

# La Gazéification souterraine dans les divers pays

(Suite)

## RAPPORT D'INICHAR

### AVANT-PROPOS

Les Annales des Mines de Belgique ont publié en 1951-1952, sous le titre « La Gazéification souterraine dans les divers Pays », un compte rendu des différentes expériences à grande échelle de gazéification souterraine, exécutées ou en cours à cette époque en Belgique ou à l'étranger.

Depuis lors, les essais ont été poursuivis en Grande-Bretagne, aux Etats-Unis et au Maroc. Dans ce dernier pays, une seconde série d'essais, effectués sous le contrôle du Centre d'Etudes et Recherches des Charbonnages de France, vient de se terminer.

Les notes de M. R. Loison, Ingénieur en Chef au Cerchar, ont fourni les éléments du compte rendu ci-après. Celui-ci fait suite au rapport publié dans la livraison de janvier 1952 des Annales des Mines. Le lecteur voudra bien s'y reporter pour les renseignements d'ordre général et la description de la méthode d'analyse des résultats.

Inichar est redevable de ce résumé à son ancien collaborateur, Monsieur l'Ingénieur de Crombrugghe, qui connaît particulièrement bien la question de la gazéification souterraine. Il l'en remercie vivement.

\* \* \*

### SAMENVATTING

#### VII. — NIEUWE PROEVEN OVER ONDERGRONDSE VERGASSING TE DJERADA (MAROCCO)

In de steile anthracietlagen van Djerada (Marocco) had van November 1949 tot Januari 1951 een eerste reeks proeven over ondergrondse vergassing plaats (zie Annalen der Mijnen van België, 1952, Januari, blz. 9/27).

Een nieuw experiment werd van Februari 1954 tot April 1955 uitgevoerd: het algemeen schema (stijgende vuurpijler tussen twee neerbraken in de laag) is hetzelfde gebleven, doch de opgedane ervaring heeft enkele wijzigingen doen aanbrengen: versterking van de blaasmiddelen, vervanging van de ingegraven warmterecuperatoren door een bovengrondse warmtewisselaar, verbinding van het paneel met de bovengrond door steengalerijen, waardoor de dichtheid aanzienlijk verbeterd werd. Het is mogelijk geweest voorverwarme lucht onder een druk van  $1,5 \text{ kg/cm}^2$  in te blazen (5.000 tot 10.000  $\text{m}^3/\text{h}$ ).

Men heeft brandbaar gas bekomen door aanhoudend lucht te blazen (500 tot 600  $\text{cal/m}^3$  gedurende meerdere weken). Na een bepaald levensduur echter stelt men een ontaarding van de gasgenerator vast: het contact brandstof-brandmiddel wordt slecht en het wordt onmogelijk verder nog luchtgas te ontwikkelen. In dat geval kan men nog watergas verkrijgen door water (ingeblazen stoom of grondwater) op de heete steenkolen te laten inwerken (gas met 600 tot 900  $\text{cal/m}^3$  doch in kleine hoeveelheden). De werking is tamelijk regelmatig en soepel geweest.

Met een brandstof rijker aan vluchtige bestanddelen zou men ongetwijfeld gas met beter verwarmingsvermogen bekomen hebben.

De hier toegepaste zg. stromingsmethode schijnt de beste uitslagen op te leveren in steile lagen, dicht bij de oppervlakte, met panelen die niet te groot zijn (2000 ton) en die genoeg verwijderd zijn van de inloedszone van andere afbouwwerken.

Het betrekkelijk gering verwarmingsvermogen van het gas, de kleine productiecapaciteit van een paneel, de eisen aan de gesteltemis van de laag opgelegd en de onvolledige benutting van de voorhanden zijnde brandstof staan nog op de weg voor een economisch renderend bedrijf.

## VII. — DEUXIEME ESSAI DE GAZEIFICATION SOUTERRAINE A DJERADA (MAROC)

Une première série d'essais de gazéification souterraine a été effectuée de novembre 1949 à janvier 1951 dans les anthracites en dressant de Djérada (Maroc).

De nouveaux essais ont eu lieu de février 1954 à avril 1955. Le schéma général est resté le même : taille de feu montant entre deux descenderies en couche. L'expérience acquise a amené quelques améliorations : les appareils de soufflage ont été renforcés, les récupérateurs souterrains ont été remplacés par un échangeur de chaleur placé à la surface, l'accès du panneau a été réalisé par des galeries en roche, ce qui a amélioré l'étanchéité. On a pu souffler dans le chantier 5.000 à 10.000 m<sup>3</sup>/h d'air préchauffé, sous une pression de 1,5 kg/cm<sup>2</sup>.

On a obtenu du gaz combustible par soufflage continu d'air (500 à 600 cal/m<sup>3</sup> pendant plusieurs semaines). Cependant, après une certaine durée de fonctionnement, on constate une dégénérescence du gazogène souterrain : le contact combustible-comburant se détériore et la production de gaz à l'air cesse pratiquement. Il est encore possible, dans ces conditions, de fabriquer du gaz à l'eau en faisant réagir de l'eau (vapeur injectée ou venue naturelle) sur le charbon échauffé (gaz de 600 à 900 cal/m<sup>3</sup> en petites quantités). Le fonctionnement du chantier a été relativement souple et régulier.

Un combustible plus riche en matières volatiles aurait sans doute permis d'obtenir un gaz plus riche.

La méthode du courant employée ici semble bien donner ses meilleurs résultats dans des couches redressées, proches de la surface. Les panneaux ne peuvent être trop étendus (2.000 tonnes) et doivent être en dehors de la zone d'influence de toute exploitation.

Le pouvoir calorifique médiocre du gaz obtenu, la capacité de production réduite d'un panneau, les conditions à réunir dans un site déterminé et l'utilisation incomplète du gisement sont autant d'obstacles importants rendant impossible actuellement l'exploitation économique du procédé.

\* \* \*

La deuxième série d'essais de gazéification souterraine de Djérada a été effectuée de février 1954 à septembre 1954 dans le même gisement et suivant un schéma général analogue à celui de l'essai de 1950. La même installation a servi, en février et mars 1955, à gazéifier un nouveau panneau dans une couche voisine mais de puissance plus faible.

### 1. — DESCRIPTION DU CHANTIER

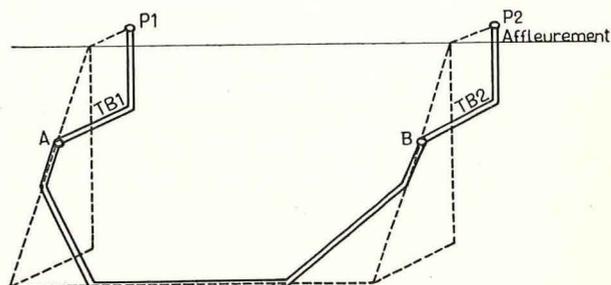
#### a) Le gisement.

Les essais ont été effectués dans les couches B et C, fortement redressées (pendage Nord de l'ordre de 70°), et affleurant suivant une ligne ouest-est. Leurs puissances sont respectivement de 0,70 m (couche B) et 0,40 m (couche C). Le charbon est un anthracite à 5,9 % de matières volatiles (cendres déduites), relativement riche en soufre.

#### b) Schéma minier (fig. 1).

La méthode adoptée est la même que celle du premier essai : la taille de feu, montante, attaque un panneau en fer à cheval en rabattant entre deux descenderies foncées suivant la plus grande pente de la couche.

Le panneau découpé en couche B a 100 m de largeur, la partie à gazéifier a 30 m de hauteur et



contient 3.000 tonnes de charbon. Le panneau de couche C, un peu plus petit, contient 1.200 tonnes.

Ce schéma diffère de celui du premier essai par la disposition des voies d'accès au panneau. Celles-ci sont creusées en roche et comportent deux puits et deux travers-bancs venant recouper la couche à 20 m sous la surface du sol. On améliore ainsi notablement l'étanchéité par rapport à la disposition antérieure selon laquelle les descenderies en couche partaient de la surface.

La galerie de base se situe à 50 m sous le niveau du sol. Les deux coins inférieurs du panneau sont coupés par des montages inclinés à 45° et munis d'un soutènement sommaire en bois. Un sondage axial, foré dans la couche, permet de suivre les variations de pression en un point situé à mi-chemin du trajet des gaz.

### c) Installations de surface.

Les moyens de soufflage, plus puissants que ceux du premier essai, comportent deux compresseurs montés en parallèle et capables de débiter chacun 5000 m<sup>3</sup>/h sous une pression effective de 1,5 kg/cm<sup>2</sup>. Un jeu de vannes permet l'inversion du courant d'air dans le chantier.

Les récupérateurs enterrés ont été remplacés par un échangeur de température installé à la surface et permettant de préchauffer l'air de soufflage en récupérant la chaleur sensible du gaz, indépendamment de la cadence des inversions. Les conduites d'air et de gaz reliant l'échangeur au chantier sont calorifugées.

Le gaz peut être brûlé sous une chaudière dont la vapeur est destinée à être injectée dans le chantier pour produire du gaz à l'eau.

## 2. — JOURNAL DE L'ESSAI

### A. Essais en couche B.

#### α) Préchauffage et allumage.

(31 janvier - 8 février 1954).

Avant l'allumage, le chantier est séché et préchauffé pendant 8 jours au moyen d'un débit de 5.000 à 10.000 m<sup>3</sup>/h de fumées à 250... 350° C, produites par un brûleur à mazout. L'allumage a été obtenu facilement le 8 février en réduisant l'excès d'air au brûleur et en augmentant la température des fumées.

Après le démarrage, l'essai est marqué par quelques incidents matériels qui n'ont cependant pas de conséquences graves : pannes de compresseurs, coupures de courant, entraînement de poussières abondantes par le gaz, avec encrassement de l'échangeur et détérioration de la conduite. Le total des temps d'arrêt a été de 70 heures pour les deux premiers mois.

#### b) Régime d'inversions (8 février - 26 mars).

Pendant les six premières semaines de l'essai, on souffle tantôt par le puits Est, tantôt par le puits Ouest, le débit maximum possible, compte tenu de la résistance du chantier. L'air est soufflé sous une pression de 1,5 kg/cm<sup>2</sup> et préchauffé à 160-180° C.

La résistance augmente rapidement à partir de l'allumage, passant progressivement de 0,1 kg/cm<sup>2</sup> le 8 février à 1,5 kg/cm<sup>2</sup> le 15 février, pour un débit de 5.000 m<sup>3</sup>/h. Malgré les précautions prises, les fuites augmentent parallèlement, atteignant 1/4 environ du débit total.

Les périodes de soufflage alternativement dans les sens Est-Ouest ou Ouest-Est durent 4 à 11 jours. La mise en régime du chantier s'effectue assez lentement, et l'intervalle entre les inversions semble insuffisant pour amener une stabilisation complète de la composition du gaz. Après une inversion, on obtient une certaine quantité de gaz à l'eau

(CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>) dont la formation résulte de la migration de l'eau du terrain sous l'influence des fluctuations de pression. La qualité du gaz baisse ensuite rapidement pour remonter par après lentement, après plusieurs jours de fort débit, à mesure que se développe la réaction du gaz à l'air (CO dans le gaz).

Le pouvoir calorifique du gaz évolue pendant cette période entre 250 et 700 cal/m<sup>3</sup>, avec une valeur moyenne de l'ordre de 400 cal. Le 11 et le 12 mars, le gaz brûle pendant 30 heures sous la chaudière. Il contient 23... 24 % de (CO + H<sub>2</sub>) mais est très humide.

La température du gaz sortant est de 400... 500° C, ce que permet de préchauffer à 160... 180° l'air soufflé.

#### c) Soufflage continu (26 mars - 13 mai).

Les durées de soufflage de 4 à 11 jours paraissant insuffisantes pour l'obtention d'un régime stabilisé, on maintient pendant 48 jours le soufflage dans le sens Ouest-Est (débit de 5.000 m<sup>3</sup>/h). Le pouvoir calorifique, voisin de 100 cal. au début de la période, atteint 400 cal, après 5 jours, se maintient entre 500 et 600 cal. du 8<sup>e</sup> au 23<sup>e</sup>, et redescend ensuite vers 400 cal. pendant les trois dernières semaines. Ces variations sont surtout dues à des modifications de la teneur du gaz en CO, donc de l'intensité de la réaction du gaz à l'air, la teneur en H<sub>2</sub> restant par contre assez constante.

Au cours de cette période, le feu semble s'être déplacé vers l'aval du courant d'air. Il n'a cependant pas atteint l'extrémité Est du chantier puisque la température du gaz est restée faible (200 à 300°C). L'air soufflé n'était par conséquent que faiblement préchauffé.

#### d) Détérioration du chantier (13 mai - 25 juin).

Le 13 mai, on inverse le sens du courant d'air dans l'intention de réaliser une période prolongée de soufflage Est-Ouest. Mais la composition du gaz obtenu est fort irrégulière. Simultanément, la résistance du chantier diminue, permettant à partir du 9 juin de souffler 10.000 m<sup>3</sup>/h sous 1,5 kg/cm<sup>2</sup> de pression. La zone de feu semble s'être étendue, atteignant les extrémités du chantier ; aussi la température du gaz sortant est-elle élevée (jusqu'à 700° C). Entre le 23 et le 25 juin, la chaudière à vapeur, utilisant la chaleur sensible du gaz, vaporise de 300 à 600 litres d'eau par heure.

On tente diverses manœuvres (inversions, variations de débit) pour déplacer la zone de feu et améliorer le gaz, mais quoi qu'on fasse, on n'obtient plus de pouvoir calorifique supérieur à 500 cal. que pendant de brèves périodes.

Le chantier s'étant plus largement ouvert, le contact entre comburant et combustible est moins bon et la gazéification a fait place à la combustion. Le gaz formé éventuellement au contact du charbon est brûlé plus loin par le comburant en excès. Dans ces conditions, on a peu de chances d'obtenir encore du gaz combustible par soufflage continu.

### e) Débits pulsés (25 juin - 19 septembre).

On décide, par conséquent, de réaliser un régime cyclique alternant des phases de chauffage du chantier (fort débit d'air) et des phases de formation de gaz à l'eau, avec un débit d'air nul ou tout juste suffisant pour évacuer le gaz formé. On évite de cette façon que le gaz formé soit brûlé par l'oxygène en excès.

Des essais effectués occasionnellement pendant les périodes précédentes ont montré que les débits de vapeur à injecter que pouvait fournir la chaudière (quelques centaines de kg par heure) étaient insuffisants pour exercer une influence sensible sur la qualité du gaz. Aussi utilise-t-on dorénavant de préférence, pour fabriquer du gaz à l'eau, la venue d'eau naturelle dans le chantier souterrain.

Après quelques tâtonnements, on adopte un cycle comportant 2 à 8 heures de chauffage (débit d'air : 10.000 m<sup>3</sup>/h, température du gaz : 600° C.), 1 1/2 heure d'arrêt complet et 6 à 30 heures de balayage (1.000 m<sup>3</sup>/h). Le gaz recueilli sous faible débit accuse 400 à 500 cal. quand le balayage a lieu dans le sens Ouest-Est. Par contre, dans le sens contraire, le pouvoir calorifique est très faible et le gaz contient de l'oxygène.

Alternée avec des périodes prolongées de soufflage continu (2 jours à 4 semaines), destinées à réchauffer le chantier, l'application de ce cycle donne des résultats constants et reproductibles quoique le chantier soit en fonctionnement depuis sept mois et demi et que les 5/6 du charbon disponible soient brûlés.

La quantité de gaz produite est cependant très faible par rapport à l'énergie de compression totale.

Cet essai est arrêté le 19 septembre et le chantier est noyé.

## B. Essai en couche C.

Après dénoyage et remise en état des travaux souterrains, le panneau en couche C est mis en service. Dans l'intervalle entre les deux essais, on garnit d'un tubage métallique les puits d'accès.

### a) Préchauffage et allumage

(22-24 janvier 1955).

Le préchauffage et l'allumage sont exécutés de la même façon que lors de l'essai précédent. Le séchage du chantier est beaucoup plus rapide mais l'allumage plus difficile (12 heures de fumées à 650° C.) que pour l'autre panneau.

Le début de l'essai est également marqué par une forte émission de poussières (100 à 200 tonnes) formées de charbon grenu, partiellement carbonisé.

### b) Soufflage continu (24 janvier - 13 février).

Sans devoir recourir à la pression maximum dont sont capables les compresseurs, on fait passer dans le chantier 9.000 m<sup>3</sup>/h d'air sous 1 kg/cm<sup>2</sup>. La première période de soufflage (24 janvier - 5 février), dans le sens Ouest-Est, donne 410 cal/m<sup>3</sup>. La deuxième période, dans le sens Est-Ouest, produit

pendant 8 jours un gaz de 500 à 600 cal. Le pourcentage de CO atteint 13 %. Ce gaz brûle sous la chaudière, produisant 2 tonnes de vapeur par heure.

### c) Injection de vapeur.

Au cours de cette même période, on injecte dans le chantier, en mélange avec l'air soufflé, la vapeur produite par la chaudière (8.000 m<sup>3</sup>/h d'air pour 2 t/h de vapeur). Cette opération est effectuée en deux fois, pendant 12 heures et 28 heures respectivement. On obtient des pouvoirs calorifiques variant de 660 à 900 cal (moyenne : 730 cal.)

Après la première injection, le régime correspondant au soufflage continu se rétablit rapidement. Après la seconde, le chantier commence à donner des signes de dégénérescence.

### d) Détérioration.

Du 13 au 17 février, le pouvoir calorifique du gaz descend jusqu'à 200 cal. A partir du 17 février, il reste en moyenne égal à 90 cal/m<sup>3</sup> malgré les diverses manœuvres tentées pour y remédier.

La fin de l'essai est prévue pour le début d'avril.

## 3. — RESULTATS OBTENUS

### a) Circulation du courant gazeux dans le chantier.

#### α) Résistance aérodynamique.

Pendant les premiers mois (8 janvier - 13 mai) du fonctionnement du panneau en couche B, la résistance du chantier a été assez élevée (1,5 kg/cm<sup>2</sup> pour faire passer 4.000 à 6.000 m<sup>3</sup>/h dans un circuit souterrain de 200 m de longueur environ). Cette période à résistance élevée correspond à la production d'un gaz relativement bon.

La diminution progressive de la résistance entre le 13 mai et le 9 juin (1,5 kg/cm<sup>2</sup> pour 10.000 m<sup>3</sup>/h) coïncide avec la détérioration définitive du gaz obtenu par soufflage continu. Le même phénomène a marqué la plupart des autres essais de gazéification. Il dénote un contact moins intime entre charbon et comburant.

Dans le cas présent, la diminution de résistance semble due à des éboulements dans la partie Est du chantier. Elle s'est en effet produite par paliers, chaque chute étant accompagnée d'une émission importante de poussières.

Un sondage axial foré dans l'axe du panneau a permis de localiser les chutes de pression dans les deux moitiés de la taille. La résistance se partage également ou inégalement selon les périodes.

D'après les observations faites au moment des changements de régime, la loi de variation débit-pression indique un régime d'écoulement laminaire, même pendant la période de résistance plus faible.

Au cours de l'essai en couche C, le chantier est resté constamment beaucoup plus ouvert (10.000 m<sup>3</sup>/h sous 1 kg/cm<sup>2</sup>) que lors de l'essai en couche B. Ceci peut être expliqué par le fait que la couche étant

plus mince, le front de charbon était moins sujet à éboulement.

### *β) Dérivation.*

Il semble bien qu'après un certain temps de fonctionnement, correspondant à un avancement du front de feu d'une quinzaine de mètres, une partie du comburant est dérivée dans le remblai poreux formé dans l'arrière-taille. Cette fraction rejoint le courant principal en aval de la zone de gazéification, mais en un point suffisamment chaud cependant pour brûler une partie du gaz produit. C'est ce qui explique que lors du vieillissement du chantier, il devient impossible de produire du bon gaz par soufflage à l'air, mais que les injections de vapeur ou les venues d'eau naturelles puissent encore provoquer la formation de gaz à l'eau, la vapeur dérivée dans le remblai ne pouvant brûler le gaz en aval.

Si la dérivation est importante ou ne rejoint le courant principal que dans une zone froide, le gaz accuse une teneur en  $O_2$  qui croît généralement avec le temps.

### *γ) Fuites.*

Les précautions prises (accès à la couche par travers-bancs, suppression des récupérateurs souterrains) ont permis d'améliorer notablement l'étanchéité par rapport à l'essai de 1951. Les fuites sont cependant restées importantes (1/4 environ du débit total). Elles étaient localisées surtout à l'entrée du chantier (haute pression). Le tubage des puits d'accès lors de l'essai en couche C n'a eu qu'un effet très partiel.

### **b) Localisation du feu.**

La localisation du feu n'a pu se faire que d'une façon indirecte et assez incertaine. On a utilisé comme indices :

- α)* la mesure de la pression au sondage axial, donnant une idée grossière de la répartition de la résistance.
- β)* la température de sortie du gaz.
- γ)* la variation de la composition du gaz suivant le sens de soufflage.

La fuite du feu vers l'aval n'a guère été rapide et à certains moments (première partie de l'essai en couche B) le feu a même eu plutôt tendance à progresser vers l'amont. Ceci semble dû :

- α)* au séchage et au préchauffage du chantier avant l'essai.
- β)* au préchauffage de l'air soufflé.
- γ)* à la forte résistance du chantier et à la division du courant d'air dans les éboulis de charbon.

Pendant la période de forte résistance, la vitesse de l'air était réduite et le contact air-charbon assez intime. La réaction s'effectuait sur une courte distance et la zone de feu était peu étendue. La longueur de la taille était donc mal utilisée. Dans ces conditions, le feu a tendance à remonter vers l'amont, surtout si l'air est préchauffé. Par contre, lorsque le passage s'est plus largement ouvert, la

zone de feu s'est vraisemblablement étendue vers l'aval à toute la taille et celle-ci a même été trop courte pour épuiser tout l'oxygène.

La température de sortie du gaz, assez basse dans le premier cas (200...300°), pouvait parfois, dans le second, atteindre 600 ou 700° C, indiquant ainsi que le feu avait atteint la sortie de la taille et obligeant à renverser le sens du courant d'air.

### **c) Nature du gaz.**

Le charbon de Djerada étant pauvre en matières volatiles (5 %), les résultats obtenus sont relativement peu influencés par la distillation du combustible. Le gaz produit, s'il n'est pas très riche, peut du moins être attribué presque intégralement à la gazéification proprement dite.

#### *a) Gaz à l'air.*

On a, à plusieurs reprises et dans les deux panneaux, fabriqué du gaz à l'air à 400...700 cal. en soufflant dans le chantier un débit d'air continu pendant des périodes prolongées. Ce processus ne s'établit que si le courant d'air ne s'égare pas dans l'espace brûlé ou dans les fissures du terrain (chantier encore relativement « jeune ») et si la zone de feu occupe une position favorable : on a constaté, en effet, que les résultats obtenus en soufflant d'Est en Ouest ou d'Ouest en Est n'étaient en général pas équivalents. Il faut qu'une zone de réduction puisse se développer derrière la zone de combustion ; ceci exige que le chantier soit chaud et que le feu y soit développé dès la partie amont du trajet de l'air.

La mise en régime est assez lente. Après une inversion, le pouvoir calorifique du gaz remonte en quelques jours de 100 à 400 cal/m<sup>3</sup>, mais n'atteint 500 ou 600 cal. qu'après une ou plusieurs semaines de soufflage. Après avoir atteint un maximum, il redescend lentement vers 400 cal.

Les éléments combustibles du gaz sont  $CO$  et  $H_2$ , totalisant 20 à 25 % du total. Le  $CH_4$  est peu abondant. Le pourcentage d'hydrogène est assez constant, celui de  $CO$  est plus variable, dépendant assez fort de la température de la zone de réaction. Ces deux gaz sont en proportions sensiblement égales pendant les meilleures périodes.

#### *β) Gaz à l'eau.*

On a constaté, lorsqu'on arrêtait le soufflage pour inverser le courant d'air, qu'il se dégagait pendant quelques heures un gaz riche en  $H_2$  et  $CO_2$  provenant de la réaction du charbon incandescent avec l'eau provenant des venues naturelles du terrain. Ce processus est souvent dissymétrique suivant le sens de soufflage. Il paraît lié à l'emplacement des venues d'eau, à la géométrie du chantier et à la migration de l'eau dans le terrain sous l'influence des variations de pressions gazeuses dans le chantier.

À la fin de l'essai en couche B, on a utilisé systématiquement ce phénomène pour produire du gaz d'une façon cyclique alors que le soufflage continu ne donnait plus de résultats.

À cet effet, on réchauffait le chantier en y soufflant pendant quelques heures ou quelques jours

un débit d'air important, puis après avoir interrompu complètement le courant pendant 1 heure ou deux, on soufflait un débit d'air de l'ordre de 1.000 m<sup>3</sup>/h pour balayer le gaz formé.

On a pu ainsi recueillir du gaz à 400...500 cal. pendant 6 à 32 h. Ce processus a pu être répété un nombre arbitraire de fois au cours d'une période de trois mois et demi, quoique le chantier fut vieilli et le panneau aux trois quarts consumé. Il faut remarquer toutefois qu'il n'était possible d'obtenir du gaz que dans un sens de soufflage (Ouest-Est), quel que fût le sens du soufflage pendant la période de chauffage précédente.

Ce procédé ne paraît guère utilisable à grande échelle ; le débit est en effet très faible pendant la phase productrice de gaz et les calories récupérées ne couvrent pas l'énergie de compression du combustible pendant la phase de chauffage.

#### γ) Gaz mixte.

À plusieurs reprises, on a injecté dans le chantier de la vapeur d'eau en mélange avec l'air soufflé. Les tentatives effectuées dans le panneau en couche B n'ont pas eu de résultats : les quantités de vapeur injectée (quelques centaines de kg par heure) étaient trop faibles et leur influence était masquée par la venue d'eau naturelle.

En couche C par contre, il a été possible d'injecter 2 tonnes/h de vapeur, avec 8.000 m<sup>3</sup>/h d'air, soit 1 volume de vapeur pour 3 volumes d'air. On a obtenu un pouvoir calorifique moyen de 730 cal/m<sup>3</sup> avec des pointes à 900 cal et de longues périodes stables à 660 cal.

Au début de l'injection, le chantier étant très chaud, 50 % de la vapeur injectée sont décomposés. On retrouve dans le gaz 16 molécules de H<sub>2</sub> et 7 molécules de CO pour 100 molécules d'air soufflé ou 33 molécules de vapeur injectée, et on obtient une pointe de pouvoir calorifique atteignant 930 cal/m<sup>3</sup>. Mais les réactions endothermiques provoquent un refroidissement rapide du chantier : en régime, le taux de décomposition de la vapeur tombe à 35 % ; la teneur du gaz en CO tombe en dessous de la valeur obtenue en marche à l'air. Par rapport à celle-ci, le gain en pouvoir calorifique représente 100 cal/m<sup>3</sup> : il est insuffisant pour compenser l'énergie nécessaire à la production de la vapeur injectée.

\* \* \*

Si, à partir de l'analyse du gaz à l'eau recueilli, on calcule le bilan des matières mises en réaction, on aboutit à une conclusion curieuse. L'oxygène contenu dans le gaz sous forme de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ou CO, et qui ne peut provenir que de l'air soufflé ou de la vapeur d'eau décomposée, est trop abondant si on le compare aux teneurs en N<sub>2</sub> (79 N<sub>2</sub> pour 21 O<sub>2</sub> dans l'air) et en H<sub>2</sub> (1 H<sub>2</sub> pour 1/2 O<sub>2</sub> dans l'eau) du gaz. Ce phénomène, déjà constaté lors de certains essais russes, ainsi qu'à Bois-la-Dame, à Gorgas et au premier essai de Djérada, n'a pas reçu d'explication satisfaisante. Tout se passe comme si le charbon était capable d'absorber de l'oxygène (ou

du CO<sub>2</sub>) pendant les périodes de soufflage à fort débit et de restituer cet oxygène pendant les périodes à faible débit.

Il résulte de cette observation que les calculs du bilan matières ne peuvent être effectués que sur les résultats globaux (à condition qu'il soient suffisamment précis) d'une période assez longue pour qu'on puisse négliger l'action de tout phénomène transitoire.

#### d) Bilan énergétique.

Le gaz étant très humide et souvent très chaud, il n'a pas été possible d'en mesurer le débit avec précision. D'autre part, l'importance des fuites ne peut faire l'objet que d'une estimation grossière. Ces causes, jointes à l'incertitude du bilan matières signalée au paragraphe précédent, rendent encore plus aléatoire le bilan énergétique. On peut estimer qu'en période de fonctionnement régulier (gaz à l'air), les calories contenues dans le gaz à l'état latent représentent environ 50 % de celles du charbon consommé, la chaleur sensible du gaz 10 % et les pertes 40 %.

Au cours de l'essai en couche B, on a consommé en 7 1/2 mois 2.500 t de charbon, soit les 5/6 du panneau préparé, ce qui correspond à un avancement total de 25 m ou 10 cm par jour.

En couche C, on avait brûlé, au 10 mars 1955, les 2/3 des 1200 tonnes disponibles, soit 800 tonnes en 45 jours ou 45 cm par jour. La puissance de la couche étant plus faible et le débit plus élevé que dans le cas précédent, l'avancement a été beaucoup plus rapide.

## 4. — CONCLUSIONS

Les résultats obtenus lors de la seconde campagne d'essais de Djérada confirment assez bien les prévisions établies d'après l'étude du premier essai.

L'établissement en roche des voies d'accès a permis d'améliorer notablement l'étanchéité. Celle-ci sans être parfaite, a permis aux expérimentateurs de rester maîtres du débit traversant le chantier et d'appliquer des pressions de l'ordre de 1,5 kg/cm<sup>2</sup>. Il a été possible de conduire les essais avec une grande souplesse et d'obtenir des résultats reproductibles.

On a produit du gaz combustible d'une part, pendant la phase juvénile de chaque panneau, par soufflage continu d'air préchauffé (400 à 600 cal), d'autre part, après détérioration du contact comburant-charbon, par l'injection de vapeur ou par l'action des venues d'eau naturelles (600 à 900 cal). Ce dernier procédé est cependant déficitaire au point de vue énergétique, la compression de l'air et la production de vapeur exigeant plus de calories que n'en fournit la quantité relativement faible de gaz recueilli.

Le charbon de Djérada étant très pauvre en matières volatiles (5 %), les résultats obtenus peuvent être attribués à peu près intégralement à la

gazéification proprement dite, sans interférence avec la distillation du combustible. Avec du charbon plus riche en matières volatiles, on aurait obtenu des pouvoirs calorifiques nettement supérieurs.

La méthode de gazéification souterraine dite « par courant » semble donc bien donner ses meilleurs résultats dans les gisements en dressant, proches de la surface (Gorlovka - Djérada). Il apparait essentiel, au point de vue de l'étanchéité du chantier, d'opérer dans un terrain vierge de toute influence minière et de réaliser l'accès au panneau par des galeries en roche.

Les panneaux ne doivent pas être trop grands : une taille de 100 m paraît trop longue ; elle présente une résistance trop élevée au courant d'air et, d'autre part, tant que le contact comburant-charbon reste bon, la zone de feu ne peut s'étaler utilement sur une telle longueur. Dans l'autre sens, après une progression du front de taille de l'ordre d'une quinzaine de mètres, la quantité d'air dérivée par la zone brûlée devient trop élevée et le contact comburant-charbon se dégrade. On est donc limité à 1.500 m<sup>2</sup> environ, soit 2.000 tonnes de charbon dans une couche de 1 m.

Le préchauffage de l'air est certainement un élément favorable, mais il n'a pas été possible d'en étudier systématiquement l'influence. La détérioration du calorifugeage des conduites au début de l'essai n'a pas permis de préchauffer l'air aussi fort qu'on l'avait prévu.

La présence de venues naturelles d'eau dans le chantier a été, comme au premier essai, un handicap sérieux.

Le contrôle du déplacement et de l'extension du feu reste un problème non résolu, mais la disposition adoptée (accès en roche et front en fer à cheval) rend la conservation du chantier peu dépendante

de ce problème. Par contre, la dissymétrie des résultats suivant le sens du soufflage montre combien il serait intéressant, au point de vue de la qualité du gaz, de pouvoir localiser exactement les zones à haute température.

\* \* \*

Les essais qui viennent de se terminer à Djérada ont apporté une contribution importante au point de vue technologie de la gazéification. On a rarement, au cours d'essais antérieurs, été capable de diriger d'une façon aussi efficace et aussi souple le comportement du gazogène souterrain.

Il serait cependant prématuré de dire qu'ils ouvrent de nouvelles perspectives au point de vue économique : le faible pouvoir calorifique du gaz, la déconcentration de la production par suite de la limitation de la grandeur des panneaux et de la vitesse d'avancement, les conditions imposées au gisement et le faible taux d'utilisation de celui-ci sont des servitudes graves dont il ne sera pas facile de se libérer.

Dans l'état actuel des choses, aucune des méthodes de gazéification souterraine essayées jusqu'à présent n'est capable de donner des résultats économiquement intéressants. S'il existe un domaine d'application, ce sera sans doute l'exploitation à faible profondeur de couches régulières de charbon à haute teneur en matières volatiles mais très cendreuse, dans des régions peu habitées. Il n'est pas exclu qu'une combinaison des méthodes actuelles (par exemple, sondages reliés électriquement par électro-linking pour préparer sans travaux miniers des panneaux exploités ensuite par la méthode du courant) ne soit un jour applicable à de pareils gisements.