

COMMUNAUTE EUROPEENNE DU CHARBON ET DE L'ACIER  
HAUTE AUTORITE

# **RECUEIL DE RECHERCHE CHARBON**

TECHNIQUE MINIERE

VALORISATION DU CHARBON  
COMBUSTION DU CHARBON

**Mecanisation du creusement au rocher  
Machine de creusement de galleries SVM 40**

RECUEIL N°

**4**



COMMUNAUTE EUROPEENNE DU CHARBON ET DE L'ACIER  
HAUTE AUTORITE

# **RECUEIL DE RECHERCHE CHARBON**

TECHNIQUE MINIERE

VALORISATION DU CHARBON  
COMBUSTION DU CHARBON

**Mecanisation du creusement au rocher  
Machine de creusement de galeries SVM 40**





### AVANT-PROPOS

Au cours des dernières décennies, la mécanisation des différents travaux dans les mines a également été poussée de façon intensive. Si l'on est parvenu à trouver des solutions satisfaisantes pour la plupart des opérations d'exploitation au fond et si, dans de nombreux cas, on s'emploie dès maintenant à faire un pas en avant par la mise au point de la télécommande ou même l'automatisation des appareils et engins d'exploitation, il n'existe encore nulle part une solution satisfaisante pour le creusement de galeries dans les roches dures.

La mécanisation du creusement des galeries doit permettre, d'une part, de réduire les prix de revient, d'accroître la durée des galeries et d'accélérer leur creusement, sans oublier l'économie de main-d'oeuvre qualifiée qu'il sera ainsi possible de réaliser. Elle doit, d'autre part, contribuer aussi à améliorer les conditions de travail et à accroître la sécurité grâce à l'élimination des travaux de tir.

Depuis 1958, un projet de recherche et de développement, qui bénéficie de l'aide financière de la Haute Autorité, est en cours à cet effet dans les mines de houille de la Communauté. Le présent fascicule rend compte de l'exécution de la première tranche de travaux entrepris dans le cadre de ce projet, qui a trait à la mise au point et à l'essai du prototype SVM 40, et expose les résultats et les enseignements acquis à cette occasion.

K. M. HETTLAGE



## SOMMAIRE

	<u>Page</u>
I. Description du projet de recherche	7
II. Principe de la machine SVM 40	7
III. Historique et construction de la machine SVM 40	15
IV. Essais au fond	19
A) Montage et contrôle des fonctions de la machine	19
B) Première série d'essais	19
C) Transformation du porte-outils, essais sur modèle	25
D) Deuxième série d'essais	25
E) Troisième série d'essais	26
F) Quatrième série d'essais	27
G) Démontage	28
V. Temps nécessaire pour les essais	28
VI. Résultats globaux	29
A) Machine	29
B) Installations annexes	30
C) Outils de foration	31
D) Exploitation statistique des essais	32
VII. Conclusions.	32

## LISTE DES FIGURES ET ANNEXES

### Figures :

1. Vue d'ensemble de la SVM 40 avec modèle de galerie au siège de la société Bade
2. Tête de foration de la SVM 40
3. Salle de montage et piste de démarrage de la SVM 40 à la mine Prosper III
4. Montage au fond de la tête de foration de la SVM 40
5. Paroi frontale forée à l'aide des trépan à galets à denture axiale
6. Modèle de la SVM 40 servant aux essais d'évacuation des produits de foration

### Annexes :

1. Déroulement chronologique des essais sur la SVM 40
2. Disposition des trépan à galets sur la tête de foration de la SVM 40  
(Version avec trépan à galets à denture axiale)
3. Disposition des trépan à galets sur la tête de foration de la SVM 40  
(Dernière version avec denture annulaire complète)
4. Rapport d'expertise Haldimann
5. Exploitation statistique des essais, effectuée par R. Coeuillet, Charbonnages de France.

## I. Description du projet de recherche

Le projet de recherche "machine de creusement de galeries" est destiné à mettre au point une machine servant au creusement entièrement automatique de terrains houillers dans les galeries au rocher, les objectifs plus particuliers consistant à accélérer et à réduire le coût du creusement des galeries, à faire l'économie d'une main-d'oeuvre qualifiée, à augmenter la sécurité du travail et à faciliter ce dernier.

Aux termes d'un accord, la Haute Autorité de la Communauté européenne du charbon et de l'acier a chargé le Steinkohlenbergbauverein de l'exécution du projet de recherche. Par la suite, ce dernier organisme a conclu des contrats correspondants avec le fabricant de la machine de creusement de galeries et avec l'entreprise minière dans laquelle la machine a été essayée.

Le fabricant de la machine de creusement de galeries SVM 40 est la société Bade & Co GmbH à Lehrte. C'est elle qui a conçu et construit la machine et qui a participé aux essais au fond.

Pour les essais, la Rheinstahl Bergbau AG a réservé une voie au rocher de la mine Prosper III à Bottrop. Les essais se sont déroulés à l'étage 786 m du premier quartier sud, partie est, dans une galerie de taille de la veine Mathilde I (anciennement Hugo). Pour la durée des essais, la mine a détaché des ouvriers qualifiés ainsi qu'une personne préposée à la surveillance, tout en assurant l'intégration des essais dans les travaux du siège d'extraction.

## II. Principe de la SVM 40

La société Bade construit des machines minières, des installations d'outillage et de foration ainsi que des installations pour la construction de puits. Depuis longtemps déjà, elle travaille dans le domaine du creusement entièrement automatique des roches minières; la mise au point du Bohrwolf (foreuse) Bade ainsi que celle de la machine de creusement de galeries SVM 33 pour roches salines lui a permis de recueillir de nombreuses expériences dans ce domaine.

Quand la société Bade a présenté en 1956 une proposition concernant une machine de creusement de galeries pour terrains houillers, le Steinkohlenbergbauverein s'y est intéressé et l'a discutée en détail. A cette époque, si l'on disposait d'études et de techniques consacrées au charbon et aux terrains morts tendres, mises au point dans certains pays étrangers possédant une industrie minière, on ne connaissait pas de projets correspondants pour roches dures.

C'est pourquoi la proposition de la société Bade, qui en raison de son expérience offrait une certaine garantie de compétence dans ce domaine, a constitué le point de départ des travaux ultérieures du projet de recherche.

Etant donné l'importance considérable du projet en question pour l'industrie minière de la Communauté européenne, la Haute Autorité a décidé de donner son appui à ce projet de recherche. En vue d'accélérer sa mise au point, on a envisagé la construction d'une machine destinée à la fois aux industries houillères allemande et française. Au cours de la phase préparatoire, l'ancienne proposition de la société Bade, prévoyant une machine de creusement de galeries d'un diamètre de 3,70 m, a été modifiée à la demande de l'industrie minière française, et le diamètre a été porté à 4 m. Par la suite, la construction de la machine destinée à la France fut arrêtée, les essais effectués en Allemagne ayant révélé des défauts techniques fondamentaux.

Afin de permettre à la Communauté européenne de suivre et de contrôler la réalisation du projet de recherche, la Haute Autorité a créé un comité d'étude composé d'un représentant compétent de chaque pays de la Communauté possédant une industrie houillère.



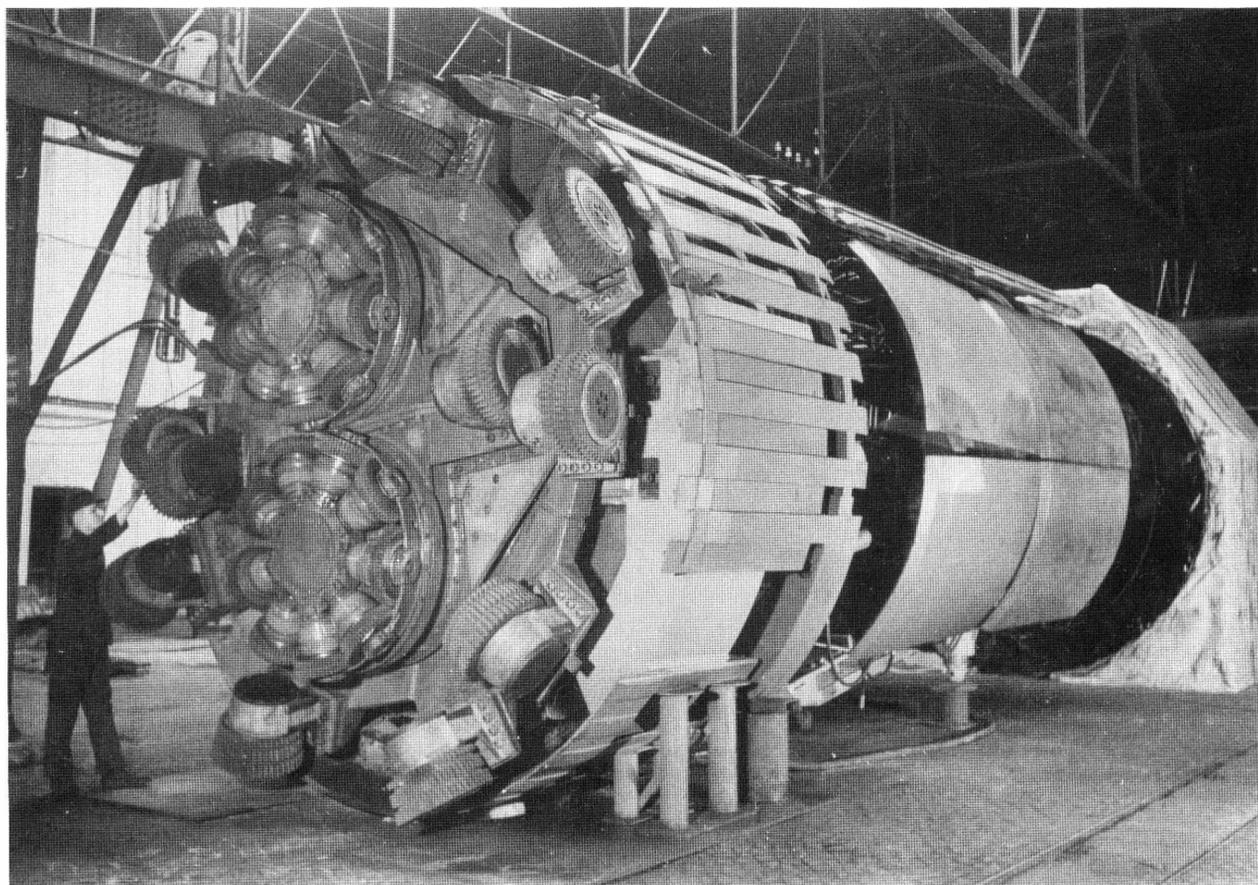


Figure 1

Vue d'ensemble de la SVM 40 avec modèle de galerie au siège de la société Bade.



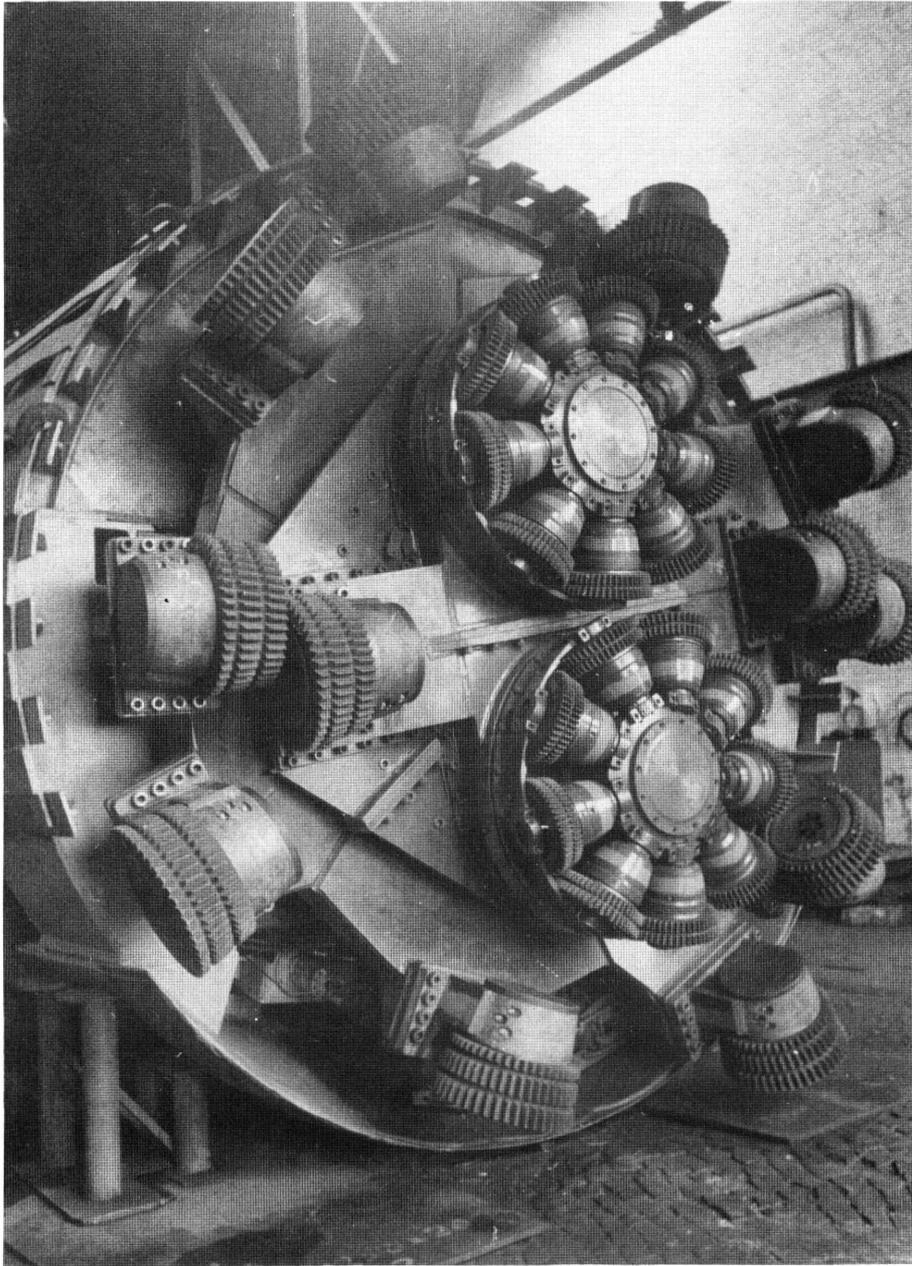


Figure 2

Tête de foration de la SVM 40.





Figure 3

Salle de montage et piste de démarrage de la machine SVM 40 à la mine Prosper III.



### III. Historique et construction de la SVM 40

La proposition de la société Bade concernant une machine de creusement de galeries pour roches dures carbonifères, présentée en 1956, était fondée sur les expériences propres réalisées par cette société dans le domaine des machines minières et s'inspirait des expériences, encore rares à l'époque, acquises par l'utilisation d'autres modèles de machine de creusement de galeries. Cette proposition avait été examinée en son temps au sein du comité d'experts du Steinkohlenbergbauverein; elle a abouti en 1957 à la commande d'une machine de creusement de 3,70 m de diamètre. Par la suite, la société Bade a et fabriqué les différents éléments de construction et construit la machine dans son ensemble.

La machine de creusement de galeries SVM 40 a une longueur de 8 m et un diamètre de 4 m. Elle se compose essentiellement des quatre parties suivantes :

- 1) la tête de foration avec engrenage de foration, moteurs hydrauliques et cylindres ravanceurs,
- 2) les éléments de support avec auget de pelletage, installation de transport et recouvrements,
- 3) le châssis avec le premier moteur de commande et
- 4) l'installation hydraulique avec le deuxième moteur de commande, la pompe hydraulique, le réservoir à huile et le poste de conducteur.

Les deux moteurs de commande électriques ont une puissance de 275 kW chacun et sont actionnés grâce à une tension de 5 000 V. Le moteur 1, par l'intermédiaire d'un embrayage, agit directement sur l'engrenage de foration, actionné en outre par quatre moteurs hydrauliques. Le convoyeur à raclettes est actionné grâce à un moteur hydraulique.

Les outils du trépan à galets ont été fabriqués par la société Söding & Halbach. A cette époque, l'emploi de trépan à galets pour effectuer des forations de grandes dimensions dans les terrains houillers était connu depuis quelques années seulement, et leur évolution vers la denture annulaire n'avait pas encore pris naissance. C'est pourquoi la tête de foration de la SVM 40 était encore adaptée aux trépan à galets comportant une denture axiale, usuels à cette époque, et équipé de ses outils de foration. Comme il s'est avéré lors des essais ultérieurs, cette circonstance a présenté des inconvénients en raison de la longue période de mise au point et de construction de la machine.

Pendant la période de construction, les éléments du convoyeur de la SVM 40 ont fait l'objet d'une attention particulière. Se fondant sur certaines données concernant le calibre des produits de foration, acquises lors de l'utilisation de la SVM 33 et de la foreuse, notamment dans les mines de potasse, on a choisi le principe du convoyeur à raclettes. Par ailleurs, le principe de construction adopté, comportant un auget de pelletage comme élément de soutien, n'a pas permis l'adoption d'un moyen de transport connu et ayant donné satisfaction dans le passé. A la suite d'essais préliminaires effectués par la société Bade dans des roches de travers-banc d'une mine de la Ruhr, le convoyeur à raclette a été reconnu comme étant un moyen de transport utilisable.

Au cours de la période de construction, un essai de fonctionnement de la machine a toutefois permis de reconnaître que le système de commande prévu à l'origine pour la tête de foration était défectueux et inutilisable. Par la suite, il a été nécessaire de procéder à la refonte et à la reconstruction de l'ensemble du système hydraulique de commande.

La construction de la SVM 40 a duré environ trois années; elle s'est terminée fin 1960. En février 1961, la machine, assemblée chez le fabricant, a été présentée au comité d'experts ainsi qu'au comité d'aménagement et de traçage créé au sein du Steinkohlenbergbauverein (fig. 1). Elle fut ensuite décomposée en ses éléments et transportée au puits d'essai Prosper III à Bottrop (fig. 2).



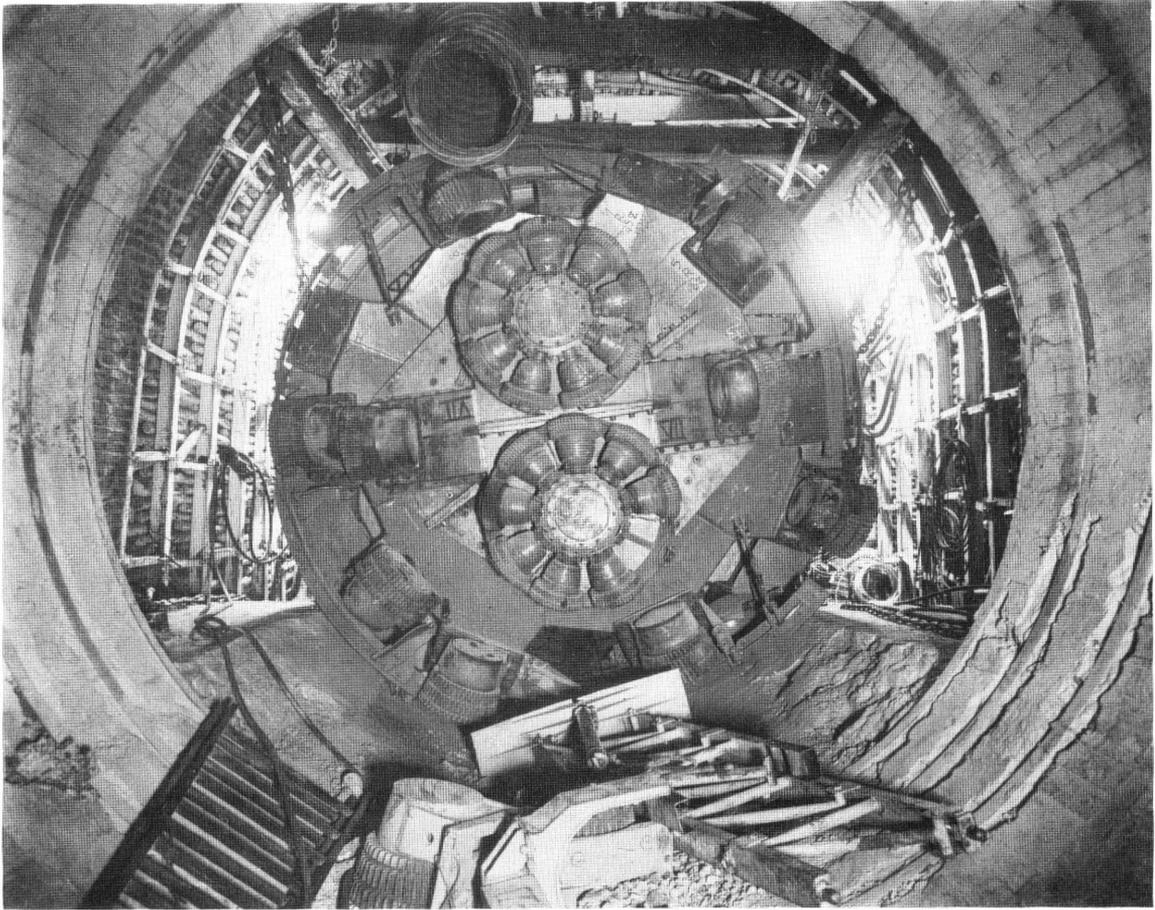


Figure 4

Montage au fond de la tête de foration de la SVM 40.



#### IV. Essais au fond

##### A) Montage et contrôle des fonctions de la machine

Période : 7-11-1961 au 19-3-1962

95 journées de travail (Annexe 1)

Pour le montage et le démarrage de la SVM 40, on a prévu l'aménagement suivant : un atelier de montage de 12 m de longueur, 5,5 m de hauteur et 6,5 m de largeur au sol, ainsi qu'une piste de démarrage de 9 m de longueur et 4 m de diamètre. Dans la couronne de l'atelier de montage étaient installées quatre poutres transversales et une poutre longitudinale utilisées comme poutres auxiliaires de montage (fig. 3).

Le montage de la SVM 40 s'est effectué en six semaines environ. Le point d'exploitation fut ensuite installé en environ trois semaines et la machine soumise à un contrôle de fonctionnement (fig. 4). Les premiers défauts ont été mis en évidence dans le débrayage à couronne et dans les moteurs hydrauliques. Ces pièces ont été immédiatement remplacées. En outre, il a fallu transformer l'anneau d'écartement.

L'installation, par la suite, de la machine de creusement de galeries sur la piste de montage a mis en évidence certains défauts du train d'engrenage planétaire, qui exigèrent des réparations de longue durée et environ 210 postes de travail.

##### B) Première série d'essais

Période : 20-3-1962 au 20-7-1962      Avancement : 2,6 m environ

85 journées de travail

Résultat : Les premiers essais de foration ont été interrompus à différentes reprises à la suite de dommages causés à différentes pièces de la machine et en raison de l'éboulement de roches arrachées à la paroi frontale.

L'embrayage à couronne n'a pas encore fonctionné d'une manière satisfaisante. Il s'y est ajouté des pannes du train d'engrenage planétaire et de deux moteurs hydrauliques, ce qui a imposé un remplacement de l'ensemble du train d'engrenage planétaire aussi bien que des moteurs hydrauliques. On a simultanément remplacé deux pompes hydrauliques.

L'atelier de démarrage étant resté en place pendant une longue durée, la paroi frontale s'est relâchée de manière à rendre impossible tout forage systématique, des blocs de grand calibre étant continuellement arrachés du massif. Afin d'améliorer la consistance de la paroi frontale, celle-ci a été consolidée au début des essais au moyen de résines synthétiques compressées.

Au cours des essais ultérieurs, on s'est heurté à une difficulté inconnue (fig. 5) : du menu de foration fin et très fin s'est accumulé au bas de la galerie et n'a pu être évacué d'une manière normale. Il en résulta l'obturation des entredents étroits (Annexe 2) des trépan à galets de la zone de coupe extérieure (n° 1, 2, 3, 4) par du menu de foration très fin, la formation d'une masse de forme cylindrique et l'impossibilité pour les trépan à galets de fonctionner normalement. Ainsi les résistances à l'avancement accusaient des différences entre les parties supérieure et inférieure de la couronne de foration, ce qui conduisit à des dommages fréquents et finalement à la déformation du porte-outils extérieur dans son ensemble. C'est pourquoi la puissance d'avancement de la SVM 40 a dû être ramenée jusqu'à 30 à 40 % de sa poussée maximum. Par la suite, cette difficulté a même eu pour effet l'arrêt des essais de foration, le porte-outils ayant dû être renforcé.





Figure 5

Paroi frontale forée à l'aide des trépan à galets de la SVM 40, à denture axiale.



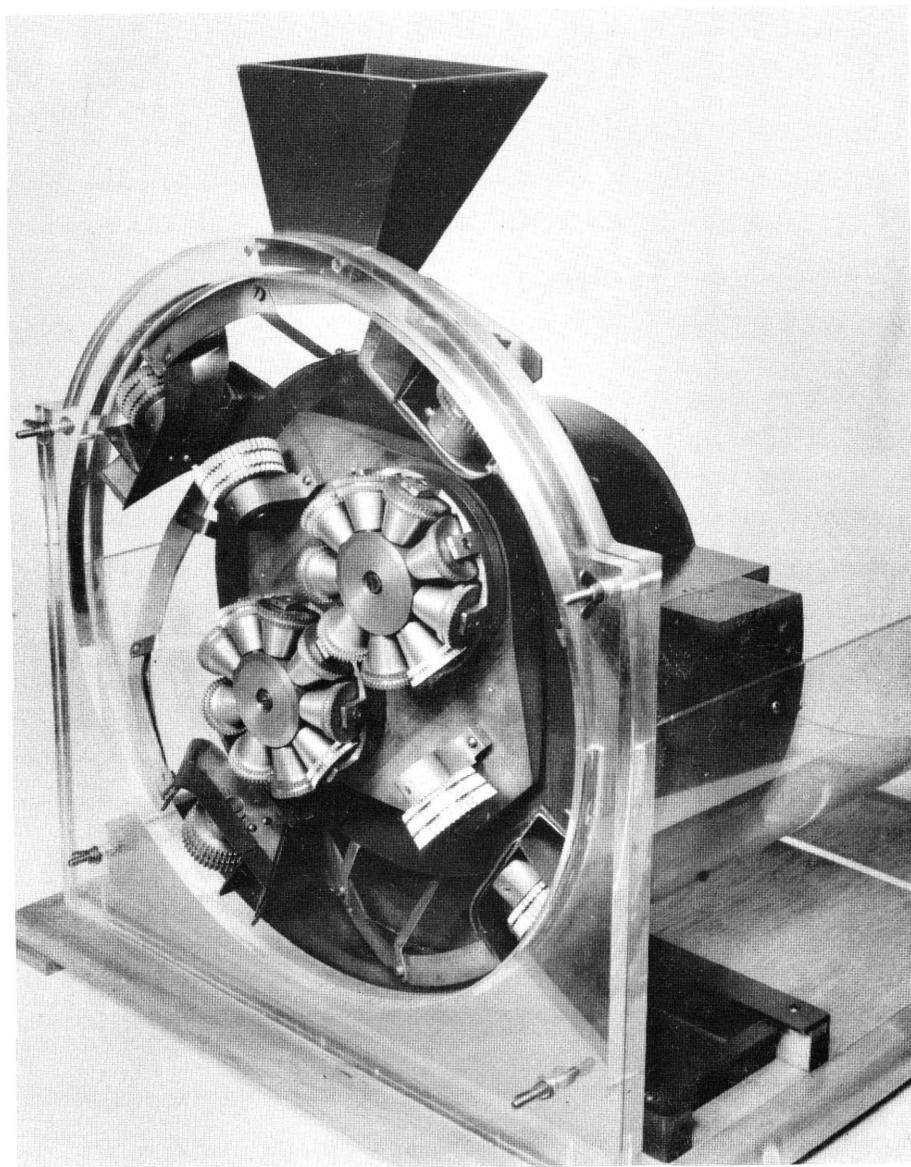


Figure 6

Modèle de la SVM 40 servant aux essais d'évacuation des produits de foration.



Les deux convoyeurs à raclettes dans l'auget de pelletage n'ont pas travaillé d'une manière satisfaisante pendant ces mêmes essais. Des roches de gros calibre n'ont pu être évacuées et ont finalement bloqué les outils et le porte-outils. La modification de ces éléments a également dû être effectuée.

### C) Transformation du porte-outils, essais sur modèle

Période : 21-7-1962 au 29-10-1962

72 journées de travail

En raison du travail inégal, déjà mentionné, du porte-outils extérieur, les différents segments se sont détachés l'un de l'autre, des vis devant être fréquemment ajoutées. Des déformations se produisirent en nombre accru, ce qui amena à envisager le renforcement général du porte-outils extérieur. A cet effet, celui-ci fut démonté et les pièces détachées retournées au fabricant.

A cette occasion, les quatre moteurs hydrauliques ainsi que l'anneau d'écartement furent également démontés en vue de leur révision et amélioration chez le constructeur. En outre, le démontage de la machine a pu être utilisé pour remplacer l'embrayage à couronne, assujetti à des pannes fréquentes, par un embrayage Prodan.

Simultanément, les deux convoyeurs à raclettes dans l'auget de pelletage furent remplacés par un convoyeur neuf, d'une construction à la fois plus simple et plus large.

Ces travaux de transformation, y compris les opérations de longue haleine consacrées au démontage et au montage au fond, ont duré trois mois. Cette période a été utilisée en vue de perfectionner le ramassage des produits abattus dans la partie inférieure de la couronne de foration afin de dégager ainsi le bas de la galerie des matériaux de petite granulométrie.

L'écoulement du menu de foration a été simulé et observé (fig. 6) sur un modèle à l'échelle 1 : 10 de la tête de foration de la SVM 40, modèle en état de fonctionner. Les essais sur modèle ont permis de constater que, parmi les différentes formes utilisées de tôles d'évacuation et de socs de chargement, le recouvrement aussi complet que possible des quatre trépan à galets extérieurs ainsi qu'une forme oblique et rallongée des socs de chargement offraient un maximum d'efficacité. Le résultat des essais sur modèle fut utilisé pour la construction de la SVM 40, où toutefois les revêtements, exécutés à l'image du modèle, n'ont pas fonctionné d'une manière aussi satisfaisante que sur ce dernier. Par la suite, on utilisa à nouveau les anciennes tôles d'évacuation ainsi que des socs de chargement modifiés.

### D) Deuxième série d'essais

Période : 30-10-1962 au 15-1-1963 Avancement : 1,50 m environ.

54 journées de travail

Résultat : les essais de foration suivants furent à nouveau interrompus par des pannes survenues dans certaines pièces de la machine. Les efforts intenses consacrés au perfectionnement du ramassage des produits abattus n'ont pas abouti au résultat souhaité.

Après la transformation, le porte-outils n'a plus été endommagé, en dépit des charges auxquelles il continuait d'être soumis en raison de l'obturation des trépan à galets. Le blocage du porte-outils intérieur n'a pas donné lieu à une interruption majeure. Il fut démonté afin de permettre la suppression de la cause du blocage sur le joint à labyrinthe.

L'avancement, alors atteint de quelques mètres, fut encore réalisé avec l'équipement initial des outils de foration (voir figure 2). Il s'agissait

des trépan à galets à denture axiale serrée, prévus au moment de la conception de la machine, dont les 4 trépan extérieurs étaient continuellement recouverts de fin menu de foration. C'est pourquoi la suppression de cette cause de souillure continuait d'être la tâche la plus urgente, étant donné ses répercussions sur l'état général de la machine.

L'ensemble des tentatives destinées à évacuer par poussée mécanique le fin menu de foration de la partie inférieure de la galerie étant resté sans succès, on a commencé, au cours de la seconde moitié de la deuxième série d'essais, à réduire les effets de l'obturation des trépan à galets extérieurs en modifiant la forme de ces derniers. On monta d'abord deux trépan à galets à denture axiale espacée, avec un anneau broyeur avancé. Toutefois, cette construction n'a pas donné satisfaction.

Dans l'intervalle, la paroi frontale s'était à nouveau fortement éboulée pendant les longues périodes d'arrêt, de manière qu'il a fallu procéder à une deuxième consolidation à l'aide de résine synthétique.

Au cours de la deuxième série d'essais, l'avancement réalisé n'a pas dépassé 0,4 cm/mn en moyenne. L'avancement minimum était de 60 cm par jour.

#### E) Troisième série d'essais

Période : 16-1-63 qu 8-8-63 Avancement : 27,5 m environ.

146 journées de travail

Résultat : Les plus grands défauts tenant au principe et à la construction de la machine ayant été supprimés, les outils de foration furent améliorés en plusieurs étapes. L'utilisation de trépan à galets à denture annulaire a permis d'augmenter la puissance d'avancement.

C'est à la troisième série d'essais qu'ont commencé les essais proprement dits des outils de foration. Se fondant sur le résultat des essais antérieurs, on a mis au point et construit un ensemble de formes nouvelles de trépan à galets. Ces travaux étaient nettement orientés vers les trépan à galets à denture annulaire, adaptés à la structure de la SVM 40.

Le creusement du périmètre du cercle de foration se heurtant à des difficultés particulières, en raison, d'une part, de l'effet de coin particulièrement intense, d'autre part de l'obstruction fréquente des galets, les galets n° 1 à 4 ont été d'abord utilisés avec un anneau broyeur avancé et une denture axiale espacée. L'anneau broyeur était plus efficace, parce qu'il ne fallait plus attaquer avec un angle aigu dans la matière solide. Toutefois, la denture axiale des autres galets était encore insuffisante et fut remplacée au cours de la phase de mise au point suivante par une roue dentée.

Les trépan à galets n° 5 à 12 (voir annexe 2) dans la zone de coupe moyenne ont été tous munis d'une denture axiale espacée, l'ancienne denture étroite ayant fourni trop de matériaux de petit calibre.

Les deux porte-outils de la zone épicycloïdale étaient équipés à l'origine de 9 trépan à galets chacun avec denture axiale étroite (n° 13 à 30 de l'annexe 2). Leurs trajets de coupe dans la paroi frontale montrant un degré de fragmentation beaucoup trop élevé, leur nombre a été ramené, au cours des premiers essais de foration, à 6, puis à 3 pour chaque zone. En outre, tous les trépan planétaires ont été munis d'une denture espacée.

Ces modifications des outils de foration ont déjà eu pour effet d'améliorer et le fonctionnement des trépan à galets et la marche silencieuse de la machine. Au cours de la troisième série d'essais, on a ainsi pu obtenir une avance de 0,75 cm par mn en moyenne. L'avance maximum par jour était de 130 cm parcourus en 100 mn de foration.

Pendant cette dernière série d'essais, également, les travaux ont été fréquemment interrompus par des troubles mécaniques, notamment par une panne des moteurs hydrauliques; toutefois, l'avancement a été également entravé par l'éboulement de roches de gros calibres arrachées à la paroi frontale : les tôles d'évacuation et les socs de chargement furent endommagés ou arrachés, et le convoyeur à raclettes fut bloqué. Ces pannes, en particulier celles qui ont affecté le matériel de transport en raison de l'insuffisance des possibilités de transport pour roches de gros calibre, supérieur à 200 mm de diamètre, n'ont pas permis de dépasser une durée de foration continue de 145 min. aux maximum. Néanmoins, des essais de foration ont pu être effectués pendant cette même période, avec des intervalles d'une durée sensiblement inférieure.

Etant donné les troubles fréquents du système hydraulique, M. Haldimann, expert hydraulicien a été consulté. En procédant à des modifications relativement mineures du système hydraulique, il réussit à obtenir un fonctionnement non perturbé des moteurs hydrauliques jusque vers la fin de la série d'essais. (En raison de son importance, le texte du rapport d'expertise rédigé par M. Haldimann au sujet de l'installation hydraulique de la SVM 40 figure à l'annexe 4).

#### F) Quatrième série d'essais

Durée : 9-8-1963 au 26-9-1963      Avancement : 6,4 m environ.

40 journées de travail

Résultat : La tête de foration ayant été complètement équipée de trépan à galets à denture annulaire, le fonctionnement et la puissance d'avancement de la machine en ont été améliorés. Toutefois, les éléments de transport de la machine n'ont pas toujours pu évacuer les produits abattus, partiellement de gros calibre, ce qui causa des perturbations et des interruptions qui ont entravé le déroulement de la foration.

L'exploitation des résultats obtenus au cours de l'essai des trépan à galets de la troisième série d'essais, ainsi que les connaissances acquises au cours de ces dernières années en matière de forations perpendiculaires de grand diamètre, exigeaient la poursuite des travaux en direction de l'équipement complet de la SVM 40 avec trépan à galets à denture annulaire. C'est pourquoi les trépan à galets extérieurs n° 1 à 4 ont été munis de dentures annulaires supplémentaires en vue de la foration du périmètre de la galerie, venant s'ajouter à l'anneau broyeur déjà monté. La denture espacée des trépan à galets n° 5 à 12 a été également remplacée par une denture annulaire complète (annexe 3).

De même, les trépan à galets de la zone planétaire, jusqu'à présent munis d'une denture axiale, furent équipés d'une denture annulaire, celle-ci ne comportant toutefois qu'un seul anneau tranchant. En n'utilisant que 3 trépan à galets ainsi équipés, l'usure fut rapidement telle, qu'il a fallu monter 6 trépan. Ces derniers ont fonctionné jusqu'à la fin de la série d'essais et connurent une usure moindre qu'auparavant.

Bien que, en raison de la surface de foration horizontale due à la construction de la SVM 40, l'on ne pouvait pas s'attendre à un effet de coin de la denture annulaire, tel qu'il se produit par exemple en cas de disposition étagée, le fonctionnement de la machine a été sensiblement amélioré. On a constaté une marche plus silencieuse de la machine ainsi qu'une charge moindre et plus régulière des moteurs. Le menu de forage était d'un calibre supérieur. Simultanément, l'empoussiérage a diminué.

Ces avantages ont également eu pour effet d'améliorer la puissance d'avancement. Au cours de la quatrième série d'essais, on a réalisé en moyenne une puissance d'avancement de 1,2 cm par minute. L'avancement maximum était de l'ordre de 2 cm par minute.

Toutefois, des interruptions répétées ont empêché tout avancement d'une assez longue durée, la foration continue n'ayant été que de 75 cm au maximum au cours de la quatrième série d'essais. Les arrêts étaient dus en premier lieu aux dommages et destructions causées aux socs de chargement et au convoyeur à raclettes par l'éboulement de roches de calibre moyens et de gros calibre, arrachées à la paroi frontale et ne pouvant pas être évacuées à l'aide du convoyeur. A plusieurs reprises, des roches de gros calibre ont bloqué les porte-outils tournant en sens contraire. Elles durent chaque fois être évacuées à la main. D'autre part, on a reconnu que la capacité du convoyeur à raclettes était insuffisante pour contenir le produit de foration correspondant à un avancement de 1 à 2 cm/min. Il n'était pas possible d'assurer l'évacuation régulière des produits abattus. D'autre part, c'est pour ces raisons et à la demande de l'organisme de recherche, qui, en raison du déroulement du plan d'aménagement et de traçage, ne pouvait pas céder plus longtemps la piste d'essais, qu'a été décidé l'arrêt des essais et le démontage de la machine.

#### G) Démontage

Durée : 27-9-1963 au 9-12-1963

52 journées de travail

Le démontage de la SVM 40 n'a pas exigé un espace particulier. C'est seulement à l'avant et à l'arrière de la machine que devait être réservée une partie de galerie, soutenue et longue de 5 m. Le désassemblage de la SVM 40 commença par celui des éléments accessoires, du matériel de transport, des installations d'aéragage et de l'installation de dépoussiéragage. Ces travaux ont nécessité une semaine environ.

Le démontage de la machine de creusement de galeries elle-même a duré 8 semaines. A cet effet, les outils de foration, les porte-outils et certains éléments de l'engrenage devaient être démontés vers l'avant, alors que toutes les autres parties de la machine étaient continuellement démontées dans la direction de l'avancement, c'est-à-dire de l'arrière vers l'avant. Afin de réserver un espace suffisant près de la machine et à l'intérieur de la galerie forée, tous les éléments démontés ont été immédiatement transportés dans le travers-banc situé à proximité, pour y être entreposés. Les installations électriques ont été démontées en même temps que la machine.

Les travaux effectués sur la machine ont été entravés par des éboulements de matériaux, provenant notamment de la veine en place à la couronne. Cela exigera de longs travaux de soutènement.

Le transport des pièces de grande dimension de la machine a causé des difficultés. Ces pièces étaient trop encombrantes et trop lourdes pour pouvoir être transportées normalement au fond.

#### V. Temps nécessaire pour les essais

L'ensemble des essais s'est effectué en 544 journées de travail, dont chacune comportait une durée de travail de 14 ou de 7 heures. Calculée en heures de travail, on obtient ainsi une durée totale de 7 301 heures de travail. Celles-ci se répartissent comme suit sur les différentes opérations :

	Heures unitaires	%
1. Montage de la machine	550	7,5
2. Examen des fonctions, essai du dispositif de remplacement des trépan à galets, avancement de la machine	198	2,7

	Heures unitaires	%
3. Réparation des dommages	1 960	26,9
a) Embrayage à couronne	(498)	(6,8)
b) Engrenage planétaire	(465)	(6,4)
c) Pompes hydrauliques	(140)	(1,9)
d) Moteurs hydrauliques	(450)	(6,2)
e) Embrayage Prodan	(42)	(0,6)
f) Joints à labyrinthe du porte-outils	(365)	(5,0)
4. Modifications apportées au porte-outils, au convoyeur à raclettes et à l'anneau d'écarte- ment	1 435	19,7
5. Transformation des trépan à galets	1 095	15,0
6. Arrêts dus au comportement des roches (éboule- ments de la paroi frontale, éboulements posté- rieurs des couronnes, etc)	630	8,6
7. Entretien de la machine	670	9,2
8. Divers (p. ex. durcissement du rocher, modifica- tion de l'aspiration des poussières, visites)	260	3,5
9. Temps consacré à la seule foration	90	1,2
10. Démontage de la machine	413	5,7
	7 301	100,0

Ce tableau montre que le creusement des galeries était loin de pouvoir s'effectuer d'une manière continue, la majeure partie de la durée du travail, égale à 70 % environ, ayant été nécessaire pour réparer les dommages mécaniques, enlever des morceaux de roche, transformer certaines parties de la machine et procéder à des modifications imposées par le fonctionnement peu satisfaisant de certains éléments. Le temps consacré à la seule foration ne représentait que 1,2 % de la durée totale des essais.

#### VI. A) Résultat global de la machine

Les travaux de transformation ont permis de constater que la machine doit pouvoir être transportée plus facilement, d'une part, et montée et démontée à la fois plus facilement et plus rapidement, d'autre part. Certains éléments faisant l'objet de pannes fréquentes étaient d'un accès difficile et ne purent être remplacés qu'après démontage de toute une série d'autres éléments.

Les défauts mécaniques constatés sur la machine au début des essais, défauts affectant notamment l'embrayage principal, l'engrenage planétaire, le porte-outils et le système hydraulique, ont été reconnus et supprimés pour la plupart. Les réparations de l'engrenage exigeaient un temps considérable, des travaux préalables d'une certaine importance s'avérant chaque fois nécessaires.

Les deux moteurs électriques, d'une puissance de 275 kW et d'une tension de 5 000 V chacun, ont fonctionné d'une manière satisfaisante. Les commandes hydrauliques, au contraire, ont fait preuve d'une grande sensibilité. Ce n'est qu'une fois effectuées les modifications proposées (annexe 4) par un expert hydraulicien qu'on a pu constater une amélioration notable. Pendant toute la durée des essais, la consommation d'huile a été très élevée. Toutefois, elle était essentiellement due à des pertes d'huile considérables à la suite de l'arrêt répété des hydro-moteurs. C'est pourquoi il n'a pas encore été possible de mesurer la consommation d'huile normale.

Le matériel d'avancement ainsi que les éléments servant à haubaner les parties postérieures de la machine n'ont pas été perturbés; toutefois, la mobilité radiale des plaques de pression ainsi que leurs possibilités d'adaptation

au front de taille parfois entamé par des éboulements n'ont pas suffi à assurer dans chaque cas un haubanage satisfaisant.

En ce qui concerne les possibilités de commande, il a été constaté que la machine ne pouvait pas être commandée d'une manière satisfaisante dans le sens de la hauteur. Au cours de l'avancement global, elle a constamment dévié vers le bas, de manière qu'après un avancement d'environ 38 m elle avait baissé de 1,18 m par rapport à sa position de départ. La correction de la direction de la machine au cours des 10 derniers mètres n'a pas eu d'effets. Dans le sens latéral, également, la machine a dévié de 0,90 m par rapport à l'axe de la galerie. Il en résulta la formation, à partir de la base, d'une couche très dure de grès, qui pénétra partiellement dans le profil de la galerie; elle dut être également attaquée à l'aide des outils de foration et entrava considérablement l'ensemble des travaux. Cette circonstance favorisait également les éboulements de roches de gros calibres.

La plupart du temps, les moyens de transport utilisés pour l'évacuation des produits de foration, à savoir le convoyeur à raclettes et une courroie transporteuse en caoutchouc reliée au premier, n'ont pas pu remplir leur tâche. Aussi longtemps que les produits de foration étaient de petit calibre, c'est-à-dire inférieur à environ 150 à 200 mm, le blocage et les dommages du convoyeur à raclettes étaient rares. Au contraire, avec l'augmentation du calibre des produits de foration, notamment au cours de la 4ème série d'essais, les pannes du matériel d'évacuation se sont multipliées. Le convoyeur à raclettes a été constamment bloqué et le point de déversement entre le convoyeur à raclettes et la bande transporteuse en caoutchouc fréquemment obstrué. A plusieurs reprises, des roches de gros calibre ont arraché les tôles d'évacuation et les socs de chargement, de leurs fixations sur le porte-outils, ce qui nécessita de longues réparations. Au cours de l'avancement, des roches de gros calibre ont bloqué non seulement le matériel transporteur, mais aussi le porte-outils tournant en sens contraire, les moteurs hydrauliques ayant ainsi dû supporter des charges de pointe très élevées. Pour des raisons tenant à la construction de la SVM 40, il n'a pas été possible de modifier cette situation. Une pareille modification aurait exigé une modification complète de la tête de foration et de ses commandes.

En résumé, il y a lieu de constater qu'une partie importante des nombreux arrêts était due à des pannes d'éléments mécaniques qui sont habituelles chez les autres machines et qui ont déjà fait l'objet de solutions satisfaisantes dans le cas de projets analogues.

#### B) Résultat global des installations annexes

Etant donné l'avancement peu important, la bande transporteuse, un convoyeur à double chaîne à raclettes PFO, n'était pas soumis à une charge particulière.

L'ensemble de l'installation électrique a fonctionné sans pannes. A cet égard, il y a lieu de souligner que c'était la première fois, du moins dans l'industrie houillère allemande, qu'une machine mobile installée au fond a été directement alimentée par une tension de 5 000 volts, sans que des incidents ne se soient produits.

En raison du travail intense de broyage fourni par les outils, en particulier dans la zone planétaire, la production de poussières était sensiblement plus importante que l'on ne s'y était attendu. C'est pourquoi le rendement de l'installation de dépoussiérage était insuffisant. La transformation des conduites de poussière ainsi que de l'appareil de dépoussiérage, effectuée pendant les essais, ainsi qu'un revêtement perfectionné des chambres à poussière, n'a pas remédié à cette situation d'une manière sensible. Toutefois, les revêtements de la zone intérieure de la machine ont souvent entravé les travaux de réparation effectués sur le matériel de transport.

L'aérage soufflant de la galerie, avec une ligne de canar de 600 mm de diamètre, a été suffisant pour les besoins des essais. Pendant les essais de foration, la machine de climatisation a travaillé sans pannes. Elle était

d'une grande utilité pour les travaux de montage, qui nécessitaient un effort considérable. Une partie de l'air refroidi a été utilisée pour le refroidissement de la machine.

Le soutènement de la galerie, un arc en plein cintre avec segment de base aplati, fut installé à la main sans aucune difficulté, après le passage de la machine. Jusqu'à une longueur de galerie de 28 m environ, la consistance de la roche était bonne. Au cours du creusement ultérieur, la veine atteignit cependant les couronnes de la galerie, causant ainsi des éboulements de charbon et de terrains morts.

D'une manière générale, on a constaté qu'en dépit de l'état peu favorable de la roche, la foration d'un profil de galerie circulaire permettait de dominer les couronnes dans des conditions sensiblement meilleures que celles régissant habituellement le travail aux explosifs dans les terrains de même qualité, ce qui est corroboré par l'expérience.

### C) Résultat global des outils de foration

Afin de déterminer la forme et la denture les plus appropriées des trépan à galets, les outils de foration ont été remplacés 15 fois au cours des essais, ce qui nécessita chaque fois une construction et des éléments nouveaux. Les essais ont prouvé que les trépan à galets à denture annulaire étaient supérieurs à ceux comportant une denture axiale. L'avantage des premiers a résidé dans l'usure moindre, un calibre plus important des produits de foration, une proportion moindre des poussières, un fonctionnement plus silencieux de la machine ainsi qu'un travail moindre et plus régulier des commandes de la machine. La pénétration de matériaux dans les entredents, qui a créé des difficultés considérables pendant la phase initiale et causé un certain nombre de dommages mécaniques, s'est atténuée lors de l'utilisation des trépan à galets à denture annulaire. Cette appréciation des trépan à galets à denture annulaire ne vaut que par rapport à la situation antérieure, étant donné qu'il n'était pas possible d'exploiter à fond les effets de la denture annulaire, tous les trépan à galets ayant dû travailler sur le même plan en raison de la construction de la tête de foration adoptée pour la SVM 40, et l'effet ... souhaité pour chaque galet ou chaque dent annulaire ne pouvant pas s'exercer sur une surface libre.

Etant donné l'effort à fournir par les trépan à galets de la zone extérieure consistant à forer le pourtour de la galerie, ceux-ci devaient faire l'objet de soins particuliers. A cet effet, l'utilisation d'un anneau broyeur constituait une amélioration, celui-ci permettant de créer plus facilement une transition arrondie entre les parois de la galerie et la paroi frontale. Il n'a pas été possible de mesurer exactement l'usure de tous les trépan à galets, en raison de l'absence de charges permanentes pendant les essais ainsi que du fait que la foration n'était jamais régulière pendant une durée d'une certaine importance. A titre d'indication, on peut mentionner que les 4 trépan à galets de la zone extérieure, soumis à un maximum d'usure, réalisèrent des creusements de 10 m 60 de longueur dès lors qu'ils étaient munis d'une denture annulaire.

L'efficacité de la zone planétaire n'a pu être évaluée avec précision, les effets dus aux trépan à galets des zones de coupe extérieure et intérieure s'étant superposés. L'adoption de la denture annulaire représentait cependant une amélioration. Un essai effectué avec trois trépan à galets à une seule couronne dentée montés sur chaque roue planétaire, a conduit à une usure très rapide. Pour obtenir des durées d'avancement plus longues, il a fallu monter par la suite 6 trépan à galets sur chaque roue planétaire. Il est probable que la zone planétaire était le principal producteur de poussières, puisque la part des roches de petit calibre, inférieur à 6 mm, était moindre dès lors que l'on utilisait 3 trépan à galets au lieu de 6. D'une manière générale, il y a lieu de constater qu'une denture annulaire ne peut pas déployer toute son efficacité lorsque les outils de foration sont disposés d'une manière planétaire, tous les passages d'outils étant nécessairement situés sur le même plan.

Le synchronisme du travail de désagrégation et de l'évacuation immédiate des produits de foration, afin d'obtenir un front d'attaque dégagé des produits abattus, représente une condition essentielle pour le déroulement satisfaisant du processus de foration. En dépit de nombreux essais consacrés aux tôles d'évacuation et aux socs de chargement, cet objectif n'a pas été atteint par la SVM 40. Les possibilités de modifier leur forme ou leur disposition sur la tête de foration étaient très limitées, compte tenu de l'impossibilité de modifier le porte-outils et compte tenu des supports de galets existants. Les socs de chargement risquaient d'être endommagés et étaient soumis à une usure intense. L'adoption d'un autre système pour le nettoyage de la partie inférieure du cercle de foration, mieux adapté à la tête de foration, promet d'être plus avantageuse.

#### D) Exploitation statistique des essais

En vue de l'examen statistique effectué par M. Coeuillet au siège des Charbonnages de France, on a réuni à la suite des essais différents résultats du mesurage effectué pendant certaines journées de foration, correspondant à toutes les séries d'essais. Etant donné que les mesures de référence souhaitées en vue de ces examens statistiques n'étaient pas connues avant les essais, on n'a pas toujours disposé de résultats isolés du mesurage; il a fallu en partie créer des valeurs moyennes. Au cours du programme d'essais, le mesurage précis de toutes les valeurs caractéristiques n'avait été prévu qu'après la suppression des défauts techniques les plus importants de la machine, à un moment où les perturbations mécaniques influenceraient aussi peu que possible les résultats des mesures.

L'examen statistique a montré essentiellement que

- 1) l'avancement recherché doit être d'au moins 2 à 3 fois supérieur à l'avancement maximum réalisé;
- 2) la force d'avancement exerce une influence décisive sur la vitesse d'avancement pure, ce qui montre qu'il aurait fallu opérer avec une poussée sensiblement supérieure;
- 3) le nombre de tours des trépan à galets extérieurs exerce une influence sensible, inférieure toutefois à celle de la puissance d'avancement, la première pouvant être difficilement séparée de la seconde;
- 4) la consistance des roches exerce une influence, dont la valeur précise ne peut toutefois être déterminée en raison de l'insuffisance des résultats du mesurage, et
- 5) qu'il n'a pas été possible, en raison des nombreuses perturbations ayant affecté la machine, d'établir une relation entre la puissance absorbée et les paramètres susmentionnés.

Annexe 5 (le rapport complet concernant l'examen statistique constitue l'annexe 5).

#### VII. Conclusions

Les conclusions essentielles dégagées au cours des essais effectués à la mine Prosper sont les suivantes :

- 1) La première mise en service de la machine de creusement de galeries dans la roche d'ailleurs peu dure d'une galerie de taille s'est déroulée dans des conditions de travail rendues plus difficiles par le fait que la roche n'était pas homogène et opposait une résistance très variable. A cet égard, le plus grand diamètre de la galerie, égal à 4 m, a joué un rôle considérable, si l'on se réfère aux enseignements tirés des forations verticales.
- 2) Pour le travail des roches dures, les trépan à galets à denture annulaire ont donné de meilleurs résultats que les trépan à denture axiale, ce qui corrobore les conclusions dégagées à l'occasion de forations verticales.

- 3) Les trépan à galets à denture annulaire ne sont pas en mesure de déployer leur pleine efficacité lorsque la surface de la paroi frontale est plane, comme ce fut le cas lors de la mise en service de la SVM 40. Les trépan à galets ne sont pleinement utilisables que sur une paroi frontale graduée à surface libre, sur laquelle peut s'exercer leur effet broyeur.
- 4) Leurs trajets se recoupant, les trépan à galets à denture annulaire disposés selon un système planétaire sont inefficaces.
- 5) Les conditions de fonctionnement des différents outils de la tête de foration doivent être préalablement examinées, compte tenu de leur nombre, leur position et leurs mouvements respectifs, afin de rendre égales les charges mécaniques auxquelles ils seront exposés.
- 6) Les trépan à galets extérieurs doivent être spécialement adaptés aux opérations délicates de la foration du pourtour de la galerie. Les machines construites à l'étranger répondent à des conditions analogues.
- 7) Les trépan à galets, éléments particulièrement exposés à l'usure, doivent être construits et fixés sur la tête de foration de manière à permettre un remplacement rapide.
- 8) Le transport par la machine des couronnes des trépan à galets destinées à être remplacées, à l'aide d'un câble tendu par la machine, a donné pleine satisfaction. Le transporteur à auges, prévu à l'origine, n'a guère été utilisé, en raison des travaux d'installation nécessaires à chaque reprise et en raison du transport plus compliqué.
- 9) Lorsque les poussées d'avancement sont élevées, du menu de foration de très petit calibre pénètre dans les entredents des trépan à galets. Il s'y forme une matière compacte agglomérée qui empêche les dents de pénétrer dans la roche. Pour les entredents étroits, ce phénomène se produit plus tôt que pour les entredents espacés. De même, il est beaucoup plus prononcé chez les trépan à galets à denture axiale que chez les trépan à denture annulaire. L'auto-épuración des trépan à galets est difficile à réaliser.
- 10) C'est pourquoi la partie basse du cercle de foration doit être épurée dans une large mesure des produits de foration de petit calibre.
- 11) Les socs de chargement et tôles d'évacuation utilisés sont encombrants, s'usent rapidement et ne déblaient pas suffisamment le fond de la galerie. Sur la tête de foration utilisée, les possibilités de modifier ces éléments étaient limitées. La préférence doit être donnée à un autre système de prise en charge du menu produit de foration.
- 12) Dans les terrains houillers, comportant généralement d'intenses stratifications de roches d'une dureté variable, il faut s'attendre dans la plupart des cas à des éboulements secondaires de morceaux de différents calibres arrachés à la paroi frontale. C'est pourquoi la chargeuse de la machine du creusement de galeries doit permettre l'évacuation de produits abattus de différents calibres.
- 13) La chargeuse doit être construite de manière à charger les produits abattus à un endroit aussi rapproché que possible de la paroi frontale.
- 14) Le matériel de transport et les points de transbordement à l'intérieur de la machine doivent être construits en fonction du rendement maximum de l'abat-tage.
- 15) Un abattage continu pendant toute la durée de l'avancement de la machine de creusement de galeries permet une évacuation et un chargement satisfaisants des produits abattus. Ainsi se trouvent supprimés certains délais d'attente pour la fourniture de berlines vides, cause fréquente d'arrêts dans les techniques d'avancement conventionnelles.

- 16) L'embrayage principal, l'engrenage planétaire et le système hydraulique de la SVM 40 étaient les éléments les plus fréquemment endommagés. Aussi leur construction doit-elle faire l'objet de soins particuliers.
- 17) Tous les éléments essentiels de la machine, notamment ceux qui sont soumis à l'usure, doivent être d'un accès facile, afin de permettre des réparations rapides.
- 18) Lorsque la surface de foration est fortement stratifiée, comportant de grandes différences quant à la dureté des roches, le porte-outils est soumis à des charges particulièrement élevées, dues aux vibrations d'amplitude croissante ainsi qu'à une transmission inégale de la force motrice. Une construction solide est indispensable.
- 19) Les deux moteurs électriques principaux, d'une puissance de 275 kW chacun, ont fonctionné d'une manière satisfaisante. Leur dégagement de chaleur n'a pas dépassé une limite raisonnable.
- 20) Le poste de manoeuvre électrique, construit pour une tension de 5 000 V, tension inhabituelle dans le passé pour les machines minières mobiles, a fonctionné sans perturbations et était d'un maniement facile.
- 21) Les moteurs hydrauliques ont été fréquemment endommagés. Il y aurait lieu de faire appel, en temps utile et à titre permanent, à un expert hydraulicien neutre qui ferait l'expertise du système hydraulique.
- 22) Certaines transformations et compléments simples apportés à l'installation hydraulique à la suite de l'expertise Haldimann ont déjà eu pour effet d'accroître la sécurité de fonctionnement.
- 23) Les pompes hydrauliques ont généralement travaillé d'une manière satisfaisante.
- 24) Les cylindres ravanceurs ont travaillé sans pannes. Pour obtenir une meilleure commande de la machine dans la direction de l'avancement, deux cylindres ravanceurs ne semblent toutefois pas être suffisants.
- 25) Le système de haubanage sur la partie postérieure de la machine a fonctionné d'une manière satisfaisante lorsque les parois de la galerie étaient stables.
- 26) L'utilisation de palans à levier transportables de gros calibre pour le déplacement de pièces mécaniques de grandes dimensions lors des travaux de chargement et de montage a donné satisfaction. On doit toutefois s'efforcer de réduire le poids des divers éléments de la machine.
- 27) L'aéragage et le refroidissement de l'air étaient suffisants pendant la durée relativement brève des essais.
- 28) La mise au point de l'installation de dépoussiérage s'est heurtée à des difficultés en raison de la proportion exceptionnellement élevée des poussières produites. Malgré diverses transformations opérées pendant les essais, on n'a pas réalisé la puissance d'aspiration nécessaire.
- 29) Le mécanisme servant à modifier la direction de l'avancement de la SVM 40 n'a pas fonctionné d'une manière suffisante. D'une manière générale, ce problème doit être suivi de plus près.
- 30) Afin d'assurer un contrôle permanent de la direction d'avancement, il y a lieu de prévoir un appareil indicateur de la direction, qui fonctionne indépendamment de la position et du mouvement de la machine et qui fournisse en permanence une indication au conducteur de la machine.
- 31) Les travaux de soutènement ont pu être effectués manuellement et sans entraves derrière la machine. La machine à boiser mise au point à cet effet n'a plus été utilisée en raison de l'arrêt des essais.

- 32) Le forage régulier de la galerie a facilité l'installation des soutènements.
- 33) Le profil de foration circulaire aussi bien que l'absence de travail aux explosifs ont favorisé la solidité de la galerie.
- 34) Les postes consacrés au montage et au démontage de la machine ont été très nombreux. Une nouvelle construction devrait viser à la réduction de ce nombre.
- 35) En vue de l'exploitation et de l'examen ultérieurs des mesurages effectués, les valeurs à mesurer ainsi que les méthodes de mesurage devront être fixées au préalable. A cet effet, les mesurages continus devraient s'effectuer à l'aide d'appareils indicateurs à diagramme.

En outre, d'autres conclusions d'ordre général doivent être dégagées : en examinant les résultats, il faut en premier lieu tenir compte du fait que le choix du point d'exploitation était fondé sur toute une série de considérations tenant à la technique minière et à l'organisation. Il a notamment fallu trouver une exploitation où l'on pouvait procéder à des essais de foration pendant une assez longue durée, sans que l'exploitation du siège d'extraction en fût affectée dans son ensemble. D'autre part, il n'a pas fallu perdre de vue que l'on ne voulait pas, dans l'immédiat, imposer à la machine la foration de roches très dures, étant donné que la configuration des outils de foration, la poussée de la machine et d'autres conditions préliminaires étaient plus facilement expérimentées sur une roche moins dure. Ces considérations se sont avérées justes au cours des essais.

Au contraire, la roche hétérogène d'une galerie de taille dans laquelle se sont déroulés les essais de foration, a causé des difficultés d'une ampleur non soupçonnée. Le changement continu des conditions de foration, les terrains morts alternant avec le charbon et vice-versa, constituait une charge importante pour tous les éléments de la machine. C'est ainsi que l'évacuation de la roche s'est trouvée entravée par le fait qu'une partie des terrains morts plus tendre et fissurée était abattue sous forme de morceaux de gros calibre, qu'il a fallu péniblement concasser et évacuer à la main. Il en résulta de nombreux arrêts qui ont empêché pendant plusieurs heures le fonctionnement continu de la machine. A cet égard, une roche homogène aurait été mieux appropriée, parce qu'elle aurait pu être concassée d'une manière plus régulière. Toutefois, ces difficultés ont précisément permis de tirer des conclusions essentielles au sujet du creusement de galeries, si l'on songe que des difficultés de cet ordre pourront également se présenter à l'avenir, étant donné que la composition des couches minières est très irrégulière dans les terrains houillers, contrairement, par exemple, aux terrains salins.

Une grande partie des défauts techniques ont pu être corrigés pendant les essais mêmes, ce qui a permis d'obtenir rapidement, vers la fin des essais, des résultats de foration satisfaisants, si l'on excepte toutefois la construction de la machine, encore partiellement insuffisante. Les difficultés initiales ayant été surmontées, les trépan à galets à denture axiale ont permis d'obtenir un rendement moyen de 0,4 cm/min., et à plusieurs reprises un rendement de 1,2 cm/min. Après l'adoption des trépan à galets à denture annulaire et après modification des socs d'évacuation pour menu de foration, on a réalisé à plusieurs reprises une puissance de creusement de 2 cm/min., ce qui représente un creusement de 1,2 m par heure. Les essais effectués à l'aide des outils de foration ont suggéré l'adoption du trépan à galets à denture annulaire, qui permettra de forer d'une manière efficace des roches houillères offrant des résistances variables.

L'avancement de la machine aurait été considérablement supérieur si la tête de foration avait pénétré dans la paroi frontale en déployant toute sa poussée. Toutefois, la poussée entière de la machine n'a pu être exploitée qu'à raison de 50 %; sinon, le convoyeur à raclettes n'aurait plus évacué les menus produits abattus. Même cette dernière poussée était parfois encore trop élevée pour assurer l'évacuation du menu de foration par le convoyeur à raclettes. L'avancement ayant été de 2 cm/min., une partie des produits abattus continuait de ne pas être chargée par le convoyeur, étant inutilement entraînée par la tête de foration. En guise de conclusion importante de ce projet de recherche, on

peut donc retenir qu'une machine de creusement de galeries utilisable pour les roches houillères, doit être équipée d'un matériel de transport permettant l'évacuation, en quantités suffisantes, de produits abattus de tous calibres.

Le fait que l'absence de travail aux explosifs se traduit par une solidité sensiblement accrue des parois, et plus particulièrement des couronnes, même pour des roches caractérisées par une faible cohésion intérieure, représente une conclusion particulièrement importante.

Les connaissances acquises lors des essais permettent d'espérer des rendements normaux de 1,0 à 1,5 m/h pour un diamètre de foration de 4,0 m, les conditions du terrain étant celles des essais de foration, une fois supprimés tous les défauts tenant à la construction et compte tenu de l'état actuel de la technique de foration.

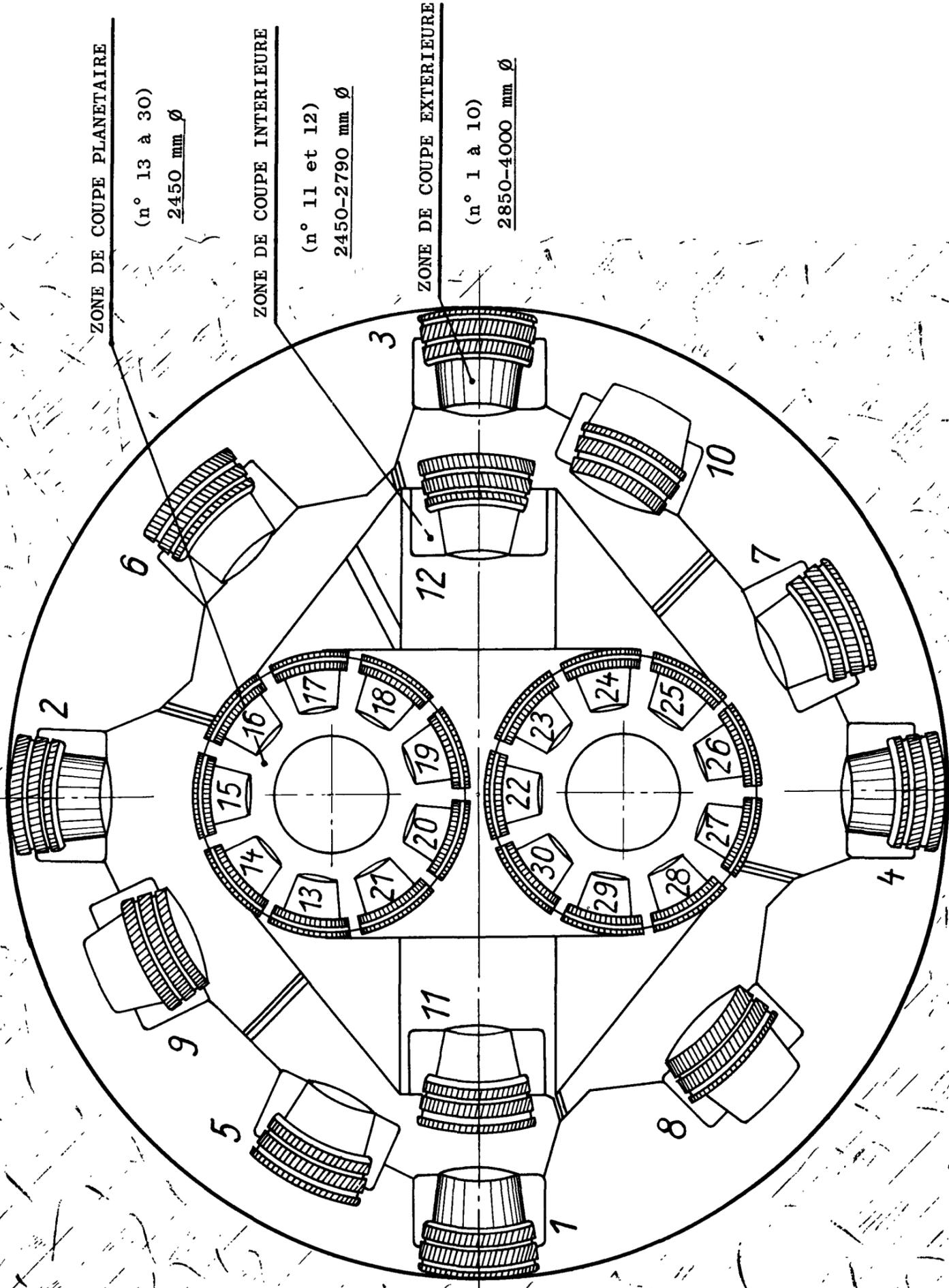
La mise en service de la première machine Bade au siège d'extraction Prosper a donc apporté toute une gamme d'expériences et de connaissances. Le constructeur de la machine, les ingénieurs et les mineurs se sont attaqués avec beaucoup d'enthousiasme à cette tâche difficile qu'est la création d'une machine de creusement de galeries pour les terrains houillers durs, à fonctionnement entièrement automatique, tâche qui, à l'heure actuelle, n'a trouvé de solution nulle part au monde. Cette première tentative nous a considérablement rapprochés de l'objectif. Les expériences réalisées à cette occasion constituent un encouragement à la construction d'une deuxième machine. Cette dernière devrait également servir à mettre en valeur les expériences acquises dans l'intervalle avec des machines analogues, soit en Allemagne, soit dans différents autres pays.

MISE EN SERVICE DE LA MACHINE DE CREUSEMENT DE GALERIES, MODELE BADE,  
 AU SIEGE D'EXTRACTION PROSPER III

Déroulement chronologique :

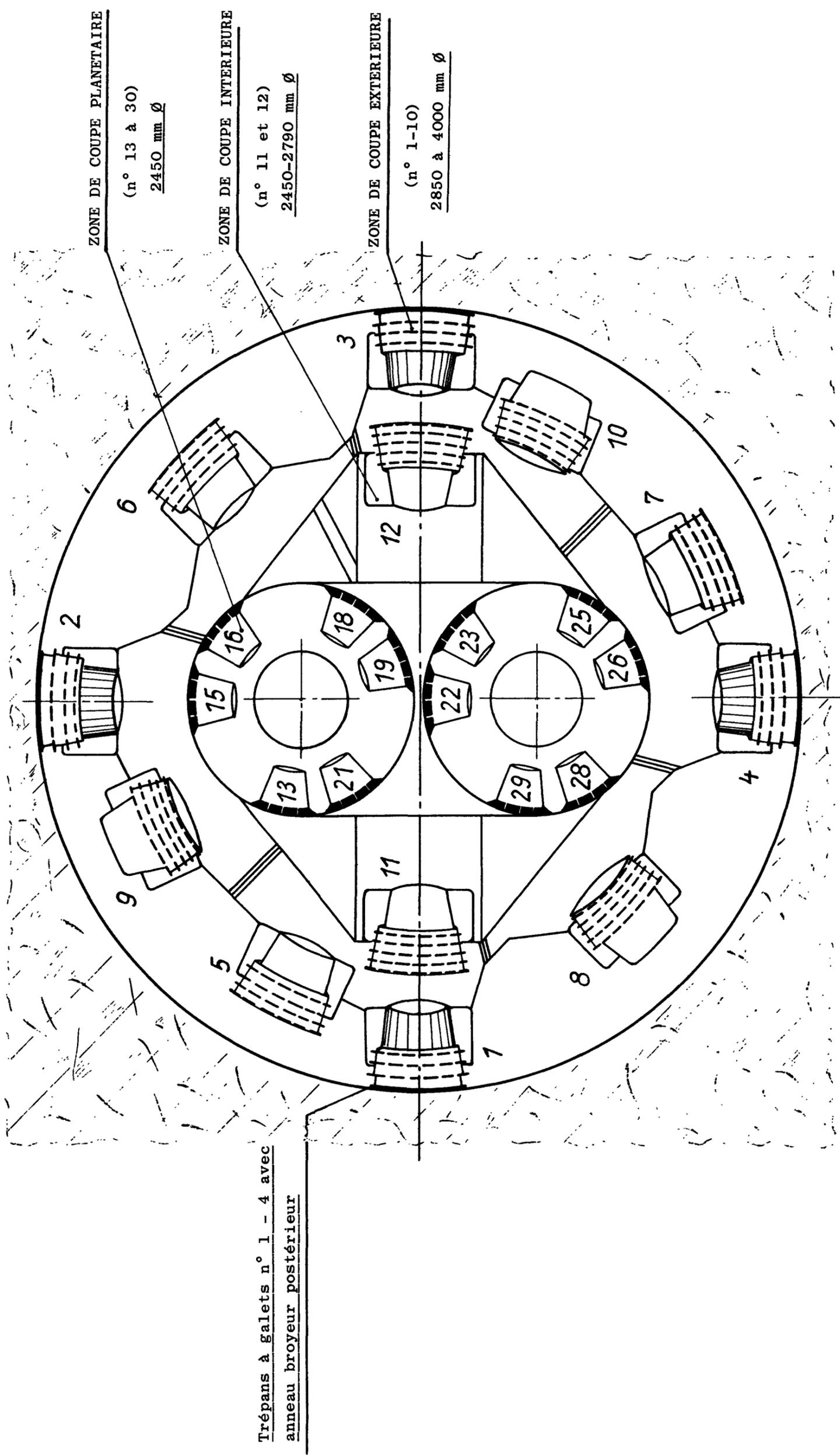
Série d'essais : Avancement et journées de travail	1ère série d'essais												2e série d'essais												3e série d'essais												4e série d'essais			
	Montage et contrôle de fonctionnement 95 journées de travail			2,6 m env. 85 journées de travail			Transformation du porte-outils, Essais sur modèle; 72 j. de travail			1,5 m env. 54 j. de travail			27,5 m env. 146 j. de travail			64m env. trav			52 j. de travail																					
Année	1961												1962												1963															
	nov.	déc.	janv.	févr.	mars	avril	mai	juin	juill.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	janvier	févr.	mars	avril	mai	juin	juill.	août	sept.	oct.	nov.	déc.														
Postes de foration/mois					5	7	4	4				3	3	4	7	7	11	12	10	2	9	17																		
Creusement/mois ... cm					20	80	56	104				85	50	160	260	370	610	720	570	60	250	390																		
Foration y comp. réparations mineures, remplacem. trépons à galets, évacuation des produits abattus etc.					■	■	■	■				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																	
Montage et démontage de la machine et des matériaux accessoires, aménagement du chantier, contrôle de fonctionnement	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																
Réparations Transformations																																								





Disposition des trépan à galets sur la tête de foration de la machine SVM 40, modèle BADE;  
Première version avec trépan à galets à denture axiale





Disposition des trépan à galets sur la tête de foration de la machine SVM 40, modèle Bade;  
Dernière version comportant une denture annulaire complète



Annexe 4Rapport d'expertise sur l'installation hydraulique de la SVM 40

établi par M. H.R. Haldimann, Ing.-Conseil, Bruxelles, rue du Lombard 24. Extrait d'une lettre du 24-7-1963 adressée au Steinkohlenbergbauverein.

-----

Le schéma de l'installation hydraulique commandant l'avancement est très simple et n'exploite qu'en partie les avantages que pourrait offrir la commande hydraulique. Toutefois, il ne comporte pas de défauts et n'est pas responsable des détériorations de l'installation hydraulique.

Les moteurs à petite vitesse utilisés, construits par la société Hydromechanik, Kiel, sont commandés par l'intermédiaire d'un distributeur. En principe, ce dernier serait soumis à une haute pression unilatérale, celle-ci étant compensée par un dispositif de "trop-plein" constitué par des trous et des fentes. On sait qu'en cas de variations brusques de charge de pareils systèmes de décharge ne fonctionnent qu'avec une certaine inertie. D'autre part, il y a lieu de souligner que la solution choisie par la société Hydromechanik, Kiel, dépend fortement de la viscosité de l'huile. C'est pourquoi la construction de ce moteur comporte certaines défaillances, et l'on peut à juste titre demander au constructeur d'en garantir la réparation.

Les observations faites lors de l'utilisation de la machine et les déclarations du personnel d'exploitation concernant les troubles mécaniques permettent de conclure que ces derniers se sont présentés de la manière suivante :

Au moment de la mise en service, l'huile a une température de 20 à 25° et une viscosité qui semble être suffisamment élevée pour assurer la décharge de la pression dans le moteur hydraulique. La machine ne possède pas de système de refroidissement particulier, et l'ensemble de la chaleur déperdue, - déduction faite des pertes, relativement peu élevées, de chaleur dégagée par les surfaces - sert à réchauffer le contenu d'huile, de 1 000 l environ. L'échauffement est toutefois rapide; il est d'au moins 15° en 10 min. environ.

Cette augmentation de température conduit à un fonctionnement de moins en moins satisfaisant de la décharge de la pression, en raison de la diminution de la viscosité. Les observations ont montré que les variations de pression subites sont en principe beaucoup plus importantes au cours des premières minutes de l'exploitation que par la suite, une fois que la paroi frontale est rabotée à plat. A mon avis, ce phénomène s'explique par le fait que les variations de pressions importantes se déroulent sans causer de dommages grâce à l'huile encore froide, alors que les variations de pression ultérieures, moins importantes, causent des détériorations, l'huile étant alors échauffée.

Le non-fonctionnement de la décharge de pression se traduit par une position unilatérale du rotor distributeur dans son alévage. Le système d'engrènement du matériel couplé utilisé étant imparfait, il se produit des usures locales qui s'intensifient avec le temps et conduisent à augmenter la friction entre le rotor et l'alésage. Ce phénomène va en s'intensifiant jusqu'à rupture de l'accouplement reliant l'arbre du moteur et le rotor distributeur qui subit un déplacement ce qui peut conduire au blocage du moteur, voire à une marche arrière.

Les seules mesures susceptibles d'être prises immédiatement sont celles qui n'exigent, pour l'instant, aucune modification de la construction du moteur. Nous devons nous limiter à obtenir des améliorations quant aux trois causes décisives, améliorations dont la somme peut vraisemblablement conduire à un fonctionnement satisfaisant.

Ces trois mesures découlent des considérations exposées ci-dessus :

1. Installation d'un très petit nombre de soupapes inertes supplémentaires, de petit diamètre, afin de diminuer les pointes de pression. Je vous ai proposé de monter quatre soupapes de réduction de pression de la société Bosch, modèle HY/VA 1 A 23, directement sur les quatre moteurs entre les raccords. La pression d'ouverture doit être inférieure de 5 à 10 atu à la pression d'ouverture de la soupape principale.
2. Montage d'un dispositif de refroidissement à l'eau dans le réservoir d'huile. La température de l'installation devrait être limitée à 45-50° C. Cela ne signifie pas que le principe de l'exploitation d'installation de cette catégorie avec des températures plus élevées soit irréalisable. Nous devons toutefois tenir compte de la sensibilité des moteurs de petite vitesse, apparemment plus élevée.
3. Addition de bisulfite de molybdène en état colloïdal, en une dispersion aussi fine que possible. Cette addition est destinée à améliorer la rotation du rotor distributeur. A cet égard aussi, il y a lieu de souligner que cette suggestion n'a aucune portée générale, de pareilles additions devant souvent, au contraire, être déconseillées. Dans le cas présent, l'intérêt d'empêcher la corrosion est prédominant.

Comme il a été mentionné au début, ces mesures sont destinées à assurer pendant plusieurs semaines une foration non perturbée. Une fois que celle-ci a permis de dégager des expériences pratiques, il serait profitable, à mon avis, de soumettre d'autres éléments de l'installation hydraulique à un examen critique quant aux possibilités d'amélioration.

Annexe 5CHARBONNAGES DE FRANCEService EXPLOITATIONAE.3 no 5586 - C.24213  
RC/JTANALYSE STATISTIQUE DES ESSAIS DE LA MACHINE  
DE CREUSEMENT DE GALERIES

---

1. Préambule
2. Paramètre d'étude : la vitesse instantanée
3. Influence de la poussée et de la vitesse de rotation
  - 3.1. Influence de la poussée
  - 3.2. Vitesse de rotation
  - 3.3. Liaison entre poussée et rotation
4. Influence de la nature du terrain
  - 4.1. Valeur du paramètre résistance du terrain
  - 4.2. Corrélation vitesse instantanée dureté
  - 4.3. Liaison avec la poussée
5. Autres variables
  - 5.1. Charge des moteurs électriques
  - 5.2. Pression d'alimentation des moteurs hydrauliques
6. Conclusions
  - 6.1. Critique des paramètres retenus. Programme de mesure pour de futurs essais.
  - 6.2. Résumé des résultats obtenus
  - 6.3. Conclusions générales.

## 1. Préambule

La machine de creusement de galeries construite par la firme Bade a creusé 38 m de galeries au cours d'une série d'essais dont certains ont été accompagnés de mesures.

L'étude ci-après tente d'exploiter statistiquement les résultats de ces mesures afin d'en tirer quelque enseignement relatif à la machine Bade elle-même voire à un éventuel engin futur de conception apparentée.

Il est clair cependant que le matériel statistique dont nous disposons ici n'est pas très riche : 28 questionnaires seulement ont pu être remplis ce qui ne constitue pas une population très abondante. Mais sa prise en considération est cependant très intéressante, d'abord parce qu'elle couvre 21 m de creusement soit 56 % du tout, ensuite parce que les difficultés et longues mises au point de la machine ont entraîné la variation de plusieurs paramètres et parfois simultanément, circonstance rendant difficile une interprétation des résultats basée sur de simples considérations de bon sens, mais en revanche permettant une analyse mathématique plus féconde. Si la machine avait mieux marché il n'est pas certain en effet que les utilisateurs se seraient prêtés volontiers à des modifications de paramètres pouvant temporairement réduire ses performances, seule méthode d'essais cependant pouvant permettre d'expertiser l'engin.

Ainsi paradoxalement, les déboires rencontrés dans la mise au point de la machine Bade en permettent une meilleure connaissance. Et si l'essentiel des résultats obtenus concerne en fait les enseignements techniques et technologiques énumérés dans le rapport du Steinkohlenbergbauverein, on verra que l'analyse statistique ici tentée apporte aussi sa petite pierre à l'édifice de notre expérience. Elle suggère en outre une méthode d'analyse améliorée utilisable à l'avenir.

## 2. Paramètre d'étude : la vitesse instantanée

2.1. L'ensemble des résultats extraits des 28 questionnaires remplis est repris dans le tableau général en annexe où les résultats sont classés dans leur ordre chronologique. Par référence aux documents de base, chaque "essai" est identifié par la date, la série (I ou II) et le numéro du questionnaire correspondant. Dans ce tableau comme dans les graphiques annexés les questionnaires sont en outre repérés par une croix s'il s'agit de ceux de la première série qui nous a été adressée, par un point s'il s'agit de ceux de la seconde série.

2.2. Quel paramètre d'étude fallait-il retenir ?

Le plus raisonnable a paru la vitesse instantanée exprimée par le quotient pour chaque essai de la longueur creusée par le temps mis à la creuser. Dans tout ce qui suit elle est exprimée en millimètres par minute et représentée par le symbole V.

Dès l'abord s'impose une remarque : la machine Bade est du type télescopique : elle creuse une passe maximale de 90 cm les couronnes porte-outil étant poussées par le corps de la machine maintenue immobile par appui sur le terrain, puis se contracte d'autant, le creusement étant alors interrompu et l'avant de la machine tirant l'arrière.

En fait la longueur creusée au cours de chaque essai a été tantôt inférieure tantôt supérieure à cette passe. On n'a en principe retenu dans l'estimation des durées servant de calcul de V que les temps de foration proprement dite. Mais certaines anomalies laissent penser que cette déduction des temps morts a pu être parfois omise ou faite avec quelques imprécisions : cette circonstance contribue à augmenter un peu la dispersion des résultats mais ne paraît pas en altérer beaucoup la précision.

Quoi qu'il en soit il est utile d'examiner la dispersion du paramètre vitesse instantanée dont le tableau général porte les 28 valeurs observées.

La figure 1 en précise le classement par fréquence en groupant les vitesses en classes régulièrement espacées de 3 en 3 unités. Malgré le nombre limité

de points dont nous disposons, l'image obtenue suggère que les mesures ont une répartition gaussienne dite normale et cette propriété sera ultérieurement exploitée. Cependant pour plus de certitude nous avons été conduits à rapporter les valeurs de V à leur moyenne  $\bar{V} = 10,49$  mm/m et à leur écart type puis à tracer à partir des fréquences cumulées la droite dite de Henry : la figure 2 montre que l'alignement des points obtenus n'est pas très bon mais en première approximation l'assimilation à une population normale n'est cependant pas trop injustifiée.

- 2.3. Quoi qu'il en soit de la normalité de la population des V il était intéressant d'en suivre l'évolution dans le temps que le graphique no 3 représente.

Y sont reportées les limites des 4 périodes d'essais citées par le rapport du S.K.B.V. On voit que la première période (20.3 au 29.10.62) où furent éliminées les premières maladies d'enfance de la machine et où l'on a procédé aux renforcements indispensables n'est représentée que par 3 points : leur poids dans l'ensemble statistique n'est donc pas grand et d'ailleurs le point 3 + est loin d'être un des plus mauvais.

La seconde période du 30.10.62 au 15.1.63 où l'on a utilisé des molettes à denture radiale fine d'abord puis large, n'est également représentée que par 3 points (4+, 5+, 6+) dont le dernier est un des meilleurs sans qu'une cause apparente nette en puisse être évoquée : la machine et le terrain eurent de ces heures de grâce !

Mais l'essentiel de ces mesures couvre la 3ème période qui s'étend du 16.1 au 8.8.63 (période à molettes périphériques à disque aléteur et denture radiale d'abord puis annelée) et où nous possédons 18 points, les vitesses alors obtenues sont assez homogènes puisqu'elles oscillent en pratique autour de  $10 \pm 2$  mm.

Enfin la 4ème période où la machine était entièrement équipée de molettes annelées (9.8.63) n'est malheureusement représentée que par 4 points dont 3 (11+, 12+, 13+) correspondent d'ailleurs aux meilleurs résultats enregistrés ce qui laisse espérer qu'il s'agit là d'une formule d'avenir. Malheureusement le trop petit nombre d'essais et la présence parmi eux du no 15., où V n'est que de 12 mm/mn (1) ne permettent pas d'étayer statistiquement cette espérance : il ne s'ensuit pas qu'on doive l'abandonner.

- 2.4. Pour en finir avec l'analyse directe de ce paramètre V, notons que la meilleure valeur obtenue fut de 20 mm/mn. Pour encourageant qu'il soit, ce niveau est encore bien trop bas pour pouvoir être considéré comme satisfaisant.

Un engin comme celui-ci n'a en effet de chance d'être viable que s'il dépasse sensiblement les performances que des moyens classiques - conventionnels - permettraient d'atteindre. Disons qu'il faut pouvoir parvenir à creuser 6 à 9 m par poste soit 1 à 1,5 m/heure.

Or il ne faut pas compter sur un taux d'utilisation d'un tel engin supérieur à 50 ou 60 % : la durée des rétractions, les servitudes normales, les incidents justifient cette affirmation et l'expérience montre qu'il faut déjà une très bonne organisation pour atteindre de tels taux avec une machine de mine importante. Exprimées en vitesses instantanées c'est donc 2 à 3 m/heure que doivent être les performances de la machine, soit environ 40 à 50 mm par minute.

En pratique il faut conclure qu'un engin de cet ordre doit pouvoir atteindre au moins 2 à 3 fois les meilleures performances obtenues dans les essais ici analysés pour avoir des chances d'avenir. Viser moins haut serait inéconomique.

### 3. Influence de la poussée et de la vitesse de rotation

Poussée et vitesse de rotation sont à peu près les 2 seules variables à notre disposition pour améliorer les performances d'une machine, au moins lorsque ses outils sont déterminés.

---

(1) On notera que cet essai est aussi celui où la dureté pondérée du terrain fut la plus grande.

Dans le cas présent ces deux variables, les outils eux-mêmes, la nature du terrain, tout a varié à la fois et la population formée par les 28 essais est trop réduite pour qu'on puisse espérer faire une étude sérieuse de corrélation multiple entre tous ces paramètres.

C'est dire que les coefficients de corrélation calculés par la suite seront assez bas car ils intégreront ces variations que nous n'avons pas le moyen de séparer. Mais on verra que malgré cette circonstance leur étude n'est pas sans intérêt.

### 3.1. Influence de la poussée

Le critère ici retenu est la pression P régnant dans les vérins de poussée et exprimée en bars (ou plutôt en kg/cm<sup>2</sup>).

On notera que ces pressions ne sont pas très précises : elles ont été notées à 5 bars près et ne sont d'ailleurs que des moyennes estimées. En pratique on a noté pendant chaque essai l'intervalle approximatif de fluctuation de la pression (50 à 60 bars par exemple). Dans un tel cas nous avons retenu comme paramètre la moyenne arithmétique des limites.

On ne peut donc s'attendre ici à beaucoup de précision. Si des essais ultérieurs doivent avoir lieu, mieux vaudrait enregistrer la pression et en calculer la moyenne quadratique, ou au moins la noter à intervalles réguliers rapprochés (toutes les 3 ou 5 minutes par exemple) et en calculer la moyenne pondérée. Quoi qu'il en soit il est intéressant d'examiner la structure de la population des P. La figure 4 en donne la répartition en fréquence et ici encore l'image observée rappelle une distribution normale. Pour en être plus certain, nous avons ici encore utilisé le test de Henry qui compare les valeurs observées à leur moyenne :  $\bar{P} = 67,36$  en opérant la transformation classique (fig. 5). Nous admettrons ici encore en première approximation que la population correspondante est à peu près normale : cette qualité ne sert d'ailleurs qu'à préciser la probabilité des résultats autour de la moyenne, en fonction de l'écart type résiduel et l'on n'a pas besoin ici d'une grande précision.

Que les distributions des V et des P soient normales ou non, il est intéressant d'examiner l'existence entre les valeurs 2 à 2 observées, d'une éventuelle corrélation.

La figure 6 reproduit le nuage des points obtenu : la dispersion est si grande qu'il est bien inutile de tester d'autres hypothèses de régression que linéaires. Nous avons donc calculé, par la méthode des moindres carrés entre les 28 couples des valeurs relevées, l'équation de la droite de régression.

On trouve ainsi (avec les unités choisies soit le mm/minute pour V et le bar pour P).

$$V = 0,2 P - 3,5 \pm 3,2$$

le dernier terme de cette relation correspondant à un écart type résiduel de part et d'autre de la moyenne : 68 % des valeurs observées ou observables sont donc comprises entre les 2 droites limites définies par le signe  $\pm$  et c'est précisément la quasi normalité des populations en V et en P qui autorise à donner une forme aussi simple à l'intervalle de confiance (95 % des valeurs sont comprises dans l'intervalle  $\pm 6,4$ ).

Le coefficient de corrélation entre V et P est :

$$r_{VP} = 0,57$$

sans être très élevé il montre que la poussée doit intervenir pour quelque 32 % dans la valeur des vitesses. Surtout le test de Snédécov montre que les résultats ci-dessus sont hautement significatifs : il y a moins de 1 % de chances qu'ils soient dus au hasard.

### 3.2. Vitesse de rotation

La vitesse des molettes centrales étant restée constante (50 t/min), seules les vitesses des molettes extérieures et médianes ont varié.

Mais nous ne disposons pour les 28 questionnaires remplis que des 28 valeurs de celles-là.

Nous nous sommes donc contentés de chercher l'influence sur V de la vitesse de rotation  $\omega$  des molettes périphériques, exprimée en tours par minute.

Comme ces molettes ne sont pas les seules à influencer la marche de la machine et comme en outre leur vitesse n'est ici encore indiquée que par un intervalle (dont nous avons retenu la valeur moyenne) on doit s'attendre à une corrélation assez lâche : mais c'est le grand avantage de la statistique que de parvenir à franchir de tels obstacles.

Auparavant la figure 7 montre la répartition en fréquence des vitesses de rotation notées. Ici la comparaison à la moyenne (4,55) s'écarte un peu de la normalité : l'intervalle de confiance calculé sera moins précis.

Le diagramme no 9 représente la relation entre V et  $\omega$ . Son exploitation en régression linéaire est moins assurée en raison du faible nombre des valeurs distinctes de  $\omega$ . Il est cependant possible et intéressant de la tenter.

On trouve ainsi avec un intervalle de confiance de 68 % une droite de régression d'équation :

$$V = 3,6 \omega - 5,7 \pm 3,6 \text{ (+ 7,2 pour 95 \%)}.$$

Ce résultat est significatif (moins de 5 % de chances d'être dû au hasard) mais non hautement.

Le coefficient de corrélation est :

$$r_{V, \omega} = 0,47.$$

La vitesse de rotation  $\omega$  des molettes extérieures doit intervenir pour 22 % environ dans les valeurs de la vitesse instantanée.

### 3.3. Liaison entre poussée et rotation

a) A ce stade, puisque la vitesse V croît à poussée et à vitesse de rotation croissantes, il est légitime de se demander si elle ne croît pas avec leur produit.

D'où l'étude de la corrélation entre V et le produit  $P \omega$ .

On trouve alors un coefficient de corrélation

$$r_{V, P \omega} = 0,22$$

ce qui est très faible avec un coefficient de régression de 0,0116, mais ce résultat n'est pas significatif.

S'il n'est pas certain pour autant que V ne varie pas comme le produit  $P \omega$ , du moins aucune liaison statistique de cet ordre n'apparaît-elle.

b) Pourtant V varie comme P et comme  $\omega$  nous l'avons vu. Il est donc probable que P et  $\omega$  ne sont pas variables indépendantes mais liées et l'une des corrélations ci-dessus serait une fausse corrélation (c'est-à-dire une corrélation apparente, au travers d'une variable liée).

D'où l'intérêt d'examiner la possibilité d'une corrélation entre P et  $\omega$  : la figure 10 représente le nuage de points obtenus. Un seul (2°) paraît aberrant (poussée anormalement faible évoquant une possibilité d'erreur

de mesure ou de report sur le questionnaire). Nous l'avons pourtant conservé car malgré lui la corrélation entre P et  $\omega$  est hautement significative (moins de 1 % de chances d'être due au hasard) et a la forme :

$$P = 10 \omega + 23 \pm 9 \text{ (pour 68 \% des valeurs, } \pm 18 \text{ pour 95 \%)}.$$

Le coefficient de corrélation en est :

$$r_{P, \omega} = 0,48.$$

La vitesse de rotation  $\omega$  explique donc 23 % des variations de P : la liaison entre ces deux grandeurs est donc certaine mais non complète.

Que la dispersion reste aussi grande ne doit pas surprendre : l'analyse précédente intègre en effet toutes les autres variations (outils, terrain etc.). Elle suffit à prouver la dépendance de P et  $\omega$  et oblige à une analyse statistique plus fine pour tester l'influence sur V de ces 2 variables.

#### 3.4. Liaison entre P et $\omega$ . Corrélation multiple entre 3 variables V, P et $\omega$ :

Le calcul montre que la corrélation entre V et l'ensemble des 2 paramètres P et  $\omega$  est :

$$R_v = 0,61.$$

Plus élevé que tous les précédents il montre que ces deux paramètres sont responsables de 36 % des variations de V et confirme que la liaison entre P et  $\omega$  n'est pas totale.

Plus précisément, si l'on appelle  $S_v$  l'écart type des vitesses V qui rend compte de leur dispersion, on peut montrer que l'influence de la poussée P seule sur cette dispersion réduit cet écart type à 0,82 S.

L'influence de  $\omega$  seul le réduit à 0,88 S et l'influence de P et  $\omega$  considérés simultanément le ramène à

$$S \sqrt{1 - R^2} = 0,79 S.$$

On voit donc que la considération simultanée de P et  $\omega$  améliore la dispersion des V de 3 % par rapport à la considération de P seul et de 9 % par rapport à celle de  $\omega$  seul. L'avantage est certain mais suffisamment faible pour que le calcul de l'équation du plan de régression de V en fonction de P et  $\omega$  soit inutile. D'ailleurs un essai de traitement par les méthodes des restes, montre qu'une fois l'influence de P éliminée, celle de  $\omega$  devient incertaine. En pratique le paramètre le plus important à considérer est P et on utilisera la relation déjà établie entre V et P pour faire des prévisions sur V quitte à rectifier la valeur ainsi obtenue en faisant jouer  $\omega$  dans la relation déjà vue entre P et  $\omega$ .

Pour plus de précisions ajoutons les indications suivantes : Le calcul montre que la corrélation partielle entre P et  $\omega$  liés par V (c'est-à-dire à V constante) donne  $r = 0,29$  et non 0,48 comme trouvé précédemment en mélangeant toutes les valeurs de V : ces résultats permettraient en somme de répondre à la question suivante : étant donné un essai fait avec des valeurs déterminées de P et de  $\omega$ , quelle valeur faudrait-il donner à l'une de ces grandeurs si l'on faisait varier l'autre d'une quantité connue pour obtenir la même vitesse instantanée (toutes choses égales par ailleurs). La dispersion résiduelle élevée rend d'ailleurs une telle question assez irréaliste.

Il est plus intéressant de signaler qu'à vitesse de rotation  $\omega$  constante la corrélation entre V et P donne  $r = 0,45$  contre 0,57 trouvé avec l'ensemble des valeurs de  $\omega$ . C'est dire que P (à  $\omega$  constante) explique 20 % des variations V et demeure donc un paramètre essentiel des essais.

Par contre à poussée P constante, le coefficient de corrélation entre V et  $\omega$  tombe à 0,29 : les variations de  $\omega$  n'expliquent que 7 à 8 % de celles de V (nous avons trouvé 22 % en mêlant les variations de P à celles de  $\omega$ ).

Se trouve ainsi confirmée l'importance de la variable P devant  $\omega$  quant à l'influence exercée sur la vitesse instantanée V, et leur partielle liaison.

#### 4. Influence de la nature des terrains

##### 4.1. Valeur du paramètre "résistance du terrain"

La nature du terrain a été testée de façon très imprécise par des intervalles très larges de résistance (exprimée en kp/cm<sup>2</sup>) dont faute de mieux nous avons ici pris la moyenne.

On a en outre indiqué la fraction de la section totale de la galerie intéressée par ces essais ce qui permet de calculer une dureté pondérée  $\Delta$  exprimée en kg/cm<sup>2</sup> que nous avons retenue comme critère.

Ce critère n'est pas bon : l'apparition d'un banc dur au mur par exemple double l'intervalle des résistances attribué à ce mur, même si le banc intéressé est très peu important. C'est dire que l'étude de l'influence de la dureté, qui suit, reste très sujette à caution.

Elle méritait cependant d'être faite : dans un essai aussi onéreux on n'a pas le droit de négliger le moindre des enseignements qu'on en peut tirer quitte à ne pas lui attribuer une précision à laquelle il ne saurait prétendre.

##### 4.2. Corrélation V, $\Delta$ :

Un diagramme de fréquence des duretés ainsi estimées (figure 11) fait apparaître nettement 2 populations distinctes : l'une groupe toutes les duretés estimées avant le 18 avril 1963 et qui sont quasi constantes (questionnaires série I jusqu'au 8 + inclus et série II jusqu'au 7, inclus). L'autre groupe des valeurs variables - dont la répartition n'est pas gaussienne - dues à l'apparition progressive d'un banc de grès dur.

Si le critère  $\Delta$  ici retenu a une influence sur V elle ne peut donc être décelable que sur ce 2ème groupe de valeurs. On ne peut d'ailleurs pas s'attendre à une liaison serrée en raison des imperfections du paramètre ici retenu.

Nous avons donc tenté d'exploiter les 13 points ainsi disponibles.

La régression ainsi calculée est positive :

$$V = 0,03 \Delta - 11,5 \pm 3,2$$

pour 68 % des valeurs et ce résultat est significatif mais non hautement.

Le coefficient de corrélation est élevé :

$$r_{V, \Delta} = 0,60$$

la dureté ainsi estimée explique donc 36 % des variations de la vitesse instantanée V. Compte tenu de la mauvaise méthode d'évaluation des duretés, un tel résultat est assez bon : si nous avions un meilleur critère, la corrélation eut probablement été meilleure encore, mais ce ne peut être une certitude.

En effet pourquoi est-elle positive alors qu'on se serait attendu à l'inverse ?

##### 4.3. Liaison avec la poussée P :

Une hypothèse est ici possible :

On a évoqué en effet une réaction psychologique du personnel conduisant la machine dont la conduite en terrains tendres est plus difficile (gros blocs) qu'en terrains durs où le conducteur ne craint pas d'accroître la poussée.

A une telle hypothèse l'analyse statistique répond que la corrélation entre P et  $\Delta$  n'est pas apparente. On trouve en effet une liaison non significative avec  $r = 0,24$  pour les 13 points.

On peut toutefois se demander si le point 15. n'est pas aberrant : pour concerner le terrain le plus dur de tous les essais il a une poussée bien faible (60 bars).

Si l'on suppose qu'il y a eu ici erreur de notation au chantier ou de report ensuite et qu'on l'élimine, le calcul de corrélation entre les 12 points restants donne alors :

$$\begin{aligned} r &= 0,74 \\ P &= 0,089 \Delta + 6,5 \pm 5 \quad (1) \end{aligned}$$

et ce résultat dont rend compte la figure 13 est hautement significatif.

Au passage on peut voir quelle est l'importance de mesures et de relevés exacts : la statistique ne peut donner d'autres résultats que ceux qui lui sont implicitement fournis par les chiffres qu'elle manipule.

Remarquons pour en finir avec  $\Delta$  que les 15 premiers questionnaires représentent une population où la dureté paraît constante : nous avons tenté d'exploiter cette circonstance en cherchant pour cette population réduite la liaison entre V, P,  $\omega$  etc. Malheureusement le nombre de points est trop limité et la dispersion si forte (les premiers essais sont plus influencés que les derniers par les difficultés technologiques de la machine) qu'aucune corrélation systématique n'apparaît, ce qui ne prouve pas d'ailleurs l'absence de toute liaison.

## 5. Influence des autres variables

### 5.1. Charge des moteurs électriques

Elle nous est donnée pour chacun d'entre eux par 3 chiffres :

Puissance maximale, minimale, moyenne.

Les deux premiers ne seraient exploitables statistiquement que si nous disposions d'enregistrements des diverses variables : leur considération donne plutôt une idée de l'irrégularité des efforts subis par l'engin.

La puissance moyenne serait plus intéressante : elle est malheureusement imprécise et dans des essais futurs la valeur à retenir devrait être la moyenne des puissances relevées à intervalles réguliers.

Son examen montre immédiatement que le moteur no 1 est peu chargé (moins de 100 kW en moyenne) tandis que le no 2 dépasse 160 kW de charge moyenne.

Aucune corrélation n'apparaît entre la vitesse d'avancement de la machine et la charge moyenne du premier moteur. Quant à celle du second la corrélation apparente qui ressort vaguement de l'examen des chiffres n'est pas significative. Ce résultat ne doit pas trop surprendre : il montre que le travail des molettes n'a consommé qu'une partie de l'énergie utilisée dont des quantités non négligeables ont été utilisées autrement (frottements parasites, imperfections mécaniques et hydrauliques, difficultés d'évacuation des terres etc.). D'une certaine manière l'absence de liaison significative caractérise l'imperfection de la machine.

### 5.2. Pression des circuits hydrauliques

Observations analogues : les mesures fournies ne varient qu'entre 90 et 130 bars et sont trop peu précises pour qu'un enseignement en puisse être tiré.

---

(1) En réalité la population n'est pas normale et l'intervalle de confiance à 68 % a une pression un peu plus complexe. Mais en première approximation le terme  $\pm 5$  suffira.

## 6. Conclusions

### 6.1. Imprécision des paramètres d'étude

L'imprécision relative des résultats précédents tient à plusieurs causes :

a) L'imprécision ou l'infidélité des paramètres retenus.

Nous avons dit ce qu'il fallait penser de valeurs définies par un intervalle dont nous n'avons pu retenir que la moyenne. L'observation vaut pour les poussées P, les vitesses de rotation des molettes périphériques  $\omega$ , la dureté du terrain  $\Delta$ , les puissances etc.

Il est clair que dans tout essai futur on devra noter ces grandeurs avec plus de précision : à défaut d'enregistrement et d'intégration on pourrait au moins noter P et  $\omega$  (et également les puissances consommées, les pressions, températures etc.) à intervalles fixes (toutes les 2 minutes par exemple) et calculer les valeurs des moyennes correspondantes. Naturellement cette observation vaut aussi pour les rotations des molettes médianes non notées dans les essais passés.

Quant à la dureté du terrain  $\Delta$  le mode d'essai ici utilisé peut sans doute être conservé dans une première étape mais à condition de multiplier les mesures afin d'avoir une estimation moyenne correcte. Par exemple on procédera sur un diamètre perpendiculaire à la stratification à une mesure tous les  $\frac{R}{20}$  mètres (R étant le rayon) et on affectera chaque valeur ainsi mesurée d'un coefficient égal  $\sqrt{1-x^2}$ , x étant ici la distance du point de mesure au centre.

Il serait en outre souhaitable d'accepter de faire des essais systématiques en fixant certains paramètres. Par exemple en maintenant constante la vitesse de rotation et en opérant des essais successifs à diverses poussées (ou l'inverse) : en tout cas avant mise en essai d'un nouvel engin, un schéma logique d'essai devrait être établi, compte tenu de sa conception propre.

b) La dispersion naturelle des essais qui sont influencés par des facteurs non mesurés : réactions du personnel de conduite, résistances passives aléatoires, difficulté d'évacuation des produits abattus, gros blocs, encrassement des molettes etc. Ces facteurs dispersifs seront peu à peu réduits par les perfectionnements apportés à la machine : ils ne disparaîtront pas complètement pour autant et l'étude statistique a précisément l'intérêt d'être possible malgré leur présence.

### 6.2. Résultats obtenus

Résumons-en l'essentiel :

a) Les performances maximales atteintes par la machine étaient 2 à 3 fois inférieures au minimum souhaitable. Mais les progrès ont été continus en cours des essais et en fin de campagne la machine avançait plus vite qu'à toute autre époque.

b) L'influence principale décelée au cours des essais a été celle de la poussée P qui, dans la limite des vitesses instantanées V observées (2 à 20 mm/mn) et probablement assez largement au-delà, paraît avoir un effet de forme.

$$V = 0,2 P - 3,5 \pm 3,2 \text{ (68 \% des valeurs)}$$

$$\text{ou } \pm 6,4 \text{ (95 \% des valeurs)}$$

V en mm par minute  
P en bars.

Il en découle que les efforts parasites exigent des efforts de l'ordre de 17 à 18 bars (pour V = 0) avant tout effet utile sur le creusement. Il en découle aussi qu'il aurait fallu pousser beaucoup plus fort pour obtenir des vitesses commercialement intéressantes : on notera d'ailleurs que la pénétration moyenne de chaque dent des molettes à chaque tour était très faible (de quelques microns à une centaine) ce qui favorise l'usure et entrave l'avancement.

c) L'influence de la vitesse de rotation  $\omega$  des molettes extérieures est sensible mais comme cette vitesse a varié comme la poussée, leur séparation est délicate : en pratique la poussée reste le facteur principal. Mais on pourra prévoir l'influence sur V d'une variation de  $\omega$  (exprimée en tours/minute) à poussée constante en exploitant une relation de forme :

$$V = 3,6 \omega - 5,7 \pm 3,6 \text{ (68 \% des valeurs)}$$

mais cette formule utilisable pour des interpolations, n'a guère de valeur pour des extrapolations, comme le prouve l'échec d'une tentative de calcul à partir de la méthode dite des restes.

d) L'influence de la dureté du terrain  $\Delta$  a été presque totalement masquée par l'insuffisance des mesures. Si l'on se fie aux 15 derniers essais seulement, une liaison significative apparaît pourtant de forme (pour 68 % des valeurs observées) :

$$V = 0,03 \Delta - 11,5 \pm 3,2 \text{ (+ 6,4 pour 95 \% des valeurs)}$$

$\Delta$  étant exprimé en kg/cm<sup>2</sup>. Mais cette conclusion doit être donnée sous toute réserve : il est certain en tous cas que des mesures plus précises auraient permis des conclusions plus assurées.

Le coefficient positif de  $\Delta$  dans la relation précédente peut en effet paraître suspect. Cependant, si l'on néglige un point peut-être aberrant, il s'expliquerait par une réaction du personnel conduisant la machine que la statistique met en évidence en révélant l'existence d'une liaison significative entre P et  $\Delta$ . Mais si l'on inclut le point aberrant ci-dessus dans la population le test n'est plus significatif et cette relation ne peut être confirmée avec certitude. Elle reste cependant possible.

e) Aucune relation entre les paramètres précédents et les puissances consommées n'a pu être établie; trop d'imperfections ont perturbé le creusement proprement dit pour que cette constatation soit bien étonnante.

### 6.3. Conclusions générales

Les résultats ci-dessus, tirés d'un matériel assez pauvre (28 essais seulement) et très dispersé suffisent à montrer quelle puissance possède l'analyse statistique. Des essais plus nombreux, basés sur des mesures plus sûres auraient certainement permis des conclusions plus précises et plus assurées et sans doute beaucoup plus nombreuses.

On devrait pouvoir par exemple en suivant la machine au jour le jour pour ajuster progressivement les corrélations, mesurer l'influence d'un changement de type de molettes (4 points ici seulement pour les molettes annelées ne permettent guère que d'espérer en elles), de la profondeur moyenne de pénétration de chaque dent (qui paraît ici beaucoup plus faible) etc...

On pourrait ainsi à l'avance, après quelque 20 ou 30 essais partiels, en déduire presque à coup sûr les modifications à apporter pour améliorer rapidement les performances dans les proportions calculables à priori.

Par exemple dans le cas présent, pour doubler la vitesse instantanée il aurait fallu pousser l'engin aux environs de 160 bars; de le savoir à l'avance aurait permis de se demander si sa construction l'eût supporté (y compris les molettes et leurs supports).

De telles possibilités d'enquête justifient que les essais soient à l'avenir mieux préparés en fonction de l'exploitation numérique de leurs résultats.

L'ingénieur en chef,

R. COEUILLET.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			12			13		14	15	
										Moteur I			Moteur II			p <sup>On</sup> hydraulique bars (circuits moteur)				Mol. extérieures nos 1 2 3 4
Date	Série	N°	L m	V mm/min.	P bars	$\omega_e$ t/min.	$\omega_m$ t/min.	$\Delta$ kg/cm <sup>2</sup> pondérée	Nbre molettes centrales g = grandes lacunes e = étroites "	M.	Moy. kW	Min. kW	M.	Moy. kW	Min. kW	100	90	80	8 radiales potasse	
4. 4.62	I	1 +	0,30	2,73	50	3,5	3,85	439	e 18 rad	75	70	65	175	145	130	100	90	80	e radiales potasse	8 radiales
25. 5.62		2 +	0,25	4,17	60	4	4,45	439	e 12 "	85	80	75	185	145	130	120	100	80	e "	" e
20. 7.62		3 +	0,60	10,81	60	4	4,45	439	e 12 "	100	85	75	175	145	130	110	90	80	e "	" e
7.11.62		4 +	0,35	5,83	50	4	4,45	439	12 e	130	100	75	171	135	105	110	100	80	"	e
18.12.62		5 +	0,35	5,83	70	4	4,45	439	6 g	105	90	75	138	120	106	110	90	80	g a	e
15. 1.63		6 +	0,76	13,82	70	4	4,45	439	6 g	77	76	75	171	144	135	110	100	90	2 g a + 2 g	e
16. 1.63	II	1 .	0,70	11,67	60	4,25		434	6 g	85	85	85	213	174	134	160	130	90	g g+a g g+a	e
14. 2.63		2 .	0,59	9,83	50	5,25		437	6 g	93	85	80	234	200	134	150	110	80	ga g a ga ga	5-6-7-12 g 8 à 11 = e
20. 2.63	I	7 +	0,64	7,11	60	3,50	3,85	433	6 g	77	76	75	240	170	110	160	110	60	g a	4 e + 4 g
15. 3.63	II	3 .	0,50	11,11	70	4,75		435	6 g	107	92	80	181	163	134	140	110	80	ga ga ga ga	5 à 7 + 12g 8 à 11 = e
20. 3.63		4 .	1,11	9,68	80	4,75		432	6 g	107	95	80	201	160	120	140	120	80	- id -	- id -
29. 3.63		5 .	1,00	11,11	60	4,75		430	6 g	107	93	80	214	180	134	110	95	80	- id -	- id -
2. 4.63		6 .	0,35	11,67	60	4,75		428	6 g	105	90	80	160	134	120	120	90	80	- id -	- id -
9. 4.63		7 .	0,61	8,13	65	4,75		424	6 g	88	80	75	200	160	120	130	110	80	g a	- id -
11. 4.63	I	8 +	1,20	12	60	4	4,45	404	6 g	77	70	75	178	140	110	130	100	80	g a	- id -
18. 4.63	II	8 .	1,35	9	65	5,25		658	6 g	105	100	93	185	160	125	130	110	90	g a	5 à 7 + 12g 8 à 11 = e
15. 5.63		9 .	0,85	11,33	70	4,75		694	6 g	120	105	95	210	170	130	140	120	90	annelées + a	5 à 11 = e 12 = g
17. 5.63		10 .	0,75	7,84	70	5,25		698	6 g	135	120	100	215	170	130	180	100	80	"	"
29. 5.63	II	11 .	0,95	10	70	4,50		737	6 g	140	120	105	215	178	137	140	110	90	annelées + a	5 à 11 : e 12 g
30. 5.63	I	9 +	1,35	10	80	5 -	5,5	737	6 g	238	110	75	210	175	145	130	110	90	"	5 à 12 : e
12. 6.63	II	12 .	1,10	10	75	4,75		758	6 g	120	105	85	225	180	135	145	115	90	"	5 à 11 : e 12 : g
18. 6.63		13 .	0,90	10	70	4,75		765	6 e	140	105	90	230	170	125	150	120	90	"	"
26. 6.63	I	10 +	0,85	10,62	80	5	5,5	812	6 e	275	190	125	245	190	140	130	110	90	g a	5 à 12 e
27. 6.63	II	14 .	1,55	11,92	70	4,75		846	6 e	150	120	80	225	180	140	150	120	90	g a	5 à 11 : e 12 g
9. 8.63		15 .	0,70	11,67	60	4,75		896	6 e	120	95	75	210	170	130	140	110	85	annelées + a	5 à 12 annelées
13. 8.63	I	11 +	0,20	20	80	5	5,5	806	6 annelées	138	100	75	240	200	132	140	110	90	"	"
22. 8.63		12 +	0,75	16,67	85	5	5,5	863	12 "	145	130	100	205	148	130	140	120	90	"	"
25. 9.63		13 +	0,57	19	85	5	5,5	863	12 "	145	130	100	210	150	130	140	120	90	"	"



Machine BADE

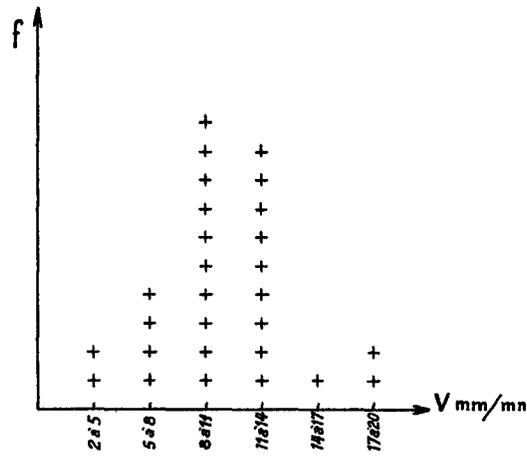


Figure 1. Diagramme de fréquence des V

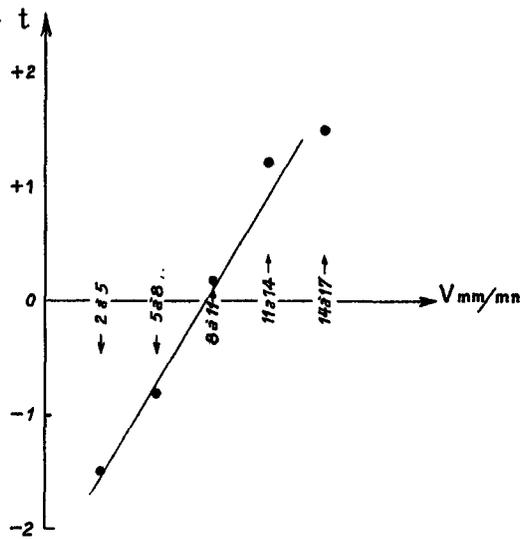


Figure 2. Test de Henry sur les V



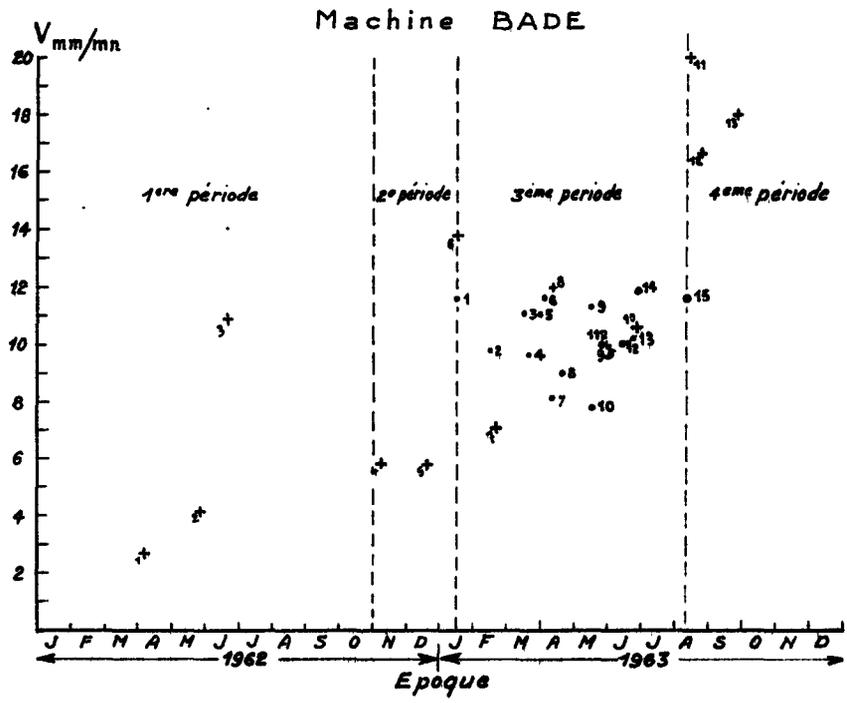


Figure 3.

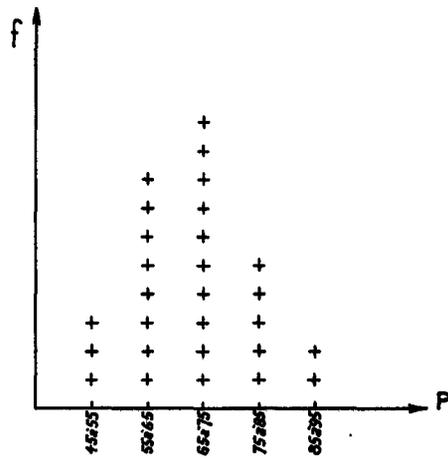


Figure 4. Diagramme de fréquence des P



Machine BADE

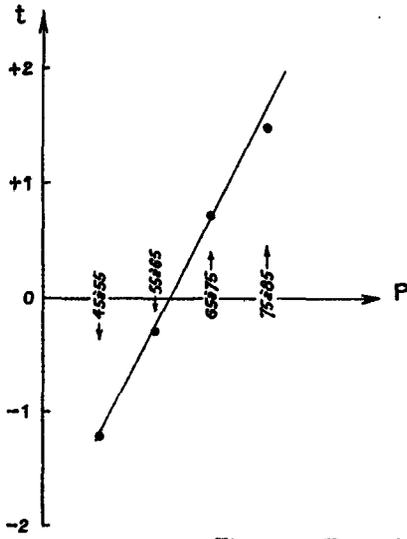


Figure 5. Test de Henry sur les P

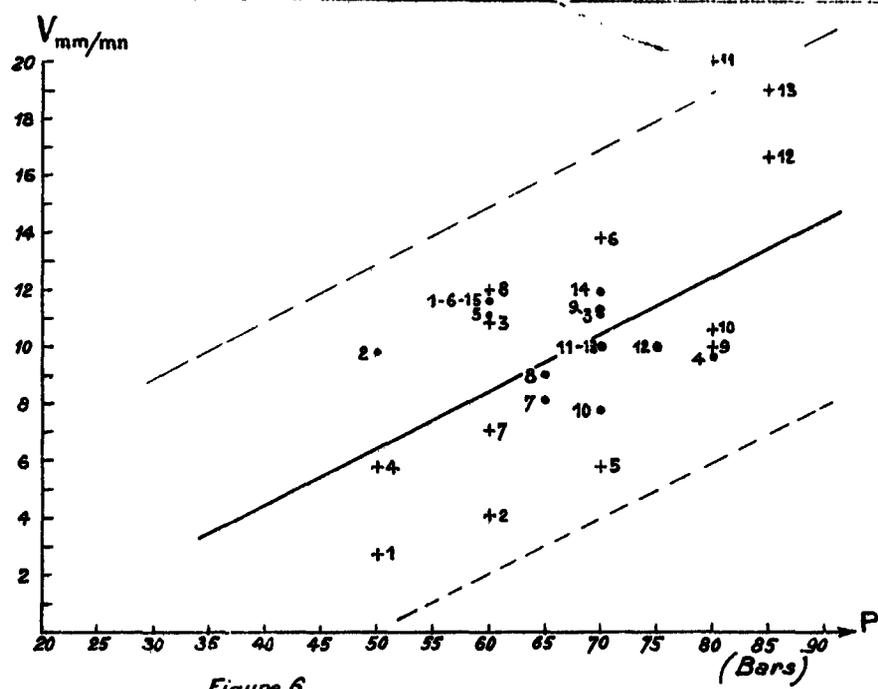


Figure 6.



Machine BADE

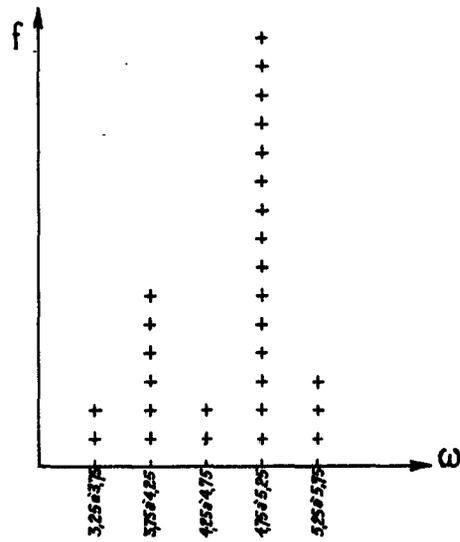


Figure 7. Diagramme de fréquence des  $\omega$

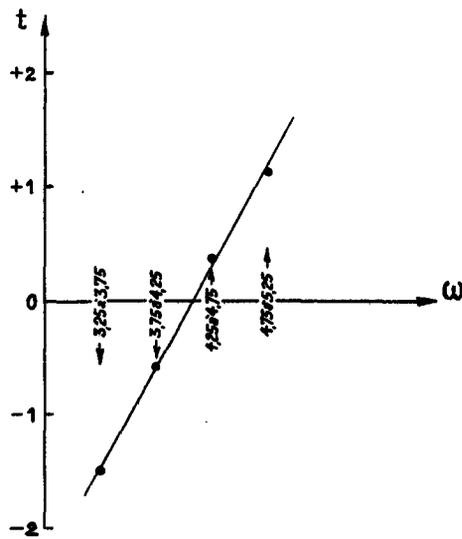


Figure 8. Test de Henry sur les  $\omega$



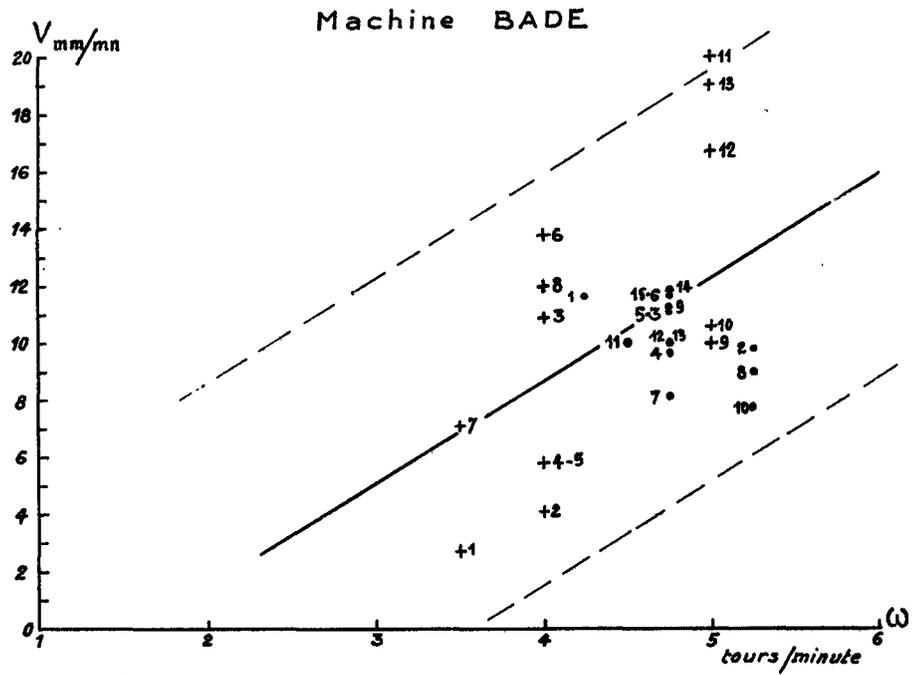


Figure 9.

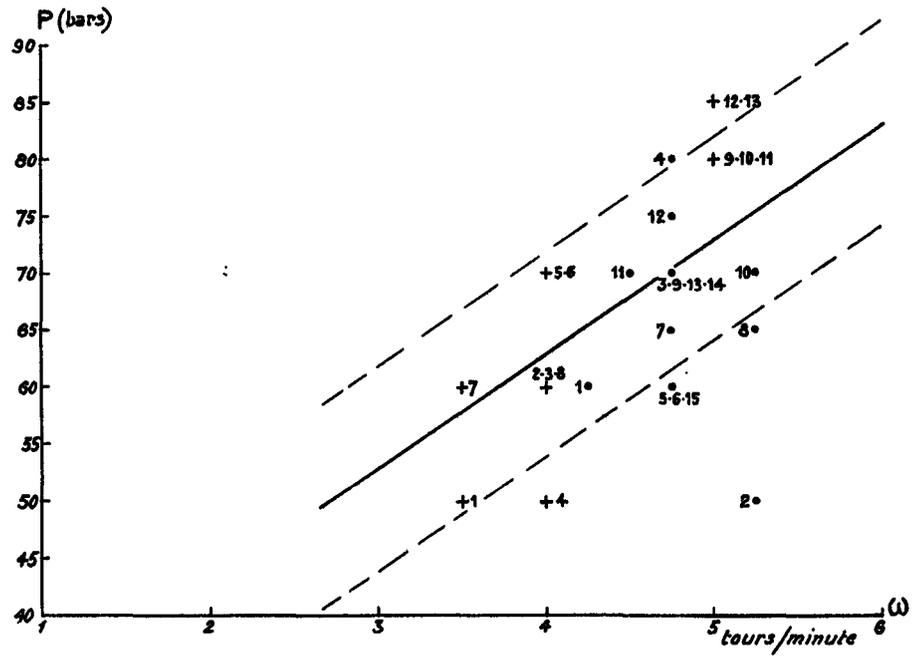


Figure 10.



Machine BADE

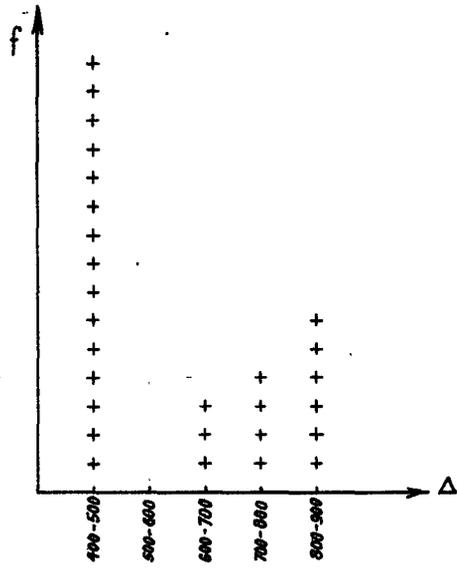


Figure 11 - Diagramme de fréquence des  $\Delta$



Machine BADE

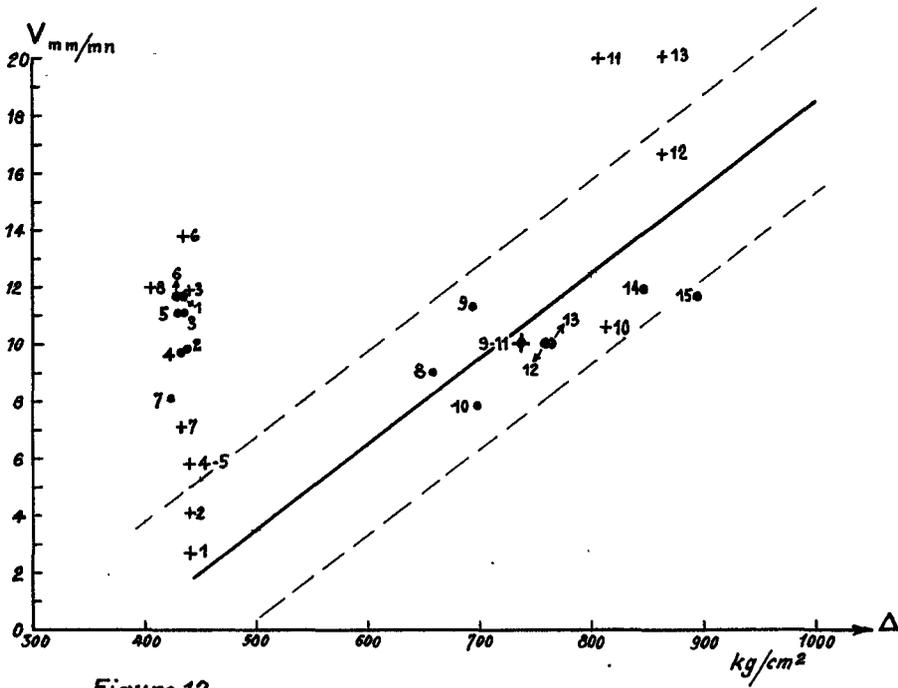


Figure 12

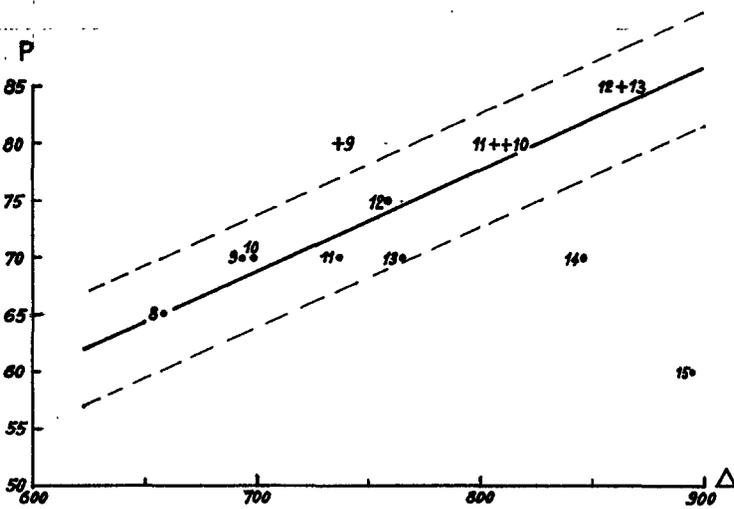


Figure 13





SERVICES DES PUBLICATIONS DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

11735/2/67/1