Solutions apportées par les A.C.E.C. à l'électrification du scraper-rabot

par I. OTS

Ingénieur Chef de Service au « Département Mines » des A.C.E.C.

SAMENVATTING

De electrische uitrusting A.C.E.C. van de schaafschrapers is gekenmerkt door de volgende karakteristieken :

— *het gebruik van driefasige asynchrone motoren met kooianker, met rechtstreekse aanloop, prismatisch en volledig uit staal, type AK3G c.*
— *rechtstreekse aandrijving door een penkoppeling met geringe PD^2 (0,5 kg.m²).*
De afschaffing van iedere hydraulische koppeling is verrechtvaardigd door het feit dat, voor een inrichting met hoge aanloopkadans (tot 8 inversies per minuut), het voordeel van het hoger versnellingskoppel van een hydraulische koppeling te niet gedaan wordt door zijn grotere PD^2 (3,5 kg.m²); de duur van de aanloop, die normaal 0,33 sec bedraagt, verhoogt tot 0,6 sec bij gebruik van de koppeling, hetgeen de verhitting van de motor bij iedere aanloop van ongeveer 80 % verhoogt.
— *het gebruik van een schijvenrem, ingebouwd in de motor.*
Het feit de rem te plaatsen op een sneldraaiende as, laat toe in een zeer beperkte ruimte een krachtig remkoppel van ongeveer 1.500 kgm per motor te realiseren, dat toelaat de schraperbakken op een afstand van ongeveer 1 cm te stoppen.
Deze nauwkeurigheid is uiterst nuttig bij de aankomst van de bakken nabij de ondersteuningsramen en in de steile hellingen.
— *een uiterst eenvoudig, praktisch en veilig bedienings- en seinsysteem, door middel van contactoren, dat elk verkeerd manœuver verhindert dank zij een reeks vergrendelingen.*

Het schema en de werking van dit systeem worden uitvoerig besproken voor ieder der mogelijke wijzen van bediening.

De bediening is enkelvoudig en geschiedt door middel van twee borden, het ene opgesteld in de voetgalerij, het andere in de kopgalerij. Ieder bord bevat drie drukknoppen en drie signalisatielampen met specifieke betekenis.

Door het groeperen van het bedienings- en het seinstelsel is de mogelijkheid geschapen, voor ieder gevraagd manœuver de verboden manœuvers te vergrendelen en de bediening van de rem te automatiseren.

De bediening van de installatie is daardoor uiterst eenvoudig geworden.

De hoge prestaties die verkregen werden met de electrische schaafschrapers in de bedrijfszetels nr 4 van de « Charbonnages de Monceau-Fontaine » en nr 10 van de « Charbonnages du Gouffre » hebben de degelijkheid van het systeem voldoende aangetoond.

RESUME

Les installations de scraper-rabot électriques A.C.E.C. se caractérisent par :

— *L'utilisation de moteurs asynchrones triphasés à cage, à démarrage direct, prismatiques, tout acier, du type AK3G c.*
— *L'attaque directe de l'engin par un accouplement à broches à faible PD^2 (0,5 kg.m²). La suppression de tout coupleur hydraulique se justifie du fait que, pour un engin à fortes cadences de démarrage (jusqu'à 8 inversions par minute), le gain de couple accélérateur obtenu par le coupleur hydraulique*

est loin de compenser l'augmentation de PD² (3,5kg.m²) qu'il introduit ; la durée d'un démarrage, normalement de 0,33 s, passe à 0,6 s si l'on utilise un coupleur, augmentant d'environ 80 % l'échauffement du moteur à chaque démarrage.

— *L'utilisation d'un frein à disque incorporé au moteur. Le fait de placer le frein sur l'axe à grande vitesse permet de disposer dans un encombrement réduit d'un puissant couple de freinage de 1.500 kgm par moteur, capable d'arrêter net les bacs de scraper sur 1 cm de course.*
Cette précision est extrêmement utile lors de l'arrivée des bacs près des cadres et dans les forts pendages.

— *Un système de commande et de signalisation à contacteurs, simple, très pratique et de haute sécurité, où toute fausse manœuvre est rendue impossible grâce à toute une série de verrouillages.*

Le schéma et son fonctionnement en sont exposés en détails, pour les différents modes de fonctionnement possibles.

La commande est unique et se fait au moyen de deux pupitres installés l'un à la voie de pied, l'autre à la voie de tête ; chaque pupitre groupe trois boutons-poussoirs et trois lampes de signalisation à signification spécifique.

Le fait de grouper la commande et la signalisation a permis, pour chaque demande de manœuvre, de verrouiller les manœuvres défendues et d'automatiser la commande du frein.

La commande de l'engin est donc devenue extrêmement simple.

Les hautes performances obtenues avec les installations de scraper-rabot électrique, faites par les A.C.E.C. au siège n° 4 des Charbonnages de Monceau-Fontaine et au siège n° 10 des Charbonnages du Gouffre, sont garantes de la valeur du système.

Lorsqu'Inichar nous demanda s'il était possible d'électrifier le scraper-rabot, nous arrivâmes très rapidement à une conclusion affirmative.

Restait alors à déterminer la meilleure technique à suivre pour électrifier l'engin qui, mû à l'air comprimé, avait prouvé ses possibilités.

Les principales difficultés que nous rencontrâmes eurent deux origines :

— d'une part, l'absence de mesures relatives aux efforts qu'exige l'engin pour effectuer un bon travail dans nos gisements ;

— d'autre part, les habitudes prises par les utilisateurs pour la conduite de l'engin quand il est mû à l'air comprimé. Ces deux sources d'énergie, l'air comprimé d'une part, l'électricité de l'autre, ont en effet leur génie propre ; essayer d'imposer à cette dernière le mode de travail et le système de commande qui convient à l'autre ne pouvait conduire qu'à des ennuis. Poussés par le souci de conserver la formation du personnel travaillant à l'air comprimé, nous avons initialement commis cette erreur. Nous n'avons heureusement pas persévéré dans cette voie et, dès lors, nous avons pu voir l'engin électrifié développer toutes ses performances à l'égal si pas au-delà de celles obtenues par l'air comprimé.

Nous allons brièvement décrire et justifier les caractéristiques du scraper-rabot électrique tel que nous le concevons actuellement.

I. CIRCUITS DE PUISSANCE

1. Moteur.

Pour des raisons de simplicité, de robustesse et du peu d'entretien qu'il nécessite, nous avons choisi le moteur asynchrone triphasé à cage. En tant que moteur de fond et même de taille, nous l'avons choisi antidéflagrant, tout acier, de notre type AK 3Gc.

Pour des raisons de simplicité de l'appareillage, nous l'avons choisi à démarrage direct. Ceci entraîne immédiatement une remarque importante : le réseau électrique qui l'alimentera doit être suffisamment fort pour répondre à l'important appel de courant (5 à 6 fois le courant nominal) qui se produit à chaque démarrage et cela, sans qu'il se produise de chutes de tension prohibitives. En effet, c'est au démarrage, et principalement au démarrage en pied de taille, que le couple qu'exige l'engin est maximum. Ce couple, le moteur ne peut le fournir que s'il garde à ses bornes sa tension nominale. Si cette tension tombe par exemple de 10 % par suite de l'appel de courant, le couple fourni par le moteur, qui varie avec le carré de la tension, diminue, lui, de 20 %. Autrement dit, le couple moteur disparaît très vite si la tension ne se maintient pas et ce n'est pas en augmentant la puissance du moteur qu'on le rattrapera.

2. Appareillage de commande et de protection (fig. 1).

Il est classique ; il comporte, pour chaque moteur, deux contacteurs 10 et 20 montés en inverseurs, un pour chaque sens de marche ; il comporte également, pour chaque moteur, un relais magnéto-

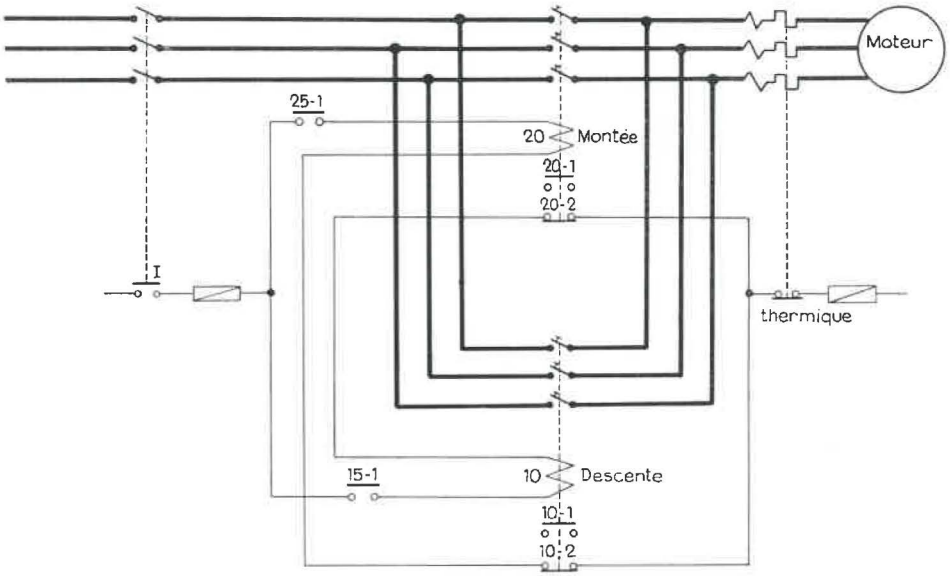

Fig. 1.

thermique tripolaire, assurant la protection contre les courts-circuits et les surcharges.

La fermeture du contact 25.1 assure l'enclenchement du contacteur de montée (20) ; la fermeture du contact 15.1 assure l'enclenchement du contacteur de descente 10. Les contacts auxiliaires 20.2 et 10.2 de ces contacteurs assurent un verrouillage qui empêche l'enclenchement simultané des deux sens de marche du moteur, c'est-à-dire un court-circuit franc sur deux phases. En effet, l'enclenchement de 20 n'est possible que si 10 est ouvert, et réciproquement. Le fonctionnement du relais thermique interrompt l'alimentation des bobines des contacteurs et entraîne donc l'arrêt, tout en empêchant le réenclenchement.

3. Attaque directe du treuil de scraper-rabot.

Nous préconisons l'attaque directe du treuil par le moteur électrique, sans l'intermédiaire de coupleur ou limiteur de couple, hydraulique ou autre.

Par rapport aux treuils, les coupleurs n'apportent aucune protection autre que celles qu'apportent la broche à casser et un choix judicieux des caractéristiques couple-vitesse du moteur.

Par rapport aux moteurs, ils ne le protègent d'aucune surcharge mécanique qu'ils ne puissent supporter. Par contre, du point de vue échauffement, ils les surchargent de façon notable. En effet, le scraper-rabot est un engin à très forte cadence de démarrages et d'inversions (jusqu'à huit fois par minute). Or, nous avons déjà dit que le courant traversant le moteur était de 5 à 6 fois le courant normal de régime ; les pertes dans le moteur étant proportionnelles au carré du courant, le dégagement de calories est donc environ 25 fois plus important au démarrage que durant le fonctionnement en régime à 4/4 charge. Dans le cas du scraper-rabot, on peut donc dire que ce sont principalement les démarrages qui échauffent le moteur et que, toute autre chose égale d'ailleurs, le moteur chauffera d'autant moins que la durée des démarrages sera plus courte, et ici interviennent les inerties, les PD^2. Ramenée à l'arbre moteur, l'inertie du scraper-rabot s'avère négligeable, vu les faibles vitesses, les petits diamètres et le grand rapport de réduction (1.500 à 60). La durée d'un démarrage est donc essentiellement conditionnée par :

— la caractéristique couple-vitesse du moteur ;
— le couple résistant opposé au moteur ;
— les PD^2 du moteur et de l'accouplement.

Calculons la durée du démarrage

$$\left(T = \frac{PD^2}{g} \int_0^{1500\ \text{tr/min}} \frac{dN}{C_M - C_R} \right)$$

dans les deux cas suivants :

a) Attaque directe de l'engin par un moteur

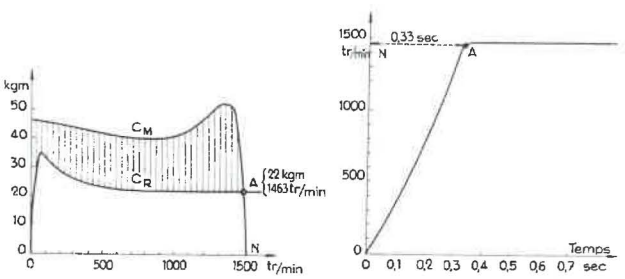

Fig. 2 et 3. — Attaque directe.
$PD^2 = 2{,}5$ kg/m²

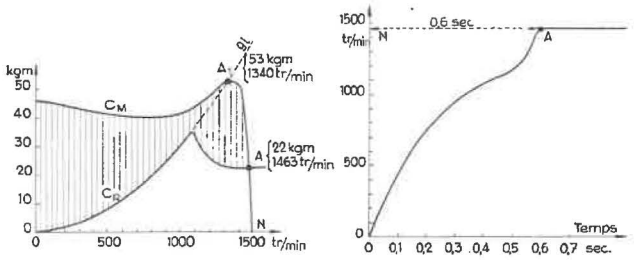

Fig. 4 et 5. — Attaque par coupleur hydraulique.
$PD^2 = 5{,}5$ kg/m²
Remplissage = 9 litres.

(2 kg.m²) et un simple accouplement à broche (0,5 kg.m²), soit un PD^2 total de 2,5 kg.m² (fig. 2 et 3).

b) Attaque de l'engin par le même moteur (2 kg.m²) et un coupleur hydraulique à 9 litres de remplissage (3,5 kg.m²), soit un PD^2 total de 5,5 kg.m² (fig. 4 et 5).

On voit clairement que l'introduction du coupleur hydraulique dans le cas du scraper-rabot fait passer la durée du démarrage de 0,33 s à 0,60 s, soit environ 80 % d'échauffement supplémentaire du moteur lors de chaque démarrage, par rapport à l'attaque directe.

C'est la raison pour laquelle nous préconisons l'attaque directe du scraper-bélier, solution qui a fait ses preuves, notamment au siège n° 4 de Monceau-Fontaine.

4. Freinage.

Un frein de blocage des chaînes s'avère pratique lors des manœuvres de passage des cadres. D'autre part, dans le cas des forts pendages, un frein d'arrêt de l'engin est nécessaire. De plus, lors de l'arrivée du scraper en pied et en tête de taille, il est intéressant de pouvoir l'arrêter très rapidement et avec précision.

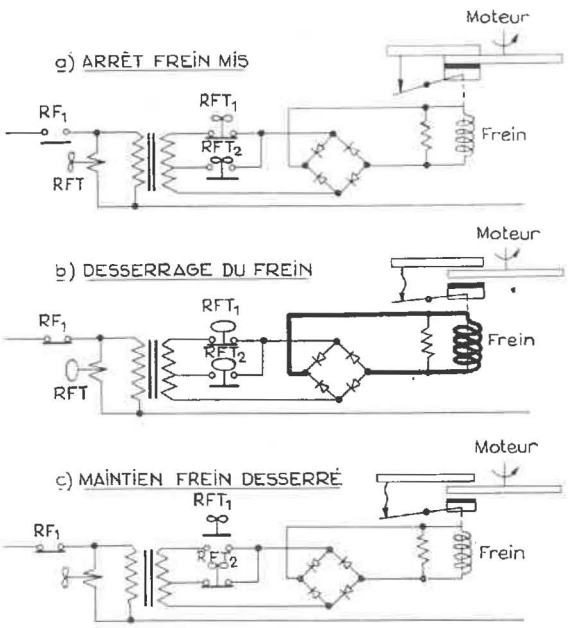

Fig. 6. — a : Arrêt frein mis
b : Desserrage du frein
c : Maintien frein desserré.

En vue de donner l'efficacité maximum au frein et profitant de la liaison rigide moteur-engin, les A.C.E.C. l'ont placé sur l'arbre moteur. Il s'agit d'un frein électrique à disques, incorporé au moteur, qui y fournit un couple de freinage de 60 kgm soit un couple de freinage équivalent au tourteau de 25 × 60 kgm = 1500 kgm. Il permet d'arrêter le scraper sur moins de 2 cm de course. Cela évite très souvent l'arrivée des bacs dans les cadres, leur déformation et le cassage des broches, tout en permettant au machiniste un temps de réaction plus long. Ce frein s'applique en cas d'absence de courant dans sa bobine (fig. 6a). Pour le desserrer, il faut d'abord lui appliquer une forte tension pour l'attirer au travers de l'entrefer (fig. 6b), ensuite diminuer cette tension à une valeur d'entretien plus faible, afin de diminuer les échauffements (fig. 6c). Ces manœuvres se font automatiquement grâce au relais à temps RFT, par la seule fermeture du contact RF 1.

II. CIRCUIT DE COMMANDE, ET DE SIGNALISATION A TRES BASSE TENSION

1. Description.

Une installation de scraper-rabot à double treuil possède un moteur et son appareillage en tête et un autre en pied.

Le système de commande et de signalisation A.C.E.C. comprend trois grands modes de fonctionnement qui sont choisis par le machiniste de pied au moyen du sélecteur S (fig. 7) :

Mode 1 :

Dans ce mode de fonctionnement qui correspond à l'exploitation normale, le machiniste de la voie de pied a la pleine responsabilité des commandes ; le machiniste de tête peut uniquement arrêter l'installation ou demander un sens de marche qu'il impose sans l'exécuter.

Mode 2 :

Utilisé pour les manœuvres de chaînes en pied de taille. Même fonctionnement que le précédent, mais uniquement avec le seul moteur de pied.

Mode 3 :

Utilisé pour les manœuvres de chaînes en tête de taille. Le machiniste de tête commande directement son seul moteur de tête ; le machiniste de pied garde uniquement la possibilité d'arrêter l'engin à tout moment.

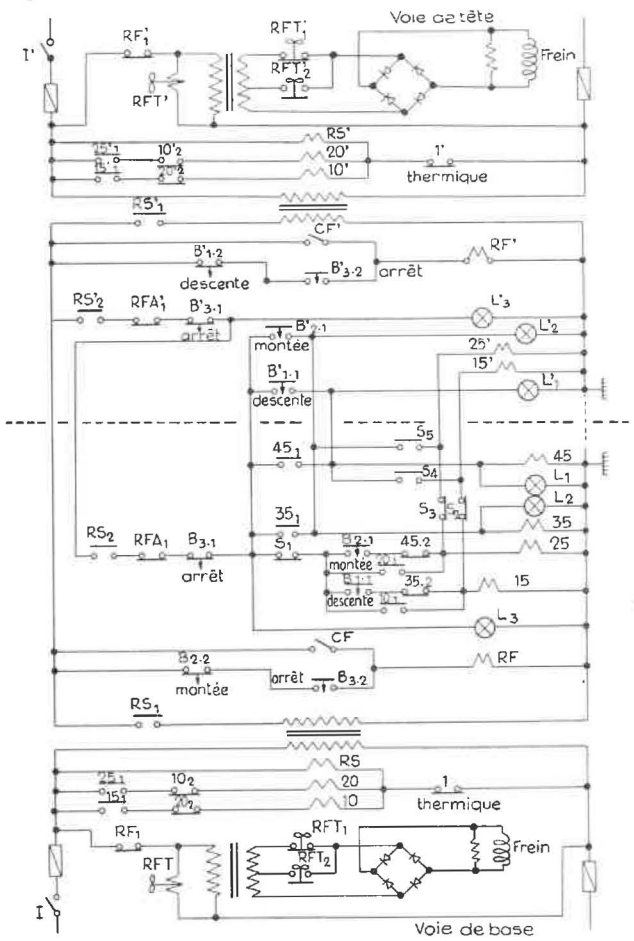

Fig. 7. — Circuits de commande pour scrapers-rabots à frein.

Pour l'exécution des manœuvres, chacun des deux machinistes possède un pupitre de commande et de signalisation qui groupe (fig. 7 et 8) :

— un bouton-poussoir pour la montée ; B'_2 de demande à la voie de tête (actionnant un contact NO $B'_{2.1}$) ; B_2 de commande à la voie de pied (actionnant un contact NO $B_{2.1}$ et un contact NF $B_{2.2}$) ;

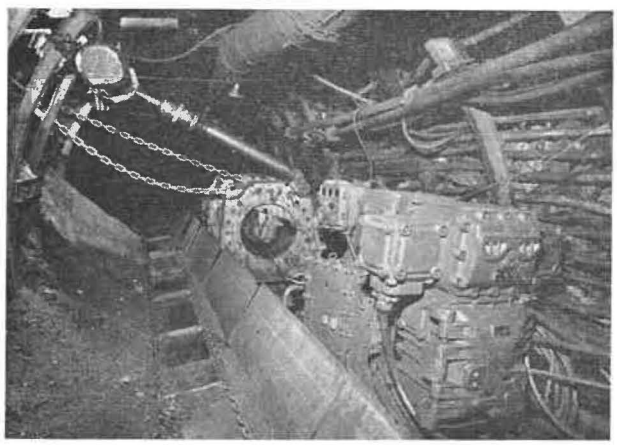

Fig. 8.

— un bouton-poussoir pour la descente ; B'_1 de demande à la voie de tête (actionnant un contact NO $B'_{1.1}$ et un contact NF $B'_{1.2}$) ; B_1 de commande à la voie de pied (actionnant un contact NO — $B_{1.1}$) ;

— un bouton-poussoir d'arrêt ; B'_3 de commande à la voie de tête (actionnant un contact NF $B'_{3.1}$ et un contact NO $B'_{3.2}$) ; B_3 de commande à la voie de pied (actionnant un contact NF $B_{3.1}$ et un contact NO $B_{3.2}$) ;

— une lampe au-dessus du bouton de montée, L'_2 en tête, L_2 en pied ; éclairées, elles signifient : « la voie de tête demande la montée » ; ces deux lampes restent éclairées tant que la manœuvre n'a pas été exécutée par la voie de pied ; elles ne s'éteignent qu'après une commande d'arrêt ;

— une lampe au-dessus du bouton de descente, L'_1 en tête, L_1 en pied ; signification et fonctionnement homologues pour la « demande de descente » ;

— une lampe qui, éclairée, signifie : L'_3 en tête : l'installation de la voie de tête est en ordre de marche. L_3 en pied : les installations des voies de tête et de pied sont en ordre de marche.

2. Mise en service.

Le schéma de l'ensemble des circuits de commande et de signalisation des voies de tête et de pied est donné à la figure 7 où les contacts sont dessinés dans leur position normale, relais et appareils non alimentés. Les appareils en tête ont l'indice '. On y retrouve la commande et l'alimentation des freins, commandés par le contact RF'_1 en tête, RF_1 en pied, telles que nous les avons vues à la figure 6 ; les bobines des contacteurs principaux de montée et de descente 20' et 10' en tête, 20 et 10 en pied alimentés à 500 V, respectivement commandés par les contacts 25'.1 - 15'.1 - 25.1 et 15.1 des relais à 24 volts, 25', 15', 25 et 15, telles qu'elles ont été décrites à la figure 1. Nous allons exposer les différentes phases de la mise en service.

a) *Fermeture du sectionneur général en tête.*

La fermeture de I' desserre le frein de tête, alimente le primaire du transformateur 24 V. Si l'installation de tête est en ordre de marche (fusibles bons, thermique 1 réarmé), le relais RS' est alimenté, les contacts RS'.1 et RS'.2 se ferment ; la lampe L'.3 s'allume en tête et signifie « voie de tête prête ».

A ce stade, aucune manœuvre de l'engin n'est encore possible, le contact RS_2 étant encore ouvert en pied.

b) *Fermeture du sectionneur général en pied.*

La fermeture de I desserre le frein en pied et alimente le primaire de son transformateur à 24 V.

Si l'installation en pied est en ordre de marche (fusibles bons, thermique 1 réarmé), le relais RS est alimenté, les contacts RS_1 et RS_2 se ferment ; la lampe L_3 s'allume en pied et signifie « voies de tête et de pied prêtes à marcher ».

On remarquera que les contacts RS_1 et RS'_1 évitent le reflux dans une installation mise hors service par son interrupteur général I, d'une tension 500 V induite, provenant de l'autre partie de l'installation.

3. Mode de fonctionnement n° 1. Exploitation normale.

Sélecté en pied par la manette S qui ferme les contacts S_1, S_2 et S_3, S_4 et S_5 restant ouverts. Le machiniste de pied, seul responsable, démarre le scraper-rabot simplement en poussant sur son bouton montée B_2. Ce faisant, il ferme le contact $B_{2.1}$ et il ouvre le contact $B_{2.2}$. Le contact $B_{2.1}$ alimente la bobine du relais 25 en pied et 25' en tête ; les contacts 25 et 25' se ferment, alimentant les contacteurs principaux 20 et 20' qui enclenchent simultanément les deux moteurs. L'enclenchement de 20 et 20' ouvre les contacts 20_2 et $20'_2$ (rendant impossible l'enclenchement simultané sur descente) et ferme les contacts 20_1 et $20'_1$ qui maintiennent l'alimentation des relais 25 et 25' quand le machiniste relâche son bouton-poussoir B_2.

L'arrêt immédiat des deux moteurs s'obtient soit en poussant sur le bouton-poussoir B'_3 en tête, soit sur le bouton-poussoir B_3 en pied, dont les contacts NF $B'_{3.1}$ et $B_{3.1}$ en série coupent l'alimentation des relais 25 et 25' et donc 20 et 20', ce qui remet tout dans la situation de départ, sauf en ce qui concerne les freins.

En effet, en poussant sur B'_3 par exemple, non seulement on a ouvert $B'_{3.1}$, mais on ferme $B'_{3.2}$ NO, ce qui alimente le relais RF' : le contact RF'_1 s'ouvre et coupe l'alimentation du frein de tête qui bloque instantanément le moteur ; simultanément, les lampes L'_3 et L_3 s'éteignent. Dans cette situation, il est impossible de mettre les moteurs en marche. Lorsqu'on relâche B'_3, $B'_{3.2}$ s'ouvre, coupe l'alimentation de RF' ; RF'_1 se ferme, ce qui réalimente la bobine du frein qui se desserre. Nous sommes revenus à la situation : arrêt, prêts à un nouveau départ. Les lampes L_3 et L'_3 se sont réallumées.

La commande de la descente s'effectue d'une façon similaire, en poussant sur le bouton B.1.

Demande d'un sens de marche par la voie de tête.

Ce cas se présente notamment lorsque le scraper-rabot est arrivé en tête de taille et a été arrêté près des cadres.

Le machiniste de tête demande la descente en poussant sur le bouton B'_1 : le contact NO $B'_{1.1}$ se ferme et alimente les lampes L'_1 et L_1 en pied, ainsi que la bobine du relais 45 (L'_1 et L_1 allumées signifie : « La voie de tête demande la descente »). Le contact 45.1 se ferme, court-circuitant $B'_{1.1}$: L'_1, L_1 et 45 restent alimentés, même quand on relâche B'_1. De plus, le contact 45.2 s'ouvre et reste ouvert, rendant sans effet une poussée éventuelle sur le bouton « montée » B_2. La demande est donc claire et ne peut être suivie d'aucune fausse manœuvre. Le machiniste de voie n'a plus qu'une seule manœuvre possible : celle demandée par la voie de tête, c'est-à-dire pousser sur le bouton « descente » B_1 qui enclenche les deux moteurs suivant le mécanisme déjà exposé.

Ce n'est que, lors de la manœuvre d'arrêt, commandée par B_3 ou B'_3, que le relais 45 se désalimentera, éteignant les lampes L'_1 et L_1, et remettra tout dans la situation initiale.

Un mécanisme du même genre joue pour la demande de montée faite par la voie de tête en poussant sur le bouton B'_2 qui alimente les lampes L'_2 et L_2 et le relais 35.

4. Mode de fonctionnement n° 2.

Même genre de fonctionnement que le n° 1, mais uniquement avec le seul moteur de la voie de pied.

Ce mode de fonctionnement est sélecté par le machiniste de pied au moyen du sélecteur S qui est mis dans une position où seul S_1 est fermé et S_2, S_3, S_4 et S_5 sont ouverts. De cette façon, les relais 25' et 15' en tête sont isolés, donc les contacteurs 20' et 10' : le moteur en tête ne s'enclenche jamais.

5. Mode de fonctionnement n° 3.

Le machiniste de la voie de tête commande directement son seul moteur de tête. C'est le machiniste de la voie de pied qui sélecte ce mode de fonctionnement par son sélecteur S qui coupe S_1, S_2 et S_3 et ferme les contacts S_4 et S_5.

De cette façon, les boutons-poussoirs B_1, B_2, les relais 15 et 25, 10 et 20 et le moteur en pied ne peuvent être alimentés ; les boutons-poussoirs B'_1 et B'_2 en tête commandent directement les relais 15' et 25', c'est-à-dire l'enclenchement du moteur de tête. La voie de pied garde toutefois la possibilité d'arrêter à tout moment par B_3.

6. Maintien du frein en permanence.

Cette manœuvre est intéressante comme sécurité lorsque l'on envoie des hommes en taille, en vue d'éviter une manœuvre intempestive de l'engin. Elle est aussi nécessaire pendant les manœuvres de chaînes. Elle se fait, soit en tête par la fermeture de l'interrupteur CF', soit en pied par celle de CF.

La manœuvre de CF', par exemple, alimente le relais RF' qui maintient RF'_1 ouvert, c'est-à-dire le frein serré. De plus, il ouvre RF'_2, c'est-à-dire qu'il commande l'arrêt des moteurs ou empêche leur enclenchement, lors d'une éventuelle manœuvre intempestive des boutons-poussoirs de mise en marche.

7. Sécurités supplémentaires.

La disparition de la tension au chantier applique également le frein.

La manœuvre du sectionneur général (en tête par exemple) applique le frein, empêche l'enclenchement des moteurs tant haut que bas, isole les coffrets en tête de retour de 500 V provenant de la voie de pied, se signale en pied par l'extinction de la lampe L_3.

III. CONCLUSIONS

Le système d'électrification que nous venons de décrire allie une très grande simplicité des commandes (3 boutons-poussoirs en pied, 3 en tête) à une entière sécurité vis-à-vis de toute fausse manœuvre.

La signalisation par 3 lampes en tête et 3 lampes en pied est claire et bien adaptée au genre d'exploitation ; non seulement, elle ne prête à aucune confusion, mais elle verrouille les manœuvres défendues.

La présence des lampes L'_3 et L_3 renseigne les deux machinistes sur l'origine des arrêts et le bon état de marche des installations. Elles peuvent servir à une signalisation codée de la voie de tête vers la voie de pied, par la manœuvre du bouton-poussoir d'arrêt B'_3.

En dépit des apparences, le schéma est simple et ne comporte entre voie de tête et voie de pied qu'un câble à 7 conducteurs de 2,5 mm^2, qui assure non seulement la commande et les verrouillages, mais aussi la signalisation. Son efficacité a été prouvée par le fonctionnement, sûr et sans défaillance, des installations de scraper-rabot électriques réalisées par les A.C.E.C. au siège n° 4 des Charbonnages de Monceau-Fontaine et au siège n° 10 des Charbonnages du Gouffre.

Nous remercions Inichar, les Charbonnages de Monceau-Fontaine, et du Gouffre de l'aide précieuse qu'ils nous ont apportée pour la mise au point du système. Puisse-t-elle être garante de l'avenir du procédé et de l'origine d'une résurrection des Bassins du Sud.