

# Essai d'un soutènement trapézoïdal « Flexomatic » au Charbonnage de Limbourg-Meuse

par H. van DUYSE,  
Ingénieur Principal à INICHAR.

## RESUME

Des essais ont été entrepris dans une même voie de chantier au charbonnage de Limbourg-Meuse, en vue de comparer les cadres trapézoïdaux Flexomatic aux cadres coulissants Toussaint-Heintzmann.

Le principe du coulisement des montants des cadres trapézoïdaux Flexomatic est basé sur l'utilisation du travail de déformation de deux bandes d'acier fixées dans une serrure spéciale mobile sur laquelle repose le montant.

L'effort nécessaire pour déformer les deux bandes d'acier dans la serrure est constant et dépend de l'épaisseur et de la largeur des bandes, de la résistance de l'acier à la flexion et des caractéristiques de la serrure. Dans le cas du type essayé à Limbourg-Meuse, l'effort nécessaire pour maintenir le coulisement varie entre 18 et 20 t.

Les essais ont été effectués dans la voie de tête d'une taille en couche 20 dans laquelle les cadres ont été placés 5 à 8 m en arrière du front de taille.

Dans le tronçon revêtu des cadres Flexomatic, la section utile est passée de 7,40 m<sup>2</sup> à 3,50 m<sup>2</sup> après 4 mois malgré un rabassenage de 30 à 50 cm effectué 2 mois après la pose des cadres.

Dans le tronçon revêtu de cadres TH de 21 kg/m, la section utile est passée de 11,50 à 5,40 m<sup>2</sup> après 5 mois et après un rabassenage de 30 à 50 cm effectué 2 à 3 mois après la pose des cadres.

Les cadres Flexomatic ont surtout souffert de la pression latérale produite par un stot de charbon de 7,50 m de largeur, laissé entre la voie et une ancienne exploitation.

Ce premier essai a permis de se faire une idée sur le comportement de ce mode de soutènement en voie de chantier. Il en résulte déjà que c'est une méthode valable, susceptible d'être améliorée.

## SAMENVATTING

De kolenmijn Limburg-Maas heeft in eenzelfde galerij proeven gedaan ten einde een vergelijking te kunnen maken tussen de trapeziumvormige ramen Flexomatic en de meegeevende ramen Toussaint-Heintzmann.

Het schuiven van de stijlen der trapeziumvormige ramen Flexomatic is gebaseerd op de vervormingsenergie die wordt opgeslorpt door twee stalen banden, die aangebracht zijn in een speciaal beweegbaar slot, waarop de stijl rust.

Voor de vervorming van deze twee stalen banden in het slot is een constante kracht nodig, die afhangt van de dikte en breedte der banden, van hun weerstand tegen buiging, en van de karakteristieken van het slot. Voor het type dat te Limburg-Maas gebruikt wordt bedraagt de kracht, nodig om het schuiven te onderhouden, 18 tot 20 ton.

De proeven werden uitgevoerd in de kopgalerij van een pijler, in de laag 20, waar de ramen 5 tot 8 m achter het pijlerfront geplaatst worden.

In de sectie ondersteund met Flexomatic-ramen verminderde de nuttige doorsnede van 7,40 m<sup>2</sup> tot 3,50 m<sup>2</sup> in de loop van 4 maanden, ondanks een nadieping van 30 tot 50 cm uitgevoerd twee maanden na het plaatsen van de ramen.

In de sectie ondersteund met TH-ramen van 21 kg/m verminderde de nuttige doorsnede van 11,50 m<sup>2</sup> tot 5,40 m<sup>2</sup> in de loop van 5 maanden, nadat ongeveer 2 tot 3 maanden na het plaatsen een nadieping was uitgevoerd van 30 tot 50 cm.

De Flexomatic-ramen hebben vooral geleden van de zijdelingse druk die werd veroorzaakt door een kolenmassief van 7,50 m dat zich tussen de galerij en een oude ontginning bevond.

Dank zij deze eerste proef kon men zich een gedacht vormen van de manier waarop dit ondersteuningsmaterieel zich in een galerij gedraagt. Men kan reeds het besluit trekken dat de methode kans op succes heeft en verdient nog verder bestudeerd te worden.

## ZUSAMMENFASSUNG

Es wurden Versuche beim Steinkohlenbergwerk Limbourg-Meuse unternommen, um die trapezförmigen Ausbaue Flexomatic in ein und derselben Abbaustrecke mit den nachgiebigen Gleitbögen von Toussaint-Heintzmann zu vergleichen.

Die Nachgiebigkeit der Stempel bei den Flexomatic-Türstöcken beruht auf Ausnutzung der Formänderungsarbeit von zwei Stahlstreifen, welche in einem die Unterlage des Stempels bildenden beweglichen Spezialschloss befestigt sind.

Zur Verformung der beiden Stahlstreifen in dem Schloss bedarf es einer konstanten Kraft. Diese hängt ihrerseits von der Stärke und Breite der Streifen, der Biegefestigkeit des Stahls und den Schlosscharakteristiken ab. Bei dem auf Limbourg-Meuse erprobten Typ lag der zur Aufrechterhaltung des Zusammenschubs erforderliche Druck zwischen 18 und 20 Tonnen.

Die Versuche fanden in der Kopfstrecke eines Strebens in Flöz 20 statt. Die Ausbaue wurden jeweils 5 bis 8 m rückwärts der Strebfront gesetzt.

In dem Abschnitt mit Flexomatic-Gestellen ging der Nutzquerschnitt der Strecke nach 4 Monaten Standdauer von 7,40 m<sup>2</sup> auf 5,50 m<sup>2</sup> zurück, obwohl die Strecke 2 Monate nach dem Setzen der Gestelle um 30 bis 50 cm durchgesenkt wurde.

In dem Abschnitt mit TH-Gestellen von 21 kg/m ging der Nutzquerschnitt innerhalb von 5 Monaten von 11,50 m<sup>2</sup> auf 5,40 m<sup>2</sup> zurück, obwohl 2 bis 3 Monate nach dem Setzen der Gestelle um 30 bis 50 cm durchgesenkt wurde.

Die Flexomatic-Gestelle haben hauptsächlich durch den seitlichen Druck gelitten, welcher von einem stehen gelassenen Kohlenblock von 7,50 m Breite zwischen der Strecke und einem alten Abbau ausging.

Dieser erste Versuch vermittelte eine Vorstellung darüber, wie sich diese Art Ausbau in Abbau-strecken bewährt. Er zeigte bereits, dass diese Ausbaumethode brauchbar und wert ist verbessert zu werden.

## SUMMARY

Tests have been undertaken in the same road in a working place in the Limbourg-Meuse colliery, with a view to comparing the Flexomatic trapezoidal arches with the Toussaint-Heintzmann sliding arches.

The sliding principle of the side sections of the Flexomatic trapezoidal arches is based on the use of the deformations work of two steel bands fixed in a special movable yoke on which the side section rests.

The stress required to deform two steel bands in the yoke is constant and depends on the thickness and width of the bands, the resistance of the steel to bending and the characteristics of the yoke. In the case of the type tried out in the Limbourg-Meuse colliery, the stress required to maintain the sliding varies between 18 and 20 tons.

The tests were carried out in the top road of a face in seam 20 in which the arches were placed 5 to 8 m behind the coal face.

In the stretch supported by Flexomatic arches, the serviceable section dropped from 7.40 m<sup>2</sup> to 5.50 m<sup>2</sup> after 4 months, despite a reclearance of 30 to 50 cm carried out 2 months after the erecting of the arches.

In the stretch supported by TH arches of 21 kg/m, the serviceable section dropped from 11.50 to 5.40 m<sup>2</sup> after 5 months and after a reclearance of 30 to 50 cm carried out 2 to 3 months after the erecting of the arches.

The Flexomatic arches suffered mostly from the lateral pressure caused by a pillar of coal 7.50 m wide, which had been left between the road and an old working.

This first test gave some idea of the behaviour of this kind of support in the road of a working place. It is already clear that it is a worthwhile method, capable of being improved.

## SOMMAIRE

## Introduction.

1. Chantier des essais.
2. Description du soutènement trapézoïdal coulissant Flexomatic.
  21. Principe du système de coulissement.
  22. Description du matériel utilisé pour l'essai.
3. Essais en laboratoire sur les éléments d'un cadre.
  31. Essai de coulissement d'un montant dans un caisson.
  32. Essai de flexion d'une bête.

33. Résistance des montants aux poussées latérales.

## 4. Essais des cadres Flexomatic dans les travaux miniers.

41. Mouvements des bancs de roches du toit et du mur.
  411. Mesures de la convergence dans la voie de tête.
  412. Mouvements absolus des broches du toit et du mur.
  413. Mouvements relatifs des 6 broches d'une section.

42. Déformations et mouvements des bèles et des montants.
421. Coulisement des montants.
422. Variation de l'inclinaison des montants.
423. Flexion des montants sous l'action des poussées latérales.
424. Inclinaison des bèles.
425. Mouvements absolus des bèles.
426. Flèche des bèles.
427. Poinçonnage du mur de la voie par les caissons.
428. Diminution de la hauteur de la voie.
429. Diminution de la largeur de la voie.
5. Détermination des charges auxquelles le soutènement Flexomatic a été soumis en fonction des essais en laboratoire.
6. Comparaison entre les cadres trapézoïdaux Flexomatic et les cadres Toussaint-Heintzmann.
61. Déformation de la voie revêtue de cadres T.H. d'un profil de 29 kg/m.
611. Diminution de la hauteur utile de la voie.
612. Diminution de la largeur de la voie.
613. Coulisements des bèles des cadres T.H.
62. Déformation de la voie revêtue de cadres T.H. d'un profil de 21 kg/m.
621. Diminution de la hauteur utile de la voie.
622. Diminution de la largeur de la voie.
623. Coulisements des bèles des cadres T.H.

### Conclusion.

Comparaison des deux types de cadres Flexomatic et Toussaint-Heintzmann.

1. Prix des cadres.
2. Pose des cadres.
3. Entretien de la voie.
4. Récupération des cadres.

Conclusion générale.

Remerciements.

### INTRODUCTION

Des essais ont été entrepris dans une même voie de chantier au Charbonnage de Limbourg-Meuse en vue de comparer, dans les mêmes conditions géologiques, les deux types de soutènement suivants :

- a) cadres coulissants Toussaint-Heintzmann,
- b) cadres trapézoïdaux Flexomatic.

Afin de pouvoir estimer la valeur du soutènement de forme trapézoïdale, les services techniques du Charbonnage ont choisi un chantier où les conditions géologiques étaient dures, sans être cependant les plus difficiles du siège.

Il fut décidé d'intercaler un tronçon d'essai de 50 m de longueur en cadres trapézoïdaux Flexomatic dans une voie de tête revêtue de cadres coulissants Toussaint-Heintzmann.

Dans plusieurs voies de chantier prises dans cette couche et revêtues de cadres Toussaint-Heintzmann, l'entretien est très important et de nombreux rabasenages et recarrages sont nécessaires, surtout quand

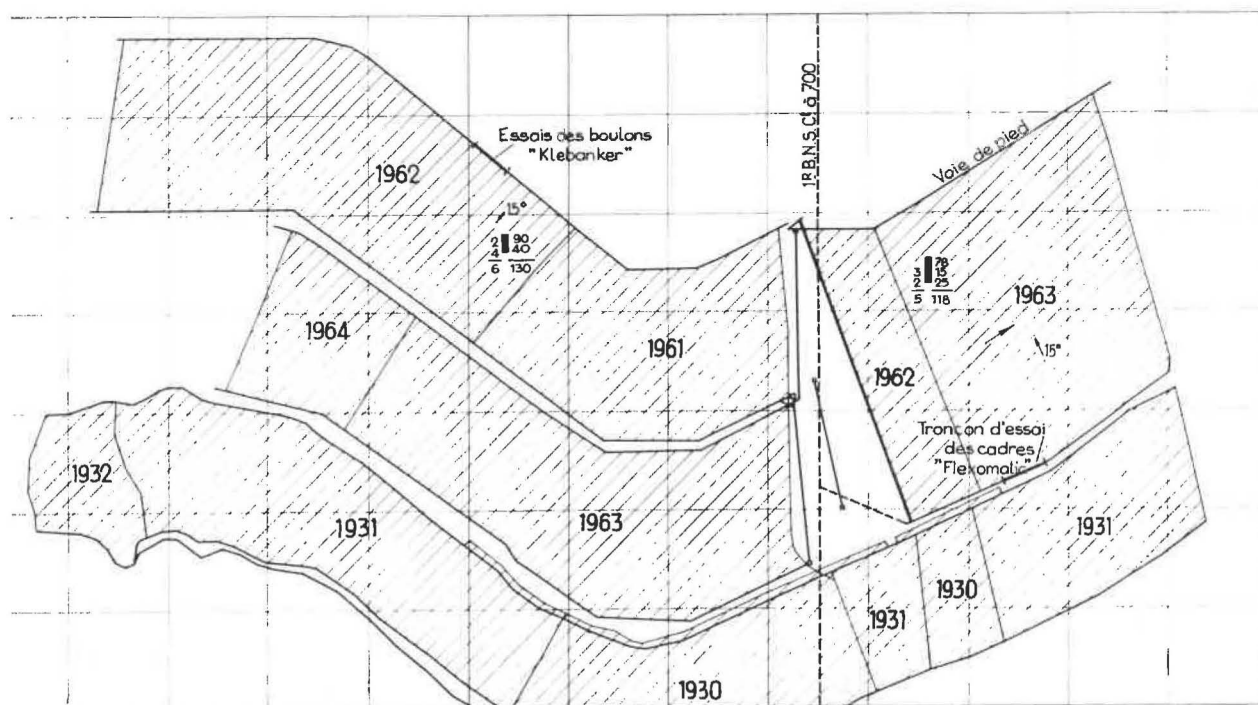


Fig. 1. — Plan de quelques exploitations en couche 20 au I<sup>o</sup> Sud, avec localisation du tronçon d'essai de 50 m de longueur situé en voie de tête et revêtu de cadres Flexomatic.

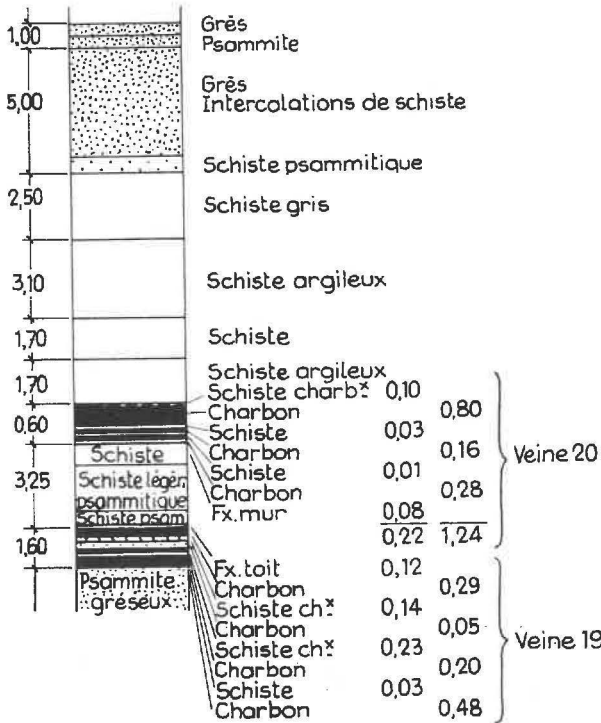


Fig. 2. — Coupe des épontes de la couche 20 montrant la présence de la veine 19 dans le mur de la veine 20. La stampe entre ces 2 couches, qui est variable, est de 4 m dans la zone des essais.

la stampe entre cette couche et une couche sous-jacente se réduit à quelques mètres.

C'est d'ailleurs dans une voie de chantier de cette couche que les essais de boulons « Klebanker » ont été entrepris, sans grand succès d'ailleurs. Il est vrai qu'à cet endroit la stampe n'avait que 3 m d'épaisseur.

L'essai des cadres trapézoïdaux avait pour but de voir s'ils étaient capables de résister aux pressions importantes existant dans ce chantier sans nécessiter aucun recarrage.

### 1. CHANTIER DES ESSAIS

Les essais ont été effectués dans la voie de tête d'une taille chassante en veine 20 à l'étage de 660 m (taille 20 couchant 1<sup>er</sup> sud).

La figure 1 montre le plan de la taille qui a chassé au total 320 m. A titre documentaire, nous avons aussi localisé sur ce plan la voie de pied où les essais de boulons « Klebanker » ont été effectués (\*).

L'ouverture de la veine est de 1,30 m et la pente varie de 14 à 20°.

La figure 2 donne la coupe des épontes de la couche 20. Le mur et le toit sont très tendres. On constate sur cette coupe que la veine 19, d'une ouverture supérieure à 1,60 m, se trouve 6 m environ sous la couche 20 ; dans le tronçon d'essai des cadres Flexomatic, la distance entre les 2 couches est en réalité de 4 m.

La figure 1 montre aussi que la taille est voisine à l'amont d'une ancienne exploitation prise il y a plus de 30 ans.

La figure 3 plus détaillée montre qu'un pilier de charbon a été laissé entre la voie de tête de la taille actuelle et l'ancienne exploitation. La largeur de ce massif de charbon varie de 5 m à 15 m.

(\*) Voir article de H. van Duyse : « Renforcement des roches par boulons d'ancrage collants « Klebanker ». Ini-char, 1963.

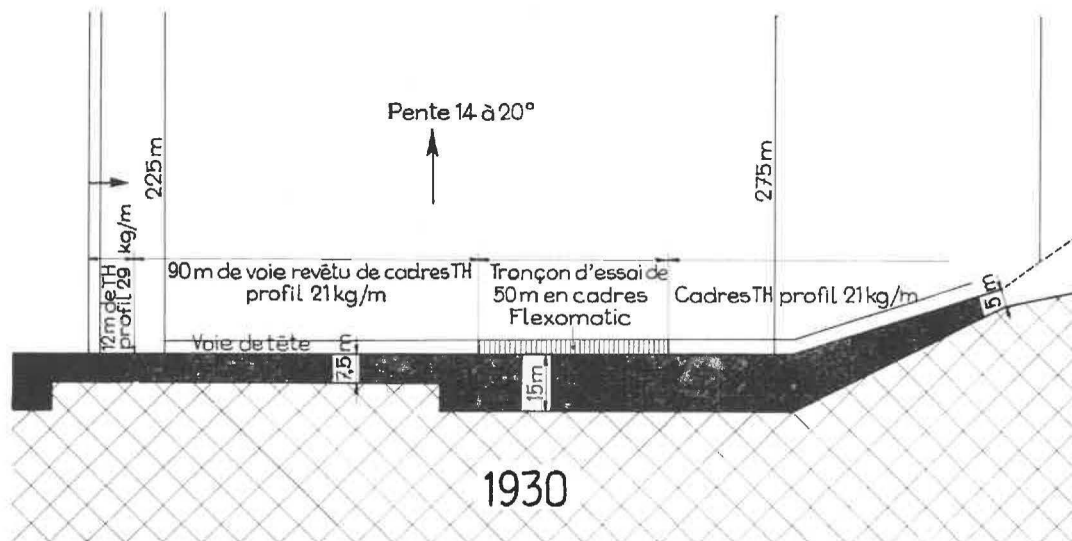


Fig. 3. — Détail de la voie de tête situant le tronçon dans lequel les essais de cadres Flexomatic ont été effectués. La largeur du stot de charbon (en noir) varie de 5 à 15 m.



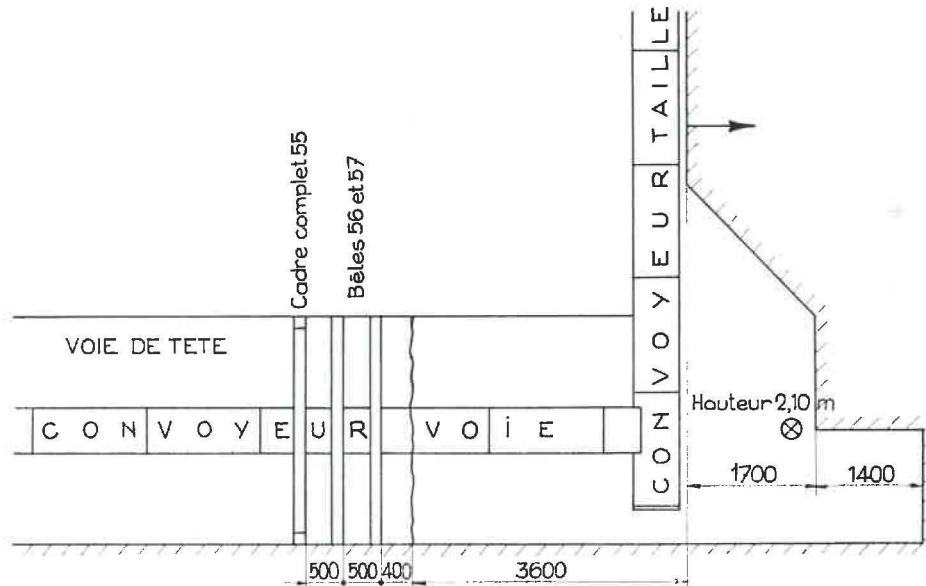


Fig. 4. — Vue en plan du front de la voie de tête et du haut de la taille. Le charbon est abattu en avant de la taille. Le bosseyement dans le toit avec pose des cadres Flexomatic ou Toussaint-Heintzmann est pris 4 à 5 m en arrière du front de taille.

On constate qu'à hauteur du tronçon d'essai des cadres Flexomatic, la largeur de ce pilier est de 15 m. Pour les cadres TH placés en arrière du tronçon d'essai, la largeur de ce pilier n'est que de 7,50 m.

La longueur de la taille est de 275 m et l'abatage est effectué à l'aide d'une haveuse Anderton. L'avancement journalier atteint 2,50 à 3,50 m malgré la longueur de la taille et la production moyenne de la taille a été de 1300 t/jour en 2 postes d'abatage.

Le contrôle de l'arrière-taille se fait par foudroyage. On ne prend ni basse-taille ni haute-taille.

Dans la voie de tête, le soutènement habituel est constitué de cadres coulissants Toussaint-Heintzmann de type LM de 21 kg/m, espacés de 0,35 m d'axe en axe. La section intérieure de ces cadres est de 11,50 m<sup>2</sup>. Le soutènement est placé à l'arrière du front de taille après un bosseyement dans le toit et dans le mur.

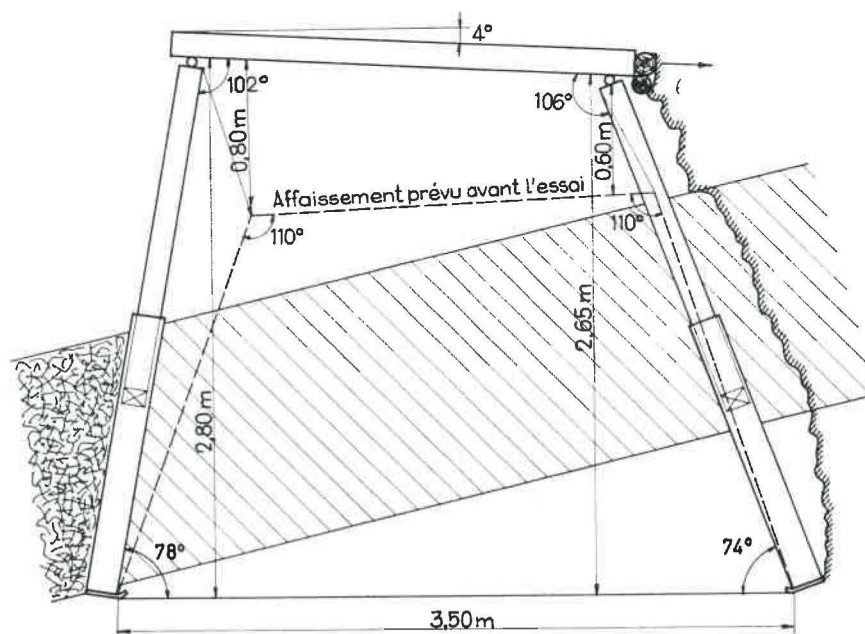


Fig. 5. — Plan d'un cadre Flexomatic utilisé dans le chantier d'essais. Le montant amont est posé contre le stot de charbon.

Des épis de remblais, constitués par des piles de bois de 2 m × 2 m, sont édifiées après le passage de la taille le long de la voie.

La voie de tête est poussée 1,50 à 3 m en avant du front de taille (fig. 4) ; mais à front de cette antenne de 5 m de largeur qui sert de niche pour les têtes motrices du convoyeur et de la haveuse, seuls le charbon et les 0,70 m inférieurs du toit sont abattus pour disposer d'une hauteur de 2 m environ.

**2. DESCRIPTION DU SOUTÈNEMENT TRAPEZOÏDAL COULISSANT FLEXOMATIC**

MM. Gyzen et Vleeskens de Heerlen aux Pays-Bas ont mis au point un soutènement trapézoïdal coulissant pour remplacer le soutènement trapézoïdal rigide, constitué par des rails, fort répandu dans les mines néerlandaises.

**21. Principe du système de coulissement.**

Le soutènement Flexomatic est constitué par 2 montants reliés par une bèle métallique. Les montants, formés soit d'un rail de remploi, soit d'une poutre en I, peuvent coulisser dans des caissons (fig. 5).

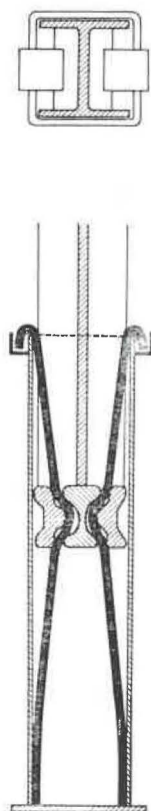


Fig. 6. — Principe de fonctionnement d'un montant coulissant : le montant supérieur, constitué ici par une poutre en I prend appui sur la serrure spéciale qui glisse le long des 2 bandes d'acier suspendues au bord du caisson. La résistance au coulissement est obtenue par le travail de déformation des bandes d'acier dans la serrure.

Le principe du coulissement est basé sur l'utilisation du travail de déformation de deux bandes d'acier dans une serrure spéciale sur laquelle repose le montant (fig. 6). Les bandes métalliques sont fixes, mais la serrure est mobile. Celle-ci déforme les deux bandes métalliques à mesure du coulissement du montant et les oblige à prendre une forme ondulée.

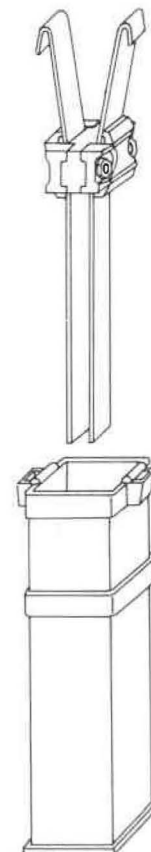


Fig. 7. — Vue du caisson proprement dit (en bas) et de la serrure spéciale dans laquelle les deux bandes d'acier peuvent coulisser (en haut).

L'effort nécessaire pour déformer les deux bandes d'acier dans la serrure est constant et bien défini par l'épaisseur et la largeur des bandes, la résistance de l'acier à la flexion et les caractéristiques de la serrure. D'après le constructeur, cet effort reste constant même après plusieurs réutilisations des bandes d'acier.

Pour éviter des coincements ou des arrachements de métal durant la traversée de la serrure, le canal de traversée a été dimensionné plus largement que la bande ; on constate seulement un léger frottement aux points de courbure de l'acier. Pour éviter toute variation de résistance par la rouille ou les poussières, les bandes sont enduites avant chaque emploi d'un produit spécial.

Ce principe de coulissement pourrait aussi s'appliquer sur des montants de cadres cintrés en ogive.

Un caisson coulissant Flexomatic (fig. 7) est constitué par :

- un fût carré renforcé ;
- deux bandes en acier accrochées au bord supérieur du fût par leurs extrémités terminées en crochet ;
- une serrure fixée aux deux bandes à l'intérieur du fût et pouvant glisser le long de celles-ci.

Avant chaque utilisation des bandes d'acier, celles-ci sont introduites dans la serrure à l'aide d'une presse portative très simple.

Dès que la charge verticale exercée par les terrains dépasse la résistance offerte par la flexion locale du métal dans la serrure, celle-ci coulisse dans le fût jusqu'à l'obtention d'un équilibre entre la charge et la résistance.

La longueur de coulissement varie avec la longueur des bandes. Le cadre devient rigide quand la serrure est arrivée au fond du caisson coulissant.

## 22. Description du matériel utilisé pour l'essai

La figure 5 montre la position d'un cadre par rapport à la couche de charbon. Le montant de droite est situé du côté du massif de charbon abandonné, tandis que le montant de gauche est situé du côté de la taille.

Pour contrebalancer un coulissement plus grand prévu pour le montant gauche ou aval que pour celui de droite, la bèle a été inclinée lors de la pose, suivant un angle de 4° dans un sens opposé à celui des terrains.

La hauteur utile est de 2,78 m dans l'axe de voie et la largeur au pied de 3,50 m.

La bèle peut tourner légèrement autour de son point de fixation au montant grâce à une articulation constituée par une barre métallique soudée à la bèle et deux étriers fixés au montant.

On peut voir, sur cette figure, une ligne en pointillé indiquant la position prévue pour les éléments du cadre à la fin des essais.

Le caisson (fig. 8a) d'une longueur de 1,48 m a une section de 145 mm sur 110 mm ; il est renforcé par deux bourrelets situés l'un à la partie supérieure (il sert de point de suspension aux crochets des 2 bandes métalliques) et l'autre 40 cm plus bas à hauteur de la position initiale de la serrure. Le caisson est terminé à sa base par une plaque d'appui sur le sol de 175 × 145 mm, ce qui donne une section de 255 cm<sup>2</sup>.

Le montant (fig. 8b) coulissant dans le caisson a un profil I 130 et une longueur de 1,71 m (il s'agit du profil spécial pour mine DIN 21541). Il est renforcé à sa partie inférieure et à 37 cm de cette extrémité par deux barres cintrées qui servent à centrer le montant dans le caisson. Le montant est terminé à sa partie supérieure par un plateau sur lequel

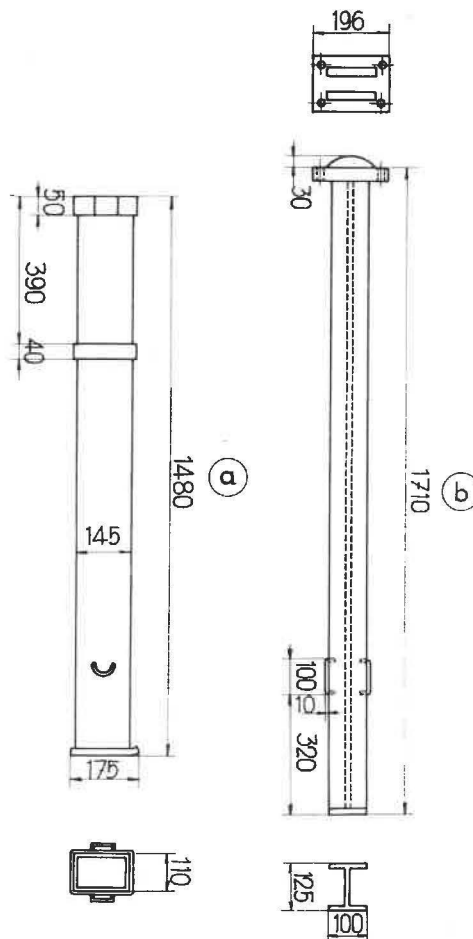


Fig. 8.

- Plan du caisson de 1,48 m de hauteur utilisé à Limbourg-Meuse.
- Plan du montant en fer I de 1,71 m de hauteur terminé à sa partie supérieure par un plateau sur lequel deux bourrelets sont pressés.

sont pressés deux bourrelets entre lesquels on placera la barre fixée à la bèle.

La bèle (fig. 9), d'un profil I 130, a 2,50 m de longueur. Deux barres métalliques sont soudées à leur semelle inférieure.

Les caractéristiques du profil de la bèle sont :

- hauteur : 130 mm
- largeur : 100 mm
- épaisseur de l'âme : 11 mm
- poids : 35 kg/m
- section : 44,6 cm<sup>2</sup>
- moment d'inertie :  $I_x = 1130 \text{ cm}^4$   
 $I_y = 211 \text{ cm}^4$
- moment de résistance :  $W_x = 175 \text{ cm}^3$   
 $W_y = 42,3 \text{ cm}^3$

Le schéma de la figure 9 montre le détail de la liaison entre bèle et montant. Par liaison, il faut placer les 4 boulons des 2 étriers.

La figure 10 montre le schéma des semelles métalliques qui ont été placées sous quelques mon-



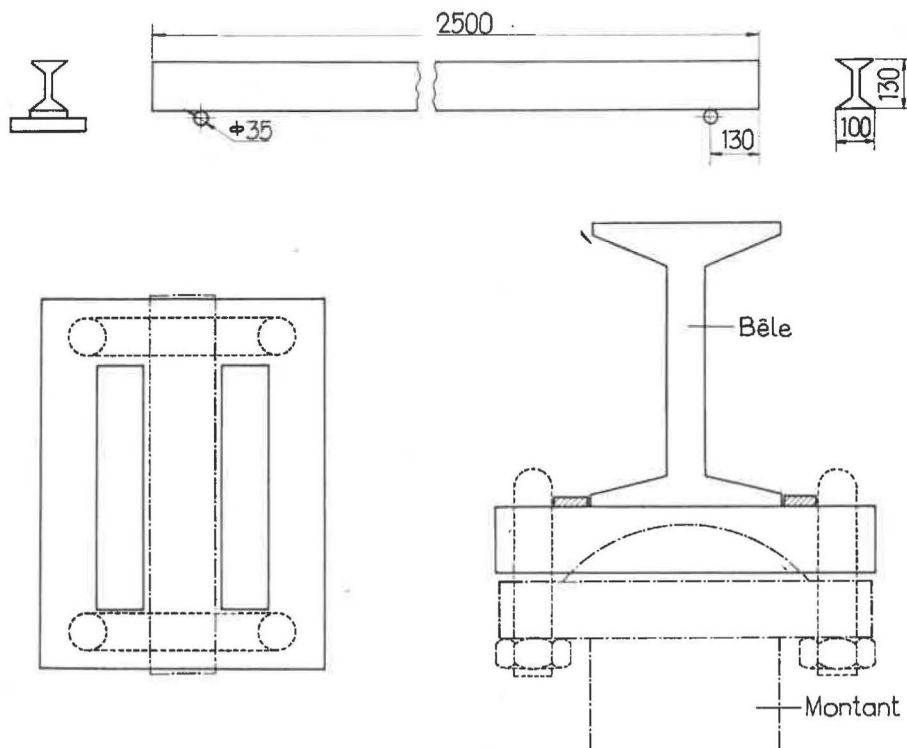


Fig. 9. — Plan de la bèle (en haut de la figure); chacune des 2 barres métalliques se place entre les 2 bourrelets du haut d'un montant; deux étriers fixés, par 4 boulons maintiennent la bèle sur chacun des 2 montants.

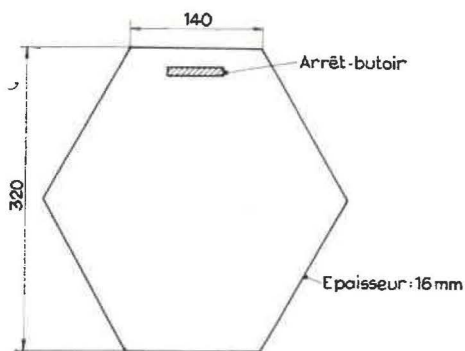


Fig. 10. — Semelle métallique placée sous le pied des caissons. La section de contact d'une semelle contre le mur est de 900 cm<sup>2</sup>.

tants de cadres, pour augmenter leur surface d'appui sur le mur. La section de contact de ces semelles sur le mur est de 900 cm<sup>2</sup>.

### 3. ESSAIS EN LABORATOIRE SUR LES ELEMENTS D'UN CADRE

Conjointement avec les mesures effectuées dans le fond, plusieurs essais ont été effectués en laboratoire sur les divers éléments d'un cadre.

#### 31. Essai de coulissement d'un montant dans un caisson.

Des essais de compression d'un montant complet de cadre identique à ceux essayés dans le fond ont été effectués en laboratoire pour déterminer le coulissement du montant dans le caisson, en fonction de la charge appliquée.

La figure 11 donne le coulissement du montant en fonction de la charge appliquée.

On constate que le coulissement commence à 18,6 t et se maintient en exerçant des efforts compris entre 18 et 20 t.

La courbe contient quelques points singuliers dont les principaux sont :

**Point a :** La serrure était située 8 mm plus bas à une bande qu'à l'autre, de sorte qu'au départ de l'essai, lorsque le crochet d'une bande était à fond de son logement, l'autre bande devait d'abord coulisser de 8 mm avant d'être à fond de gorge.

Au début de l'essai, toute la charge était supportée par une seule bande, jusqu'au moment où le coulissement a atteint 8 mm à une charge de 12,6 t.

**Point b :** Le coulissement proprement dit a débuté à la charge de 18,6 t après un raccourcissement du montant complet de 3 cm environ.

**Point c :** Le coulissement a continué lentement à la charge de 17,6 t, puis celle-ci est remontée len-



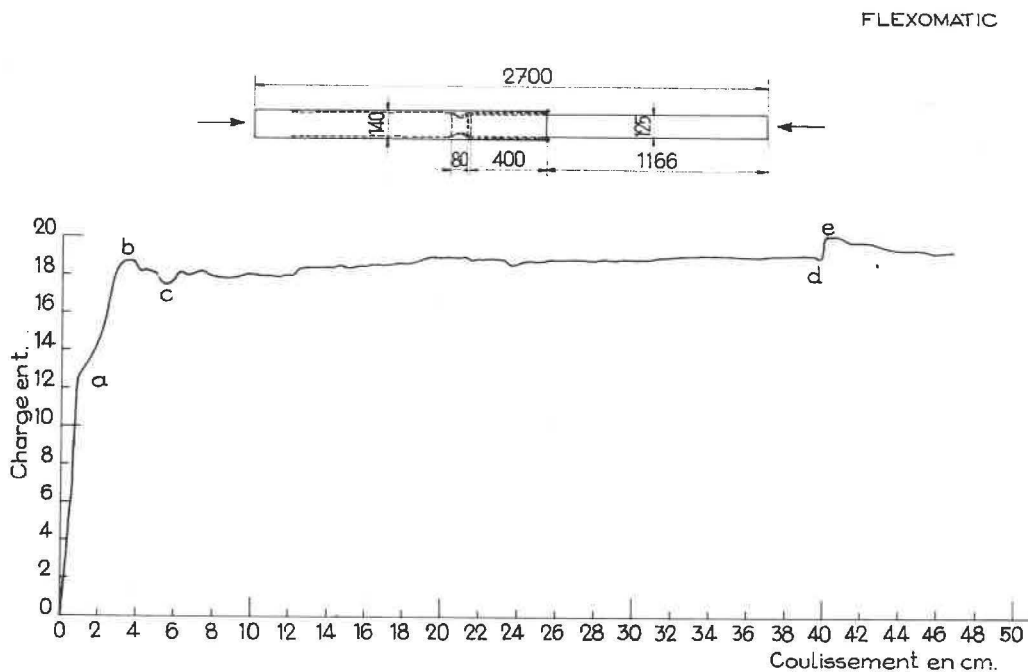


Fig. 11. — Coulissement d'un montant de cadre Flexomatic en fonction de la charge. Cette courbe présente 5 points singuliers (a à e) signalés dans le texte. On constate que le coulissement est très régulier à une charge d'environ 18 t.

tement jusqu'à plus de 19 t après 30 à 40 cm de coulissement. La vitesse de coulissement a été de 25 mm par minute.

**Point d :** La charge a été maintenue constante à 19 t (charge très légèrement inférieure à la charge de coulissement) durant une heure sans donner lieu à aucun coulissement.

**Point e :** Après l'arrêt pour continuer le coulissement, il a fallu porter la charge à 20,2 t. Ce supplément de charge a été nécessaire pour vaincre le frottement statique dû à l'arrêt.

**32. Essai de flexion d'une bèle.**

Un essai de flexion a été effectué en laboratoire sur une bèle identique à celles utilisées au fond.

Cette bèle, d'un profil GI 130, a une longueur de 2,50 m.

Pour se rapprocher des conditions de portée réelle, l'essai a été effectué avec la bèle prenant appui sur les deux rouleaux auxquels les 2 montants de cadre sont fixés.

La distance entre les appuis est de 2.240 mm. La charge concentrée a été appliquée au milieu de la portée.

La charge maximum qui a été atteinte est de 29 t après une déformation de 150 mm.

La figure 12 donne la valeur de la flèche en fonction de la charge.

A partir d'une charge de 18 t, la poutre s'est aussi déformée dans le sens transversal, ce qui explique l'anomalie constatée sur la courbe.

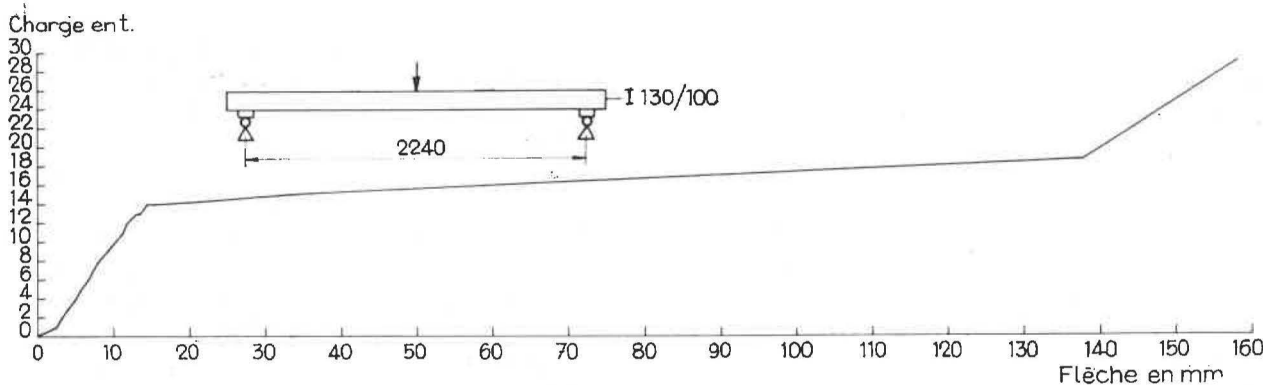


Fig. 12. — Flèche de la bèle en fonction de la charge appliquée au centre. A partir d'une charge de 18 t, la poutrelle s'est déformée aussi dans le sens transversal.

Lors de cet essai de flexion, les rouleaux d'appuis se sont aplatis sous l'effet de la charge, mais dans la courbe flèche-charge il n'a été tenu compte que de la flèche de la poutrelle. A la charge de 14 t, l'affaissement de ces appuis était de 3,5 mm.

**33. Résistance des montants aux poussées latérales.**

Dans le fond, lorsque les montants de cadres sont placés contre le massif de charbon en place, ils sont soumis à des poussées latérales très importantes.

Pour connaître la résistance offerte par les montants de cadres Flexomatic à ces poussées, des essais de flexion ont été effectués sur des montants complets comprimés longitudinalement.

2. Essai de flexion avec une charge de 16 t exercée par le vérin A et avant tout coulisement du montant dans le caisson.
3. Essai de flexion avec une charge de 16 t exercée par le vérin A après un coulisement de 30 cm du montant dans le caisson.

Pour obtenir ce coulisement de 30 cm, il a fallu exercer un effort de 18,5 t avec le vérin A.

On constate sur la figure 13 que la portée est pratiquement la même pour les essais 1 et 2 et 12 % plus courte pour l'essai 3.

Les différentes courbes de la figure 14 donnent la valeur de la flèche centrale du montant complet (au point 1 de la fig. 13) en fonction de la charge pour les 3 types d'essais effectués.

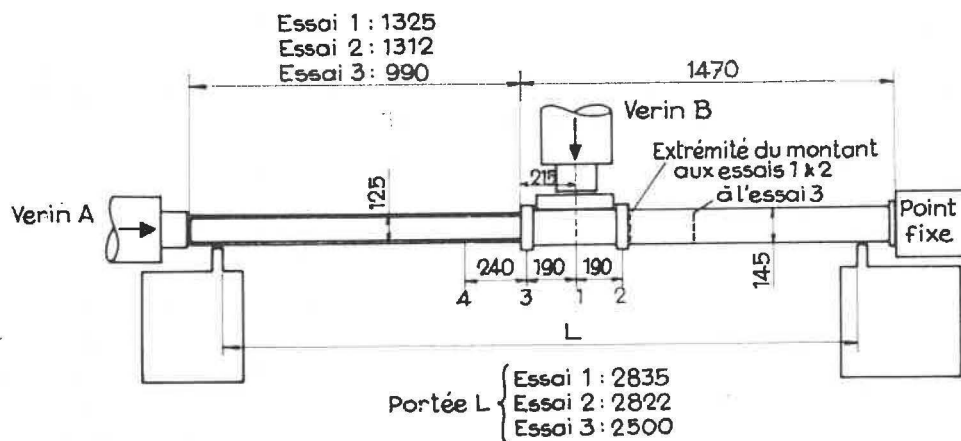


Fig. 13. — Montage utilisé pour les essais de résistance d'un montant coulissant aux poussées latérales. Le vérin A permet d'exercer une pression longitudinale déterminée. La poussée latérale est exercée par le vérin B, à une extrémité du caisson. Les flèches sont mesurées aux 4 points indiqués 1 à 4. Trois essais ont été effectués avec une portée différente.

La figure 13 montre la façon dont les essais ont été effectués. Le vérin A permet d'exercer une pression longitudinale bien déterminée et constante sur le montant, tandis que l'effort exercé par le vérin B est augmenté graduellement jusqu'à la rupture du montant par flexion.

Le vérin B qui soumet le montant à la flexion est appliqué sur l'extrémité du caisson coulissant, c'est-à-dire au raccord des 2 pièces constituant le montant.

Les flèches du montant sont mesurées en 4 points numérotés 1 à 4 sur la figure 13.

Rappelons que la section du caisson est de 145 × 110 mm mesurée extérieurement avec une épaisseur de paroi de 6 mm. Le montant a un profil l 130.

Les trois essais suivants ont été effectués :

1. Essai de flexion avec une charge de 1 t exercée par le vérin A et avant tout coulisement du montant dans le caisson.

A l'essai 1, où la pression longitudinale était de 1 t, l'effort maximum exercé a été de 25 t.

A l'essai 2, où la pression longitudinale était de 16 t, l'effort maximum exercé a été de 13,9 t.

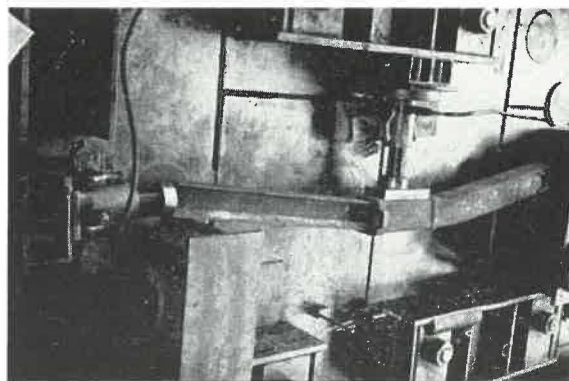


Fig. 13bis. — Photo prise après le troisième essai.

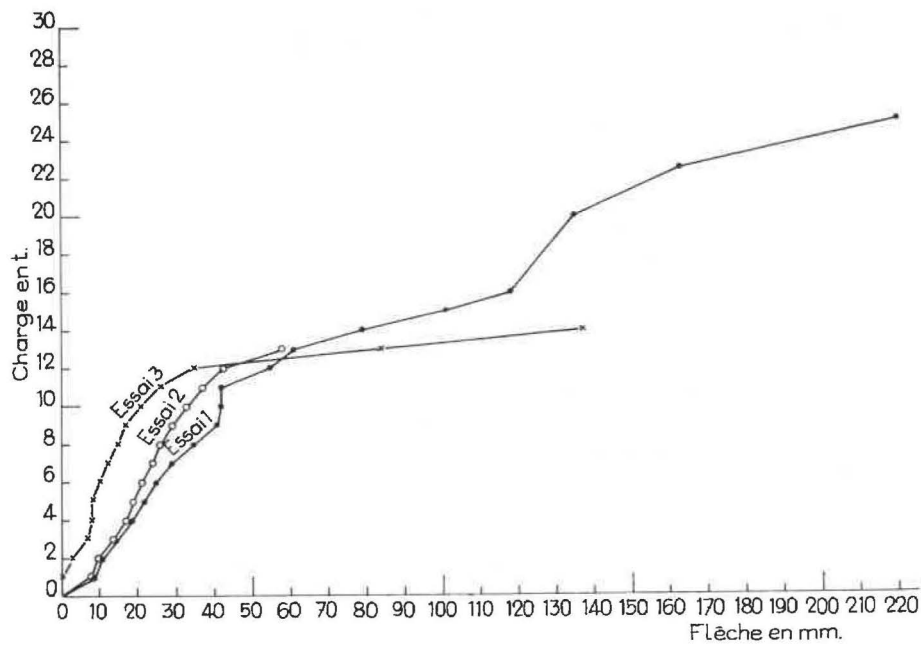


Fig. 14. — Valeur de la flèche du montant coulissant en fonction de la charge latérale exercée par le vérin B.

A l'essai 3, où la pression longitudinale était de 16 t, mais où le montant avait coulissé de 30 cm, l'effort maximum exercé a été de 14 t.

On doit cependant constater que les flèches ne sont pas les mêmes dans les 3 cas ; ainsi pour la charge de 10 t nous avons les 3 flèches suivantes :

Essai 1 : flèche de 42 mm

Essai 2 : flèche de 33 mm

Essai 3 : flèche de 21 mm soit la moitié de la flèche obtenue à l'essai 1.

A la charge de 13 t, on a les flèches suivantes :

Essai 1 : flèche de 61 mm

Essai 2 : flèche de 58 mm

Essai 3 : flèche de 84 mm soit environ 35 % en plus que la flèche obtenue à l'essai 1.

La différence obtenue dans la résistance à la rupture par flexion entre le cas 1 et les cas 2 et 3 provient du fait que, par la compression longitudinale, l'acier du caisson est soumis au préalable à une contrainte de compression qui est de 0,3 kg/mm<sup>2</sup>

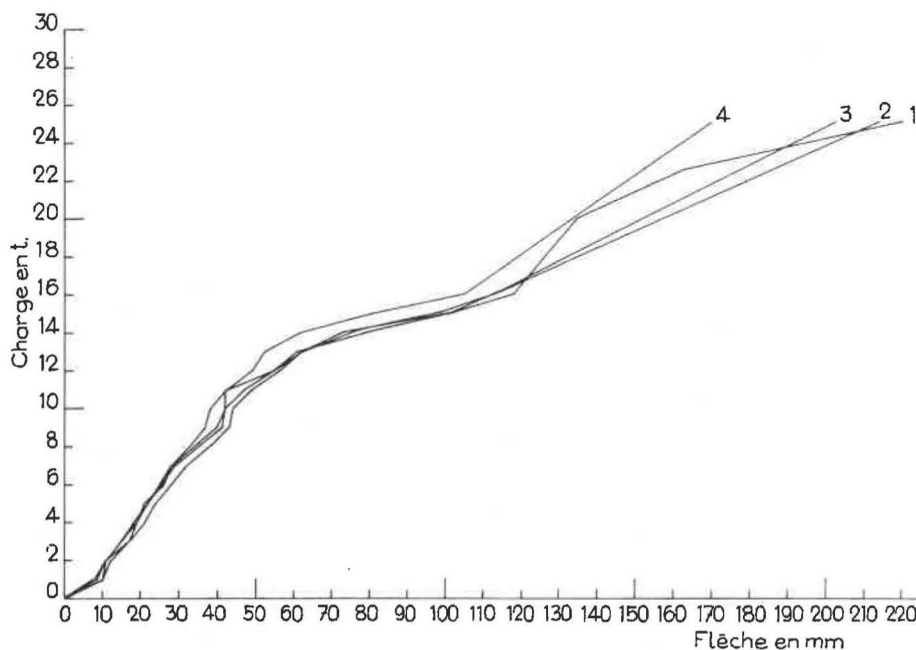


Fig. 15. — Valeur des flèches mesurées aux points 1 à 4 de la fig. 13 en fonction de la charge latérale dans le cas de l'essai 1.

seulement pour le cas 1 et atteint 5,3 kg/mm<sup>2</sup> pour les essais 2 et 3.

La flèche plus petite, constatée aux charges de 10 t pour les essais 2 et 3 par rapport à l'essai 1, provient de ce que par la compression longitudinale le montant est soumis à une tension de compression beaucoup plus forte aux essais 2 et 3 qu'à l'essai 1. Par contre dès qu'une flèche importante se marque, la poussée longitudinale favorise le flambage et fait augmenter la flèche beaucoup plus rapidement.

En comparant les essais 2 et 3, on ne constate pas d'influence bénéfique du coulisement de 30 cm à l'essai 3, ce qui a pourtant provoqué un raccourcissement de la portée de 12 %.

La figure 15 donne les flèches mesurées aux points 1 à 4 (fig. 13) au cours de l'essai 1. On constate qu'il n'y a presque pas de différence entre les différentes flèches, ce qui indique que l'extrémité du caisson compris entre les 2 bourrelets est restée bien rectiligne.

On constate en effet après les essais que le montant proprement dit est légèrement plié et que les 40 cm supérieurs du caisson sont restés rectilignes.

La figure 16 représente les diverses modifications constatées aux caissons lors de la rupture par flexion. Par suite de la flexion, la tôle de la paroi comprimée se gondole. Ces ondulations peuvent se produire en 1 ou 2 endroits et peuvent se faire vers l'intérieur ou vers l'extérieur comme le montre la figure 16.

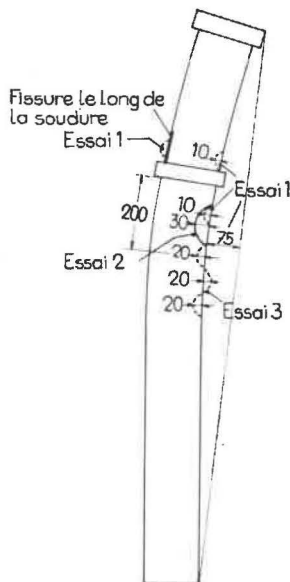


Fig. 16. — Gondolement des parois du caisson à la fin des 3 essais. Après l'essai 1, la flèche permanente du caisson a atteint 75 mm.

A l'essai 1, le caisson s'est fissuré sur 50 mm le long d'une soudure à proximité du deuxième bourrelet de renforcement au moment où la charge appliquée était de 22,5 t. Après l'essai, la flèche per-

manente du caisson est de 75 mm et celle du montant de 10 mm.

A l'essai 3, ces ondulations se sont produites à hauteur de l'extrémité de la serrure qui, au départ de l'essai, se trouvait 30 cm sous le deuxième bourrelet de renforcement.

#### 4. ESSAIS DES CADRES FLEXOMATIC DANS LES TRAVAUX MINIERS

Les cadres Flexomatic ont été placés à 0,50 m d'axe en axe.

Sous les montants du côté opposé à la taille, côté amont, aucune semelle spéciale n'a été placée de sorte que la surface de contact contre le mur est de 255 cm<sup>2</sup>.

Sous les montants placés du côté taille, côté aval, les semelles spéciales d'une surface de contact de 900 cm<sup>2</sup> ont été placées, sauf pour les 2 premiers cadres posés sur des claveaux en béton et pour les cadres 3 à 15 sous lesquels rien n'a été placé.

Deux types de mesures ont été effectuées, les unes à l'aide de broches en bois fixées dans le terrain au toit et au mur et les autres sur les divers éléments constituant les cadres trapézoïdaux Flexomatic.

#### 41. Mouvements des bancs de roches du toit et du mur.

##### 411. Mesures de la convergence dans la voie de tête.

Les cadres trapézoïdaux Flexomatic ont été placés 5 à 8 m en arrière de la taille après un bossage dans le toit et dans le mur.

Les mesures de convergence ont été effectuées au moyen de 3 paires de broches en bois ou doublets placés dans le toit et dans le mur dans un même alignement. Un des doublets est situé du côté de la taille, le deuxième dans l'axe de la voie et le troisième du côté opposé à la taille.

Les figures 17 et 18 donnent les convergences mesurées aux sections I et II en fonction de leur distance au front de la taille. Les mesures n'ont débuté que 8 à 10 m en arrière de la taille, lors du placement des cadres.

La section I est située au milieu du tronçon de 50 m et la section II se trouve à 15 m de l'extrémité du tronçon.

On remarque que les convergences sont presque les mêmes dans les deux cas.

Il est important de constater que la convergence ne diminue presque pas avec l'éloignement de la taille. Si la convergence avait été mesurée à partir de la taille proprement dite, elle aurait certainement atteint 1 m.



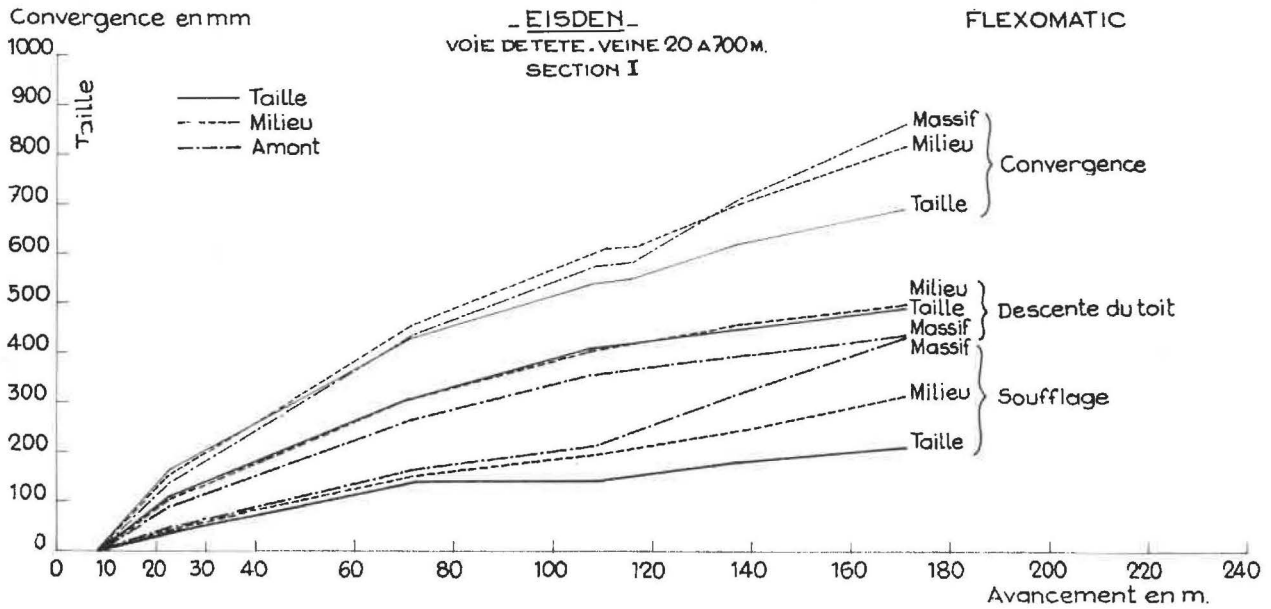


Fig. 17. — Courbes de convergences des trois doublets de la section 1 en fonction de leur distance au front de taille. Cette figure donne aussi la valeur de la descente du toit et du soufflage de mur mesurés à l'aide de 3 broches forées dans le toit et de 3 broches forées dans le mur.

**412. Mouvements absolus des broches du toit et du mur.**

Les figures 17 et 18 indiquent aussi l'allure des mouvements absolus des broches du toit et du mur des 3 doublets des sections I et II. Au début, la descente du toit est plus importante que le soufflage du mur.

A partir d'une distance à la taille de 50 m, on constate que le soufflage du mur est à peu près le

même que la descente du toit, tandis qu'à partir de 100 m, le soufflage est un peu plus important que la descente du toit.

Le soufflage donné par les courbes est celui des bancs du mur, situés à 40 cm du mur de la voie, dans lesquels sont fixées les broches de mesure.

Le soufflage réel du mur de la voie est en général supérieur de 20 cm par suite du foisonnement de ce mur qui recouvre la partie supérieure des broches.

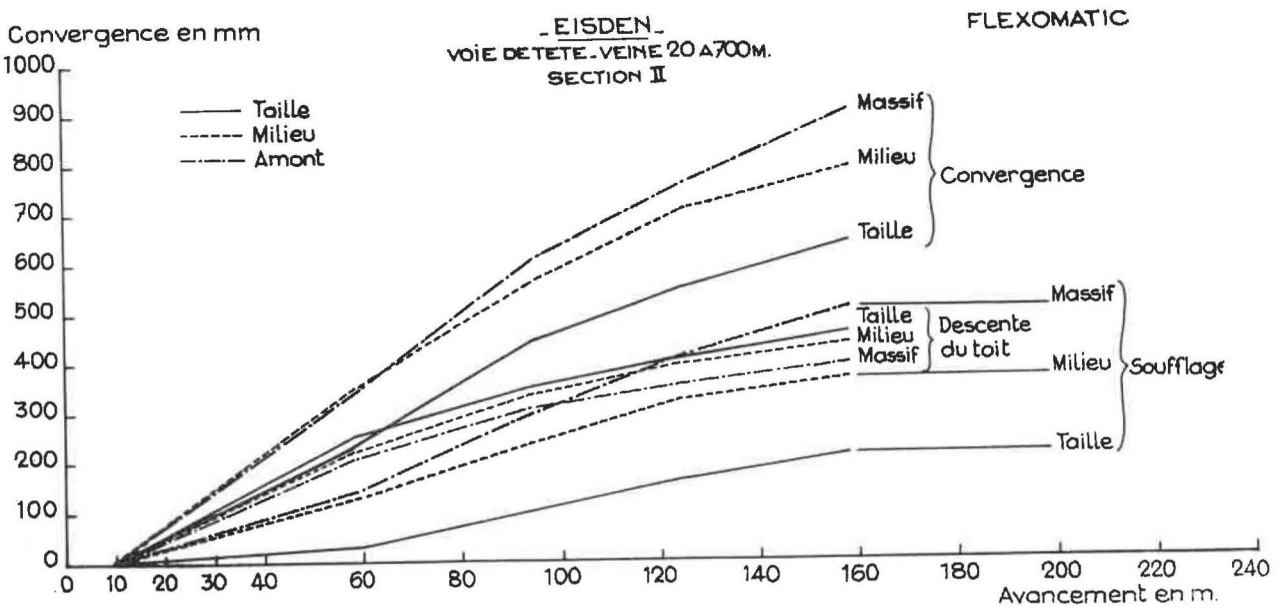


Fig. 18. — Courbes de la convergence, de la descente de toit et du soufflage de mur mesurées au moyen des 6 broches de la section II.

TABLEAU I.  
Mouvements relatifs aux diverses broches de mesures.

	Convergence C 160 m 8 m en mm		Descente du toit en mm		Soufflage du mur en mm	
	Section I	Section II	Section I	Section II	Section I	Section II
Doublet situé du côté taille	650	650	455	445	195	205
Doublet situé dans l'axe de la voie	760	800	466	438	294	362
Doublet situé du côté opposé à la taille	790	910	345	400	345	510

413. **Mouvements relatifs des 6 broches d'une section.**

Chacune des deux sections de mesures comporte donc 6 broches réparties sur la largeur de la voie tant au toit qu'au mur.

Au cours des essais, les mouvements absolus de ces broches ont été mesurés régulièrement, ce qui permettait de connaître la descente du toit et le soufflage du mur au centre de la voie et le long de chacune des 2 parois (fig. 17 et 18) en fonction de l'avancement de la taille.

Le tableau I donne les convergences des 3 doublets des 2 sections, ainsi que la descente du toit et le soufflage du mur, mesurés après un avancement de la taille de 160 m.

On constate que les soutènements et les descentes des diverses broches sont les mêmes aux deux sections.

La descente du toit n'est que légèrement plus forte (10 à 20 %) du côté taille que du côté opposé. Il semble donc que les bancs de roche situés au toit se soient affaissés parallèlement à leur position de départ et en gardant leur cohésion : on peut donc dire que le soutènement trapézoïdal a rempli pleinement son rôle.

Pour le soufflage par contre, on constate qu'il est 2 à 2,5 fois plus grand du côté opposé à la taille que du côté taille, ce qui doit être imputé au stot de charbon qui exerce une pression, plus importante du côté amont.

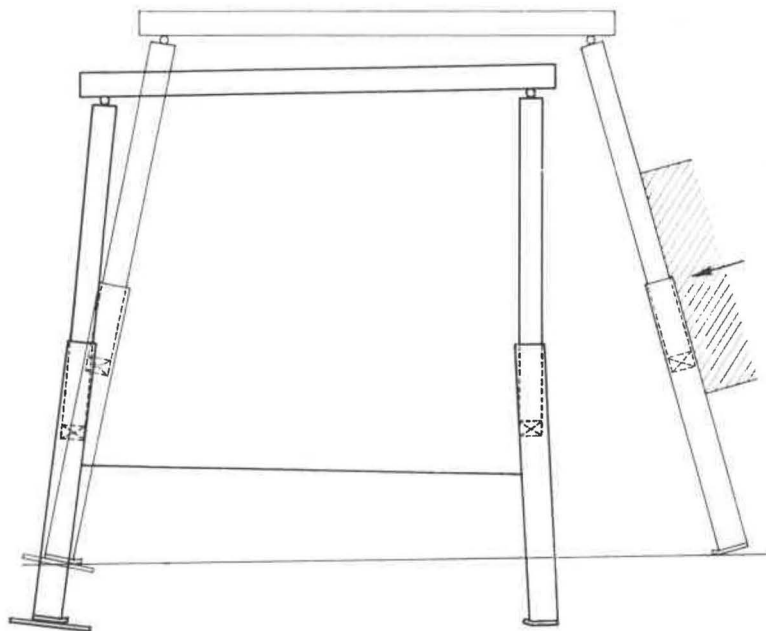


Fig. 19. — Position relative d'un cadre Flexomatic après 4 mois par rapport à sa position lors de la pose.

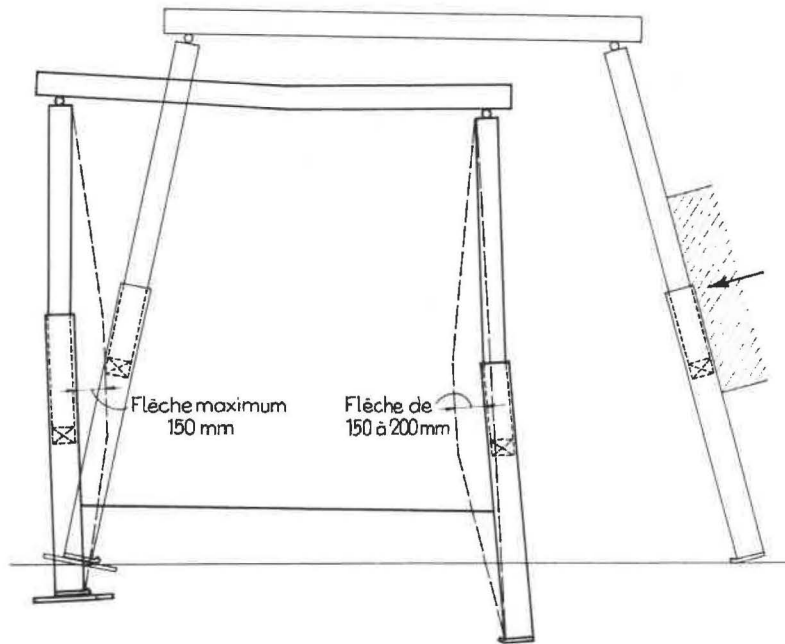


Fig. 20. — Position relative d'un cadre Flexomatic, ayant fortement souffert, après 4 mois, par rapport à sa position lors de la pose.

#### 42. Déformations et mouvements des bèles et des montants.

Les figures 19 et 20 représentent la position de deux cadres Flexomatic, d'une part, lors de leur pose et, d'autre part, après 4 mois. Ces deux cadres sont situés vers le milieu du tronçon d'essai de 50 m.

Toute une série de mesures ont été effectuées dans le fond :

1. Coulissemments des montants de cadres dans les caissons.
2. Variations de l'inclinaison des montants de cadres.
3. Inclinaison des bèles de cadres.
4. Mouvements absolus des bèles de cadres.
5. Flèche des bèles.
6. Flexion des montants de cadres.
7. Hauteur de la voie.
8. Largeur de la voie.
9. Poinçonnage du mur par les caissons de cadres.

##### 421. Coulissemments des montants.

Du côté opposé à la taille, sauf quelques exceptions, les coulissemments des montants dans les caissons ont été négligeables et ont atteint à peine 10 à 20 mm (ce qui prouve que, n'étant pas placés sur semelles, ils ont poinçonné le mur sous des charges bien inférieures à 20 t).

Par contre du côté de la taille, les coulissemments, plus importants, ont atteint environ 100 à 200 mm, soit 10 à 20 fois plus que de l'autre côté.

a) Du côté opposé à la taille sur les 18 montants dont les coulissemments ont été suivis, on a constaté :

- 13 cadres où les coulissemments sont inférieurs à 10 mm
- 4 cadres où les coulissemments ont varié entre 10 et 20 mm
- 1 cadre (situé au centre) où le coulissemment a été de 84 mm.

Le coulissemment moyen est d'environ 10 mm.

b) Du côté de la taille, sur les 18 montants suivis qui sont d'ailleurs répartis tout le long du tronçon d'essai, on a constaté :

- 1 cadre dont le coulissemment est inférieur à 10 mm
- 2 cadres dont les coulissemments sont compris entre 10 et 20 mm
- 2 cadres dont les coulissemments sont compris entre 20 et 40 mm
- 6 cadres dont les coulissemments sont compris entre 80 et 120 mm
- 2 cadres dont les coulissemments sont compris entre 160 et 180 mm
- 2 cadres dont les coulissemments sont compris entre 200 et 300 mm
- 1 cadre dont le coulissemment est de 308 mm
- 1 cadre dont le coulissemment est de 321 mm
- 1 cadre dont le coulissemment est de 330 mm

Le coulissemment moyen est de 143 mm.

En essayant de voir la répartition de ces coulissemments sur la longueur du tronçon, on constate que le coulissemment moyen est de 175 mm pour le premier tiers, de 168 mm pour le tiers central et de 90 mm pour le dernier tiers.

La figure 21 montre l'augmentation du coulissemment en fonction du nombre de jours après le place-

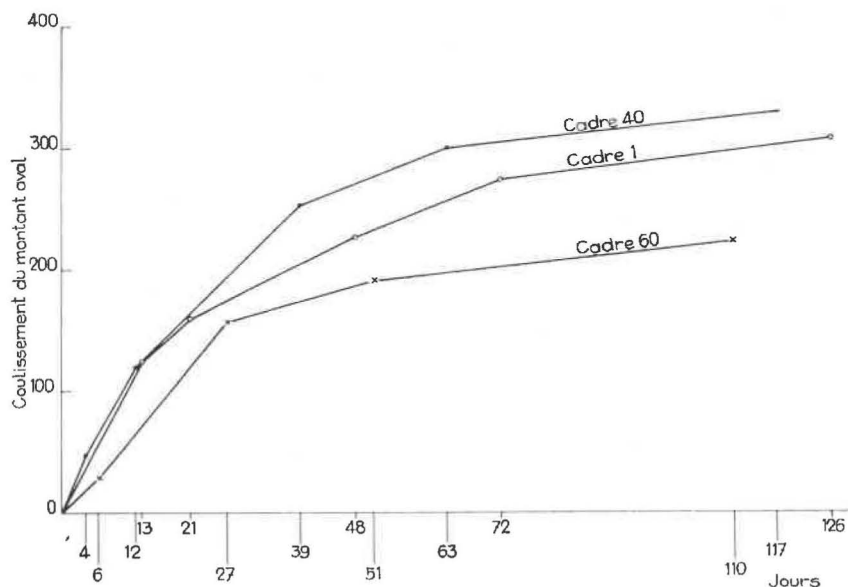


Fig. 21. — Coulissement de 3 montants aval en fonction du nombre de jours après le placement des cadres (avancement de la taille : 2,50 m par jour ouvrable).

ment des cadres ; rappelons que l'avancement de la taille est de 2,50 m par jour ouvrable.

On constate que le coulissement augmente régulièrement avec une tendance à un aplatissement de la courbe après 2 mois.

**422. Variation de l'inclinaison des montants.**

A la pose des cadres, l'inclinaison du montant était la même que celle du caisson dans lequel il devait coulisser et était de 78° du côté taille et de 74° du côté opposé.

Le tableau II montre la variation de l'inclinaison des montants et caissons situés des deux côtés de la voie. Les angles sont donnés par rapport à l'horizontale, mesurés à partir de l'intérieur de la voie.

On constate donc un redressement constant des montants et des caissons jusqu'à la verticale et même au-delà, par suite de poussées latérales venant de la paroi amont.

A la fin de la taille, l'inclinaison de plusieurs montants était de 100° avec les pieds rentrants dans la voie du côté amont.

Dans le premier tiers du tronçon de 50 m, presque tous les montants amont sont inclinés vers l'intérieur de la voie.

Par contre, c'est dans le dernier tiers que presque tous les montants aval sont inclinés vers l'intérieur de la voie.

TABLEAU II.  
Inclinaison des montants et caissons de cadres.

		Inclinaison en °				
		à la pose	après 15 jours	après 2 mois	après 3 mois	après 4 mois
côté taille	caisson	78	83	85	86	87,5
	montant	78	83	86	87	89
côté opposé	caisson	74	79	85	87	87,5
	montant	74	81	87	89	90



#### 423. Flexion des montants sous l'action des poussées latérales.

Les montants du côté opposé à la taille ont été placés contre un pilier de charbon de 7,50 m à 15 m de largeur, laissé en place entre la taille actuelle et une ancienne exploitation (fig. 3).

Ces montants ont donc été soumis à une poussée latérale très importante, localisée à hauteur du massif de charbon situé à mi-hauteur du montant. Sous l'effet de cette poussée, les pieds des caissons amont ont été poussés vers l'intérieur de la voie, mais en offrant une très grande résistance de sorte que, étant plus ou moins encastrés à leurs deux extrémités, ils se sont tous plus ou moins pliés, cette flèche pouvant même atteindre dans beaucoup de cas, 150 à 200 mm (comme indiqué en pointillé sur la figure 20).

De plus, cette poussée latérale s'est aussi transmise par les bèles des cadres trapézoïdaux jusqu'aux montants aval. Beaucoup de ces montants ont même pris une inclinaison vers l'intérieur de la voie pouvant atteindre 93°. Certains de ces montants, encastrés au pied et butant contre un obstacle plus résistant à hauteur de la serrure, se sont pliés et ont pris une flèche pouvant atteindre 150 mm (fig. 20).

Il est certain qu'une fois pliés, ces montants ne peuvent plus coulisser.

Du côté amont, presque tous les montants ont été pliés.

Parmi ces montants pliés, 23 ont pris une flèche égale ou supérieure à 150 mm. Ces 23 montants fortement pliés se répartissent sur tout le tronçon de 50 m : 12 montants sont pliés au premier tiers, 4 au deuxième tiers et 7 au dernier tiers. Ces montants pliés se répartissent tous en groupes de 3 ou 4 montants voisins.

Au total, 17 caissons ont dû être remplacés par de nouveaux. Pour faciliter leur remplacement, ces caissons de 1,40 m, enfoncés parfois de 60 cm dans le mur, ont été remplacés par des caissons de 1 m de hauteur. Malgré ce changement, une équipe de 2 hommes n'a pu remplacer que 2 montants par poste.

Du côté aval, 8 montants de cadres ont été pliés avec une flèche de 50 à 150 mm : 6 de ces montants sont situés dans le deuxième tiers du tronçon et les deux autres dans le troisième tiers. Les 6 montants pliés au deuxième tiers sont situés l'un à côté de l'autre.

De même que pour les essais effectués en laboratoire, tous les caissons pliés avec une flèche de 150 à 200 mm ont le côté intrados de l'arc ondulé et ils sont souvent déchirés le long d'une soudure. Ces ondulations se font parfois vers l'intérieur du caisson et parfois vers l'extérieur. Elles sont partout situées à hauteur du bas de la serrure.

Lorsque la tôle située du côté intrados s'est déchirée le long de ses deux soudures, on constate que les 2 plaques latérales du caisson se sont ouvertes vers l'extérieur du caisson.

Les 2 bandes en acier de ces cadres déformés sont pliées à environ 20° par rapport à la serrure et il n'est pas possible de les redresser à la main.

Malgré la poussée importante exercée par le montant amont sur la bèle, on n'a constaté qu'une seule rupture du système de fixation de la bèle au montant, par cisaillement des boulons des étriers ; cependant malgré le cisaillement, ce montant n'a pas glissé vers l'intérieur de la voie car il était encore retenu par la barre ronde soudée à la bèle.

#### 424. Inclinaison des bèles.

Comme le montre la figure 5, l'inclinaison des bèles devait être de 4° dans le sens contraire à celle de la pente. En réalité cependant l'inclinaison des bèles était de 8° dans le même sens que la pente pour les premiers cadres et de 1° dans le sens contraire à la pente pour les cadres suivants.

Après 5 mois, la pente moyenne des bèles était de 3° environ, tant pour les bèles inclinées au départ à 8° que pour les autres. Certaines bèles étaient inclinées jusqu'à 12°.

#### 425. Mouvements absolus des bèles.

On a mesuré aussi les mouvements absolus des bèles des cadres Flexomatic.

Après 5 mois, les bèles métalliques étaient descendues en valeur absolue de 362 mm. Cette valeur mesurée au milieu de la portée est la moyenne des mesures effectuées sur 17 bèles réparties sur toute la longueur du tronçon.

La descente moyenne est de 339 mm pour le premier tiers du tronçon, de 460 mm pour le tronçon du milieu et de 305 mm pour le dernier tiers du tronçon d'essai.

Pour 7 cadres, nous avons mesuré en plus la descente de la bèle en trois points situés au centre et près des deux extrémités. Ces descentes mesurées en valeur absolue sont en moyenne de 273 mm du côté taille, de 300 mm au centre et de 289 mm du côté opposé à la taille. Dans l'ensemble, les bèles descendent donc parallèlement à elles-mêmes. La flèche moyenne au centre est ainsi de 19 mm.

Mais en prenant bèle par bèle, on constate cependant des variations plus importantes.

Sur les 7 bèles mesurées régulièrement :

- 3 sont descendues parallèlement à elles-mêmes ;
- 2 se sont affaissées de 160 à 180 mm en plus du côté amont ;
- 2 se sont affaissées de 90 à 120 mm en plus du côté taille.

Pour les 7 bèles, la flèche au centre a varié de 3 à 35 mm.

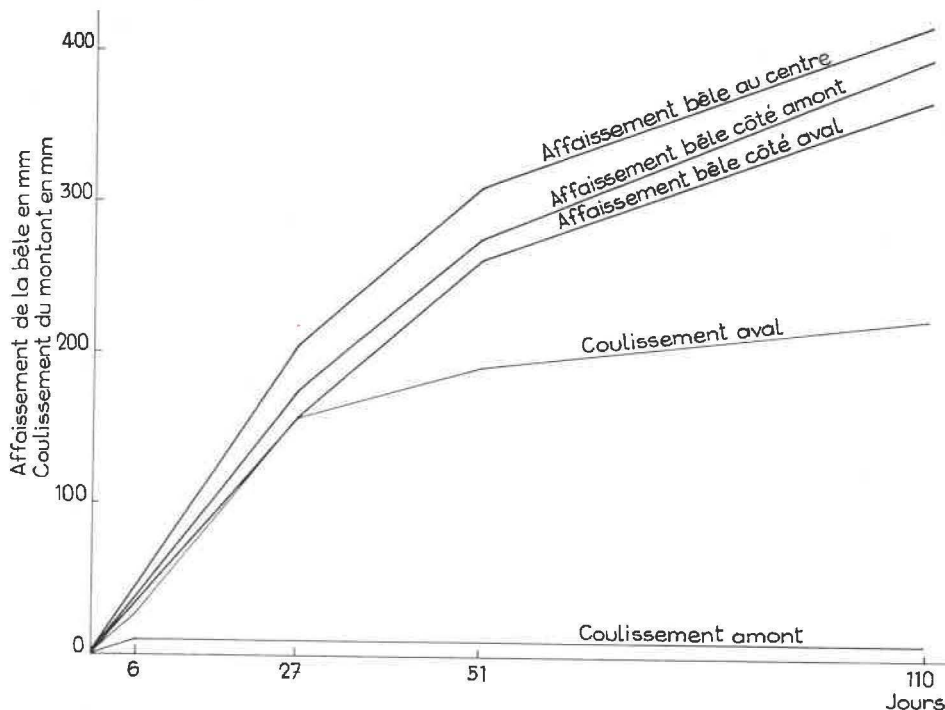


Fig. 22. — Affaissement (en mesures absolues) de la bête d'un cadre, mesuré en 3 points, et mesures du coulisement des montants aval et amont de ce même cadre en fonction de l'avancement de la taille. Pendant le premier mois, le coulisement du montant aval est égal à l'affaissement absolu de la bête, de sorte que l'on peut dire que le pied de ce montant n'a pas bougé. Mais on constate ensuite que le coulisement n'augmente presque plus, tandis que l'affaissement de la bête se poursuit, la différence des 2 courbes indique l'importance du poinçonnage du mur par le pied du montant. Du côté amont, le montant a poinçonné le mur très peu de temps après la pose tandis que le coulisement du montant est négligeable.

Le graphique de la figure 22 permet de comparer le coulisement des montants aval et amont d'un cadre avec l'affaissement en mesures absolues de la bête de ce cadre mesuré au centre et près des deux appuis.

On constate que, durant le premier mois qui suit la pose du cadre, donc jusqu'à ce que la taille soit à plus de 50 m du cadre, l'affaissement de la bête côté aval est égal au coulisement, ce qui permet de dire que le pied du montant aval n'a pas bougé. Ce n'est qu'après ce mois, qu'on constate un poinçonnage du mur par le pied de cadre.

Le tableau III permet de comparer les coulisements de quelques montants de cadres aval avec les affaissements en mesures absolues des bêtes mesurés à hauteur de leur fixation à ces montants aval. La différence entre les deux valeurs donne le poinçonnage du mur par le montant.

**426. Flèche des bêtes.**

Nous avons vu que la flèche moyenne de 7 bêtes réparties le long du tronçon variait de 3 à 35 mm avec une moyenne de 19 mm.

Indépendamment de ces 7 bêtes, les 6 plus grandes flèches mesurées ont été de 45, 57, 58, 95, 125 et 175 mm.

TABLEAU III.

Comparaison des coulisements et des affaissements de quelques cadres aval.

Affaissement de la partie supérieure des montants en mm	Coulissement des montants aval en mm	Poinçonnage du mur
292	36	256
341	195	146
150	23	127
381	83	298
354	97	257
312	99	213

Les deux plus grandes flèches ont été observées au centre du tronçon de voie de 50 m et se sont produites 2 à 6 semaines après leur pose.

**427. Poinçonnage du mur de la voie par les caissons.**

Le mur de la voie a été poinçonné par le pied des caissons surtout du côté opposé à la taille où l'on

n'avait pas placé des semelles métalliques spéciales sous les pieds des cadres.

Du côté opposé à la taille, le mur de la voie se trouvait, après 2 mois, à 750 mm en moyenne au-dessus du pied des cadres, les valeurs extrêmes étant de 550 à 985 mm (ces mesures ont été faites peu avant le rabassenage).

Du côté de la taille, le poinçonnage du mur a eu lieu 1 mois après la pose des cadres.

Après 2 mois, le mur de la voie se trouvait à 930 mm en moyenne au-dessus du pied des cadres, les valeurs extrêmes étant de 400 et de 1310 mm (ces mesures ont été faites peu avant le rabassenage).

Le relèvement relatif du mur par rapport aux pieds des cadres aval est dû en partie au soufflage du mur et en partie au poinçonnage du mur.

#### 428. Diminution de la hauteur de la voie.

La hauteur utile de la voie entre le bas de la bête et le haut du raillage était d'environ 2,80 m lors de la pose des cadres.

Par suite de la descente du toit et du soufflage du mur, cette hauteur utile mesurée dans la première moitié de tronçon de base a diminué fortement pour atteindre les valeurs suivantes :

- après 8 jours : 2,60 m
- après 1 mois : 2,40 m
- après 2 mois : 1,65 m

La figure 23 est une coupe en long de la voie donnant la variation de la hauteur deux mois après la pose des cadres.

On constate une différence dans la diminution de la hauteur entre la première moitié du tronçon d'essai et la seconde. La diminution maximum de la hauteur après 2 mois représente 40 % environ de la hauteur initiale.

La hauteur de la voie étant devenue trop petite, les 25 premiers mètres du tronçon d'essai ont été rabassés de 30 à 52 cm pour ramener la voie à une hauteur utile de 2,10 m environ.

Après 5 mois, la hauteur utile de la voie n'était plus que de 1,60 à 1,80 m pour le premier tronçon de 25 m et de 1,80 à 2,10 m pour le second tronçon de 25 m.

#### 429. Diminution de la largeur de la voie.

La largeur de la voie à 1,20 m de hauteur était de 3 m environ.

Cette largeur a diminué fortement au cours du temps pour atteindre les valeurs suivantes :

- après 8 jours : 2,70 m
- après 1 mois : 2,30 m
- après 2 mois : 2,20 m
- après 4 mois : 2,16 m

A la fin de l'essai, la largeur de la voie variait de 1,90 m à 2,30 m.

A la pose des cadres, la section utile était de 7,41 m<sup>2</sup>.

A la fin de l'essai, mais après un rabassenage de 30 à 50 cm effectué 2 mois après la pose, la section utile moyenne n'était plus que de 3,50 m<sup>2</sup> dans le premier tronçon de 25 m et de 4,50 m<sup>2</sup> dans le second tronçon de 25 m.

Les pressions de terrains semblent plus faibles dans le second tronçon de 25 m et, en regardant la figure 3, on remarque justement que ce tronçon se

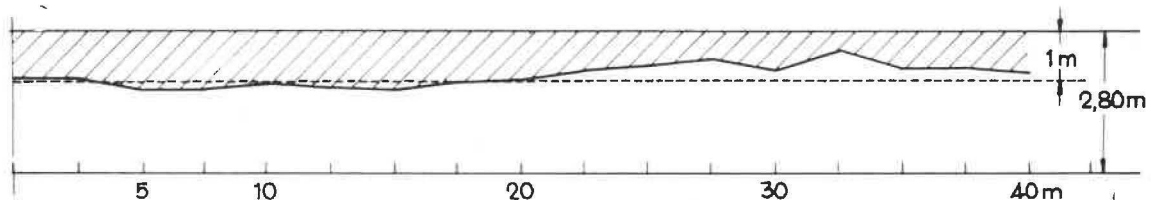


Fig. 23. — Coupe en longueur du tronçon de voie revêtu de cadres Flexomatic, indiquant la diminution de hauteur de la voie en fonction de la distance au premier cadre placé.

trouve en plein dans la zone où le pilier de charbon résiduel a 15 m de largeur. Il semble donc préférable de laisser un stot de charbon de 15 m qu'un de 7,50 m de largeur.

#### 5. DETERMINATION DES CHARGES AUXQUELLES LE SOUTÈNEMENT FLEXOMATIC A ÈTE SOUMIS EN FONCTION DES ESSAIS EN LABORATOIRE

Les figures 19 et 20 représentent la position de deux cadres Flexomatic lors de leur pose et après quelques mois.



Si l'on se réfère aux essais de coulissement effectués en laboratoire, l'ordre de grandeur des charges verticales auxquelles les montants de cadres ont été soumis, sont données dans le tableau IV.

**TABLEAU IV.**  
*Charges verticales auxquelles les montants de 18 cadres ont été soumis.*

	Nombre de cadres sur 18	Charges verticales
Côté amont	13	inférieures à 12 tonnes
	4	comprises entre 12 et 15 tonnes
	1	18 tonnes environ
Côté aval	1	inférieure à 12 tonnes
	2	comprises entre 12 et 15 tonnes
	2	comprises entre 15 et 18 tonnes
	13	18 à 19 tonnes

La charge verticale moyenne à laquelle un montant de cadre est soumis est d'environ 10 à 12 t du côté amont et de 18 t du côté aval.

Malgré la charge plus faible auquel il est soumis, la surface portante d'un montant amont qui est de 255 cm<sup>2</sup> n'est pas suffisante pour s'opposer au poinçonnage du mur ; on peut donc dire que le mur est poinçonné à une contrainte bien inférieure à 30 kg/cm<sup>2</sup>.

Du côté aval, où une semelle de 900 cm<sup>2</sup> est placée sous les montants de cadres, le mur n'est poinçonné qu'un mois environ après la pose des cadres, lorsque la charge à laquelle il est soumis doit être d'environ 18 t ; la contrainte de poinçonnage du mur doit être ici de 20 kg/cm<sup>2</sup>.

Il convient de noter ici qu'une contrainte de poinçonnage du mur de 20 kg/cm<sup>2</sup> correspond à un terrain très tendre.

Du côté amont, le coulissement de tous les montants fortement pliés est inférieur à 12 mm, tandis que du côté aval le coulissement des montants pliés était assez grand et avait même atteint 250 mm pour l'un d'eux.

En comparant les flèches des montants pliés relevées dans le fond avec les flèches mesurées lors des essais de laboratoire, on constate que la poussée latérale, supposée appliquée sur 30 cm de hauteur au centre du montant, doit être de 18 à 25 t du côté amont et de 14 t du côté aval. Si l'effort de poussée est réparti sur une plus grande hauteur, sa valeur doit être légèrement augmentée.

On constate donc que les deux-tiers seulement de l'effort exercé par le charbon laissé en place sur le montant amont se transmettent par les bèles au montant aval, tandis que le troisième tiers se transmet dans le mur de la voie par le pied du montant amont enfoncé de 40 à 60 cm dans le mur.

En comparant les flèches des bèles relevées dans le fond avec celles mesurées en laboratoire, nous pouvons estimer l'ordre de grandeur des charges auxquelles les bèles ont été soumises dans le fond, en partant des hypothèses suivantes :

- compression longitudinale ou non de la bèle ;
- répartition de la charge au centre de la bèle ou répartition uniforme de la bèle sur toute sa longueur.

1) La bèle est supposée n'être pas comprimée longitudinalement :

a) Si la charge est appliquée au centre de la bèle, la valeur moyenne de la charge qui a donné la flèche est de 14 t. Les 6 flèches maximums relevées, soit 45 à 175 mm, sont obtenues par des charges comprises entre 15,5 et 18,5 t.

b) Si la charge est supposée uniformément répartie sur toute la longueur de la bèle, la valeur moyenne de la charge est de 22,5 t, les charges maximums étant comprises entre 25 et 30 t.

2) Si la bèle est comprimée longitudinalement, en se basant sur l'essai décrit au par. 33, la flèche relevée au centre de la poutrelle sera plus petite pour les petites charges que si la poutrelle n'est pas comprimée longitudinalement tandis que l'inverse se produira pour les grandes charges.

Ainsi que nous venons de le voir, la bèle est comprimée longitudinalement par une charge de 8 à 14 t, ce qui nous rapproche des conditions de l'essai 2 de la figure 14. Or, on constate à cette figure que, pour une charge de flexion de 14 t, les flèches sont sensiblement égales dans les 2 cas.

Il semble donc que, pour les sollicitations auxquelles la bèle est soumise dans ce cas-ci, on soit justement dans le cas où l'effet de la compression longitudinale n'augmente ni ne diminue la flèche centrale de sorte que les conclusions tirées du cas 1 restent valables dans tous les cas.

Comme en réalité, les charges transmises à la bèle par le terrain sont plus ou moins réparties, on peut supposer que la charge moyenne supportée par une bèle soit de 21 t, ce qui correspond à une charge de 19 t/m<sup>2</sup> de section horizontale de voie. En supposant le poids des roches à 2,5 t/m<sup>3</sup>, il semble donc que cette charge de 19 t/m<sup>2</sup> soit due à un prisme de roche libre de 8 m de haut.

## 6. COMPARAISON ENTRE LES CADRES TRAPEZOIDAUX FLEXOMATIC ET LES CADRES TOUSSAINT HEINTZMANN

En amont et en aval du tronçon d'essai de 50 m, en cadres trapézoïdaux Flexomatic, la voie de tête



est revêtue de cadres Toussaint-Heintzmann, du type L.M.

Les voies revêtues de ces cadres de type L.M. ont une largeur utile de 4,32 m et une hauteur utile de 3,24. La section utile est de 11,16 m<sup>2</sup>.

Les 12 premiers mètres de cette voie de tête sont revêtus de cadres d'un profil de 29 kg/m placés à 0,50 m d'axe en axe. Le restant de la voie est revêtu de cadres d'un profil de 21 kg/m, placés à 0,35 m d'axe en axe.

#### 61. Déformations de la voie revêtue de cadres T.H. d'un profil de 29 kg/m.

Aucun rabassenage ni recarrage n'a dû être effectué dans le tronçon revêtu de cadres T.H. d'un profil de 29 kg/m.

#### 611. Diminution de la hauteur utile de la voie.

Deux mois après la pose, la hauteur utile de la voie était encore de 2,77 m au lieu de 3,24 m, ce qui correspond à une diminution de 14 %.

Après 5 mois, cette hauteur était encore de 2,68 m, soit une diminution totale de 17 %.

Du deuxième au cinquième mois, la convergence entre toit et mur a été de 90 mm dont 61 dus à la descente du toit.

#### 612. Diminution de la largeur de la voie.

Deux mois après la pose, la largeur de la voie était encore de 3,58 m au lieu de 4,32 m à la pose, ce qui correspond à une diminution de largeur de 17 %. Après 5 mois, cette largeur était encore de 3,50, soit une diminution de 19 %.

#### 613. Coulissemments des bèles des cadres T.H.

Le coulissemment des cadres T.H. d'un profil de 29 kg/m a été de 10 mm du côté opposé à la taille et de 65 mm du côté de la taille après 5 mois.

#### 62. Déformation de la voie revêtue de cadres T.H. d'un profil de 21 kg/m.

Aucun recarrage n'a eu lieu dans la voie revêtue de cadres T.H. d'un profil de 21 kg/m.

Un rabassenage de 30 à 50 cm a eu lieu sur toute la largeur de la voie dans le tronçon revêtu de cadres T.H. situé en arrière des cadres Flexomatic. Aucun rabassenage n'a eu lieu dans le tronçon situé en avant des cadres Flexomatic.

#### 621. Diminution de la hauteur utile de la voie.

##### a) Tronçon situé en arrière des cadres Flexomatic.

Après 1 mois, la hauteur n'est plus que de 2,42 m au lieu de 3,24 m à la pose, ce qui correspond à une diminution de hauteur de 25 %.

Après 2 mois, la hauteur moyenne n'est plus que de 2 m, soit une diminution totale de 39 % ; à ce moment, la hauteur utile la plus petite du tronçon est de 1,77 m.

La voie a ensuite été rabassenée de 30 à 50 cm. Après 5 mois, la hauteur utile moyenne de ce tronçon est de 2 m environ. Dans la période comprise entre 1 et 5 mois après la pose des cadres, les bèles des cadres sont descendues en valeur absolue de 210 mm en moyenne.

##### b) Tronçon situé en avant des cadres Flexomatic.

Après 5 mois, la hauteur utile de la voie est partout comprise entre 1,80 m et 2 m, mais contrairement au tronçon situé de l'autre côté des cadres Flexomatic, aucun rabassenage n'a dû être effectué dans cette partie.

#### 622. Diminution de la largeur de la voie.

Après 1 mois, la largeur de la voie n'est plus que de 3,30 m au lieu de 4,32 m à la pose, ce qui correspond à une diminution de 23 %.

Après 5 mois, cette largeur est encore de 3,12 m, soit une diminution de 28 %.

#### 623. Coulissemments des bèles des cadres T.H.

Le coulissemment des cadres T.H. d'un profil de 21 kg/m a été plus important que celui constaté par les cadres d'un profil de 29 kg/m.

Le coulissemment moyen après 5 mois des 4 sections mesurées régulièrement a été de :

- 300 mm du côté opposé à la taille ;
- 520 mm du côté de la taille.

## CONCLUSION

### COMPARAISON DES DEUX TYPES DE CADRES FLEXOMATIC ET TOUSSAINT-HEINTZMANN

#### 1. Prix des cadres.

Le prix d'un cadre Flexomatic complet, livré au charbonnage, est de 3.430 F.

Si les cadres sont placés à 0,50 m les uns des autres, le prix du revêtement de 1 mètre de voie, revient à 6.860 F. Le prix de ces cadres peut être légèrement abaissé en cas de livraison en grande série.

Le prix d'un cadre Toussaint-Heintzmann, type LM et 21 kg/m, est de 1.518 F. Si les cadres sont placés à 0,35 m les uns des autres, le prix du revêtement d'un mètre de voie revient à 4.554 F.

Le prix d'un cadre Toussaint-Heintzmann, type LM et 29 kg/m, est de 2.498 F. Si les cadres sont placés à 0,50 m les uns des autres, le prix du revêtement d'un mètre de voie revient à 4.996 F.

Comme nous comparons deux types de cadres, nous ne tenons pas compte du garnissage des cadres.

## 2. Pose des cadres.

La section utile à la pose d'un cadre Flexomatic est de  $7,40 \text{ m}^2$  avec une largeur de 3 m et une hauteur de 2,80 m.

La section utile à la pose d'un cadre Toussaint-Heintzmann de type LM est de  $11,50 \text{ m}^2$  avec une largeur de 4,52 m et une hauteur maximum de 3,24 m.

Dans le cas actuel, les cadres étant placés à l'arrière de la taille, il faut décompter de cette section le charbon et le bas-toit abattu en avant de la taille.

La section de roche restant à abattre dans le biseau est de  $4,7 \text{ m}^2$  avec les cadres T.H. et de  $2,8 \text{ m}^2$  avec les cadres Flexomatic. Il y a donc  $2 \text{ m}^3$  de roches en plus à abattre par mètre de voie dans le cas d'un revêtement par cadres T.H.

Le temps de pose d'un cadre, qui est à peu près indépendant de la section, doit être environ le même dans les deux cas pour un même espacement des cadres.

## 3. Entretien de la voie.

Dans le tronçon en cadres Flexomatic, la section utile est passée de  $7,40 \text{ m}^2$  à  $3,50 \text{ m}^2$  après 4 mois, malgré un rabassinage de 30 à 50 cm effectué 2 mois après la pose des cadres.

Dans le tronçon revêtu de cadres TH  $21 \text{ kg/m}$ , la section utile est passée de  $11,50$  à  $5,40 \text{ m}^2$  après 5 mois, et après un rabassinage de 30 à 50 cm effectué 2 à 3 mois après la pose des cadres.

Le rendement du rabassinage doit être le même avec les deux types de cadres.

Par contre, le recarrage du revêtement semble plus difficile avec les cadres trapézoïdaux par suite entre autres d'une difficulté plus grande pour arracher les montants de cadres ayant poinçonné le mur.

Sur les 50 m de voie, 17 caissons ont dû être remplacés. Pour faciliter leur remplacement, les caissons de 1,40 m enfoncés parfois de 600 mm dans le mur ont été remplacés par d'autres de 1 m de hauteur. Malgré ce changement, une équipe de 2 hommes n'a pu remplacer que 2 montants par poste. Il est vrai qu'il s'agissait pour eux d'un travail tout nouveau.

## 4. Récupération des cadres.

Le personnel n'étant pas habitué à ce type de cadres, une équipe de 4 hommes n'est parvenue à récupérer au maximum que 10 cadres complets par poste. Il est certain, d'autre part, que la longueur de voie équipée était trop courte pour permettre d'étudier la méthode de reprise adéquate.

Avec les cadres T.H. par contre, une équipe de 6 hommes récupère en moyenne 20 cadres complets par poste avec une pointe de 36 cadres.

## CONCLUSION GENERALE

La figure 20 permet de se rendre compte des mouvements relatifs d'un cadre Flexomatic depuis sa pose jusqu'à 4 mois plus tard.

Le montant amont, qui repose directement sur le mur de la voie, a poinçonné celui-ci à une charge inférieure à la charge de coulissement de 20 t.

Le montant aval, qui repose sur une plaque d'assise de  $900 \text{ cm}^2$  a coulissé régulièrement au début sans poinçonner le mur, mais après 1 mois, le mur a cependant été poinçonné à une contrainte inférieure à  $20 \text{ kg/cm}^2$ .

Les cadres ont surtout souffert de la pression latérale qui a provoqué la flexion des montants. Au total, 17 montants ont dû être remplacés au cours de l'essai, tous étant cependant plus ou moins pliés.

La flèche des bèles était dans l'ensemble très faible.

On doit noter la bonne qualité du système de liaison entre bèles et montants qui a pu résister aux pressions cependant élevées.

La récupération des cadres n'est pas facile à réaliser.

Ce premier essai a permis de se faire une idée sur le comportement de ce mode de soutènement en voie de chantier. Il en résulte déjà que c'est une méthode valable.

Elle pourrait devenir très intéressante si, comme aux Pays-Bas, des profils peuvent être remplacés par des rails de réemploi.

Les charbonnages de Limbourg-Meuse, qui n'ont pas toujours la possibilité de couper les voies en arrière, ont également demandé au constructeur d'étudier la possibilité de pouvoir desserrer les montants, tant au passage de la taille que lors de la récupération. Des prototypes d'un tel montant sont actuellement essayés aux Pays-Bas.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier la Direction et les services techniques des charbonnages de Limbourg-Meuse pour nous avoir autorisés à suivre en détail le comportement des cadres Flexomatic et à publier le résultat des observations et mesures faites dans le fond.

Nous remercions aussi MM. Gijzen et Vleeskens de Heerlen, pour leur collaboration ainsi que MM. Michiels et Janssens, techniciens à Inichar, pour toutes les mesures très précises qu'ils ont faites dans le fond.