

Evolution de l'électrification au fond des mines, passée et future (*)

I. OTS,

Ingénieur civil A.I.Ms - A.I.Br
Ingénieur Principal aux ACEC.

RESUME

Un bref historique de l'électrification du fond des mines, le rappel des traits particuliers du fond et leur incidence sur les réseaux, permettent de caractériser les principaux problèmes qu'une évolution « in vivo » a créés insensiblement.

Quelques-uns des plus discutés sont passés en revue en essayant de voir les solutions que l'avenir y apportera.

La tendance naturelle aux protections du type « cuirasse » ne peut pas se développer indéfiniment. L'apparition de relais électroniques statiques transistorisés, de fonctionnement sûr, permet d'exercer une surveillance active, permanente, des réseaux. Leur généralisation, jointe à une meilleure formation professionnelle, permet d'espérer un allègement des règlements et de la législation inutilement exagérés et économiquement lourds à supporter. Une démonstration du système ACEC de télécommande et de protection totale des réseaux du fond est faite à l'aide d'un panneau didactique.

On y voit comment les défauts d'isolement, de coupures, de courts-circuits des fils tant principaux qu'auxiliaires, les défauts de circuits de masse ou de pilote, sont isolés automatiquement et sélectivement. On remarque aussi la souplesse et la rapidité avec laquelle ces blocs de sécurité, très compacts, s'adaptent à tous les schémas d'installation : commande locale, à distance, en séquences, avec ou sans verrouillages, avec ou sans retards, commande automatique de pompes par électrodes plongeantes, etc...

L'auteur développe des considérations sur le matériel dit « à sécurité renforcée ».

Il signale en matière de moteurs d'abattage les problèmes posés par les hautes cadences de démarrage.

SAMENVATTING

Uit een kort historisch overzicht van de elektrificatie van de ondergrond, en een beschrijving van de bijzondere moeilijkheden die men er ontmoet bij de exploitatie van de elektrische netten, blijkt voldoende welke de voornaamste problemen zijn, die tijdens deze groeiende ontwikkeling op de voorgrond zijn getreden.

Enkele van de bijzonderste knelpunten worden nader besproken en er wordt getracht een oplossing voor te stellen.

Men kan niet tot in het oneindige voortgaan met toe te geven aan de natuurlijke neiging om alle materialen te pantseren. Dank zij de nieuwe statische elektronische relais met transistoren, die zeer betrouwbaar zijn, kunnen de netten op doelmatige en doorlopen wijze gecontroleerd worden. Misschien zal het mogelijk blijken, mits de genoemde toestellen veralgemeend worden en het personeel behoorlijk opgeleid in het gebruik ervan, een verlichting te bekomen van de wetten en reglementen, die thans te hoge eisen stellen en een economische uitbating belemmeren. Door middel van een didactisch elektrisch paneel wordt een demonstratie gegeven met het systeem ACEC voor de besturing op afstand en de volledige bescherming van de ondergrondse netten.

Men bemerkt hoe de isolatiefouten, onderbrekingen, kortsluitingen zowel in de hoofd- als in de bijkomende leidingen, de onderbrekingen van de aardleiding of de pilootkabel automatisch en selectief worden afgezonderd. Men kan er zich eveneens rekenschap van geven dat deze controle-eenheden, van zeer geringe omvang trouwens, op snelle en soepele wijze aan eender welk schakelschema kunnen aangepast worden : bediening ter plaatse, bediening van op afstand, automatische opeenvolging van bewerkingen, met of zonder vergrendeling, met of zonder vertraging, automatische bediening van pompen door middel van duikelektroden enz.

(*) Exposé présenté à la tribune de l'A.I.M. le 26 mars 1962 à la Section de Hasselt et le 4 mars 1963 à Liège. Cet article paraît également dans le n° 8/9 du Bulletin Scientifique de l'A.I.M.

Le relèvement envisagé de la basse tension du fond de 500 V à 1.000 V ne constitue pas une solution recommandable aux problèmes de chutes de tension, de distances de chassage et de courants de court-circuit.

La solution de ces problèmes doit se rechercher dans un retour aux solutions classiques de l'électricité : amenée de la haute tension au plus près des chantiers et transformation à la tension classique de 500 V.

Le matériel actuel reste utilisable et cette solution procure une économie de plus de 600.000 F pour une chasse de 1.200 m. Les sous-stations mobiles antidéflagrantes de transformation peuvent se construire avec de faibles sections transversales, par exemple un diamètre de 60 cm pour une puissance de 200 kVA.

INHALTSANGABE

Der Verfasser gibt zunächst einen kurzen Rückblick auf die Elektrifizierung im Bergbau unter Hervorhebung der Besonderheiten des Untertagebetriebs und ihrer Auswirkung auf die elektrischen Anlagen. Vor diesem Hintergrund zeigt er die wesentlichen Probleme auf, die die lebendige Entwicklung der Praxis unmerklich mit sich gebracht hat. Er schildert einige der am stärksten umstrittenen Fragen und sucht nach Möglichkeiten ihrer Lösung in der Zukunft.

Die bisherige Tendenz, einen Schutz in Form der Panzerung zu suchen, war nahliegend, doch ist eine unbegrenzte Weiterentwicklung in dieser Richtung ein Ding der Unmöglichkeit. Das Aufkommen sicherer Elektronenrelais mit Transistoren ohne bewegliche Teile gestattet eine aktive und stetige Ueberwachung der Netze. Von ihrer allgemeinen Einführung, verbunden mit einer besseren Schulung, darf man eine Erleichterung der gegenwärtigen Vorschriften erhoffen, die ohne zwingenden Grund zu weit gehen und wirtschaftlich schwere Kosten mit sich bringen. Anhand eines Schaubildes wird ein von der ACEC entwickeltes System der Fernsteuerung und des vollen Schutzes der Untertagenetze vorgeführt.

Man sieht, wie Isolations- und Schaltfehler, Kurzschlüsse in Haupt-, Neben- und Steuerstromkreisen, Gehäuseschlüsse usw. automatisch und selektiv lokalisiert werden. Ferner zeigt das Bild, wie elastisch und rasch sich diese Sicherheitsblöcke in ihrer gedrängten Bauweise in sämtliche Installationsschemata einfügen : Oertliche Steuerung, Fernsteuerung, Folgesteuerung mit oder

De auteur spreekt over het zo genaamde materiaal « met versterkte veiligheid ».

Handelend over de motoren voor de winning signaleert hij de moeilijkheden die ontstaan wanneer de motoren te dikwijls moeten aanlopen.

De problemen gesteld door de spanningsval, de grote afstanden en de kortsluitstromen worden niet op bevredigende wijze opgelost wanneer men zou overgaan van de laagspanning van 500 V op 1.000 V.

De oplossing ligt hier veeleer in een terugkeer naar de klassieke methoden : de hoogspanning moet zo dicht mogelijk bij de werkplaatsen gebracht worden en daar tot 500 V worden omgevormd.

Op die manier kan het thans gebruikte materiaal in dienst blijven hetgeen reeds een besparing toelaat van meer dan 600.000 F voor een afstand van 1.200 m. De mijngasveilige verplaatsbare onderstations voor de transformatie kunnen uitgevoerd worden met een zeer kleine dwarsafmeting : bij voorbeeld 60 cm voor een vermogen van 200 kVA.

SUMMARY

A brief historical account of underground electrification of mines, a reminder of the special characteristics underground and their effect on the networks, make it possible to outline the main problems which have gradually come into being in the course of actual evolution.

Some of the most debatable are reviewed in an attempt to see which solutions the future may bring.

The natural tendency to resort to protections of the « armour plated » type cannot be extended indefinitely. With the appearance of transistorized static electronic relays, which function reliably, it is possible to exercise active, permanent supervision over the networks. Their generalization, combined with better professional training allows us to hope for relaxation of the regulations and legislation, which are needlessly exaggerated and a heavy charge economically speaking. A demonstration of the ACEC remote control system and total protection of the underground networks is given with the aid of a didactic panel.

There, it can be seen how defects of isolation, cuts, short circuits of both main and auxiliary cables, the defects of mass or pilot circuits, are isolated automatically and selectively. The ease and rapidity with which these very compact safety-blocks can be adapted to all installation designs, can also be observed : local control, remote control, in sequence, with or without

Est-ce là une critique de notre code des Mines et des règles d'agrément de l'INM ? Je ne me la permettrais pas. Mais ces honorables administrations, dont la Belgique peut être fière à bon droit, me pardonneront, j'espère, d'essayer de voir l'avenir au travers du passé et non pas de critiquer, mais de suggérer que certaines parties du règlement pourraient avoir perdu de leurs impérieuses nécessités. C'est en ce sens donc que j'ose faire certaines remarques parce que je crois que les éminents fonctionnaires de ces administrations orienteront inmanquablement dans cette voie leurs travaux futurs en vue de corriger et de parfaire un règlement, par ailleurs admirable de sciences et de conscience.

Les règles d'agrément de notre INM sont parmi les plus sévères du monde. Elles conduisent donc à un matériel coûteux. Les ajoutées à la législation n'ont que trop tendance à les compliquer, donc à en augmenter encore les prix. Ce problème a atteint un degré tel d'acuité qu'il est question de créer une nouvelle classe de matériel pour les mines : le matériel à sécurité renforcée qu'on espère être moins coûteuse et sur laquelle on s'apprête à légiférer. Est-ce bien judicieux ? N'y a-t-il pas mieux à faire ?

Pour le matériel antidéflagrant classique, nous pensons que le législateur belge s'est trop souvent prémuni contre des incidents n'ayant plus, actuellement, qu'une infime probabilité de se réaliser : par exemple, l'interdiction de pénétrer directement avec les câbles dans les enveloppes de plus de 2 litres, même s'il s'agit d'un transformateur ou d'un moteur à cage. Pour que cette précaution soit utile, il faut qu'on ait simultanément :

- un important dégagement de grisou,
- une panne de ventilation qui empêche la dilution immédiate de ce grisou en dessous du taux de sécurité,
- que, pendant les quelques minutes où ce taux aurait pu être dépassé, le gaz ait atteint l'endroit où se trouve le transformateur et ait pénétré à l'intérieur de l'enveloppe antidéflagrante relativement bien fermée,
- qu'un coup de feu, c'est-à-dire une panne grave, se produise au transformateur à ce moment là,
- que l'entrée de câble ait été mal faite,
- qu'au moment de la déflagration à l'intérieur de l'enveloppe, l'air extérieur à celle-ci soit encore explosif.

Et voilà pourquoi vous avez le prix, le poids et l'encombrement de trois compartiments antidéflagrants au lieu d'un.

Autre genre de gaspillage obligatoire qui est l'héritage du passé : le surdimensionnement des fils de terre à 16 mm² minimum, souvent étendu

aux fils de masse, les prises de terre à 0,1 ohm en vue d'une précaution illusoire alors que le contrôle permanent de l'isolement des phases principales avec déclenchement immédiat en cas de défaut, actuellement possible, assure une protection parfaite, même avec des résistances de masse de 1000 ohms.

Enfin, pour compléter la palette, un autre genre : le renforcement exagéré du matériel dans l'espoir de le faire résister à ce à quoi il ne résistera jamais : par exemple, le grossissement des câbles pour les faire résister à la traction, les entrées de câble avec amarrage résistant à une traction d'une tonne, etc...

S'il est judicieux de faire aussi solide que possible, sans augmentation de prix, il est vain de légiférer à ce sujet. Un câble électrique n'est pas un câble de halage. Si l'effort accidentel provient d'un mouvement de terrain ou de l'impact d'une berline, aucune précaution ne peut empêcher la rupture; si la traction est effectuée par un homme et bien, comme disent nos amis hollandais, cet homme nous le voulons mort, il faut le tuer ! Lui faire un câble et un amarrage plus solides, c'est précisément le tenter de faire l'opération interdite, de haler le coffret par son câble.

Je crois qu'en matière de protection, la phase « cuirasse » a sorti tous ses effets utiles; je crois que la phase « intelligente » a commencé, bien qu'elle n'ait pas encore l'entière sanction des lois. Je crois que cette phase intelligente se caractérisera par :

- 1°) une formation professionnelle plus poussée de tout qui descend dans la mine, quant à tout ce qu'il va y trouver, y compris l'électricité et la mécanique. Outre la qualification d'action du spécialiste dans son domaine, elle doit lui inculquer :
 - la conscience professionnelle de ce qu'il fait,
 - le respect de tout le matériel, surtout électrique, qu'il côtoiera et qu'il doit traiter avec douceur et précaution,
 - un minimum de connaissance des dangers qu'il peut faire naître,
 - le sens des responsabilités collectives auxquelles il participe.

Le jour où plus aucune manœuvre primaire et ignorant ne descendra au fond, un grand progrès aura été fait dans la sécurité, l'économie et le rendement de la fosse.

- 2°) Nous verrons se systématiser une surveillance constante, permanente, de l'intégrité du bon état des réseaux électriques du fond par un ensemble complet de relais électroniques, intervenant immédiatement, automatiquement, pour couper la tension dès l'apparition d'un quelconque danger. Des systèmes de ce genre

existent; ils sont sûrs et efficaces. Je vous en présente un exemple, ici même, devant vous (fig. 1), dont je vais vous faire une rapide démonstration.

Je ne m'appesantirai pas plus, ayant déjà fait une conférence sur ce sujet à l'A.I.M.

Je crois personnellement que ce serait un mauvais service rendu à la nation et à l'économie du pays que d'évoluer dans cette voie. Je m'en explique. Les gisements belges sont les plus difficiles du monde. Logiquement, nous devrions être à la tête de la technique, de la mécanisation et de la sécurité minière. Or, l'incurable modestie du

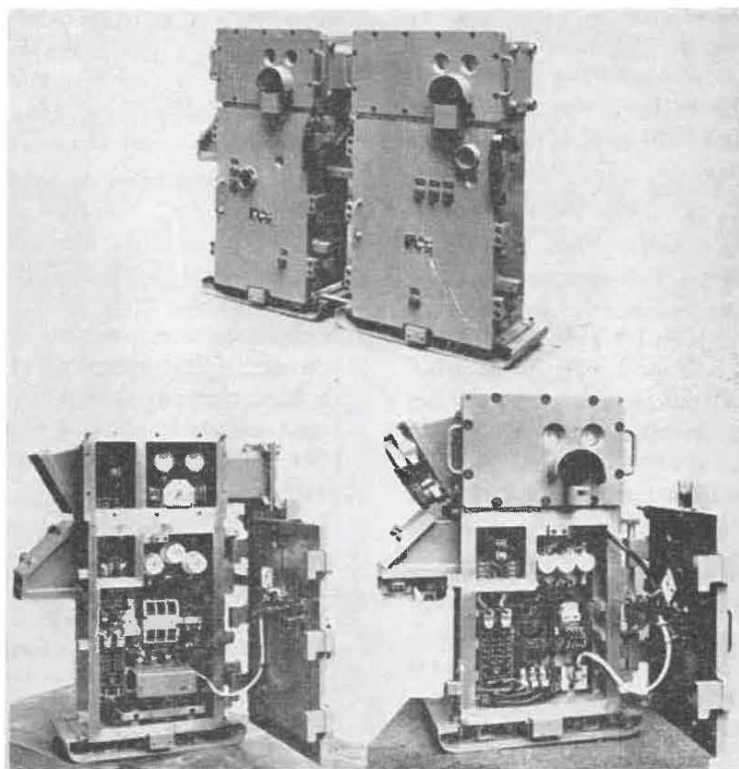


Fig. 1.

3°) Enfin dans les cas où une surveillance et une protection permanente de ce genre sont réalisées, je crois logique de prévoir un notable adoucissement des règlements du genre « cuirasse », tout au moins dans leurs articles devenus inutiles et économiquement lourds à supporter.

II. MATERIEL DE SECURITE RENFORCEE

Ayant parlé de protection, ayant quelque peu égratigné la conception belge du matériel antidéflagrant, je m'en voudrais de ne pas dire deux mots d'une tendance dont on parle depuis quelque temps : adoucir le handicap économique que nous crée la sévérité des règlements belges d'antidéflagrance en réglementant une classe de matériel inférieure qui existe dans certains pays étrangers et qu'on espère coûter moins cher. Je veux parler du matériel dit (comme les mots sont traîtres) de sécurité renforcée, alors qu'il n'est ni de sécurité, ni renforcé.

belge nous pousse à ne pas développer nos propres techniques, à aller chercher à l'étranger des solutions qu'on espère toutes faites, à les essayer chez nous à grands frais de devises et à devoir les adapter péniblement aux difficultés de nos gisements par des ajouts qui rendent souvent l'ensemble soit inefficace, soit monstrueux.

Qu'est-ce que ce matériel de sécurité renforcée? C'est un matériel électrique ordinaire, de bonne qualité industrielle, telle qu'une usine importante et sérieuse peut le faire et ayant une bonne protection mécanique. Il est utilisé dans les mines de certains pays étrangers parce qu'elles sont généralement peu profondes, de gisement facile, où le spectre du grisou était, jusqu'à ces derniers temps, plus un fantôme de château écossais qu'une dangereuse réalité. Mais cette situation n'est pas éternelle. Tant en France qu'en Allemagne, on va chercher le charbon de plus en plus profondément et l'on découvre les difficultés qui nous sont bien connues. De tragiques signes avant-coueurs de cet état de fait se sont déjà fait sentir.

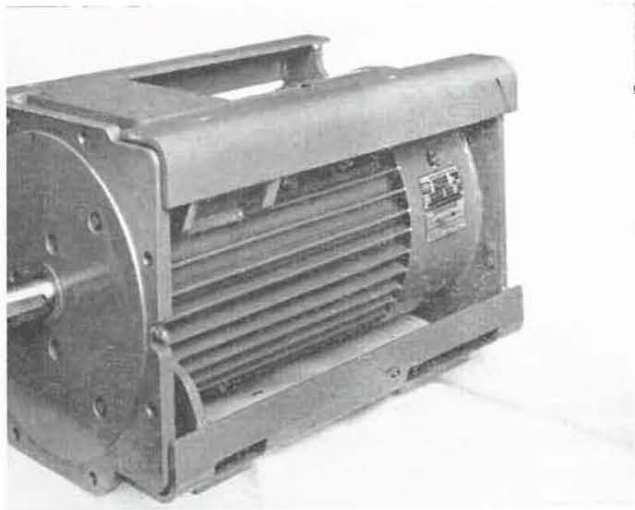


Fig. 7.

Si une cadence d'un démarrage toutes les quinze minutes était déjà élevée pour une courroie ou un convoyeur blindé, on la vit, avec les rabots, atteindre à certains moments d'exploitation difficile, des cadences d'un toutes les deux minutes. Avec certains engins comme les scrapers-rabots, dont on attend beaucoup pour la mécanisation de l'abatage dans les bassins Sud, les cadences atteignent un démarrage toutes les sept secondes.

Si l'on veut bien se souvenir que ces moteurs chauffent grosso modo vingt cinq fois plus pendant la durée du démarrage que pendant le fonctionnement normal à pleine charge, on se rend compte de l'ampleur du problème, dont je n'évoquerai ici que deux aspects : protection et nécessité de démarrages rapides.

La protection classique par relais thermique s'avère impuissante à éviter de brûler le moteur à la suite d'un trop grand nombre d'enclenchements consécutifs; cela, du fait de sa trop faible inertie thermique au refroidissement.

Outre qu'il n'est pas soumis à la même température ambiante que le moteur, le relais thermique s'est complètement refroidi au bout de deux minutes et autorise un nouvel enclenchement, alors que le moteur n'a encore perdu que deux ou trois degrés. La solution est simple : assurer la protection par thermo-contacts incorporés aux bobinages statoriques du moteur, qui prennent en permanence leur température réelle et commandent le déclenchement lorsque cette température atteint une valeur dangereuse pour la bonne tenue ou la longévité des isolants, par exemple 120° C pour les AK3Gc ou 180° C pour les AK3Gf. Il est regrettable de constater combien ce mode de protection très efficace, est encore peu répandu sous le seul prétexte du supplément de prix qu'il entraîne à l'achat.

La question protection réglée, reste celle de réduire l'échauffement à chaque démarrage, c'est-à-dire la durée de chacun d'eux. Et pour cela, il n'y a pas d'autres moyens que de disposer du maximum de couple accélérateur en réduisant le plus possible les PD2, c'est-à-dire les inerties à

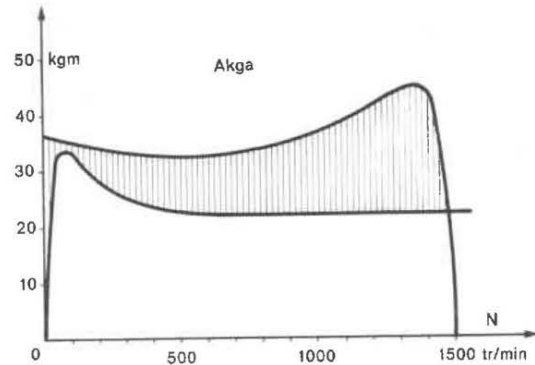


Fig. 8.

vaincre. Les figures 8, 9 et 10 illustrent clairement le gain de temps réalisé pour la mise en vitesse d'un même engin d'abatage en passant du moteur type AKGa au type AK3Gc : échauffement réduit à près de la moitié pour chaque démarrage.

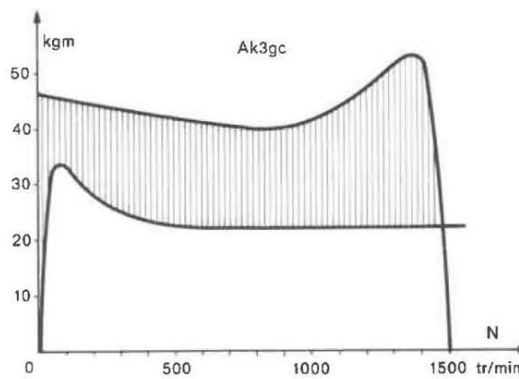


Fig. 9.

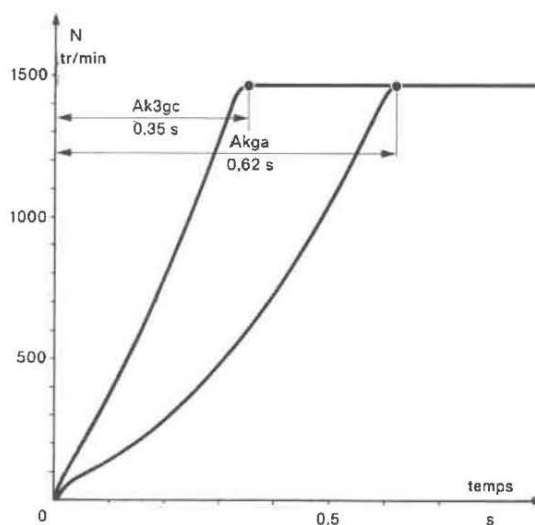


Fig. 10.

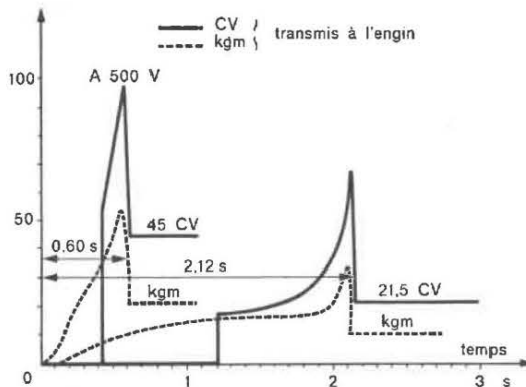


Fig. 11.

- a) avec coupleur 9 litres
b) avec câble impédant

Quant à la figure 11a, elle illustre l'influence nocive du coupleur hydraulique sur la durée de démarrage du moteur AK3Gc, qui est due au fait que le supplément de 3,5 kgm² du PD2 qu'il introduit ralentit plus que l'accroissement du couple accélérateur qu'il procure.

Enfin, la figure 11b montre l'influence catastrophique des chutes de tension qui non seulement et, en dépit de l'utilisation d'un coupleur hydraulique, multiplient par 4 la durée des démarrages, donc les échauffements, mais réduisent les couples disponibles proportionnellement au carré de la chute de tension relative.

En conclusion, dès que se posent des problèmes d'enclenchements de moteurs à cadence élevée, il n'y a plus moyen de s'accommoder de chutes de tension : il faut les éliminer. Non seulement parce que c'est littéralement se fermer le robinet à énergie et dévaluer l'efficacité d'engins coûteux, mais aussi parce que c'est le dernier signe avant-coureur d'un travail avec des courants de démarrages s'approchant trop du courant de court-circuit du réseau, c'est-à-dire d'un travail dans des conditions criminelles d'insécurité.

Or, comment se présente l'avenir ? Aujourd'hui, en 1963, nous sommes au début d'une nouvelle phase de l'électrification des mines : l'électricité arrive en taille; la mécanisation de l'abattage va se généraliser, même dans les bassins sud et elle ne pourra se généraliser qu'en s'électrifiant. Non seulement, elle va se généraliser en nombre, mais aussi elle va continuer à croître en puissance unitaire des engins. Je n'en veux qu'une preuve : ce treuil de scraper-rabot ACEC pour couches de faible ouverture (fig. 12) qui peut être équipé en tête de taille comme en pied de taille d'un moteur de 114 ch à 1500 tr/min, soit au total 228 ch, démarrés simultanément, la vitesse de déplacement du rabot en taille pouvant atteindre 2,70 m/s.

Cela représente toutes les sept secondes un courant de démarrage de 1200 A à 500 V. Dès à présent, il n'est pas absurde de prévoir des puis-

sances installées de 400 à 500 kVA par taille, et cela à des distances des puits qui atteignent facilement 5 km et plus.

Une conclusion s'impose : nos réseaux électriques du fond, déjà trop étirés, nous l'avons vu, ne pourront pas répondre à l'appel du progrès. Il va falloir modifier du tout au tout leur conception.

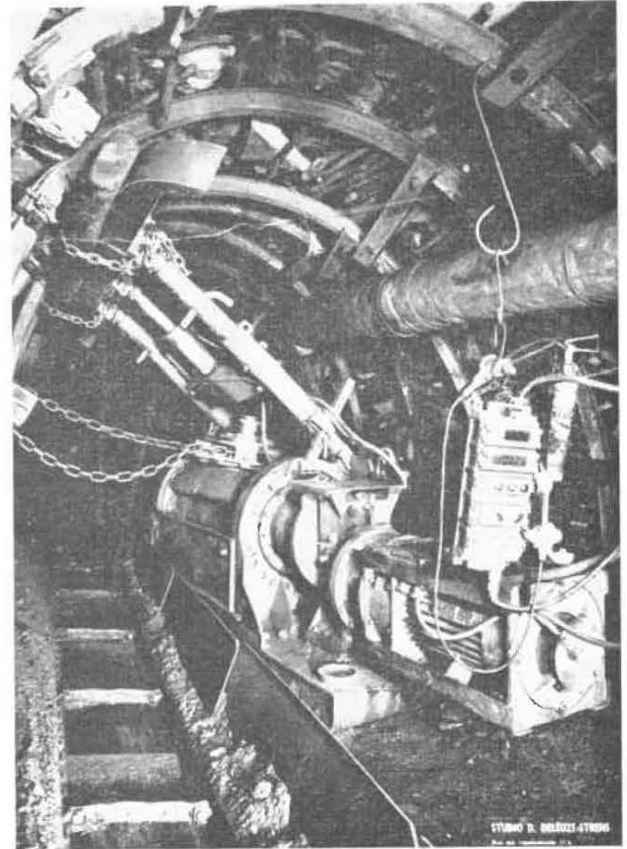


Fig. 12.

IV. RESEAUX BT A 500 V OU A 1 kV

C'est sous la poussée de ces éventualités que s'est faite jour, en France notamment, l'idée de faire admettre par les règlements miniers la tension de 1000 V comme étant encore une basse tension.

Doubler la tension c'est, toutes autres choses égales d'ailleurs et notamment la section des câbles utilisés, pouvoir chasser quatre fois plus loin avant de retrouver les mêmes ennuis de chute de tension et de pertes de couple. C'est évidemment tentant, bien que cela signifie à plus ou moins brève échéance la mise à mitrailles de tout le parc de matériel à 500 Volts.

Mais, dès à présent, je voudrais élever la voix pour faire la mise en garde suivante : la Belgique n'a que faire de s'engager dans cette voie, d'abord parce qu'elle est dispensieuse, ensuite parce qu'elle est insuffisante et ne fait que reculer le

200 m de câble souple de $3 \times 50 \text{ mm}^2$, ce qui vous donnera 200 à 400 m de mou au bout duquel il sera temps de rapprocher à nouveau le transformateur du chantier en interposant une longueur équivalente de câble HT.

Voyons l'économie de câbles réalisée pour le transport à 1.200 m de 260 A régime à 500 V.

Méthode actuelle (chassage à 500 V)

1.200 m de câble $3 \times 240 \text{ mm}^2$, entraînant une chute de tension de 39 V en régime et 195 V pour une pointe de 1.300 A, dépense :

$$1,2 \times 600.000 \text{ F} = 790.000 \text{ F}$$

Méthode proposée (chassage à 6 kV)

1.000 m de câble 6 kV $3 \times 10 \text{ mm}^2$ + 200 m câble 500 V souple $3 \times 50 \text{ mm}^2$ entraînant une

chute de tension de 38 V en régime et 188 V pour une pointe de 1.300 A, dépense :

$$1 \times 115.000 \text{ F} + 0,2 \times 300.000 \text{ F} = 175.000 \text{ F}$$

Bénéfice net de l'opération :

615.000 F sans compter l'économie de boîtes de jonction et de main-d'œuvre de pose des câbles, qui sont loin d'être négligeables.

Chassons encore 1 km plus loin :

Chassage à 500 V : supplément de 660.000 F = ΔV régime : 72 V; ne parlons plus des pointes.

Chassage à 6 kV :

Supplément de 115.000 F; ΔV régime : 44 V.

CONCLUSION

Dans la première méthode on est à bout de souffle, dans la seconde, on peut encore allègrement chasser des kilomètres plus loin.