et un vieillissement artificiel sous une pluie d'eau tiède.

Des essais de compression ont été effectués sur des cylindres en béton de 100 cm<sup>2</sup> de section et 10 cm de hauteur, prélevés dans le corps des claveaux à l'aide d'une foreuse au diamant et débités au moyen d'un disque Diamant Boart. Les deux bases de ces cylindres sont rectifiées, polies et parallélisées avec soin.

Par claveau, quatre cylindres appelés A-B-C et D sont prélevés, le cylindre A étant l'éprouvette la plus proche de la face extrados et D celle de la face intrados.

Le béton des claveaux de 83 kg est vieux de 80 jours, tandis que le béton des claveaux de 153 kg est vieux de 50 jours seulement. Mais par suite du traitement que subissent les claveaux, la résistance du béton ne croît plus que très faiblement entre 50 et 80 jours.

Ces âges de 80 et de 50 jours correspondent à l'âge des claveaux de béton utilisés pour certains des essais de résistance des anneaux complets.

Le tableau I donne les résultats des essais de compression effectués en laboratoire.

- 3) De weerstand van ganse ringen gebouwd uit  
 — middelgrote blokken van 83 kg ;  
 — zware blokken van 153 kg.

### 1. WEERSTAND VAN HET BETON DER MIDDELGROTE EN ZWARE BLOKKEN

De betonblokken van 83 kg die men te Genk-Langerlo gewoon is te maken worden in hun vormen getrild gedurende 1 min 55 s langs onder (binnenkant van de blok) en gedurende 45 s langs boven (buitenkant van de blok). De blokken van 153 kg konden echter maar op een kant getrild worden, de onderkant.

De zware blokken worden vervaardigd in een vorm met vier cellen, de blokken van 83 kg in een vorm met zes cellen. De platen met zes schijven waarmee de bovenkant der zescellige vormen getrild werd konden spijtig genoeg niet gebruikt worden bij de nieuwe vormen. Zodoende konden de zware blokken slechts aan één kant, de onderkant, getrild worden. Deze schijven drukten ook het beton samen zodat ze blokken opleverden met een dikte van 50 cm op 1 cm na ; dit was bijgevolg niet het geval met de zware blokken die voor de proeven gebruikt werden (dikte van 45 tot 50 cm).

De twee typen van blokken bestaan uit beton van volkomen gelijke samenstelling en hebben dezelfde behandeling ondergaan : een versneld harden in stoombad en een kunstmatig verouderen onder een lauwe regen.

Drukproeven werden uitgevoerd op betoncilindres met een sectie van 100 cm<sup>2</sup> en een hoogte van 10 cm, die uit het inwendige der blokken gehaald worden met behulp van een diamantboor en in stukken worden gesneden met een schijf Diamant Boart. De twee bazissen van deze cilindres worden met zorg geslepen, gepolijst en evenwijdig gemaakt.

Uit eenzelfde blok worden vier cilindres A, B, C en D genomen ; A ligt het kortst bij de binnenkant, D, het kortst bij de buitenkant.

Het beton der blokken van 83 kg is 80 dagen oud, dat van de blokken van 153 kg slechts 50 dagen. Wegens de behandeling die de blokken ondergaan betekent dit slechts een zeer klein verschil in weerstand.

Deze perioden, 50 en 80 dagen, komen overeen met de ouderdom van de blokken die voor bepaalde weerstandsproeven op volledige ringen gebruikt werden.

Tabel I geeft de uitslagen van de drukproeven in het laboratorium.



TABLEAU I.

Résultats des essais de compression sur cylindres de 100 cm<sup>2</sup> de section et 10 cm de hauteur.

Position des éprouvettes dans les claveaux	Claveaux moyens de 83 kg	Claveaux lourds de 153 kg
A	795	746
	890	616
B	855	790
	857	710
C	915	740
	957	816
D	862	820
	947	742
Moyenne	886	747

Pour les claveaux de 83 kg, la différence de résistance entre les éprouvettes A et D est de 7,5 %, tandis que cette différence est de 15 % pour les claveaux de 153 kg. Cette dernière différence résulte de l'absence de vibration de la face supérieure des claveaux lourds lors du moulage.

En faisant abstraction de l'âge différent du béton, la résistance à la compression du béton constituant les claveaux lourds est donc 16 % plus faible que la résistance du béton des claveaux de 83 kg.

Le tableau II du Bulletin Technique « Mines » Inichar n° 74 donne les résistances suivantes, pour les essais de compression des cylindres de béton en fonction de leur âge :

- âge 8 jours : 836 kg/cm<sup>2</sup>
- âge 1 mois : 915 kg/cm<sup>2</sup>
- âge 3 mois : 968 kg/cm<sup>2</sup>

On constate que l'augmentation de résistance du béton entre 1 mois et 3 mois est de 5 % à peine.

On peut donc conclure de ces essais que, par suite d'une vibration insuffisante, la résistance au même âge du béton des claveaux lourds est 10 % inférieure à la résistance du béton des claveaux de 83 kg.

Mais dans le cas particulier de nos essais sur anneaux réalisés avec des claveaux lourds de 17 et de 40 jours d'âge et sur des claveaux de 83 kg de 2 mois d'âge, la différence de résistance du béton est respectivement de 20 et de 16 %.

## 2. ESSAIS DE COMPRESSION SUR CLAVEAUX ENTIERS, MOYENS ET LOURDS

Plusieurs essais de compression ont été effectués sur des groupes de 2 ou de 4 claveaux moyens ou

TABEL I.

Uitslagen van de drukproeven op cylindres met een sectie van 100 cm<sup>2</sup> en een hoogte van 10 cm<sup>2</sup>.

Ligging van het monster in de blok	Middelgrote blokken van 83 kg	Zware blokken van 153 kg
A	795	746
	890	616
B	855	790
	857	710
C	915	740
	957	816
D	862	820
	947	742
Gemiddelde	886	747

Voor de blokken van 83 kg zien wij een verschil van 7,5 % tussen de weerstand van de monsters A en D ; bij de blokken van 153 kg bedraagt de afwijking 15 % ; dit verschil is een gevolg van het niet trillen der zware blokken langs de bovenkant tijdens het vormen.

Indien men abstractie maakt van het verschil in ouderdom van het beton, is de drukweerstand van het beton der zware blokken bijgevoelg 16 % kleiner dan die van de blokken van 83 kg.

Tabel II van de Technische Mededelingen « Mijnen » Inichar n° 74 geeft de volgende weerstanden bij samendrukking van beton van verschillende ouderdom :

- 8 dagen oud : 836 kg/cm<sup>2</sup>
- 1 maand oud : 915 kg/cm<sup>2</sup>
- 3 maand oud : 968 kg/cm<sup>2</sup>.

Men ziet dat de weerstand van het beton van de 1<sup>e</sup> tot de 3<sup>e</sup> maand slechts met 5 % toeneemt.

Het besluit van deze proeven luidt dat de weerstand van het beton der zware blokken wegens onvoldoend trillen 10 % lager ligt dan die van het beton der blokken van 83 kg. In het bijzonder geval echter van onze proeven op volledige ringen gebouwd met zware blokken van 17 en 40 dagen, en met blokken van 83 kg, van 2 maanden oud, bedraagt het verschil van weerstand van het beton respectievelijk 20 en 16 %.

## 2. DRUKPROEVEN OP VOLLEDIGE, MIDDELGROTE EN ZWARE BLOKKEN

Verschillende drukproeven werden uitgevoerd op groepen van 2 of 4 middelgrote en zware blokken,

lourds, séparés ou non par des intercalaires de différente nature.

Les claveaux ayant la forme d'un tronc de pyramide, les essais ont été effectués par groupe de deux ou quatre claveaux placés les uns sur les autres et retournés de 180° pour que les faces de compression supérieures et inférieures soient bien parallèles.

Dans ces essais, les faces des claveaux n'ont été ni polies ni aplanies.

Les essais comparatifs suivants ont été effectués sur chacun des deux types de claveaux :

- a) sans intercalaires (face brute) ;
- b) avec les faces de contact cimentées ;
- c) avec intercalaires constitués par des panneaux compressibles Minorex (constitués de déchets de bois) de 19 mm d'épaisseur.

Dans les essais avec intercalaires, on utilise toujours 3 panneaux, 2 au contact des deux plateaux de la presse et 1 entre les claveaux. Il en est de même pour les essais avec les faces de contact cimentées ; ce sont les faces de contact entre claveaux et avec les plateaux de la presse qui sont cimentées.

Les claveaux ayant tous une largeur de 33 cm et une épaisseur de 50 cm, la section de compression

al of niet gescheiden door middel van voegen in verschillende materialen.

Daar de blokken de vorm hebben van een afgeknotte pyramide werden telkens 2 of 4 blokken op elkaar geplaatst na draaiing om 180° zodat het onderste en het bovenste drukvlak steeds goed evenwijdig lagen.

Bij deze proeven werden de vlakken der blokken niet gepolijst of vlak gemaakt.

De volgende vergelijkende proeven werden op elk type van blok uitgevoerd :

- a) zonder voeg (ruw oppervlak) ;
- b) met gecementeerde kontaktoppervlakken ;
- c) met voegen bestaande uit samendrukbare panelen Minorex uit houtafval) met een dikte van 19 mm.

Indien er een voeg is gebruikt men steeds drie panelen, waarvan er twee in contact komen met de twee vlakken van de pers en een tussen de blokken zit. Zo ook met gecementeerde vlakken ; zowel de kontakvlakken tussen de blokken als de kontakvlakken met de pers worden gecementeerd.

Al de blokken zijn 33 cm breed en 50 cm dik ; de samengedrukte sekte is bijgevolg in al de proeven

TABLEAU II.  
Essais de compression de claveaux entiers par groupe de 2 ou 4.

Intercalaire	Distance entre plateaux de la presse en cm	Première fissuration en t		Rupture en t		
		Claveaux de		Claveaux de		
		83 kg	153 kg	83 kg	153 kg	
Sans intercalaire (faces brutes)	42,2	{	135	}	586	
	»		185 (*)		330	
	»		60		472	
Faces en contacts cimentées	46	{	625	}	852	
	46,5		250		560	
	81		290		388	
Intercalaire du type Minorex de 19 mm d'épaisseur	48	{	380	}	640	
	81,5		460 (*)		600	
Intercalaire du type Linex de 20 mm d'épaisseur	48,3	{	485	}	618	
	96,8		250		}	557
			350 (*)			
			420			
465						
Moyenne de tous les essais			318		592	
					487	

(\*) Lorsque 2 ou plusieurs chiffres sont donnés, ils indiquent la charge à laquelle les premières fissures sont apparues dans chacun des 2 ou 4 claveaux de l'essai.

TABEL II.  
Proeven op volledige blokken in groepen van 2 of 4.

Voeg	Afstand tussen de platen van de pers in cm	Eerste barst in t		Breuk in t		
		Blokken van		Blokken van		
		83 kg	153 kg	83 kg	153 kg	
Zonder voeg (ruwe vlakken)	42,2	}	135	}	586	
»	43,5		185 (*)		330	
»	75,6		60		180	472
Gecementeerde kontakvlakken	46	}	625	}	852	
	46,5		250		560	
	81		290		388	
Voeg soort Minorex dikte 19 mm	81,5	}	380	}	640	
	48		460 (*)		560	600
Voeg soort Linex dikte 20 mm	48,3	}	485	}	618	
	96,8		250		557	
			350 (*)		420	465
Gemiddelde van al de proeven			318	343	592	487

(\*) Twee of meer cijfers duiden op de belastingen bij dewelke de eerste spleten verschenen zijn in elk van de 2 of 4 beproefde blokken.

de tous les claveaux essayés est la même et varie en pratique de 1.580 à 1.650 cm<sup>2</sup>.

Seule la hauteur de l'ensemble des claveaux essayés peut varier d'un essai à un autre.

La vitesse de mise en charge est de 40 tonnes/min.

Les claveaux lourds utilisés pour ces essais ont 3 mois d'âge et les claveaux de 83 kg plus de 5 mois d'âge.

Les résultats des essais sur les claveaux moyens et lourds sont résumés au tableau II.

On peut noter ici que cette charge de rupture moyenne de 592 t pour les essais de compression de 2 claveaux de 83 kg correspond à une contrainte moyenne de 358 kg/cm<sup>2</sup>. Cette contrainte est bien inférieure à celle obtenue lors des essais de compression de cylindres de 100 cm<sup>2</sup> de section et 10 cm de hauteur qui dépasse 1.000 kg/cm<sup>2</sup> pour un béton de même qualité.

Avant de tirer une conclusion de ces essais, il faut tenir compte des deux observations suivantes dues l'une à la hauteur différente des éprouvettes essayées et l'autre à la qualité différente du béton des claveaux moyens et lourds.

dezelfde en varieert in praktijk tussen 1.580 en 1.650 cm<sup>2</sup>.

Enkel de hoogte van de opgestapelde blokken kan van de ene proef tot de andere verschillen.

De belasting wordt aangebracht met een rythme van 40 t/min.

Bij deze proeven zijn de zware blokken 3 maand oud en die van 83 kg meer dan 5 maand.

De uitslagen der proeven op middelgrote en zware blokken worden gegeven in tabel II.

Men kan hier noteren dat deze gemiddelde breukbelasting van 592 t bij de drukproeven op de twee blokken van 83 kg overeenkomt met een gemiddelde spanning van 358 kg/cm<sup>2</sup>. Dit is heel wat minder dan men bekomt tijdens de drukproeven op cylinders van 100 cm<sup>2</sup> sectie en 10 cm hoogte, waar een beton van dezelfde kwaliteit een spanning opneemt van meer dan 1.000 kg/cm<sup>2</sup>.

Vooraleer besluiten te trekken uit deze proeven dient men rekening te houden met twee feiten die in verband staan het ene met de verschillende hoogten der monsters, het andere met het verschil in kwaliteit van het beton der middelgrote en zware blokken.

a) Les essais effectués sur deux claveaux de 83 kg peuvent être assimilés à des essais sur éprouvettes cubiques de 40 cm de côté ( $1.600 \text{ cm}^2$  de section de compression). Par contre, les essais effectués sur les claveaux de 153 kg peuvent être considérés comme effectués sur deux éprouvettes cubiques superposées de 40 cm de côté chacune.

Or de nombreux essais effectués précédemment (1) indiquent que la résistance à la compression de cylindres ou de prismes en béton, dont la hauteur est égale à la racine carrée de la section de compression (cas de l'essai sur 2 claveaux de 83 kg), est environ 40 à 50 % plus élevée que si la hauteur est deux fois plus grande (cas de l'essai sur 2 claveaux lourds).

b) Les essais effectués sur des cylindres de béton prélevés dans les claveaux de béton indiquent que la résistance à la compression du béton des claveaux de 83 kg est supérieure de 16 % à la résistance des claveaux lourds.

En tenant compte de ces remarques, on peut conclure qu'au point de vue de la résistance à la compression, la résistance des claveaux lourds est environ 20 à 30 % plus grande que celle des claveaux de 83 kg.

### 3. ESSAIS D'ECRASEMENT DES INTERCALAIRES UTILISES

Les essais de compression et d'écrasement ont été effectués sur des panneaux intercalaires Minorex, constitués de fibres de bois, identiques à ceux utilisés lors des essais sur des anneaux entiers en claveaux de béton. L'épaisseur de ces panneaux est de 19 mm et leur densité est de  $0,472 \text{ kg/dm}^3$ . Le prix d'un de ces panneaux de  $30 \times 50 \text{ cm}$  est de 6 à 7 F.

Un essai de compression effectué sur un prisme de  $100 \text{ cm}^2$  de section et de 18,3 cm de hauteur constitué de 10 intercalaires juxtaposés a donné une résistance à la rupture de  $795 \text{ kg/cm}^2$ . Cette résistance dépasse de beaucoup la résistance à la compression d'un prisme de béton de même dimension. On peut donc conclure, qu'au point de vue de la résistance d'un anneau de claveaux, la présence d'intercalaires ne constitue pas un point faible.

Afin de connaître l'ordre de grandeur des charges transmises d'un claveau à l'autre au cours des essais d'anneaux entiers, des essais de compression ont été effectués pour mesurer l'écrasement des panneaux intercalaires en fonction de l'augmentation de la charge.

(1) Voir Bulletin Technique « Mines » Inichar n° 74 et « Béton » (en langue allemande) n° 2, 1961. Etude sur les claveaux de béton et sur les intercalaires compressibles utilisés pour le revêtement des bouveaux.

a) De proeven met twee blokken van 83 kg kunnen vergeleken worden met proeven op kubische monsters met een zijde van 40 cm ( $1.600 \text{ cm}^2$  druksektie). Daarentegen kunnen de proeven op de blokken van 153 kg vergeleken worden met proeven uitgevoerd op twee op elkaar geplaatste kubische monsters met elk een zijde van 40 cm.

Nu blijkt uit talrijke vroegere proeven (1) dat de drukweerstand van betonnen cilindres of prisma's waarvan de hoogte gelijk is aan de wortel van de sektion (geval van de proef met twee blokken van 83 kg) ongeveer 40 tot 50 % hoger ligt dan wanneer de hoogte het dubbele daarvan bedraagt (geval van twee zware blokken).

b) De proeven uitgevoerd op uit de betonblokken genomen cilindres wijzen uit dat de drukweerstand van de blokken van 83 kg 16 % hoger ligt dan die van de zware blokken.

Houdt men rekening met voorgaande opmerkingen dan komt men tot het besluit dat de drukweerstand van de zware blokken ongeveer 20 tot 30 % hoger ligt dan die van de blokken van 83 kg.

### 3. VERPLETTERINGSPROEVEN OP DE GEBRUIKTE VOEGMATERIALEN

De samendrukkings- en verpletteringsproeven werden uitgevoerd op voegplaten Minorex uit houtvezels, dezelfde als die welke gebruikt werden voor de proeven op volledige blokkenringen. Hun dikte bedraagt 19 mm en hun dichtheid  $0,472 \text{ kg/dm}^3$ . Een paneel van  $30 \times 50 \text{ cm}$  kost van 6 tot 7 F.

Een drukproef, uitgevoerd op een prisma met een basis van  $100 \text{ cm}^2$  en een hoogte van 18,3 cm, bestaande uit tien op elkaar geplaatste panelen, gaf een breukweerstand van  $795 \text{ kg/cm}^2$ . Dit is veel meer dan de drukweerstand van een prisma in beton van dezelfde afmetingen. Men mag dan ook besluiten dat de voegplaten hoegenaamd geen verzwakking van de weerstand der blokkenringen betekenen.

Men heeft drukproeven uitgevoerd om de verplettering van de voegpanelen in functie van de belasting te meten en zodoende te kunnen oordelen over de grootte van de belastingen die door de blokken op elkander worden overgebracht tijdens de proeven op volledige ringen.

Figuur 2 geeft enkele samendrukkingskrommen van voegpanelen in functie van de belasting. Krom-

(1) Zie Technische Mededelingen « Mijnen » Inichar, n° 74, en « Béton » (in het Duits), n° 2, 1961. Studie over de betonblokken en de gebruikte samendrukbare voegen voor het ondersteunen van steengangen.



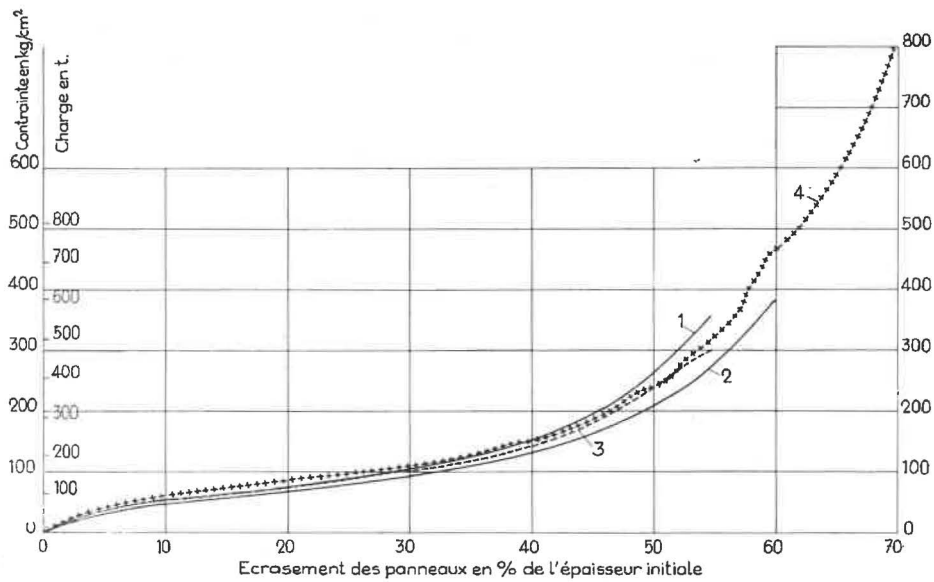


Fig. 2.

Courbes d'écrasement des panneaux Minorex en fonction de la charge lors des essais de compression

- de 2 claveaux de 83 kg (courbe 1)
- de 2 claveaux de 153 kg (courbe 2)
- d'un cylindre de béton (courbe 3)
- de 10 panneaux (courbe 4)

Les valeurs des charges en tonnes ne sont données que pour les courbes 1 et 2.

Samendrukkingskrommen van de Minorex panelen tijdens de drukproeven uitgevoerd op

- twee blokken van 83 kg (kromme 1)
- twee blokken van 153 kg (kromme 2)
- een betonnen cylinder (kromme 3)
- 10 panelen (kromme 4)

De waarden van de belasting in ton worden alleen gegeven voor de krommen 1 en 2.

Contrainte en kg/cm<sup>2</sup> : Spanning in kg/cm<sup>2</sup> — Charge en t : Belasting in t — Ecrasement des panneaux en % de l'épaisseur initiale : Samendrukking van de panelen in % van de oorspronkelijke dikte

La figure 2 donne quelques courbes d'écrasement des panneaux intercalaires en fonction de la charge. Les courbes 1 et 2 correspondent à l'écrasement des panneaux lors des essais de compression de deux claveaux entiers superposés, respectivement de 83 kg et de 153 kg.

La courbe 3 correspond à l'écrasement des intercalaires dans le cas d'un essai de compression d'un cylindre de béton de 100 cm<sup>2</sup> de section et 10 cm de hauteur, séparé des deux plateaux de la presse par des intercalaires.

La courbe 4 de la figure 2 donne le pourcentage d'écrasement de 10 panneaux superposés de 100 cm<sup>2</sup> de section et 18,3 cm de hauteur.

Les diverses courbes montrent que les différences entre les divers taux d'écrasement des intercalaires sont très faibles et inférieures à 10 %.

#### 4. ESSAIS SUR DES ANNEAUX ENTIERS DE CLAVEAUX DE BETON

Avant de faire des essais au fond, il était nécessaire de vérifier l'incidence que pouvaient avoir l'em-

men 1 et 2 stellen de verplettering voor van het paneel bij drukproeven op opeengestapelde blokken van 83 respectievelijk 153 kg.

Kromme 3 stelt de samendrukking van het paneel voor in het geval van drukproeven op een betonnen cylinder met een sectie van 100 cm<sup>2</sup> en een hoogte van 10 cm, die door voegpanelen van de vlakken van de pers gescheiden wordt.

Kromme 4 van figuur 2 geeft in procenten de samendrukking van 10 opeengestapelde panelen met een sectie van 100 cm<sup>2</sup> en een hoogte van 18,3 cm.

Uit de verschillende krommen blijkt dat de afwijkingen tussen de samendrukkingskrommen van dergelijke panelen zeer klein zijn en steeds minder dan 10 % bedragen.

#### 4. PROEVEN OP VOLLEDIGE BLOKKENRINGEN

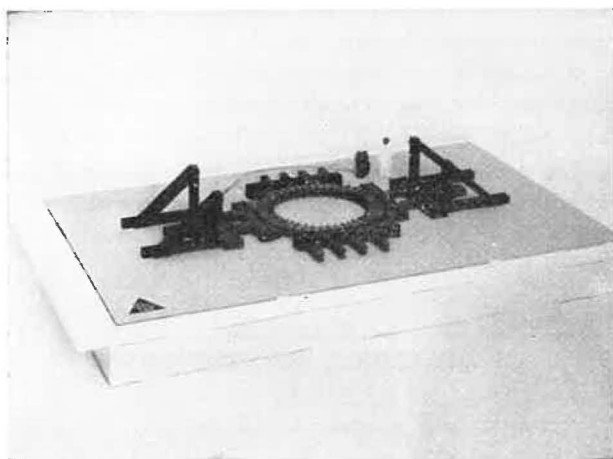
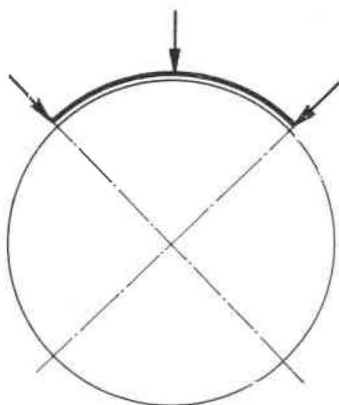
Alvorens over te gaan tot proeven in de ondergrond, moet men weten welke invloed het gebruik van zware blokken en het verminderen van het aantal voegen tot de helft kan hebben op de weerstand van een volledige ring.

ploi des claveaux lourds et la réduction de moitié du nombre de joints compressibles sur la résistance d'un anneau entier.

A cet effet, des essais comparatifs ont été effectués aux laboratoires de l'A.I.B. à Bruxelles sur des anneaux de 4,80 m de diamètre utile, constitués les uns de claveaux de 83 kg et les autres de claveaux de 153 kg provenant tous de la même usine.

La figure 1 donne les dimensions de ces deux types de claveaux, qui sont tous équipés d'un trou de manutention de 30 mm de diamètre et de 20 cm de profondeur situé au milieu de la face intrados. Au cours des essais, les claveaux sont séparés les uns des autres par des fourrures compressibles de même dimension et même densité.

Afin de pouvoir comparer les résultats de ces essais avec ceux déjà effectués sur des anneaux en claveaux de béton provenant des charbonnages de Beeringen et sur les anneaux métalliques constitués de cadres Rheinstahl-Wanheim et Toussaint-Heintzmann, il nous a paru opportun d'effectuer la mise en charge suivant le montage III décrit dans le Bulletin Technique « Mines » Inichar n° 74 (2).



(2) Voir Bulletin Technique « Mines » Inichar n° 74, pp. 1546 à 1553 et « Béton » (en langue allemande) n° 2, 1961, pp. 114 à 119.

Met dat doel werden in de laboratoria van de V.B.I. te Brussel vergelijkende proeven uitgevoerd op ringen met een inwendige doormeter van 4,80 m, bestaande respectievelijk uit blokken van 83 en 153 kg die alle van dezelfde fabriek voortkwamen.

Figuur 1 geeft de afmetingen van deze blokken; beide zijn voorzien van een opening voor het opheffen; deze opening heeft een doormeter van 30 mm en een lengte van 20 cm en ligt in het midden van de binnenzijde. Tijdens de proeven liggen tussen de betonblokken samendrukbare voegplaten van dezelfde afmetingen en dichtheid.

Wij hebben een vergelijking willen mogelijk maken tussen deze proeven en die welke reeds werden verricht op blokkenringen van de kolenmijn Beringen en metalen ramen Rheinstahl-Wanheim en Toussaint-Heintzmann; daarom hebben we geoordeeld de belasting te moeten aanbrengen volgens de opstelling III, die beschreven wordt in de Technische Mededeling « Mijnen » Inichar n° 74 (2).

Deze opstelling wordt schematisch weergegeven in figuur 3; de drukkrachten worden slechts over een vierde van de buitenomtrek gespreid.

De druk wordt voortgebracht door 2 vijzels van 300 t die steunen tegen balken en steunbokken aangebracht op de vloer van de proefbank.

Twee vijzels van 150 t werden geplaatst tussen de steunbalken en de bokken aan het tegenovergestelde kwart omtrek, waardoor men de reactie door dit vierde deel van de omtrek opgenomen kon meten.

De steunpunten van de andere twee vierden van de omtrek bestaan uit balken die zijdelings op metalen rollen kunnen glijden.

#### 41. Proef op een ring bestaande uit middelgrote blokken van 83 kg.

Deze ring van 4,80 m inwendige doormeter bevat 72 blokken van 83 kg (figuur 4). De blokken hebben een dikte van 50 cm en de ring heeft een breedte van 33 cm. De voegplaten tussen de blokken bestaan uit platen Minorex met een dikte van 20 mm.

De belasting werd progressief per trap van 40 t aangebracht.

Fig. 3.

Mode de sollicitation et disposition des chevalets et des poutres d'appui lors de la mise en charge d'un anneau en claveaux de béton.

Wijze van belasting en opstelling van bokken en balken bij het onder spanning brengen van een betonblokkenring.

(2) Zie Technische Mededeling « Mijnen » van Inichar n° 74, pp. 1546 tot 1553, en « Béton » (in het Duits) n° 2, pp. 114 tot 119.

Les deux dessins de la figure 3 schématisent ce montage ; les efforts de poussée sont répartis sur un quart seulement du périmètre extérieur.

La poussée est exercée au moyen de 2 vérins de 300 t chacun ; ces vérins prennent appui sur des poutres et des chevalets ancrés sur la dalle d'essai.

Deux vérins de 150 t ont été intercalés entre les poutres d'appui et les chevalets du quart opposé à celui de la mise en charge pour mesurer la réaction absorbée par ce quart de circonférence.

Les appuis sur les deux autres quarts de la circonférence sont constitués par des poutres pouvant glisser latéralement sur des rouleaux métalliques.

#### 41. Essai sur un anneau constitué de claveaux moyens de 83 kg.

L'anneau de 4,80 m de diamètre intérieur comporte 72 claveaux de 83 kg (fig. 4). L'épaisseur des claveaux est de 50 cm et la largeur de l'anneau de 33 cm. Les intercalaires compressibles placés entre claveaux sont des panneaux Minorex de 20 mm d'épaisseur.

Les charges ont été appliquées progressivement par paliers de 40 t.

La charge maximum atteinte avant la rupture de l'anneau par éclatement fut de 480 t, la première fissure étant apparue à la charge de 363 t.

#### Déformation de l'anneau.

Sur la figure 5, on voit la position occupée par l'intrados de l'anneau aux charges respectives de 240 t et 480 t.

On constate que l'anneau s'est relativement peu déformé.

Le diamètre 1-9 parallèle à l'axe de la charge mesurait au départ 4,80 m. A la charge de 240 t, il est réduit à 4,605 m, soit une diminution de longueur de 4,1 %. A la charge de 480 t, il est réduit à 4,410, soit une diminution de 8,2 %.

On constate donc la même réduction de longueur dans les intervalles 0-240 t et 240-480 t.

Les deux courbes de la figure 6 indiquent les variations des diamètres initiaux 1-9 et 5-13 en fonction de la charge appliquée. On constate la présence d'un point d'inflexion aux environs d'une charge de 240 t dans la courbe du diamètre 1-9. Ce point doit être dû en partie aux intercalaires compressibles dont la courbe d'écrasement possède aussi un point d'inflexion ; à partir d'une certaine charge, l'intercalaire ne s'écrase plus que lentement.

A la figure 5, on observe encore l'existence de plusieurs points anguleux dans l'allure de l'intrados de l'anneau. A la charge de 240 t, un angle se manifeste au point de mesure 15 situé du côté de la charge et suivant un rayon dont la direction fait un

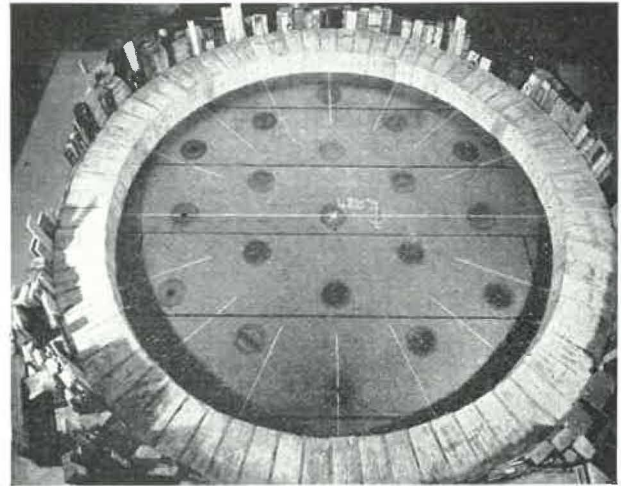


Fig. 4.

Photo de l'anneau formé de 72 claveaux de 83 kg, avant l'essai.

Foto van een ring uit 72 blokken van 83 kg. vóór de proef.

De eerste barst verscheen bij een belasting van 363 t, de breuk deed zich voor door uiteenspannen bij 480 t.

#### Vervorming van de ring.

Op figuur 5 ziet men de vorm van de binnentrek bij een belasting van respectievelijk 240 en 480 t.

Men bemerkt dat de vervorming betrekkelijk gering is.

De doormeter 1-9 die evenwijdig loopt met de as der belasting bedroeg bij de aanvang 4,80 m ; bij een belasting van 240 t is hij verminderd tot 4,605 m, hetzij een verkorting van 4,1 %. Bij 480 t blijft er nog 4,410 m over, hetzij een verkorting van 8,2 %.

Men vindt bijgevolg een zelfde verkorting in de twee perioden 0-240 t en 240-480 t.

De twee krommen van figuur 6 geven de veranderingen van de doormeters 1-9 en 5-13 in functie van de opgelegde belasting. Men bemerkt een buigpunt in de kromme van doormeter 1-9 rond de belasting van 240 t. Dit punt moet ten dele te wijten zijn aan de samendrukbare voegplaten, wier samendrukkingskromme eveneens een buigpunt vertoont ; van een zekere belasting af wordt de samendrukking van de voegen nul of toch zeer gering.

Op figuur 5 ziet men dat de inwendige vorm van de ring nog verschillende hoekpunten vertoont. Men bemerkt er één bij 240 t in het meetpunt 15, gelegen aan de zijde van de belasting en volgens een straal die met de richting van de belasting een hoek



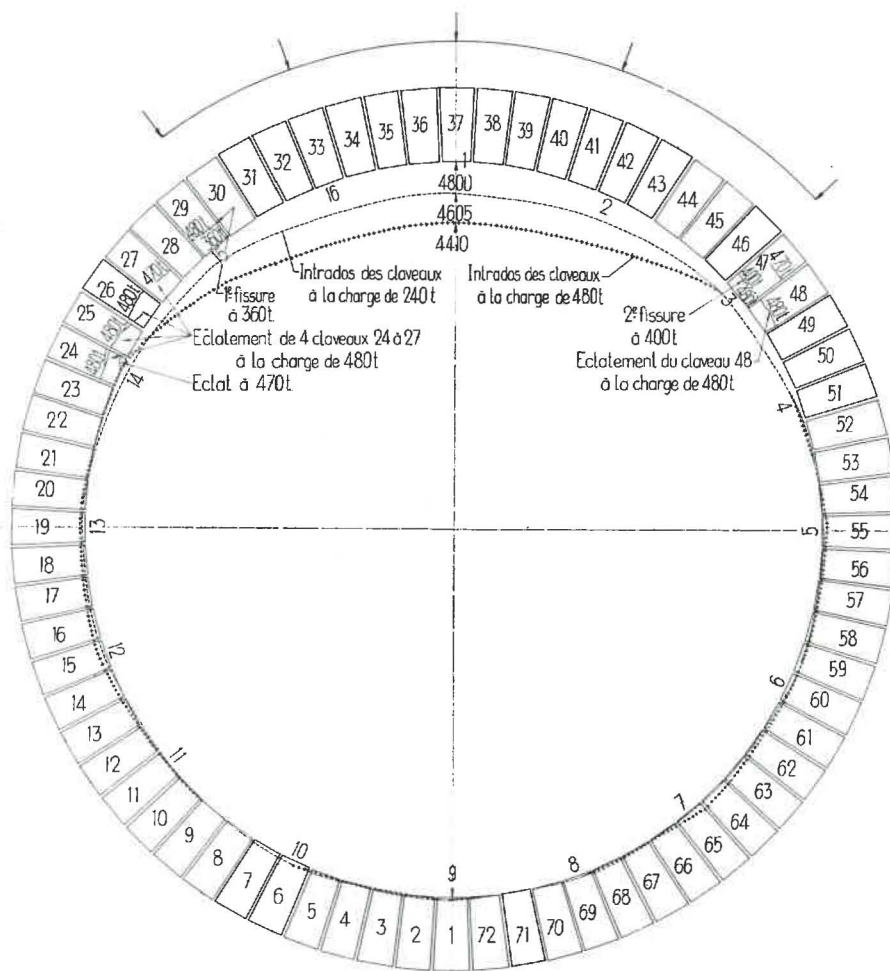


Fig. 5.

Déformation d'un anneau de 4,80 m de diamètre intérieur, constitué de 72 claveaux de 83 kg. Les variations de longueur des rayons 1 à 16 ont été mesurées régulièrement toutes les 40 tonnes. La première fissure s'est produite au claveau 29 à la charge de 360. La rupture de l'anneau par éclatement du béton a eu lieu à la charge de 480 t aux 4 claveaux 24 à 27.

Vervorming van een ring met een inwendige doormeter van 4,80 m, bestaande uit 72 blokken van 83 kg. De lengteverandering van de stralen 1 tot 16 wordt regelmatig om de 40 ton gemeten. De eerste barst is ontstaan in blok 29 bij een belasting van 360 t. De ring is gebroken door het uitspringen van het beton bij 480 t in de vier blokken 24 tot 27.

1<sup>re</sup> fissure à 360 t : 1<sup>re</sup> barst bij 360 t — Intrados des claveaux à la charge de 240 t : Binnenomtrek der blokken bij een belasting van 240 t — Eclatement de 4 claveaux 24 à 27 à la charge de 480 t : Stukspringen der 4 blokken 24 tot 27 bij een belasting van 480 t — Eclat à 470 t : Afspringen op 470 t — Intrados des claveaux à la charge de 480 t : Binnenomtrek der blokken bij een belasting van 480 t — 2<sup>e</sup> fissure à 400 t : 2<sup>e</sup> barst bij 400 t — Eclatement du claveau 48 à la charge de 480 t : Stukspringen van blok 48 bij een belasting van 480 t

angle de 45° avec l'axe de la charge. A la charge de 480 t, on constate deux nouvelles brisures dans la courbe aux points 3 et 7 situés aussi suivant des rayons dont la direction fait un angle de 45° avec l'axe de la charge.

#### Fissuration des claveaux au cours de l'essai.

Sur la figure 5, nous avons indiqué l'emplacement des premières fissures apparues dans les claveaux avant la rupture de l'anneau.

van 45° maakt. Bij een belasting van 480 t ziet men twee nieuwe knikpunten in de gebogen lijn, namelijk bij de punten 3 en 7 die eveneens gelegen zijn op een richting die een hoek van 45° vormt met de richting van de belasting.

#### Splijten van de blokken tijdens de proef.

Wij hebben op figuur 5 de plaats aangeduid van de eerste barsten die voor het breken in de ring verschenen zijn.



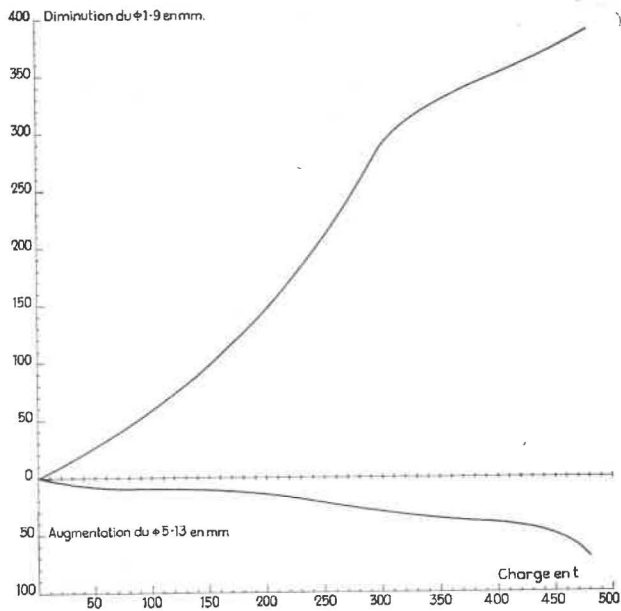


Fig. 6.

Courbes donnant les variations en longueur des diamètres utiles 1-9 et 5-13 en fonction de la charge.

Krommen van de verandering van de nuttige doormeters 1-9 en 5-13 in functie van de belasting.

Diminution du diamètre 1-9 en mm : Vermindering van de doormeter 1-9 in mm — Augmentation du diamètre 5-13 : Vermeerdering van de doormeter 5-13 — Charge en t : Belasting in t

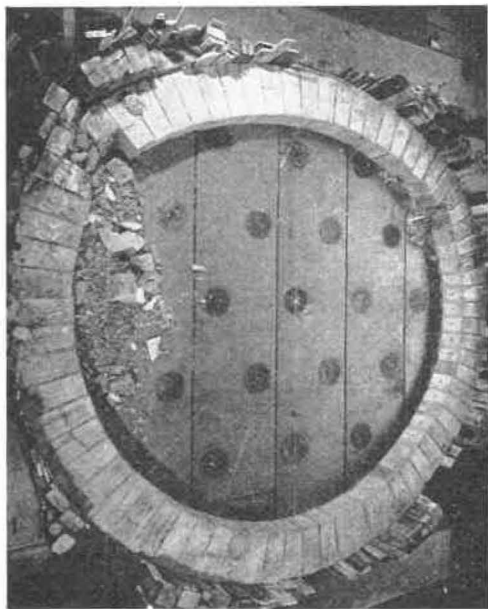


Fig. 7.

Photo de l'anneau formé de claveaux moyens de 83 kg après la rupture par éclatement de béton à la charge de 480 t. La charge a été appliquée sur le quart gauche de l'anneau.

Foto van de ring uit blokken van 83 kg na breuk door uitspringen van het beton bij 480 t. De belasting werd toegepast op het linkse vierde deel van de ring.

La première fissure apparaît à la charge de 360 t dans le claveau numéroté 20.

A 400 t, le claveau 47 se fissure.

A 460 t, un éclat se détache du claveau 24.



a



b

Fig. 8.

Photos montrant le détail de l'éclatement du béton des 4 claveaux 24 à 27 et des 3 claveaux 47 à 49 ; les claveaux 23-28 et 29 sont aussi fissurés. On constate que la rupture ressemble à celle qui se produit dans certains cas dans le radier de certains bouevaux.

Foto's die het springen van de 4 blokken 24 tot 27 en van de drie blokken 47 tot 49 in bijzonderheden geven. Ook de blokken 23-28 en 29 zijn gebarsten. Men ziet dat de breuk overeenkomt met die welke men soms vaststelt in de kelderling van sommige steelgangen.

De eerste komt te voorschijn op 360 t in de blok die het nummer 29 draagt.

Op 400 t is het blok n° 47 die splijt.

Op 460 t springt een stuk af van blok 24.

Op 470 t verschijnt een barst in blok 27 en een tweede in 47.

A 470 t, une fissure apparaît au claveau 27, et une seconde fissure au claveau 47.

A 480 t, le claveau 48 se fissure ainsi que les claveaux 24, 25 et 26.

La charge est maintenue quelque temps à 480 t, et les claveaux 24, 25 et 26 d'un côté, 47 et 48 de l'autre se fissurent fortement. La charge descend progressivement à 320 t, puis l'éclatement de l'anneau se produit à hauteur des claveaux 24, 25, 26 et 27. On remarquera que ces claveaux sont disposés suivant une direction qui fait un angle de 45° avec l'axe de la charge (fig. 5).

La figure 7 montre la forme prise par l'anneau après la rupture. On constate sur cette figure que la partie avant du claveau 48 a aussi éclaté.

Les figures 8 et 9 montrent le détail de la fissuration des claveaux 23 à 27 et 47-48.

#### Charges transmises d'un claveau à l'autre.

L'écrasement des panneaux intercalaires donne une idée de la charge transmise d'un claveau à l'autre de l'anneau. En comparant le taux de compression des intercalaires à celui obtenu lors d'essais en laboratoire sur des panneaux identiques, il est possible d'apprécier la charge encaissée par chacun des points.

Le tableau III donne les tensions de compression maximum transmises à l'intrados à différentes charges.

TABLEAU III.  
Tensions transmises à l'intrados  
d'un claveau à l'autre.

Charge en t	Numéro des claveaux	Ecrasement des intercalaires en %	Tensions de compression en kg/cm <sup>2</sup>
200	22 à 26	30	100
	47 à 51	30	100
240	22 & 23	40	140
	25 & 26	45	180
320	22 & 23	55	325
	48 à 50	55	325
470	22 à 26	67.5	700

On constate qu'à la charge de 470 t, la contrainte de compression mesurée à l'intrados des claveaux 22 à 26 atteint 700 kg/cm<sup>2</sup>, ce qui approche de la charge de rupture du béton. C'est d'ailleurs à hauteur de ces claveaux que l'anneau éclate à la charge de 480 t.

Op 480 t splijt blok n<sup>o</sup> 48 evenals de blokken 24, 25 en 26.

De belasting wordt nu gedurende zekere tijd op 480 t gehouden en sterke breuken treden op in de blokken 24, 25 en 26 aan een zijde, en 47 en 48 aan de andere. De belasting daalt geleidelijk tot 320 t waarna de ring uiteenspat ter hoogte van de blokken 24, 25, 26 en 27. Men bemerkt dat deze blokken gelegen zijn volgens een richting die met die van de belasting een hoek vormt van 45° (figuur 5).

Figuur 7 geeft de vorm van de ring na de breuk. Men ziet hierop dat het voorste deel van blok 48 ook uiteengesprongen is.

De figuren 8 en 9 geven in detail de barsten weer in de blokken 23 tot 27 en 47-48.

#### Belastingen door de ene blok op de andere voortgeplant.

De verplettering van de voegplaten geeft een idee van de belasting die door een blok op de andere wordt overgeplant. Vergelijkt men de samendrukking der voegen met die welke in het laboratorium bekomen werd op soortgelijke platen, dan kan men daaruit de waarde afleiden van de in elk dezer punten opgetreden belastingen.

Tabel III geeft de maximale drukspanningen die bij verschillende belastingen aan de binnenomtrek optreden.

TABEL III.  
Spanningen overgebracht door de ene blok op de andere, aan de binnenomtrek.

Belasting in t	Nummer van de blok	Samendrukking van de voegplaten in %	Drukspanning in kg/cm <sup>2</sup>
200	22 à 26	30	100
	47 à 51	30	100
240	22 & 23	40	140
	25 & 26	45	180
320	22 & 23	55	325
	48 à 50	55	325
470	22 à 26	67.5	700

Men ziet dat de spanningen aan de binnenzijde van de blokken 22 tot 26, bij een belasting van 470 t, 700 kg/cm<sup>2</sup> bereiken. Dit benadert de breukbelasting van het beton. Het is ten andere ter hoogte van deze blokken dat de ring bij 480 t uiteenspringt.

*Charges reprises par les vérins-dynamomètres.*

Le tableau IV donne les réactions reprises par les deux vérins dynamomètres mesurant les charges reprises par le quart de l'anneau opposé à celui sur lequel la charge est appliquée.

TABLEAU IV.

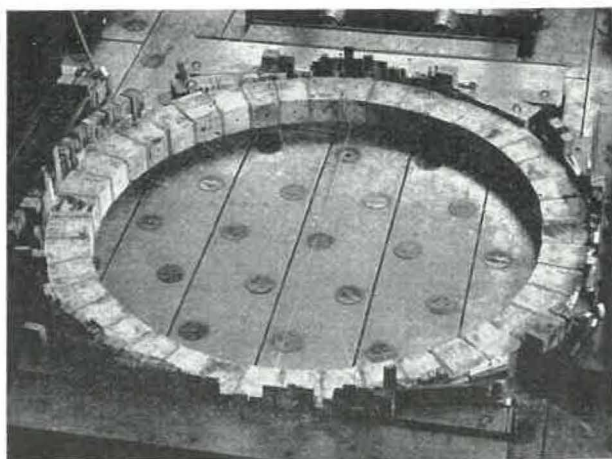
Charge totale en t	Charge reprise par les vérins-dynamomètres en t	% de charge transmise aux vérins-dynamomètres en %	Différence entre les charges transmises et reprises en t
160	10	6,3	150
240	43	18	197
320	76	24	244
400	90	22,5	310
480	115	24	365

**42. Essais sur anneaux constitués de claveaux lourds de 153 kg.**

Plusieurs essais ont été effectués sur des anneaux de 4,80 m de diamètre intérieur, formés de 42 claveaux lourds de 153 kg. L'épaisseur des claveaux est de 50 cm et la largeur de l'anneau de 33 cm. Les intercalaires compressibles placés entre claveaux sont des panneaux Minorex de 20 mm d'épaisseur (fig. 9).

Les charges ont été appliquées progressivement par paliers de 40 t.

Il est très important de noter ici que, bien que moulés dans la même fabrique, ces claveaux lourds ne possèdent pas toutes les qualités des claveaux habituels de 83 kg qui sont fabriqués habituellement à l'usine. Les essais décrits au paragraphe 1 montrent que la résistance du béton des claveaux lourds peut être estimée inférieure de 16 % au béton des claveaux de 83 kg.



*Belasting opgenomen door de dynamometrische vijzels.*

Tabel IV geeft de reaktiekrachten opgenomen door de twee dynamometrische vijzels op het kwart omtrek gelegen tegenover dat waar de belasting wordt uitgeoefend.

TABEL IV.

Totale belasting in t	Belasting opgenomen door de dynamometrische vijzels in t	% van de belasting overgebracht op de dynamometrische vijzels	Verskil tussen uitgeoefende en overgebrachte belastingen in t
160	10	6,3	150
240	43	18	197
320	76	24	244
400	90	22,5	310
480	115	24	365

**42. Proeven op ringen uit zware blokken van 153 kg.**

Er werden verschillende proeven uitgevoerd op ringen met een inwendige doormeter van 4,80 m, bestaande uit 42 blokken van 153 kg. De dikte dezer blokken bedraagt 50 cm en de breedte van de ring 33 cm. De samendrukbare voegen tussen de blokken zijn panelen Minorex met een dikte van 20 mm (fig. 9).

De belasting werd geleidelijk toegepast in trappen van 40 t.

Men mag hier vooral niet uit het oog verliezen dat de zware blokken, al werden ze ook in dezelfde fabriek gemaakt, niet dezelfde eigenschappen bezitten als de blokken van 83 kg die door de fabriek gewoonlijk worden vervaardigd. Uit de proeven die in de eerste paragraaf worden beschreven blijkt dat de weerstand der zware blokken naar schatting 16 % lager ligt dan die van de blokken van 83 kg.

Fig. 9.

Photo d'un anneau formé de 42 claveaux lourds de 153 kg, avant l'essai.

Foto van een ring uit 42 blokken van 153 kg vóór de proef.



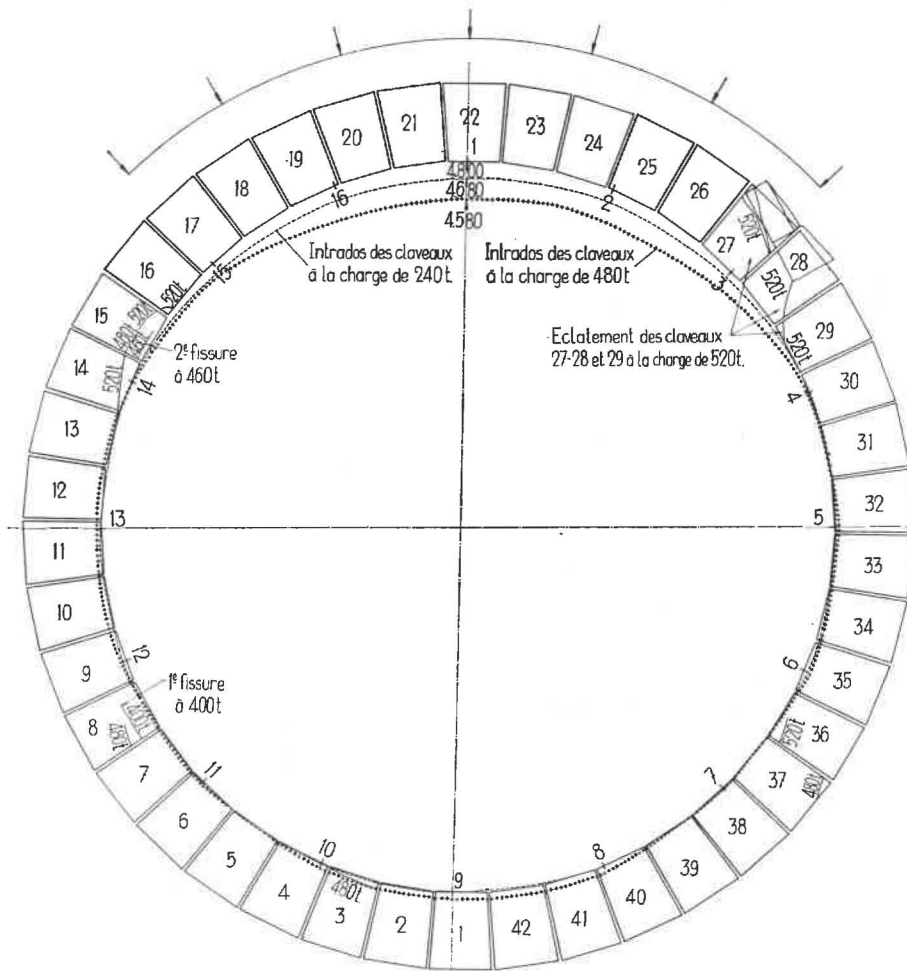


Fig. 10.

Déformation d'un anneau de 4,80 m de diamètre intérieur, constitué de 42 claveaux de 153 kg. La première fissure s'est produite au claveau 8 à la charge de 400 t. La rupture de l'anneau, par éclatement du béton a eu lieu à la charge de 520 t aux 3 claveaux 27 à 29.

Vervorming van een ring met een inwendige doormeter van 4,80 m, bestaande uit 42 blokken van 153 kg. De eerste barst is ontstaan in blok n<sup>o</sup> 8 bij een belasting van 400 t. De ring is uiteengesprongen bij een belasting van 520 t aan de drie blokken 27 tot 29.

Intrados des claveaux à la charge de 240 t : Binnenomtrek der blokken bij een belasting van 240 t — 2<sup>e</sup> fissure à 460 t : 2<sup>e</sup> barst bij 460 t — Intrados des claveaux à la charge de 480 t : Binnenomtrek der blokken bij een belasting van 480 t — Eclatement des claveaux 27-28 et 29 à la charge de 520 t : Stukspringen der blokken 27-28 en 29 bij een belasting van 520 t — 1<sup>e</sup> fissure à 400 t : 1<sup>e</sup> barst op 400 t

#### 421. Premier essai sur claveaux lourds.

L'âge des claveaux lourds du premier essai variait entre 49 et 51 jours. Leur épaisseur variait de 45 à 50 cm et leur poids de 147 à 153 kg. L'épaisseur moyenne était de 48 cm.

La charge maximum atteinte avant la rupture de l'anneau par éclatement fut de 520 t, la première fissure étant apparue à la charge de 400 t.

#### Déformation de l'anneau.

Sur la figure 10, on voit la position occupée par l'intrados de l'anneau aux charges respectives de 240 et 480 t.

#### 421. Eerste proef op zware blokken.

De blokken van de eerste proef waren van 49 tot 51 dagen oud, van 45 tot 50 cm dik en van 147 tot 153 kg zwaar. Hun gemiddelde dikte bedroeg 48 cm.

De maximum belasting voor het uiteenspringen van de ring was 520 t; de eerste barst verscheen bij 400 t.

#### Vervorming van de ring.

Op figuur 10 ziet men de vorm van de binnenomtrek respectievelijk bij een belasting van 240 en 480 t.



On constate que l'anneau s'est très peu déformé. Le diamètre 1-9 parallèle à l'axe de la charge avait au départ une longueur de 4,800 m.

A la charge de 240 t, elle est réduite à 4,680 m soit une diminution de 2,5 %.

A la charge de 480 t, elle est réduite à 4,580 m soit une diminution de 4,6 %.

Le diamètre 5-13, perpendiculaire à la direction de l'axe des charges, a augmenté de 4,800 m à 4,840 m à la charge de 480 t.

Les deux courbes a et b de la figure 11 permettent de comparer les variations du diamètre initial 1-9 (parallèle à la direction de la charge) en fonction de la charge appliquée dans les deux essais : claveaux de 153 kg d'une part et claveaux de 83 kg d'autre part. La diminution de ce diamètre est 77 % plus grande avec les claveaux de 83 kg qu'avec les claveaux lourds. Ce fait est une conséquence du plus grand nombre de joints intercalaires avec les claveaux de 83 kg (le nombre de joints augmente de 72 % dans ce cas).

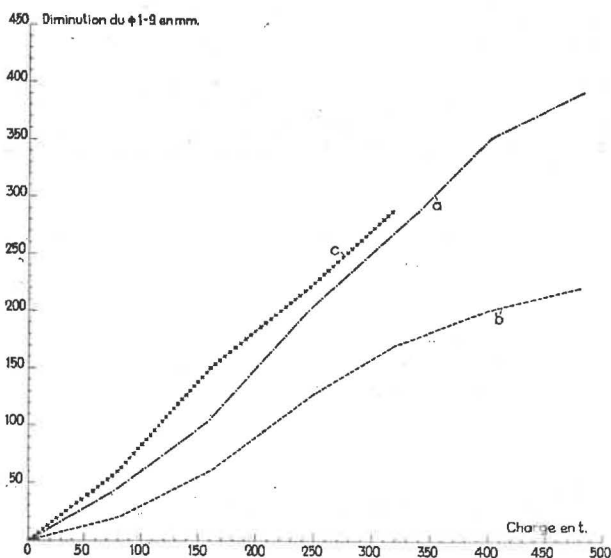


Fig. 11.

Courbes donnant la diminution du diamètre utile 1-9 en fonction de la charge dans les cas des essais sur anneaux constitués de :

- claveaux de 83 kg (courbe a)
- claveaux de 153 kg, essai 1 (courbe b)
- claveaux de 153 kg, essai 2 (courbe c)

Krommen van de vermindering van de nuttige doormeter 1-9, in functie van de belasting bij proeven op ringen uit

- blokken van 83 kg (kromme a)
- blokken van 153 kg, proef 1 (kromme b)
- blokken van 153 kg, proef 2 (kromme c)

Diminution du diamètre 1-9 en mm — Vermindering van de doormeter 1-9 in mm — Charge en t: Belasting in t

Les deux courbes a et b de la figure 11 présentent un point d'inflexion situé aux environs de la charge de 240 t. Cependant dans le cas des claveaux lourds, ce joint semble se présenter à une charge un peu plus faible, ce qui peut s'expliquer par

Men bemerkt dat de ring zeer weinig vervormd is. De doormeter 1-9 evenwijdig aan de as der belasting mat aanvankelijk 4,80 m.

Bij een belasting van 240 t was dit 4,680 m, hetzij en vermindering van 2,5 %.

Bij een belasting van 480 t was het 4,580 m, hetzij een vermindering van 4,6 %.

De doormeter 5-13, loodrecht op de as van de belasting, nam toe van 4,800 m tot 4,840 m bij de belasting van 480 t.

De twee krommen a en b van figuur 11 maken een vergelijking mogelijk tussen de verandering van de oorspronkelijke doormeter 1-9 (evenwijdig aan de richting van de belasting) in functie van de belasting in beide proeven : blokken van 153 kg, blokken van 83 kg. De vermindering van doormeter ligt met blokken van 83 kg, 77 % hoger dan bij zware blokken. Dit is een gevolg van het groter aantal voegen met blokken van 83 kg (het aantal voegen ligt in dit geval 72 % hoger).

De twee krommen a en b van figuur 11 hebben een buigpunt rond de 240 t. Bij de zware blokken schijnt het punt met een iets lagere belasting overeen te komen, hetgeen zou kunnen verklaard worden door een kleinere totale dikte van de voegplaten.

Juist omdat de binnenomtrek bij de zware blokken minder vervormd wordt is het zeer moeilijk er op figuur 10 een hoekpunt in te vinden. Bij de belasting van 480 t ziet men er toch een ter hoogte van het meetpunt 15.

*Splijting van de blokken tijdens de proef.*

Wij hebben op figuur 10 de plaats aangeduid van de eerste barsten die in de blokken verschenen zijn voor het breken van de ring.

De eerste verschijnt bij 400 t in blok n° 8 van figuur 10.

Op 460 t barst de blok n° 15 .

Op 480 t treedt een tweede barst op in blok n° 8 en een eerste in de blokken 3, 15 en 37.

Op 520 t springt de ring uiteen (figuur 12) ter hoogte van de blokken 27, 28 en 29 gelegen aan de kant van de belasting in een richting die met die van de last een hoek van 45° maakt. Bij deze belasting komen er verschillende nieuwe scheuren in de blokken 14, 15, 16 en 36.

Figuur 13 geeft bijzonderheden over het breken der blokken 27 tot 30 ; figuur 14 toont hoe een hoek van de blokken 14 en 15 afgesprongen is.

l'épaisseur totale moindre de l'ensemble des intercalaires.

Par suite de la plus petite déformation de l'anneau des claveaux lourds, il est très difficile d'apercevoir un point anguleux dans l'allure de la courbe de l'intrados de la figure 10. A la charge de 480 t, on en aperçoit cependant un à hauteur du point de mesures 15.

#### *Fissuration des claveaux au cours de l'essai.*

Sur la figure 10, nous avons indiqué l'emplacement des premières fissures apparues dans les claveaux avant la rupture de l'anneau.

La première fissure apparaît à 400 t dans le claveau numéroté 8 à la figure 10.

A 460 t, le claveau 15 se fissure.

A 480 t, une seconde fissure apparaît dans le claveau 8 et une première fissure dans les claveaux 3, 15 et 37.

A 520 t, l'anneau éclate (fig. 12) à hauteur des claveaux 27, 28 et 29 situés du côté de la charge dans une direction qui fait un angle de 45° de l'axe de la charge. A cette charge, de nouvelles fissures se sont produites dans les claveaux 14, 15, 16 et 36.

La figure 13 montre le détail de l'éclatement du béton des claveaux 27 à 30, tandis que la figure 14 montre l'éclatement local d'un coin des claveaux 14 et 15.

#### *Charges transmises d'un claveau à l'autre.*

L'écrasement des panneaux intercalaires donne une idée de la charge transmise d'un claveau à l'autre de l'anneau.

Le tableau V donne les tensions de compression maximales transmises à l'intrados d'un claveau à l'autre à différentes charges.

*Belasting door de ene blok op de andere overgebracht.*

De samendrukking van de voegplaten geeft een idee van de krachten die de blokken op elkaar overbrengen.

Tabel V geeft de maximale drukspanningen door de blokken op elkaar uitgeoefend langs de binnentrek bij verschillende belastingen.

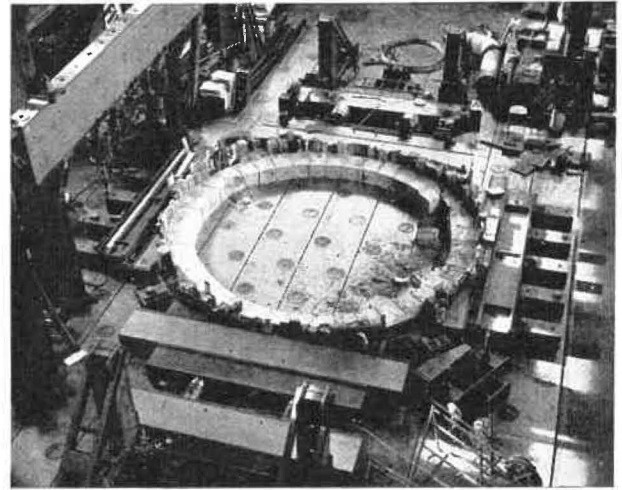


Fig. 12.

Photo de l'anneau, formé de claveaux lourds de 153 kg, après la rupture par éclatement du béton à la charge de 520 t. La charge a été appliquée sur le quart supérieur de l'anneau.

Foto van de ring uit zware blokken van 153 kg na het uitenspringen van het beton bij 520 t. De belasting werd toegepast op het bovenste vierde deel van de ring.



Fig. 13.

Photo montrant le détail de l'éclatement de béton des trois claveaux 27-28 et 29.

Bijzonderheden over het gebarsten beton van de drie blokken 27-28 en 29.



Fig. 14.

Photo montrant l'éclatement d'un coin de l'intrados des claveaux 14 et 15.

Foto over het barsten van een hoek aan de binnentrek der blokken 14 en 15.

TABLEAU V.

*Tensions transmises d'un claveau à l'autre.*

Charge en t	Position de l'intercalaire	Pourcentage à l'écrasement des intercalaires à l'intrados	Pourcentage à l'écrasement des intercalaires à l'extrados	Tension de compression en kg/cm <sup>2</sup>	
				à l'intrados	à l'extrados
200	entre claveaux 15 & 16	40		140	
240	entre claveaux 15 & 16	45		180	
	entre claveaux 25 & 26	30		100	
320	entre claveaux 15 & 16	60		470	
	entre claveaux 25 & 26	40		140	
400	entre claveaux 8 & 9	20	0	75	0
	entre claveaux 34 & 35	50		240	
	entre claveaux 25 & 26		50		240
	entre claveaux 15 & 16	70		800	
	entre claveaux 14 & 15	60		470	
480	entre claveaux 28 & 29	55		325	
	entre claveaux 14 & 15	60 (55)		470	
	entre claveaux 15 & 16	70		800	

TABEL V.

*Door de blokken op elkaar overgebrachte spanningen.*

Belasting in t	Ligging van de voegplaat	Procentuele samendrukking der voegplaten bij de binnenomtrek	Procentuele samendrukking der voegplaten bij de buitenomtrek	Drukspanning in kg/cm <sup>2</sup>	
				bij de binnenomtrek	bij de buitenomtrek
200	tussen blokken 15 & 16	40		140	
240	tussen blokken 15 & 16	45		180	
	tussen blokken 25 & 26	30		100	
320	tussen blokken 15 & 16	60		470	
	tussen blokken 25 & 26	40		140	
400	tussen blokken 8 & 9	20	0	75	0
	tussen blokken 34 & 35	50		240	
	tussen blokken 25 & 26		50		240
	tussen blokken 15 & 16	70		800	
	tussen blokken 14 & 15	60		470	
480	tussen blokken 28 & 29	55		325	
	tussen blokken 14 & 15	60 (55)		470	
	tussen blokken 15 & 16	70		800	

A 320 t, la contrainte maximum à l'intrados atteint déjà 470 kg/cm<sup>2</sup> en un point situé du côté de la charge et suivant un rayon dont la direction fait un angle de 45° avec l'axe de la charge. A 400 t, la contrainte en cet endroit atteint déjà 800 kg/cm<sup>2</sup>, puis n'augmente presque plus.

Il semble qu'à partir de 400 t, la charge se transmet surtout du côté des claveaux 27 et 28, qui éclateront d'ailleurs à la charge de 520 t.

#### Charges reprises par les vérins-dynamomètres.

Le tableau VI donne les réactions reprises par les deux vérins dynamomètres qui mesurent les charges reprises par le quart de l'anneau opposé à celui sur lequel la charge est appliquée.

TABEAU VI.

Charge totale en t	Charges reprises par les vérins-dynamomètres en t	% des charges transmises aux vérins-dynamomètres en %	Différence entre les charges transmises et reprises en t
160	38	23,5	122
240	77	32	163
320	103	32	217
400	79	20	321
480	107	22,5	373

#### 422. Deuxième essai sur claveaux lourds.

Pour le deuxième essai sur un anneau en claveaux, ceux-ci n'étaient âgés que de 17 jours. On peut donc estimer que la résistance du béton de ces claveaux était au moins 20 % plus faible que la résistance du béton des claveaux de 83 kg.

Leur forme était plus régulière que celle des premiers et leur épaisseur variait seulement de 48 à 50 cm, l'épaisseur moyenne était de 49,2 cm.

La charge maximum atteinte avant la rupture de l'anneau par éclatement fut de 392 t.

#### Déformation de l'anneau.

Sur la figure 15, on voit la position occupée par l'intrados de l'anneau aux charges respectives de 240 et 360 t.

La réduction de diamètre parallèle à l'axe de la charge est de 4,5 % à 240 t. Le diamètre perpendiculaire à la direction de l'axe des charges a augmenté de 4,800 à 4,810 m à la même charge.

Op 320 t bereikt de maximum spanning langs de binnenomtrek reeds 470 kg/cm<sup>2</sup> in een punt gelegen aan de kant van de belasting, volgens een straal die met de as van de belasting een hoek van 45° maakt. Op 400 t bereikt de spanning in dit punt reeds 800 kg/cm<sup>2</sup>, om verder bijna niet meer te stijgen.

Men zou zeggen dat de belasting zich van 400 t af vooral schijnt voort te planten langs de blokken 27 en 28 die dan ook bij 520 t zullen stukspringen.

#### Belastingen opgenomen door de dynamometrische vijzels.

Tabel VI geeft de reaktiekrachten opgenomen door de dynamometrische vijzels in het kwart omtrek tegengesteld aan dat waar de belasting wordt aangelegd.

TABEL VI.

Totale belasting in t	Belasting opgenomen door de dynamometrische vijzels in t	% van de belasting overgebracht op de dynamometrische vijzels	Verskil tussen uitgeoefende en overgebrachte belastingen in t
160	38	23,5	122
240	77	32	163
320	103	32	217
400	79	20	321
480	107	22,5	373

#### 422. Tweede proef op zware blokken.

Bij de tweede proef op een volledige ring waren de blokken maar 17 dagen oud. Men mag dus aannemen dat de weerstand van het beton dezer blokken ten minste 20 % lager was dan die van de blokken van 83 kg.

Ze waren regelmatig van vorm dan de eersten en de dikte ging slechts van 48 tot 50 cm, met een gemiddelde van 49,2 cm.

Er werd een maximum belasting van 392 t bereikt vooraleer de ring door uiteenspatten begaf.

#### Vervorming van de ring.

Op figuur 15 ziet men de vorm van de binnenomtrek van de ring respektievelijk bij belastingen van 240 en 360 t.

De doormeter volgens de as van de belasting is met 4,5 % afgenomen bij een belasting van 240 t. Deze dwars op deze richting is bij dezelfde belasting toegenomen van 4,800 m tot 4,810 m.



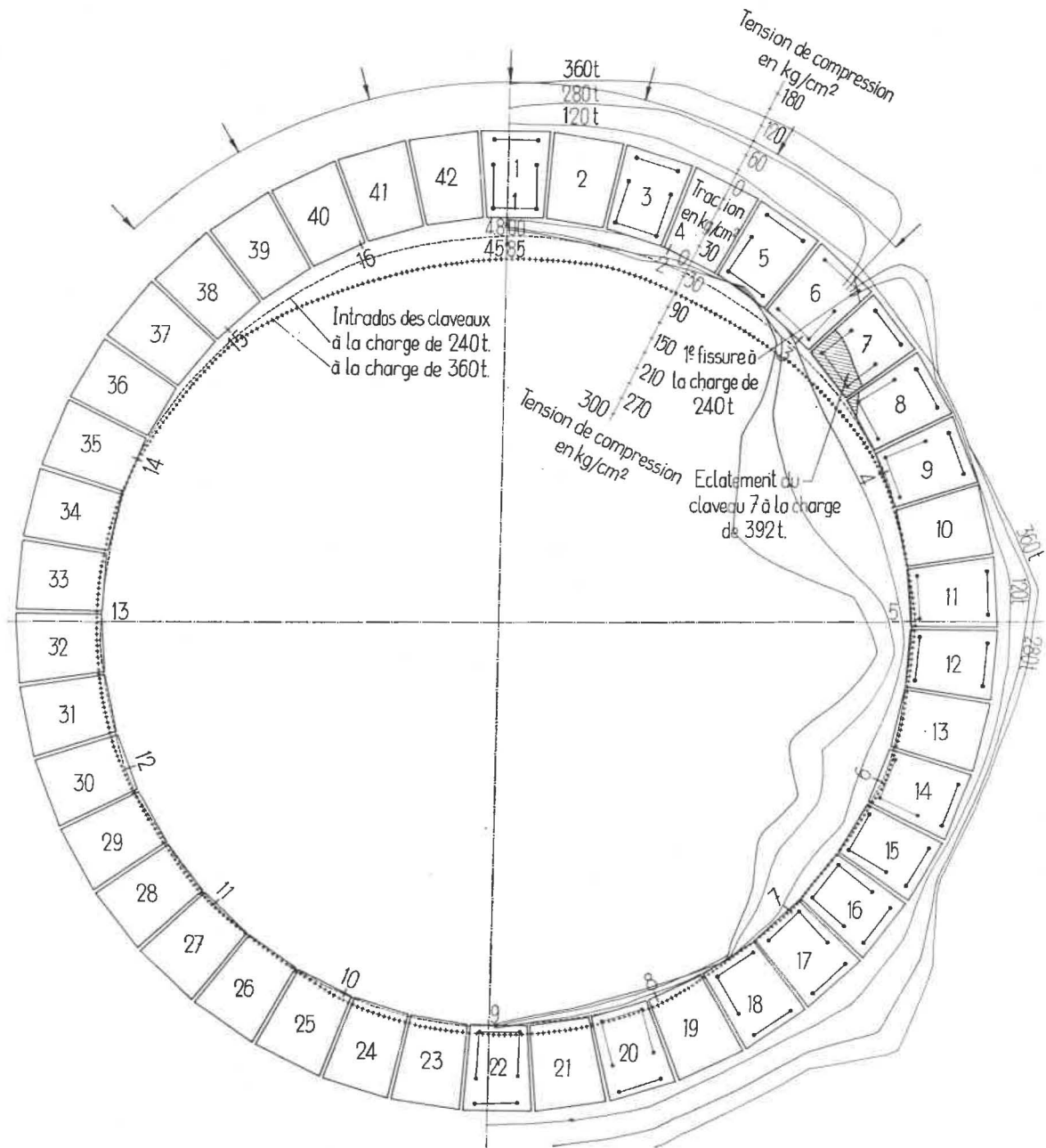


Fig. 15.

Déformation d'un anneau de 4,80 m de diamètre intérieur, constitué de 42 claveaux lourds âgés seulement de 17 jours, montrant la position des extensomètres utilisés pour la détermination des contraintes de traction et de compression, radiales et tangentielles. Les courbes tracées sur la moitié droite de l'anneau donnent les contraintes de compression tangentielles à l'intrados et à l'extrados des claveaux aux charges de 120-280 et 360 t. On constate l'apparition d'une contrainte de traction au claveau 6 à l'extrados et au claveau 5 à l'intrados. La première fissure s'est produite au claveau 6 à la charge de 240 t. La rupture de l'anneau, par éclatement du béton a eu lieu à la charge de 392 t au claveau 7.

Vervorming van een ring met een nuttige doormeter van 4,80 m, bestaande uit 42 zware blokken met een ouderdom van slechts 17 dagen met de stand van de vervormingsmeters voor het bepalen van tangentiële en radiale trek- en drukspanningen. De krommen getrokken op de rechter helft van de ring geven de tangentiële drukspanningen op de binnen- en de buitenomtrek van de blokken bij belastingen van 120-280 en 360 t. Men ziet een trekspanning verschijnen aan de buitenomtrek van blok 6 en aan de binnenomtrek van blok 5. De eerste barst vindt men in blok 6 bij een belasting van 240 t. De ring breekt door het uitspringen van het beton bij een belasting van 392 t aan blok 7.

Intrados des claveaux à la charge de 240 t : Binnenomtrek van de blokken bij een belasting van 240 t — Intrados des claveaux à la charge de 360 t : Binnenomtrek van de blokken bij een belasting van 360 t — Tension de compression en kg/cm² : Drukspanning in kg/cm² — Traction en kg/cm² : Trek in kg/cm² — 1° fissure à la charge de 240 t : 1° barst bij een belasting van 240 t — Eclatement du claveau 7 à la charge de 392 t : Stukspringen van blok n° 7 bij een belasting van 392 t

Les courbes de la figure 11 permettent de comparer les variations du diamètre initial 1-9 (parallèle à la direction de la charge) en fonction de la charge appliquée au cours des 3 essais.

On constate immédiatement que la déformation de l'anneau est beaucoup plus grande dans cet essai que lors de l'essai précédent sur claveaux lourds. La réduction du diamètre dépasse même au début celle obtenue avec les claveaux de 85 kg.

Cette différence doit être attribuée entièrement au fait que les claveaux n'avaient que 17 jours au lieu de 50 jours à l'essai précédent, diminuant ainsi de beaucoup le module d'élasticité du béton.

Dans le premier essai sur claveaux lourds, le périmètre de l'intrados a diminué d'environ 150 mm à la charge de 240 t, tandis qu'il a diminué d'environ 285 mm dans cet essai, soit 135 mm en plus. Dans le cas de l'essai précédent, la plus grande partie de cette diminution doit être attribuée à l'écrasement des intercalaires. La répartition des charges étant la même dans les deux essais, l'écrasement des intercalaires doit être le même à des charges identiques. La différence de 135 mm doit être due à la déformation par compression du béton des claveaux.

#### *Fissuration des claveaux au cours de l'essai.*

A 240 t, une fissure s'est produite à un coin du claveau 6, mais cette fissure doit être attribuée à une concentration locale de charge.

L'anneau a éclaté à 392 t à hauteur du claveau 7 toujours situé du côté de la charge et suivant un rayon faisant un angle de 45° avec l'axe de la charge.

#### *Mesures des tensions dans le béton des claveaux.*

Les tensions dans le béton de quelques claveaux ont été mesurées en de nombreux points à l'aide d'un déformètre Huggenberger. Cet appareil, très précis permet de mesurer à une précision de plusieurs centièmes de millimètre les variations de distance entre deux points de mesures. Ces points de mesure sont constitués par de petits plots métalliques, collés sur le béton à l'aide d'araldite et pourvus d'un petit trou central dans lequel s'adapte une des deux pointes de l'appareil de mesure. Les deux plots sont collés à une distance de 25,4 cm l'un de l'autre.

Les 52 distances à mesurer régulièrement et réparties sur 17 claveaux sont indiquées sur la figure 15.

Les mesures de déformation ont été faites dans les directions suivantes :

a) dans une direction tangentielle à 5 cm du bord extrados des claveaux ;

Op de krommen van figuur 11 kan men zien hoe de oorspronkelijke doormeter 1-9 (evenwijdig aan de richting van de belasting) verandert in functie van de belasting in de loop van de drie proeven.

Men bemerkt onmiddellijk dat de vervorming van de ring bij deze proef veel groter is dan bij de voorgaande proef op zware blokken. In het begin bedraagt de vermindering van doormeter zelfs meer dan bij de blokken van 85 kg.

De reden van dit verschil ligt enkel in het feit dat de blokken op het ogenblik van de proef slechts 17 dagen oud waren tegen 50 in de vorige proef, bijgevolg een veel kleinere elasticiteitsmodulus hadden.

Bij de eerste proef op zware blokken verminderde de binnendoormeter ongeveer met 150 mm bij 240 t, bij deze proef ongeveer met 285 mm, hetzij een verschil van 135 mm. Bij de vorige proef was de vermindering van doormeter voor het grootste gedeelte te wijten aan de samendrukking van de voegplaten. Aangezien de verdeling der belasting in beide gevallen dezelfde was moet ook de samendrukking der voegplaten dezelfde geweest zijn, zodat het verschil van 135 mm moet toegeschreven worden aan samendrukking van de blokken.

#### *Het splijten van de blokken tijdens de proef.*

Op 240 t is er een spleet ontstaan in een hoek van blok 6, spleet die nochtans moet toegeschreven worden aan een plaatselijke concentratie van krachten.

De ring is bij 392 t uiteengesprongen ter hoogte van blok 7 die dus weer ligt aan de zijde van de belasting en op een hoek van 45° met de as daarvan.

#### *Meting van de spanningen in het beton.*

In enkele blokken werden de spanningen in het beton op verschillende punten gemeten door middel van de vervormingsmeter Huggenberger. Dit toestel is zeer precies en meet met een nauwkeurigheid van enkele honderdsten millimeter de verandering van de afstand tussen twee punten. Deze laatste zijn niets anders dan metalen blokjes die door middel van araldiet op het beton worden geplakt en in het midden een gaatje vertonen waarin een der twee punten van het meetapparaat wordt geplaatst. De twee blokjes staan op een onderlinge afstand van 25,4 cm.

De 52 afstanden die regelmatig gemeten worden en over 17 blokken zijn verdeeld, worden voorgesteld op figuur 15.

De vervorming werd gemeten in de volgende richtingen :

a) tangentieel op 5 cm van de buitenomtrek der blokken ;

TABLEAU VII. — Contraintes mesurées dans la direction tangentielle à 5 cm de l'extrados.

Charges en tonnes	Contraintes en kg/cm <sup>2</sup>															
	Claveau n°															
	1	3	5	6	7	8	9	11	12	14	15	16	17	18	20	22
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	3	3	+ 6	+ 3	+ 6	0	6	6	3	3	15	15	9	12	6
80	9	15	0	+ 18	3	+ 9	0	6	3	3	6	18	24	15	18	12
120	12	27	12	18	9	+ 9	3	24	21	9	6	36	48	24	27	24
160	15	33	15	24	18	+ 21	12	33	21	12	6	45	60	27	30	33
200	21	51	36	33	42	+ 12	6	39	36	15	15	60	84	42	45	48
240	27	66	54	+ 102	45	3	6	48	42	21	21	63	99	54	60	60
			(f)													
280	39	81	78	—	57	3	9	60	42	21	24	78	114	63	69	72
320	78	120	126	—	75	+ 9	6	66	54	24	27	105	150	81	96	105
360	81	132	138	—	81	+ 9	9	75	57	24	27	105	162	90	102	114
Après rupture	33	54	66	—	12	12	33	48	27	15	12	51	87	39	51	69

(f) Apparition d'une fissure dans la zone de mesure.

TABLEAU VIII. — Contraintes mesurées dans la direction tangentielle à 5 cm de l'intrados.

Charges en tonnes	Contraintes en kg/cm <sup>2</sup>															
	Claveau n°															
	1	3	5	6	7	8	9	11	12	14	15	16	17	18	20	22
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	— 3	0	0	3	6	6	3	9	0	9	3	3	3	0
80	+ 3	0	+ 3	0	15	24	24	9	3	9	3	15	6	3	3	+ 3
120	3	0	+ 3	0	36	48	42	21	9	33	18	30	3	0	3	+ 3
160	6	9	+ 3	0	54	66	63	24	9	48	30	39	9	+ 9	3	+ 6
200	9	18	+ 9	9	78	105	96	48	18	75	51	60	30	+ 3	12	+ 3
240	12	18	+ 6	9	96	129	126	48	21	90	60	69	33	+ 3	18	0
280	15	27	+ 6	18	117	156	156	57	24	111	75	84	45	0	21	0
320	24	39	0	27	168	234	252	87	48	153	108	120	66	3	24	3
360	21	36	+ 6	30	183	249	282	99	57	168	114	126	69	3	18	3
Après rupture	12	18	+ 9	+ 6	—	—	60	9	0	63	45	78	57	+ 6	12	+ 3

TABEL VII. — Spanningen volgens tangentiële metingen op 5 cm van de buitenomtrek.

Belasting in t	Spanningen in kg/cm <sup>2</sup>															
	Blok n <sup>r</sup>															
	1	3	5	6	7	8	9	11	12	14	15	16	17	18	20	22
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	3	3	+ 6	+ 3	+ 6	0	6	6	3	3	15	15	9	12	6
80	9	15	0	+ 18	3	+ 9	0	6	3	3	6	18	24	15	18	12
120	12	27	12	18	9	+ 9	3	24	21	9	6	36	48	24	27	24
160	15	33	15	24	18	+ 21	12	33	21	12	6	45	60	27	30	33
200	21	51	36	33	42	+ 12	6	39	36	15	15	60	84	42	45	48
240	27	66	54	+ 102	45	3	6	48	42	21	21	63	99	54	60	60
				(f)												
280	39	81	78	—	57	3	9	60	42	21	24	78	114	63	69	72
320	78	120	126	—	75	+ 9	6	66	54	24	27	105	150	81	96	105
360	81	132	138	—	81	+ 9	9	75	57	24	27	105	162	90	102	114
Na breuk	33	54	66	—	12	12	33	48	27	15	12	51	87	39	51	69

(f) Er is een barst in de meetzone gekomen.

TABEL VIII. — Spanningen volgens tangentiële metingen op 5 cm van de binnenomtrek.

Belasting in t	Spanningen in kg/cm <sup>2</sup>															
	Blok n <sup>r</sup>															
	1	3	5	6	7	8	9	11	12	14	15	16	17	18	20	22
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	— 3	0	0	3	6	6	3	9	0	9	3	3	3	0
80	+ 3	0	+ 3	0	15	24	24	9	3	9	3	15	6	3	3	+ 3
120	3	0	+ 3	0	36	48	42	21	9	3	18	30	3	3	3	+ 3
160	6	9	+ 3	0	54	66	63	24	9	48	30	39	9	+ 9	3	+ 6
200	9	18	+ 9	9	78	105	96	48	18	75	51	60	30	+ 3	12	+ 3
240	12	18	+ 6	9	96	129	126	48	21	90	60	69	33	+ 3	18	0
280	15	27	+ 6	18	117	156	156	57	24	111	75	84	45	0	21	0
320	24	39	0	27	168	234	252	87	48	153	108	120	66	3	24	3
360	21	36	+ 6	30	183	249	282	99	57	168	114	126	69	3	18	3
Na breuk	12	18	+ 9	+ 6	—	—	60	9	0	63	45	78	57	+ 6	12	+ 3



- b) dans une direction tangentielle à 5 cm du bord intrados des claveaux ;
- c) dans des directions radiales à proximité des bords droit et gauche des claveaux.

a) *Contraintes tangentielles dans les claveaux.*

Les tableaux VII et VIII donnent les mesures des contraintes tangentielles à 5 cm du bord de l'intrados et à 5 cm du bord de l'extrados pour plusieurs claveaux. Pour ne pas charger les tableaux, les contraintes de traction ont été précédées du signe +.

Pour connaître les tensions correspondantes, il faut déterminer le module d'élasticité du béton.

Le tableau IX donne le module d'élasticité E du béton des claveaux en fonction de la charge. Cette détermination a été faite sur un cylindre de 200 cm<sup>2</sup> de section et 30 cm de hauteur extrait au milieu d'un claveau.

Cet essai a été fait plusieurs jours après l'essai, de sorte qu'en réalité le module d'élasticité E du béton lors des essais ne devait pas être supérieur à 300.000 kg/cm<sup>2</sup>.

La figure 15 indique les variations des tensions dans le béton des claveaux pour les charges de 120, 280 et 360 t d'après les mesures tangentielles faites à 5 cm de l'intrados et de l'extrados (nous avons supposé le module d'élasticité égal à 300.000 kg/cm<sup>2</sup>).

TABLEAU IX.

*Détermination du module d'élasticité E du béton des claveaux.*

Charge en kg/cm <sup>2</sup>	Déformation exprimée en 10 <sup>-5</sup>	Module d'élasticité E en kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0
25	6,50	385.000
50	13,50	371.000
75	20,50	366.000
100	28,00	357.000
125	35,50	352.000
150	42,50	352.000
175	50,00	350.000
200	57,00	351.000
225	64,50	350.000
250	72,00	347.000
275	80,00	344.000
300	89,00	337.000
325	97,50	333.000
350	107,00	327.000
375	120,00	313.000
400	135,00	297.000

- b) tangentieel op 5 cm van de binnenomtrek der blokken ;
- c) radiaal nabij de linker en rechter zijde der blokken.

a) *Tangentiële spanningen in de blokken.*

De tabellen VII en VIII geven de tangentiële spanningen op 5 cm van de binnenomtrek en op 5 cm van de buitenomtrek in verschillende blokken. Om de tabel te ontlasten werden de trekspanningen voorzien van het teken +.

Om de eenheidspanningen te kunnen berekenen moet men de elasticiteitsmodulus van het beton kennen.

Tabel IX geeft de elasticiteitsmodulus van het beton in functie van de belasting. Men heeft voor de bepaling ervan gebruik gemaakt van een cylinder met een sectie van 200 cm<sup>2</sup> en een hoogte van 30 cm, genomen uit het midden van een blok.

Deze laatste proef werd verschillende dagen na de eerste uitgevoerd, zodat de elasticiteitsmodulus van het beton tijdens de eigenlijke proeven zeker niet hoger lag dan 300.000 kg/cm<sup>2</sup>.

Figuur 15 geeft de verandering der spanningen in het beton der blokken bij een belasting van 120, 280 en 360 t volgens de metingen tangentieel uitgevoerd op 5 cm van de binnen- en de buitenomtrek (wij hebben een elasticiteitsmodulus van 300.000 kg/cm<sup>2</sup> verondersteld).

TABEL IX.

*Bepaling van de elasticiteitsmodulus E van het beton der blokken.*

Belasting in kg/cm <sup>2</sup>	Vervorming uitgedrukt in 10 <sup>-5</sup>	Elasticiteitsmodulus in kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0
25	6,50	385.000
50	13,50	371.000
75	20,50	366.000
100	28,00	357.000
125	35,50	352.000
150	42,50	352.000
175	50,00	350.000
200	57,00	351.000
225	64,50	350.000
250	72,00	347.000
275	80,00	344.000
300	89,00	337.000
325	97,50	333.000
350	107,00	327.000
375	120,00	313.000
400	135,00	297.000

On constate que les tensions de compression augmentent fortement dans la zone située du côté de la charge dans une direction située à 45° de l'axe de la charge.

Le tableau X permet de comparer les tensions de compression moyenne et maximale à l'intrados et à l'extrados à différentes charges.

TABLEAU X.

Tensions de compression mesurées à l'intrados et à l'extrados.

Charge en t	Tension moyenne en kg/cm <sup>2</sup>		Tension maximale en kg/cm <sup>2</sup>	
	intrados	extrados	intrados	extrados
40	3	4,8	9	15
80	6,6	6,6	24	24
120	15	18	48	42
160	21	23	66	60
200	37	36	105	84
240	45	45	120	99
280	57	54	156	114
320	84	75	252	150
360	91	81	282	162

On constate que, si les tensions moyennes sont à peu près les mêmes à l'intrados et à l'extrados, par contre les tensions maximales sont beaucoup plus fortes à l'intrados qu'à l'extrados.

Il est certain que les tensions à l'extrados et l'intrados proprement dit sont encore plus grandes que celles données par la mesure à 5 cm du bord.

On voit dans le tableau VII que l'apparition d'une fissure dans le claveau 6 à la charge de 240 t s'accompagne d'une tension de traction de 102 kg/cm<sup>2</sup>, qui est à peu près la limite de rupture du béton à la traction.

La connaissance des déformations à l'intrados et à l'extrados permet de déterminer la déformation moyenne et la contrainte moyenne de béton des claveaux et, par le fait même, la charge totale transmise d'un claveau à l'autre, comme l'indique le tableau XI.

Les contraintes les plus élevées se trouvent dans la direction faisant un angle de 45° avec l'axe de la charge appliquée, soit les claveaux numérotés 7 à 9, 16 et 17.

On constate une très grande augmentation des charges transmises d'un claveau à l'autre, entre la charge de 280 t et de 320 t, ceci est dû probablement à une très grande diminution du module E, de sorte que les tensions exprimées ont été forcées.

Men ziet dat de drukspanningen sterk toenemen in de zone gelegen nabij de belasting en in een richting die met die van de as der belasting een hoek maakt van 45°.

In tabel X vindt men het nodige voor een vergelijking tussen de gemiddelde en maximum drukspanningen op binnen- en buitenomtrek bij verschillende belastingen.

TABEL X.

Drukspanningen gemeten op binnen- en buitenomtrek.

Belasting in t	Gemiddelde spanning in kg/cm <sup>2</sup>		Maximum spanning in kg/cm <sup>2</sup>	
	binnenomtrek	buitenomtrek	binnenomtrek	buitenomtrek
40	3	4,8	9	15
80	6,6	6,6	24	24
120	15	18	48	42
160	21	23	66	60
200	37	36	105	84
240	45	45	120	99
280	57	54	156	114
320	84	75	252	150
360	91	81	282	162

Men bemerkt hierin dat de gemiddelde spanningen op binnen- en buitenomtrek dezelfde zijn, doch dat de maximum spanningen veel groter zijn op de binnenomtrek dan op de buitenomtrek.

Het staat vast dat de spanningen op de omtrek zelf nog groter zijn dan die welke op 5 cm van de rand gemeten worden.

Uit tabel VII blijkt dat de spleet in blok 6 te voorschijn komt bij 240 t hetzij een spanning van 102 kg/cm<sup>2</sup>, 't is te zeggen ongeveer de breukbelasting van beton op trek.

Enmaal dat men de vervorming kent op de binnen- en de buitenomtrek kan men de gemiddelde vervorming en de gemiddelde spanning van het beton der blokken, en bijgevolg ook de totale kracht die een blok op een andere uitoefent, berekenen, zoals blijkt uit tabel XI.

De hoogste spanningen liggen in een richting die met de as van de belasting een hoek maakt van 45°, dus in de blokken genummerd 7 tot 9, 16 en 17.

Men bemerkt dat de belastingen door de blokken op elkaar uitgeoefend buitengewoon stijgen tussen de belastingen 280 t en 320 t; dit verschijnsel is waarschijnlijk te wijten aan een drastische vermindering van de elasticiteitsmodulus; de berekende spanningen zouden dus te hoog liggen.

TABLEAU XI.

Tensions moyennes et charges moyennes des contraintes transmises d'un claveau à l'autre.

Claveau n°	Tension de compression moyenne en kg/cm <sup>2</sup>			Charge transmise d'un claveau à l'autre en t		
	Charge appliquée en t			Charge appliquée en t		
	120	280	320	120	280	320
1	7,5	27	51	12,1	44	83
3	13,5	54	84	22	88	136
5	4,5	36	66	7	58	107
6	9	—	—	14	—	—
7	22,5	87	132	37	140	215
8	19,5	80	120	32	129	195
9	22,5	83	147	37	134	238
11	22,5	60	87	37	97	140
12	15	33	57	24	54	93
14	21	66	96	34	107	153
15	12	51	72	19	83	116
16	33	81	117	53	131	190
17	22,5	81	117	37	131	190
18	12	30	48	19	49	78
20	15	45	60	24	73	97
22	9	36	60	14	58	97

TABEL XI.

Gemiddelde spanningen en gemiddelde belastingen overgebracht door de blokken op elkander.

Blok n°	Gemiddelde drukspanning in kg/cm <sup>2</sup>			Gemiddelde belasting in t, overgebracht door de blokken op elkander		
	Toegepaste belasting in t			Toegepaste belasting in t		
	120	280	320	120	280	320
1	7,5	27	51	12,1	44	83
3	13,5	54	84	22	88	136
5	4,5	36	66	7	58	107
6	9	—	—	14	—	—
7	22,5	87	132	37	140	215
8	19,5	80	120	32	129	195
9	22,5	83	147	37	134	238
11	22,5	60	87	37	97	140
12	15	33	57	24	54	93
14	21	66	96	34	107	153
15	12	51	72	19	83	116
16	33	81	117	53	131	190
17	22,5	81	117	37	131	190
18	12	30	48	19	49	78
20	15	45	60	24	73	97
22	9	36	60	14	58	97

b) Contraintes radiales dans les claveaux.

Le tableau XII donne la mesure des contraintes radiales mesurées au moyen du déformètre Huggenberger.

b) Radiale spanningen in de blokken.

Tabel XII geeft de uitslagen van de meting der radiale spanningen in de blokken door middel van de vervormingsmeter van Huggenberger.

TABLEAU XII. — Contraintes mesurées dans des directions radiales à proximité des bords gauche ou droit.

Charges en tonnes	Contraintes en kg/cm <sup>2</sup>																			
	N <sup>o</sup> du claveau et côté des mesures																			
	1 G	1 D	3 G	3 D	5 G	6 D	7 G	7 D	8 G	9 G	14 G	15 D	16 G	16 D	17 G	18 D	20 G	20 D	22 G	22 D
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	-6	-3	-6	-6	-3	-6	-3	0	+3	-6	-3	-3	-9	-3	-9	-3	-9	-3	+3	0
80	-6	-3	-6	-3	0	-6	+3	-6	+6	-3	-6	-15	-6	-6	-6	-6	-12	+3	0	0
120	+3	+3	0	0	+9	+3	+3	+6	+9	-3	-6	-12	+3	-9	-6	-6	-12	+3	+3	+3
160	+6	0	+6	+6	+3	+3	+9	+6	+9	+6	-3	-3	+6	-9	-3	-6	-9	+3	+3	+3
200	+3	-3	+3	+12	+6	0	+12	+6	+9	0	+3	0	+3	-9	-3	-6	-6	+6	+6	+6
240	+6	-3	+6	+12	+3	0	+15	0	+6	-15	-3	-3	+9	-6	0	+3	12	+3	+6	+6
280	0	+3	+6	+12	+6	-3	+18	+9	+9	-9	+6	+6	+9	-9	+6	0	15	+3	+6	+6
320	+6	0	+12	+15	+15	-6	+24	+27	+15	-9	+6	+9	+16	-12	+3	+3	-9	+6	+9	+9
360	+6	+6	+4	+21	+18	0	+69	+27	+18	-6	+9	+15	+21	-6	+9	+6	-3	+12	+12	+12
Après rupture	+3	+3	+12	+18	+15	+15	-	-	+9	-6	+3	+12	+6	-9	+3	+6	-12	+6	+9	+9

pas de lectures possibles  
mauvais scellement

TABEL XII. — Spanningen gemeten volgens de straal nabij de rechter en linker boord.

Belasting in t	Spanningen in kg/cm <sup>2</sup>																			
	N <sup>o</sup> van het blok en kant van de meting																			
	1 L	1 R	3 L	3 R	5 L	6 R	7 L	7 R	8 L	9 L	14 L	15 R	16 L	16 R	17 L	18 R	20 L	20 R	22 L	22 R
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	-6	-3	-6	-6	-3	-6	-3	0	+3	-6	-3	-3	-9	-3	-9	-3	-9	-3	+3	0
80	-6	-3	-6	-3	0	-6	+3	-6	+6	-3	-6	-15	-6	-6	-6	-6	-12	+3	0	0
120	+3	+3	0	0	+9	+3	+3	+6	+9	-3	-6	-12	+3	-9	-6	-6	-12	+3	+3	+3
160	+6	0	+6	+6	+3	+3	+9	+6	+9	+6	-3	-3	+6	-9	-3	-6	-9	+3	+3	+3
200	+3	-3	+3	+12	+6	0	+12	+6	+9	0	+3	0	+3	-9	-3	-6	-6	+6	+6	+6
240	+6	-3	+6	+12	+3	0	+15	0	+6	-15	-3	-3	+9	-6	0	+3	12	+3	+6	+6
280	0	+3	+6	+12	+6	-3	+18	+9	+9	-9	+6	+6	+9	-9	+6	0	15	+3	+6	+6
320	+6	0	+12	+15	+15	-6	+24	+27	+15	-9	+6	+9	+16	-12	+3	+3	-9	+6	+9	+9
360	+6	+6	+4	+21	+18	0	+69	+27	+18	-6	+9	+15	+21	-6	+9	+6	-3	+12	+12	+12
Na de breuk	+3	+3	+12	+18	+15	+15	-	-	+9	-6	+3	+12	+6	-9	+3	+6	-12	+6	+9	+9

aflezing onmogelijk wegens  
slechte bevestiging



On constate que les tensions radiales moyennes, qui étaient de compression au début, deviennent des contraintes de traction lorsque la charge a dépassé 160 t.

Le tableau XIII donne la valeur moyenne et maximale des tensions aux différentes charges.

TABLEAU XIII.

Tensions radiales de traction ou de compression.

Charge en t	Tensions moyennes en kg/cm <sup>2</sup>		Tensions extrêmes en kg/cm <sup>2</sup>	
	de compression	de traction	de compression	de traction
40	4,2		9	3
80	4,2		15	6
120	0,5		12	9
160	0,8		9	9
200		2,2	15	12
240		1,5	15	15
280		3,3	12	18
320		6,9	6	27
360		7,8		69

La tension de traction maximale a été mesurée dans le claveau 7 qui a éclaté à la charge de 392 t.

On constate ainsi que les tractions prédominent dans les claveaux 1, 3, 5, 7, 8, 9, 16 et 22, tandis que dans les claveaux 17, 18 et 20 les tensions radiales sont généralement des tensions de compression.

c) Tensions développées dans le claveau numéroté 7.

Le claveau 7 ayant éclaté à la charge de 392 t, nous avons représenté à la figure 16 les variations des tensions tangentielles et radiales en fonction de la charge.

Les tensions tangentielles de compression entraînent un allongement dans le sens transversal, ce qui provoque des tensions de traction radiales.

On constate cependant sur la figure 16 que, lorsque la charge augmente de 320 à 360 t, les tensions de traction radiales augmentent beaucoup plus rapidement que les tensions de compression tangentielles tant à l'intrados qu'à l'extrados.

A cette charge de 360 t, la tension de traction mesurée était de 69 kg/cm<sup>2</sup>, tandis que la tension de compression mesurée à l'intrados était de 183 kg/cm<sup>2</sup>.

La première fissure dans le claveau est due à la traction, puis le demi-claveau situé du côté intrados a éclaté par compression à la charge de 392 t.

De gemiddelde radiale spanningen zijn aanvankelijk drukspanningen, doch worden trekspanningen van een belasting van 160 t af.

Tabel XIII geeft de gemiddelde en maximum spanningen bij verschillende belastingen.

TABEL XIII.

Radiale trek- of drukspanningen.

Belasting in t	Gemiddelde spanningen in kg/cm <sup>2</sup>		Uiterste spanningen in kg/cm <sup>2</sup>	
	druk	trek	druk	trek
40	4,2		9	3
80	4,2		15	6
120	0,5		12	9
160	0,8		9	9
200		2,2	15	12
240		1,5	15	15
280		3,3	12	18
320		6,9	6	27
360		7,8		69

De maximum trekspanning werd gemeten in de blok 7 die gesprongen is bij 392 t.

Men ziet dat de blokken n<sup>o</sup> 1, 3, 5, 7, 8, 9, 16 en 22 vooral trek ondergaan, terwijl in de blokken 17, 18 en 20 vooral radiale drukspanningen heersen.

c) Spanningen in blok n<sup>o</sup> 7.

Vermits blok n<sup>o</sup> 7 uiteengesprongen is bij 392 t hebben wij in figuur 16 de veranderingen van de tangentiële en radiale spanningen in functie van de belasting voorgesteld.

De tangentiële drukspanningen veroorzaken een verlenging in de dwarsrichting, hetgeen neerkomt op radiale trekspanningen.

Nochtans ziet men op figuur 16 dat de radiale trekspanningen bij een belastingstoename van 320 tot 360 t veel sneller toenemen dan de tangentiële drukspanningen zowel op de binnen- als op de buitenomtrek.

Bij deze belasting van 360 t werd een trekspanning van 69 kg/cm<sup>2</sup> gemeten terwijl de drukspanning op de binnenomtrek 183 kg/cm<sup>2</sup> bedroeg.

De eerste scheur in de blok wordt door trek veroorzaakt; nadien is de binnenste halve blok gebarsten onder een belasting van 392 t.

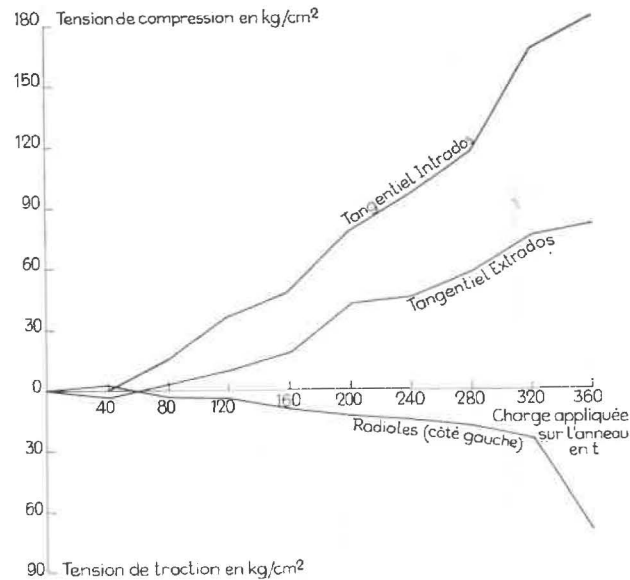


Fig. 16.

Courbes donnant les tensions de compression et de traction, radiales et tangentielles mesurées au claveau 7. On constate que les contraintes de traction augmentent rapidement à partir d'une charge de 320 t. Ce claveau a éclaté à la charge de 392 t.

Krommen van tangentiële en radiale trek- en drukspanningen gemeten op blok 7. Men ziet dat de trekspanningen snel stijgen van een belasting van 320 t af. Deze blok is uiteengesprongen bij een belasting van 392 t.

Tension de compression en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  : Drukspanning in  $\text{kg}/\text{cm}^2$  — Tangentiel intrados : Tangentiel binnenomtrek — Tangentiel extrados : Tangentiel buitenomtrek — Charge appliquée sur l'anneau en t : Belasting op de ring in t — Radiales (côté gauche) : Radiaal (links) — Tension de traction en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  : Trekspanning in  $\text{kg}/\text{cm}^2$

#### Charges reprises par les vérins dynamométriques.

Le tableau XIV donne les réactions reprises par les deux vérins-dynamomètres qui mesurent les charges reprises par le quart de l'anneau opposé à celui sur lequel la charge est appliquée.

TABLEAU XIV.

Charge totale en t	Charge reprise par les vérins-dynamomètres en t	% de charge transmise aux vérins-dynamomètres en %	Différence entre les charges transmises et reprises en t
40	16	40	24
80	28	35	45
120	44	37	76
160	64	40	96
200	60	30	140
240	80	34	160
280	104	37	176
320	130	41	190
360	152	42	208

#### Belasting opgenomen door de dynamometrische vijzels.

Tabel XIV geeft de reacties van de twee dynamometrische vijzels die de belasting meten welke opgenomen wordt door het kwart ring tegenover datgene waarop de belasting wordt toegepast.

TABEL XIV.

Totale belasting in t	Belasting opgenomen door de dynamometrische vijzels in t	% van de belasting overgebracht op de dynamometrische vijzels	Verskil tussen de overgebrachte en de opgenomen belasting
40	16	40	24
80	28	35	45
120	44	37	76
160	64	40	96
200	60	30	140
240	80	34	160
280	104	37	176
320	130	41	190
360	152	42	208

## 5. CONCLUSIONS

De l'ensemble des essais effectués, il résulte que la résistance d'un anneau constitué de claveaux de 153 kg n'est pas inférieure à celle d'un anneau constitué de claveaux de 83 kg.

Au point de vue de la résistance aux pressions de terrain, rien n'empêche donc d'utiliser des claveaux lourds.

Au moment du creusement des premiers boueaux à claveaux vers les années 1930, la manutention et la pose de ces lourdes pièces s'effectuaient manuellement, ce qui en limitait nécessairement le poids.

Mais actuellement, grâce aux procédés mécaniques mis au point par les divers charbonnages belges, il n'y a plus aucune difficulté à manipuler aussi aisément et aussi rapidement les claveaux de 153 kg que ceux de 83 kg.

Cette augmentation de poids des claveaux entraîne une diminution du nombre de pièces à placer par passe. Celui-ci est ainsi réduit de 216 à 126 unités par mètre de boueaux. Ce fait a pour conséquence de réduire le temps de pose des claveaux et d'améliorer encore la vitesse de creusement des boueaux.

L'augmentation du poids des claveaux amène aussi une diminution du coût du revêtement en réduisant le nombre de panneaux intercalaires. Ces panneaux coûtent plus cher que le béton. Comme le prix d'un m<sup>3</sup> d'intercalaires est de 2.000 F tandis que le prix du béton revient à 700 F/m<sup>3</sup>, l'économie réalisée serait d'environ 420.000 F par kilomètre de boueaux.

Pour réduire au minimum les frais entraînés par les modifications à apporter au matériel de fabrication des claveaux en service à l'usine « Het Kempisch Beton », il fallait maintenir les dimensions extérieures des moules actuels. Ceux-ci sont construits pour mouler 6 claveaux de 83 kg, soit un poids total en béton de 498 kg. En fonction du désir de maintenir les mêmes largeur et épaisseur aux claveaux en ne changeant que leur hauteur, il a été possible de réaliser un nouveau moule d'un même gabarit extérieur, permettant de traiter 4 claveaux de 153 kg, soit un poids total en béton de 612 kg. Sans augmenter les frais de main-d'œuvre, le choix d'un nouveau type de claveaux lourds aurait donc permis d'augmenter de 20 % le volume horaire de béton traité et de diminuer ainsi le prix de revient du revêtement en béton.

On constate donc que l'on a tout intérêt à augmenter le poids des claveaux en béton utilisés pour le soutènement des boueaux circulaires.

Il importe de rappeler ici la très haute résistance offerte par un tel revêtement qui permet de supporter des charges dépassant 1.500 t par mètre de voie quand les sollicitations sont analogues à celles réalisées en laboratoire et qui sont cependant déjà très sévères.

## 5. BESLUIT

Het geheel der proeven wijst uit dat de weerstand van een ring bestaande uit blokken van 153 kg niet lager ligt dan die van een ring bestaande uit blokken van 83 kg.

Wat de weerstand tegen terreindrukkingen betreft bestaat er bijgevolg geen bezwaar tegen het gebruik van zware blokken.

Toen men in 1930 begon met het maken van de eerste steengangen in blokken, werden deze zware voorwerpen met de hand verplaatst, zodat men gedwongen was hun gewicht te beperken.

Op dit ogenblik hebben de verschillende Belgische mijnen zich mekanisch uitgerust, zodat een blok van 153 kg even snel en gemakkelijk verplaatst wordt als een van 83 kg.

Het groter gewicht van de blokken leidt tot een kleiner aantal blokken per pas. Per meter steengang valt het aantal van 216 op 126 eenheden. Het plaatsen van de blokken gaat dus vlugger en de vooruitgangssnelheid van het steengangfront neemt toe.

De zwaardere blokken leveren ook een goedkopere ondersteuning vermits er minder voegplaten moeten gebruik worden. Deze platen kosten meer dan het beton. Ze kosten 2.000 F per m<sup>3</sup>, en het beton slechts 700 F/m<sup>3</sup>; per kilometer steengang spaart men bijgevolg ongeveer 420.000 F.

Om de transformatiekosten van het materiaal der fabriek « Het Kempisch Beton » tot een minimum te beperken, moest men de uiterlijke afmetingen van de thans gebruikte vormen behouden. In deze vormen giet men nu zes blokken van 83 kg hetzij in totaal 498 kg. Uitgaande van de bedoeling lengte en breedte van de blok ongewijzigd te laten en enkel de hoogte te veranderen is men er in geslaagd een nieuwe vorm te ontwerpen met dezelfde buitenafmetingen, waarin vier blokken van 153 kg met een totaal gewicht in beton van 612 kg kunnen gegoten worden. Men zou dus met hetzelfde personeel dank zij de zware blokken per uur 20 % meer beton vervaardigen en derhalve de kostprijs van de betonnen ondersteuning verlagen.

Men heeft er dus alle voordeel bij zwaardere blokken te gebruiken voor de ondersteuning der cirkelvormige steengangen.

Er weze aan herinnerd dat een soortgelijke ondersteuning een zeer hoge weerstand biedt en bestand is tegen lasten van meer dan 1.500 t per strekkende meter; dit is inderdaad de belasting die overeenkomt met dat wat in het laboratorium werd toegepast en dat als zeer zwaar kan beschouwd worden.

Les mesures de contraintes effectuées indiquent que la fissuration des claveaux est due à des contraintes de traction. C'est grâce à l'utilisation de graviers concassés que cette résistance à la traction est élevée. La fissuration des claveaux se produirait certainement à des charges beaucoup plus faibles si l'on remplaçait les graviers concassés par des graviers roulés.

Nous tenons à remercier M. GERAIN, Directeur, et M. LEENDERS, Ingénieur à la S.A. « Het Kempisch Beton » qui ont mis à notre disposition les claveaux en béton essayés et qui ont suivi de près tous nos essais.

Het meten der spanningen leidt tot het besluit dat het barsten der blokken te wijten is aan trek. Men kan de trekweerstand verhogen door gebruik te maken van gebroken kiezel. Indien men in plaats van gebroken kiezel ronde kiezelstenen zou gebruiken, zouden de blokken zonder twijfel voor een veel kleinere belasting splijten.

Wij betuigen onze levendigste dank aan de Heer GERAIN, Directeur en aan de Heer LEENDERS, Ingenieur bij de N.V. Het Kempisch Beton te Genk die de beproefde betonblokken ter onze beschikking gesteld hebben en die onze proeven van nabij gevolgd hebben.

---