

**ENGRENAGES
REDUCTEURS
MULTIPLICATEURS
BOITES DE VITESSE**

**SPECIALITE :
DENTURES
trempées et rectifiées**

**POMPES
à engrenages de précision**

**ENGRENAGES
MAAG
ZURICH - SUISSE**

Ad. BAILLY

**60, av. Prince de Ligne
BRUXELLES**

Tél. : 44.19.53

LA PLUS GRANDE MACHINE DU MONDE!

pour la rectification d'engrenages après trempe jusqu'à
3 m. 60 de diamètre et 1 m. de largeur

ANC ETABL. METALL.

NOBELS-PEELMAN

St-NIKLAAS (Wass)

Tél. : 13 et 384 — Télégr. : ATELIERS

PONTS - CHARPENTES - CHAUDRONNERIE - WAGONS - TANKS

WAGONS ET WAGONNETS DE MINES ET
DE CARRIERES — VOIES ET AIGUILLAGES —
TRANSPORTEURS AERIENS — CHEVALETS
— CONSTRUCTIONS POUR TRIAGE-LAVOIRS
— TREMIERS — CHASSIS A MOLETTE

CADRES DE MINES POUR SOUTÈNEMENT

NOTES DIVERSES

Les ratés dans le tir des mines

par

R. LEFEVRE,

Ingénieur Principal des Mines, à Charleroi.

Les ratés qui surviennent lors du tir des mines sont une source de dangers pour le personnel. Ils entravent, pour le surplus, la bonne marche du travail. On peut les éviter presque à coup sûr en apportant tous ses soins à l'exécution des opérations de minage et en utilisant un appareillage de tir de qualité et bien approprié.

Dans la présente note, nous exposerons tout d'abord les considérations théoriques sur la mise à feu des mines. Cet exposé nous permettra de mettre en lumière les causes générales des ratés. Nous passerons ensuite en revue les différentes pratiques à observer pour prévenir les ratés. Nous terminerons enfin par l'examen des mesures à prendre au cas où, malgré tout, un raté se produit lors du tir.

I. — CONSIDERATIONS THEORIQUES

§ 1. — Processus de mise à feu des mines.

On sait que la détonation d'une charge d'explosif, logée dans un fourneau de mine, se produit sous l'action du choc d'amorçage d'un détonateur. Dans les mines de houille belges, les seuls détonateurs utilisés sont des détonateurs à basse tension, à fil de pont. Nous ne donnerons pas ici la description de ce type de détonateur : il est suffisamment connu de tous les mineurs. Nous rappellerons simplement que l'explosion de la charge détonante, du détonateur est obtenue par l'action inflammatoire initiale de sa poudre d'amorçage. Cette poudre s'enflamme par suite de l'échauffement du fil de pont

qui la traverse. L'échauffement du fil de pont est provoqué par le passage d'un courant électrique.

Il est à remarquer que le phénomène est le même, qu'il s'agisse de détonateurs instantanés ou de détonateurs à retard. Dans ces derniers, il y a simplement intercalation entre la poudre d'amorçage et la charge détonante, d'un relais supplémentaire de poudre retardatrice dont la longueur conditionne la durée du retard.

Pour ce qui concerne l'utilisation des détonateurs, le seul élément sur lequel puisse agir l'opérateur est le courant électrique d'allumage. Les autres éléments qui interviennent dans le processus de mise à feu du détonateur sont affaires du fabricant.

La question se réduira donc pour nous à l'étude d'un problème de production et de distribution d'énergie électrique.

§ 2. — Impulsion d'allumage des détonateurs.

Chaque type de détonateur, suivant ses caractéristiques de fabrication, demande un certain apport d'énergie extérieure pour que son fil de pont puisse être porté à la température d'inflammation de sa poudre d'amorçage et provoquer ainsi l'allumage de cette dernière. Cette quantité d'énergie s'exprime en watts/millisecondes par unité de résistance ohmique du fil de pont. Nous l'appellerons l'impulsion d'allumage des détonateurs et nous la désignerons par S .

Cette quantité d'énergie S pourra être développée par le passage dans le fil de pont d'un courant d'intensité variable i exprimé en ampères, lancé pendant un temps t exprimé en milliseconde et variable également. Les deux variables i et t seront liées par la relation connue : $\int_0^t i^2 dt = S$. L'intensité du courant et sa durée de passage jusqu'à obtention de la mise à feu de l'amorce sont donc les deux éléments théoriques qui permettent d'apprécier l'impulsion d'allumage des détonateurs, du point de vue de l'utilisation de ceux-ci.

Pour un type de détonateurs déterminé, l'impulsion d'allumage n'est pas rigoureusement constante. L'imprécision du travail, à l'échelle industrielle, introduit forcément des différences, si minimes soient-elles, dans les caractéristiques des amorces, même de celles issues d'un même lot de fabrication. Il y a donc des écarts entre les impulsions d'allumage de ces amorces. A fortiori et pour les mêmes raisons, y a-t-il de plus grands écarts de sensibilité encore entre des amorces provenant de fabrications différentes.

Lors de tirs simultanés de plusieurs détonateurs, il est favorable à la réussite complète des tirs, ainsi que nous le verrons ultérieurement, de disposer d'amorces dont les impulsions d'allumage respectives sont les plus rapprochées. Il s'indique donc de n'utiliser, dans un même tir, que des amorces provenant d'une même fabrication.

§ 3. — Persistance du courant.

Après qu'on a lancé le courant pendant un temps suffisant pour produire, dans le fil de pont d'un détonateur, une quantité d'énergie capable de porter celui-ci à la température d'inflammation de la poudre d'amorçage, ce courant, si on ne l'interrompt pas volontairement, continuera à passer dans le fil de pont jusqu'à la rupture de ce dernier. Cette rupture surviendra, soit par suite de l'explosion du détonateur, soit antérieurement à celle-ci, par effet mécanique ou calorifique de l'énergie engendrée, à laquelle s'ajoute l'énergie dégagée par la combustion de la poudre d'amorçage. De toute façon, cette rupture se produira postérieurement au moment où la quantité d'énergie, produite par le passage du courant dans le fil de pont, sera exactement suffisante pour provoquer l'inflammation de la poudre d'amorçage. Si nous appelons temps d'échauffement t , la durée de passage du courant nécessaire pour porter le fil de pont à la température d'inflammation de la poudre d'amorçage et persistance θ , la durée supplémentaire de passage du courant jusqu'à rupture du fil, nous voyons que la durée totale de passage du courant d dans le fil de pont d'un détonateur raccordé à une source de courant permanente se limitera à $d = t + \theta$.

Lorsque plusieurs détonateurs sont raccordés en série pour être tirés simultanément, l'écart d'impulsion d'allumage entre le détonateur le plus sensible et le détonateur le moins sensible de la volée, conjugué à la persistance de passage du courant, conditionneront la réussite intégrale du tir, pour un courant d'une intensité déterminée. Il faut en effet que, après passage du courant pendant un temps suffisant pour enflammer l'amorce la plus sensible, le dit courant persiste pendant assez longtemps que pour provoquer l'inflammation de l'amorce la moins sensible.

Si t_1 est le temps d'échauffement de l'amorce la plus sensible et θ la persistance jusqu'à rupture du fil de pont de cette amorce, la durée totale de passage du courant dans le circuit sera $d = t_1 + \theta$. Si t_2 est le temps d'échauffement de l'amorce la moins sensible

($t_2 > t_1$). Il faut, pour que tous les détonateurs sautent, que l'on ait :

$$d > t_2 \quad \text{ou} \quad t_1 + \theta > t_2, \quad \text{ou} \quad t_2 - t_1 < \theta \quad (1)$$

§ 4. — Importance de l'intensité du courant d'allumage.

Reprenant l'inégalité (1) : $t_2 - t_1 < \theta$, nous voyons que pour une persistance θ d'un type d'amorces déterminé, cette inégalité sera d'autant plus rapidement satisfaite que $t_2 - t_1$ est petit. Cette différence sera d'autant plus faible, pour les mêmes amorces, que l'intensité du courant d'allumage est grande.

En effet, la durée d'échauffement nécessaire pour atteindre une quantité d'énergie donnée est inversement proportionnelle au carré de l'intensité du courant d'alimentation, en vertu de la loi de Joule : $\int_0^t i^2 dt = S$.

Par exemple, en courant continu, si t_1 et t_2 sont les durées d'échauffement respectives de l'amorce la plus sensible et la moins sensible de la volée, S_1 et S_2 les quantités d'énergie respectivement nécessaires à ces deux amorces, nous avons $S_1 = i^2 t_1$ et $S_2 = i^2 t_2$. D'où :

$$t_2 - t_1 = \frac{S_2 - S_1}{i^2}$$

Pour $i = 1/2$ ampère, $t_2 - t_1 = 4(S_2 - S_1)$.

Pour $i = 1$ ampère, $t_2 - t_1 = S_2 - S_1$.

La différence des temps d'échauffement est donc 4 fois moins grande pour un courant d'un ampère que pour un courant d'un demi-ampère.

On voit la nécessité d'utiliser des courants les plus intenses possibles pour diminuer les risques de ratés dans une volée d'amorces raccordées en série, puisque ainsi la différence entre les durées d'échauffement de l'amorce la moins sensible et de l'amorce la plus sensible sera réduite au minimum et, partant, l'inégalité nécessaire au départ de toutes les amorces : $t_2 - t_1 < \theta$, aura le plus de chances d'être satisfaite.

On peut aussi mettre en relief l'influence favorable de l'intensité du courant d'allumage en remplaçant, dans l'inégalité $t_2 - t_1 < \theta$, $t_2 - t_1$ par sa valeur en fonction de la différence d'impulsion d'allumage :

$$t_2 - t_1 = \frac{S_2 - S_1}{i^2}$$

Il vient ainsi :

$$\frac{S_2 - S_1}{i^2} < \theta \quad \text{ou} \quad S_2 - S_1 < \theta i^2 \quad (2)$$

On voit que, pour un écart donné entre les impulsions d'allumage extrêmes de la volée et pour une persistance θ déterminée, l'inégalité aura d'autant plus de chances d'être satisfaite que l'intensité i du courant est importante.

Si l'intensité du courant est variable, nous pouvons tracer la courbe (I) $S = \int i^2 dt$ (voir fig. 1).

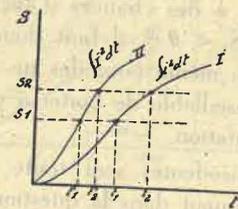


Fig. 1.

Nous voyons qu'au temps t_1 , la quantité d'énergie produite sera S_1 , elle atteindra S_2 au temps t_2 .

Si $t_2 - t_1 < \theta$, la quantité d'énergie S_2 requise pour faire sauter le détonateur le plus dur sera atteinte avant que le courant ne soit interrompu dans le circuit, puisque ce courant perdurera pendant un temps $t_1 + \theta$ et que $(t_1 + \theta)$ sera plus grand que t_2 , durée d'échauffement du détonateur le plus dur. Si, au contraire, $t_2 - t_1 > \theta$, le courant sera interrompu au temps $(t_1 + \theta)$ inférieur au temps t_2 et il y aura raté de l'amorce la plus dure.

Pour une intensité I du courant variable supérieure à i en tous points de l'axe des temps, la courbe (II) $S = \int I^2 dt$ sera plus redressée que la courbe I.

Il en résultera que l'accroissement d'énergie $S_2 - S_1$ sera obtenu en une différence de temps ($t_2 - t_1$) plus petite que ($t_2 - t_1$). Pour une valeur déterminée de θ , l'inégalité de base $t_2 - t_1 < \theta$ sera donc plus aisément satisfaite. Si l'on a $t_2 - t_1 < \theta < t_2 - t_1$, on aura des

ratés avec le courant i (courbe I) et, au contraire, tous les détonateurs exploseront avec le courant I (courbe II).

Il est donc indispensable de faire passer, dans les fils de pont d'une volée de détonateurs reliés en série, un courant d'intensité la plus grande possible.

Les essais expérimentaux ont prouvé que, pour les détonateurs utilisés en Belgique, un courant continu d'un ampère suffisait pour éviter les ratés dans une volée de l'ordre de 20 détonateurs. Pour une volée de l'ordre de 50 détonateurs, il est recommandable de porter l'intensité du courant continu à 1,5 ampère. En effet, plus le nombre de détonateurs de la série est grand, plus la dispersion des impulsions d'allumage est grande et plus l'écart $S_2 - S_1$ entre les impulsions extrêmes respectives de l'amorce la plus dure et de l'amorce la plus sensible a des chances d'augmenter. Pour satisfaire à l'inégalité (2) : $S_2 - S_1 < \theta i^2$, il faut donc augmenter i puisque $(S_2 - S_1)$ s'est accru. De même pour des tirs d'une volée de l'ordre de 100 mines, il est conseillable de porter à 2 ampères au moins le courant continu d'alimentation.

Les considérations précédentes sont toute théoriques. En réalité, d'autres facteurs interviennent dans la question de l'impulsion d'allumage, notamment les pertes de chaleur par convection et rayonnement. Toutefois, nous pouvons les négliger dans le cadre de la présente note, car leur prise en considération renforce les conclusions auxquelles conduit la relation de Joule, à savoir : l'action favorable sur le résultat du tir, des courants d'intensité maxima. En effet, des courants intenses réduisent la durée d'échauffement nécessaire des fils de pont et, par conséquent, les pertes de chaleur par convection et rayonnement, qui sont proportionnelles à cette durée.

§ 5. — Importance de la nature du courant d'allumage.

1°) Courant continu.

La relation de Joule, en courant continu, est $S = i^2 t$. La courbe énergétique, en fonction du temps, est une droite, passant par l'origine et dont le coefficient angulaire est i^2 . Cette droite sera donc d'autant plus redressée sur l'axe des temps que l'intensité du courant d'alimentation est importante.

Supposons que nous utilisons des détonateurs dont les impulsions d'allumage limites sont 2 watts/milliseconde/ohm et 3 watts/milli-

seconde/ohm ($S_1 = 2$, $S_2 = 3$). La persistance θ est supposée de 1 milliseconde. La résistance électrique totale des détonateurs est de 3,7 ohms. Nous utilisons une source de courant continu à 110 volts. La résistance électrique de la ligne de tir est, de 26 ohms.

Si nous tirons une volée de 20 détonateurs en série, le courant d'alimentation sera : $110 : (20 \times 3,7 + 26) = 1,1$ ampère.

La relation $S = i^2 t$ devient $S = 1,1^2 t$ ou $S = 1,21 t$ (fig. 2, droite I).

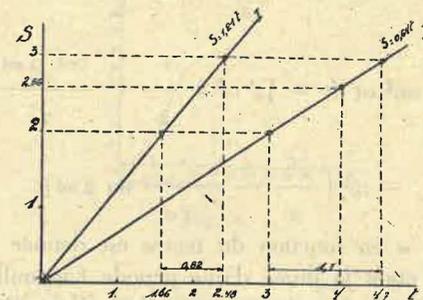


Fig. 2.

On voit que $S_1 = 2$ est atteinte après $t_1 = 1,66$ ms. et $S_2 = 3$ après $t_2 = 2,48$ ms. La différence $t_2 - t_1 = 0,82$ ms. Cette différence étant inférieure à la persistance $\theta = 1$ ms., tous les détonateurs exploseront.

Si nous raccordons, en une volée, 30 détonateurs, la résistance électrique du circuit de tir sera $30 \times 3,7 + 26 = 137$ ohms. L'intensité du courant sera $110 : 137 = 0,8$ ampère. La courbe énergétique $S = i^2 t$ devient $S = 0,8^2 t$ ou $S = 0,64 t$ (fig. 2, droite II). On voit que $S_1 = 2$ est atteinte après un temps $t' = 3$ ms. et $S_2 = 3$ après $t_2 = 4,7$ ms.

La différence $t_2 - t_1 = 1,7$ ms. Elle est supérieure à la persistance $\theta = 1$ ms. Une partie des détonateurs de la volée n'explosera pas. Le courant est interrompu dans le circuit après $3 + 1 = 4$ ms. A ce moment, l'énergie engendrée atteint 2,56 w./ms./ohm. Tous les détonateurs dont l'impulsion d'allumage est supérieure à cette valeur n'auront donc pas reçu assez d'énergie pour enflammer leur poudre d'amorçage. Ils constitueront des ratés.

2°) Courant alternatif sinusoïdal.

Ce courant est de la forme $i = i_0 \sin \omega t$. On en tire :

$$i^2 = i_0^2 \sin^2 \omega t \quad \text{et} \quad \int_0^t i^2 dt = \int_0^t i_0^2 \sin^2 \omega t dt$$

On se rappellera que :

$$\sin^2 x = \frac{1}{2} - \frac{\cos 2x}{2}$$

Donc :

$$\sin^2 \omega t = \frac{1}{2} - \frac{\cos 2\omega t}{2}$$

et

$$\begin{aligned} \int_0^t i_0^2 \sin^2 \omega t dt &= \int_0^t i_0^2 \left(\frac{1}{2} - \frac{\cos 2\omega t}{2} \right) dt \\ &= i_0^2 \left(\frac{t}{2} - \frac{1}{4\omega} \sin 2\omega t \right) \end{aligned}$$

La valeur de ω en fonction du temps est donnée par la relation $\omega = 2\pi/T$, T étant la durée d'une période (20 millisecondes avec le courant industriel normal à 50 périodes). Il vient ainsi, en remplaçant ω par sa valeur dans la relation ci-dessus :

$$\begin{aligned} \int_0^t i^2 dt &= i_0^2 \left(\frac{t}{2} - \frac{1}{4\omega} \sin 2\omega t \right) \\ &= i_0^2 \left(\frac{t}{2} - \frac{T}{8\pi} \sin 2 \times 2\pi \frac{t}{T} \right) \\ &= i_0^2 \left(\frac{t}{2} - 0,8 \sin 2 \times \frac{2\pi t}{20} \right) \end{aligned}$$

Si nous utilisons un courant de 110 volts efficaces, la tension maximum sera $110 \times \sqrt{2} = 154$ volts. Si nous voulons tirer la volée des 20 détonateurs, dont les caractéristiques sont données ci-avant, à l'aide du courant alternatif, nous avons, en faisant abstraction de la self, de la capacité et du facteur de puissance que l'on peut négliger dans le cadre de la présente note, une résistance totale du circuit de tir de $20 \times 3,7 + 26 = 100$ ohms :

$$i_0 = \frac{V_{\max}}{100} = \frac{154}{100} = 1,54 \text{ ampère}$$

$$S = \int_0^t i^2 dt = 1,54^2 \left(\frac{t}{2} - 0,8 \sin 2 \times \frac{2\pi t}{20} \right)$$

La courbe énergétique S en fonction du temps est indiquée, pour une période, à la figure 3 ci-dessous.

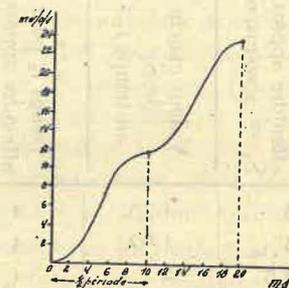


Fig. 3.

Les valeurs de S et de l'accroissement DS par milliseconde sont données au tableau ci-après :

t en ms.	S en w./ms./ohm	DS accroissements par ms.	t en ms.	S en w./ms./ohm	DS accroissements par ms.
1	0,07	0,07	11	11,92	0,07
2	0,57	0,50	12	12,42	0,50
3	1,75	1,18	13	13,60	1,18
4	3,63	1,88	14	15,48	1,88
5	5,93	2,30	15	17,78	2,30
6	8,22	2,29	16	20,07	2,29
7	10,10	1,88	17	21,95	1,88
8	11,28	1,18	18	23,13	1,18
9	11,78	0,50	19	23,63	0,50
10	11,85	0,07	20	23,70	0,07

Le courant n'est pas nécessairement lancé dans le circuit au début d'une onde sinusoïdale. Il peut l'être en tout moment de la période.

Dans le tableau suivant, nous avons indiqué les temps t_1 et t_2 pour lesquels les impulsions d'allumage $S_1 = 2$ w./ms./ohm et $S_2 = 3$ w./ms./ohm sont atteintes lorsque le courant est lancé aux temps 1, 2, 3... 20 de la période.

Début du lancé du courant aux temps t	Temps t_1 pour atteindre approx. $S_1 = 2$ w./ms/o.	Valeur exacte de S_1 au temps t_1	Temps t_2 pour atteindre approx. $S_2 = 3$ w./ms/o.	Valeur exacte de S_2 au temps t_2
0	3	1,75	4	3,63
1	3	1,62	4	3,56
2	3,5	2	4	3,06
3	4	1,88	5	4,18
4	5	2,30	6	4,59
5	6	2,29	7	4,17
6	7	1,88	8	3,06
6 1/4	7,5	2	9	3,09
6 1/2	8	2,12	11,5	3,01
6 3/4	9	2,15	12,25	3,08
7	11,5	2,07	12,5	2,91
7 1/4	12	2,03	13	3,21
8	13	2,32	14	4,20
9	13	1,82	14	3,70
10	13	1,75	14	3,06
11	13	1,68	14	3,56
12	13	1,18	14	3,06
13	14	1,88	15	4,18
14	15	2,30	16	4,59
15	16	2,29	17	4,17
16	17	1,88	18	3,06
16 1/4	17,5	2	19	3,09
16 1/2	18	2,12	21,5	3,01
16 3/4	19	2,15	22,25	3,08
17	21,5	2,07	22,5	2,91
17 1/4	22	2,03	23	3,21
18	23	2,32	24	4,20
19	23	1,82	24	3,70
20	23	1,75	24	3,06

Pour obtenir l'explosion de tous les détonateurs, l'inégalité $t_2 - t_1 < \theta$ ou, puisque θ est supposé égal à 1, $(t_2 - t_1) < 1$ doit toujours être satisfaite. L'examen du tableau ci-dessus montre que tel ne sera pas le cas si le courant est lancé entre les temps 6 et 7 1/4 ou 16 et 17 1/4; la différence $(t_2 - t_1)$ est supérieure à 1. Par exemple, si le courant est lancé au temps 6, 1/4, l'énergie développée au temps 7 1/2 sera suffisante pour faire exploser le détonateur le plus sensible. Le courant sera interrompu au temps $7 \frac{1}{2} + 1 = 8 \frac{1}{2}$. A ce moment, l'énergie développée est de 2,84 w./ms./ohm. Elle est inférieure à 3, qui est la valeur nécessaire pour faire exploser le détonateur le plus dur, et qui ne serait atteinte qu'au temps 9. Tous les détonateurs ayant une impulsion d'allumage supérieure à 2,84 jusqu'à 3 w./ms./ohm constitueront donc des ratés.

Ainsi, les tirs effectués entre les temps 6 et 7 1/4 et 16 et 17 1/4 donneront lieu à ratés. Ces limites constituent les 12,5 % du temps total de 0 à 20 ms. Il y a donc 12,5 % de risques de ratés en effectuant le tir des 20 détonateurs précités à l'aide du courant alternatif industriel à 110 volts efficaces.

En réalité, les risques de ratés avec le courant alternatif sont plus importants encore que nous ne l'avons indiqué précédemment. Nous avons, en effet, calculé l'intensité maximum i_0 du courant en nous basant sur la résistance ohmique du circuit.

Or, la résistance réelle que l'on doit prendre en considération pour ce calcul est, on le sait, supérieure à la résistance ohmique, lorsqu'il s'agit de courants alternatifs. L'intensité maximum i_0 réelle est donc plus petite que celle que nous avons adoptée égale à 1,54 ampère. La courbe S de l'énergie engendrée est donc moins redressée sur l'axe des temps et la relation $(t_2 - t_1) < \theta$ est encore moins fréquemment satisfaite que nous ne l'avons signalé.

On peut conclure de ce qui précède que l'emploi du courant alternatif industriel est sujet à caution, pour ce qui concerne la sécurité du tir des mines. Il faut, en tout cas, se garder de l'assimiler au courant continu, d'un voltage équivalent. Nous avons vu, en effet, qu'avec un courant continu de 110 volts, tous les détonateurs explosaient dans la volée de 20 éléments prise comme exemple.

Si l'on est forcé d'utiliser le courant alternatif industriel pour le tir des mines, il faudra adopter un coefficient de sécurité élevé en ce qui concerne l'intensité du courant, soit en ayant recours à un voltage renforcé, soit, plutôt, en réduisant la résistance ohmique du

circuit par diminution du nombre de détonateurs reliés en série pour former la volée de tir.

5°) *Courant fourni par les exploseurs.*

Les exploseurs sont de deux types : les machines à collecteur et les machines à bagues.

a) *Machines à collecteur.*

Ces engins débitent un courant ondulé, mais toujours de même sens (voir fig. 4).

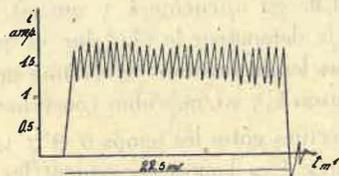


Fig. 4.

Les ondulations étant normalement de faible amplitude et de grande fréquence, il en résulte que l'on peut assimiler ce courant à un courant continu. L'intensité de ce dernier s'apparentera avec l'intensité moyenne du courant ondulé, celle-ci étant obtenue en traçant la droite parallèle à l'axe des temps passant par le milieu des sinuosités.

Nous avons vu que pour le courant continu, la courbe S d'énergie produite en fonction du temps est une droite passant par l'origine, droite d'autant plus redressée sur l'axe des temps que le courant est intense (voir fig. 5).

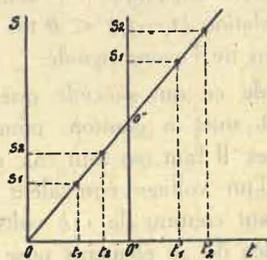


Fig. 5.

En partant du temps O, l'impulsion d'allumage OS_1 de l'amorce la plus sensible est atteinte au temps Ot_1 . L'impulsion d'allumage

OS_2 de l'amorce la plus dure est atteinte au temps Ot_2 . Le courant est interrompu dans le circuit au temps $(Ot_1 + \theta)$.

Si $Ot_1 + \theta > Ot_2$ ou $Ot_2 - Ot_1 < \theta$, il ne se produira pas de raté.

Cette inégalité, satisfaite en un point de l'axe des temps, l'est en tous points de cet axe. En effet, si le courant est lancé dans le circuit au temps O' au lieu de l'être au temps O , l'énergie développée atteindra $O'S_1$ au temps $O't_1 = Ot_1$ et $O'S_2$ au temps $O't_2 = Ot_2$, puisque, pour une droite, le rapport de l'accroissement des ordonnées à l'accroissement des abscisses (coefficient angulaire) est constant. La différence $(O't_2 - O't_1)$ égale à $(Ot_2 - Ot_1)$ sera inférieure à θ et il ne se produira pas de ratés. La réussite du tir avec les exploseurs à collecteurs est donc indépendante du moment où le courant est lancé dans le circuit, à partir du moment où le courant débité par l'exploseur a atteint sa valeur constante. Elle ne dépend que de l'intensité du courant normal. Nous avons vu que cette intensité pouvait être considérée comme satisfaisante lorsqu'elle atteignait un ampère dans les circuits de 20 mines, 1,5 ampère dans les circuits de 50 mines et 2 ampères pour les volées de 100 mines.

Lorsque l'exploseur est actionné à la main par le boutefeu, le degré d'énergie avec lequel l'opérateur manœuvrè la poignée ou la crémaillère de l'appareil conditionne la vitesse du rotor et par conséquent l'intensité du courant normal d'allumage. Si la manœuvre est trop peu énergique, le courant d'allumage risque de ne pas atteindre une intensité suffisante pour satisfaire à l'inégalité (2) : $S_2 - S_1 < \theta^2$, conditionnant l'absence de ratés. Il y a là un facteur d'insécurité, qui fait dépendre la réussite du tir de l'équation personnelle du boutefeu. Pour écarter ce facteur, il est recommandable, tout au moins pour le tir de volées importantes, d'utiliser des exploseurs actionnés par ressort, qui rendent la manœuvre indépendante de la vigueur d'action du boutefeu.

Il existe également des dispositifs à relai électro-magnétique, qui ne permettent le passage du courant dans le circuit que lorsque le dit courant atteint une intensité d'au moins un ampère. Dans ces appareils, actionnés à la main, le courant engendré par l'exploseur ne sera pas lancé dans le circuit si la manœuvre, trop peu énergique, est insuffisante pour développer l'intensité susdite.

Rappelons ici que les exploseurs doivent être pourvus d'un dispositif ne lançant le courant dans le circuit qu'au moment où il est voisin de son maximum d'intensité. En effet, au début de la ma-

nœuvre, le rotor est animé d'une vitesse croissante qui n'atteint son maximum qu'après un certain laps de temps. Le courant produit croît donc progressivement de la même façon. Il faut éviter que, pendant cette progression, le courant soit lancé dans le circuit des amorces, alors qu'il est trop faible encore pour provoquer l'échauffement suffisant de tous les fils de pont avant que le circuit soit coupé par la rupture du fil de pont de l'amorce la plus sensible. En ne permettant l'accès du circuit au courant que lorsque ce dernier est voisin de son maximum, on s'entoure du maximum de chances de réussite pour le tir.

b) Machines à bagues.

Dans ces machines, le courant se développe par ondes analogues à celles du courant alternatif industriel. Ces ondes ne sont pas sinusoïdales, comme pour le courant alternatif industriel. La fréquence est normalement plus grande que celle de ce dernier. Toutefois, l'intensité du courant est essentiellement variable dans le temps. Pour une onde, elle croît de 0 à un maximum, décroît ensuite jusqu'à 0, augmente à nouveau en sens inverse jusqu'à un maximum pour diminuer enfin jusqu'à 0 (voir fig. 6).

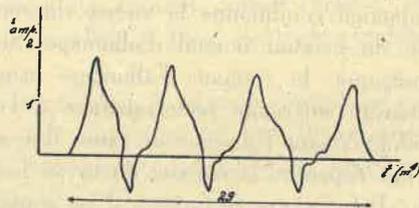


Fig. 6.

Il en résulte que la courbe énergétique S , en fonction du temps, n'est pas ici une droite, mais une courbe d'allure ondulée (voir fig. 7).

L'examen de l'allure des différentes courbes de la figure 7 permet de faire les constatations suivantes :

1°) A égalité de fréquence, la courbe énergétique est d'autant plus redressée que l'intensité maximum du courant variable est grande (courbe I : intensité maximum de 1,25 ampère; courbe II : intensité maximum de 2,5 ampères).

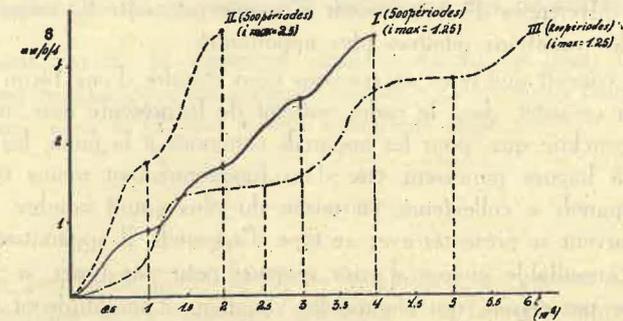


Fig. 7.

2°) Pour une même intensité maxima, la courbe est d'autant plus redressée que la fréquence est grande (courbe I : 500 périodes par seconde; courbe III : 200 périodes par seconde).

3°) En raison de l'allure même des courbes, l'accroissement d'énergie développée par unité de temps n'est pas constant pour une même courbe. Les différences d'accroissement d'énergie par unité de temps ont des variations moins sensibles lorsque l'intensité maximum augmente ou lorsque la fréquence augmente.

On déduit de cette troisième constatation que si, à partir d'un point de l'axe des temps, pour une courbe donnée, l'énergie développée passe de S_1 (impulsion d'allumage de l'amorce la plus sensible) à S_2 (impulsion d'allumage de l'amorce la plus dure) en un temps $(t_2 - t_1)$ inférieur à la persistance θ , de telle sorte que tous les détonateurs de la volée explosent, il n'en est pas nécessairement ainsi pour tous les points de la courbe.

Pour un autre point, la quantité d'énergie peut passer de S_1 à S_2 en un temps $(t_2 - t_1)$ supérieur à θ , ce qui donnera lieu à ratés. Nous avons vu qu'avec les explosifs à collecteurs, produisant un courant assimilable au courant continu, il n'en était pas ainsi : lorsque l'inégalité $t_2 - t_1 < \theta$ est satisfaite en un point de la droite énergétique, elle l'est en tout point de celle-ci.

En outre, même si l'inégalité susdite est satisfaite en tous les points d'une courbe, il peut ne plus en être de même si, par exemple, par suite d'une manœuvre moins énergique de l'appareil, actionné à la main, l'amplitude et la fréquence de l'onde de courant produite diminuent. Dans ce cas, les courbes s'abaissent sur l'axe des temps

et les différences d'accroissement d'énergie par unité de temps accusent des variations relatives plus importantes.

On conçoit que nous ne pouvons nous étendre d'une façon détaillée sur ce sujet, dans le cadre restreint de la présente note, mais on peut conclure que, pour les appareils actionnés à la main, les explosifs à bagues paraissent être d'un fonctionnement moins sûr que les appareils à collecteurs, en raison du plus grand nombre d'aléas qui peuvent se présenter avec ce type d'appareils. Il apparaîtrait donc plus recommandable encore d'avoir recours, pour ces types, à la manœuvre par ressort, qui élimine les variations d'amplitude et de fréquence de l'onde de courant produite. Il n'existe pas, pour ce genre d'appareils, de dispositif à relai électromagnétique, limitant à un minimum suffisant l'intensité du courant admis dans le circuit et ce, en raison de la nature alternative du courant produit. Il existe par contre des dispositifs basés sur la force centrifuge, qui ne permettent l'admission du courant dans le circuit que lorsque le rotor atteint une vitesse déterminée, correspondant à une amplitude et une fréquence suffisante de l'onde de courant. Ces dispositifs ne sont pas utilisés en Belgique.

Remarquons, pour terminer, qu'avec les appareils à bagues, il ne peut être question de courant limite, à 1 ampère ou plus, comme avec les appareils à collecteurs. On ne peut utiliser la notion de courant efficace pour définir cette limite. On sait, en effet, que l'intensité efficace d'un courant variable est celle d'un courant continu et constant, qui produirait le même effet thermique que le courant variable. Cette intensité efficace ne pourrait se calculer qu'en se basant sur la quantité d'énergie produite pendant un temps déterminé, par exemple pour une période. Or, la quantité d'énergie développée par milliseconde varie constamment dans le temps en fonction du carré de l'intensité du courant. Lors du tir, l'exploseur doit, à partir du moment où le détonateur le plus sensible a reçu sa quantité d'énergie nécessaire, dispenser un supplément d'énergie capable de faire sauter le détonateur le plus dur, et ce, en un temps inférieur à la persistance du courant après mise à feu de l'amorce la plus sensible. Il importe donc de connaître l'évolution dans le temps, de la valeur de l'énergie lancée par l'exploseur. Le recours à la notion de courant efficace ne permet pas de connaître cette évolution dans le temps.

§ 6. — Influence de la résistance électrique des détonateurs.

Désignant par R_1 la résistance ohmique du fil de pont, nous savons que le passage d'un courant variable i , pendant un temps t développera, dans le fil, une énergie calorifique égale à :

$$\frac{R_1 \int_0^t i^2 dt}{4,18} \text{ calories}$$

D'autre part, pour porter le fil, de longueur l , de section s , de poids spécifique p , de calorifique spécifique c à la température T d'inflammation de la poudre d'amorçage, il faut apporter un nombre de calories égal à $l.s.p.c.T$. Il y aura inflammation lorsque le nombre de calories débitées atteindra cette quantité.

On aura donc :

$$\frac{R_1 \int_0^t i^2 dt}{4,18} = l.s.p.c.T \quad (1)$$

Si r désigne la résistivité du métal du fil de pont, on sait que $R_1 = r.l/s$. Remplaçant R_1 par cette valeur dans la relation (1), il vient :

$$\frac{r.l}{s \times 4,18} \int_0^t i^2 dt = l.s.p.c.T$$

ou

$$\int_0^t i^2 dt = \frac{4,18 s^2 p.c.T}{r}$$

Si d désigne le diamètre du fil de pont, on a

$$s = 3,14 \times \frac{d^2}{4}$$

Donc :

$$\int_0^t i^2 dt = \frac{4,18 \times 3,14^2}{16} \times \frac{d^4 p.c.T}{r}$$

ou

$$\int_0^t i^2 dt = \frac{2,58 d^4 p.c.T}{r} \quad (2)$$

Nous avons donné à $\int_0^t i^2 dt$ le nom d'impulsion d'allumage. Nous voyons que cette impulsion d'allumage est conditionnée par le diamètre, le poids spécifique, le calorique spécifique et la résistance du fil de pont et par la température T d'inflammation de la poudre d'amorçage.

La résistance ohmique du fil de pont est :

$$R_1 = \frac{r.l}{s} \quad \text{ou} \quad R_1 = \frac{4.r.l}{3,14 \times d^2} \quad (3)$$

Si nous comparons la résistance ohmique à l'impulsion d'allumage, nous constatons que ces deux éléments ne varient pas de la même façon. En effet :

1°) la résistance est fonction du carré du diamètre. Elle varie comme l'inverse de ce dernier. L'impulsion d'allumage est fonction de la 4^e puissance du diamètre. Elle varie en raison directe de cette 4^e puissance;

2°) la résistance varie proportionnellement à la longueur du fil. Cet élément n'intervient pas dans l'impulsion d'allumage;

3°) cette dernière est fonction de $p.c$ et T alors que la résistance en est indépendante.

Il en résulte que des détonateurs, ayant même résistance ohmique de leur fil de pont, peuvent avoir des impulsions d'allumage très différentes. Si l'égalité de résistance est due à des diamètres des longueurs et des résistivités identiques des fils, les éléments $p.c$ et T peuvent être différents, ce qui provoque des différences dans les impulsions d'allumage des détonateurs équirésistants. L'égalité de résistance peut aussi être réalisée même si les éléments $r.l$ et d ne sont pas identiques. Il suffit notamment que l'élément r et le rapport l/d^2 soient identiques.

Tel sera le cas par exemple si les diamètres diffèrent de 10 % et les longueurs de 21 %. En effet : $L = 1,21 l$, $D = 1,1 d$:

$$\frac{L}{D^2} = \frac{1,21 l}{(1,1 d)^2} = \frac{1,21 l}{1,21 d^2} = \frac{l}{d^2}$$

Dans ces conditions, si tous les autres éléments sont identiques, les impulsions d'allumage varieront dans le rapport :

$$\left(\frac{D}{d}\right)^4 = \frac{(1,1 d)^4}{d^4} = \frac{1,46 d^4}{d^4} = 1,46$$

Le détonateur de grand diamètre sera donc 46 % plus dur que celui de faible diamètre, qui a la même résistance ohmique que le premier.

Il existe une autre raison de ne pas prendre comme critère, pour apprécier les impulsions d'allumage, l'égalité de résistance ohmique des détonateurs. C'est la suivante : La résistance que l'on mesure avant utilisation est la résistance totale du détonateur, comprenant la résistance des fils extérieurs et la résistance du fil de pont, en série avec les premiers. Si l'on trouve, lors des mesures, des résistances totales identiques, pour deux détonateurs, il n'en résulte pas indubitablement une égalité de résistance de leur fil de pont. R étant la résistance totale des détonateurs, R_e et r_e étant les résistances des fils extérieurs ($R_e > r_e$), R_1 et r_1 les résistances des fils de pont ($R_1 > r_1$), on peut concevoir des valeurs de R_e , r_e , R_1 et r_1 telles qu'on ait : $R = R_e + r_1$ et $R = r_e + R_1$. On mesurera R , identique pour les deux détonateurs et on aura cependant R_1 différent de r_1 . Or, c'est la résistance des fils de pont qui, seule, intervient dans le processus de mise à feu des amorces.

Cette observation acquiert une grande importance dans les circonstances actuelles, où l'on utilise des fils extérieurs en acier. La résistivité de ce métal, suivant la teneur de ses constituants, est beaucoup plus variable que celle du cuivre. Il en est de même du diamètre des fils. Cette extrême variabilité des résistivités et des diamètres des fils d'acier amène des écarts nombreux et relativement importants dans la résistance des fils extérieurs, de sorte qu'il est absolument sans objet, actuellement, pour la réussite complète de tirs simultanés, de n'utiliser, dans un même tir, que des détonateurs de même résistance totale.

La mesure des résistances de chaque détonateur ne permettra, pour le moment, que d'écarter des éléments ayant des résistances vraiment aberrantes ou infinies. Rien qu'à ce titre, cependant, la mesure de la résistance électrique des détonateurs avant emploi se justifie amplement, en raison de la certitude qu'elle apporte quant à la bonne qualité des éléments utilisés dans les tirs.

II. — MESURES PRATIQUES EN VUE D'ÉVITER LES RATES

Nous avons établi qu'un courant important doit parcourir les fils de pont des détonateurs d'une volée, si l'on veut éviter un raté partiel ou total de la volée. Nous avons dit que l'intensité de ce

courant, en courant continu ou assimilé à ce dernier, devait être d'au moins 1 ampère, 1 1/2 ampère, 2 ampères, pour des volées respectives de 20, 50 et 100 mines.

Il faut que ce courant puisse être produit par l'exploseur utilisé et qu'en outre, il passe réellement dans les fils de pont de la série de détonateurs. Pour satisfaire à cette dernière condition, il faut éviter qu'il soit exagérément affaibli en cours de distribution par des résistances excessives, des court-circuits ou des mises à la terre.

1. — Production du courant.

Pour pouvoir lancer dans le circuit de tir, un courant d'une intensité de 1 à 2 ampères, il faut disposer d'une source de courant dont la force électromotrice est en rapport avec la résistance du circuit. Connaissant par mesurage la valeur de cette résistance, on peut en déduire la force électromotrice nécessaire.

Rappelons que, si l'on a recours au courant du secteur, il est recommandable de n'utiliser que le courant continu, le courant alternatif pouvant donner lieu à des ratés, dans certaines circonstances, pour les raisons que nous avons exposées précédemment.

a) *Choix de l'exploseur.*

Dans la majorité des cas, on se servira d'un exploseur portatif. Pour un courant d'un à deux ampères, le nombre qui exprime la force électromotrice nécessaire, en volts, est le même que celui qui exprime respectivement la résistance du circuit en ohms ou le double de celle-ci. La résistance maximum du circuit d'utilisation des exploseurs est généralement inscrite sur la plaque d'identification de ceux-ci. Cette indication permet donc de choisir le type qui convient pour le circuit de tir considéré. Les exploseurs portent également, comme indication, le nombre de mines qu'ils sont capables de faire sauter simultanément. Ce nombre n'a qu'une valeur tout à fait indicative, il n'a rien d'absolu, puisque le nombre de mines que l'exploseur peut réellement faire sauter dépend de la résistance du circuit. Or, celle-ci dépend de la résistance de la ligne de tir et cette résistance est variable avec les conditions locales. Néanmoins, dans les indications relatives au nombre de mines, les constructeurs tiennent compte d'une résistance de ligne assez élevée. Ils adoptent également, pour déterminer ce nombre, un certain coefficient de sécurité. En s'en référant à l'indication du nombre de mines fournies par le constructeur pour chaque type d'exploseurs, on se réserve donc une marge

de sécurité appréciable. Nous estimons cependant que cette marge n'est pas encore suffisante pour assurer une absence totale et certaine des ratés. En effet, il y a lieu de faire les remarques ci-après :

1°) L'exploseur, en service, ne conserve pas son efficacité de l'état neuf initial. Par suite des conditions et circonstances dans lesquelles il travaille (chaleur, humidité, manipulations brutales, etc.), il perd plus ou moins de son efficacité.

2°) Dans les exploseurs actionnés à la main, l'intensité du courant lancé dans le circuit dépend de l'énergie avec laquelle le bouterfeu actionne la manette ou la crémaillère de l'exploseur.

Si cette manœuvre est faite mollement, le courant lancé sera plus faible que celui dont est capable l'exploseur lorsqu'il est manié énergiquement. Il y a là un facteur d'incertitude qui, comme nous l'avons dit, fait dépendre l'intensité du courant de tir de l'équation personnelle du bouterfeu.

Rappelons à ce sujet que, pour les tirs importants, nos préférences vont aux exploseurs à collecteurs, débitant un courant ondulé assimilable au courant continu, mis en marche par ressort ou actionnés à la main, mais pourvus d'un relai électromagnétique, ne permettant l'accès du circuit au courant que si celui-ci a une intensité suffisante.

3°) S'il est possible de mesurer rigoureusement la résistance électrique du circuit de tir complet, il est impossible de vérifier quantitativement le bon isolement de ce circuit. On peut mesurer, à l'aide du vérificateur d'isolement, l'isolement de la ligne de tir (on peut « sonner » la ligne), mais on ne peut mesurer l'isolement du circuit de tir lorsque les détonateurs sont raccordés, sous peine de s'exposer à des détonations intempestives.

Il s'ensuit que l'on peut toujours avoir des pertes de courant, d'importance variable et indécelables quantitativement, par la terre. Ces pertes de courant réduisent d'autant le courant utile d'échauffement passant dans les détonateurs.

Pour ces raisons, il y a lieu d'accroître encore la marge de sécurité que l'on possède si l'on a adopté comme critère de la puissance de l'exploseur le nombre de mines indiqué par le constructeur. Cet accroissement de la marge de sécurité sera obtenu si l'on utilise, pour les tirs, des exploseurs d'une puissance en mines indiquée par le constructeur égale au double du nombre de mines que l'on se propose de faire sauter simultanément. Le supplément de dépense engagé de ce chef est de peu d'importance par rapport aux frais totaux

d'exploitation; il est négligeable, eu égard au surcroît de sécurité obtenu. Il peut être compensé d'un seul coup s'il permet d'éviter un seul raté important, celui-ci occasionnant des pertes de temps considérables pour toute l'équipe d'ouvriers intéressés au résultats du tir.

b) *Maniement de l'exploseur.*

Si l'on utilise des exploseurs actionnés à la main, il est indispensable d'initier les préposés au tir au maniement correct des appareils.

Pour les exploseurs à poignée rotative, on procédera de la façon suivante : l'opérateur tient l'exploseur d'une main et la poignée placée sur l'exploseur de l'autre main. Il imprime, à ses deux mains, des mouvements de rotation vigoureux et inverses l'un de l'autre. De cette façon, on double la vitesse de rotation de l'induit et l'on obtient un courant maximum.

Pour les exploseurs à crémaillère, l'opérateur doit tout d'abord placer l'appareil sur le sol d'une façon stable et à un endroit convenable, de façon à obtenir un bon équilibre de l'exploseur et à ne pas être gêné dans ses mouvements. Il se placera dans une position qui lui permette de développer le maximum d'énergie en repoussant la crémaillère vers le bas. A cet effet, il se placera debout (et non pas accroupi ou à genoux) avec l'exploseur entre les pieds écartés. Il enclenchera la poignée, remontera la crémaillère jusqu'à sa position limite vers le haut et ensuite repoussera la dite crémaillère vivement vers le bas, en appuyant de tout son poids, jusqu'à la fin de la course qu'il percevra par le choc de la tige contre le fond de l'engin.

L'utilisation de l'exploseur à ressort ne demande pas d'initiation spéciale. On sait que, dans ce type d'exploseur, l'énergie productrice de courant est obtenue par la détente d'un ressort préalablement bandé par l'opérateur. Le boîtier est muni de deux axes : l'un sert à tendre le ressort, l'autre à le déclancher. La même manette, amovible, sert aux deux mouvements. Le dispositif est conçu de telle façon qu'on ne peut retirer la poignée avant que le ressort soit bandé à fond et qu'on ne peut déclancher le dit ressort s'il n'est pas complètement tendu. On est donc ainsi gardé contre des fautes opératoires du boutefeu.

c) *Vérification des appareils en service.*

La vérification exacte du débit des exploseurs ne peut se faire à l'aide du galvanomètre, étant donné l'allure oscillatoire du courant produit. Cette vérification doit être faite à l'oscillographe. C'est avec

cet appareil que l'on mesure, au début, les puissances des différents types d'appareils. Les oscillogrammes étant de confection assez malaisée, il ne peut être question, pour le moment, de soumettre les exploseurs en service à des contrôles périodiques à l'oscillographe. On peut cependant obtenir des indications qualitatives intéressantes quant au débit des exploseurs en service à l'aide des vérificateurs d'exploseurs.

Rappelons brièvement le principe de ces appareils, illustré par la figure 8.

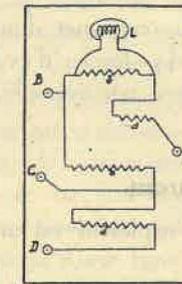


Fig. 8.

Grâce à un jeu de résistances correspondant aux résistances moyennes d'un certain nombre de mines en série et à une lampe à incandescence dérivée sur ces résistances, on peut avoir une idée du débit de l'exploseur par l'intensité d'éclairement de la lampe.

A, B, C, D sont des logements destinés à recevoir deux fiches raccordées chacune aux bornes de l'exploseur; a, b, c, d sont des résistances. L est une lampe à incandescence shuntée sur b. Le circuit AB comprenant les résistances (a+b) correspond par exemple à la résistance approximative d'un circuit de 10 mines, ligne comprise. AC comprenant les résistances (a+b+c) correspond à 20 mines et AD avec (a+b+c+d) à 50 mines. La lampe doit éclairer d'un vif éclat lors de la manœuvre de l'exploseur. Si la lampe n'éclaire pas ou éclaire insuffisamment, c'est que l'exploseur ne débite pas de courant ou que le courant débité est trop faible pour le circuit de résistances correspondant au nombre de mines choisi. On essaiera un circuit de résistances plus réduit jusqu'à obtention d'un vif éclairement de la lampe. Ce circuit indique la puissances en mines de l'exploseur.

Les vérificateurs d'exploseurs doivent être appropriés aux types d'exploseurs à essayer. Les circuits de résistances correspondent aux différentes puissances en mines des dits exploseurs, avec un large coefficient de sécurité. On peut procéder aux vérifications dans les travaux souterrains, à condition d'utiliser des vérificateurs étanches, de sécurité contre le grisou.

Ces essais sont simples et rapides. Ils donnent des indications intéressantes et peu coûteuses sur le comportement des exploseurs en cours de service. Il est à conseiller d'y soumettre périodiquement les exploseurs, voire même avant chaque tir.

Il est opportun de les accompagner d'une inspection minutieuse extérieure des boîtiers, afin d'y déceler d'éventuelles anomalies (bornes oxydées, encrassées, pliées, par exemple) pouvant donner lieu à ratés lors des tirs.

2. — Distribution du courant.

Le courant produit par l'exploseur est amené par la ligne de tir au circuit des amorces.

a) *Ligne de tir.*

La résistance de la ligne de tir doit être faible, afin de réduire au minimum la chute de tension jusqu'aux bornes du circuit des amorces. Le cuivre est le métal qui se prête le mieux à la réalisation de ce desideratum, en raison de sa résistivité peu élevée. Si l'on utilise le fer ou l'acier, la résistance de la ligne à égalité de section avec les conducteurs en cuivre en sera fortement augmentée. Il faudra majorer la section des fils dans des proportions importantes. Malgré tout, cette majoration ne pourra être telle que leur résistance puisse être ramenée à celle des fils de cuivre. Afin de se garder contre la projection des pierres lors du tir, il faut établir une ligne d'au moins 100 mètres de longueur. La résistance d'une telle ligne, avec deux conducteurs de cuivre de section usuelle, est de l'ordre de 8 ohms. Si l'on emploie le fer ou l'acier, il n'est pas indiqué de dépasser 20 à 25 ohms comme résistance totale de 100 mètres de ligne à deux conducteurs.

A notre avis, les fils nus devraient être radicalement proscrits. Ils peuvent donner lieu facilement à des court-circuits et à des « terres » même lorsqu'ils ont été posés initialement avec tout le soin désirable. Les mouvements de terrains, l'humidité, la poussière, les chocs, les

manipulations créent aisément des situations defectueuses. Les fils isolés au papier, avec guipure de soie, ne nous paraissent pas en tous points recommandables. Cet isolant n'est pas suffisamment résistant du point de vue mécanique.

Les chocs, les manipulations, l'état de l'atmosphère des mines amènent fréquemment des détériorations de l'isolant qui se traduisent par des court-circuits, des mises à la terre ou une élévation excessive de la résistance électrique. De plus, dans les cas de tirs de volées importantes, les propriétés diélectriques de l'isolant ne sont pas assez accentuées pour empêcher des terres ou des court-circuits plus ou moins fréquents en raison des fortes tensions en jeu. Il existe actuellement des fils revêtus d'un isolant en matière plastique qui paraissent donner toute satisfaction à l'usage. Cet isolant est très résistant du point de vue mécanique et électrique. De plus, les fils ainsi isolés sont très souples et peuvent s'enrouler suivant de faibles rayons. Nous avons vu déjà trop de mécomptes surgir avec les fils nus ou imparfaitement isolés pour ne pas insister tout spécialement sur l'intérêt que présente, des points de vue de la sécurité et de l'économie du travail, l'utilisation d'une ligne de tir bien et suffisamment isolée. Ici encore, les dépenses supplémentaires exposées pour l'établissement de telles lignes apparaissent minimes en regard des frais de creusement des galeries. L'excédent de dépenses n'est d'ailleurs qu'apparent, car ces lignes, ayant une durée de service très longue, doivent être moins souvent remplacées que des lignes moins chères mais de moindre qualité.

La ligne de tir peut être fixe, posée à demeure ou amovible et placée seulement lors des tirs. Nos préférences, pour le creusement normal des galeries, vont aux lignes amovibles enroulées sur des moulinets et déroulées à même le sol lors des tirs. En effet, ces lignes ne sont pas exposées, en permanence, aux multiples causes de détérioration qui guettent les lignes fixes : mouvements de terrains, chutes de pierre, déraillements de wagnons, chocs d'outils, humidité de l'air, etc. En dehors des rares moments de service, elles peuvent être enfermées dans le coffre du boutefeu et soustraites aux multiples causes de déprédation et de détérioration. Nous ne conseillerons le recours aux lignes fixes que lorsque celles-ci doivent avoir nécessairement une grande longueur, par exemple pour les tirs d'ébranlements en veine à dégagement instantané, pour le creusement des galeries dans les mines de 3^e catégorie et pour le creusement des puits. Dans

ces cas, on utilisera, avec succès, un câble électrique armé analogue aux câbles servant au transport de force motrice. On pourra aussi, pour les creusements de puits, faire usage d'un câble porteur, tendu entre deux points fixes et supportant, enroulée en hélice autour de lui, la ligne de tir qu'il soulage de toute sollicitation mécanique.

Si l'on croit toutefois devoir faire usage de lignes fixes dans les cas ordinaires, il faudra, pour leur pose, s'entourer des précautions ci-après :

1°) La ligne ne sera pas placée au toit de la galerie. En effet, la couronne est l'endroit de la galerie le plus exposé aux mouvements de terrains. De plus, au cas où une étincelle se produirait à une partie accidentellement détériorée ou dénudée d'un conducteur, lors du passage du courant, cette étincelle aurait le plus de chances d'enflammer le grisou, celui-ci, en raison de sa faible densité, se localisant dans les parties hautes des galeries.

2°) La ligne ne sera pas placée au sol, elle serait trop exposée en cas de chute de pierres, déraillement de waggons, trainage de matériel, etc.

3°) La ligne sera placée le long des parois, de préférence avec un fil à chaque paroi, à environ 1 m. 50 de hauteur, afin de la soustraire le plus possible aux chocs et de permettre, d'autre part, un examen facile des conducteurs.

4°) La ligne ne sera pas placée derrière les cadres de soutènement où elle pourrait se coincer entre le revêtement et les terrains et où une détérioration serait difficile à déceler.

5°) Quoique isolée, la ligne sera, autant que possible, soustraite au contact des pièces métalliques, rails, canars, tuyaux, cintres, par l'intermédiaire desquels s'établiraient facilement des court-circuits ou des terres en cas de dénudation locale accidentelle des conducteurs.

6°) Les conducteurs seront supportés par des broches isolantes ou des cavaliers fixés dans le boisage ou dans les parois en cas de revêtement par cintres métalliques. La ligne sera tendue sans exagération, mais elle pourra glisser à frottement doux sur les supports. De cette façon, au cas où une pierre tomberait sur un conducteur, celui-ci pourrait céder en prenant une flèche, au lieu de se rompre.

7°) La ligne sera constituée, autant que possible, d'un seul tronçon, afin d'éviter les ligatures entre tronçons différents. Ces ligatures sont ou deviennent souvent le siège de résistances excessives, que l'on doit éviter. Comme la ligne s'allonge au fur et à mesure de la

progression des fronts de la galerie, le surcroît de longueur des conducteurs disponibles sera enroulé sur un moulinet suspendu à une broche, en paroi, à 15 ou 20 mètres des fronts, l'extrémité avant des fils de ligne étant déroulée jusqu'à front. Des tours seront supprimés à la partie avant à mesure de la progression des fronts. Lorsque ceux-ci auront avancé de 15 à 20 mètres, les tours supprimés seront rétablis à l'avant et déroulés à l'arrière par avancement du moulinet jusqu'à une nouvelle broche, distante de 15 à 20 mètres des fronts.

S'il s'avère indispensable de faire des ligatures à la ligne, celles-ci seront revêtues de matière isolante. Si les deux conducteurs sont voisins, les ligatures à chacun d'eux ne seront pas faites en face l'une de l'autre, elles seront décalées d'au moins 20 centimètres.

De toute façon, on devra tendre à réduire à un strict minimum les ligatures et connexions, qui sont des points faibles.

Lors des tirs, l'extrémité des fronts des fils de ligne exposée aux projections de pierres se détériore rapidement. On peut restreindre cette détérioration en laissant cette extrémité un peu à l'arrière, la liaison entre la ligne et le circuit des détonateurs étant assurée par des fils d'allonge, moins coûteux que les fils de ligne. Il faut se garder d'employer comme allonges de vieux fils de détonateurs récupérés après les tirs. Ces fils sont souvent détériorés par les chocs et les projections de pierres auxquels ils ont été exposés. L'inconvénient des allonges est toutefois de nécessiter deux connexions supplémentaires.

Dans le cas du tir à retard, les risques de détérioration seront encore diminués si l'on raccorde la ligne à des étages de tir zéro. Les mines amorcées de ces étages partent les premières et rejettent les conducteurs de ligne vers l'arrière, les soustrayant ainsi à une grosse partie des projections de pierres.

b) Circuit des amorces.

Les mêmes principes généraux que pour la ligne de tir sont à respecter : on évitera la production de résistances excessives, de court-circuits et de mises à la terre. A cet effet, les précautions suivantes seront observées :

1°) Les fils de détonateurs ne seront pas pliés à angle aigu ni tirés brutalement pour les démêler afin d'éviter une rupture des fils de pont ou une détérioration de l'isolant des fils extérieurs.

2°) Lors du logement du détonateur dans la cartouche-amorce, les fils de détonateurs seront solidarisés à cette dernière par un nœud coulant, de façon à reporter sur elle toute traction exercée par l'opérateur sur les fils lors du chargement de la cartouche-amorce et de la pose du bourrage ou lors du tir à retard, par l'explosion de mines amorcées avec des étages de tir inférieurs. Sans cette solidarisation du détonateur avec la cartouche-amorce, une traction un peu forte sur les fils entraînerait le détonateur hors de la cartouche, dans le bourrage, où il exploserait seul, laissant les cartouches intactes dans le founeau.

3°) Le bourrage, qu'il est recommandé de faire aussi serré et aussi long que possible, sera cependant effectué avec douceur, sans heurt et sans choc, afin d'éviter de détériorer l'isolant des fils de détonateurs, tendus modérément dans le founeau, par le bouterfeu, pendant l'opération.

4°) Les détonateurs seront raccordés en série, avec la ligne de tir. Les connexions des fils de détonateurs entre eux et à la ligne de tir seront faites soigneusement, en torsadant les extrémités dénudées des fils, et non à l'aide d'un simple œillet. Préalablement, les bouts de fils seront soigneusement débarrassés de leur isolant. On raccordera l'un à l'autre les détonateurs les plus voisins, de façon à éviter autant que possible l'emploi des allonges. Si celles-ci s'avèrent indispensables, on n'utilisera pas à cet effet de vieux fils de détonateurs usagés, retrouvés dans les déblais d'un tir précédent. On aura recours à des fils d'allongé neufs, provenant d'un rouleau non usagé.

5°) Il est à recommander d'éviter les connexions nues, même en terrains secs. Si toutefois on laisse les connexions sans isolement, il faut les écarter l'une de l'autre, pour éviter des court-circuits entre amorces et les écarter également des parois rocheuses du front ou des objets métalliques voisins, de façon à éviter des mises à la terre. A cet effet, on repliera les parties libres des fils en zig-zag, au lieu de les laisser pendre emmêlés, contre le front d'attaque.

En terrains humides, en tout cas, les connexions seront isolées à l'aide de toile isolante ou à l'aide de ligatures isolantes rapides. On sait que celles-ci sont constituées d'un petit tube en matière isolante, revêtu intérieurement d'une paroi conductrice du courant. Le tube est rempli de matières grasses empêchant l'eau de pénétrer à l'intérieur. Il suffit d'introduire dans le tube les deux bouts des fils, à relier et de replier ensuite le tube sur lui-même. Le contact s'établit

très franchement entre les deux fils et la ligature est protégée contre toute action de l'eau.

6°) Après connexions, on suivra le circuit d'amorces de bout en bout, à la main, en comptant les détonateurs à haute voix, afin d'acquiescer la certitude qu'aucun détonateur n'a été oublié ou que certains d'entre eux n'ont pas été reliés en circuit fermé, en dehors de la ligne de tir.

3. — Vérifications du circuit avant chaque tir.

Ces vérifications comportent la vérification de la résistance électrique du circuit, la vérification de l'absence de mises à la terre et l'examen sommaire de l'exploseur.

a) Vérification de la résistance électrique du circuit.

Le seul appareil à utiliser est l'ohmmètre, le galvanoscope ne donnant que des indications qualitatives. Nous ne nous étendrons pas sur la façon de procéder, qui est suffisamment connue.

On vérifiera tout d'abord la résistance de la ligne seule. Ensuite, le circuit d'amorces étant connecté à la ligne, on vérifiera de l'arrière la résistance du circuit complet de tir. Comme on connaît approximativement la résistance électrique d'une amorce, il sera aisé, par un calcul très simple, de vérifier que le circuit ne présente par une résistance anormale. Notons, à ce sujet, que l'on ne peut compter absolument, par le moyen de la vérification de la résistance électrique du circuit, acquiescer la certitude que tous les détonateurs ont bien été raccordés. La résistance électrique des détonateurs, surtout de ceux pourvus de fils extérieurs en fer, n'est pas constante. Elle peut varier, de l'un à l'autre, de quelques dixièmes d'ohm. La somme algébrique des écarts de résistance de tous les détonateurs de la volée de tir sera, en général, plus grande ou plus petite que la résistance moyenne d'une amorce. Le seul moyen efficace d'avoir la certitude qu'aucun détonateur n'a pas été oublié consiste, comme nous l'avons dit, à parcourir le circuit d'amorces à la main, entre les connexions à la ligne, en comptant les détonateurs à mesure de leur rencontre.

Si la résistance du circuit de tir apparaît anormale, elle peut être plus grande ou plus petite que la résistance escomptée.

Si l'ohmmètre accuse une résistance infinie, c'est qu'il y a une rupture dans le circuit. Cette rupture peut s'être produite dans la

ligne ou dans le circuit des détonateurs. Dans le circuit des détonateurs, elle peut provenir de connexions rompues ou effectuées sur l'isolant des fils non dénudés à leur extrémité, d'une rupture d'un fil de détonateur à l'intérieur d'un trou de mine (à la suite notamment d'un bourrage effectué trop brutalement) ou d'une rupture d'un même fil à l'extérieur du founeau. Dans ce cas, la rupture peut se produire à l'intérieur de l'isolant et ne pas apparaître à l'extérieur. Enfin, la rupture peut provenir de la détérioration d'un fil de pont d'une amorce. On procédera tout d'abord à un examen visuel minutieux de tout le circuit. Si cet examen ne décele pas la cause de l'anomalie, on localisera le défaut à l'aide de l'ohmmètre. On vérifiera tout d'abord que la résistance de la ligne seule est normale. S'il en est bien ainsi, on procédera ensuite successivement : à la vérification de la ligne et de la moitié du circuit des amorces raccordé à celle-ci; à la vérification de la ligne et d'une partie des amorces prises dans la moitié du circuit où l'on a localisé ce défaut et ainsi de suite, jusqu'à identification du détonateur defectueux. Ces vérifications se feront toutes de l'arrière, à l'endroit de tir. En aucun cas, on ne procédera à la vérification individuelle des détonateurs à front. Cette façon de faire pourrait occasionner des accidents en cas d'explosion intempestive d'un détonateur, si l'ohmmètre utilisé était defectueux. Les défauts du circuit extérieur pourront être corrigés après détection. Quant aux défauts localisés à l'intérieur des founeaux de mines, on ne pourrait y porter remède sans danger pour la sécurité. Le cas de ces mines sera traité dans le prochain chapitre.

Si l'ohmmètre accuse une résistance du circuit excessive par rapport à la résistance escomptée, l'anomalie peut provenir : d'un amincissement important du fil, écrasé par un choc d'outil, de pierres ou par la roue d'un wagonnet; d'une ligature mal faite ou dont les éléments ont été insuffisamment nettoyés; d'une ligature de ligne, ancienne et oxydée; d'une rupture incomplète d'un fil dans sa gaine isolante, à l'extérieur ou à l'intérieur, d'un founeau; d'un fil de pont de résistance excessive ou mal soudé. On procédera, comme dit avant, à un examen visuel minutieux, suivi, s'il y a lieu, de vérifications successives, à l'ohmmètre, de la ligne et de circuits partiels de détonateurs, afin de localiser le défaut. Celui-ci pourra être corrigé s'il réside à l'extérieur des founeaux. Sinon, les mines qu'il affecte seront traitées comme il sera indiqué dans le prochain chapitre.

Si l'ohmmètre accuse une résistance exagérément faible du circuit, par rapport à la résistance escomptée, c'est qu'on a à faire à un court-circuit dans la ligne ou dans le circuit des détonateurs. Ce court-circuit peut provenir d'un contact direct entre deux fils, à des endroits dénudés ou insuffisamment isolés ou d'un contact indirect, par l'intermédiaire d'une pièce métallique quelconque. (Il est à remarquer à ce sujet que tous les éléments métalliques d'une galerie communiquent généralement entre eux. Parfois, la liaison est très lointaine. Il nous est arrivé, par exemple, de constater que les canars suspendus au toit d'une galerie boisée communiquaient directement avec la voie ferrée posée au sol. La liaison s'établissait par la conduite d'air comprimé, qui touchait les canars en certains points. La canalisation était en contact, à l'envoyage, avec le guidonnage métallique, lequel communiquait avec les taques en fer de la recette, reliées aux voies ferrées.)

Une résistance anormalement faible du circuit peut aussi provenir du fait qu'un certain nombre de mines n'ont pas été raccordées ou, plus généralement, ont été raccordées en un circuit fermé, en dehors du circuit de tir.

On procédera ici encore, pour déceler la cause exacte de l'anomalie, à un examen visuel minutieux de tous le circuit. Si cet examen n'apporte pas d'indications, on fera également des vérifications partielles successives, à l'ohmmètre, de la ligne et du circuit d'amorces, afin de localiser le défaut.

b) Vérification de l'absence de « terres ».

On ne dispose, normalement, d'aucun appareil pour vérifier l'isolement du circuit par rapport à la terre. C'est l'examen visuel seul, effectué d'une façon minutieuse, qui permettra de se rendre compte de la correction du circuit, dans cet ordre d'idées.

On pourra tout au plus obtenir quelques indications avec l'ohmmètre relativement à l'absence de contact direct des ligatures et fils nus avec les éléments métalliques de la galerie en tablant sur l'hypothèse, généralement fondée, que toutes ces pièces sont en liaison entre elles. Pour ce, on procédera de la façon suivante : une borne de l'ohmmètre sera reliée à un fil du circuit ligne-amorces, l'autre fil étant libre; l'autre borne de l'ohmmètre sera mise en contact par un bout de fil avec les canars, les tuyaux, les rails. S'il y a contact direct entre un fil du circuit et une pièce métallique, un courant s'établira dans le circuit de tir, depuis la borne de l'ohmmètre jus-

qu'à l'endroit de contact avec la pièce métallique. Ce courant reviendra à l'autre borne de l'ohmmètre, par l'intermédiaire des éléments métalliques en liaison entre eux et l'aiguille de l'appareil se déplacera sur le cadran. Ces contacts du circuit avec des pièces métalliques donnant la présomption de l'existence de « terres », on les supprimera avant de procéder au tir. Ce genre de vérification ne donne toutefois pas une certitude quant à l'isolement parfait par rapport à la terre. Etant donné l'impossibilité d'acquiescer cette certitude d'une façon tangible, il sera prudent d'isoler convenablement et complètement le circuit, y compris les connections entre amorces.

c) Examen de l'exploseur:

Cet examen, visuel, sera minutieux. Il portera surtout sur les bornes de l'appareil, afin de s'assurer qu'elles ne sont ni oxydées, ni encrassées, ni pliées ou déformées et d'obtenir ainsi un contact franc entre la source de courant et la ligne de tir. Le vérificateur d'exploseur à lampe à incandescence étant un appareil simple et peu coûteux et, d'autre part, les essais qu'il permet d'effectuer étant de durée négligeable, il apparaît recommandable de vérifier avant chaque tir la puissance de l'exploseur, celui-ci, d'un tir à l'autre, pouvant se détériorer à la suite d'un choc ou de manipulations brutales.

III. — MESURES A PRENDRE EN CAS DE RATE

Si l'on observe rigoureusement et constamment les mesures préventives préconisées au chapitre précédent, les ratés proprement dits seront extrêmement rares. En cas de tir simultané ou à retard, le raté pourra être total ou partiel:

a) Raté total.

Aucune mine n'ayant sauté, on peut en déduire qu'aucun courant n'a franchi le circuit ou que le courant a été très faible. Comme on aura procédé aux vérifications préalables, l'éventualité du raté total est à peine à retenir, si ces vérifications ont été faites complètement et soigneusement. Un tel cas ne pourrait se présenter que s'il se produisait une rupture du circuit, court-circuit ou terre franche, par suite de la chute d'une pierre par exemple, après les vérifications et avant le tir, ou bien si le fonctionnement de l'exploseur, non vérifié, était défectueux. De toute façon, si un raté total se produit, il faut éviter de renouveler à de multiples reprises les tentatives de mise

à feu. Au cas où un faible courant circule dans la ligne, ces tentatives ont pour effet d'échauffer plus ou moins les fils de pont à chaque manœuvre, ce qui amène une modification de leur sensibilité d'allumage. On risque ainsi, après coup, de s'exposer à des ratés partiels. On déconnectera la ligne de l'exploseur; on vérifiera le bon fonctionnement de ce dernier à l'aide du vérificateur à lampe à incandescence, si cela n'avait été fait, puis, en cas d'absence d'indication de ce côté, on recommencera les vérifications du circuit afin de localiser le défaut et de le corriger.

Les ratés totaux ne provoquent guère de complications dans le travail, puisque aucune mine n'a sauté lors du tir. Il n'en est pas de même si, des vérifications préalables judicieuses ayant permis de prévenir un raté total, il s'avère impossible de corriger le défaut du circuit localisé dans un founeau de mine. Cette mine constitue un raté avant la lettre.

Si la mine est unique, il suffira d'appliquer les prescriptions réglementaires : on reforera une nouvelle mine à côté de la première. Le tir de cette mine projettera les cartouches de la mine ratée dans les déblais qui seront chargés prudemment en présence d'un agent de la surveillance.

Si la mine ratée fait partie d'une volée de mines simultanées, on raccordera et mettra à feu les mines saines de la volée, la mine ratée étant hors circuit. On chargera les déblais et on reforera ensuite une mine à proximité du raté, mine dont le départ provoquera la projection, dans les déblais, des cartouches de la mine défectueuse. En procédant de la sorte, on enfreint, en principe, les dispositions réglementaires qui interdisent les tirs successifs, sur un même front, de mines chargées simultanément. Toutefois, on se trouve ici devant un cas de force majeure. Pour se maintenir strictement dans le cadre du règlement, il faudrait reforer la mine nouvelle, voisine du raté, avant le tir des mines saines et tirer ensuite, simultanément, les mines anciennes et la mine nouvelle. Les ouvriers seraient ainsi amenés à forer un trou de mine à proximité de plusieurs mines chargées. De plus, la quantité de déblais à charger provenant du tir de ces mines et renfermant les cartouches non explosées serait considérable. On s'exposerait donc à un danger plus grand qu'en forant la nouvelle mine à proximité d'une seule mine chargée et en tirant après coup cette mine, qui ne donnera que peu de déblais suspects.

Si la mine ratée fait partie d'une volée à retard, deux cas peuvent se présenter :

1°) La mine ratée est amorcée d'un retard devant exploser le dernier. On raccordera et minera toutes les mines saines, la mine défectueuse étant hors circuit. On chargera les déblais. On forera une nouvelle mine à proximité de la mine ratée et on la tirera. On aura ainsi réduit au minimum la quantité de déblais suspects à charger et le danger du forage à proximité de mines chargées. La mise hors-circuit de la mine défectueuse lors du tir des autres mines ne peut nuire à la réussite de ce tir quant au travail d'abatage à effectuer, puisque la dite mine, devant sauter la dernière, est sans influence sur les autres mines.

2°) La mine ratée est amorcée d'un retard intermédiaire. Dans ce cas, on ne pourra plus procéder comme indiqué ci-dessus, car son action conditionne le bon effet de l'explosion des mines qui doivent sauter après elle.

Afin de réduire la quantité de déblais suspects à charger et le danger de forage à proximité de mines chargées, on procédera chronologiquement comme suit :

Premier tir, intéressant les étages de retard inférieurs à l'étage de la mine ratée; chargement des déblais de ce premier tir. Deuxième tir, comportant les mines de l'étage du raté, celui-ci étant hors circuit; chargement des déblais de ce deuxième tir. Forage d'une mine à proximité de la mine ratée. Amorçage de la mine à l'aide d'un détonateur instantané et tir de cette mine; chargement des déblais suspects. Quatrième tir, comportant les étages de retard supérieurs à ceux de la mine ratée.

Le déroulement de ces opérations sera assez long. On perdra, pour la passe d'abatage intéressée, le bénéfice de l'emploi des détonateurs à retard, mais on sera néanmoins assuré, de cette façon, de travailler dans les conditions les moins dangereuses.

Il n'en est pas moins vrai, cependant, que le forage à proximité d'une mine chargée n'est pas dénué de tout danger. Malgré les précautions que l'on peut prendre pour s'assurer du parallélisme du nouveau fourneau avec l'ancien, l'ouvrier foreur se trouve toujours exposé à des mécomptes. De plus, il est rare que l'explosion de la nouvelle mine fasse détoner les cartouches de la mine ratée. La plupart du temps, ces cartouches seront dispersées dans les déblais. Le chargement de ces déblais n'est pas non plus exempt de tout

danger. Il serait donc désirable de trouver un procédé qui permette de faire exploser directement la mine ratée, sans avoir recours à une nouvelle mine. Nous avons expérimenté avec quelque succès la façon de procéder suivante, lorsque l'explosif utilisé est la dynamite et qu'il existe un vide disponible suffisant dans la partie du fourneau voisine de l'orifice : nous avons simplement posé une nouvelle cartouche-amorce contre le bourrage existant et, après confection d'un deuxième bourrage, nous avons procédé à la mise à feu. L'explosion de la deuxième cartouche-amorce réussit souvent à provoquer la détonation complète de la charge ratée. Nous devons dire, cependant, que l'opération ne réussit pas à tout coup. Toutefois, comme elle n'entrave nullement en cas d'insuccès le recours postérieur aux procédés exposés ci-avant, comme, d'autre part, cette pratique n'est pas proscrite par le règlement de Police des mines, rien n'interdit de l'essayer lorsqu'on se trouve dans les conditions adéquates, avant de recourir au forage d'une nouvelle mine d'appoint. Dans certains bassins miniers étrangers, la pose d'une deuxième cartouche-amorce, immédiatement contiguë à la charge ratée, est officiellement autorisée, moyennant expulsion du bourrage par un jet d'air comprimé, lancé par un tuyau enfoncé progressivement dans le trou de mine. Cette façon de faire résoud évidemment la question des ratés d'une façon certaine sans le recours à des mines d'appoints. En Belgique, cette pratique heurte, sinon la lettre, tout au moins l'esprit de la prescription réglementaire qui interdit l'approfondissement et le curage de fourneaux ou de parties de fourneaux subsistant après une explosion. Elle ne pourrait donc être admise.

b) Ratés partiels.

Ces ratés sont dus à une insuffisance du courant d'allumage. Si toutes les dispositions prévues au chapitre précédent ont été observées, de tels ratés seront rares. Ils pourront se présenter cependant dans certains cas imprévisibles, notamment s'il se trouve dans la volée de tir des détonateurs anormalement durs ou dont la poudre d'amorçage est altérée, ou bien si l'exploseur actionné à la main est manœuvré par le boutefeux d'une façon trop peu énergique. Ici, contrairement à ce qui se passe pour les ratés totaux, on se trouvera, après le tir, en présence du fait accompli. Certaines mines auront explosé, d'autres subsisteront. Il ne restera à l'opérateur qu'à raccorder et à tirer les mines non explosées, après avoir renouvelé toutes

Les vérifications relatives au circuit complet de tir, exploseur compris. Si des mines restaient réfractaires à ce deuxième tir, il faudrait les soumettre à un troisième tir. Si une mine résistait à toute tentative de mise à feu, il faudrait se résoudre, après avoir localisé le défaut, à traiter le raté persistant comme il est dit ci-avant.

Les ratés partiels occasionnent généralement peu de travail supplémentaire pour le préposé au tir. Il suffit presque toujours de procéder à un deuxième minage après nouvelles vérifications du circuit. Toutefois, les conséquences qu'ils entraînent peuvent être défavorables et dangereuses : travail d'abatage incomplet ou nul, coups débouissants, projection de cartouches non explosées dans les déblais. Il importe donc de les éviter dans toute la mesure du possible en accordant, aux opérations de minage, toute l'attention soigneuse qu'elles exigent.

Nous avons ainsi exposé les différentes mesures, théoriques et pratiques, propres à prévenir les ratés de minage et la façon de traiter les ratés persistants. Il nous reste à ajouter que ces mesures n'auront que peu d'effets si les opérations de minage sont effectuées par des agents négligents et incapables. Il est extrêmement important de consacrer tous ses efforts au recrutement et à la formation technique d'un personnel de surveillance qualifié et consciencieux.

Dans ce domaine de l'exploitation comme dans les autres domaines, les méthodes de travail ont évolué. Elles se sont développées et compliquées. On ne peut plus se contenter de l'empirisme et de la routine du passé. Il faut exiger que toutes les questions, même celles qui paraissent de faible importance, soient traitées avec attention et rationnellement. Il n'y a pas de raison, bien au contraire, à ne pas apporter à la résolution des problèmes de production et de distribution du courant électrique destiné au tir des mines dans les travaux souterrains les mêmes soins attentifs et minutieux que l'on trouve tout naturel d'accorder aux questions analogues lorsqu'elles se présentent dans une industrie de surface.

R. LEFEVRE.
