

# La gazéification souterraine dans les divers pays

## RAPPORT D'INICHAR

(Suite) (1)

### SAMENVATTING

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

De moeilijkheid om brandbaar gas uit de ondergrondse gasgenerator voort te brengen, niettegenstaande het feit dat de verbranding nochtans gemakkelijk onderhouden kon worden, en dat zeer hoge temperaturen bereikt werden, gaf aanleiding tot de gedachte de voelbare warmte van de gassen in gasturbines te benutten.

Hiermee wordt afgezien van een gunstig verwarmingsvermogen, maar het heel stelsel moet onder druk werken.

Het is in Gorgas gelukt twee gasturbines gedurende 100 uren te doen draaien. Er werd met een overdruk van  $1,25 \text{ kg/cm}^2$  gewerkt, en de door de turbines aangedreven compressoren waren in staat het luchtdebiet te verwerken dat met het geproduceerde gasvolume overeenstemde. Wegens de grote lekverliezen van het stelsel (80 %) vertegenwoordigde dit nog maar  $1/5$  van het totaal ingeblazen luchtdebiet.

Er kan dus aangenomen worden dat de werking van gasturbines, door een ondergrondse verbranding gevoed, met een batige energiebalans sluiten kan indien men in staat is de lekken doelmatig te beperken.

#### IV. — Experimenten te Newman Spinney (Gr. Britannië)

De eerste Britse experimenten gebeurden in 1950, volgens de boorgaten methode.

In de vroeger met dagbouw ontsloten Fox Earth laag werd een 120 m lange horizontale boorgat geboord. Dit gat werd door twee verticale boringen, op 15 m afstand van elkaar, met de oppervlakte verbonden.

In het aldus gevormd U-vormig stelsel kon in beide richtingen geblazen worden.

Gedurende twee maanden werden gemiddeld  $310 \text{ m}^3/\text{h}$  gas aan  $700-750 \text{ cal/m}^3$  voortgebracht, doch later ontaardde de reactie, nadat 100 ton kolen (hetzij een oppervlakte van  $15 \times 6 \text{ m}^2$ ) vergast waren geweest. Hier bleek weer dat de horizontale boorgaten methode een goed contact tussen brandmiddel en brandstof mogelijk maakt en de regeling van het proces vereenvoudigt.

Andere experimenten werden uitgevoerd volgens de percolatie (doorzijpelings-) methode. Hiervoor werd gebruik gemaakt van hoge luchtdrukken (tot  $56 \text{ kg/cm}^2$ ). Vastgesteld werd dat, wanneer de druk een zekere grens overschrijdt, die dicht bij de gewichtsdruk ligt van de bovenliggende lagen, de doorlaatbaarheid van het stelsel scherp toeneemt.

Na drie weken werk kon een kanaal doorgebrand worden tussen twee 10 m ver van elkaar staande boringen.

Hier werden aanvankelijk  $125 \text{ m}^3/\text{h}$  gas aan  $800 \text{ cal/m}^3$  voortgebracht, met een drukverlies van  $0,35 \text{ kg/cm}^2$ , doch ook in dit geval verslechterde het gas na een korte tijdsverloop.

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

#### B. — Deuxième essai (suite).

##### 3. — Derniers essais.

##### a) Juin-septembre 1950.

Le système formé par les trous n<sup>os</sup> III et VII resta en fonctionnement pendant quatre mois. Le

cycle d'inversion, d'abord fort court (1 heure) à cause de l'échauffement du sondage de sortie, put être progressivement porté à 8 heures, avec un débit de  $12.000 \text{ m}^3/\text{h}$ . Le gaz sortant du trou n<sup>o</sup> VII (soufflage de III vers VII) était nettement meilleur que celui du trou n<sup>o</sup> III (soufflage de VII

(1) Voir *Annales des Mines de Belgique*, janvier et mars 1951. Les résultats décrits dans cette livraison ont été repris dans les rapports publiés par MM. J.L. ELDER et E.T. WILKINS (Gorgas) et C.A. MASTERMAN (Newman Spinney) dans le « Journal of the Institute of Fuel » (Londres) (Janvier-mars-mai 1951).

vers III), plus éloigné sans doute de la zone de réaction. La moyenne des résultats de la première

semaine de fonctionnement donne :

Sens du courant	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
VII vers III	16,4	1,0	2,6	2,6	1,2	0,2	76,0	310	282
III vers VII	13,6	0,8	11,2	13,7	1,5	0,2	59,0	937	852

Après cette première semaine, le gaz se détériora progressivement jusqu'à atteindre une composition sensiblement constante :

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
10,0	7,4	1,2	1,9	0,7	0,1	78,6	180	162

correspondant à la consommation de 30 tonnes de charbon par jour à peu près. Cette composition ne varia pratiquement pas, même quand on réduisit successivement le débit à 6.800 m<sup>3</sup>/h, puis à 1.700 m<sup>3</sup>/h. Cependant, au moment de cette dernière réduction du débit apparurent passagèrement de faibles quantités de gaz de distillation.

b) Alimentation de turbines à gaz.

Le fait qu'il s'avérait beaucoup plus difficile de produire du gaz combustible que d'entretenir une combustion souterraine, et qu'une grande partie des calories extraites de la mine se trouvaient à l'état de chaleur sensible, suggéra la recherche de l'utili-

sation directe de la chaleur sensible dégagée par la combustion souterraine du charbon.

Deux turbines à gaz furent installées sous un abri provisoire. Elles actionnaient des compresseurs de moteurs d'aviation.

Le gaz, prélevé à la tête du trou III, était dépoussiéré dans cinq cyclones et envoyé aux deux turbines travaillant en parallèle. L'énergie ainsi développée était utilisée dans les deux compresseurs, montés en série et raccordés au tuyau d'amenée de l'air aux sondages, de façon à fournir un appoint aux 12.000 m<sup>3</sup>/h du grand compresseur à piston (Fig. 27).

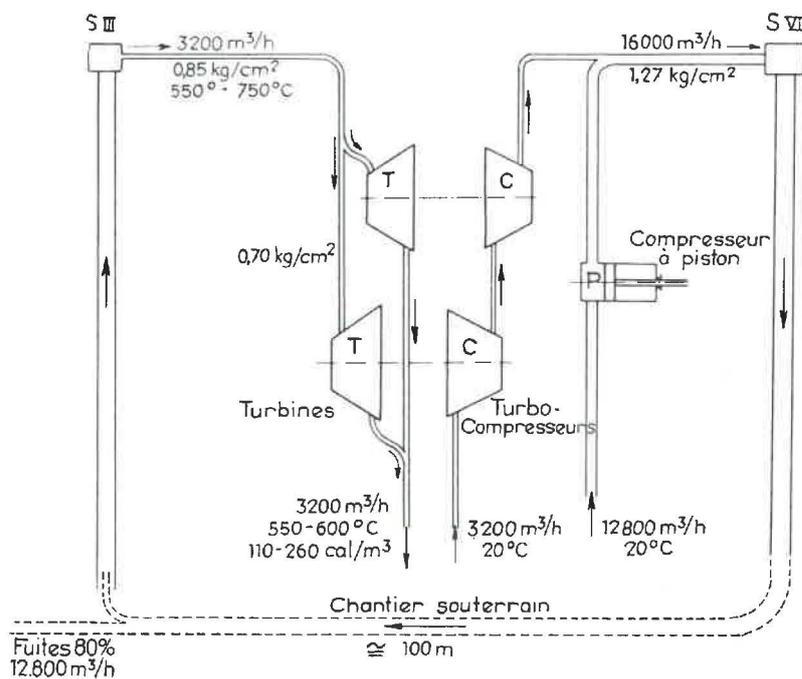


Fig. 27.

Le courant gazeux circulant du sondage VII vers le sondage III, on laissait d'abord s'échauffer le chantier pendant une dizaine d'heures de façon à obtenir une température de 550° à 750° C à la sortie. Il était alors possible de mettre les turbines en marche. Après l'établissement du régime, la pression à l'entrée du chantier atteignait 1,25 kg/cm<sup>2</sup>, celle de la sortie, 0,85 kg/cm<sup>2</sup> et la pression à l'entrée des turbines, 0,70 kg/cm<sup>2</sup>.

Les compresseurs actionnés par les turbines donnaient un débit de 3.200 m<sup>3</sup>/h, ce qui portait à 16.000 m<sup>3</sup>/h le débit d'air total pénétrant dans le chantier.

Sous de telles pressions, les fuites du chantier devenaient énormes, atteignant 80 % du débit total. Le volume de gaz sortant du sondage III et traversant les turbines était à peu près égal au débit fourni par les turbo-compresseurs; le gros compresseur à piston compensait approximativement les pertes. Le système aurait pu se suffire à lui-même si le chantier avait été étanche.

Le gaz, après avoir traversé les turbines, s'échappait à l'air libre, à une température de 550°-600°, et brûlait aussitôt malgré son faible pouvoir calorifique (100-250 cal/m<sup>3</sup>).

Il est évident que la récupération de la chaleur sensible et latente des gaz d'échappement dans une installation plus perfectionnée, ainsi que l'amélioration des rendements des turbines et des compresseurs, aurait assuré un bilan énergétique positif, pourvu que les fuites fussent réduites.

Ces essais durèrent une centaine d'heures au total; ils furent interrompus par un bouchage du trou n° III. Le matériel se comporta bien, les aubes des turbines ne furent pas endommagées. Il n'y eut guère de dépôt de goudron, du moins pour des températures de fonctionnement suffisamment élevées.

#### c) Essais sur un chantier de 180 m.

Le trou n° III, obstrué par la chute de morceaux de tubage, fut rapidement débouché et remis en service en combinaison avec le trou n° V, éloigné de 180 m. L'augmentation de la longueur du chan-

tier permit aussi d'allonger les cycles de fonctionnement, qui purent être portés à 20 heures sans que l'augmentation de température du sondage de sortie (425°) ne contraigne à inverser le sens du courant.

On parvint même, en injectant de l'eau à la base du sondage de sortie, à augmenter indéfiniment (jusqu'à 12 1/2 jours au moins) la durée des cycles. La température du gaz atteignait, dans ces conditions, 1.040° C avant son refroidissement par le jet d'eau. La chute de pression, dans le chantier, s'établissait à 0,85 kg/cm<sup>2</sup>. Le gaz contenait 11 % de CO<sub>2</sub> et 7 % de O<sub>2</sub>, mais fort peu de composants combustibles (fin 1950).

#### 4. — Observations diverses.

##### a) Fuites de gaz.

Avant l'allumage, les fuites pouvaient être évaluées à 1.000 m<sup>3</sup>/h environ sous une pression moyenne de 0,2 kg/cm<sup>2</sup>. Elles n'ont cessé d'augmenter pendant tout l'essai et, après 21 mois (décembre 1950), représentaient à peu près 40 à 50 % du débit normal, dans les conditions ordinaires de travail.

Malgré des recherches actives, on ne put localiser ces fuites. Il faut donc admettre qu'elles se produisaient sur toute la surface du chantier, à travers une multitude de fissures microscopiques. Des dégagements de gaz ont été constatés à plus de 150 m de la zone de réaction, mais leur importance ne peut expliquer l'énorme déficit mesuré entre les débits de l'air entrant et du gaz sortant.

Le débit de fuite était de l'ordre de 0,5 m<sup>3</sup>/h par m<sup>2</sup> de surface brûlée, sous une pression moyenne de l'ordre de 0,5 kg/cm<sup>2</sup>.

##### b) Chaleur perdue au massif.

On a relevé, grâce aux trous de sonde d'observation creusés autour du chantier, la température des terrains de couverture. Les mesures effectuées dans le trou n° VI, situé à une dizaine de mètres de l'axe initial de la galerie de feu, ont donné les chiffres suivants :

Dist <sup>o</sup> de la couche (m)	5	11	19	24	49
Températures (°C) ...	540°	232°	102°	35°	Surface

Les températures relevées dans des trous plus éloignés du chantier étaient moins élevées. On constata l'existence d'un palier de température aux environs de 100° C.

Si ces chiffres sont représentatifs, l'échauffement du terrain encaissant suffirait à expliquer les pertes de chaleur accusées par les bilans chimiques.

##### c) Filtration des gaz à travers la couche.

Quoique l'essai actuel n'ait pas pour but l'étude de la percolation, quelques données intéressantes ont été recueillies à ce sujet.

Les trous d'observation, creusés en dehors de la zone de réaction, à quelques mètres de celle-ci, ont dégagé de l'huile de goudron, ainsi que de petites quantités de gaz riche, suivies bientôt de quantités plus importantes de gaz pauvre. Dix trous, situés

à des distances allant jusqu'à 12 mètres, ont dégagé du gaz à raison d'une centaine de m<sup>3</sup> par heure pour l'ensemble, avec des pouvoirs calorifiques variant de 330 à 3.700 cal/m<sup>3</sup>. Il a d'autre part été constaté que le ciment injecté autour des sondages pour rendre le terrain étanche se répandait parfois à de grandes distances.

#### 5. — Conclusions.

Les essais exécutés au second chantier de Gorgas n'ont pas abouti à la production continue de gaz combustible, ni à l'établissement d'un régime stable de gazéification.

Ils ont cependant apporté des renseignements précieux sur les quantités de chaleur perdues au

terrain et sur la zone d'action d'un chenal de feu initialement droit.

Ils ont mis en évidence la possibilité d'utiliser directement dans des turbines à gaz la chaleur sensible produite dans le sol, sans passer par l'intermédiaire du gaz combustible.

Enfin, les difficultés rencontrées dans la méthode par courant pour assurer l'étanchéité du circuit et le contact entre combustible et comburant semblent par contre des arguments en faveur de la méthode de percolation pour les couches horizontales.

#### IV. — ESSAIS DE NEWMAN SPINNEY (Chesterfield, Grande-Bretagne.)

Les premiers essais de gazéification souterraine entrepris en Grande-Bretagne ont le caractère d'essais d'orientation. Quoique l'objectif final soit la mise au point d'une méthode de percolation, on s'est attaché tout d'abord à démontrer le plus rapidement possible la possibilité de produire un gaz intéressant par gazéification souterraine. On eut recours, dans ce but, à la méthode de gazéification « par trous » en utilisant un trou de sonde horizontal creusé dans la couche. Quoique cette méthode exige des travaux préparatoires délicats, elle permet le meilleur contrôle du feu et le réglage le plus précis des réactions, et convenait donc particulièrement à la réalisation du premier objectif fixé.

Le site de Newman Spinney (Killamarsh, North Derbyshire) fut choisi pour les premiers essais. Trois couches de charbon y sont disponibles à des profondeurs respectives de 23 m, 38 m et 55 m.

Les deux couches inférieures (couches Sough), de 90 cm d'épaisseur chacune, ont été exploitées par découverte. La couche supérieure « Fox Earth », utilisée pour les essais de gazéification, n'est pas exploitable par les méthodes ordinaires. Elle est composée de trois sillons et de filets charbonneux séparés par des bancs de schiste (Fig. 28). L'ensemble occupe 3 m de hauteur verticale: les bancs de charbon, totalisant 1,37 m de charbon sale à 50 % de cendres en moyenne, équivalent à 90 cm de charbon propre (1,2 tonnes de charbon net par m<sup>2</sup>).

Le sillon inférieur, le plus épais (50 cm), contient 50 % de cendres et 10 % de soufre (3.350 cal/kg).

Seul le sillon supérieur (40 cm) est assez propre (6.700 cal/kg).

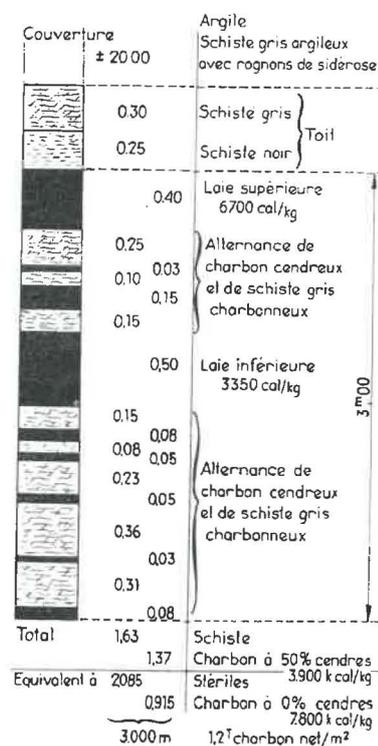


Fig. 28.

Ce charbon a une teneur en matières volatiles de 35 à 45 % (sur charbon sec et sans cendres) et un pouvoir cokéfiant moyen.

Composition approximative du charbon de la couche Fox Earth :

Cendres	Soufre	MV	CF	C	H	O	N	PCS
sur sec		sur charbon net (sec, sans cendres, sans soufre)						
50	10	40	60	80,0	5,5	13,5	1,0	7.800

#### A. — Essais par la méthode du trou de sonde horizontal.

##### 1. — Disposition du chantier.

La couche Fox Earth affleure à la paroi de la découverte ayant servi à exploiter les couches inférieures. Elle plonge sous la couverture avec une pente de 8°.

Un trou de sonde de 100 mm de diamètre et d'une centaine de mètres de longueur devait être foré dans la couche et constituer le chenal initial. Deux trous verticaux devaient le relier à la surface, constituant ainsi un circuit en U (Fig. 29).

La réalisation du trou de sonde horizontal s'avéra fort difficile. Par suite du poids des tiges de forage, le trou s'incurvait vers le bas au lieu de suivre la couche. Le travail dura de décembre 1949 à mars

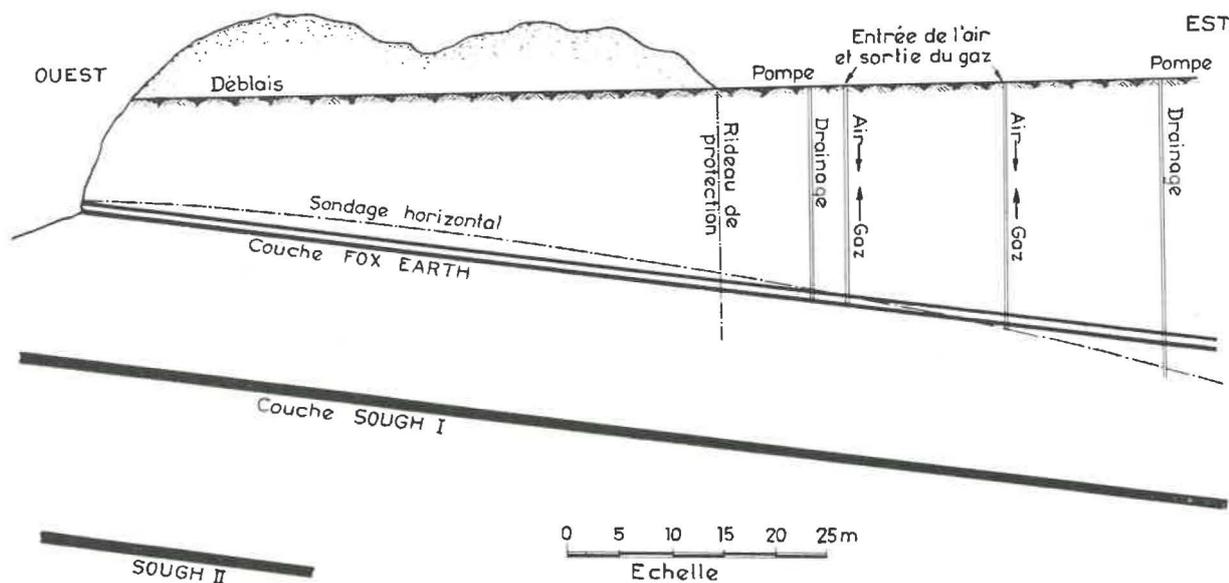


Fig. 29.

1950 et ne réussit qu'au septième essai : on creusa le trou au-dessus de la couche et avec une inclinaison initiale inférieure à celle de la stratification. Par suite de la déviation vers le bas, le sondage, qui avait une longueur totale de 120 m, vint recouper la couche sous un angle assez faible entre les points situés à 73 et 88 mètres de l'orifice. On disposait donc entre ces points d'une portion de 15 mètres de longueur, située tout entière sous le sillon supérieur, qui fut choisie comme ligne de départ du chantier.

L'intersection exacte des trous verticaux avec le trou horizontal posa aussi un problème. On creusa d'abord des trous verticaux de recherche à 75-90 et 105 mètres de l'orifice, le long de la position présumée de l'axe du sondage. On détermina ensuite la distance de ces trous verticaux à la position réelle du trou horizontal par des procédés électromagnétiques (électro-aimant dans le trou horizontal et boussoles dans les trous verticaux) ou radioactifs (isotope radioactif de cobalt et compteurs de Geiger).

La détermination se révéla exacte à quelques centimètres près, et des nouveaux trous, forés en tenant compte de la position réelle du sondage horizontal, le recoupèrent exactement, à une profondeur de 23 m environ.

Outre les deux trous destinés à l'entrée et à la sortie du circuit gazeux, et forés à 73 et 88 mètres de l'orifice, on creusa encore deux autres trous, à 70 m et à 103 m, pour assurer le drainage du circuit. Il fallut en effet absorber une venue d'eau de 900 l/h au début, réduite plus tard à 223 l/h.

Le terrain fut cimenté autour des sondages verticaux et l'orifice du sondage horizontal fut équipé d'un élément de tuyau de 20 m de longueur et 64 mm de diamètre, scellé au terrain par du béton et permettant une obturation étanche du trou.

Enfin, à 60 m de la découverte fut établi un rideau de trous-barrages, pouvant être remplis d'eau et destinés à empêcher en cas de nécessité l'extension du feu vers la découverte.

Un second circuit, analogue au précédent, fut créé à 200 m plus au sud, pour des expériences ultérieures. La « zone de réaction » de ce nouveau circuit était un peu plus longue : 23 m au lieu de 15 m.

## 2. — Equipement.

Les tuyauteries et le vannage permettaient de faire parcourir le circuit par le courant gazeux dans les deux sens.

Les trois ventilateurs soufflants, actionnés par des moteurs à explosion, pouvaient débiter chacun 840 m<sup>3</sup>/h d'air sous une pression de 0,7 kg/cm<sup>2</sup>. Le gaz sortant du chantier s'échappait directement à l'air libre. On avait prévu des injections d'eau dans le sondage de sortie, pour le refroidir, ou dans le sondage d'entrée, pour la production de gaz à l'eau.

Les débits d'air et de gaz étaient mesurés par diaphragmes, les pressions par des manomètres à eau ou à mercure, la température du gaz sortant par des thermocouples chromel-alumel (éventuellement sous gaine en Iconal) raccordés à un enregistreur (lectures horaires à tous les appareils).

L'humidité du gaz fut déterminée par condensation dans un réfrigérant. L'analyse du gaz fut effectuée par plusieurs méthodes, se recoupant mutuellement :

- Enregistreur continu à diffusion pour le CO<sub>2</sub>.
- Détermination horaire de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO à l'appareil d'Orsat (2 appareils).
- Analyse complète du gaz en laboratoire, sur échantillons prélevés toutes les 8 heures.
- Pouvoir calorifique calculé d'après l'analyse ou enregistré par un calorimètre Sigma (capable, grâce à un appoint continu d'hydrogène, de déterminer les pouvoirs calorifiques même très faibles).

## 3. — Opérations.

Les premières tentatives d'allumage eurent lieu le 22 mai 1950 et les jours suivants. On descendit, par un des trous verticaux, un panier métallique con-

tenant des bombes incendiaires au magnésium, du bois et du charbon. Cette méthode échoua. On installa alors un brûleur à pétrole, bientôt remplacé par du gaz Calor (mélange de propane et de butane à 28.000 cal/m<sup>3</sup>) sous un débit de 2.800 litres à l'heure, avec un dispositif d'allumage constitué par un fil incandescent.

Le préchauffage dura une semaine environ. Après plusieurs tentatives de démarrage, consistant à diminuer le débit de gaz Calor et à augmenter celui de l'air, une combustion stable s'amorça enfin, à la mi-juillet, et l'essai put démarrer.

a) Période du 13 juillet au 10 septembre 1950.

La mise en régime occupa à peu près les trois premières semaines suivant l'allumage.

On obtint, d'une façon intermittente, pendant cette période, du gaz à 900 cal/m<sup>3</sup>, enrichi par les

produits de distillation du charbon et contenant, par exemple, 10 % de CO<sub>2</sub>, 15 % de CO, 15 % de H<sub>2</sub> et 2 à 5 % de CH<sub>4</sub> et d'hydrocarbures. L'oxygène disparut rapidement des analyses et ne fut plus relevé qu'à l'état de traces (0,1 % ou moins encore).

Pendant les premiers jours, le gaz contenait des traces de goudron.

Le sens de la circulation du courant gazeux a été inversé à plusieurs reprises, chaque régime étant maintenu pendant un temps variant de 10 heures à 11 jours.

A partir du 5 août, les résultats se stabilisèrent. Les chiffres ci-dessous sont représentatifs des deux cycles les plus longs (du 5 au 16 août et du 16 au 26 août) pendant lesquels un régime stable a été réalisé.

	11-8-50	25-8-50	
Débit d'air, m <sup>3</sup> /h .....	280	380	
Sens du courant .....	est-ouest	ouest-est	
Chute de charge mm/H <sub>2</sub> O	200-400	400-1.000	
Température du gaz .....	500°	500°	
Humidité du gaz .....	25 %	25 %	
Composition du gaz sec	CO <sub>2</sub>	14,5	15,4
	O <sub>2</sub>	0,0	0,1
	CO	9,4	11,2
	H <sub>2</sub>	4,7	10,8
	CH <sub>4</sub>	2,4	1,5
	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	0,5	0,2
	N <sub>2</sub>	68,5	65,0
Pouvoir calorifique sup. ...	755	825	
Pouvoir calorifique inf. ...	682	756	

La perte de charge a varié assez fortement dans le temps, pour un débit relativement constant. Elle était de l'ordre de 500 mm d'eau pour un débit de 300 m<sup>3</sup>/h, mais pouvait tomber à la moitié ou monter au double de cette valeur.

Les bilans établis à partir de la composition du charbon et des analyses de gaz données ci-dessus donnent les résultats repris dans les deux tableaux de la page suivante.

A l'examen de ces tableaux, on constate que les résultats obtenus sont relativement favorables pour chacune des deux périodes considérées : les pertes par imbrûlés (distillation sans gazéification) ont été faibles, tandis que la combustion de matières volatiles et la décomposition de vapeur d'eau s'équilibrent à peu près (valeurs faibles de k et h).

Les résultats de la seconde période (380 m<sup>3</sup>/h) sont d'ailleurs légèrement meilleurs que ceux de la première (280 m<sup>3</sup>/h).

Si l'on admet que la moyenne de ces chiffres caractérise l'ensemble de la période du 13 juillet au 10 septembre, on obtient le bilan global suivant :

Au débit d'air moyen de 310 m<sup>3</sup>/h correspond un débit moyen de gaz (sec) de 370 m<sup>3</sup>/h;

A chaque m<sup>3</sup> de gaz correspond une consommation de 0,205 kg de charbon, dont 0,180 kg est intégralement gazéifié, soit respectivement 75 et 65 kg/h, et, pour l'ensemble de la période (60 jours) :

$$75 \times 24 \times 60 = 108 \text{ tonnes de charbon consommé, dont :}$$

$$65 \times 24 \times 60 = 94 \text{ tonnes de charbon complètement gazéifié.}$$

Du pouvoir calorifique du combustible réellement consommé (charbon total moins imbrûlés), la moitié à peu près se retrouve comme pouvoir calorifique du gaz, un sixième comme chaleur sensible du gaz (et de la vapeur) sortant du chantier, tandis qu'un tiers est absorbé par l'échauffement du terrain.

Des trous de sonde forés autour de la zone de réaction ont donné quelques indications sur son étendue. Après sept semaines de fonctionnement (fin août), la zone brûlée s'étendait, à mi-chemin entre les sondages d'entrée et de sortie, à plus de 5 m au sud de l'axe du chenal initial. Après dix semaines (mi-septembre), elle avait dépassé cette profondeur sur toute la longueur du chantier.

Période du 5 au 16 août.

Eléments du bilan par Nm <sup>3</sup> de gaz	Entrées	Combustible $c = 0,198 \text{ kg}$ Comburant $a = 0,865 \text{ Nm}^3$ H <sub>2</sub> O réduit $h = \text{Nm}^3$	Distillation 470 cal Gaz à l'air 256 cal Gaz à l'eau cal Combustion -44 cal	PCI du gaz 682 cal 45,8 %	Chaleur sensible du gaz 237 cal 15,9 %	Chaleur totale extraite 919 cal 61,7 %
	Sorties	H <sub>2</sub> O formé $-h = 0,017 \text{ Nm}^3$ Imbrûlés $k = 0,012 \text{ kg}$	Imbrûlés $0,012 \times 8.100 = 97 \text{ cal}$ 6,5 %			
	Rendements	$\eta_c = 92,5 \%$ $\eta_{th} = 49,0 \%$	Chaleur potentielle totale 779 cal 52,5 %	Chaleur sensible totale 711 cal 47,7 %	PCI du combustible $0,198 \times 7.750 =$ 1.490 cal 100 %	

Période du 16 au 26 août.

Eléments du bilan par Nm <sup>3</sup> de gaz	Entrées	Combustible $c = 0,212 \text{ kg}$ Comburant $a = 0,795 \text{ Nm}^3$ H <sub>2</sub> O réduit $h = 0,0075 \text{ Nm}^3$	Distillation 434 cal Gaz à l'air 296 cal Gaz à l'eau 26 cal Combustion cal	PCI du gaz 756 cal 47,4 %	Chaleur sensible du gaz 233 cal 14,6 %	Chaleur totale extraite 989 cal 62,0 %
	Sorties	H <sub>2</sub> O formé $-h = \text{Nm}^3$ Imbrûlés $k = 0,028 \text{ kg}$	Imbrûlés $0,028 \times 8.100 = 227 \text{ cal}$ 14,2 %			
	Rendements	$\eta_c = 83,5 \%$ $\eta_{th} = 55,3 \%$	Chaleur potentielle totale 983 cal 61,6 %	Chaleur sensible totale 612 cal 38,4 %	PCI du combustible $0,212 \times 7.550 =$ 1.593 cal 100 %	

Si l'on admet une action symétrique de part et d'autre de l'axe du chenal, la zone brûlée couvrirait, au début septembre, un espace de 15 m sur 6 m environ, contenant 1,2 tonne de charbon net par m<sup>2</sup>, soit au total  $15 \times 6 \times 1,2 = 108$  tonnes.

Ce chiffre concorde bien avec celui qui a été déduit ci-dessus du bilan chimique.

b) Période du 7 septembre 1950 au 31 janvier 1951.

Après les résultats favorables obtenus pendant le mois d'août, les périodes suivantes furent caractérisées par une détérioration progressive du gaz.. Diverses tentatives eurent lieu pour y remédier :

le renforcement du débit (500 m<sup>3</sup>/h) (6-14 septembre),

des inversions rapides (débit de 570 m<sup>3</sup>/h - renversé toutes les heures) (28-29 septembre),  
 des injections d'eau (30 septembre-6 octobre),  
 des alternances de fort et faible débit (850 m<sup>3</sup>/h et 140 m<sup>3</sup>/h pendant 24 heures alternativement) (6-20 octobre),

le colmatage du remblai poreux de la zone brûlée par des injections de poudre de ciment (9-18 novembre),

la déviation du circuit de gazéification vers de nouveaux sondages verticaux (janvier 1951).

Date	Régime	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	PCS	PCI	Humidité du gaz	Température du gaz
11-9-50	Débit constant depuis 5 jours	15,5	0,0	4,9	7,9	1,0	70,7	480	435	25 %	600°
17-9-50	Débit décroissant depuis 3 jours	12,7	0,1	5,1	5,2	0,5	76,4	565	535	30 %	600°
24-9-50	Débit variable	10,8	4,1	2,6	1,0	0,6	80,9	160	150	40 %	600°
28-9-50	Inversions horaires	14,2	5,0	0,7	3,7	2,6	76,8	580	535	—	700°
1/6-10-50	Injection de vapeur (70 m <sup>3</sup> /h)	12,4	4,4	0,8	3,6	1,4	77,4	270	240	5-50 %	500°
11-10-50	} Alternances de débits élevés et faibles *	12,7	4,1	0,5	1,7	0,8	80,4	140	125	15 %	500°
15-10-50		140	0,2	1,7	8,0	4,0	65,6	680	600	60 %	150°
21-10-50	Débit réduit de 800 à 560 m <sup>3</sup> /h	10,2	9,5	1,0	1,1	0,9	77,5	150	140	30 %	200°
29-10-50	Débit constant depuis 3 jours	13,4	4,6	0,3	0,2	0,4	81,1	60	50	50 %	250°

\* Lors du premier cycle à 140 m<sup>3</sup>/h, succédant à un cycle à 850 m<sup>3</sup>/h, on obtint une bouffée de gaz à 3.500 calories, contenant 41 % de H<sub>2</sub> et 17 % de CH<sub>4</sub>.

Ces différentes manœuvres freinèrent quelque peu la détérioration du gaz, mais les résultats obtenus ne furent que passagers.

A partir du 20 septembre, le gaz produit en régime ne contenait plus que des traces de composants combustibles. Le pourcentage d'oxygène libre augmenta progressivement pour se stabiliser vers 7 %, tandis que l'humidité du gaz atteignait 50 %.

Des bouffées de gaz de distillation purent cependant encore être obtenues lors de certains renversements du débit.

Le tableau ci-contre donne quelques résultats obtenus grâce aux différents procédés cités ci-dessus.

#### 4. — Observations générales.

En quatre mois de fonctionnement (juillet-novembre), le système a consommé environ 200 t de charbon.

D'après les sondages de reconnaissance effectués, la zone brûlée devait avoir alors à peu près 12 m de largeur.

La perte de charge du circuit a été assez variable, mais a accusé cependant une tendance générale décroissante. Des éboulements souterrains se sont marqués par des variations brusques de la perte de charge, accompagnées d'une coloration rouge ou noire des gaz sortants (normalement incolores ou colorés en blanc par la vapeur). Pendant les dernières phases, la perte de charge semblait localisée au pied du sondage de sortie.

L'affaissement de la surface du sol ne correspond qu'à la moitié à peu près des 90 cm de puissance nette de la couche. Cependant, un trou de sonde foré à 5 mètres au nord du chenal initial a recoupé un vide à 10 mètres au-dessus du charbon. Il s'est donc produit des décollements de bancs dans les terrains de recouvrement, et l'affaissement de la surface ne représente qu'une partie de l'affaissement total.

Au début de l'essai, le système s'est révélé relativement étanche, le débit du gaz correspondant à peu près, toutes corrections faites, au débit d'air entrant. Plus tard, des fuites importantes se développèrent, spécialement autour des sondages verticaux dont le scellement eut à souffrir des hautes températures du gaz sortant.

#### B. — Essais de percolation.

##### 1. — Disposition et équipement.

Pour réaliser des systèmes souterrains de gazéification sans travaux miniers ni sondages horizontaux préalables, on recourut à de l'air comprimé à haute pression, fourni par un compresseur à quatre étages, capable de développer des débits allant jusqu'à 170 m<sup>3</sup>/h et des pressions atteignant 210 kg/cm<sup>2</sup>, et raccordé à un réservoir tampon de 850 litres. Il était possible, en vidant brusquement le réservoir, d'obtenir des débits instantanés dépassant de loin la capacité du compresseur.

A l'endroit choisi pour l'essai, la couche se trouvait à 27 m de profondeur; le poids de la couverture représentait donc à peu près 7 kg/cm<sup>2</sup>.

On fora sept sondages verticaux (Fig. 30) répartis sur deux lignes droites, respectivement parallèle et perpendiculaire à la direction du clivage de la couche. Au sommet de l'angle formé se trouvait le trou principal, tubé à un diamètre de 200 mm, mais élargi à 450 mm de diamètre dans sa partie

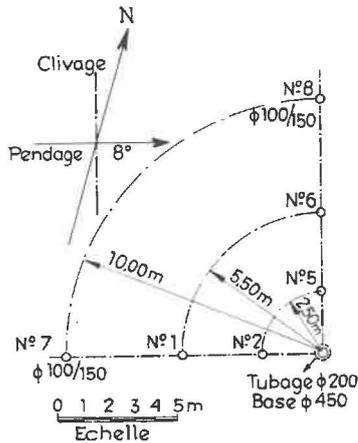


Fig. 30.

inférieure, dans la couche. Les autres trous, dits « d'observations », se trouvaient à des distances respectives de 2,40 m, 5,40 m et 10 m du trou principal et avaient un diamètre de 100 mm. Tous ces trous étaient tubés (sauf à leur partie inférieure) et munis d'une tête de captage étanche et de manomètres.

La mise en pression du trou principal provoquait la mise en pression des autres trous, mais sans qu'on puisse trouver une relation entre la pression atteinte et les distances respectives des trous.

Des essais d'étanchéité, exécutés avant l'allumage, ont montré que le système, relativement étanche à des pressions inférieures à 7 kg/cm<sup>2</sup>, se montrait beaucoup plus perméable dès que la pression dépassait cette valeur critique, sensiblement égale à celle qui résulte du poids des terrains à la profondeur de la couche de charbon : le circuit formé par le trou principal et le trou n° 8 (à 10 m du précédent, dans la direction du clivage) laissait passer 4,25 et 34,0 m<sup>3</sup>/h pour des pressions (mesu-

rées au trou principal) de 5,25 et 8,45 kg/cm<sup>2</sup> respectivement.

Tous les trous étant fermés, le système donnait lieu à un débit de fuite de 127 m<sup>3</sup>/h sous une pression de 8,8 kg/cm<sup>2</sup>.

En chargeant le réservoir tampon à 56 kg/cm<sup>2</sup> et en le vidant brusquement, on obtenait dans le trou principal une pointe de pression de 14 kg/cm<sup>2</sup>, correspondant à un débit instantané de l'ordre de 3.000 m<sup>3</sup>/h. Par contre, le système abandonné toute une nuit à lui-même, toutes vannes fermées, tenait une pression de 3,5 kg/cm<sup>2</sup> jusqu'au lendemain matin.

Il se comportait donc comme si la pression de l'air comprimé soulevait les bancs de roche dès qu'elle devenait supérieure au poids de ceux-ci. Restait à savoir si le passage ainsi créé se trouvait dans le charbon ou dans le toit de la couche.

## 2. — Allumage et formation d'un chenal.

Après avoir, au moyen d'un jet d'air comprimé, vidé les trous de l'eau qui s'y était accumulée, on installa un brûleur à gaz Calor dans le trou principal pour le sécher et le préchauffer.

Dès que la température de 500° C fut atteinte par le gaz de combustion, on scella sur l'orifice du trou la tête de captage étanche, raccordée au compresseur. Le gaz Calor fut remplacé par de l'hydrogène sous haute pression.

Les autres trous étaient tous fermés, sauf le n° 8.

Sous l'action du compresseur, la pression atteignit bientôt la valeur critique de 7 kg/cm<sup>2</sup> et, après quelques heures, on coupa l'hydrogène, supposant que le charbon avait pris feu.

Quelques jours plus tard cependant, la pression avait monté jusqu'à 11 kg/cm<sup>2</sup>, tandis que le débit de gaz sortant du trou n° 8 tombait de 14 à 5,6 m<sup>3</sup>/h.

Afin d'accélérer la formation du chenal, le sens du courant gazeux fut inversé pendant quelques courtes périodes. Le débit sortant du trou n° 8 fut doublé à la suite de cette manœuvre et on obtint du gaz à haut pouvoir calorifique (jusqu'à 2.500 cal/m<sup>3</sup>). Les chiffres ci-dessous représentent la moyenne de dix analyses effectuées immédiatement avant et après les inversions :

	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
Avant	14,5	0,2	7,2	7,2	3,7	0,1	67,1	800	730
Après	16,6	0,3	12,1	12,6	6,2	0,1	52,1	1.350	1.235

A partir de ce moment, la pression diminua progressivement.

Il semble bien qu'un chenal franchement ouvert s'était formé sur les premiers mètres du trajet (entre le trou principal et le n° 5). Après trois semaines de fonctionnement ininterrompu, la pression était tombée à 1,75 kg/cm<sup>2</sup>, tandis que le débit de gaz sortant du trou principal augmentait sans cesse. Enfin, le lendemain, le débit maximum de 125 m<sup>3</sup>/h passait dans un sens comme dans l'autre avec une

perte de charge de 0,35 kg/cm<sup>2</sup>. Un chenal de 10 m avait été réalisé et le gaz sortant donnait 800 cal/m<sup>3</sup>.

Un arrêt de quelques jours, dû à des circonstances purement extérieures, survint peu après. La remise en régime du chantier après cet incident exigea quelques jours, ce qui n'est guère étonnant vu l'humidité de la couche.

Pour réaliser, en trois semaines, un chenal long de 10 m, il a fallu consommer 7.000 kWh environ (énergie de compression). L'emploi d'oxygène eût sans doute permis de diminuer fortement le temps et la puissance nécessaires.

3. — *Autres essais.*

Un autre trou, le n° 9, situé 15 m à l'est du système, fut raccordé au compresseur. Après avoir vidé plusieurs fois dans ce trou le réservoir tampon chargé à 56 kg/cm<sup>2</sup>, on put y faire passer 125 m<sup>3</sup>/h d'air sous une pression de 4,2 à 5,5 kg/cm<sup>2</sup>. La moitié de cet air parvenait au système déjà en activité entre le trou n° 8 et le trou principal.

Cet essai fut interrompu après trois semaines, par suite d'une avarie du compresseur. Trente tonnes de charbon avaient été gazéifiées, mais l'oxygène commençait à apparaître dans les analyses, indiquant la création de by pass souterrains.

D'autres essais par trous verticaux sont en préparation. On envisage d'en exécuter également dans une des couches inférieures, à 55 m de profondeur, de façon à diminuer l'importance des fuites. On a constaté en effet, au cours des essais de percolation dans la couche Fox Earth, à 27 m de profondeur, que, sous une pression de 3,5 kg/cm<sup>2</sup>, le gaz s'échappait des trous de sonde et filtrait jusqu'à l'affleurement de la couche dans la découverte et jusqu'aux sondages horizontaux des essais précédents, à une centaine de mètres de distance.

4. — *Conclusion.*

Des premiers essais de Newman Spinney résulte que, à partir d'un trou horizontal foré dans une couche de charbon, il est possible de produire d'une façon assez stable un gaz à plus de 700 calories et de brûler le charbon compris dans une zone de 6 m de largeur.

Les essais suivants ont montré la possibilité de créer un chenal d'une dizaine de mètres de longueur entre deux trous de sonde verticaux, sans travaux souterrains, au moyen d'air comprimé. Le système ainsi formé produit, pendant une certaine période, un gaz analogue à celui qu'on obtiendrait dans un sondage horizontal de même longueur.

Ces essais ont spécialement mis en évidence la brusque augmentation de perméabilité qui se produit quand la pression de l'air comprimé est équivalente à celle des terrains sus-jacents, comme si ceux-ci étaient soulevés.

Ces constatations ouvrent des possibilités aux méthodes de percolation.

(A suivre.)