

# La gazéification souterraine dans les divers pays

RAPPORT D'INICHAR

(SUITE)

## SAMENVATTING

### II. — Experimenten in Italië.

In Juli-Augustus 1947 werd te Valdarno (Toscane) een experiment op grote schaal volgens de stromingsmethode uitgevoerd. In de tamelijk onregelmatige en vochtige bruinkolenlagen van Banco Casino werd een hoefijzervormig paneel, 60 meter breed, voorbereid. Droog ligniet werd voorafgaandelijk in de galerijen opgestapeld om het aanzetten te vergemakkelijken.

De eerste ontsteking gebeurde op 12 Juli met een luchtstroom van 10.000 m<sup>3</sup>/h. De brandstof vatte onmiddellijk vuur, doch het bleek in deze omstandigheden onmogelijk de verplaatsing van de reactiezone te controleren. Het vuur werd stroomafwaarts gejaagd en moest, na vier dagen, door overstroming gedoofd worden, daar de afsluitingsdammen bedreigd werden.

De wederaansteking, op 23 Juli, ging met moeilijkheden gepaard daar de brandstof zeer vochtig was. Pas na enkele dagen begonnen brandbare componenten geleidelijk in het gas te verschijnen naarmate de temperaturen stegen en de debieten opgedreven werden.

Op 2 Augustus kon het gas aangestoken worden en, van die dag af, tot op 29 Augustus, werd op ononderbroken wijze gas met gemiddeld 725 cal/m<sup>3</sup> voorgebracht; gedurende bepaalde perioden werd zelfs een verwarmingsvermogen van 1.000 cal/m<sup>3</sup> bereikt.

Het best gas werd steeds bekomen met het inblazen van een maximaal lucht debiet (6.500 m<sup>3</sup>/h). Kleinere debieten gaven minder goede resultaten, en een sterke vermindering van de luchthoeveelheid, ten gevolge b.v. van defecten in de electriciteitsvoorziening, gaf aanleiding tot ontploffingen. Deze ontploffingen hebben er toe gedwongen het experiment, na een maand succesvolle werking, stop te zetten.

Het feit dat, met een minderwaardige brandstof, gunstige resultaten bekomen werden is waarschijnlijk aan de reageerbaarheid en aan het hoog gehalte aan vluchtige bestanddelen van de bruinkolen te wijten.

Een tweede experiment, eveneens in een bruinkolenlaag, te Terni, gaf weinig resultaten op, ten gevolge van de ondichtheid van het terrein. Men kon echter vaststellen dat gas met 1.320 cal/m<sup>3</sup> ondergronds ontwikkeld werd, terwijl bovengronds slechts gas met 400-600 cal/m<sup>3</sup> opgevangen kon worden.

### III. — Experimenten te Gorgas (U.S.A.)

Van Januari tot Maart 1947 greep een eerste reeks proeven plaats op een 12 meter breed hoefijzer-vormig paneel, in de 90 cm dik Pratt steenkolenlaag.

De meest verscheidene brandmiddelen werden afwisselend in beide richtingen ingeblazen, met debieten van 1.500 tot 5.000 m<sup>3</sup>/h. Men bewam

met lucht .....	gas aan 560 cal/m <sup>3</sup>
lucht + O <sub>2</sub> .....	416
lucht + O <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O .....	875
O <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O .....	1.125
H <sub>2</sub> O .....	1.670
natuurlijk trek .....	2.160

Grote moeilijkheden onstonden om het paneel, dat slechts 10 meter diep lag, gaslicht te houden.

Na de proef werd het door dwars gedreven gaanderijen en uitgravingen blootgelegd. Het buitenste deel was volledig uitgebrand, zonder cokesoverblijfselen, en de vrijgekomen ruimte was door het neerzakken en het sinteren van het bovenliggend gesteente volledig toegevoerd geworden.

De overblijvende kern van het paneel was door een cokesrand van ongeveer 1 m omzoomd.

Een tweede experiment werd in 1949-1950 met een rechte gaanderij uitgevoerd. Deze gaanderij lag 50 m diep en was door boringen met de bovengrond verbonden.

Hier bleek het zeer moeilijk een voldoende contact te verkrijgen tussen het brandmiddel (ingeblazen lucht) en de brandstof, zodat tot hier toe geen brandbaar gas bekomen werd, tenzij gedurende korte perioden waar gebruik werd gemaakt van verse laaggedeelten, bij middel van nieuwe boringen, buiten de as van de proefgalerij gedreven.

## II. — ESSAIS ITALIENS

A. — **Valdarno.** — 12 juillet-30 août 1947.  
(Castelnuovo dei Sabbioni)

### 1) Disposition du chantier.

L'essai a été effectué dans le gisement lenticulaire de lignite de Banco-Casino, recouvert par une couche de 12 à 30 m de morts-terrains.

La couche, inclinée de 12°, avec une puissance variant de 5 à 20 m, avait déjà été exploitée dans sa partie supérieure, de sorte que le toit, formé par les gradins de l'ancienne exploitation, était fort irrégulier.

La stratification du lignite est très capricieuse et de nombreuses passées d'argile salissent la couche. Le mur de celle-ci consiste en sable éocène, le toit en argile pliocène. La distillation de cette argile dégage une certaine quantité de gaz, constitué surtout par du H<sub>2</sub>, du CO et du CH<sub>4</sub> et pouvant, au cours de l'essai, venir enrichir le gaz formé dans la couche.

Les cendres du lignite se ramollissent à 1.050-1.100° et fondent à 1.270°.

La composition, d'ailleurs assez variable, du combustible résulte des analyses ci-dessous :

Analyse immédiate					Analyse élémentaire					
PCS	Humidité	Cendres	MV	CF	C	H	O	N	S	PCI
tout venant		sur sec	sec, sans cendres		sec, sans cendres					
2.288	50,55	25	53,3	46,7	50,7	6,3	59,4	1,7	1,0	5,850

Ce lignite, séché à 37 % d'humidité, donne dans un gazogène Körpell un gaz à l'air de composition moyenne :

CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	PCS	PCI
6,7	1,0	25,0	11,0	1,5	54,8	1,250	1,165

Par distillation à 600-900°, il fournit par tonne : 560 litres d'eau (dont 500 correspondent à l'humidité du combustible),

20 kg de goudron,

1,7 à 2,8 kg de benzol (d'après la température de distillation),

1 à 1,5 kg d'ammoniaque,

270 kg de coke,

145 à 180 m<sup>3</sup> de gaz, de composition peu variable avec la température de distillation :

CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	N <sub>2</sub>	PCS	PCI
20,7	1,2	15,6	45,1	15,9	1,0	4,5	3,260	2,860

Le lignite en place contenait 50 % d'humidité et ne représentait que 1.870 cal/kg de pouvoir calorifique inférieur. De plus, il y avait une venue d'eau variable, mais continue, dans la galerie de feu.

D'autre part, de vieux travaux effectués dans la couche en diminuaient l'étanchéité.

Le chantier avait une forme en fer à cheval. Deux descenderies, destinées à l'entrée de l'air et au retour des gaz, avaient été creusées à partir de la découverte, en suivant la pente de la couche (12° environ sur une longueur de 60 m (fig. 21).

Une galerie transversale (60 m), la galerie de feu, réunissait les extrémités des deux précédentes, délimitant ainsi un panneau de forme trapézoïdale contenant environ 7.200 tonnes de lignite.

Une autre galerie, parallèle à la galerie des gaz, servait de salle de pompes.

Ce réseau de galeries avait été établi de façon à laisser sous la sole une épaisseur de 2 à 4 m de lignite et en couronne une épaisseur de 3 m. En réalité, par suite des irrégularités de la couche, cette dernière épaisseur variait entre 0 et 10 m.

Les galeries d'entrée et de sortie étaient barrées chacune, à 20 m de l'entrée, par un serrement que traversaient les conduites d'air et de gaz.

Vingt-huit thermocouples avaient été placés le long de la galerie de feu (n<sup>os</sup> 1 à 18) et de la galerie des gaz (n<sup>os</sup> 18 à 26), soit dans le courant gazeux, soit dans les parois ou le toit de lignite, à 1 m de profondeur.

Pour empêcher la propagation du feu en dehors du panneau délimité par les trois galeries, la paroi extérieure de celles-ci avait été revêtue d'un mur d'arrêt. Dans ce mur avait été ménagée une encoche

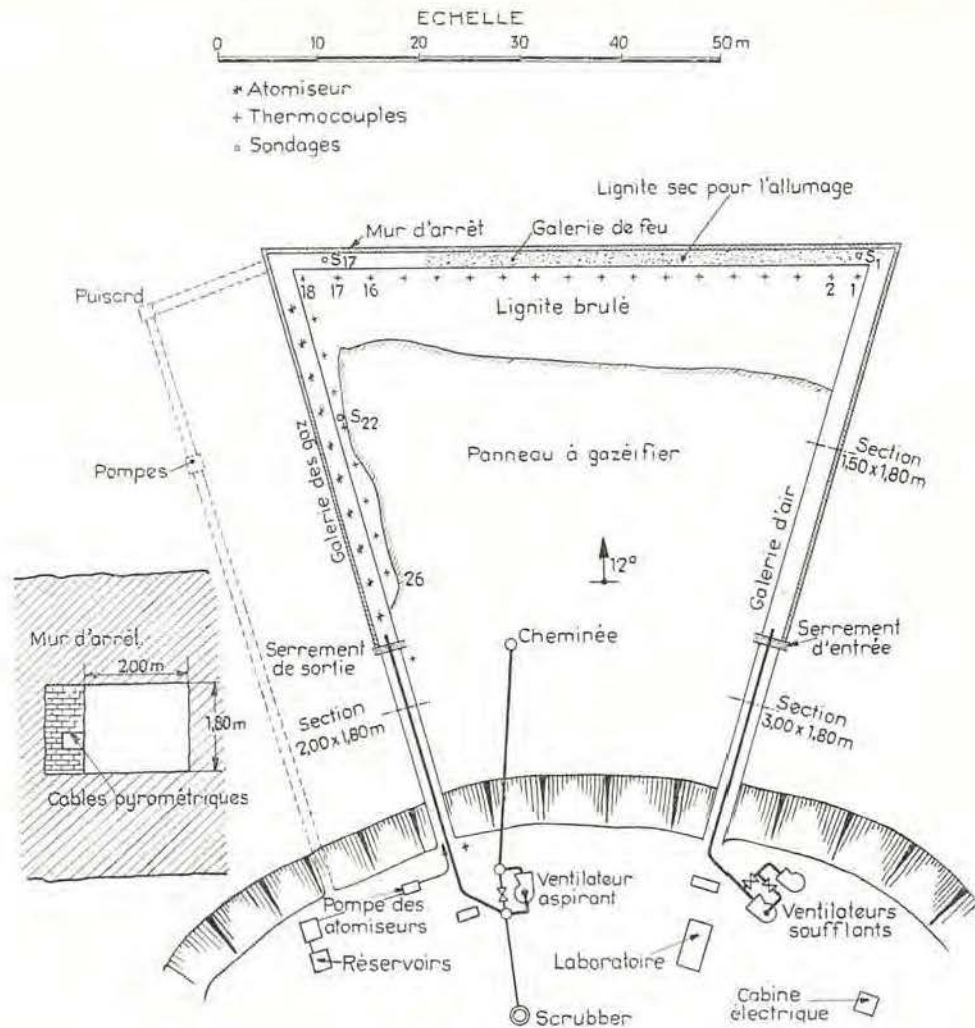


Fig. 21.

pour le logement des câbles pyrométriques. Des atomiseurs refroidissaient le gaz dans la galerie de retour, afin de protéger la conduite et le serrement. Ils pouvaient éventuellement servir de prises de gaz pour analyses.

## 2) Premier allumage (12-17 juillet 1947).

La mise à feu eut lieu le 12 juillet 1947 à 17 h 25, au moyen de trois bombes incendiaires mises à feu électriquement, à quelques minutes d'intervalle. Du lignite sec avait été entassé dans la galerie de feu jusqu'à 10 m de la galerie de gaz pour amorcer la combustion.

Dès l'allumage des bombes, la fumée apparut à la cheminée. Vers 19 heures, les pyromètres de la galerie de feu commencèrent à accuser des élévations de température.

L'amorçage des bombes terminé, le débit fut porté à 10.800 m<sup>3</sup>/h. Ce violent courant produisit une combustion trop rapide du lignite sec d'amorçage et chassa immédiatement le feu vers l'aval, jusque dans la galerie de gaz.

On s'en rendit compte par la montée rapide du pyromètre 17 (de 110° à 5 heures du matin, le 15 juillet, à 880° à 6 heures) et par la température

croissante du gaz sortant du chantier (de 37° à 5 heures, à 350° à 9 heures). Ce gaz contenait de 16 à 18 % de CO<sub>2</sub> et 2 % d'O<sub>2</sub>, un peu de CH<sub>4</sub> et de l'azote.

Plusieurs manœuvres furent tentées pour ramener le feu vers l'amont : réduction du débit, mise en marche des atomiseurs, mise à feu des bombes d'allumage restant en tête du chantier, mais elles n'eurent d'autre résultat que de faire apparaître un excès d'oxygène dans le gaz sortant aux dépens du pourcentage de CO<sub>2</sub>.

On ne parvint pas à éliminer cet oxygène résiduel, même en rétablissant le débit primitif de 10.000 m<sup>3</sup>/h.

Le feu continua à se développer dans la galerie des gaz et parvint à 6 m 50 du serrement de sortie.

On décida alors d'éteindre le chantier, en maintenant les atomiseurs en marche et en laissant l'eau monter dans les galeries, et de n'arrêter les ventilateurs qu'après l'inondation complète.

Le mercredi 16 juillet, on constata que l'eau se trouvait à un niveau de 0,50 m supérieur au toit initial de la galerie de feu. Il passait cependant un débit d'air de 700 m<sup>3</sup>/h sous une pression de 120 mm, tandis que les pyromètres de la galerie des

gaz indiquaient toujours la présence de feu. Il est donc probable que le feu avait entamé le toit des galeries et y avait provoqué des éboulements livrant passage au courant gazeux.

A 18 h 10, on arrêta les ventilateurs.

La période de repos forcé du 17 au 22 juillet fut mise à profit pour effectuer des travaux accessoires et des réparations. On boucha une fuite au serrement de sortie. On exécuta, à l'entrée de la galerie de feu, un sondage (S<sub>1</sub>) destiné au rallumage du chantier et, dans la galerie de gaz, un autre sondage (S<sub>22</sub>, près du pyro 22) pour y envoyer de l'eau. Ce dernier sondage recoupa une excavation provenant d'une ancienne exploitation.

Malgré l'envoi d'eau et l'injection de 200 m<sup>3</sup> de CO<sub>2</sub> dans la galerie de gaz, les pyromètres marquaient toujours (d'une façon fort irrégulière) une certaine température. Il est probable que leurs indications étaient inexactes (faux contacts entre fils). Dans la galerie de feu, on nota aussi des températures croissantes (remontée du feu ?) pendant cette période.

### 5) Deuxième allumage.

Le rallumage, opéré le 25 juillet vers midi par le Sondage S<sub>1</sub>, fut laborieux et ne réussit qu'après plusieurs échecs (cordon Bickford, essence, bombe à la thermitite). On réussit finalement en enflammant du lignite sec arrosé d'essence, au moyen d'un chiffon allumé à l'extérieur du trou.

Le terrain étant très humide (à la suite de l'inondation des jours précédents), il fallut alimenter sans cesse, par du lignite sec versé dans le trou, le bûcher ainsi formé. Il sortait d'ailleurs beaucoup de vapeur d'eau du sondage.

Le débit d'air était de 700 m<sup>3</sup>/h.

Le réchauffage du chantier fut très lent et dura jusqu'au 28. Pendant cette période on augmenta progressivement le débit, ce qui eut pour effet d'augmenter la teneur des fumées en CO<sub>2</sub> (aux dépens de O<sub>2</sub>) et de faire monter la température de sortie du gaz.

	Q air m <sup>3</sup> /h	CO <sub>2</sub> %	Temp. sortie	
23-7	700	—	—	2.250 m <sup>3</sup> /h pendant 4 heures. Les pyromètres commencent à monter — A partir de 18 h : coups d'air périodiques de 3.000 m <sup>3</sup> /h. Coups d'air de 0.500 m <sup>3</sup> /h.
24-7	700-1.000	4,4	—	
25-7	1.500	6,4	70°	
26-7	1.800	4-6,6	—	Coups d'air de 0.500 m <sup>3</sup> /h.
27-7	3.300	4,9	—	
	4.500	19,4	100°	Coups d'air toutes les 20 min. Gaz à 440 cal.
28-7	5.000	—	300°	

Le 26, on installa, au fond du sondage S<sub>1</sub>, un brûleur à gazoil, destiné à activer le bûcher.

Le 28, après plusieurs bouchages du sondage et du brûleur, celui-ci fut mis hors service et on cessa d'alimenter le bûcher. Un nouveau sondage, le S<sub>17</sub>,

fut percé près de l'extrémité aval de la galerie de feu.

Les 27, 28 et 29 juillet, l'augmentation progressive du débit d'air que l'on envoyait dans la mine produisit une amélioration continue du gaz. On

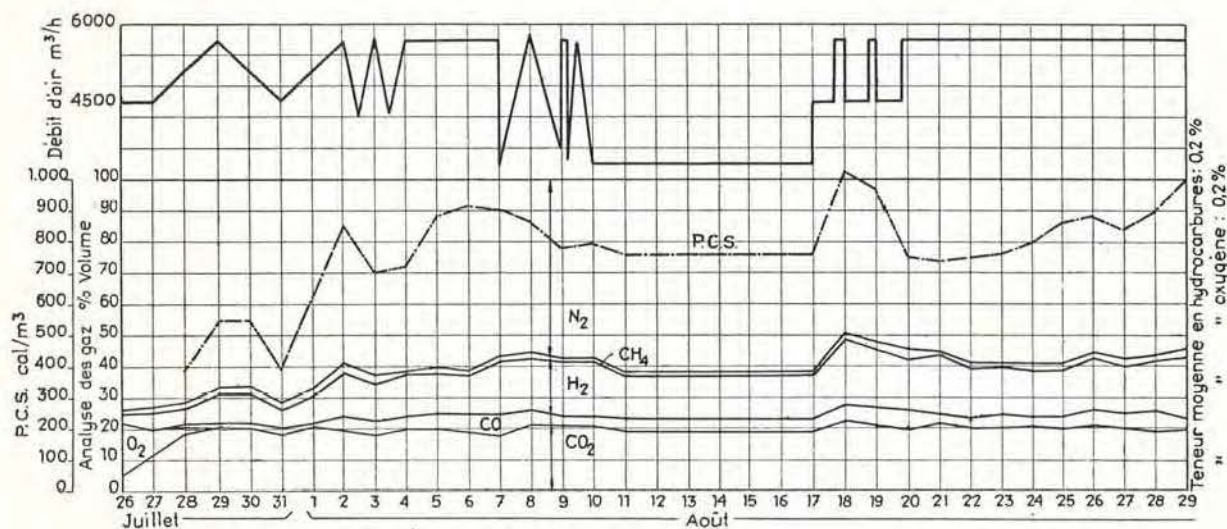


Fig. 22.

fut malheureusement obligé de limiter ce débit à cause de la mauvaise tenue des tuyauteries.

Le 29, on atteignit un PCS de 700 cal/m<sup>3</sup>, tandis que la moyenne journalière s'établissait à 550 cal/m<sup>3</sup>, sous un débit de 6.000 m<sup>3</sup>/h. Ce gaz ne brûlait cependant pas, même après avoir été débarrassé de son humidité et du CO<sub>2</sub>.

A partir de ce jour, l'oxygène résiduel disparut définitivement des analyses (voir diagramme, figure 22).

Les jours suivants, on fut à nouveau obligé de réduire le débit à cause des fuites qui provoquaient la formation de foyers parasites dans la galerie des gaz, à l'extérieur du serrement. On dut fermer l'entrée de la galerie en y faisant ébouler le terrain sus-jacent. D'autre part, l'orifice équivalent du chantier avait fortement diminué par rapport à sa valeur initiale.

Cette diminution du débit fit retomber le pouvoir calorifique du gaz à 400 cal/m<sup>3</sup>.

A partir du 31 juillet, on put renforcer le soufflage : le PC remonta aussitôt et, le 2 août à 5 h, on alluma le gaz qui continua à brûler sans interruption jusqu'à la fin de l'expérience. Son pouvoir calorifique supérieur, calculé d'après l'analyse, était à ce moment de 859 cal/m<sup>3</sup>.

L'orifice équivalent avait encore diminué : une

Pression	Entrée	Au S <sub>1</sub>	Au S <sub>17</sub>	Au S <sub>22</sub>	Sortie
mm H <sub>2</sub> O	1.006	1.006	550	122	40

Le gaz sortait à 84° et contenait de 385 à 650 g d'eau par m<sup>3</sup>.

Le 8 août, un arrêt des moteurs électriques pour effectuer des travaux fit tomber le débit à

CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	PCS	PCI
29	0,5	5,2	16	15,2	0,5	55,8	555g/m <sup>3</sup>	2.155	1.918

Le retour au débit normal de 4.500 m<sup>3</sup>/h fut opéré sans incident.

Le lendemain, un essai de diminution lente du débit (de 4.550 m<sup>3</sup>/h à 1.800 m<sup>3</sup>/h en 5 heures) ne donna pas de résultats. Le pouvoir calorifique oscilla entre 650 et 900 cal/m<sup>3</sup> sans montrer de relation déterminée avec le débit.

Le 10 août, on fit encore un essai de diminution de débit : celui-ci fut réduit brusquement à 1.000 m<sup>3</sup>/h. Après un quart d'heure, le gaz reflua par la galerie d'entrée d'air. Le rétablissement progressif du débit normal provoqua une explosion.

Le 11, les mêmes phénomènes se reproduisirent à la suite d'une panne de courant : reflux du gaz et explosion lors de la remise en marche après six heures d'arrêt. Il semble qu'un débit de 2.000 m<sup>3</sup>/h au moins était nécessaire en permanence pour empêcher l'inversion du courant et le mélange de l'air et du gaz.

L'orifice équivalent du chantier, qui était de 2,1 dm<sup>2</sup> le 1<sup>er</sup> août, avait sensiblement baissé pendant la période active du 1<sup>er</sup> au 12.

Vers le 6 août, il s'était stabilisé à 1,5 dm<sup>2</sup> et,

pression de 1.000 mm de H<sub>2</sub>O était nécessaire pour faire passer 5.700 m<sup>3</sup>/h, la plus grande partie de cette perte de charge se produisant dans la partie aval du chantier (galerie des gaz). Au sondage S<sub>17</sub> en effet, on avait une pression de 700 mm de H<sub>2</sub>O.

Le 5 août, on atteignait 928 cal/m<sup>3</sup> (PCS). Le terrain commençait à se fissurer autour du sondage S<sub>1</sub>, où 15 m de morts-terrains recouvraient 10 m de lignite. D'après la position des crevasses, le feu semblait avoir passé au-dessus du mur de protection de la galerie de feu. Autour du sondage, la surface du sol s'affaissait en forme de cuvette conique.

Les 5 et 4 août furent consacrés à des essais avec débits pulsatoires (alternativement 6.000 m<sup>3</sup>/h et 3.000 m<sup>3</sup>/h, à une cadence de 6 heures pour chaque phase).

Les résultats n'ayant guère été encourageants (PCS = 700 cal/m<sup>3</sup>), on reprit le soufflage sous régime maximum et, pendant la période du 5 au 7 août, le PC oscilla entre 900 et 1.000 cal/m<sup>3</sup>, avec environ 6 % de CO, 15 % de H<sub>2</sub> et 2 % de CH<sub>4</sub>.

A partir des 6-7 août, l'orifice équivalent se stabilisa vers 1,5 dm<sup>2</sup>. Les pressions se répartissaient d'une manière plus régulière :

1.800 m<sup>3</sup>/h pendant 20 minutes. Le gaz qui donnait 860 cal/m<sup>3</sup> avant l'arrêt, accusa la composition suivante :

vers le 12 août, il variait entre 1,45 et 1,9 dm<sup>2</sup>. Les déterminations effectuées sous fort débit donnaient généralement un orifice équivalent, supérieur à celui que l'on obtenait avec des débits plus faibles. Ceci indique que le débit Q ne variait pas strictement proportionnellement à la puissance 1/2 de la différence de pression h appliquée aux extrémités du circuit, mais selon une puissance de h comprise entre 0,5 et 1.

Des essais effectués le 11 août, on peut déduire la caractéristique suivante (voir tableau page suivante) :

$$Q \text{ m}^3/\text{h} = 14,8 \text{ h}^{\frac{0,85}{\text{mm H}_2\text{O}}}$$

#### 4) Dernière période.

Du 11 au 22 août, le chantier fut mis « en veilleuse » avec un débit de 3.000 m<sup>3</sup>/h, pour éviter que les pannes de courant ne causent des explosions, et permettre le montage de ventilateurs de secours actionnés par des moteurs à explosion. Sous ce régime, le pouvoir calorifique des gaz se maintenait à 750 cal/m<sup>3</sup> environ. Pendant la nuit cepen-

Date	Débit m <sup>3</sup> /h	Pression mm H <sub>2</sub> O	Or. Eq. dm <sup>2</sup>
1-8	6.500	950	2,1
2-8	5.700	950	1,85
4-8	5.000	950	1,62
»	4.500	950	1,5
9-8	7.250	1.600	1,87
»	5.000	900	1,68
11-8	4.500	757	1,61
»	6.800	1.367	1,89
»	4.500	860	1,58
»	5.000	518	1,44

dant, les pannes de courant étant moins à craindre, on a pu envoyer des débits plus importants, avec amélioration correspondante du gaz. Les 19 et 20 août, on a dépassé 1.000 cal/m<sup>3</sup>.

On constata que le rapport du débit de gaz au débit d'air avait varié : les fuites de gaz avaient donc gagné en importance. L'orifice équivalent avait légèrement augmenté pendant cette période de repos : 2 dm<sup>2</sup> environ.

La marche normale fut rétablie le 22 août à 23 heures, avec un débit de 6.000 m<sup>3</sup>/h. Le gaz sortait de la mine à 85° et contenait 457 g de H<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>.

Ce régime fut maintenu jusqu'au 29 août ; le gaz s'améliora pendant toute cette période, atteignant finalement 1.000 cal/m<sup>3</sup>. Plusieurs interruptions, de courte durée, furent cependant causées par les déficiences de la fourniture d'énergie électrique. Chaque fois, les gaz combustibles remontaient dans la galerie d'air et, en se mélangeant avec le comburant, provoquaient des explosions à la remise en marche.

Le 29 août, à 3 h 20 du matin, une chute de tension fit sauter les fusibles de l'installation, immobilisant les ventilateurs en service. Les gaz refluèrent immédiatement dans la galerie d'air et par les registres de réglage, de sorte qu'on n'eut pas le temps de mettre les ventilateurs de secours en marche. Douze minutes après l'arrêt, une explosion violente se produisit.

La remise en marche de deux ventilateurs, après réparation des fusibles, fit sortir une fumée abondante de la galerie d'air.

La mise en service d'un ventilateur aspirant sur la sortie des gaz rétablit le circuit normal, mais provoqua une seconde explosion. Le lignite brûlait au-dessus du serrement d'entrée d'air.

Le ventilateur aspirant étant bientôt mis hors service, on décida d'arrêter le chantier. On y envoya de la vapeur, pendant que l'on faisait ébouler le terrain sur la galerie d'air pour la boucher et qu'on laissait la venue d'eau naturelle inonder les travaux souterrains.

### 5) Visite du chantier.

Les travaux d'extinction durèrent du 5 au 30 septembre. Le dénoyage occupa ensuite la période du 15 octobre au 10 décembre. On put alors pénétrer dans la galerie d'air, qui était intacte jusqu'à 25 m au delà du serrement. A cet endroit, elle était remplie par une accumulation de cendres contenant des poches de lignite non brûlé, qui obstruaient toute la section. Le mur de protection de la paroi extérieure avait parfaitement résisté. D'autre part, le feu n'était pas descendu sous le niveau de la sole de la galerie.

Des éboulements survenus à l'entrée de la galerie empêchèrent malheureusement de pousser la prospection plus loin.

Le 15 juin 1948, on put pénétrer dans la galerie de gaz, restée elle aussi intacte jusqu'à 30 m de serrement. Comme dans la galerie d'air, la paroi externe et la sole de la galerie étaient intactes.

Le panneau avait donc brûlé sur une profondeur de 10 m (galerie des gaz) à 15 m (galerie d'air).

### 6) Conclusions.

a) Pendant 28 jours (du 2 au 29 août) on a produit d'une façon continue un gaz combustible de PCS moyen de 820 cal/m<sup>3</sup>. Pendant certaines périodes, où l'on réussit à maintenir d'une façon constante un débit d'air suffisant, on atteignit des valeurs moyennes plus élevées :

du 5 au 7 août	( 3 jours)	903 cal/m <sup>3</sup>
du 18 au 20 août	( 3 jours)	950 cal/m <sup>3</sup>
du 18 au 29 août	(12 jours)	860 cal/m <sup>3</sup>

Si nous essayons d'établir un bilan matières pour la période du 2 au 29 août, pendant laquelle du gaz combustible a été produit, et si nous partons de la composition élémentaire du lignite, donnée en tête de ce chapitre, et de la composition moyenne du gaz pour cette période tirée du tableau :

CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> + C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	N <sub>2</sub>	PCS	PCI
19,7	0,2	4,5	15,6	2,2	57,8	820	725

on obtient les chiffres suivants :

Éléments du bilan par Nm <sup>3</sup> de gaz	Entrées	Combustible $c = 0,406 \text{ kg}$	Distillation 877 cal	PCI du gaz 725 cal 50.4 %	Chaleur sensible du gaz 285 cal 12 %	Chaleur totale extraite 1.010 cal 42.4 %
		Comburant $a = 0,727 \text{ Nm}^3$	Gaz à l'air 66 cal			
		H <sub>2</sub> O réduit $h = - \text{Nm}^3$	Gaz à l'eau cal			
	Sorties	H <sub>2</sub> O formé $-h = 0,085 \text{ Nm}^3$	Combustion -218 cal			
		Imbrûlés $k = 0,065 \text{ kg}$	$8,100 \times 0,065 = 525 \text{ cal}$ 22.1 %		Pertes au terrain 845 cal 35.5 %	Chaleur restée dans la mine 1.570 cal 57.6 %
Rendements		$\eta_0 = 68,5 \%$ $\eta_{th} = 59 \%$	Chaleur potentielle totale 1.250 cal 52.5 %		Chaleur sensible totale 1.150 cal 47.5 %	PCI du combustible $0,406 \times 5,850 =$ 2.380 cal 100 %

Le chiffre élevé des pertes au terrain et, par conséquent, la faible valeur du rendement thermique sont dus, en grande partie, à la haute teneur en cendres et à l'humidité du combustible. L'évaporation de celle-ci exigeait  $0,5055 \times 640 = 320$  calories par kg de lignite brut, c'est-à-dire 865 calories par kg de lignite net et 550 calories environ par Nm<sup>3</sup> de gaz.

D'autre part, le pouvoir calorifique inférieur du combustible, dont nous nous sommes servis dans les calculs, n'a pas été calculé comme d'habitude à partir de l'analyse élémentaire. La teneur élevée de ce lignite en oxygène rendait en effet suspect l'emploi de la « formule de groupement » ordinaire. Nous avons calculé le PCI à partir du PCS, déterminé expérimentalement et corrigé en fonction de la teneur en hydrogène du lignite net. Le chiffre obtenu semble anormalement élevé si on le compare à la composition du combustible. Comme il intervient dans le calcul par différence des pertes de chaleur, il peut avoir influencé le rendement.

Le faible rapport CO/CO<sub>2</sub> indique que la gazéification a été peu active et la température fort basse, ce qui n'est guère étonnant, vu la qualité du combustible.

D'après le bilan ci-dessus, on aurait consommé, du 27 juillet au 30 août, un total de 1.470 tonnes de lignite net, dont 1.000 tonnes auraient été gazéifiées ou brûlées complètement, le reste (470 t) n'étant que distillé.

Ceci correspond à 4.000 tonnes de lignite brut, dont 2.720 tonnes auraient été intégralement utilisées, fournissant une production totale de gaz de 5.900.000 m<sup>3</sup>.

b) Le pouvoir calorifique, en régime établi, s'améliore à débit d'air croissant. Il peut monter

jusqu'à 1.000 cal/m<sup>3</sup> avec un débit de l'ordre de 6.500 m<sup>3</sup>/h.

Un arrêt brusque ou une diminution brusque du débit peuvent donner un gaz de distillation beaucoup meilleur (2.000 cal/m<sup>3</sup>), mais seulement d'une façon transitoire : si l'on maintient le débit à une faible valeur, le pouvoir calorifique baisse bientôt.

c) Un débit exagéré (10.000 m<sup>3</sup>/h) chasse le feu vers l'aval, du moins dans une galerie dont la section a été réduite par un empilement de lignite en morceaux.

d) Lors des arrêts de soufflage, des explosions sont à craindre par suite du mélange de l'air et du gaz. Il faut maintenir en permanence un débit minimum de l'ordre de 2.000 m<sup>3</sup>/h.

e) L'orifice équivalent se stabilise vers 1,5...2 dm<sup>2</sup>. Il semble subir des variations sensibles lors des arrêts de soufflage. La caractéristique de la mine est de la forme  $Q = K h^a$  où l'exposant  $a$  varie entre 0,5 et 0,85.

f) Il est difficile de contrôler le déplacement du feu. Les pyromètres ne donnent guère d'indications précises.

## B. — Terni.

Un autre essai fut tenté l'hiver suivant à Terni (Ombrie), dans le gisement de lignite de Colle dell'Oro, composé de trois couches de lignite xyloïde, entre des bancs d'argiles et de sables pliocènes.

Les couches, distantes de 20 m, ont une puissance de 1 m 80, une inclinaison de 8 à 10° et sont salées par des passées argileuses. C'est surtout la couche supérieure qui a été exploitée et c'est dans cette couche qu'on a tracé un panneau de gazéification.

L'analyse immédiate du lignite donne :

Humidité	Cendres	MV	Carbone fixe	PCS
tout venant	sur sec	sur charbon net		
41,1	54,0	65,7	56,5	5.100

Le chantier, établi sous une colline, avait une disposition analogue à celle de Valdarno. La galerie d'air mesurait 57 m, avec une pente de  $10^\circ$ , et était renforcée de cadres de bois (section utile :  $2,6 \text{ m}^2$ ). La galerie de feu horizontale, longue de 92 m, était, elle aussi, garnie de cadres en bois. La paroi opposée au panneau était protégée par un mur d'argile, réduisant la section à  $1,7 \text{ m}^2$ . La galerie des gaz, longue de 91 m, avait une pente de  $9^\circ$  et une section de  $2,2 \text{ m}^2$ . Les deux parois étaient protégées par des murs d'argile. Ces galeries étaient creusées dans toute l'épaisseur de la couche. Deux serrements fermaient les galeries d'air et de gaz. Un troisième serrement isolait la galerie de feu d'une galerie auxiliaire.

Quarante thermocouples en chromel-alumel, protégés par des gaines en acier inoxydable, avaient été placés le long du circuit gazeux et dans les parois des galeries.

Les débits d'air et de gaz étaient mesurés par diaphragmes, les analyses de gaz se faisaient à l'Orsat. Quatre ventilateurs soufflants, montés en série ou en parallèle, devaient fournir un débit d'air plus puissant qu'à Valdarno.

Plusieurs bûchers de bois sec avaient été échelonnés à l'entrée de la galerie de feu et de la galerie d'air pour permettre l'allumage et, éventuellement, un rappel du feu vers l'amont.

Le chantier fut mis à feu le 25 novembre 1947 et resta en activité jusqu'à la seconde moitié de décembre. Pendant cette période, des fuites si importantes se produisirent qu'on fut obligé de suspendre les essais. Il fallut tracer un nouveau panneau à l'intérieur du précédent.

Cette première phase a cependant permis de constater que :

- l'allumage s'est effectué facilement;
- les pyromètres de la galerie de feu ont permis de

suivre l'extension du feu à partir des points d'allumage :

- 10 m en trois jours,
- 20 m en huit jours,
- 40 m en dix jours;

- le foudroyage provoqué dans la galerie de feu a favorisé l'élaboration du gaz;
- la production de gaz semble être favorisée par les forts débits;
- un débit fortement réduit peut amener le feu à reculer vers l'amont;
- l'épaisseur du massif de protection en lignite doit être importante pour pouvoir assurer l'étanchéité du chantier; de même il faut éviter que le lignite, en séchant, ne provoque des fuites autour des serrements;
- il est possible de maintenir le chantier en veilleuse pendant longtemps, le rallumage se faisant rapidement.

Le gaz produit pendant cette première période avait en moyenne  $400 \text{ cal/m}^3$ . On atteignit le maximum de  $600 \text{ cal/m}^3$  pour le soufflage à l'air, et même  $825 \text{ cal/m}^3$  en laissant se dégager le gaz de distillation. Une prise de gaz prélevant des échantillons dans la galerie de feu, fournit même d'une façon régulière du gaz à  $1,320 \text{ cal/m}^3$ . Mais ce gaz se détériorait toujours avant de parvenir à la sortie du chantier.

\* \* \*

L'essai fut repris sur un petit panneau découpé à l'intérieur du précédent, pendant l'été 1948, et l'installation fonctionna pendant deux mois. Malheureusement, des rentrées d'air dues au voisinage d'anciennes exploitations provoquèrent la recombustion du gaz dans le fond et il fut impossible d'obtenir à la sortie autre chose que des gaz de combustion.

### III. — ESSAIS DE GORGAS (ETATS-UNIS)

Les essais organisés par le Bureau of Mines des Etats-Unis et la Alabama Power Co., à Gorgas (25 km au sud de Jasper, Alabama) furent effectués dans la couche Pratt, composée de deux laies de charbon gras cokéfiant, totalisant 90 cm de puissance.

Laie supérieure	.....	10 ... 20 cm
Intercalation	.....	5 cm
Laie inférieure	.....	65 ... 75 cm

La couche est pratiquement horizontale (pendage à moins de 1 %). Des clivages verticaux, espacés de 15 mm environ, la divisent finement. Près des affleurements, ces clivages sont souillés d'argile. Les cendres sont réparties en lits fort minces (de l'ordre du dixième de mm) et rapprochés de sorte que ce charbon est très difficile à laver.

Composition du charbon (moyenne de 6 échantillons) :

Analyse immédiate				Analyse élémentaire					PCS	
H <sub>2</sub> O	Cendres	CF	MV	C	H	O	N	S	Tout venant	Charbon net
Tout venant	sur sec.	Charbon net					Tout venant	Charbon net		
4,1	14,5	61,9	58,1	84,0	5,5	7,5	1,7	1,5	6,850	8,350



Caractéristiques des épontes et des cendres :

	Première déformation	Ramolliss <sup>nt</sup>	Fusion
Toit ...	1.260°	1.550°	1.470°
Mur ...	1.500°	1.400°	1.450°
Cendres .	1.580°	1.450°	1.500°

Le toit et le mur sont constitués par des schistes avec des passées gréseuses à quelque distance du toit. Le toit est quelque peu charbonneux (10 %), mais la matière organique est finement divisée et dispersée dans la masse. Il y a des passées charbonneuses dans le mur, à quelques dizaines de centimètres sous la couche. La couche « America » se trouve environ 20 m plus bas.

#### A. — Essai n° 1.

L'emplacement choisi pour le premier essai est le sommet d'une colline où la couche affleure sur trois côtés (est - sud - ouest). Le quatrième côté a été séparé du reste du gisement par une tranchée de 6 m de largeur. Le lambeau ainsi isolé mesurait environ 120 m de longueur et 60 m de largeur et était recouvert par 10 m de morts-terrains. D'anciennes exploitations se trouvaient à 100 m plus au nord, dans la veine Pratt, et à 25 m au nord, dans la veine America.

Le panneau à gazéifier, délimité par deux galeries parallèles creusées à partir de la tranchée, et par une galerie transversale, mesurait 45 m de longueur sur 12 m de largeur (fig. 25). Ces galeries avaient

une section de 1 m 80 sur 90 cm (hauteur de la couche). Cependant, des sacs d'argile avaient été entassés contre la paroi extérieure, ne laissant qu'un passage libre de 1 m au toit et de 0,60 m au mur. Elles étaient pourvues d'un soutènement en rails de 28 kg/m empotelés dans les parois de charbon (fig. 24).

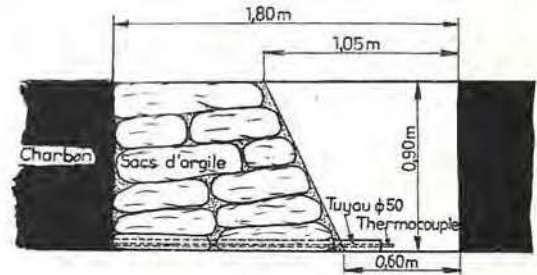


Fig. 24.

Des serrements en béton (1 p. ciment à prise rapide, 2 p. sable, 4 p. scories broyées) fermaient les deux galeries à 3 m environ de l'entrée. Ils pénétraient de 40 cm environ dans le charbon, de 50 cm dans le mur et de 15 cm dans le toit de la couche.

Après l'enlèvement des coffrages, toutes les fentes dues au retrait furent colmatées par injection de ciment.

Les serrements étaient traversés par des éléments de tuyauterie en béton de 60 cm de diamètre, pour le passage de l'air ou des gaz, et par un tuyau en fer de 50 mm pour la vapeur.

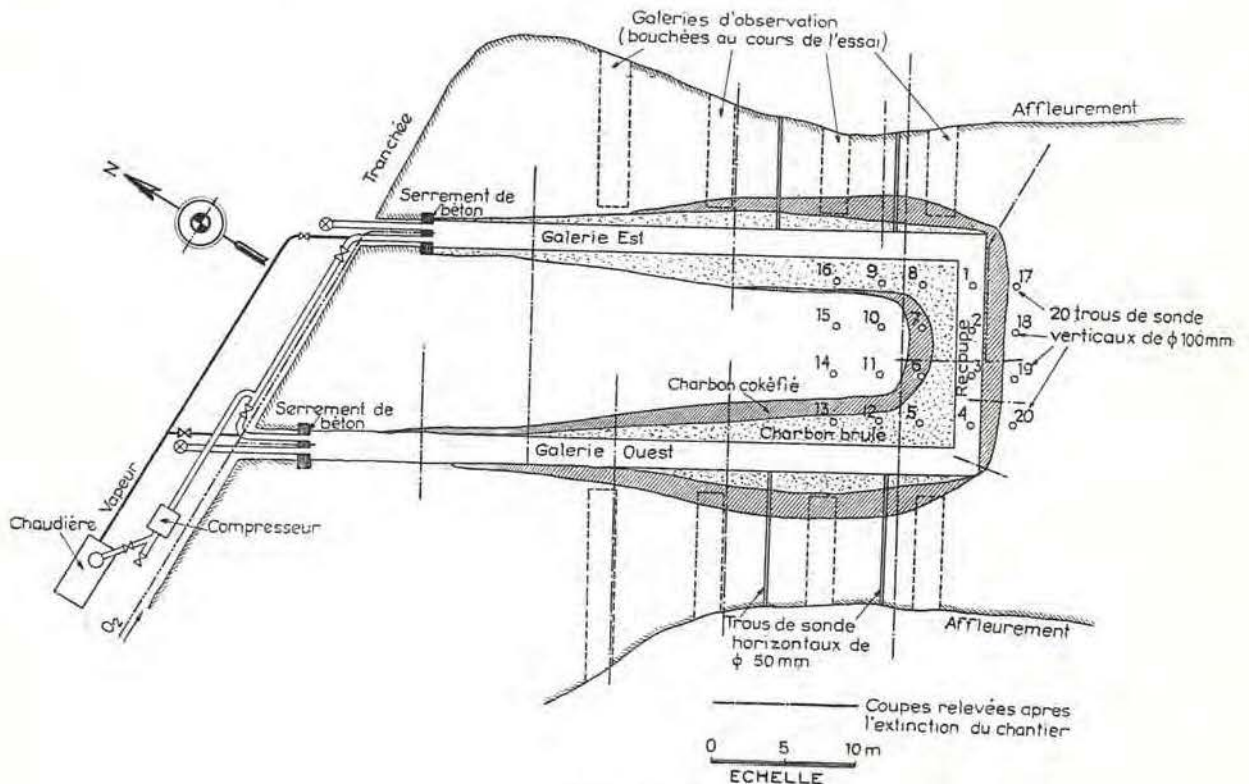


Fig. 25.

Huit galeries d'observation furent creusées à partir de l'affleurement de la couche jusqu'à 1 m à peu près des parois extérieures du chantier. Des meurtrières, de  $5 \times 50$  cm, percées à travers le massif d'un mètre restant et s'élargissant vers le chantier, devaient en permettre l'observation visuelle à travers un carreau en pyrex.

Des disques d'explosion de 60 cm de diamètre, placés de la même manière dans deux des galeries d'observation, servaient de soupapes de sûreté pour le chantier. Des trous de sonde pour prises de gaz et mesure de température étaient prévus à chaque porte d'observation.

Pendant les essais, ces galeries d'observation, insuffisamment étanches, furent rapidement mises hors service. On les remplaça par des trous de sonde horizontaux, forés dans la couche à partir des affleurements jusqu'au chantier.

Des trous verticaux de 100 mm, numérotés de 1 à 20, permettant de faire des prises de gaz et des mesures de température et de pression dans toute la zone influencée par le feu, furent forés à partir de la surface, dans le panneau et dans la galerie transversale, à intervalles réguliers de 3 m.

La disposition symétrique des tuyauteries et des vannes permettait l'alimentation du chantier en air, oxygène et vapeur dans un sens comme dans l'autre.

Le compresseur (volumogène), actionné par un moteur électrique de 75 chevaux, était capable de débiter  $12.500 \text{ m}^3/\text{h}$  sous une pression de 1.400 mm d'eau. L'aspiration du compresseur pouvait être reliée à la cheminée de la chaudière, pour envoyer dans la mine un tampon inerte de fumée devant éliminer les risques d'explosion lors de l'inversion du courant gazeux.

L'oxygène était amené par un tuyau de 75 mm d'un tank à oxygène liquide et d'un gazéificateur situés à quelque distance et pouvant livrer un débit maximum de  $350 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Les débits d'air, d'oxygène et de vapeur étaient mesurés par des diaphragmes.

Le gaz s'échappait par deux cheminées placées à la sortie des deux galeries. Des atomiseurs placés à la base des cheminées et dans les galeries refroidissaient le gaz et empêchaient la combustion des parois de charbon.

#### 1. — Allumage et déroulement de l'essai.

Une saignée de 45 cm de profondeur et 20 cm de hauteur avait été pratiquée (à la main) dans la galerie transversale, au pied de la face sud du panneau (front de feu).

Les haveries avaient été entassées le long de la paroi opposée de la galerie et celle-ci avait été remplie sur 10 m, jusqu'à 20 cm du toit, de couches

alternées de charbon et de bois arrosées de mazout. Des bombes de thermité étaient placées juste sous le trou de sonde n° 1 (coin sud-est du panneau).

Le 21 janvier 1947 à 14 heures, quatre bombes de thermité furent allumées à la surface et lancées par le trou n° 1, tandis qu'un débit d'air de  $4.000 \text{ m}^3/\text{h}$  passait dans le sens est-ouest. Quelques secondes plus tard, une quantité abondante de fumée épaisse et noire sortait par la cheminée ouest.

Après quelques heures de fonctionnement, le chantier se révéla inétanche. Il fallut progressivement, du 21 au 31 janvier, boucher toutes les galeries d'observation au moyen de sacs de poussière et les guniter. Les serrements d'entrée et de sortie exigèrent aussi des soins constants et des renforcements répétés.

Au cours de ces opérations, on put constater, le 26 janvier, que le toit et la paroi de la galerie transversale étaient en feu et qu'un passage libre subsistait à la partie supérieure de la galerie au-dessus d'un amoncellement de débris du toit.

D'autre part, le 1<sup>er</sup> février, le feu était visible à une dizaine de mètres de l'entrée est de la mine, mais invisible du côté ouest.

La combustion semblant peu active à l'extrémité du panneau, on fit exploser des charges de dynamite au fond des trous de sonde verticaux n° 8 (28 janvier) et 5, 6, 7 (30 janvier) et 5 encore (le 5 février), avec dégagement immédiat de fumée et de gaz par ces trous respectifs.

Le 3 janvier, le feu avait entamé la paroi extérieure de la galerie transversale sur une profondeur comprise entre 1 et 2 m.

Le 5 février, le gaz brûlait à l'orifice des trous 5 et 8.

Le 14 février, il brûlait aussi aux trous 6 et 7.

Du 18 au 24 février,  $12.700 \text{ m}^3$  de ce gaz furent captés par ces trous et, après préchauffage, brûlés sous la chaudière avec un pouvoir calorifique moyen de  $625 \text{ cal}/\text{m}^3$ .

Le 12 mars, à 8 heures du matin, on arrêta le chantier après un dernier essai de soufflage intense.

Toute cette période avait été une lutte continue contre les fuites nombreuses et les commencements d'incendie apparaissant dans les galeries d'observation, aux serrements de sortie, le long de l'affleurement de la couche et sur toute la surface des morts-terrains.

#### 2. — Résultats.

Du 21 janvier au 12 mars, l'installation avait fonctionné 1.039 heures, avec soufflage alternatif dans les deux sens, et 160 heures seulement d'arrêt (15 % du temps).

Ces essais sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Comburant	Nombre de périodes	Sens est-ouest	Sens ouest-est	Durée moyenne
Air (du 21-1 au 12-3) .....	65	35	31	15 h 20'
Air suroxygéné (du 20-1 au 2-2) ..	20	9	11	3 h
Air, oxygène, vapeur (1 et 2-2) ...	2	1	1	8 h 15' - 2 h 15'
Oxygène, vapeur (2-2) .....	1	—	—	2 h 50'

En outre, à différentes reprises, on injecta de la vapeur seule dans le chantier, dans le but de produire du gaz à l'eau (voir plus loin les résultats de quatre essais).

De plus, on releva la composition des gaz formés sous l'action du bouchon de vapeur, employé pour faciliter les inversions, et celle du gaz se dégageant de la mine sous tirage naturel, pendant les périodes d'arrêt.

#### a) Soufflage à l'air.

Du 21 au 29 janvier, les conditions de travail furent essentiellement instables. La contrepression du chantier augmentait sans cesse et plusieurs arrêts furent imposés par des ennuis mécaniques ou des travaux destinés à assurer l'étanchéité du chantier.

Le gaz produit pendant cette période avait une composition variant entre les limites ci-dessous :

	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	N <sub>2</sub>	PCS	PCI
min.	14,0	0,2	0,4	1,8	0,4	0	74,4	180	160
max.	16,6	2,1	2,9	5,0	2,4	0,6	79,8	450	400
Moyenne	14,8	1,5	1,9	5,9	1,5	0,1	76,5	528	294

Le débit d'air variait de 1.550 à 4.000 m<sup>3</sup>/h (2.000 m<sup>3</sup>/h environ en moyenne) et le débit de gaz lui était environ égal (0,98 à 1,06 m<sup>3</sup> de gaz par m<sup>3</sup> d'air soufflé).

Ce sont les plus forts débits d'air qui ont donné le meilleur gaz, mais la moitié du pouvoir calorifique du gaz produit est due au méthane et autres

produits de distillation, relativement plus abondants pendant cette première phase que par la suite, le charbon étant encore frais.

Du 29 janvier au 2 février eurent lieu des essais à l'oxygène discutés ci-après.

Après le 2 février, le chantier se montra beaucoup plus stable.

On obtint, pendant cette dernière période, un gaz variant entre les limites suivantes :

	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	N <sub>2</sub>	PCS	PCI	Débit air
min.	12,6	0,2	0,7	2,2	0,6	0	67,4	257	218	1.500 m <sup>3</sup> /h
max.	17,8	2,5	5,0	8,7	5,5	0,6	78,8	620	560	2.800 »
le 5 mars	16,1	0,4	5,4	7,8	2,0	0,4	69,9	570	507	2.150 »
3-4 mars	15,9	0,5	5,9	8,7	1,6	0,5	67,1	620	560	1.880 »
moyenne	15,2	1,0	5,1	5,5	1,5	0,2	75,5	424	580	2.000 »

Débit de gaz = 0,98...1,17 m<sup>3</sup> par m<sup>3</sup> d'air.

Les compositions citées pour le 3 et le 4 mars représentent les meilleurs résultats moyens obtenus pour une période entière de soufflage. Cependant, certaines analyses isolées donnèrent un gaz à 680 cal/m<sup>3</sup> et des prises effectuées en certains points du circuit du gaz accusèrent jusqu'à 1.140 cal/m<sup>3</sup>.

Si l'on tâche d'établir un bilan des matières et d'interpréter quantitativement la formation du gaz

selon l'équation :

$$c \text{ (kg de charbon)} + a \text{ (m}^3 \text{ d'air)} = k \text{ (kg de coke)} + h \text{ (m}^3 \text{ de vapeur d'eau)} + 1 \text{ m}^3 \text{ de gaz.}$$

on obtient les résultats suivants pour les deux périodes considérées (25-31 janvier - 3 février-12 mars) :

Période du 25 au 31 janvier.

Eléments du bilan par Nm <sup>3</sup> de gaz	Entrées		Sorties		Rendements	
	Combustible c = 0,261 kg	Comburant a = 0,962 Nm <sup>3</sup>	H <sub>2</sub> O réduit h = Nm <sup>3</sup>	H <sub>2</sub> O formé - h = 0,090 Nm <sup>3</sup>		Imbrûlés k = 0,121 kg
Distillation 472 cal		Gaz à l'air 52 cal		PCI du gaz 294 cal 15,9 %	Chaleur sensible du gaz 220 cal 10,4 %	Chaleur totale extraite 514 cal 24,5 %
Gaz à l'eau cal		Combustion - 250 cal				
Imbrûlés 8.100 × 0,121 = 980 cal 46,5 %		Pertes au terrain 616 cal 29,2 %		Chaleur potentielle totale 1.274 cal 60,4 %	Chaleur sensible totale 856 cal 59,6 %	Chaleur restée dans la mine 1.596 cal 75,7 %
Chaleur totale 1.274 cal 60,4 %		Chaleur sensible totale 856 cal 59,6 %				

Période du 3 février au 12 mars.

Éléments du bilan par Nm <sup>3</sup> de gaz	Entrées		Distillation 445 cal Gaz à l'air 87 cal Gaz à l'eau cal Combustion -152 cal	PCI du gaz 380 cal 19,6 %	Chaleur sensible du gaz 220 cal 11,4 %	Chaleur totale extraite 600 cal 31 %
	Sorties					
	Rendements					
	Combustible c = 0,240 kg Comburant a = 0,928 Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O réduit h = Nm <sup>3</sup>					
	H <sub>2</sub> O formé -h = 0,059 Nm <sup>3</sup> Imbrûlés k = 0,095 kg		8.100 × 0,095 = 770 cal 59,8 %		Pertes au terrain 565 cal 29,2 %	Chaleur restée dans la mine 1.355 cal 69 %
	$\eta_e = 53 \%$ $\eta_{th} = 52,6 \%$		Chaleur potentielle totale 1.150 cal 59,4 %		Chaleur sensible totale 785 cal 40,6 %	PCI du combustible 0,240 × 8,084 = 1,935 cal 100 %

Suivant ces calculs, on aurait brûlé en 50 jours pour une production totale de 1.800.000 m<sup>3</sup> de gaz, 425 tonnes de charbon pur (correspondant à 517 t de charbon cendreux et humide), 117 t de coke (supposé être du carbone pur) correspondant à 210 t de charbon sont restées dans la mine. 50 % environ du carbone disponible ont été gazéifiés.

Ce calcul concorde approximativement avec les constatations faites lors de l'ouverture du chantier : celles-ci ont permis d'évaluer à 400 t le total du charbon affecté par l'expérience et à 164 t le charbon cokéfié.

Cette production de coke ne signifie pas que la combustion soit incomplète : le coke resté dans la mine aurait été brûlé à son tour si l'expérience avait été poursuivie, la formation et la combustion de coke devant approximativement s'équilibrer après une mise en régime suffisamment longue.

Il faut cependant remarquer que la partie combustible du gaz correspond sensiblement aux matières volatiles du charbon consommé. Les réactions de gazéification sont masquées complètement par les combustions secondaires. Le gaz de la deuxième période peut en effet se décomposer comme suit :

	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	PCI
Distillation ...	1,1	—	0,2	11,4	1,7	0,5	445
Gaz à l'air ...	14,1	1,0	2,9	—	—	62,1	87
Combustion ..	—	—	—	-5,9	—	11,1	-152
Total .....	15,2	1,0	3,1	5,5	1,7	73,5	380

#### b) Soufflage à l'air suroxygéné.

Du 20 janvier au 1<sup>er</sup> février, on a effectué vingt périodes de soufflage à l'air oxygéné totalisant 59 h 1/2 d'activité. La durée moyenne des périodes (3 h) fut fortement réduite par rapport à celle des essais à l'air. On accéléra le rythme des

inversions : le feu avait en effet tendance à remonter le courant de comburant et venait menacer les serremments d'entrée.

La composition moyenne du gaz produit est donnée ci-dessous :

Comburant			Gaz								
O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Débit	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	N <sub>2</sub>	PCS	PCI
34,5	65,7	1.700 m <sup>3</sup> /h	52,5	0,9	2,1	6,1	2,1	0,1	56,4	470	416

mais ces résultats ne sont guère significatifs, car la mine n'avait pas encore atteint un régime stable et la provision d'oxygène disponible était trop faible pour prolonger suffisamment l'essai. D'autre part, le réglage du débit d'oxygène s'avéra difficile.

#### c) Soufflage avec air suroxygéné et vapeur.

Cet essai dura au total 10 h 1/2, les 1 et 2 février. Les résultats obtenus furent beaucoup meilleurs que ceux des essais précédents et l'on n'eut pas à craindre d'incendie près des serremments.

Comburant				Gaz							PCS	PCI
O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Débit	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	N <sub>2</sub>		
32,5	43,4	23,3	1.700 m <sup>3</sup> /h	40,7	1,4	4,1	15,2	4,4	0,4	55,8	1.025	909

d) *Soufflage oxygène-vapeur.*

Un essai de 2 h 50' fut réalisé avec un mélange oxygène-vapeur. Les résultats en sont donnés ci-dessous, mais auraient été sans doute meilleurs

si la provision d'oxygène disponible avait permis de prolonger l'essai ou d'augmenter le débit de comburant :

Comburant			Gaz							PCS	PCI
O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Débit	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	N <sub>2</sub>		
65	35	610 m <sup>3</sup> /h	59,6	1,9	8,6	18,8	3,7	0,4	7,0	1.260	1.125

Le pouvoir calorifique, qui était monté à 950 cal/m<sup>3</sup> dès le commencement de l'essai, dépassait 1.400 cal/m<sup>3</sup> au moment où on dut l'interrompre.

Il est difficile d'évaluer la quantité de gaz produite et de vapeur ayant réagi, puisque le bilan d'azote ne permet pas de comparer les produits entrants et sortants.

A en juger cependant d'après la teneur en méthane, on peut estimer qu'une bonne partie de l'hydrogène (12 % environ du gaz total) provient de la distillation du charbon. Le pouvoir calorifique obtenu proviendrait alors, par parties égales, de la distillation et de la gazéification. Un quart environ de la vapeur d'eau injectée aurait été décomposé.

e) *Soufflage de vapeur.*

A maintes reprises, on arrêta le compresseur et

l'on dirigea de la vapeur seule dans la mine afin de produire du gaz à l'eau. D'autre part, à chaque inversion, la mine fut purgée à la vapeur avant le renversement du courant d'air (l'usage de gaz de combustion comme tampon s'avéra superflu).

Le gaz obtenu pendant ces purges était identique à celui des essais à la vapeur proprement dits.

Ceux-ci ont duré de 40 minutes à 2 heures. Ils ont donné d'habitude du gaz à plus de 1.800 cal mais contenant de fortes quantités de CO<sub>2</sub> et peu de CO, ce qui indique de faibles températures.

D'autre part, la présence d'oxygène libre en quantités importantes dans le gaz fait supposer des rentrées d'air au moment des prises d'échantillons, le chantier n'étant plus sous pression. Les analyses ont été corrigées en soustrayant cet oxygène et l'azote correspondant des compositions mesurées :

Débit de vapeur		Durée et date		CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	N <sub>2</sub>	PCS	PCI
kg/h	Nm <sup>3</sup> /h											
900	1.100	135 min 25 janv.	brut	11,4	6,6	7,5	36,6	5,8	0,5	51,8	1.955	1.670
			corr.	17,0	0	10,6	54,4	9,0	0,8	8,2	2.910	2.550
195	245	90 min 4 mars	brut	27,7	1,1	16,8	27,1	3,2	0,2	23,9	1.660	1.490
			corr.	29,3	0	17,8	28,7	3,4	0,2	20,6	1.750	1.580
855	1.040	60 min 5 mars	brut	51,1	1,6	7,4	25,2	6,0	0,3	50,4	1.550	1.560
			corr.	55,8	0	8,1	25,2	6,5	0,3	26,1	1.660	1.470
650	785	40 min 10 mars	brut	52,0	0,8	11,6	15,6	5,4	0,2	56,4	1.500	1.180
			corr.	55,3	0	12,1	14,2	5,6	0,2	54,6	1.550	1.225
Purges		Moyenne	brut	18,6	4,0	10,6	58,9	5,0	0,5	22,4	2.050	1.790
			corr.	25,2	0	15,3	48,6	6,3	0,6	8,0	2.540	2.240

f) *Sans soufflage.*

Lors des interruptions de soufflage, nécessitées par des réparations au chantier, le gaz se dégag-

geant sous tirage naturel accusa des compositions variant entre :

	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	N <sub>2</sub>	PCS	PCI
min.	13,0	2,6	2,8	22,2	5,5	0	9,7	1.460	1.290
max.	28,6	7,2	14,7	41,6	10,9	0,8	39,6	2.450	2.160
Moy.	21,5	3,9	7,4	30,4	7,8	0,5	28,7	1.920	1.700
Corr.	26,7	0	9,2	37,7	9,7	0,4	16,3	2.390	2.110

Ce gaz est donc très semblable à celui que l'on obtient avec un soufflage à la vapeur. Son débit n'a pas été mesuré.

3. — Observations spéciales.

a) La plupart des essais décrits ci-dessus, avec emploi d'oxygène ou de vapeur comme comburant, ou sans soufflage, ont été de trop courte durée et effectués dans des conditions trop variables pour qu'il soit possible d'établir un bilan.

On est cependant immédiatement frappé par la forte teneur en méthane et en CO<sub>2</sub> des gaz obtenus pendant ces essais.

La forte teneur en méthane s'explique facilement, si l'on admet que l'intensité de la distillation ne dépend guère du débit du courant gazeux. Lors de l'emploi d'oxygène et de vapeur, le débit est plus faible que lors de l'emploi d'air et la condensation probable d'une bonne partie de la vapeur diminue encore le volume gazeux dans lequel se diluent les produits de la distillation.

Les très hautes teneurs en CH<sub>4</sub> (jusque 10 %) du gaz obtenu pendant les interruptions du soufflage viennent confirmer ce point de vue.

Les teneurs en CO<sub>2</sub>, par contre, ne peuvent s'expliquer uniquement par la plus grande concentration du gaz résultant de l'absence ou de la diminution du pourcentage d'azote.

On constate en effet que, ni la quantité d'oxygène introduite par le comburant ou par des rentrées d'air dans le gaz (cette quantité est mesurée par le pourcentage d'azote), ni la formation de gaz à l'eau (dont l'hydrogène devrait se retrouver dans le gaz) ne peuvent justifier quantitativement les hauts pourcentages de CO<sub>2</sub> indiqués par les analyses.

En d'autres mots, dans le bilan matières, l'oxygène apparaît en excès et l'hydrogène en déficit.

Par exemple, dans la moyenne des essais à l'air suroxygéné, nous trouvons (le rapport A = oxygène/azote du comburant étant connu) :

$$56,4 \% \text{ de } N_2, \text{ correspondant à } 56,4 A = 56,4 \frac{54,3}{65,7} = 29,4 \% \text{ de } O_2 \text{ ou de } CO_2$$

$$6,1 \% \text{ de } H_2, \text{ correspondant (en supposant que tout l'hydrogène provient du gaz à l'eau) à } = \frac{3,05}{52,45} \% \text{ de } O_2 \text{ ou de } CO_2$$

et d'autre part :

$$52,5 \% \text{ de } CO_2 = 52,5 \%$$

$$0,9 \% \text{ de } O_2 = 0,9 \%$$

$$2,1 \% \text{ de } CO \text{ correspondant à } \frac{2,1}{2} = \frac{1,05}{54,25} \% \text{ de } O_2$$

Les différences sont bien plus grandes encore pour :

	CO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> + ½ CO	AN <sub>2</sub> + ½ H <sub>2</sub>
L'essai air-oxygène-vapeur	44,15	35,5
La plupart des essais à la vapeur	58,2	19,8
Le gaz recueilli sous tirage naturel	50,95	25,2

Il semble difficile de trouver une explication à ce phénomène : ou bien les analyses citées ne sont pas représentatives de l'ensemble du gaz retiré de

la mine, ou bien un phénomène obscur est en jeu.

On pourrait imaginer que le CO<sub>2</sub> excédentaire provient de la distillation de roches calcaires dans les épontes. Mais celles-ci sont composées uniquement de schistes plus ou moins gréseux. Il faut donc supposer qu'une partie du CO<sub>2</sub> produit pendant les périodes précédentes reste occluse dans le charbon ou stagne dans certains recoins du chantier et se dégage brusquement à la faveur du changement de régime, ou bien qu'une fraction appréciable de l'hydrogène, plus mobile que les autres gaz, diffuse dans les terrains quand ce gaz apparaît en concentration importante dans le gaz.

Cependant, le premier essai à la vapeur, celui du 25 janvier, ayant duré 2 h 15', donne un bilan acceptable. On a, par m<sup>3</sup> de gaz, avec les notations habituelles :

Eléments du bilan par Nm <sup>3</sup> de gaz		Entrées		PCI du gaz 2.557 cal 48,8 %	Chaleur sensible du gaz 220 cal 4,2 %	Chaleur totale extraite 2.777 cal 55 %
		Sorties				
		Combustible c = 0,648 kg	Distillation 1405 cal			
		Comburant a = 0,095 Nm <sup>3</sup>	Gaz à l'air 28 cal			
		H <sub>2</sub> O réduit h = 0,542 Nm <sup>3</sup>	Gaz à l'eau 1.126 cal			
		H <sub>2</sub> O formé -h = Nm <sup>3</sup>				
		Imbrûlés k = 0,544 kg	8.100 × 0,544 = 2.785 cal 55,2 %		Pertes au terrain - 352 cal - 6,2 %	Chaleur restée dans la mine 2.455 cal 47 %
Rendements		$\eta_c = 56,8 \%$	Chaleur potentielle totale 5.342 cal 102 %		Chaleur sensible totale - 112 cal - 2 %	PCI du combustible 0,648 × 8.084 = 5.250 cal 100 %
		$\eta_{th} = 104 \%$				

Les pertes en chaleur sensible sont ici négatives : en effet, la formation du gaz à l'eau est endothermique et la chaleur restituée par le terrain est ici supérieure à la chaleur sensible du gaz, d'où le rendement supérieur à 100 %,

34,2 % d'hydrogène proviennent du gaz à l'eau.

Remarquons toutefois que la période considérée est bien trop courte pour que les chiffres calculés ci-dessous aient une autre valeur que celle d'une indication purement qualitative.

#### b) Evolution du gaz le long du circuit.

La composition du gaz évolue constamment le long du circuit de gazéification. Pendant de nombreuses périodes de soufflage, on a prélevé, en différents points du chantier, des échantillons au moyen des trous de sonde de 2" (50 mm) percés à

partir de l'affleurement de la couche et remplaçant ceux des galeries d'observation qui avaient été bouchées. Les moyennes des compositions relevées sont données ci-dessous, en fonction de la distance à partir de l'entrée.

Elles montrent que l'absorption presque complète de l'oxygène se produit dans le premier tiers du trajet. C'est en ce point à peu près que l'on a relevé la teneur maximum en CO. Contrairement à ce que l'on penserait et à ce que faisaient prévoir les essais de laboratoire, la teneur en CO<sub>2</sub> n'a pas tendance à diminuer au profit du CO pendant la dernière partie du trajet (zone de réduction); mais c'est le contraire qui se produit, probablement à cause de phénomènes de combustion secondaire.

Longueur parcourue		Direction du courant	Composition du gaz		
m	%		CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO
26	24	est-ouest	8,5	10,1	0,4
56	55	»	10,2	0,2	13,6
64	59	»	12,9	0,1	8,9
72	67	»	14,8	0,1	5,6
56	55	ouest-est	4,5	13,6	0,5
44	41	»	10,5	0,5	14,1
72	67	»	13,1	0,1	9,6
82	76	»	12,1	0,4	10,5

Longueur totale du circuit : 108 m.

C'est en un point situé au premier tiers du circuit qu'on releva la meilleure composition de gaz

de tous les essais effectués à l'air :

CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	N <sub>2</sub>	PCS	PCI
6,2	0,2	18,8	12,2	2,0	0,4	60,2	1.207	1.121

c) *Résistance de la taille.*

Les pressions nécessaires pour faire passer différents débits dans le chantier ont été successivement :

	Débit m <sup>3</sup> /h	Pression mm H <sub>2</sub> O	Or. Eq. dm <sup>2</sup>
21 janvier .....	4.000	200	2,8
25 janvier .....	2.000	200	1,4
7 février .....	2.000	1.000	0,65
12 mars .....	5.700	2.000	0,825

Après deux semaines, la résistance s'était stabilisée : il passait environ 2 m<sup>3</sup>/h par mm de H<sub>2</sub>O de différence de pression. Cette augmentation de la résistance de la taille est due au colmatage des galeries par les matériaux fondus ou ramollis du toit et les cendres du charbon, ne laissant à la surface de celui-ci que d'étroits passages pour le gaz.

Des mesures de pression en des points intermédiaires permirent au cours de l'essai de localiser rapidement les commencements d'obstructions.

d) *Pyrométrie.*

Les couples thermo-électriques placés dans le

charbon, au fond des sondages verticaux, marquèrent pour la plupart un palier à 100° C peu de temps après avoir commencé à être influencés. Quand le feu se fut rapproché de chaque sondage, ils accusèrent chacun à leur tour une ascension rapide et cessèrent de donner des indications au-dessus d'une température de 550° à 950°, atteinte en quelques jours.

Le tableau ci-dessous indique, pour chacun des couples placés dans le charbon, le jour (compté depuis l'allumage) où il fut touché par le feu. Les numéros sont ceux des sondages verticaux. (fig. 23).

Nos 1 à 4 Galerie transversale à plus de 1.000° dès l'allumage.			
N° 8 11 1/2 jours	N° 7 25 jours	N° 6 23 jours	N° 5 9 jours
N° 9 18 jours	N° 10 à 100° après 35 jours	N° 11 à 100° après 48 jours	N° 12 18 jours
N° 16 24 jours	N° 15 moins de 100°	N° 14 moins de 100°	N° 13 29 jours

Les gaz étaient refroidis par pulvérisation d'eau à la sortie du chantier pour protéger les conduites et les serremments. Leur température fut maintenue aux environs de 575°, mais, à 6 mètres des serremments, au delà des pulvérisateurs, ils étaient encore à 600° (ce qui permet d'évaluer à 220 cal/m<sup>3</sup> la chaleur entraînée par le gaz). Des mesures faites au pyromètre optique donnèrent 860° pour les matériaux en ignition à l'intérieur du chantier, mais ce chiffre est probablement trop bas à cause de la fumée remplissant les galeries et faussant les indications de l'appareil.

A en juger d'après la faible teneur en CO des gaz, la température du chantier n'aurait pas été très élevée. Ceci est peut-être dû à la faible épaisseur des morts-terrains, aux renversements fréquents et aux injections de vapeur ou aux débits de comburant trop faibles.

L'inspection du chantier après extinction et l'état des terrains et des cendres permettent cependant d'affirmer que la température a atteint et probablement dépassé 1.500° C.

4. — *Refroidissement et examen du chantier.*

Après 50 jours de fonctionnement, le chantier fut arrêté le 12 mars et on y injecta de la vapeur

pendant 5 jours. Les températures relevées pendant cette période au fond des trous de sonde tombèrent de 550° à 400° environ. A partir du 17 mars, on acheva l'extinction en noyant le chantier. Une partie de l'eau ressortit par les fissures à une température de 85°. Le 23 mars, les températures aux trous de sonde étaient de 100° à 500° C; il y avait 0,50 m à 0,60 m d'eau dans les galeries.

Après l'extinction du chantier, on l'examina soigneusement au moyen de petites recoupes creusées à travers le panneau, à partir des affleurements.

On put faire les constatations suivantes (fig. 25) :

a) Les galeries délimitant le panneau étaient à peu près complètement colmatées par les roches du toit qui, sur une épaisseur de 0,50 m à 1 m, s'étaient ramollies, avaient gonflé et plié, venant reposer sur le mur. Les bancs supérieurs étaient fracturés et cuits jusqu'à 5 m de la couche environ.

b) Le charbon du panneau était complètement brûlé sur une profondeur de 2 m à l'extrémité du panneau, se réduisant progressivement à 0 vers les entrées. Toute la place occupée précédemment par le charbon brûlé était comblée par le gonflement et l'affaissement du toit. Un mince lit de scories se



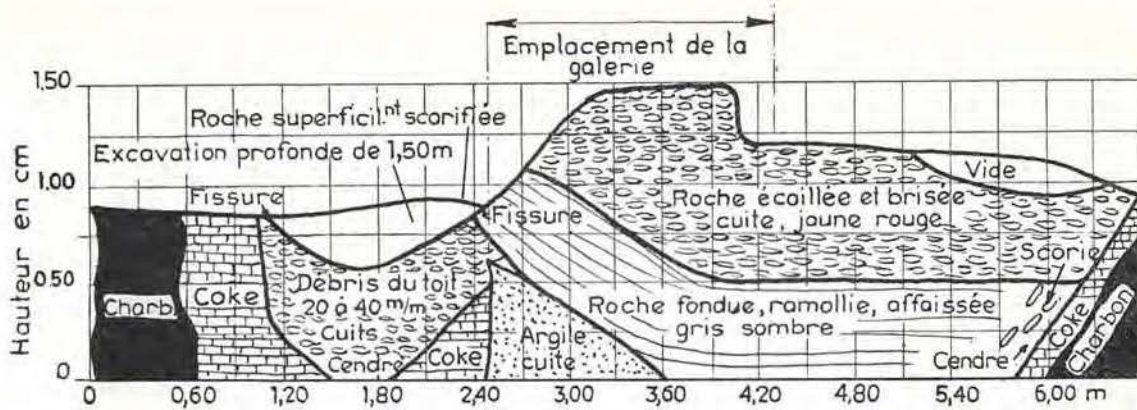


Fig. 25.

trouvait sur le mur, sous les matériaux provenant du toit.

c) Une zone cokéfiée de quelques cm à 1 m 50 d'épaisseur bordait la zone brûlée. La surface de contact entre le coke et les roches fondues ou la scorie n'était pas verticale; partout, la partie supérieure de la couche avait brûlé plus profondément que la partie inférieure, donnant à la surface de séparation la forme, soit d'une banquette de coke de 0,50 m à 1 m de largeur, soit d'un plan incliné à 45°, terminant la masse de coke en coin sous le remplissage. Entre le coke et la roche, se trouvait aussi une mince couche de cendres et de scories.

Cette surface de séparation et le coke sous-jacent présentaient de nombreuses fissures (de l'ordre d'un centimètre) par où le courant d'air passait sans doute, en contact direct avec le coke incandescent.

La masse de coke n'était pas compacte. Le coke de la partie supérieure de la veine se présentait en blocs massifs, tandis que dans la partie inférieure il formait des morceaux allongés placés obliquement par rapport à la verticale.

d) A la zone cokéfiée succédait une zone de charbon partiellement carbonisé, passant graduellement au charbon intact, comme l'indiquent les analyses d'échantillons prélevés à des distances croissantes du front de feu :

Distances, m		0,15 m	0,90 m	1,70 m	2,45 m	4,50 m
Analyse immédiate	cendres (sur sec)	31,6	21,0	17,4	13,7	16,4
	MV	3,5	3,9	21,5	39,0	39,5
	Charbon net (sec et sans cendres)	96,5	96,1	78,5	61,0	60,5
Analyse élémentaire	carbone fixe	96,4	95,0	85,7	85,9	83,6
	C	0,4	0,6	4,2	5,7	5,8
	H	0,7	1,2	6,8	7,1	7,5
	N	0,9	1,7	2,0	1,7	1,8
	S	1,6	1,5	1,3	1,6	1,3
Pouvoir calorifique sup. (charbon net)		7.580	7.850	8.170	8.540	8.525
Poids spécifique (réel)		2.060	1.990	1.517	1.594	1.419

Du côté opposé au panneau proprement dit, on a retrouvé, complètement cuit, le revêtement d'argile destiné à protéger les parois des galeries. Son action n'a pas été efficace : derrière ce revêtement, une quantité importante de charbon a brûlé. Une zone de coke, atteignant par endroits 2 m d'épaisseur, s'est formée.

Dans les zones moins chaudes du chantier (jusqu'à 25 m des entrées), le toit n'a pas flué, mais a cuit et s'est délité, remplissant partiellement les galeries de débris.

On a effectué des déterminations de densité apparente (par immersion dans une poudre finement divisée) sur des échantillons de toit plus ou moins affectés par la chaleur.

	Densité apparente	Rapport
Schiste du toit, inaltéré .....	2,54	1,00
Cuit complètement, mais sans gonflement visible .....	2,07	0,82
Montrant du gonflement et un commencement de fusion .....	1,55	0,54
Id. avec flexion et déformation des lits de stratification .....	1,49	0,50
Fondu complètement, scorifié et gonflé .....	1,58	0,62

Ces chiffres montrent bien comment les matériaux du toit ont pu combler les galeries, l'espace occupé par le charbon brûlé et les vides créés par le foudroyage.

D'après le relevé des zones brûlées et cokéfiées, on évalue à 221 tonnes la quantité de charbon complètement brûlé (à laquelle il faut ajouter les 15 t entassées dans la « galerie de feu » pour l'allumage) et à 164 tonnes la quantité de charbon cokéfié, soit un total de 400 t de charbon affecté par la combustion.

Il est intéressant de constater qu'on n'a pas trouvé d'ilots de charbon ou de coke imbrûlés en arrière du front de feu.

#### 5. — Conclusions.

Cet essai a mis en évidence :

- 1) Le resserrement progressif du passage des gaz, avec l'établissement d'un régime.
- 2) Le colmatage par la fusion du toit de la zone brûlée.
- 3) L'attaque dissymétrique de la veine en plateau (la partie supérieure brûle la première).
- 4) La possibilité d'une combustion complète de la veine, même en plateau (pour pouvoir tirer des conclusions définitives sur ce point, il faudrait avoir poursuivi l'essai jusqu'à l'épuisement complet du panneau) et la formation d'une zone cokéfiée le long du front de feu.
- 5) L'importance de l'étanchéité du chantier de gazéification, et, par conséquent, la nécessité de travailler à une certaine profondeur, suffisamment loin des affleurements et des autres travaux d'exploitation.
- 6) L'importance, pour l'obtention d'un bon gaz, de débits importants et de températures élevées dans la zone de réaction.
- 7) La détérioration possible du gaz dans la partie aval de son parcours.
- 8) La possibilité de réaliser des inversions avec l'emploi d'un tampon de vapeur.
- 9) La formation d'un gaz relativement riche lorsqu'on interrompt le soufflage, avec ou sans injection de vapeur.

L'emploi d'oxygène n'a pas pu être prolongé suffisamment pour pouvoir en étudier tous les effets.

#### B. — Deuxième essai.

Un second essai sur la couche Pratt a été organisé en tenant compte des enseignements du précédent.

Ce nouveau chantier a, lui aussi, été tracé dans une portion de la veine isolée presque complètement du reste du gisement par l'érosion et couvrant 40 ha. Elle est donc plus étendue que celle qui a servi au premier essai : le chantier est éloigné au moins de 150 m des affleurements dans toutes les directions et les morts-terrains ont 50 m d'épaisseur à peu près.

La couche Pratt a ici une puissance de 1 m 05 à 1 m 17 et un pendage de 4 % (2°20') vers le S-E.

La forme du chantier a été simplifiée à l'extrême : il consiste en une galerie de 470 mètres de longueur, creusée suivant la pente de la couche à

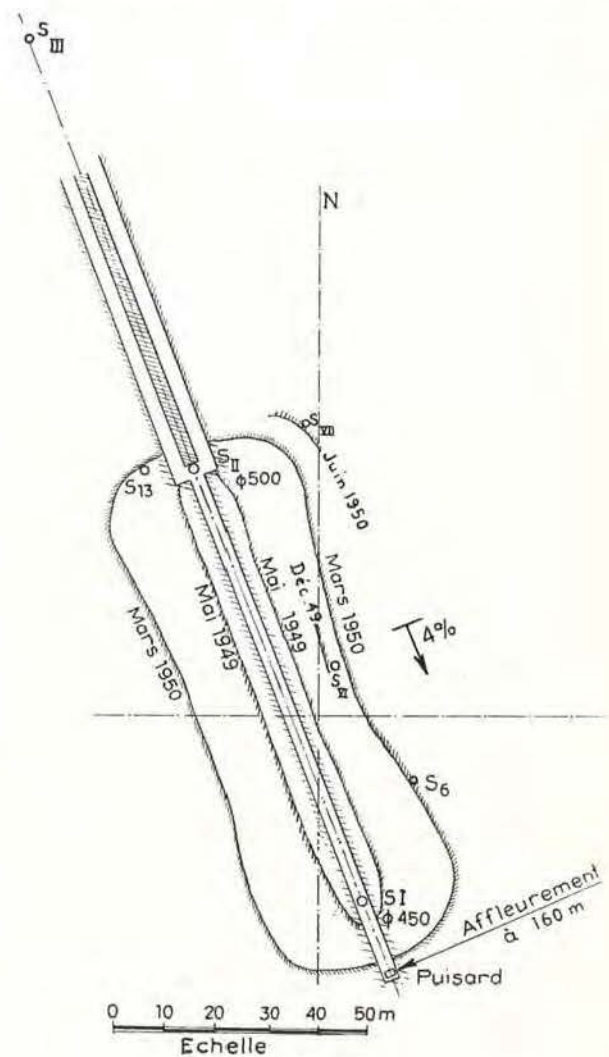


Fig. 26.

partir de l'affleurement et fermée par un serrement à 45 m de l'entrée. Ce serrement, encastré solidement, pénètre de 0.60 m dans le mur de la couche, 1 m 80 dans le toit et 7 m 50 dans le charbon.

La galerie a une section de 5 m × 1 m 05 (hauteur de la couche). En réalité, pour assurer l'aérage pendant le creusement, les 580 premiers mètres comportent deux galeries parallèles identiques, séparées par 3 m de charbon et reliées par des traverses tous les 90 mètres. Seule, la dernière partie est à section simple (90 m) (fig. 26).

Cinq trous de sonde forés à partir de la surface relient, tous les 90 m, au droit des traverses, la galerie au jour. Les morts-terrains ont été solidifiés au préalable par injection de ciment, à l'emplacement de chaque trou.

Deux d'entre eux (N<sup>os</sup> I et V) ont été exécutés sans tubage, au diamètre de 45 cm et équipés d'une tête de captage, scellée au ciment.

Les autres (N<sup>os</sup> II, III, IV) furent forés au diamètre de 70 cm et munis d'un tubage d'acier de 50 cm de diamètre, scellé au terrain au moyen de ciment réfractaire.

La partie supérieure des sondages a été équipée d'un système de refroidissement par chemise d'eau et pulvérisateurs. L'extrémité inférieure du tubage repose au fond sur des maçonneries.

Ces cinq sondages principaux peuvent servir à volonté d'entrée ou de sortie des gaz, permettant d'inverser le sens du courant ou de modifier la longueur du chantier.

Au delà du dernier sondage (N<sup>o</sup> I), la galerie se prolonge encore sur 15 m jusqu'à un puisard destiné à récolter les eaux d'infiltrations, assez abondantes, reprises et envoyées à la surface par une pompe centrifuge.

D'autres trous de sonde, de 15 cm de diamètre, ont été creusés à des distances variables de la galerie pour pouvoir suivre l'avancement du feu au moyen de thermocouples.

Les moyens de soufflage consistent essentiellement en un compresseur à piston (double effet), actionné par un moteur synchrone de 800 CV et débitant 12.000 m<sup>3</sup>/h d'air sous 2 kg/cm<sup>2</sup>. Ce compresseur est relié aux sondages par une conduite de 500 mm de diamètre.

On dispose en outre de compresseurs auxiliaires et d'une chaudière de 125 CV.

#### 1. — Opérations (Voir tableau III).

L'allumage a eu lieu le 18 mars 1949 au moyen d'une bombe de thermité lancée par le trou n<sup>o</sup> I (celui de l'extrémité de la galerie) sur un bûcher de 15 tonnes de charbon et de bois imbibés de mazout. Les parois de la galerie avaient été sous-cavées au préalable sur 0,40 m de profondeur.

Depuis cette date jusqu'au mois de septembre 1950, on peut distinguer quatre périodes de fonctionnement.

##### a) Période du 18 mars au 22 juin 1949.

Pendant les dix premiers jours suivant l'allumage, le courant d'air passait du sondage I au sondage II avec un débit porté progressivement de 2.500 à 10.000 m<sup>3</sup>/h. Il fut impossible, dans ces conditions,

de réaliser une combustion complète. Le pourcentage de CO<sub>2</sub>, qui atteignait 15,6 % après le quatrième jour, retomba pendant les jours suivants jusqu'à 4 % (onzième jour), les composants combustibles restant à l'état de traces.

De plus, le feu avait été chassé vers le pied du sondage II dont la température s'élevait continuellement.

Le 28 mars, on décida d'inverser le courant d'air et cette manœuvre fut répétée dans la suite à des intervalles décroissant progressivement de 100 h à 7 heures.

Fin mai, la température du chantier dépassait 1.250° C et les gaz sortaient à 370° (la température de sortie était d'autant plus élevée que le rythme des inversions était plus lent et on pouvait la régler en modifiant la cadence). On brûlait à ce moment 10 tonnes de charbon par jour et la galerie s'était élargie de 2,5 m de chaque côté.

La perte de charge du chantier pour un débit de 12.000 m<sup>3</sup>/h atteignait 5.000 mm d'eau (pour une valeur initiale de 50 mm), cette perte de charge se répartissant régulièrement sur toute la longueur du chantier. L'oxygène toujours présent dans les gaz sortants montrait cependant que la combustion était incomplète : le courant d'air, suivant le plus court chemin entre les trous de sonde, restait probablement dans l'axe de la galerie sans en lécher les parois et le foudroyage naturel, au lieu de forcer le gaz à entrer en contact avec le combustible, semblait au contraire lui fournir des passages parasites à travers les fissures du toit.

##### b) Période du 22 juin au 22 décembre 1949.

On décida alors de réaliser un remblayage artificiel au moyen de sable « fluidisé » dans un courant d'air et injecté dans le chantier par des trous de sonde supplémentaires forés dans l'axe de la galerie.

Cette mesure, appliquée à partir du 22 juin 1949, eut un effet très marqué sur la piézométrie du chantier. De juin à septembre, 156 tonnes de sable fluidisé furent injectées de la sorte, tandis que la consommation mensuelle passait de 312 tonnes de charbon net en mai à 585 tonnes en octobre.

1949 Mois	Perte de charge en mm H <sub>2</sub> O Débit de 12.000 m <sup>3</sup> /h	Charbon brûlé en tonnes/jour (charbon net)
mai .....	2.900	10,1
juin .....	3.500	11,2
juillet .....	4.850	14,6
août .....	5.750	14,5
septembre ...	6.600	16,2
octobre .....	9.200	18,8
décembre ...	11.500	22,7

A partir du mois d'octobre, on augmenta progressivement les intervalles entre inversions. Du 1<sup>er</sup> au 22 décembre, on a travaillé avec des cycles de 100 à 140 heures.

Ces longues périodes de soufflage provoquaient une concentration de la zone de réaction au pied du sondage de sortie, entraînant une consumma-

tion accrue de charbon en ce point et une élévation de température du gaz sortant. Celui-ci parvenait à 900°-1.500° à l'orifice des sondages et y prenait feu malgré son faible pouvoir calorifique (inférieur à 560 cal/m<sup>3</sup>), grâce à la chaleur sensible entraînée.

Voici les phénomènes observés au cours d'un cycle de 60 heures, assez représentatif du fonctionnement normal.

	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	N <sub>2</sub>	PCS	PCI
Brut .....	8,8	10,0	2,0	2,6	0,8	0,5	75,5	275	245
Calculé sans air ...	16,8	0	5,8	5,0	1,5	0,6	72,5	520	468

Ce gaz brut apparaît donc comme un mélange à 52,6 % de gaz à 520 cal/m<sup>3</sup> et 47,4 % d'air. Il contenait de plus 100 g environ de H<sub>2</sub>O par m<sup>3</sup> normal de gaz sec.

Quand, après 42 heures de fonctionnement, la température du gaz sortant atteignit 450° C, les composants combustibles se mirent à brûler dans l'air du mélange et on n'obtint plus qu'un gaz de fumée contenant de 16 à 18 % de CO<sub>2</sub>, de 1 à

A partir du début de la période de soufflage (11.000 m<sup>3</sup>/h), le pourcentage de O<sub>2</sub> du gaz sortant diminue progressivement, tandis que celui de CO<sub>2</sub> augmente, ainsi que la température du gaz.

Pendant les 42 premières heures du cycle, le gaz sort à une température moyenne de 250° C avec une composition moyenne :

2,6 % de O<sub>2</sub> et de l'azote, avec 240 g de H<sub>2</sub>O par Nm<sup>3</sup> sec. La température de sortie s'établit vers 900-1.100°.

Ceci prouve bien que du gaz est élaboré dans le fond et rebrûlé par le by-passage d'air dans le circuit. On a d'ailleurs pu prélever, par des trous de sonde situés dans le voisinage immédiat du front de feu, des échantillons ayant la composition suivante :

	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	N <sub>2</sub>	PCS	PCI
Trou n° 6 .....	10,4	0,7	10,0	10,9	2,5	0,5	65,4	912	850
Trou n° 13 .....	8,5	0	15,5	11,4	2,0	0,2	62,4	1.052	966

#### c) Période du 22 décembre 1949 au 5 juin 1950.

Pendant le mois de décembre, on creusa un nouveau sondage de 250 mm entre le n° I et le n° II, à 12 m à l'est de l'axe de la galerie primitive. Ce sondage, le n° VI, fut utilisé en combinaison avec le n° III pendant quatre cycles de 8 heures. On espérait ainsi obtenir un meilleur contact entre comburant et charbon.

Le soufflage de 12.000 m<sup>3</sup>/h, pendant la première et la troisième période, de VI vers III, donc d'une zone chaude vers une zone froide, donna une combustion complète, mais guère de composants combustibles. Le soufflage de III vers VI, pendant la seconde période, donna un gaz à 850 cal/m<sup>3</sup> sans oxygène résiduel. Pendant le quatrième cycle malheureusement, le by-passage se produisit de nouveau; le gaz produit brûlait au fond du trou, de sorte que la roche se scorfia sous l'influence des hautes températures et que les 50 mètres inférieurs du trou se colmatèrent complètement.

On en revint alors, pendant six mois, au circuit I-II, avec alternances de 8 heures maintenues très régulièrement, de façon à concentrer la zone de réaction à mi-distance entre les deux sondages. Cet objectif fut approximativement atteint, comme on put le constater par des sondages de reconnaissance.

#### d) Juin-juillet 1950.

Un nouveau sondage, le n° VII, fut alors creusé à 25 m à l'est du n° II, à peu de distance du front de feu. Il fut atteint par celui-ci au début de juin et mis en service le 5, en combinaison avec le n° III. On attaqua ainsi un secteur de charbon

frais. Afin d'assurer un meilleur contact entre comburant et combustible, on remblaya, par injection de sable fluidisé, la portion de galerie reliant les sondages II et III.

Le gaz produit en juin avait un PCS moyen de 415 cal/m<sup>3</sup> et contenait peu ou pas de O<sub>2</sub>. Malheureusement, dès la fin de juin et pendant le mois de juillet, l'oxygène résiduel réapparut en quantité croissante dans les analyses, tandis que le pouvoir calorifique retombait aux environs de 250 cal/m<sup>3</sup>.

Le tableau III donne un résumé des opérations pendant ces quatre périodes (voir page suivante).

#### 2. — Résultats provisoires.

a) La grande difficulté rencontrée dans cet essai a été d'assurer un contact comburant-combustible suffisant et d'empêcher les by-passages d'oxygène. La forme adoptée pour le chantier semble donc défavorable, et l'on a essayé d'y remédier au moyen de trous de sonde forés en dehors de l'axe de la galerie. Les résultats obtenus ont été favorables pendant les premières heures de fonctionnement, mais les difficultés n'ont pas tardé à réparaître. Le remblayage au sable a exercé des effets certains, mais incomplets.

b) Le foudroyage naturel n'a pas joué le rôle qu'on en attendait. Les sondages pour l'injection de sable ont montré que les roches du toit de la galerie, non directement exposées au feu, s'étaient éboulées sans fondre, laissant entre les éboulis de nombreuses fissures court-circuitant le front de feu. La roche située immédiatement au-dessus du

TABLEAU III

Période	Durée totale jours	Sondages utilisés N°	Débit		Charbon brûlé			Total cumulé tonnes
			m <sup>3</sup> /h	Durée du cycle heures	l/jour	mm/jour	kg/m <sup>2</sup> -h	
du 18-5-49 au 30-6-49	104	I-II	de 2.500 à 12.000	de 240 à 7	de 6,7 à 11,2	de 29 à 41	de 1,63 à 2,3	970
du 1-7-49 au 22-12-49	172	I-II	12.000	de 7 à 140	de 14,6 à 22,7	de 52 à 82	de 2,93 à 4,62	5.793
décembre '49	52 heures	III-VI	12.000	8				
du 22-12-49 au 5-6-50	165	I-II	12.000	8	de 15,7 à 10,9	de 57 à 40	de 3,2 à 2,25	5.895
du 5-6-50 au 31-7-50	56	III-VII	12.000		de 30,1 à 18,8			7.243

combustible consommé, par contre, a été suffisamment chauffée pour fluer et colmater l'espace libéré par la combustion du charbon.

c) Le courant d'air chasse la zone de feu vers l'aval. Cette zone vient donc se concentrer au pied du sondage de sortie, où la température monte progressivement. Le gaz recueilli est donc d'autant plus chaud que les périodes de fonctionnement dans un sens ou dans l'autre sont plus longues. L'air by-passé n'est sans doute pas étranger à ce rapide déplacement du feu. En venant brûler les gaz formés le long des parois, il propage la combustion vers l'aval.

Il arrive souvent que cette combustion se produise juste au pied ou dans le sondage de sortie lui-même. On obtient alors des températures très élevées, de l'ordre de 1.100° C. Le fait qu'il est plus facile de produire des gaz très chauds que des gaz à pouvoir calorifique satisfaisant a donné naissance à l'idée d'employer ces gaz à la chauffe d'une chaudière ou bien, en mettant le chantier sous pression, à l'alimentation d'une turbine à gaz.

d) Malgré les précautions prises pour assurer

l'étanchéité du chantier, on a constaté des fuites aux affleurements de la couche, à 150 m du chantier en feu, et au serrement d'entrée, à plus de 500 m. Des sondages d'observation, creusés à des distances variables du chantier, ont permis de se faire une idée de la perméabilité aux gaz de la couche en place.

e) Les quantités de charbon net gazéifié ont varié de 1,6 à 4,6 kg/m<sup>2</sup>-h, correspondant à un avancement du feu, sur chaque paroi de la galerie, de 50 à 80 mm par 24 heures. Ces chiffres sont faibles, comparés à ceux que citent les Russes pour les essais de Gorlovka (9 kg/m<sup>2</sup>-h pour la moyenne du mois de mars 1958 au panneau 6).

Pendant les dix-huit premiers mois de fonctionnement, on a brûlé à peu près 7.000 tonnes de charbon. Rien n'indique d'ailleurs que ce chiffre constitue un maximum et que la zone d'action du système constitué par deux sondages ne puisse s'étendre plus loin encore.

f) Les bilans thermiques montrent que le pouvoir calorifique du gaz (quelques centaines de calories) représente 25 à 35 % de celui du combustible

Eléments du bilan par Nm <sup>3</sup> de gaz	Entrées		Sorties		Rendements	
	Combustible c = 0,1035 kg	Comburant a = 0,94 Nm <sup>3</sup>	H <sub>2</sub> O réduit h = Nm <sup>3</sup>	H <sub>2</sub> O formé -h = 0,016 Nm <sup>3</sup>		Imbrûlés k = 0,022 kg
Distillation 227 cal		Gaz à l'air 57 cal		PCI du gaz 245 cal 29,3 %	Chaleur sensible du gaz 141 cal 16,8 %	Chaleur totale extraite 586 cal 46,1 %
Gaz à l'eau cal		Combustion -59 cal				
8.100 × 0,022 = 177 cal 21,1 %				Pertes au terrain 274 cal 32,8 %	Chaleur restée dans la mine 451 cal 55,9 %	
Chaleur potentielle totale 422 cal 50,4 %				Chaleur sensible totale 415 cal 49,6 %	PCI du combustible 0,1035 × 8,084 = 857 cal 100 %	

consommé et sa chaleur sensible (y compris celle de la vapeur d'eau entraînée), 20 % à peu près dans le cas de cycles rapides et 30 à 45 % dans le cas de cycles prolongés. Les pertes au massif représentent de 30 à 60 %.

En appliquant le mode de calcul ordinaire au gaz recueilli lors du cycle de 60 heures décrit ci-dessus (2<sup>me</sup> période), on obtient le tableau de la page précédente.

Au débit d'air de 11.000 m<sup>3</sup>/h correspond donc

un débit de gaz de 11.700 m<sup>3</sup>/h et une consommation de charbon de 1.210 kg/h dont 75 % ou 900 kg/h sont réellement gazéifiés, soit 22 t/jour. Avec une longueur de parois de 190 m et une puissance nette de la couche de 1 m 08, ceci revient à la gazéification de 4.4 kg/h par m<sup>2</sup> de surface équivalente ou à un avancement de 78 mm par jour.

(à suivre.)

---