

La gazéification souterraine en U.R.S.S.

par O. de CROMBRUGGHE,

Ingénieur Divisionnaire aux Charbonnages de Winterslag (*)

NOTE LIMINAIRE

Dans le cadre des échanges d'information technique et de spécialistes recommandés par le Groupe de travail spécial des problèmes du gaz de la Commission Economique pour l'Europe, un échange d'ingénieurs a été mis sur pied entre les organisations professionnelles de l'U.R.S.S. et la Belgique au cours des mois de septembre et octobre 1958.

La mission russe se composait de M^{me} E. Krems, M. Basil Tchernovol et M. Bragine, et a séjourné en Belgique du 21 septembre au 1^{er} octobre 1958, tandis que la mission belge a visité la Russie du 10 au 20 octobre. Elle était composée de MM. R.H. Touwaide, chef de mission, J. De Croes et O. de Crombrugge et fut mise sur pied par la Fédération de l'Industrie du Gaz et par l'Institut National de l'Industrie charbonnière.

La mission belge souhaitait se rendre compte de la situation générale de l'industrie du gaz en U.R.S.S. et de ses perspectives, et plus particulièrement du développement actuel de la gazéification souterraine dans ce pays, tant sous l'aspect de la production que de l'utilisation de ce genre de gaz.

Les experts belges ont pu avoir accès à toute la documentation désirable pour accomplir leur mission; ils ont pu visiter sans réserve les installations et les chantiers.

Les entretiens avec les spécialistes russes ont été empreints d'une franchise et d'une cordialité qui ont grandement facilité leur tâche.

Les membres de la mission se plaisent à remercier toutes les personnalités avec lesquelles ils ont eu des contacts, et spécialement M. M. Sidorenko, qui avait tenu à les accueillir et à veiller à ce que toutes les facilités leur soient accordées et qui avait mis à leur disposition pendant toute la durée de leur séjour M. R. Leshiner et M. Vladimir Prjisezki.

Le concours de ces deux personnes a été des plus précieux pour la réussite de la mission, le premier, par son étonnante érudition et ses connaissances techniques et économiques approfondies, le second, grâce à sa parfaite connaissance de la langue française. Qu'ils veuillent bien trouver ici l'expression de la vive reconnaissance des membres de la mission.

R.H.T.

* * *

De commun accord, la Fédération de l'Industrie du Gaz et l'Institut National de l'Industrie Charbonnière ont confié la publication de la première partie du présent rapport à la « Revue Générale du Gaz » et la deuxième partie aux « Annales des Mines de Belgique ».

Des tirés-à-part, réunissant les deux parties, seront disponibles après publication dans les deux revues susdites et pourront être obtenus à la Figaz et à Inichar.

* * *

(*) Mr. de Crombrugge a participé à une mission en U.R.S.S. au double titre de délégué de la S.A. des Charbonnages de Winterslag et de chargé de mission par l'Institut National de l'Industrie Charbonnière.

SAMENVATTING

Sedert 1940 heeft de ondergrondse vergassing in de U.S.S.R. veel vooruitgang gemaakt. Terwijl vóór de oorlog slechts afgezonderde experimenten uitgevoerd werden, werken er nu sedert verschillende jaren piloot-installaties volkomen regelmatig en men staat op het punt installaties op een werkelijk industriële schaal in gang te zetten, waarvan de rendabiliteit verzekerd is.

Met de huidige werkmethodes, die grondig verschillen van de vooroorlogse proeven, wordt de ondergrondse voorbereidingsarbeid volledig uitgeschakeld.

De horizontale bruinkolenlagen, op geringe diepte, worden ontsloten bij middel van een net boringen, met tussenafstanden van 25 tot 35 m. Iedere boring wordt gebruikt eerst voor het inblazen van lucht, en daarna voor het opvangen van het gas.

De hellende steenkoollagen worden uitgebaat bij middel van schuine boringen, die van uit de dagzoom volgens de laag geboord worden. Deze boringen vangen het gas op. De lucht wordt ingeblazen bij middel van andere boringen, die door het nevengeesteente geboord zijn en de laag op een bepaalde diepte aansnijden.

De ondergrondse verbinding tussen de boringen wordt over afstanden van 20 tot 40 m tot stand gebracht door een van de volgende methodes :

- inblazen van perslucht in de laag, terwijl het vuur zich tegen de lekkende luchtstroom heen verplaatst ;
- verwarming van de kolen door een elektrische stroom ;
- doorbreken van de laag bij middel van een zeer hoge waterdruk ;
- horizontaal uitwijken van « gerichte » boringen.

In het bruinkolenbekken van Moskow werkt een vergassingstation regelmatig sedert 12 jaar. Per jaar produceert het 400 miljoen m³ gas met 800 kcal/Nm³. Een ander station wordt in werking gebracht : het zal binnenkort gas leveren voor een gasturbine van 12 MW.

De vergassing van de eigenlijke steenkolen werd in het Donetzbekken beproefd, en zal onmiddellijk een toepassingsgebied vinden in het Kuznetzkbekken (Siberië), waar een piloot-installatie reeds gas levert met 1.000 kcal/Nm³.

Twee industriële stations zijn in bouw. Zij werden ontworpen om jaarlijks 1 tot 2 miljard m³ gas met 800 ... 1.000 kcal/Nm³ te produceren. Verdere ontwerpen voorzien installaties van 10 tot 20 miljard m³ per jaar.

Het geproduceerd gas is hoofdzakelijk bestemd voor de ontwikkeling van elektrische drijfkraft. Het kan echter ook voor industriële ovens, in de onmiddellijke nabijheid van de vergassingstations, gebruikt worden.

De in de U.S.S.R. ontwikkelde werkwijzen zijn toepasselijk op regelmatige, horizontale of hellende afzettingen, op geringe diepte (tot nu toe 200 m) en met een voldoende uitgestrektheid (enkele tientallen km²). Het proces schijnt inderdaad alleen rendabel te kunnen zijn wanneer het op grote schaal toegepast wordt. Bovendien moet men over de grondoppervlakte gedurende 2 tot 3 jaar kunnen beschikken.

RESUME

Depuis 1940, la gazéification souterraine a fait, en U.R.S.S. de grands progrès. Du stade d'essais isolés, avant guerre, on est passé depuis plusieurs années au stade d'installations pilotes en marche régulière, et on est maintenant sur le point de réaliser des installations vraiment industrielles, rentables par elles-mêmes.

Les méthodes actuelles, très différentes des premiers essais, ont éliminé complètement les travaux souterrains pour la préparation des chantiers.

Les gisements horizontaux de lignite, à faible profondeur, sont gazéifiés à partir d'un réseau de sondages distants de 25 m à 35 m, servant successivement à souffler l'air et à recueillir le gaz.

Les gisements pentés de charbon dur sont exploités au moyen de sondages inclinés, forés dans la couche à partir de l'affleurement et destinés à recueillir le gaz, tandis que l'air est soufflé par des sondages forés en roche et recoupant la couche en profondeur.

La liaison souterraine entre les sondages est réalisée sur des distances de 20 à 40 m, soit par filtration d'air comprimé à travers la couche, avec remontée du feu contre le courant d'air, soit par échauffement du charbon au moyen d'un courant électrique, soit par fracturation au moyen d'une pression hydraulique très élevée, soit enfin par des sondages déviés horizontalement.

Dans les lignites du bassin de Moscou, une station fonctionne régulièrement depuis 12 ans. Elle produit par an 400 millions de m³ de gaz à 800 kcal/Nm³. Une autre est en démarrage et alimentera prochainement une turbine à gaz de 12 MW. La gazéification de charbons durs, expérimentée dans le Donetz, trouvera un champ d'application immédiat dans le bassin de Kouznetzk (Sibérie) où une station pilote produit déjà du gaz à 1.000 kcal/Nm³.

Deux stations industrielles sont en construction. Elles sont conçues pour produire par an 1 à 2 milliards de m³ de gaz à 800 ... 1.000 kcal/m³. Des projets existent pour des installations de 10 à 20 milliards de m³/an.

Le gaz produit est destiné en principe à la production de courant électrique. Il peut également servir à la chauffe de fours industriels, à proximité immédiate des stations.

Les techniques utilisées actuellement en U.R.S.S. sont applicables à des gisements réguliers, plats ou pentés, à faible profondeur (actuellement jusqu'à 200 m), et d'une certaine extension (quelques dizaines de km²), car le procédé n'est rentable que s'il est appliqué à grande échelle. Il faut pouvoir disposer de la surface du sol pendant 2 à 3 ans.

TABLE DES MATIERES

0. Généralités	482
1. Technologie	482
10. Evolution depuis 1940	482
11. Gisements horizontaux de lignite	483
110. Principe de la méthode	483
111. Disposition des sondages	484
112. Creusement des sondages	486
113. Timing d'exploitation	486
114. Raccordement des sondages	486
115. Drainage	487
12. Gisements inclinés de charbon	487
120. Principe	487
121. Disposition des sondages	488
122. Creusement des sondages	488
123. Timing d'exploitation	490
124. Raccordement des sondages	490
125. Drainage	490
13. Etablissement des liaisons en couche	491
130. Généralités	491
131. Procédé à l'air - moyenne pression	491
132. Procédé à l'air ou à l'eau - haute pression	491
133. Monitor	492
134. Electro-linking	492
135. Forage dirigé	493
14. Circuits des fluides	494
140. Soufflage	494
141. Aspiration du gaz	495
142. Tuyauteries	495
143. Conditionnement	496
15. Mécanisme des réactions	496
150. Généralités	496
151. Déplacement du feu	496
152. Dynamique de l'écoulement gazeux	497
153. Cinétique des réactions	499
154. Bilan matières	500
155. Bilan thermique	503
156. Essais avec oxygène et vapeur	504

16. Aspects miniers de l'exploitation	506
160. Généralités	506
161. Autopsies de chantiers	506
162. Pourcentage d'utilisation du gisement	507
163. Remblayage	507
164. Affaissements de terrains	508
165. Exploitation de couches superposées	509
166. Récupération du matériel	509
2. Instituts et Stations de gazéification souterraine	510
20. Instituts de Recherches	510
200. Organisation générale	510
201. Institut de recherche fondamentale à Moscou	510
202. Institut de planning à Stalino	510
21. Station de Toula	511
22. Station de Schatskaïa	515
23. Station d'Angren	516
24. Station de Lissitchansk	517
25. Station de Kaminskaïa	520
26. Station de Youzno-Abinskaïa	521
27. Remarques générales	522
3. Aspects économiques	523
30. Généralités	523
300. Base d'information	523
301. Présentation des résultats	523
302. Interprétation des résultats	523
31. Main-d'œuvre	524
310. Effectifs occupés	524
311. Niveau des salaires	524
32. Investissements et amortissements	524
320. Stations existantes	524
321. Stations en construction	525
322. Stations futures	525
323. Amortissements	525
33. Coût de la désulfuration du gaz	526
34. Coût de la suroxygénation de l'air	526
35. Coût des méthodes de préparation des chantiers	526
350. Sondages verticaux	526
351. Sondages inclinés	526
352. Sondages dirigés horizontaux	526
353. Liaison par air à moyenne pression	526
354. Liaison par voie électrique	527
36. Coût de l'énergie consommée	527
37. Coût de production du gaz	527
370. Station de Toula	527
371. Station de Lissitchansk	528
372. Stations en construction ou en projet sur les lignites	528
373. Stations en projet dans le Kuzbass	529
38. Comparaison gazéification souterraine - Exploitation ordinaire	529
380. Station de Toula	529
381. Stations de Schatskaïa et d'Angren	530
382. Stations du Kuzbass	530
39. Utilisation du gaz dans les centrales électriques	530
4. Perspectives de la gazéification souterraine	531
40. Perspectives en U.R.S.S.	531
400. Place de la gazéification souterraine dans l'économie de l'énergie	531

401. Perspectives immédiates	532
402. Prévisions à longue échéance	532
403. Conclusions	533
41. Applicabilité de la gazéification souterraine	533

0. GENERALITES

Après 25 ans d'essais divers, la gazéification souterraine est, en U.R.S.S., en train de passer du stade d'installations pilotes au stade industriel proprement dit.

Six stations de gazéification souterraine sont actuellement en activité ou en cours de construction.

Deux d'entre elles sont des installations expérimentales, déjà anciennes, qui ont permis aux techniciens soviétiques d'acquérir une vaste expérience, dans des conditions très diverses.

Deux autres stations sont des installations industrielles dont l'échelle est encore modeste, mais qui sont appelées à se développer rapidement.

Enfin, deux installations sont en construction et entreront en service dans un avenir rapproché (± 1 an). D'autres stations à plus grande échelle sont à l'état de projet.

Les installations en service actuellement produisent du gaz pauvre (800 à 1.000 kcal/m³) destiné à la production d'énergie électrique ou à la chauffe de fours industriels dans un rayon de quelques kilomètres autour des stations de gazéification. Celles-ci produisent actuellement chacune 600.000 à 1.200.000 m³ de gaz par jour, ce qui correspondrait à une puissance électrique de l'ordre de 7 à 15 MW si le gaz était utilisé intégralement dans des centrales. Cependant, les travaux de construction et d'extension en cours d'exécution doivent porter la puissance de certaines stations à 100 MW.

Des essais se poursuivent, notamment avec de l'air suroxygéné, en vue de l'obtention d'un gaz riche en hydrogène, destiné à la synthèse de l'ammoniaque. On en est cependant encore, dans ce domaine, au stade de la recherche.

1. TECHNOLOGIE

10. Evolution depuis 1940.

Les techniques expérimentées avant la guerre (1932-1940) se divisaient en quatre groupes :

a) *La méthode par chambres* (combustible abattu par les moyens classiques ou ébranlé à l'explosif et entassé sur place dans des chambres souterraines). Cette méthode a été rapidement abandonnée (travaux souterrains importants — fonctionnement irrégulier) (fig. 1).

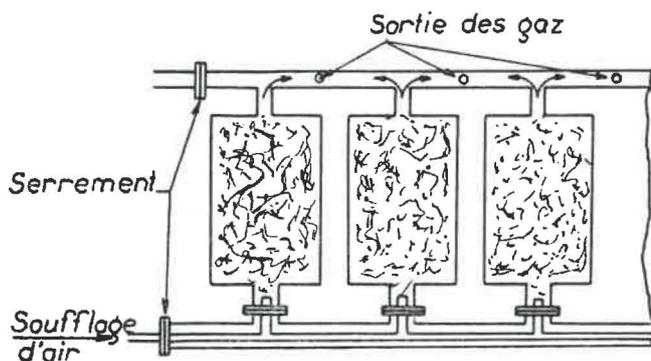
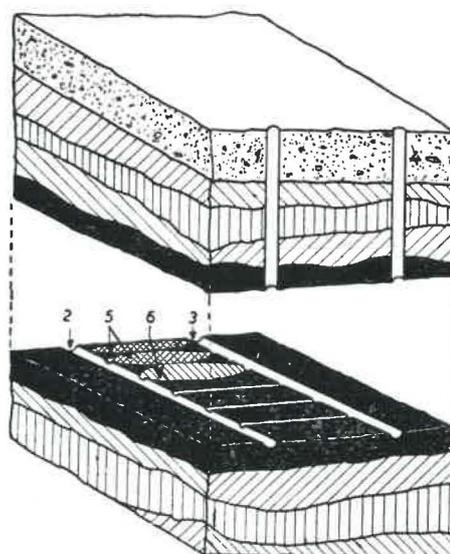


Fig. 1. — Principe de la méthode de gazéification par chambres.

b) *La méthode par trous forés en couche* (trous forés dans la couche parallèlement aux épontes et



- 1. Puits d'entrée d'air
- 2. Galerie d'air
- 3. Galerie de gaz
- 4. Puits de sortie des gaz
- 5. Trous épuisés
- 6. Trou en fonctionnement

Fig. 2. — Principe de la méthode des trous forés en couche.

reliant deux galeries souterraines parallèles). Cette méthode a donné les meilleurs résultats technologi-

ques, mais exigeait trop de travail souterrain et ne se prêtait guère au travail à grande échelle (fig. 2).

c) *La méthode par courant* (l'air contournait un panneau au moyen d'un chenal creusé à la main et l'entamait comme une taille rabattante). Cette méthode paraissait seule capable d'assurer des grandes productions, mais le contrôle de la qualité du gaz était difficile. Elle avait fait en U.R.S.S. l'objet des réalisations les plus poussées et se trouvait à la base de la plupart des essais effectués dans d'autres pays (fig. 3).

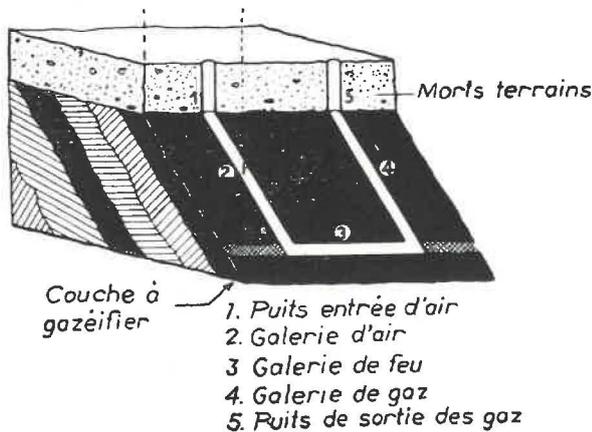


Fig. 3. — Principe de la méthode par courant (taille rabattante).

d) *La méthode par percolation* (l'air traversait la couche entre deux sondages grâce à la porosité du combustible). Cette méthode paraissait limitée à certains combustibles et à des systèmes de faible dimension (fig. 4).

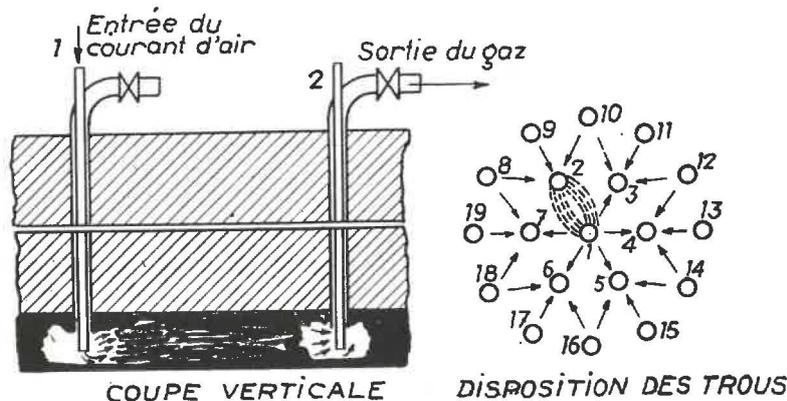


Fig. 4. — Méthode par percolation.

Les techniques actuelles ont profondément évolué par rapport aux précédentes. Elles se caractérisent par l'élimination complète des travaux souterrains, la couche de combustible étant atteinte exclusivement par des sondages forés à partir de la surface.

De la méthode par courant, on a conservé le découpage et la disposition générale rabattante des

panneaux à gazéifier. Les sondages en couche ont été conservés, du moins en charbon dur, pour la collecte du gaz. La méthode par percolation enfin s'est largement développée pour la gazéification du lignite.

A ces éléments anciens, sont venus s'ajouter des éléments nouveaux dont les principaux sont :

- les procédés de liaison en couche entre sondages par courant électrique ou par haute pression (eau ou air comprimé) ;
- les perfectionnements apportés aux méthodes de forage (sondages « dirigés »).

Les méthodes actuelles résultent de la combinaison judicieuse de ces nouveaux éléments avec les anciennes techniques, de façon à adapter le mieux possible le procédé aux caractéristiques du gisement à exploiter : nature du combustible et des terrains encaissants, puissance et inclinaison des couches, humidité du terrain, etc.

En fait, nous pouvons distinguer deux types bien distincts dans les gisements auxquels la gazéification souterraine a été appliquée jusqu'ici :

- 1) couches de lignite, horizontales et relativement puissantes, à des profondeurs de 50 à 150 m ;
- 2) couches de charbon gras, fortement inclinées, de puissance variable, affleurant sous un revêtement peu épais de terrains récents (10 à 40 m).

Nous décrirons séparément les méthodes appliquées à l'un et l'autre cas.

II. Gazéification du lignite en couches horizontales à faible profondeur.

110. Principe.

La méthode décrite ici est applicable à des couches horizontales, d'une puissance de quelques mètres, d'un combustible poreux et riche en cendres

peu fusibles. Elle a été utilisée jusqu'ici à des profondeurs de 50 m environ, mais une installation est en construction sur un gisement situé à 150 m de profondeur.

La couche est atteinte par des sondages forés à partir de la surface et débouchant dans le charbon. Après avoir autant que possible asséché le gisement, on souffle de l'air dans une série de trous (3.000 à 5.000 Nm³/h d'air par trou). Cet air circule dans les fissures ou filtre à travers la couche de lignite incandescent qui brûle ou se gazéfie plus ou moins complètement. On récolte par d'autres son-

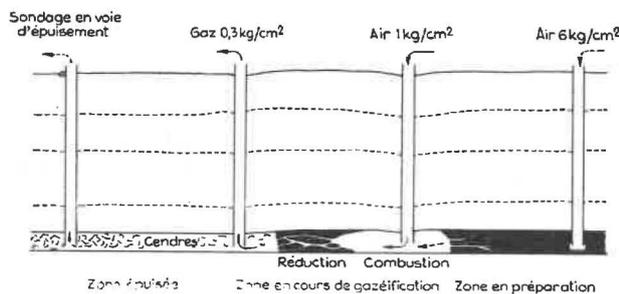


Fig. 5. — Principe de la gazéification souterraine d'une couche horizontale, à faible profondeur (coupe).

dages un gaz à 800 ... 900 kcal/Nm³ dont les éléments combustibles consistent essentiellement en H₂ et CO, le premier étant généralement un peu plus abondant que le second (fig. 5).

111. Disposition des sondages.

Les sondages sont implantés dans le panneau à gazéifier suivant un quadrillage dont les mailles ont 25 à 35 m dans les deux sens. On travaille généralement par lignes de 8 ou 10 trous, soit sur un front de 200 à 300 m correspondant à la largeur du panneau. La longueur de celui-ci n'est limitée que par la régularité du gisement et peut atteindre plusieurs kilomètres.

Normalement, dans ce procédé, le feu progresse vers l'amont du courant d'air. Les trous de captage du gaz se trouvent donc dans la zone brûlée et la zone en combustion se déplace vers la ligne des sondages de soufflage. Quand ceux-ci sont atteints, ils deviennent à leur tour collecteurs de gaz, et l'air est soufflé par une nouvelle ligne de sondages, préparés entretemps dans le gisement vierge (fig. 6).

Pour démarrer un chantier, il faut d'abord allumer la couche et établir la liaison entre les 8 ou 10 trous de la ligne de départ. Les procédés utilisés à cet effet sont décrits au chapitre 13. La jonction étant opérée, on entretient la combustion en soufflant de l'air par exemple dans un trou sur deux et en aspirant par les autres trous le gaz formé. On crée ainsi une zone de réaction étroite (quelques mètres ou fractions de mètres) sur ± 200 m de longueur (fig. 7).

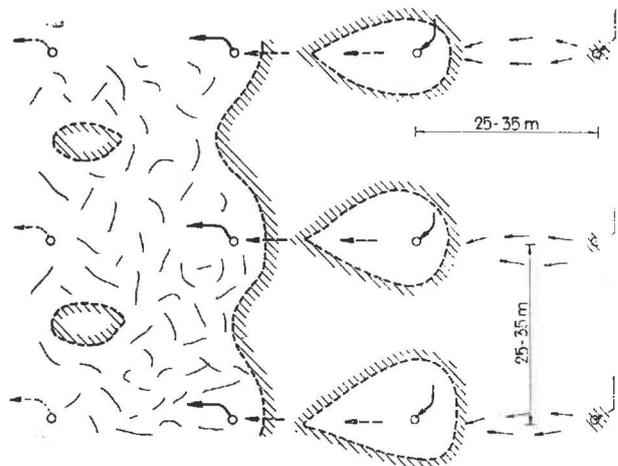


Fig. 6. — Principe de la gazéification d'une couche horizontale. Plan.

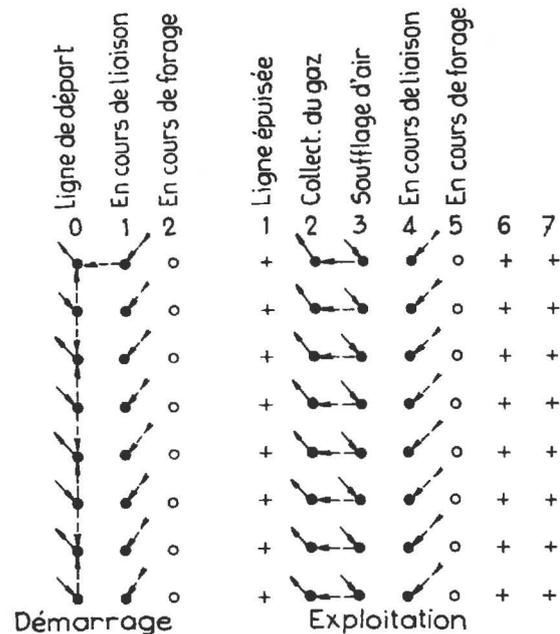


Fig. 7. — Disposition des sondages au cours du démarrage et de l'exploitation d'un panneau.

On creuse alors les sondages de la deuxième ligne et on les relie un à un au système précédent (mêmes procédés de liaison). A partir de ce moment, les nouveaux sondages servent d'entrée d'air, et ceux de la première ligne sont tous raccordés au collecteur de gaz. Les liaisons entre les nouveaux trous et les anciens s'élargissent progressivement, le feu entamant les stots laissés entre elles jusqu'à disparition complète.

On creuse alors une troisième ligne de trous, que l'on relie de la même façon à la seconde. Quand le charbon compris entre les deux premières lignes est épuisé, la troisième ligne devient entrée d'air, la deuxième, collecteur du gaz, et la première est mise hors service, et ainsi de suite.

En principe, les sondages sont creusés verticalement. Cependant, si la couche à gazéifier est épais-

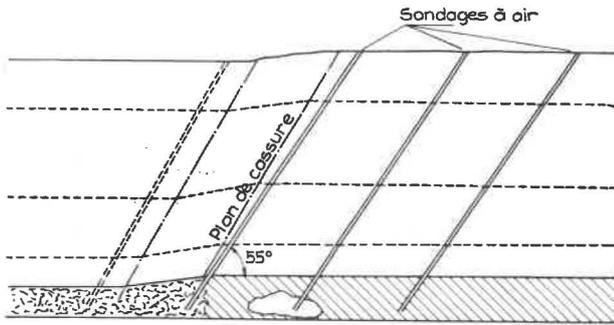
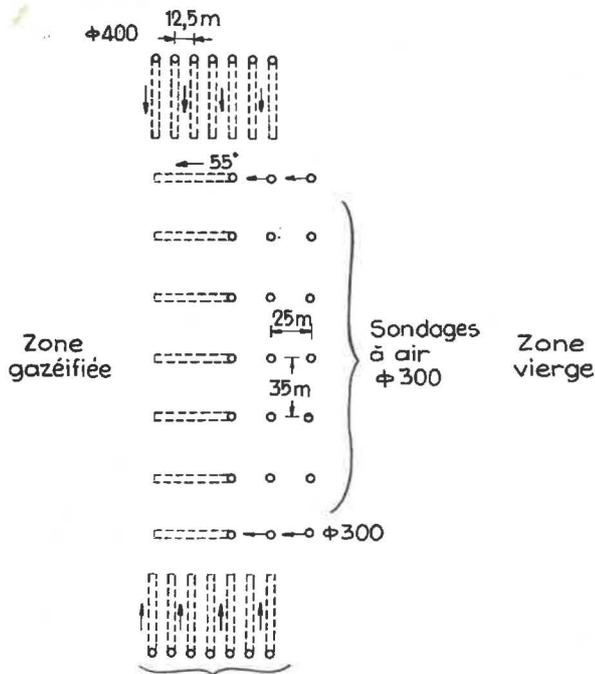


Fig. 8. — Sondages inclinés pour la gazéification d'une couche puissante horizontale (projet d'Angren) (coupe).



Sondages à gaz φ400

Fig. 9. — Couche puissante. Plan.

se, on peut craindre que l'affaissement du terrain consécutif à la gazéification du charbon ne détruise les sondages pendant la première ou la deuxième phase de leur utilisation. Dans ce cas, on les fore avec une inclinaison de 50 à 60°, légèrement inférieure à celle du talus naturel (ou plutôt des plans limites d'influence). Seule, la première ligne est forée verticalement. Les autres sont inclinées, le pied

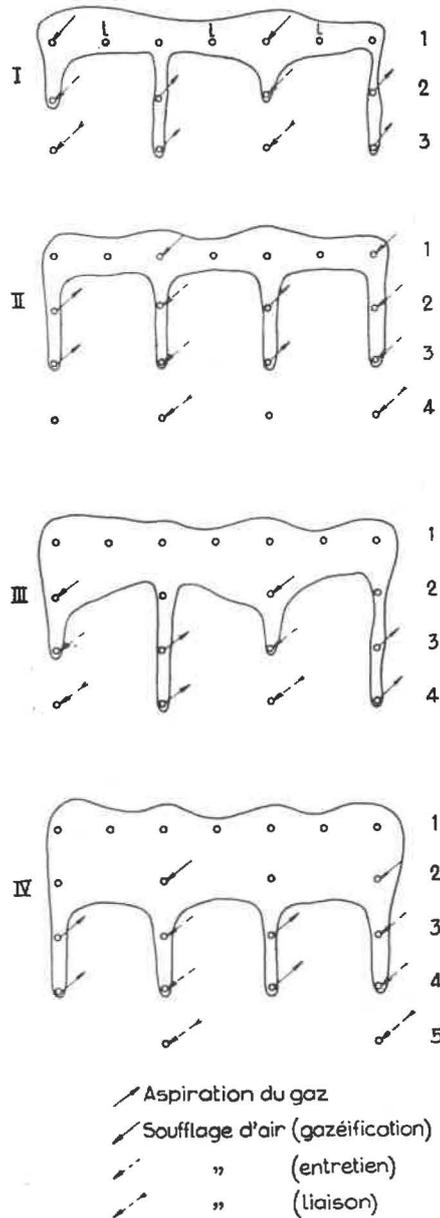


Fig. 11. — Soufflage inversé. Projet de réalisation. (N.B. Les trous 1 ne servent qu'à l'établissement de la liaison de la première ligne).

vers la zone brûlée, de façon à rester en dehors des mouvements de terrains, tout au moins pendant la phase de soufflage d'air. Le gaz est dans ce cas prélevé par les trous situés aux extrémités de chaque

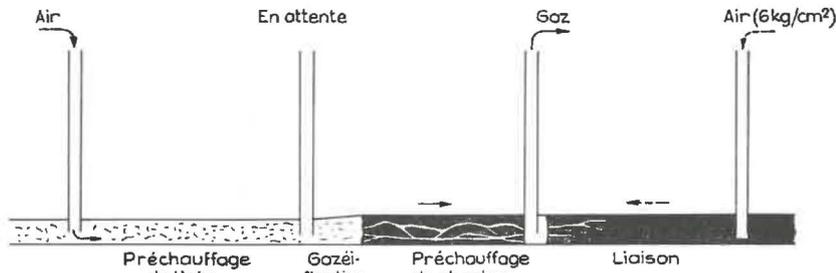


Fig. 10. — Schéma de soufflage inversé. Principe.

ligne, en bordure du panneau. Ces trous ont un diamètre plus grand que les autres. Ils sont inclinés comme eux, le pied vers l'intérieur du panneau (fig. 8 et 9).

D'autres variantes sont possibles. On envisage, par exemple, d'inverser le courant dans une partie des trous, de façon à souffler l'air dans la zone épuisée, et à faire passer le gaz, après réaction, le long du combustible en place, pour le collecter finalement en avant du front, de façon à réaliser le séchage et le préchauffage du combustible, ce qui assure la meilleure utilisation de la chaleur sensible du gaz et des terrains et doit, comme le montrent les essais effectués, améliorer nettement les conditions de la gazéification (fig. 10 et 11).

112. Creusement et tubage des sondages.

Les sondages sont forés suivant les procédés classiques au diamètre de 250 mm. A Toula, où la profondeur est de 50 m et où les terrains sont des sables et des argiles consistants, ils sont exécutés au trépan, à sec, avec évacuation des déblais à la cuiller, ou avec suspension dense.

Une machine creuse de 350 à 500 m de sondages par mois (travail aux 3 postes), tubage, cimentage et temps morts compris.

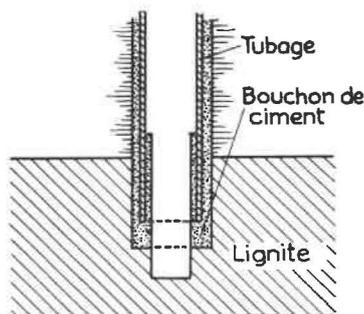


Fig. 12. — Pied de sondage.

Les sondages sont arrêtés après avoir traversé les 2/3 de l'épaisseur de la couche. On y descend alors un tubage de 200 mm \varnothing et on y verse un lait de ciment qu'on fait remonter, en le mettant sous pression, entre le tubage et le terrain, jusqu'à ce qu'il apparaisse à la surface. Le tubage est ainsi scellé sur toute sa longueur. Après cette opération, on refore l'extrémité du sondage à travers le bouchon de ciment pour mettre à nu le combustible (fig. 12).

113. Timing d'exploitation.

La vitesse de progression du feu est de l'ordre de 0,60 m par jour dans une couche de 3 m de puissance. Il faut environ 6 semaines pour gazéifier la zone comprise entre deux lignes de sondages. Cette période correspond donc aussi au temps pendant lequel un sondage sert d'entrée d'air ou de sortie de gaz. La liaison d'un sondage à un système en feu,

distant de 25 m, demande environ 6 semaines par la méthode de l'air à moyenne pression, utilisée ordinairement. La durée d'utilisation totale d'un sondage est donc de l'ordre de 18 semaines (6 semaines pour établir la liaison, 6 semaines comme sondage à air et 6 semaines comme sondage à gaz), et il faut en forer et équiper 8 toutes les six semaines. Ce sont d'ailleurs le forage et la liaison des sondages qui, au dire des exploitants, constituent leur souci principal, la gazéification elle-même ne comportant guère d'aléas pour autant que la teneur en cendres de la couche reste normale.

Les temps cités ci-dessus sont des ordres de grandeur pour une couche de 2 à 3 m de puissance : le débit par trou restant constant, la vitesse d'avancement serait d'autant plus faible que la couche est plus puissante, et la durée de vie des sondages serait prolongée d'autant.

L'épuisement d'une partie de panneau est indiqué d'abord :

- par la quantité totale d'air consommé, qui est contrôlée en permanence ;
- par la détérioration du gaz : des échantillons sont prélevés chaque jour à chaque sondage (ce qui est facile, puisqu'ils sont en surpression) et l'évolution des analyses indique s'il y a lieu de fermer ou non (apparition d'oxygène non utilisé) ; et enfin
- par les affaissements de terrain en surface, qui sont observés soigneusement.

Comme chaque sondage peut, indépendamment de ses voisins, être ouvert ou fermé, et raccordé aux tuyauteries de gaz ou d'air, la conduite des opérations est très souple.

114. Raccordement de sondages.

Les collecteurs généraux d'air et de gaz longent côte à côte le grand côté du panneau en cours de gazéification, parallèlement à la direction de l'avancement (fig. 13). Les collecteurs de chantier se rac-

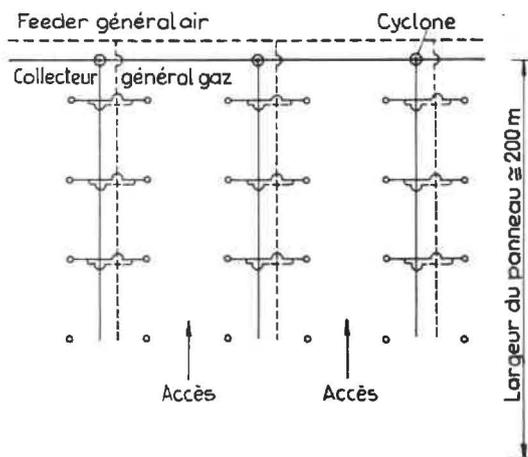


Fig. 13. — Disposition des tuyauteries le long d'un panneau (couche horizontale).

cordent perpendiculairement aux précédents dans l'intervalle entre les files de sondages, mais n'occupent qu'un intervalle sur deux et servent successivement aux deux files de sondages adjacentes. L'intervalle libre de tuyauteries facilite considérablement l'accès aux différentes parties de l'installation (fig. 13).

Chaque sondage peut être raccordé facilement, indépendamment de ses voisins, au collecteur d'air ou de gaz le plus proche (fig. 14). Le raccordement

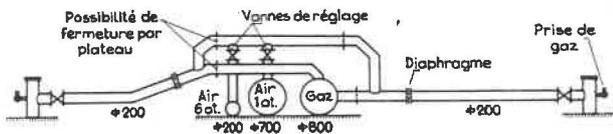


Fig. 14. — Raccordement des sondages.

est muni d'une vanne de réglage et d'un diaphragme de mesure. Celui-ci est relié à un poste de mesure déplaçable, contenant les appareils enregistreurs de débit et de température. Ces indications peuvent être transmises automatiquement à la station centrale (distante de plusieurs km) au moyen d'impulsions électriques de durée variable.

Lorsqu'une file de sondages a fini de servir, les conduites de l'embranchement correspondant sont découpées au chalumeau et ripées par des tracteurs en sections de ± 100 m jusqu'à leur nouvel emplacement où elles sont resoudées.

115. Drainage.

L'assèchement du gisement est une grosse préoccupation du staff des stations de gazéification souterraine. Les couches exploitées sont en effet très humides, et généralement surmontées d'un ou plusieurs niveaux aquifères. Le temps nécessaire au séchage de la couche retarde les opérations de liaison entre sondages, et les venues d'eau peuvent compromettre la gazéification, en particulier dans sa phase

initiale. Si on veut mettre en veilleuse une partie d'un chantier, il est nécessaire d'y maintenir une pression d'air suffisante pour empêcher l'eau d'envahir le système.

L'assèchement du gisement avant et pendant la gazéification constitue donc un élément important de l'exploitation. Il se fait au moyen de sondages supplémentaires de 300 mm \varnothing formant un réseau à mailles carrées de 100 à 200 m de côté. Dans ces sondages, on place des pompes centrifuges à axe vertical du type classique. S'il y a plusieurs niveaux aquifères et si le gisement est profond, on assèche en plusieurs étapes, en épuisant le niveau supérieur complètement avant de s'attaquer aux niveaux inférieurs. Cette façon d'échelonner les opérations limite la quantité d'eau à extraire à grande profondeur et diminue la consommation d'énergie.

Les sondages d'épuisement sont éventuellement scellés pendant la gazéification, pour éviter les fuites d'air ou de gaz.

12. Gazéification du charbon en couches inclinées à proximité de l'affleurement.

120. Principe.

La présente méthode est appliquée à des couches de charbon dont l'inclinaison varie, dans les stations existantes, de 37° à 50° , mais il ne semble pas y avoir de difficulté à exploiter des couches à pendage encore plus raide. Il faut, par contre, que cette pente soit constante, pour l'ensemble du panneau, ou ne varie que lentement.

On gazéifie des panneaux rectangulaires s'étendant parallèlement à l'affleurement, entre une limite supérieure constituée par les terrains de recouvrement ou le Houiller altéré au contact de ceux-ci, et un chenal horizontal, tracé dans la couche à une profondeur de l'ordre de 200 m par une des méthodes décrites au paragraphe 13 (fig. 15).

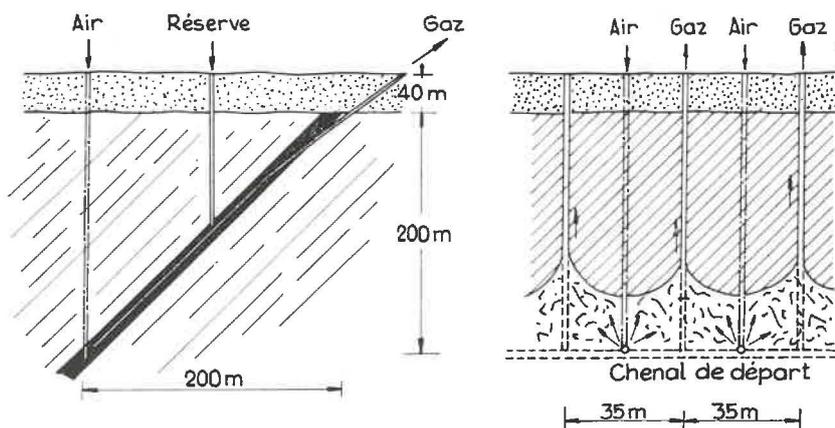


Fig. 15 et 15 bis. — Principe de la gazéification de couches inclinées.

L'air est soufflé par une série de trous forés en roche et débouchant dans le chenal. Le gaz est récolté par des trous forés en charbon à partir de la surface en suivant la plus grande pente de la couche jusqu'au chenal. Le feu progresse à partir de celui-ci vers l'affleurement en élargissant progressivement les sondages inclinés et en entamant les stots de charbon compris entre eux.

121. Disposition des sondages.

Les sondages d'entrée d'air sont alignés, parallèlement à la direction de la couche, à des intervalles variant de 20 à 50 m. Normalement, ils sont forés verticalement, à travers les terrains recouvrant la couche. Cependant, si celle-ci est puissante, il y a lieu de craindre la détérioration, par suite des mouvements de terrain, des trous forés au toit. On les creuse alors de préférence dans le mur, avec une pente un peu moins forte que celle de la stratification, de façon à venir recouper la couche à la profondeur souhaitée (fig. 16).

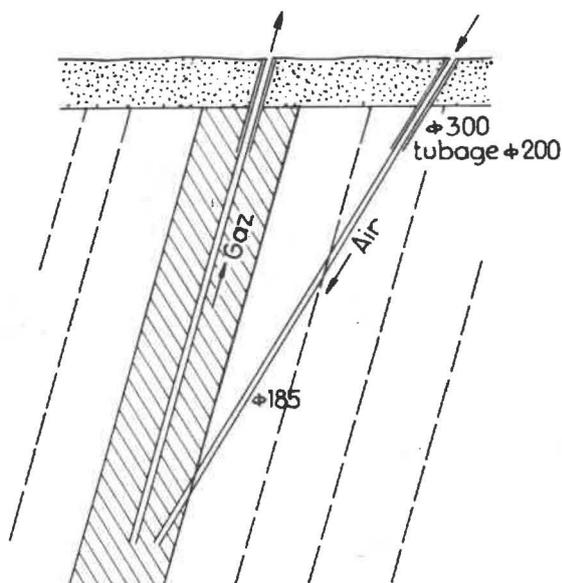


Fig. 16. — Gazéification de couches inclinées de forte puissance. Sondages à air au mur de la couche.

Les sondages à gaz sont forés au milieu de l'intervalle séparant les sondages à air. Généralement, on les arrête quelques mètres avant leur profondeur définitive, et on n'achève le creusement qu'après l'établissement du chenal entre les sondages à air.

Parfois, on creuse des sondages verticaux supplémentaires à mi-hauteur du panneau. Ces sondages recoupent les sondages à gaz et servent de réserve : en cas d'obstruction ou d'incident, ils peuvent servir, soit d'entrée d'air, soit d'évacuation des gaz et permettent éventuellement d'exploiter un panneau en deux tranches.

Un panneau complet comporte une dizaine de couples de sondages et s'étend sur 300 à 500 m en

suivant la direction de la couche. Tous les couples fonctionnent en parallèle, et le front de feu, plus ou moins festonné par la présence des sondages à gaz, remonte progressivement vers la surface jusqu'à la limite supérieure du panneau.

122. Creusement et tubage des sondages.

Le creusement de sondages verticaux ne pose pas de problèmes, mais celui des sondages inclinés demande une technique toute spéciale.

En général, la partie des sondages qui se trouve en roche est forée à petit diamètre, puis réalisée à 300 mm et munie d'un tubage de 200 mm scellé au ciment sur toute sa longueur. La partie creusée en charbon est forée à travers ce tubage à un diamètre légèrement inférieur à 200 mm (taillants de 180 mm \varnothing).

Ces sondages étaient jusqu'ici creusés avec des sondeuses Crælius, montées sur un chevalement incliné donnant à la machine la pente voulue. Le forage se fait avec circulation d'eau dense (émulsion d'argile) et l'outil est un tricône ou un tube carottier muni de plaquettes en métal dur.

Différents procédés permettent, avec ce matériel classique, d'obtenir à volonté des déviations du trou de sonde.

On a d'abord remarqué que les trous inclinés avaient tendance, sous l'influence du poids de l'outil, à s'incurver vers le bas. Cette tendance varie avec la vitesse de rotation et la poussée exercée sur l'outil et, en étudiant la relation entre ces facteurs et la courbure du trou, on arrive à régler cette dernière dans une certaine mesure.

Une autre méthode consiste à forer au fond du sondage un avant-trou à diamètre plus faible, au moyen d'un outil étagé. Si on introduit ensuite dans cet avant-trou un carottier du diamètre correspondant, les tiges portant celui-ci sont en porte-à-faux sur une certaine longueur, et la courbure qu'elles prennent sous leur propre poids modifie l'orienta-

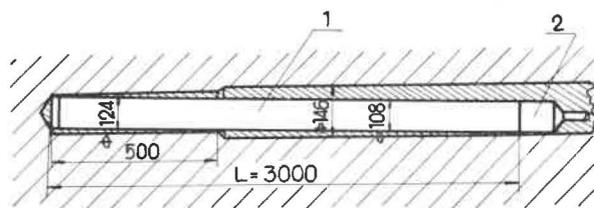


Fig. 17. — Déviation d'un sondage. 1. tube carottier ; 2. pièce de fixation. Le carottier s'engage dans l'avant-trou formé au moyen d'un outil étagé.

tion du carottier et provoque une déviation du sondage vers le haut (fig. 17). On peut même insérer une articulation entre le carottier et le train de tiges.

Ces procédés sont assez lents, surtout à cause du montage et du démontage des tiges nécessaires

à chaque manœuvre. Pratiquement, on fore 80 à 90 m par mois avec une machine.

Depuis peu de temps, on se sert d'une foreuse électrique utilisée depuis longtemps pour les forages de pétrole. La machine entière, y compris le moteur, pénètre jusqu'au fond du forage, au bout d'un train de tiges qui reste fixe. L'appareil comporte un taillant tricône ou un tube carottier de 296 mm Ø, entraîné à la vitesse de 540 tr/min par un moteur électrique à cage de 28 kW, de construction spéciale, logé dans un tube de 3 m de longueur. Ce tube est relié lui-même aux tiges par un élément qui peut être droit, ou au contraire angulaire si l'on

sont accouplées par manchons à filets coniques. Les conducteurs sont reliés par des emboîtements coniques allongés en caoutchouc durci, montés aux extrémités des tiges, et portant sur leurs parties mâle et femelle trois bagues concentriques pour le passage du courant. Ce système de jonction donne satisfaction tant que les manchons sont en bon état (fig. 19).

Le courant est amené à la tête du train de tiges, sous 440 V, par une boîte à bagues permettant la rotation de la tige pour le vissage des manchons. La protection électrique est assurée par un relais électromagnétique.

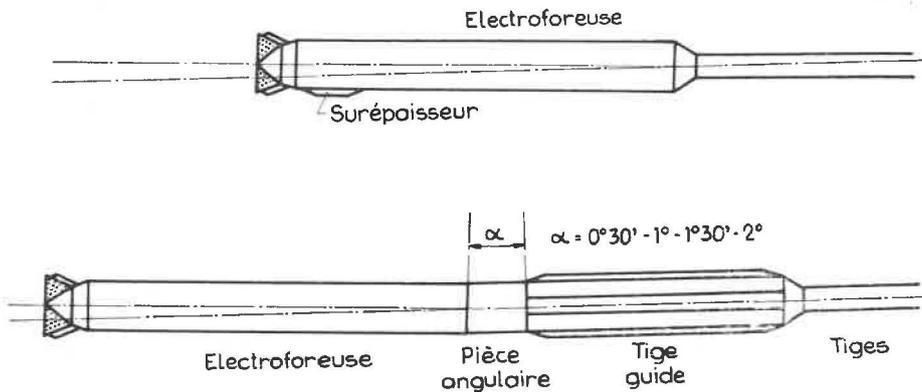


Fig. 18. — Principe de la déviation d'un sondage au moyen de l'électroforeuse.

veut imposer à l'appareil de forage une certaine déviation (1/2 - 1 - 1 1/2 ou 2°) (fig. 18).

Les tiges cylindriques sont creuses. Les conducteurs d'alimentation de l'« électroforeuse » se trouvent dans l'axe des tiges, la suspension dense circulant dans l'espace annulaire restant. Les tiges

Des éléments munis de surépaisseurs peuvent être intercalés pour centrer exactement l'appareil dans le trou, ou au contraire, pour lui imposer une certaine déviation : comme le train de tiges et l'enveloppe du moteur sont immobiles, il est facile d'imposer une modification de direction au moyen d'éléments dissymétriques d'orientation déterminée. On peut réaliser des rayons de courbure de 200 m (fig. 18).

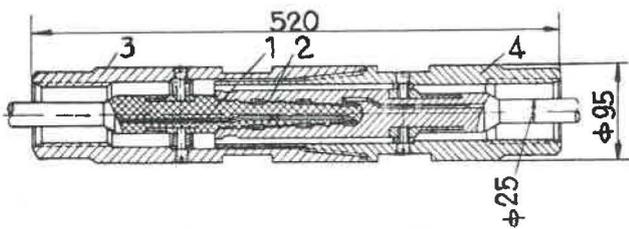


Fig. 19. — Accouplement des tiges de l'électroforeuse. 1 et 2 : cônes intérieurs mâle et femelle en caoutchouc durci portant les bagues conductrices. 3 et 4 : cônes extérieurs filetés.

Un autre modèle d'électroforeuse pour des trous de 200 mm Ø va bientôt être mis en service (fig. 20). Il est équipé d'un moteur de 9 kW et un réducteur à planétaires est intercalé entre le moteur et l'outil de forage (alors que l'appareil de 300 mm Ø serait à entraînement direct d'après ce qu'on nous a affirmé). Ces appareils permettent des avancements de 3 à 10 m/h.

Pour réaliser les sondages en couche (sondages à gaz) sous un recouvrement de 40 m de morts-

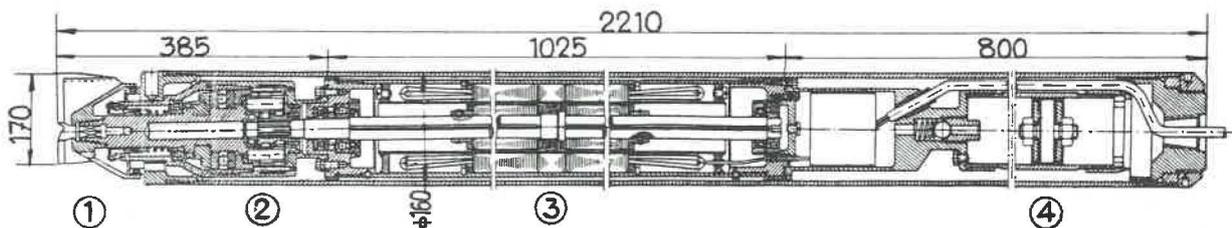


Fig. 20. — Electroforeuse. — 1. fraise ; 2. réducteur à planétaires ; 3. moteur électrique ; 4. cylindre d'équilibre, maintenant la pression d'air à l'intérieur de l'appareil égale à la pression d'eau extérieure.

terrains, on se place un peu en dessous du prolongement de la couche (repérée soigneusement au préalable par des sondages verticaux) et on fore à travers les bancs du mur avec une inclinaison un peu inférieure à celle de la stratification. On recoupe donc la veine par le mur sous un angle très faible et la sonde la suit un certain temps. Quand on en sort, on effectue un carottage pour déterminer l'angle exact que fait l'axe du sondage avec la couche, puis on bouche le fond du trou avec du ciment, et on reprend le forage en le faisant dévier vers le bas. Le travail se poursuit de la sorte par un mouvement de lacet entre toit et mur de la couche.

Les sondages inclinés en roche (partie supérieure des sondages à gaz ou sondages à air creusés au mur de la couche) doivent donc être dirigés avec précision pour recouper la veine au point prévu. On interrompt le forage tous les 5 ou 10 m pour exécuter un carottage ou un relevé au téléclinomètre. Ce dernier appareil permet de relever d'une façon continue les pentes et azimuths d'un sondage, la mesure étant provoquée par une impulsion électrique émise de la surface et enregistrée sur des appareils récepteurs situés à côté de l'émetteur. L'appareil de mesure est contenu dans un tube en bronze placé à l'intérieur d'un support épousant la forme du sondage.

Le tube contient une boussole magnétique, avec suspension à la Cardan, pour la mesure des azimuths, et un pendule (dont les mouvements sont amplifiés par des engrenages miniatures) pour la mesure des inclinaisons. L'ensemble pivote autour de son axe, grâce à des roulements à billes, de façon que le pendule indique toujours la plus grande pente, même en cas de rotation des tiges ou de déviation du trou hors du plan vertical. L'appareil est monté au bout du train de tiges, à la place de l'électroforeuse, et permet de faire autant de mesures que l'on veut entre la surface et le fond du sondage. Les indications sont transmises à la surface par un émetteur à fréquences porteuses, utilisant les trois conducteurs d'alimentation du moteur de forage.

123. Timing d'exploitation.

La durée d'utilisation des sondages est dans ce cas-ci beaucoup plus longue que dans la méthode par trous verticaux, puisque 10 sondages à air et 10 sondages à gaz doivent en principe suffire à gazéifier un panneau de 380 m de longueur et 125 à 250 m de hauteur. Ils sont d'ailleurs généralement creusés dans des terrains plus consistants que les précédents. Par contre, ils sont plus difficiles à creuser et les aléas sont plus grands.

Un panneau de 380 m de longueur et 125 m de hauteur utile dans une couche de 0,80 m de puissance contient 50.000 tonnes de charbon et, à rai-

son de 300 tonnes par jour, fournira 30.000 m³ de gaz à l'heure pendant 5 à 6 mois. Pour le préparer, il faudra forer environ 2.200 m de sondages inclinés (à gaz) et 1.500 m de trous verticaux (à air). Il faudrait quatre sondeuses Craelius pour forer les sondages à gaz sur la durée de vie du panneau à remplacer. Par contre, un seul appareil capable des performances que l'on attribue à l'électroforeuse viendrait facilement à bout de tout le travail (sondages à air et à gaz), même en tenant compte des aléas qu'il comporte (bien entendu, il faudrait deux appareils à utiliser alternativement, l'un à grand, l'autre à petit diamètre).

124. Raccordement des sondages.

Comme les sondages d'entrée d'air, d'une part, et ceux de captage du gaz, d'autre part, sont tous alignés, il suffit d'un distributeur d'air et d'un collecteur de gaz courant parallèlement à la direction des couches. Chaque sondage restant relié à la même conduite pendant toute la durée de son utilisation, le raccordement est très simple. Les différents chantiers seront alignés les uns derrière les autres si on n'exploite qu'une seule couche, ou parallèlement les uns aux autres si on exploite plusieurs couches simultanément.

Comme en général, les gaz sont plus chauds que pour la méthode des trous verticaux (400 à 500° C), des pulvérisateurs d'eau sont prévus à la tête des sondages. Des compensateurs de dilatation de construction sommaire sont insérés dans les raccordements des sondages à la conduite collectrice. Des vannes permettent d'isoler chaque trou et de le laisser éventuellement débiter à l'air libre (fig. 21).

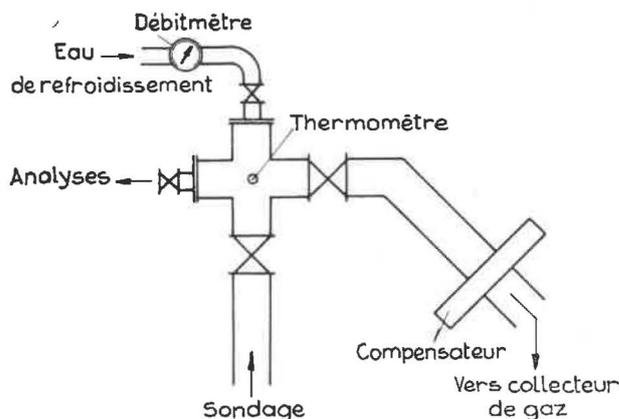
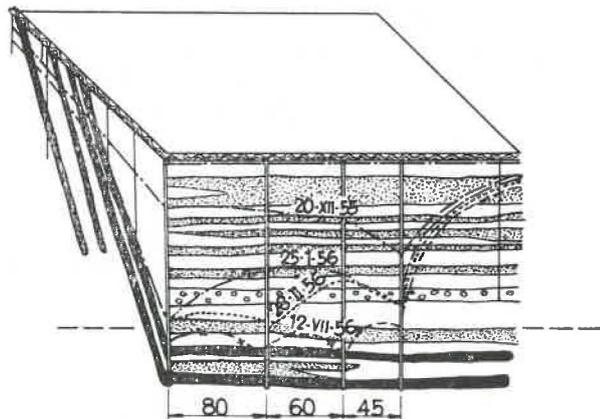


Fig. 21. — Raccordement d'un sondage à gaz (couches inclinées).

125. Drainage.

Le drainage du chantier est effectué au moyen de sondages verticaux, implantés à proximité du chemin horizontal de départ, ou à l'aval pendage du panneau. Les joints de stratification, s'ouvrant sous



Rabattement de la nappe aquifère
 ~~~~~ Terre arable  
 [stipulé] Alévolite  
 [stipulé avec points] Alévolite calcaireuse  
 [blanc] Argillite  
 [noir] Charbon  
 - - - Niveau du chenal de gazéification à établir

Fig. 22. — Rabattement de la nappe aquifère par étapes successives (Yuzno-Abinskaïa).

l'action de la chaleur, collectent efficacement l'eau, qui se rassemble au point bas du chantier (fig. 22).

On a intérêt à relier directement les sondages de drainage au chenal de gazéification. Ceci s'effectue par une des méthodes développées au chapitre 13 : on crée un petit système de gazéification entre le sondage de drainage et le système principal. Il faut bien entendu, dans ce cas, sceller le sondage de drainage pendant le fonctionnement du gazogène souterrain.

### 13. Etablissement des liaisons en couche.

#### 130. Généralités.

Les premiers essais de gazéification souterraine ont été faits sur des chantiers préparés entièrement à la main par les méthodes minières habituelles. Il est cependant évident que la servitude du travail souterrain inhérent à cette préparation ôtait à la nouvelle méthode une grande partie de son attrait du point de vue humain et économique. Aussi la méthode de percolation, malgré son domaine d'application apparemment limité, a-t-elle très tôt retenu l'attention des chercheurs soviétiques qui, en s'y attachant avec opiniâtreté, en ont fait une technique bien au point pour la gazéification des lignites.

En ce qui concerne les charbons durs, le problème était plus difficile et, jusqu'à l'année dernière, le canal horizontal à la base des panneaux était encore creusé à la main.

Les nouvelles techniques de liaison par haute pression ou par courant électrique ont cependant permis de résoudre le problème même en charbon

dur, et de réduire substantiellement le temps nécessaire pour les liaisons à établir en lignite.

Enfin, le forage dirigé, quoique jusqu'ici encore trop lent, ouvrira de nouvelles possibilités avec le perfectionnement des électroforeuses et des téléclinomètres.

#### 131. Liaison entre sondages par air à moyenne pression.

La technique la mieux établie actuellement est la liaison par air à moyenne pression (6 kg/cm<sup>2</sup>). Elle est employée couramment pour la gazéification du lignite, aussi bien pour réaliser la jonction entre les sondages de la ligne de départ que pour relier un nouveau sondage à un système en activité.

Dans le premier cas (liaison à froid entre deux sondages) on envoie de l'air sous pression de 6 atm dans un des sondages. Cet air filtre à travers le terrain, en refoulant l'eau qui l'imbibe et en le séchant. Quand l'air commence à s'échapper dans le second sondage, on y verse du coke incandescent. Le feu ainsi amorcé a tendance à remonter vers l'amont du courant d'air filtrant à faible vitesse à travers le combustible. Cette remontée se fait à raison de 0,6 à 0,7 m par jour environ (fig. 5).

La chaleur dégagée provoque le séchage, la fissuration et une certaine distillation du charbon, d'où résulte une augmentation de la perméabilité. Lorsque le feu atteint le sondage d'origine, la communication s'établit et on ramène la pression à 2 atm.

La liaison de deux sondages distants de 25 m demande environ 6 semaines.

S'il s'agit de relier un sondage à un système en activité, on souffle de la même manière du sondage froid vers la zone chaude : l'opération est plus facile, car le combustible est rendu plus sec et perméable par la proximité de la zone en feu.

Ce procédé est simple et sûr : il réussit, nous a-t-on assuré, dans 100 % des cas, et est applicable jusqu'à des distances de 40 m (c'est le débit de gaz par trou, et non l'établissement de la liaison, qui limite la distance entre trous). Il est relativement lent, mais, par suite de cette lenteur même, il permet d'emmagasiner dans la couche une quantité de chaleur importante qui assure un bon départ de la gazéification, et permet même de laisser le système quelque temps en veilleuse (avec un débit d'air réduit) sans trop de risques d'extinction par les venues d'eau inévitables.

Il consomme de 10.000 à 25.000 m<sup>3</sup> d'air par m de chenal à créer, et l'énergie de compression de cet air représente 1.500 à 2.500 kWh par mètre.

#### 132. Liaison haute-pression.

Pour rendre la méthode plus rapide, on a augmenté la pression d'air comprimé (par exemple 60 à 80 atm). Comme en Angleterre, on a constaté

une brusque augmentation de perméabilité lorsque la pression devient égale au poids du terrain recouvrant la couche (fig. 23). Il est possible, dans ces

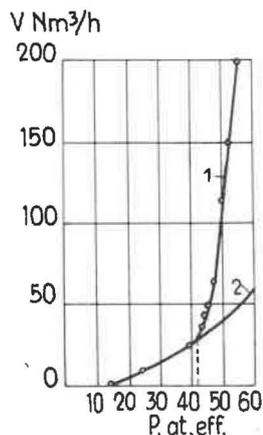


Fig. 23. — Liaison par air à haute pression à la profondeur de 150 m (station de Lissitchansk).

Courbe 1: relation expérimentale entre pression et débit d'air.  
Courbe 2: relation théorique, à perméabilité constante.

conditions, d'établir une liaison sans l'action du feu et indépendamment de la perméabilité du combustible. Le procédé est beaucoup plus rapide que celui à moyenne pression et on peut réaliser la liaison entre sondages à raison de 3 à 4 m par jour.

A Lissitchansk, en charbon dur, on a obtenu les résultats suivants (tableau I) :

TABLEAU I.

| Distance moyenne entre sondages (m) | Pression d'air (atm) | Vitesse de liaison (m/jour) | Energie de compression (kWh/m) |
|-------------------------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 13,8                                | 10*                  | 0,57                        | —                              |
| 14,7                                | 16                   | 0,91                        | 1.030                          |
| 11,6                                | 55                   | 2,29                        | 515                            |
| 20,0                                | 61                   | 4,00                        | 980                            |

\* Air suroxygéné (25 à 35 % O<sub>2</sub>).

A Yuzno-Abinskaïa, des résultats analogues ont été obtenus, mais avec des pressions plus faibles (20 à 30 atm), la couche étant plus épaisse et plus perméable.

Le procédé présente cependant un inconvénient sérieux. Au début de l'injection d'air dans la couche, il se produit une certaine oxydation du charbon, ou, à plus forte raison du lignite. De ce fait, l'air parvenant au sondage de sortie se trouve parfois partiellement ou totalement désoxygéné, et devient impropre à entretenir la combustion du coke que l'on place dans ce sondage (fig. 24). Ce phénomène est d'autant plus marqué que la pression est plus élevée. Il peut même y avoir auto-inflammation du combustible dans le sondage d'entrée : dans ce

cas, il devient très difficile d'établir la liaison : la gazéification se produit d'une façon diffuse autour du sondage à air, mais il ne se forme pas de chenaux vers les sondages à gaz, faute de comburant.

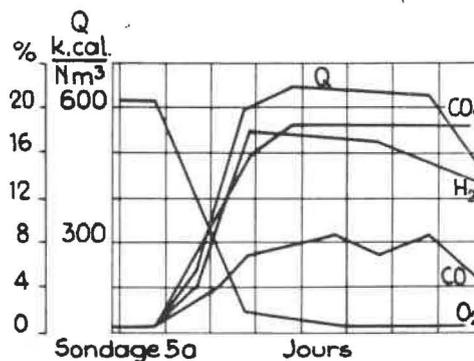


Fig. 24. — Liaison par air à haute pression. Auto-inflammation de la couche : évolution de la composition du gaz recueilli par un sondage situé à 5 m du sondage de soufflage.

A ce point de vue, il est plus avantageux d'utiliser de l'eau à la place d'air (par exemple à 100 kg/cm<sup>2</sup>). L'énergie de compression et les fuites sont plus faibles, et la vitesse de liaison atteint 20 à 30 m par jour.

Dans ce dernier cas, il est nécessaire d'épuiser l'eau du sondage vers lequel on se dirige ; une fois la liaison effectuée, il faut souffler de l'air à 15 ... 20 kg/cm<sup>2</sup> pour assécher le système. L'allumage se fait ensuite avec un brûleur descendu au fond du trou.

Ce procédé semble très intéressant pour les liaisons à établir en charbon dur. Les premiers essais sont prometteurs.

### 133. Liaison hydraulique par monitor.

Des essais ont également été faits avec un jet d'eau à grande vitesse dirigé vers la paroi du trou de sonde. On aurait pu ainsi créer une cavité de 12 m de profondeur. Ces essais semblent abandonnés.

### 134. Liaison électrique.

La chaleur nécessaire pour fissurer le combustible et le rendre perméable peut être produite électriquement au lieu de l'être par combustion. C'est le principe de l'électro-linking étudié simultanément aux U.S.A. et en U.R.S.S.

Dans les deux sondages à relier, on descend des électrodes constituées d'un tuyau de 75 mm Ø, assemblé par longueurs de 5 m, sur lesquelles sont enfilés des éléments isolants (un par longueur) en porcelaine. La partie inférieure du tuyau s'enfonce dans le lignite de la couche, ou dans du coke assurant le contact avec le charbon.

On applique à ces électrodes une tension alternative, réglable en vingt échelons de 0 à 2.000 ou

3.000 V. La résistance initiale est de l'ordre de quelques dizaines d'ohms et le courant initial de quelques dizaines d'ampères sous la tension maximum.

Sous l'action de ce courant, le combustible s'échauffe jusque 100 ... 200° C et sèche. Sa résistivité, après une légère diminution due à la mobilité plus grande de l'eau qui l'imprègne et à l'augmentation de la solubilité des électrolytes, devient brusquement très grande à partir du moment où le charbon est sec. Ce fait oblige les lignes de courant à s'épanouir et à préchauffer et sécher un massif relativement important avant que la température puisse s'élever localement plus haut (fig. 25).

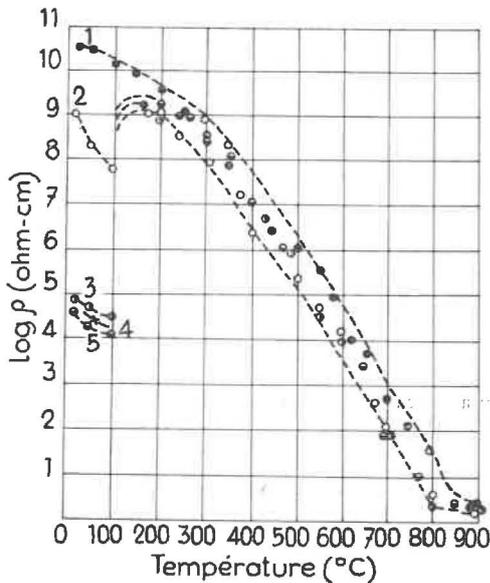


Fig. 25. — Evolution de la résistivité du lignite en fonction de l'humidité et de la température (diagramme logarithmique). - Humidité originelle: 1: 0 %, 2: 0,73 %, 3: 5,8 %, 4: 8,23 %, 5: 15,3 %. - Au-dessus de 200°, l'humidité est évaporée et tous les échantillons se comportent de la même façon.

Après cette phase initiale, la température de la zone séchée commence à monter. Dès que l'élévation de température a provoqué un début de cokéfaction en un point, la résistivité diminue fortement : le courant a tendance à se concentrer le long des zones où cette cokéfaction s'est amorcée et il naît ainsi des passages privilégiés qui sont rapide-

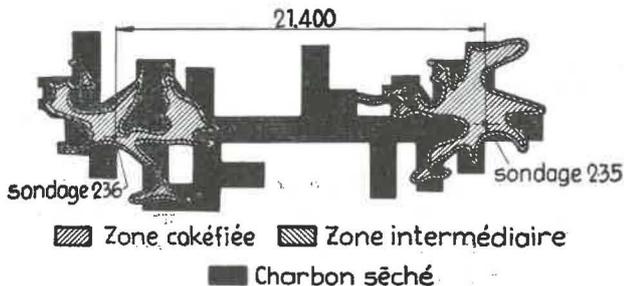


Fig. 26. — Formation d'un chenal par liaison électrique.

ment portés à l'incandescence et fournissent au courant un chemin de moindre résistance (fig. 26).

La tension initiale est de l'ordre de 2.750 V. On la diminue au fur et à mesure que le courant augmente de façon à limiter celui-ci à 300 ... 500 A. Au cours de la phase finale, on atteint 1.200 à 1.300 A sous quelques centaines de volts, la résistance étant inférieure à 1 ohm (fig. 27).

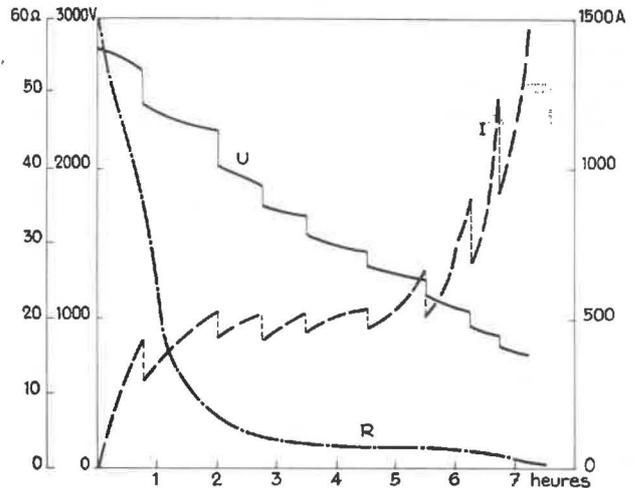


Fig. 27. — Mise en communication par voie électrique. Diagramme type de l'évolution du courant, de la tension et de la résistance en fonction du temps.

La liaison de deux sondages distants de 25 m dure, en lignite, de un à quelques jours. En charbon dur, la vitesse est trois à quatre fois plus faible. Cette méthode a, sur le procédé à l'air comprimé, l'avantage de la vitesse, mais la chaleur emmagasinée dans le sous-sol étant moins importante, les débuts de la gazéification proprement dite sont plus aléatoires.

Il faut environ 700 à 1.500 kWh par mètre de canal à créer. L'énergie est fournie par des transformateurs triphasés-monophasés, de 1.200 ou 1.500 kVA, alimenté en 6.000 V, dont la tension secondaire est réglable par échelons de 150 V entre 0 et 3.000 V. Ils sont placés à 300 m environ des sondages auxquels ils sont reliés par câbles souples, et sont montés sur skis, de façon à être ripables par des tracteurs.

### 135. Forage dirigé.

Une technique de liaison toute différente des précédentes est celle des sondages dirigés : elle a été essayée aussi bien en gisement horizontal qu'en gisement incliné, et, bien qu'elle soit encore dans le stade expérimental, les techniciens soviétiques mettent de sérieux espoirs dans son perfectionnement.

Il s'agit de forer dans la couche de combustible un trou horizontal, reliant les sondages verticaux ou inclinés, ou tout au moins passant suffisamment

près de ces sondages, pour que la liaison s'effectue rapidement par la méthode ordinaire à moyenne pression.

En principe, le sondage est amorcé à partir de la surface, en dehors du panneau à gazéifier, avec une pente de  $\pm 60^\circ$ . A partir d'une certaine profondeur, on le fait dévier vers le haut, au moyen de l'un ou l'autre des procédés décrits ci-avant (par. 122), avec une courbure telle qu'il vienne se raccorder tangentiellement à la couche. A partir de ce moment, le sondage se poursuit horizontalement, en suivant la direction de la couche et en décrivant un mouvement en lacet entre le toit et le mur de celle-ci (fig. 28).

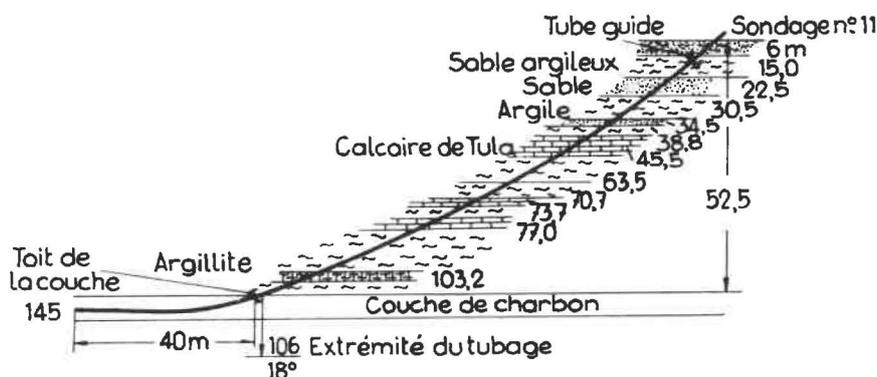


Fig. 28. — Sondage « dirigé » horizontalement (Toula). Les chiffres indiquent les longueurs forées cumulées (en m).

Ces essais ont été faits aussi bien en couches inclinées de charbon dur (Lissitchansk) qu'en gisement de lignite horizontal (Toula). Dans ce dernier cas, on a foré en 1956, avec des sondeuses Craelius, 15 trous comportant une partie inclinée de 80 à 110 m en roche et une partie horizontale de 60 à 80 m en lignite. La vitesse de forage a été de 120 à 200 m par mois en roche et de 100 à 500 m par mois en charbon. Il a fallu au total de 500 à 1.300 heures par sondage avec un coût moyen de 481 R/m en roche et 223 R/m en charbon.

Ces sondages ont ensuite été reliés par air-linking à des sondages verticaux, implantés près de leur extrémité. Cette liaison s'est faite la plupart du temps très rapidement (un ou deux jours).

Il a fallu ensuite les nettoyer, en les faisant souffler à l'air libre. Enfin, on a constitué des systèmes de gazéification en soufflant l'air par les sondages verticaux et en recueillant le gaz par les sondages inclinés (600 à 750 kcal/m<sup>3</sup>). Cette méthode cependant a été abandonnée à Toula, malgré la réussite du forage proprement dit, parce que l'air-linking ou l'électrolinking sont plus rapides et plus simples à appliquer.

L'électroforeuse, avec moteur incorporé et tiges fixes, ouvre évidemment de nouvelles perspectives dans ce domaine et les essais se poursuivent à Lissitchansk.

Il est certain que la méthode du forage dirigé, pour être applicable, suppose que la couche soit relativement régulière et que sa position soit connue avec précision. D'autre part, il faut disposer, pendant le forage lui-même, d'un appareillage permettant un relevé précis de la position de la sonde par rapport à la couche. Outre le téléclinomètre dont nous avons parlé ci-dessus, les ingénieurs soviétiques sont occupés à mettre au point toute une gamme d'appareils de mesures en sondages : mesures de conductivité par électrode mobile, mesures de radioactivité des épontes et de la couche, mesures par ultra-sons, etc.

## 14. Circuits des fluides.

### 140. Soufflage.

Le comburant utilisé en marche industrielle est pratiquement toujours de l'air, qui n'est pas préchauffé. Des essais ont été faits avec des additions de vapeur à l'air de soufflage, mais les résultats obtenus sont irréguliers. A Lissitchansk, on emploie de l'air enrichi à 30-37 % d'oxygène, mais ce procédé ne semble justifié que par des circonstances locales (l'oxygène est disponible en grandes quantités comme sous-produit de la fabrication de gaz rares) et par la nécessité d'améliorer le bilan thermique de la gazéification, très défavorable à cause de l'humidité du gisement.

Le soufflage est continu, la pratique du soufflage pulsé ou alterné (suppression ou inversion périodique) étant abandonnée depuis longtemps.

Le débit soufflé dans chaque trou est de l'ordre de 3.000 m<sup>3</sup>/h, soit 25.000 à 35.000 m<sup>3</sup>/h par chantier. Des essais systématiques ont en effet montré que le régime optimum se situait entre 3.000 et 5.000 m<sup>3</sup>/h. En dessous de ce régime, les réactions sont trop lentes et les pertes de chaleur trop grandes. Pour des débits plus élevés au contraire, le comburant n'a pas le temps de réagir complètement, et la pression de travail plus élevée provoque des

fuites trop importantes et des courts-circuits souterrains dans la zone brûlée. Au moyen des vannes placées sur chaque sondage, on règle le débit à la valeur normale de 3.000 m<sup>3</sup>/h.

La perte de charge dans le trajet souterrain est de l'ordre de 0,5 à 1 kg/cm<sup>2</sup>. Dans les sondages eux-mêmes, on admet jusqu'à 0,25 kg/cm<sup>2</sup>. La pression de soufflage varie de 1 à 2 kg/cm<sup>2</sup> effectifs.

Dans les stations expérimentales, l'air comprimé à basse pression est généralement fourni par des compresseurs à piston (à un étage) entraînés par des moteurs électriques synchrones. Il faut prévoir en outre, pour l'établissement des liaisons entre sondages (par. 13), des compresseurs à moyenne pression (6 kg/cm<sup>2</sup> eff.) capables d'assurer un débit de l'ordre de 10 % des précédents (compresseur à pistons à 2 étages). Ces unités sont encombrantes. Elles sont installées dans de vastes salles de machines, situées souvent à plusieurs km des chantiers de gazéification.

La tendance actuelle est de remplacer les compresseurs à pistons par des compresseurs centrifuges, entraînés électriquement, ou même par des compresseurs axiaux entraînés par turbine à gaz. Un compresseur à plusieurs étages pourrait d'ailleurs fournir simultanément l'air à basse et à moyenne pression, le premier étant prélevé avant le réfrigérant intermédiaire et le second parcourant seul le réfrigérant et les étages supérieurs.

On pourrait concevoir également de produire l'air à moyenne pression sur les chantiers mêmes au moyen de compresseurs mobiles, ou plutôt de surpresseurs alimentés par le réseau d'air à basse pression. On économiserait ainsi un réseau de tuyauteries et la conduite des opérations gagnerait en souplesse. Cette solution ne paraît cependant guère intéresser les techniciens soviétiques qui nous ont répondu que les appareils ayant les caractéristiques nécessaires s'écarteraient des fabrications normales.

#### 141. Aspiration du gaz.

Le circuit air-gaz est toujours en surpression sur toute sa longueur. Ceci élimine évidemment tous les inconvénients inhérents aux rentrées d'air éventuelles (dégradation du gaz, risques d'explosion...). Le gaz sort des sondages à une pression de 0,3 à 0,6 kg/cm<sup>2</sup> qui suffit à le transporter à plusieurs km jusqu'à la station centrale et à le faire passer à travers les appareils de conditionnement. Si, cependant, le gaz doit être transporté à grande distance (par ex. 10 km), il passe par un surpresseur qui élève et régularise la pression de distribution, mais le réglage sera toujours tel qu'il subsiste une forte surpression dans le réseau de captage.

#### 142. Tuyauteries.

Etant donné la distance parfois importante entre la station de compression d'air et de conditionnement du gaz, et les chantiers, le déplacement continu de ceux-ci, et le nombre de sondages à raccorder successivement au réseau d'air comprimé à moyenne pression, à basse pression et au réseau de gaz, les tuyauteries prennent une place importante dans l'équipement, et les tubes sillonnant le paysage constituent un aspect caractéristique des sites de gazéification souterraine.

Vu le faible pouvoir calorifique du gaz, les volumes à transporter sont très importants et le diamètre des conduites varie de 700 mm (collecteur de chantier) à 1.200 mm et même plus (liaison avec la station). Ces diamètres sont standardisés par échelons de 50 mm en dessous de 500 mm Ø, et de 100 mm au-delà. Ces conduites sont généralement construites en tôle de 8 mm soudée, mais on nous a affirmé qu'une épaisseur de 5 ou 6 mm serait parfaitement suffisante, et qu'une économie importante résulterait de cette diminution d'épaisseur. C'est pour une question de disponibilité de matières premières que l'on a été obligé d'utiliser des tôles de 8 mm.

Le diamètre optimum *d* des conduites, exprimé en m, se calcule par la formule :

$$d_{opt} = 0,015 \sqrt[6,25]{\frac{C}{a} \left[ \left( \frac{\gamma Q^3 T^2 t}{P^2} \right)_A + \left( \frac{\gamma Q^3 T^2 t}{P^2} \right)_G \right]}$$

dans laquelle :

$\gamma$  est le poids spécifique (à 0°, 760 mm Hg) de l'air ou du gaz

$Q$  le débit en Nm<sup>3</sup>/h

$T$  la température absolue

$t$  la durée d'utilisation (en heures)

$P = \frac{P_1 + P_2}{2}$  la moyenne des pressions d'entrée et de sortie

l'indice  $A$  se rapporte à la période d'utilisation pour le soufflage d'air

l'indice  $G$  se rapporte à la période de captage du gaz

$C$  est le coût du kWh en roubles

$a$  est le coefficient reliant le prix au m des tuyaux à leur diamètre.

Le prix au m des tuyaux ( $q$ ) est donné par une formule linéaire

$$q = q_0 + ad$$

qui se justifie si on admet que les tuyaux de différents diamètres sont fabriqués à partir de tôles d'épaisseur constante.

Dans l'exemple cité :  $q_0 = 80$  et  $a = 1430$ ,  $C$  varie de 0,05 à 0,20 R/kWh, et  $a$  de 500 à 2000 R/m/m.

Les brides sont complètement supprimées, même pour les collecteurs de chantier, qui sont à démonter

périodiquement : les assemblages se font par soudures et les démontages au chalumeau. L'élimination des brides s'est imposée pour des raisons d'étanchéité.

De place en place on a prévu (mais pas toujours) des joints de dilatation hermétiques. Ceux que nous avons vus étaient réalisés de façon assez sommaire sous la forme d'une boîte circulaire plate aux fonds de laquelle les conduites étaient soudées de part et d'autre. Ces joints doivent compenser non seulement les dilatations thermiques, mais également les déformations dues à l'affaissement du sol. Si on escompte que celles-ci seront très importantes, on place les conduites sur des supports extensibles.

Ces conduites ne sont jamais calorifugées.

Les sondages sont reliés aux collecteurs par des embranchements de 200 mm Ø soudés également. Seuls les diaphragmes de mesure et les vannes sont assemblés par brides.

On compte, pour ces tuyauteries, sur une durée de vie moyenne de 5 ans. La corrosion ne semble guère provoquer de difficultés, malgré la teneur élevée du gaz en soufre.

#### 143. Conditionnement du gaz.

Le gaz brut subit un conditionnement assez simple.

La température de sortie, dans le cas de gazéification du lignite, est comprise entre 100 et 200° C, et n'impose pas de mesures spéciales. Dans le cas du charbon dur (avec soufflage à l'oxygène), la température est beaucoup plus élevée (400-500° C). On installe dans ce cas, à la tête du sondage de captage, des pulvérisateurs (simple tuyau percé) dont le débit est réglé de façon à ramener la température du gaz en dessous de 200° C.

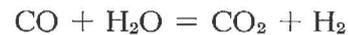
Le gaz contient des quantités importantes de vapeur, provenant du chantier souterrain ou des pulvérisateurs. Cette vapeur se condense en cours de transport, et l'eau est évacuée par des gardes hydrauliques assez profondes, vu la pression du gaz ( $\pm 6$  m), et enterrées partiellement.

Le dépoussiérage se fait en plusieurs étapes. Des cyclones en acier, sans recouvrement spécial, peuvent être installés aux points de raccordement des collecteurs de chantier au collecteur général. A la station centrale, le gaz passe par un scrubber à chute d'eau libre, puis par des filtres électrostatiques.

Le cas échéant, le gaz subit encore une désulfuration au moyen d'une solution d'arséniate de soude dans un scrubber rempli d'anneaux Raschig. Ce procédé permet de récupérer du soufre libre et de l'hyposulfite de soude.

Enfin, on envisage, en vue des applications technologique, une « conversion » du gaz. Sous l'action de vapeur d'eau surchauffée et d'un catalyseur, le

CO du gaz serait transformé en CO<sub>2</sub> avec formation d'H<sub>2</sub> :



Le CO<sub>2</sub> formé, ainsi que celui qui est présent dans le gaz avant l'opération, peuvent être éliminés par un lavage sous pression au moyen d'un solvant approprié, ce qui laisserait finalement un résidu riche en H<sub>2</sub> qui serait une matière première intéressante pour la synthèse d'ammoniaque. Ce procédé serait encore au stade d'essais de laboratoire.

## 15. Mécanisme des réactions.

### 150. Généralités.

Comme en fait foi l'abondante littérature publiée sur le sujet, le mécanisme intime de la gazéification souterraine a fait et fait encore l'objet de nombreuses recherches. Celles-ci portent surtout sur les phénomènes de turbulence se produisant dans le canal de gazéification, les conditions de la filtration du mélange gazeux dans le combustible autour des sondages, l'influence de l'humidité du terrain sur les réactions, l'effet de la suroxygénation éventuelle du comburant et le calcul des pertes de gaz ou de chaleur au massif. Par contre, les difficultés principales qui ont marqué les essais occidentaux : le déplacement du feu, le by-passage de la zone de réaction par une partie du comburant venant brûler en aval une partie du gaz formé, la dégradation des « réacteurs » souterrains avec le temps, ne semblent plus guère préoccuper les spécialistes soviétiques depuis l'élimination des travaux souterrains et des galeries à grande section dans la préparation des chantiers. Avec des systèmes composés de sondages de faible diamètre ou de chenaux établis par filtration dans la masse même du combustible, la réalisation d'un contact satisfaisant entre comburant et combustible ne constituerait plus un problème.

### 151. Déplacement du feu.

#### 1510. Remarques générales.

D'un échange de vues avec les spécialistes de l'Institut de Gazéification Souterraine de Moscou, il résulte qu'aux yeux des spécialistes russes les facteurs suivants favoriseraient la fuite du feu : section de canal largement ouverte (taille) - vitesse élevée de l'air - température basse - humidité.

Par contre, les facteurs favorisant la remontée du feu sont : section étroite (sondages) ou encombrée (filtration) - vitesse réduite du courant gazeux - préchauffage ou suroxygénation de l'air - haute réactivité du combustible.

Rappelons que, dans les méthodes mises en œuvre en U.R.S.S., le débit par trou est relative-

ment faible (3.000 à 5.000 m<sup>3</sup>/h) et que ce débit se répartit sur une surface importante, dans tout l'espace compris entre les sondages. Les vitesses sont donc faibles.

Par contre, dans les essais occidentaux par la méthode de courant, des débits beaucoup plus élevés passaient dans des galeries creusées à la main : ce serait là, d'après les ingénieurs soviétiques, la cause des difficultés rencontrées.

#### 1511. Méthode classique en couche horizontale.

Dans les procédés de gazéification utilisés actuellement en U.R.S.S., le feu a tendance à remonter dans le sens contraire au courant d'air aussi loin que le permet la présence de combustible, puis à se stabiliser dans la région où le comburant vient au contact du charbon.

C'est ainsi que, dans la méthode de liaison entre trous par filtration à basse pression, c'est dans le trou de sortie de l'air que l'on introduit le coke incandescent servant à allumer la couche. La vitesse de l'air filtrant vers ce trou (40 m<sup>3</sup>/h) est suffisamment faible pour que le feu ait tendance à remonter, avec une vitesse de l'ordre de 0,5 à 1 m par jour, vers le sondage dans lequel l'air est soufflé. Pendant la phase d'exploitation, c'est autour des sondages d'entrée d'air que se développent les zones gazéifiées : celles-ci s'élargissent en forme de poire (la queue dirigée vers les sondages de sortie du gaz) et finissent par se rejoindre, ne laissant plus entre elles que des stots insignifiants (fig. 6).

Vue dans son ensemble, la progression de la gazéification suivant le schéma adopté en général pour le lignite est donc discontinue : de la rangée n° 2 de sondages vers la rangée n° 1, puis de la rangée n° 3 vers la rangée n° 2, puis de la rangée n° 4 vers la rangée n° 3, etc... (fig. 7).

#### 1512. Méthode inversée.

On pourrait imaginer un processus plus continu : souffler l'air par des sondages situés dans la zone brûlée et récolter le gaz par des sondages implantés dans le combustible intact (fig. 10). L'air soufflé, traversant la zone brûlée, récupérerait partiellement la chaleur du terrain. Il viendrait ensuite réagir avec le combustible sur toute la largeur du front (et non plus exclusivement autour des sondages). Enfin, les gaz formés traverseraient la masse du combustible qu'ils sécheraient et préchaufferaient en lui cédant leur chaleur sensible, avant d'être captés par les sondages collecteurs. Cette méthode semble donc assurer un bon rendement thermique, ce qui a été confirmé par les essais effectués à échelle réduite. Elle présente deux inconvénients : d'abord, le gaz de médiocre qualité, formé pendant le processus de liaison des nouveaux sondages, qui se trouvent nécessairement en avant de la zone de réaction, viendrait se mélanger au gaz de gazéification. D'autre part, le fait de souffler à partir des

sondages à air, situés dans la zone épuisée, vers des sondages à gaz situés en face d'eux dans le charbon, risque de donner naissance à des passages privilégiés captant la majorité du courant d'air et laissant subsister entre eux des zones imbrûlées (alors que, dans le processus actuel, l'air, débouchant au milieu de la masse de combustible, est forcé de réagir). Pour éliminer ces inconvénients, la méthode proposée par l'Institut de Gazéification Souterraine de Moscou (fig. 11) utilise un procédé alternatif : les trous de soufflage sont décalés par rapport aux trous de captage de façon à forcer le courant d'air à lécher le massif de combustible. Les trous de captage de gaz ne sont utilisés que pendant un cycle sur deux, et sont mis entretemps en veilleuse, un débit d'air réduit empêchant le refroidissement. C'est pendant cette période de repos que l'on relie les nouveaux sondages au système.

En tablant sur un meilleur contact entre comburant et combustible, on espère, par cette méthode, pouvoir augmenter l'intervalle entre les sondages, dont le diamètre serait augmenté.

L'inconvénient est que chaque sondage doit être raccordé alternativement sur le distributeur d'air et sur le collecteur de gaz. Les raccordements et les manœuvres sont donc plus compliqués que dans le procédé classique « à sens unique », mais la méthode paraît séduisante et va être essayée (fig. 11).

#### 1513. Méthode pour couches inclinées.

Les installations fonctionnant en couches inclinées de charbon dur travaillent d'ailleurs suivant un principe analogue : les sondages d'entrée d'air, creusés en roche, au toit ou au mur de la couche, débouchent à la base du panneau, dans la zone brûlée. L'air traverse celle-ci, où il est préchauffé, et attaque le combustible suivant un front plus ou moins festonné.

Ici aussi, il est clair que, si le feu avait tendance à se déplacer dans le sens du courant d'air, il fuirait par les sondages à gaz et qu'il y aurait des pertes de gisement importantes entre ceux-ci, contrairement à ce que l'on constate.

Dans ce cas-ci, le bon contact entre comburant et combustible est assuré par le décalage entre les trous de captage du gaz et les trous de soufflage, implantés chaque fois au milieu de l'intervalle séparant les premiers. D'autre part, les trous de captage du gaz sont forés dans la couche sur toute leur longueur, au lieu de la recouper en un seul point comme dans le cas des couches horizontales, de sorte que l'air ne peut gagner la sortie du circuit sans avoir léché le combustible sur une longueur importante.

#### 152. Phénomènes aérodynamiques.

La perte de charge dans le gazogène souterrain est de l'ordre de 1 kg/cm<sup>2</sup>. Avec des pressions pareilles, on ne rencontre pas de difficultés dues aux

obstructions ou éboulements souterrains : la porosité naturelle du combustible, augmentée par l'échauffement, fournira toujours au comburant la possibilité de s'ouvrir un nouveau chemin.

Cette porosité peut être déterminée a priori en laboratoire sur des échantillons de 200 à 400 mm de longueur et de 100 × 100 mm de section, enrobés dans du plâtre. Une extrémité de l'échantillon est chauffée par une résistance électrique, l'autre reçoit de l'air comprimé à 1 ou 2 kg/cm<sup>2</sup> eff. Un chenal plus ou moins large se forme par remontée du feu, plus ou moins rapidement, selon la nature du combustible (30 mm Ø et 10 h pour le lignite, 5 mm Ø et 35 h pour le charbon).

Par contre, les fuites posent un problème. Elles sont couramment de l'ordre de 10 à 15 % du débit d'air. Pour les réduire au minimum, les sondages sont tubés et cimentés au terrain sur une grande partie de leur longueur. Il faut, d'autre part, pouvoir compter sur l'étanchéité des bancs eux-mêmes. Les morts-terrains, recouvrant les couches de lignite soumises à la gazéification souterraine, comportaient dans chaque cas une ou plusieurs couches d'argile plastique réalisant l'étanchéité. Dans les gisements de charbon dur, des bancs de schiste jouent un rôle analogue. De plus, l'affleurement est recouvert de terrains récents argileux, qui ferment les joints de stratification du houiller sous-jacent.

De nombreux essais sur modèles ont mis en évidence l'influence de la turbulence du courant gazeux sur l'intensité des réactions et l'élaboration du

gaz. A un changement de direction du canal correspond une activité accrue. Des essais effectués « in situ » en lignite ont montré que, si on souffle l'air au fond d'un sondage au moyen d'un ajutage (vitesse de sortie de l'ordre de 100-200 m/sec), la position et l'extension de la zone brûlée sont fortement influencées par la direction du jet (fig. 29). L'air ne circule donc pas suivant le gradient du champ de pression, mais, malgré l'effet de freinage des cendres dans la zone brûlée, les effets d'inertie sont

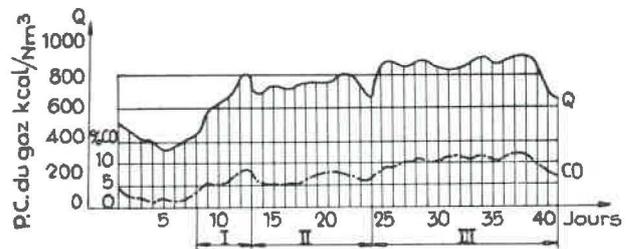


Fig. 30. — Amélioration du gaz obtenue en renouvelant la surface du combustible par modification de l'orientation du jet de comburant (périodes I - II - III comme sur la fig. 29).

sensibles. C'est l'impression qui se dégage également de l'examen après épuisement (autopsie) de certains panneaux à Lissitchansk : le canal ne suivait pas la route la plus courte entre les sondages d'entrée et de sortie, mais serpentait à la façon des méandres d'une rivière, se déplaçant par érosion progressive de la paroi concave (fig. 31).

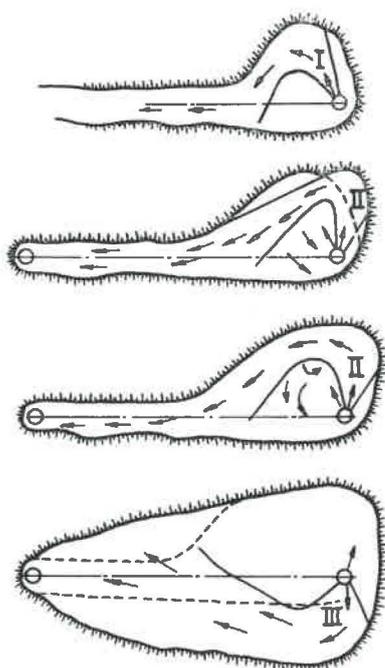


Fig. 29. Influence de la direction du jet sur la forme de la zone gazéifiée.

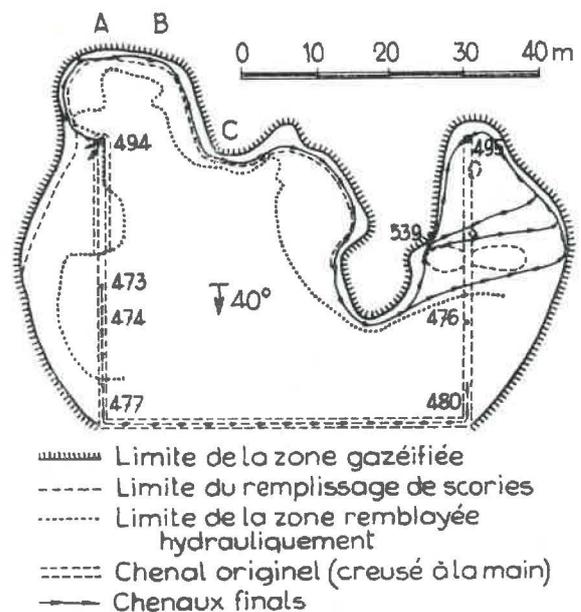


Fig. 31. — Panneau expérimental, de 40 × 50 m, tracé à la main dans une couche inclinée à 40° (Lissitchansk). Les numéros indiquent l'emplacement des sondages (n° 494 : soufflage d'air; n° 495 : aspiration du gaz). (Voir fig. 32 la coupe du chenal aux points A - B - C).

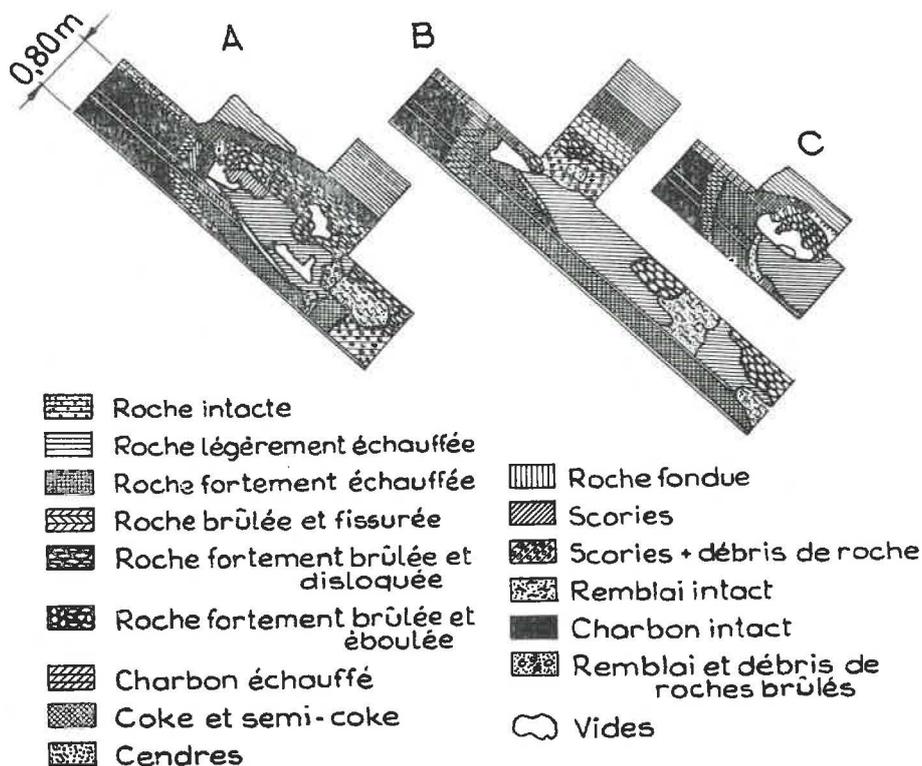


Fig. 32. — Aspect du chenal de gazéification (autopsie d'un panneau expérimental à Lissitchansk). Voir l'emplacement des points A, B et C sur la fig. 31.

153. Cinétique des réactions.

De nombreuses recherches, théoriques et expérimentales, ont été consacrées à l'étude du mécanisme des réactions. Nous ne retiendrons ici que quelques points pouvant avoir une influence sur le mode d'exploitation.

Des recherches systématiques ont été faites dans le lignite de Moscovie et dans le charbon du Kuznetzk sur l'évolution de la qualité du gaz dans l'espace et dans le temps : au moyen de sondages, des échantillons de gaz ont été prélevés tout le long d'un chenal de gazéification en activité (fig. 33).

L'oxygène du comburant est épuisé après un parcours de quelques mètres. A ce moment, le gaz contient par ex. 15 % CO<sub>2</sub>, 12 % H<sub>2</sub> et 8 % CO. Ce

point correspond également au maximum de température et au maximum de pouvoir calorifique. Au-delà, le gaz subit une lente dégradation : il perd de l'oxyde de carbone et s'enrichit en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub> par suite de la réaction :



Par contre, on n'a jamais pu mettre en évidence la réaction de dissociation :



Il n'est pas possible de distinguer une zone d'oxydation suivie d'une zone de réduction, puisqu'il ne se forme plus de CO après la disparition de l'oxygène libre.

Enfin, les pourcentages importants d'hydrogène s'expliquent facilement, si on se rappelle que les couches gazéifiées sont en général très humides et riches en matières volatiles.

La distance nécessaire à la disparition de l'oxygène libre est fonction du débit d'air soufflé. Elle est, dans une couche de lignite de 2,50 m à 3 m de puissance, de l'ordre de 17,5 m pour un débit de 3.000 m<sup>3</sup>/h, et de l'ordre de 35 m pour un débit de 5.000 m<sup>3</sup>/h.

On conçoit donc fort bien que les débits d'air ou de gaz et les distances optima entre sondages soient liés entre eux, et que, pour une distance donnée entre sondages, il y ait une valeur optimum à

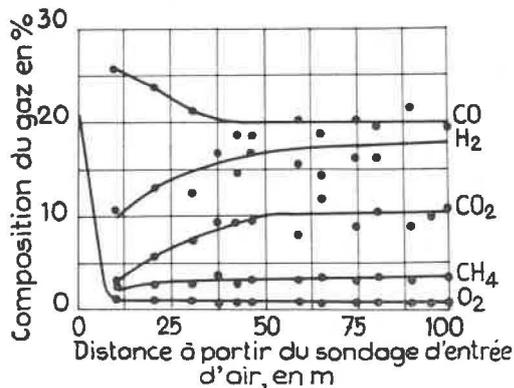


Fig. 33. — Evolution de la composition du gaz en fonction de la distance (Yuzno-Abinskaïa). Débit d'air: 2200 Nm<sup>3</sup>/h.

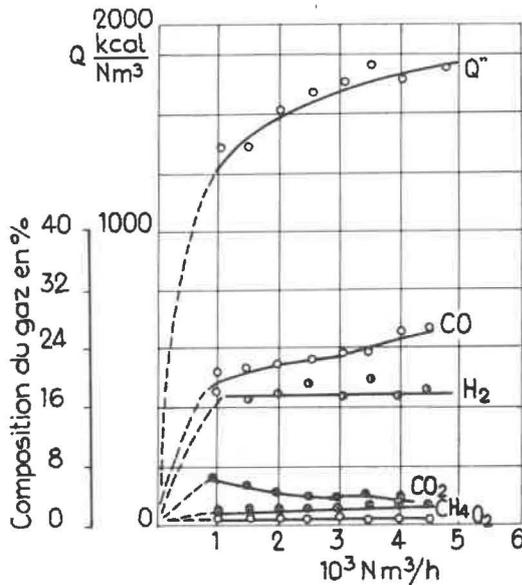


Fig. 34. — Evolution de la composition et du P.C.I. du gaz en fonction du débit (Yuzno-Abinskaïa).

respecter pour le débit (fig. 34). On ne peut envisager d'augmenter la distance entre sondages qu'à condition de pouvoir augmenter le débit par trou, ce qui postule des pressions plus élevées, des appareils de soufflage plus puissants, et un danger accru de fuites : cette modification devra donc être réservée à des gisements plus profonds recouverts d'assises imperméables. C'est pourquoi les techniciens russes s'engagent avec prudence dans cette voie. A Angren, où la couche se trouve à 150 m de profondeur, les trous se trouveront à 35 m les uns des autres (contre 25 m à Toula).

#### 154. Bilan matières.

##### 1540. Base du calcul.

Les mesures, nombreuses et systématiques, effectuées dans les installations soviétiques de gazéification souterraine, permettent d'établir un bilan assez complet des différentes matières intervenant dans les réactions.

Le but de ce bilan est de se faire une idée de l'importance des fuites de gaz et des pertes de combustible, de façon à pouvoir calculer le rendement thermique de l'opération et évaluer les possibilités d'amélioration des résultats obtenus.

Nous donnons ci-après le principe du mode de calcul utilisé en U.R.S.S., dont la connaissance nous paraît nécessaire pour donner aux chiffres cités une signification précise.

Les données de départ sont :

- la quantité de charbon « exploitable » dans le panneau, calculée d'après la géométrie du gisement et les données des sondages ;
- la composition élémentaire de ce charbon (C, H, O, N, S), ainsi que sa teneur en eau et en cendres (en % pondéraux) ;

- la quantité de comburant utilisée pendant la période d'établissement des liaisons souterraines (air-linking) et la quantité de comburant utilisée pendant la période de gazéification proprement dite ( $\text{Nm}^3$  soufflés) ;
- la composition de ce comburant (en cas d'enrichissement à l'oxygène, on tient compte de 2 % d'azote présent dans l'oxygène industriel) ;
- la quantité de gaz brut recueilli, d'une part, et lâché à l'atmosphère, d'autre part ;
- la composition de ce gaz : on tient compte des hydrocarbures lourds, assimilés à  $\text{C}_2\text{H}_4$ , et de l'hydrogène sulfuré  $\text{H}_2\text{S}$  ; l'humidité du gaz est mesurée également.

Toutes les quantités sont exprimées en kg et rapportées à 100 kg de charbon exploitable en place (humidité et cendres comprises).

##### 1541. Bilan d'Azote.

L'azote constitue le fil conducteur permettant de comparer les quantités de gaz produites aux quantités de comburant soufflé.

Pour répartir le déficit apparaissant nécessairement entre les quantités totales d'azote à l'entrée et à la sortie, on fait généralement les hypothèses suivantes :

a) les rentrées d'air sont inexistantes, puisque tout le système est en forte surpression ;

b) l'azote du charbon peut généralement être négligé, sauf dans le cas d'un comburant très riche en oxygène ;

c) une proportion fixe (50 %) de l'air soufflé sous moyenne pression pendant l'établissement des liaisons se perd dans le terrain dans la direction opposée à celle de la liaison à établir ;

d) le solde du bilan d'azote représente les fuites dues à l'étanchéité du gazogène souterrain. Le fluide s'échappant par ces fuites est supposé être un mélange de 50 % de gaz tel qu'il est recueilli à la sortie et de 50 % de comburant, dont l'oxygène serait remplacé par du  $\text{CO}_2$ . L'humidité de ces fuites est prise égale aux  $2/3$  de celle du gaz. Les fuites ainsi calculées représentent de 20 à 35 % du volume total de gaz élaboré ;

e) une étude plus nuancée a été faite par voie statistique pour répartir le plus vraisemblablement possible le déficit d'azote entre les périodes de « liaison » et de « gazéification » pour la station de Toula. Il en résulte qu'en moyenne  $1/3$  de l'air soufflé pendant la période de liaison et  $2/3$  de l'air soufflé pendant la période de gazéification seraient consommés utilement, mais les résultats individuels varient largement autour de ces moyennes.

##### 1542. Bilan Carbone.

Le bilan carbone est le lien le plus sûr entre le gaz produit et le combustible consommé. La totalité du carbone présent sous forme de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$

ou CmHn dans le gaz brut ou les fuites, provient du combustible et permet de calculer la quantité de charbon réellement gazéifié. La différence entre le charbon exploitable et le charbon gazéifié donne le résidu.

Il arrive que l'on obtienne pour ce résidu un chiffre négatif : ceci signifie que la gazéification a inté-ressé du charbon considéré comme « non exploita-ble » (inclusions de charbon dans les épontes, schis-tes charbonneux) dont on n'a pas tenu compte dans le calcul des réserves, basé sur la puissance de la couche proprement dite.

Les auteurs soviétiques basent donc généralement le calcul du charbon consommé uniquement sur le bilan carbone. Ils négligent ainsi la formation de coke ou le dégazage éventuel, sans gazéifica-tion, d'une partie du charbon, ce qui se justi-fie dans le cas de l'exploitation totale d'un gise-ment étendu avec maintien prolongé d'un état de régime. Il est impossible dans ce cas de satisfaire exacte-ment le bilan oxygène.

Les pertes de charbon qui résultent de ce calcul varient de 0 à 30 %. Elles dépendent des conditions géologiques, de la teneur en cendres, de la distance entre sondages et de la conduite de l'exploitation.

A Toula, par exemple, on a fait varier systémati-quement les distances entre sondages et déterminé les pertes de charbon correspondantes (tableau II) :

TABLEAU II.

| Mailles du réseau | Pertes |
|-------------------|--------|
| 25 m × 40 m       | 52 %   |
| 25 m × 35 m       | 46 %   |
| 25 m × 30 m       | 37 %   |
| 25 m × 25 m       | 21 %   |

Par ailleurs, les pertes de gisement ont été de 3,5 à 15,4 % dans du charbon à 40 % de cendres et de 27 à 32 % dans du charbon à 45 % de cendres, mais il n'y a là nullement une règle absolue.

1543. *Bilan Hydrogène.*

L'hydrogène, présent dans le gaz sous forme de H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> ou H<sub>2</sub>S, provient soit de la décom-position de l'eau, soit de celle du charbon.

Le charbon gazéifié étant calculé à partir du bilan carbone, on en déduit la quantité d'hydrogène en provenance de ce charbon. Une partie de cet hydro-gène, correspondant à 58 % de l'oxygène contenu dans le charbon, est supposée dégagée à l'état de H<sub>2</sub>O (vapeur pyrogénée). Comme on ne tient pas compte, d'un éventuel apport de matières volatiles en provenance de charbon incomplètement gazéifié, tout l'hydrogène du gaz en excès est censé provenir

de la décomposition de la vapeur d'eau. Aussi les bilans publiés dans la littérature soviétique indi-quent-ils généralement une production relativement importante de gaz à l'eau (p. ex. 20 kg de H<sub>2</sub>O décomposée par 100 kg de charbon en place).

1544. *Bilan Oxygène.*

L'oxygène que l'on retrouve dans le gaz recueilli ou que l'on impute aux fuites sous forme de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ou CO provient de l'oxygène du comburant, de celui de la vapeur d'eau décomposée et de celui du combustible. Cette dernière partie est loin d'être négligeable, car l'oxygène du lignite de Toula, par exemple, représente 25 % en poids de la matière combustible.

Comme la quantité de comburant est définie par le bilan azote, la vapeur décomposée par le bilan hydrogène, et la consommation de combustible par le bilan carbone, le bilan oxygène se trouve théori-quement complètement déterminé par les trois pré-cédents. En fait il subsiste un solde (trop peu d'oxy-gène à la sortie) résultant de l'inexactitude inévi-table des analyses et des mesures de débit, et des hypothèses admises. Pour expliquer ce solde, les spécialistes soviétiques admettent la possibilité d'une absorption de l'oxygène par le combustible non gazéifié, dans le gisement voisin du panneau.

1545. *Bilan Soufre.*

Le bilan du soufre compare le soufre du gaz (sous forme de H<sub>2</sub>S) à celui qui était contenu dans le combustible gazéifié. On admet cependant que 20 % du soufre du combustible gazéifié restent liés aux cendres. L'excès de soufre habituellement constaté dans le gaz est attribué à la décomposition de nodules de pyrite, non compris dans l'analyse du charbon.

1546. *Bilan Eau.*

Le bilan eau est forcément incomplet. Sauf en des cas exceptionnels, il est impossible de connaître l'eau s'infiltrant dans le chantier ou l'eau condensée dans la partie souterraine de l'installation. Mais on con-naît la quantité d'eau entraînée sous forme de va-peur par le gaz, et la quantité d'eau décomposée (bilan oxygène et hydrogène). D'autre part, on connaît la quantité d'oxygène contenue dans le charbon gazéifié. On admet que 50 % à 60 % de cet oxygène se combinent à une partie de l'hydro-gène du charbon et se dégagent sous forme de va-peur « pyrogénée », le reste participant directement aux réactions. Enfin, on peut parfois calculer ap-proximativement la quantité de vapeur provenant du séchage des épontes de la couche (sur une pro-fondeur de plus ou moins 1 m). On peut alors éta-blir par exemple le bilan du tableau III.

TABLEAU III.

| Entrées              |            | Sorties                               |        |
|----------------------|------------|---------------------------------------|--------|
| Vapeur pyrogénée     | 1,3 %      | Humidité du gaz recueilli             | 49,5 % |
| Humidité du charbon  | 3,1 %      | Humidité des fuites de gaz            | 7,9 %  |
| Humidité des épontes | 5,0 %      | Vapeur décomposée                     | 2,2 %  |
| Venues d'eau         | vaporisées | Eaux condensées dans le fond          | 36,3 % |
|                      | condensées | Divers                                | 4,1 %  |
| Total                | 100,0 %    | = 465 kg d'eau par 100 kg de charbon. |        |

Ce bilan est relatif au panneau n° 10 de Lissitchansk, dont le gisement est très humide. Les eaux condensées se rassemblaient au point bas du chantier. On a pu évaluer leur quantité en estimant le volume du vide qu'elles remplissaient.

#### 1547. Conclusion.

Le tableau IV reproduit un bilan matières relatif à un panneau de 21.200 tonnes, gazéifié à Toula en 1957 et ayant produit 43,2 millions de Nm<sup>3</sup> de gaz.

Ce bilan, établi en kg par 100 kg de charbon en place (dans la couche proprement dite), a été calculé suivant la méthode exposée ci-dessus.

Les débits d'air, pendant la phase « liaison » et la phase « gazéification », ainsi que le débit de gaz ont été mesurés directement, la quantité de charbon disponible résulte des dimensions du panneau.

Comme indiqué ci-dessus, les fuites d'air représentent 50 % du débit soufflé pendant la phase de liaison, et les fuites de gaz représentent un mélange de comburant où O<sub>2</sub> est remplacé par CO<sub>2</sub>, et de gaz identique à celui qui est recueilli à la sortie. L'importance de cette fuite a été déterminée par le bilan azote : le solde non nul de ce bilan provient sans doute d'une légère erreur de calcul. Pour satisfaire au bilan carbone déficitaire, on a fait appel à du charbon « non-exploitable ». Enfin, tout l'hydrogène en excès est attribué à la décomposition de la vapeur d'eau.

Le bilan oxygène laisse un déficit de 10 kg environ. Il serait possible d'éliminer ce déficit en admettant que l'hydrogène en excès provient de la distillation de combustible incomplètement gazéifié. Dans cette hypothèse, il n'y aurait pratiquement pas eu de décomposition de vapeur d'eau, et on pourrait satisfaire simultanément les bilans hydrogène, oxy-

TABLEAU IV.

Bilan matières (hypothèses des par. 1541 à 1546).

| Entrées                              | C     | H                          | O             | N      | S      | Cendres | H <sub>2</sub> O | Total   |        |
|--------------------------------------|-------|----------------------------|---------------|--------|--------|---------|------------------|---------|--------|
| Charbon de la couche                 | 52,40 | 2,50                       | 10,70         | 0,70   | 2,50   | 21,20   | 30,00            | 100,00  |        |
| Inclusions charbonneuses des épontes | 1,43  | 0,14                       | 0,38          | 0,04   | 0,11   | 2,48    | 1,14             | 5,72    |        |
| Comburant                            | }     | Etablissement des liaisons | 7,00          | 23,16  | —      | —       | —                | 30,16   |        |
|                                      |       |                            | Gazéification | 54,53  | 174,58 | —       | —                | —       | 229,11 |
| Eau<br>ou<br>vapeur                  | }     | Pyrogénée                  | —             | —      | —      | —       | 6,23             | } 51,30 |        |
|                                      |       | Décomposée                 | —             | 2,52   | 20,08  | —       | —                |         | —      |
|                                      |       | Non décomposée             | —             | —      | —      | —       | —                |         | 22,48  |
| Nodules de pyrite                    | —     | —                          | —             | —      | 2,92   | —       | —                | 2,92    |        |
| Sorties                              |       |                            |               |        |        |         |                  |         |        |
| Gaz brut                             | 28,88 | 4,08                       | 61,51         | 151,25 | 4,58   | —       | 53,45            | 303,75  |        |
| Fuites de gaz                        | 4,95  | 0,38                       | 11,75         | 33,88  | 0,43   | —       | 6,40             | 57,79   |        |
| Fuites d'air                         | —     | —                          | 3,50          | 11,58  | —      | —       | —                | 15,08   |        |
| Vapeur pyrogénée                     | —     | 0,69                       | 5,54          | —      | —      | —       | —                | 6,23    |        |
| Cendres                              | —     | —                          | —             | —      | 0,52   | 23,68   | —                | 24,20   |        |
| Solde pour balance (déficit)         | —     | —                          | 10,39         | 1,77   | —      | —       | —                | 12,16   |        |
| Total                                | 35,83 | 5,15                       | 92,69         | 198,48 | 5,53   | 23,68   | 59,85            | 419,21  |        |

TABLEAU V.  
Bilan matières (hypothèse d'un résidu de coke).

| Entrées                              | C                          | H           | O            | N             | S           | Cendres      | H <sub>2</sub> O | Total         |
|--------------------------------------|----------------------------|-------------|--------------|---------------|-------------|--------------|------------------|---------------|
| Charbon de la couche                 | 32,40                      | 2,50        | 10,70        | 0,70          | 2,50        | 21,20        | 30,00            | 100,00        |
| Inclusions charbonneuses des épontes | 24,98                      | 1,93        | 8,25         | 0,55          | 1,93        | 16,35        | 23,13            | 77,12         |
| Comburant                            | Etablissement des liaisons |             | 7,00         | 23,16         | —           | —            | —                | 30,16         |
|                                      | Gazéification              |             | 54,53        | 174,58        | —           | —            | —                | 229,11        |
| Combustion d'hydrogène               | —                          | —           | —            | —             | —           | —            | 3,15             | 3,15          |
| Nodules de pyrite                    | —                          | —           | —            | —             | 0,15        | —            | —                | 0,15          |
| <b>Sorties</b>                       |                            |             |              |               |             |              |                  |               |
| Gaz brut                             | 28,88                      | 4,08        | 61,51        | 151,25        | 4,58        | —            | 53,45            | 303,75        |
| Fuites d'air                         | —                          | —           | 16,17        | 47,74         | —           | —            | —                | 63,91         |
| Combustion d'hydrogène               | —                          | 0,35        | 2,80         | —             | —           | —            | —                | 3,15          |
| Résidu (cendres, coke, eau)          | 28,50                      | —           | —            | —             | —           | 37,55        | 2,83             | 69,28         |
| <b>Totaux</b>                        | <b>57,38</b>               | <b>4,43</b> | <b>80,48</b> | <b>198,99</b> | <b>4,58</b> | <b>37,55</b> | <b>56,28</b>     | <b>439,69</b> |

gène, azote et soufre (tableau V). Mais il faudrait supposer qu'il est resté dans le panneau du coke plus ou moins dégazé représentant un excès de 5.400 tonnes de carbone, alors que la réserve totale de combustible semble à peine suffisante pour fournir le carbone contenu dans le gaz recueilli.

155. Bilan thermique.

Lorsque le bilan matières est établi, le bilan thermique se calcule facilement à partir des températures (mesurées ou estimées) et des pouvoirs calorifiques inférieurs des corps en réaction.

A l'entrée, le pouvoir calorifique du combustible gazéifié constitue environ 96 à 99 % de la quantité totale de chaleur, le reste représentant la chaleur sensible ou l'enthalpie des divers composants. Notons que l'on considère ici exclusivement le charbon gazéifié. Les pertes de charbon restent donc en dehors du bilan.

A la sortie, le poste principal (45 à 75 %) est le pouvoir calorifique du gaz brut recueilli, compris généralement entre 800 et 1200 kcal/m<sup>3</sup>. La chaleur sensible du gaz représente quelques %, mais l'enthalpie de la vapeur d'eau entraînée par le gaz peut varier dans de larges limites : de 3 %, pour un gisement sec, jusqu'à 40 % de la chaleur totale, pour un gisement très humide. Les fuites de gaz entraînent, sous forme de pouvoir calorifique, de chaleur sensible et de vapeur, une perte de calories non négligeable, de l'ordre de 10 à 20 %.

Le solde du bilan, après décompte de tous les postes calculables, représente la chaleur sensible restée dans les cendres ou perdue au terrain. Ces pertes représentent, suivant les cas, 10 à 20 % de la chaleur totale (p. ex. 10 % pour une couche de 9 m et 20 % pour une couche de 1 m de puissance).

La chaleur sensible des gaz et l'enthalpie de la vapeur n'étant jamais utilisées, les calories correspondantes sont considérées comme pertes. Aussi, le rendement thermique du processus est-il défini par le rapport du pouvoir calorifique inférieur du gaz recueilli au pouvoir calorifique inférieur du combustible gazéifié.

Ce rendement est de l'ordre de 45 à 50 % dans les cas défavorables (venues d'eau importantes, couches minces à Lissitchansk, couche très cendreuse à Toula) et peut s'élever à 65 ou 70 % dans les cas favorables (gisement puissant et bien drainé à Youzno-Abinskaïa). Avec de l'air enrichi en oxygène, on a même atteint 75 % à Toula.

La teneur en cendres, à partir de 40 %, et l'humidité sont des facteurs défavorables à un bilan thermique élevé, ainsi que le montrent les diagrammes, fig. 35 et 36.

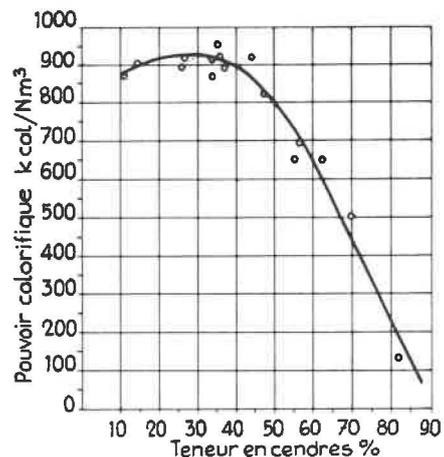


Fig. 35. — Pouvoir calorifique inférieur du gaz en fonction de la teneur en cendres du lignite gazéifié (station de Toula).

TABLEAU VI.  
Bilan thermique (Youzno-Abinskaïa) (en % de la chaleur totale)  
Période du 27-5-55 au 1-11-56.

| Entrées                                   |        | Sorties                                   |        |
|-------------------------------------------|--------|-------------------------------------------|--------|
| Pouvoir calorifique du charbon            | 99,19  | Pouvoir calorifique du gaz                | 65,00  |
| Chaleur sensible du charbon               | 0,08   | P.C. des fuites de gaz                    | 16,95  |
| Chaleur sensible de l'humidité du charbon | 0,02   | Chaleur sensible du gaz                   | 4,13   |
| Enthalpie de l'air sec                    | 0,18   | Chaleur sensible des fuites de gaz        | 1,11   |
| Enthalpie de l'humidité de l'air          | 0,35   | Enthalpie de l'humidité du gaz            | 2,69   |
| Chaleur sensible de l'humidité du terrain | 0,18   | Enthalpie de l'humidité des fuites de gaz | 0,69   |
|                                           |        | Chaleur sensible des cendres              | 0,15   |
|                                           |        | Pertes au massif                          | 9,28   |
| Total                                     | 100,00 | Total                                     | 100,00 |

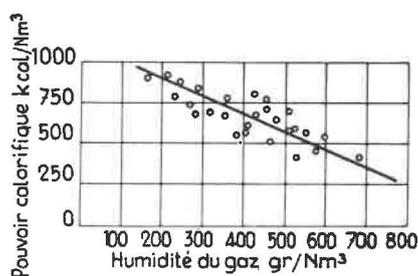


Fig. 36. — Pouvoir calorifique inférieur du gaz en fonction de l'humidité (station de Toula).

Si l'on tient compte des pertes de charbon, le rendement global diminue encore. Ainsi, pour la station de Toula, en 1956, on évalue globalement à 25 % les pertes de charbon, à 35,8 % les fuites de gaz et à 62,8 % le rendement thermique de la gazéification proprement dite, sans tenir compte des fuites. Le rendement global s'établit dans ces conditions à :

$$(1 - 0,25) (1 - 0,358) \times 0,628 = 0,303 \text{ ou } 30,3 \%$$

Ce chiffre très bas est influencé défavorablement par l'incidence élevée des fuites de gaz. On espère, en améliorant la technique, réduire les pertes de charbon à 7 ou 8 %, celles de gaz à 10-15 % et porter le rendement thermique à 70-77 %, ce qui permettrait de récupérer :

$$(1 - 0,075) (1 - 0,125) \times 0,75 = 60 \%$$

environ des calories contenues dans le combustible.

A titre de comparaison, l'exploitation souterraine, dans le même gisement, récupère environ 66 % du combustible en place.

#### 156. Essais oxygène-vapeur.

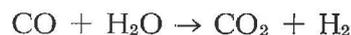
Quoique le comburant utilisé pour la production de gaz énergétique soit toujours de l'air (sauf à Lissitchansk), des essais ont eu lieu en 1953 et 1957

avec de l'air suroxygéné à Toula, en vue d'obtenir du gaz dit « technologique » destiné à servir de matière première pour la synthèse d'ammoniaque.

Les essais de 1957 ont été effectués en soufflant 1400 à 1450 Nm<sup>3</sup>/h d'un mélange à 60-70 % d'oxygène, dans un sondage, le gaz étant recueilli dans deux sondages voisins, distants respectivement de 25 et 50 m. Au comburant on ajoutait de la vapeur à raison de 200 à 500 g/Nm<sup>3</sup>, et on recueillait 3500 Nm<sup>3</sup>/h de gaz. Le pouvoir calorifique du gaz brut a atteint 1750 kcal/Nm<sup>3</sup>, mais on perd 200 kcal/m<sup>3</sup> à la purification (élimination de H<sub>2</sub>S).

Lorsqu'on supprime la suroxygénation de l'air, le P.C.I. se maintient aux environs de 1200 kcal/m<sup>3</sup> pendant plusieurs journées, alors qu'en marche à l'air normale, on n'obtient que 800 à 900 kcal/m<sup>3</sup>. On profite sans doute de la température élevée produite par le soufflage suroxygéné.

Le but poursuivi étant l'obtention d'un mélange propre à la synthèse, le CO et CH<sub>4</sub> du gaz doivent être transformés en hydrogène sous l'action de vapeur d'eau :



Le CO<sub>2</sub> est ensuite éliminé par un lavage sous pression. Pour que le mélange obtenu soit propre à la synthèse, il faut que, dans le gaz brut, le rapport

$$\frac{\text{CO} + \text{H}_2}{\text{N}_2} \text{ soit proche de } 3. \text{ Cette condition est}$$

très approximativement réalisée par le gaz de gazéification souterraine avec soufflage à 65 % O<sub>2</sub>.

Les résultats de ces essais sont repris dans les tableaux VII et VIII. On y a ajouté une comparaison avec les résultats de 1953 et avec ceux d'un gazogène de surface utilisant le même combustible partiellement séché.

Nous avons recalculé le bilan matières d'après des données publiées, mais en faisant intervenir le charbon incomplètement gazéifié (tableau VIII).

TABLEAU VII.  
Résultats d'essais oxygène-vapeur.

| Charbon                                                                                                                 |         | Soufflage       |                  |                   | Composition et caractéristiques du gaz |                 |      |                |      |                |                 |                |                     |                 | Charbon gazéifié | Rende-ment thermique | Durée |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------------|------------------|-------------------|----------------------------------------|-----------------|------|----------------|------|----------------|-----------------|----------------|---------------------|-----------------|------------------|----------------------|-------|
| H <sub>2</sub> O                                                                                                        | Cendres | Débit           | % O <sub>2</sub> | Vapeur            | H <sub>2</sub> S                       | CO <sub>2</sub> | CmHn | O <sub>2</sub> | CO   | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> | P.C.I.              | Débit           |                  |                      |       |
| %                                                                                                                       | %       | Nm <sup>3</sup> | %                | g/Nm <sup>3</sup> | %                                      | %               | %    | %              | %    | %              | %               | %              | kcal/m <sup>3</sup> | Nm <sup>3</sup> | t                | %                    | jours |
| Essais de 1957 (soufflage : 1.400 Nm <sup>3</sup> /h — Gaz : 3.500 Nm <sup>3</sup> /h).                                 |         |                 |                  |                   |                                        |                 |      |                |      |                |                 |                |                     |                 |                  |                      |       |
| 32                                                                                                                      | 23      | 116.000         | 60               | 265               | 2,5                                    | 27,0            | 0,3  | 0,1            | 15,2 | 34,9           | 1,8             | 18,2           | 1.700               | 309.340         | 241,5            | 75,5                 | 5     |
| 32                                                                                                                      | 23      | 747.670         | 65               | 300               | 2,9                                    | 28,4            | 0,4  | 0,2            | 15,6 | 35,0           | 1,8             | 15,7           | 1.750               | 1.064.400       | 1.611            | 73,8                 | 24    |
| 32                                                                                                                      | 23      | 78.320          | 67               | 400               | 3,0                                    | 30,7            | 0,4  | 0              | 12,8 | 35,4           | 1,9             | 15,8           | 1.690               | 164.440         | 132              | 72,5                 | 3     |
| 32                                                                                                                      | 23      | 111.860         | 70               | 400               | 3,3                                    | 31,0            | 0,4  | 0,2            | 12,8 | 35,9           | 1,9             | 14,5           | 1.721               | 254.800         | 206              | 73,0                 | 5     |
| Essais de 1953 (soufflage : 1.000 Nm <sup>3</sup> /h). <span style="float: right;">Nm<sup>3</sup> gaz/kg charbon</span> |         |                 |                  |                   |                                        |                 |      |                |      |                |                 |                |                     |                 |                  |                      |       |
| 25,1                                                                                                                    | 21,6    | —               | 70,5             | 200               | 2,2                                    | 38,9            | 0,2  | 0,2            | 9,9  | 33,8           | 1,5             | 13,3           | 1.440               | 1,39            |                  |                      |       |
| Gazogène de surface.                                                                                                    |         |                 |                  |                   |                                        |                 |      |                |      |                |                 |                |                     |                 |                  |                      |       |
| 10,5                                                                                                                    | 25,6    | —               | 59,8             | —                 | —                                      | 20,8            | —    | —              | 29,3 | 30,0           | 0,2             | 18,8           | 1.753               | 1,37            |                  |                      |       |

TABLEAU VIII.  
Bilan matières (en kg par 100 kg de charbon gazéifié).

| Entrées                                        | C            | H           | O            | N           | S           | Cendres     | H <sub>2</sub> O | Total         |
|------------------------------------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|------------------|---------------|
| Charbon complètement gazéifié                  | 30,8         | 3,19        | 8,85         | 0,8         | 1,36        | 23,0        | 32,0             | 100           |
| Charbon incomplètement gazéifié                | 9,45         | 0,98        | 2,71         | 0,25        | 0,42        | 7,0         | 9,8              | 30,61         |
| Comburant (air enrichi à 65 % O <sub>2</sub> ) | —            | —           | 49,90        | 23,45       | —           | —           | —                | 73,35         |
| Vapeur injectée } décomposée                   | —            | 0,33        | 2,64         | —           | —           | —           | —                | 19,2          |
| (400 g/Nm <sup>3</sup> ) } non décomposée      | —            | —           | —            | —           | —           | —           | 16,23            |               |
| Nodules de pyrite (pour balance)               | —            | —           | —            | —           | 2,88        | —           | —                | 2,88          |
| Sorties                                        |              |             |              |             |             |             |                  |               |
| Gaz recueilli } sondage n° 180                 | 14,6         | 1,97        | 28,0         | 9,6         | 2,12        | —           | 9,7              | 65,99         |
| } sondage n° 179                               | 16,2         | 2,53        | 36,1         | 14,9        | 2,54        | —           | 21,2             | 93,57         |
| Résidu                                         | 9,45         | —           | —            | —           | —           | 30          | —                | 39,45         |
| Eau condensée (pour balance)                   | —            | —           | —            | —           | —           | —           | 27,13            | 27,13         |
| <b>Totaux</b>                                  | <b>40,25</b> | <b>4,50</b> | <b>64,10</b> | <b>24,5</b> | <b>4,66</b> | <b>30,0</b> | <b>58,03</b>     | <b>226,04</b> |

Par ailleurs la station de Lissitchansk utilise régulièrement un air enrichi contenant 30 % environ d'oxygène. Le pouvoir calorifique du gaz reste cependant du même ordre de grandeur que celui du gaz à l'air ordinaire de Toula : l'enrichissement du soufflage ne sert qu'à compenser l'influence défavorable des venues d'eau très abondantes et de la faible épaisseur de la couche.

## 16. Aspects miniers de l'exploitation.

### 160. Généralités.

Quoique la gazéification souterraine soit, par essence, tout à fait différente de l'exploitation minière conventionnelle, elle s'y rattache cependant par certains aspects qui restent communs : le fait de soustraire par une méthode quelconque, abattage ou gazéification, un volume de charbon à l'écorce terrestre implique des problèmes qui se poseront toujours, indépendamment de la méthode employée.

Nous ne parlerons pas ici des travaux préparatoires souterrains, nécessaires avec les anciennes méthodes, puisque les procédés actuels ont complètement éliminé ces travaux.

Par contre, les travaux de reconnaissance, généralement par sondages carottés, restent indispensables et doivent même être poussés beaucoup plus loin qu'avec les méthodes classiques, puisque la plupart des méthodes de gazéification impliquent une connaissance précise, en un réseau de points rapprochés, de la position de la couche, de sa puissance, de son inclinaison et de sa régularité. Les techniques adoptées étant classiques, nous ne nous y attarderons pas. Signalons toutefois que les techniciens soviétiques s'efforcent de perfectionner les méthodes de carottage et de mettre au point des appareils de télémessure basés sur la résistivité, la radioactivité, les ultra-sons, etc...

### 161. Autopsie des chantiers.

Quoique ne faisant pas partie de l'exploitation proprement dite, les travaux de reconnaissance effectués après la gazéification présentent un intérêt évident pour vérifier l'épuisement du gisement et étudier les conditions de circulation du courant gazeux.

Favorisés par la disposition du gisement, les travaux de Lissitchansk ont permis une « autopsie » détaillée d'un chantier.

Un panneau en fer à cheval de  $50 \times 40 \text{ m}^2$  avait été tracé (manuellement) dans la couche  $l_8$  fortement inclinée. On y accédait, à partir d'anciens travaux dans la couche voisine  $l_7$ , par un petit travers-banc qui fut muré pendant la gazéification. Des sondages reliaient la surface aux deux extrémités du fer à cheval (fig. 37), l'un servant pour l'air, l'autre pour le gaz. Après la gazéification et l'extinction du

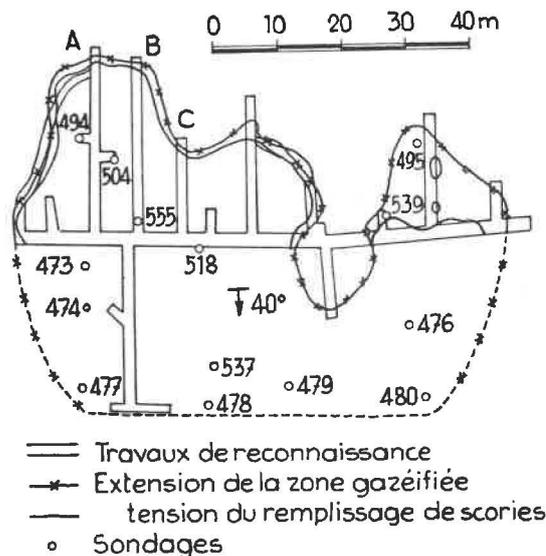


Fig. 37. — Travaux de reconnaissance effectués dans le panneau expérimental de Lissitchansk. (Comparer avec fig. 31 et 32).

chantier, on creusa une galerie de niveau à travers la zone brûlée et, à partir de cette galerie, une série de petits montages ou de descenderies, permettant de reconnaître chaque fois l'extension de la zone complètement ou partiellement gazéifiée, et d'effectuer un relevé complet de l'état du terrain.

On a constaté, dans ce cas, que le charbon était complètement brûlé, sauf quelques lentilles contre le mur, et une bande de coke s'étendant en biseau vers le mur, le long du massif de charbon encore intact.

L'espace brûlé est rempli de scories plus ou moins mêlées de débris du toit à des degrés divers de cuisson. Cet amoncellement hétérogène comporte des crevasses remplies de remblai hydraulique (voir par. 163). A proximité du front de charbon subsistent cependant quelques chenaux ouverts (de quelques  $\text{dm}^2$  de section) dans lesquels circulaient les gaz (fig. 32).

Les roches du toit immédiat de la couche sont rougies par cuisson, fissurées et partiellement éboulées. Les traces d'échauffement se marquent jusqu'à 1 m ou 1,50 m du toit de la veine.

A Toula, les terrains, moins consistants, ne permettaient guère des travaux analogues. On a dû se contenter de sondages carottés, difficiles à effectuer à cause des crevasses (fig. 38). En comparant les coupes avant et après gazéification, on constate qu'il reste souvent un peu de charbon, dont la teneur en cendres a fortement augmenté par rapport aux échantillonnages antérieurs, à cause du départ des matières volatiles. Ces résidus se trouvent généralement au mur de la couche, mais on trouve aussi des îlots où la puissance entière a été conservée. Généralement, c'est dans les zones à la teneur en cendres la plus forte que la gazéification a été la moins complète. Mais cette règle souffre de nombreuses exceptions. La quantité de charbon résiduel est de

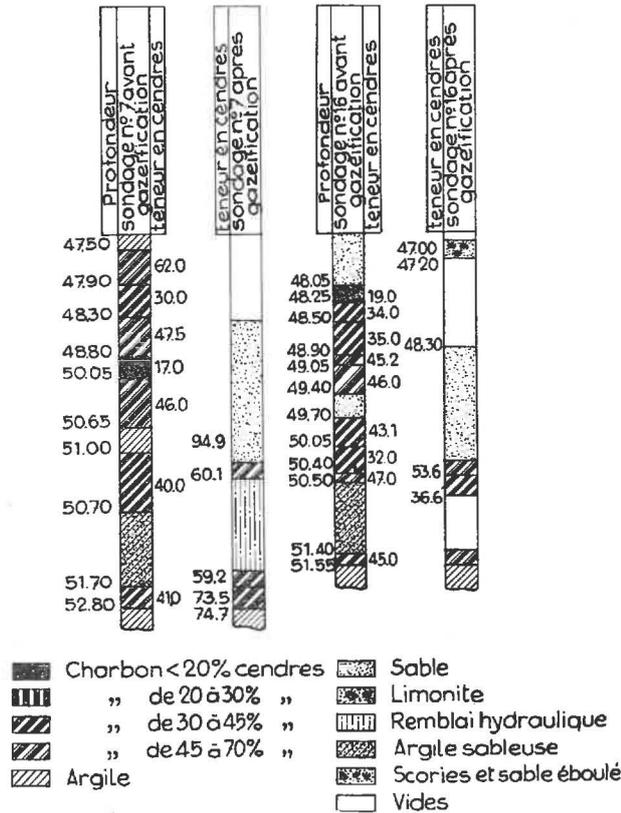


Fig. 38. — Sondages carottés dans la zone gazéifiée (station de Toula).

l'ordre de 10 à 20 %, ce qui correspond approximativement à la différence entre le charbon exploitable en place et le charbon complètement gazéifié calculé par le bilan matières. Dans le remplissage constitué de scories spongieuses fondues et parfois de cendres poreuses, subsistent de nombreux chenaux.

Quand le toit de la couche est constitué de sable, il est généralement éboulé et le sable remplit les crevasses. L'argile par contre s'affaisse en gardant sa cohérence, mais laisse souvent subsister un vide immédiatement en dessous du toit. Le sable paraît non influencé par la chaleur, tandis que l'argile prend une teinte rouge par cuisson. On en trouve souvent des morceaux emprisonnés dans les scories.

Le calcaire du mur, cendreux et poreux, ne paraît guère modifié.

**162. Taux d'utilisation du gisement.**

Le calcul du bilan matières, l'autopsie, par galeries souterraines ou par sondages carottés, de panneaux gazéifiés, et l'observation des affaissements provoqués à la surface (fig. 39), concordent pour fixer vers 10 à 25 % les pertes de gisement par gazéification souterraine. Ce chiffre est remarquablement faible, si l'on considère que, dans un gisement comme celui de Toula, l'exploitation souterraine est obligée d'abandonner un tiers environ du charbon théoriquement exploitable. La teneur en cendres du

combustible et la distance entre les sondages sont les paramètres principaux (voir par. 1542) au point de vue de l'épuisement total du charbon. Pour pouvoir augmenter la distance sans augmenter les pertes, des dispositions spéciales sont nécessaires (par. 111).

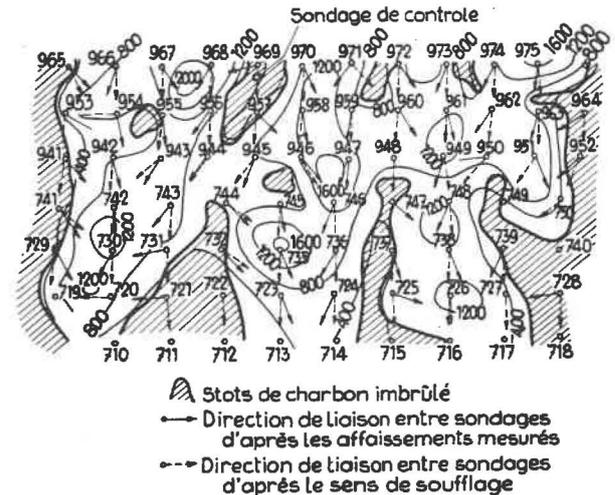


Fig. 39. — Affaissements de terrain au-dessus d'un panneau gazéifié. Lignes d'affaissements égaux (équidistance : 400 mm) (station de Toula).

Notons que la gazéification peut s'étendre à des queuvées ou des intercalations charbonneuses qui ne font pas partie de la couche proprement dite, ou même à des schistes charbonneux, que l'on néglige dans le calcul des réserves et que l'exploitation minière est forcée d'abandonner. D'autre part, les stots laissés entre les panneaux gazéifiés successivement sont extrêmement faibles ou même inexistant, la distance entre les sondages de panneaux voisins est généralement la même qu'entre les sondages d'un même panneau.

Bien entendu, pour juger du taux d'utilisation finale du combustible du gisement, il y a lieu de tenir compte du rendement thermique de la gazéification et des pertes de gaz (voir par. 155).

**163. Remblayage.**

En couche mince et inclinée, le foudroyage peut tarder, ce qui crée la possibilité de courants d'air parasites : pour améliorer dans ce cas le contact entre comburant et charbon, on a fait des essais d'injection de boue dans la zone brûlée. Ces essais ont été faits à Lissitchansk, dans le panneau décrit au par. 161, à partir de sondages forés de la surface. Le remblai, sous forme d'une suspension de sables et d'argile dans de l'eau, de densité 1,5 à 1,7, coulait sous son propre poids, ou était pompé sous haute pression (50 à 60 atm). On a ainsi d'abord remblayé par gravité, pendant la gazéification du panneau, les galeries creusées à la main qui le délimitaient au départ (1153 m<sup>3</sup> de remblai), puis ul-

térieurement on a injecté sous pression 727 m<sup>3</sup> de boue dans l'espace gazéifié. A l'autopsie, on a constaté que le remblai injecté s'était répandu jusqu'à 20 m des sondages d'amenée, mais n'avait rempli que 1/3 des cavités ouvertes, qui représentaient elles-mêmes 1/4 environ du volume du charbon gazéifié. Dans une partie du panneau, les matériaux de remblayage avaient manifestement subi l'action de la chaleur, ce qui prouve qu'ils avaient pénétré dans la zone de réaction elle-même (fig. 31).

164. Affaissements de terrain.

La disparition du charbon gazéifié provoque des affaissements de terrain comme l'exploitation normale et, comme on travaille à faible profondeur et dans des couches puissantes, ces affaissements sont importants. D'après les personnes consultées, leur amplitude et leur vitesse sont cependant réduites par rapport à une exploitation souterraine foudroyée : en effet, les intercalations et les cendres du combustible constituent sur place un remblai partiel, et les vitesses d'avancement sont faibles. De plus, un front de gazéification ne constitue pas une ligne droite, avec une cassure nette, comme un front de taille.

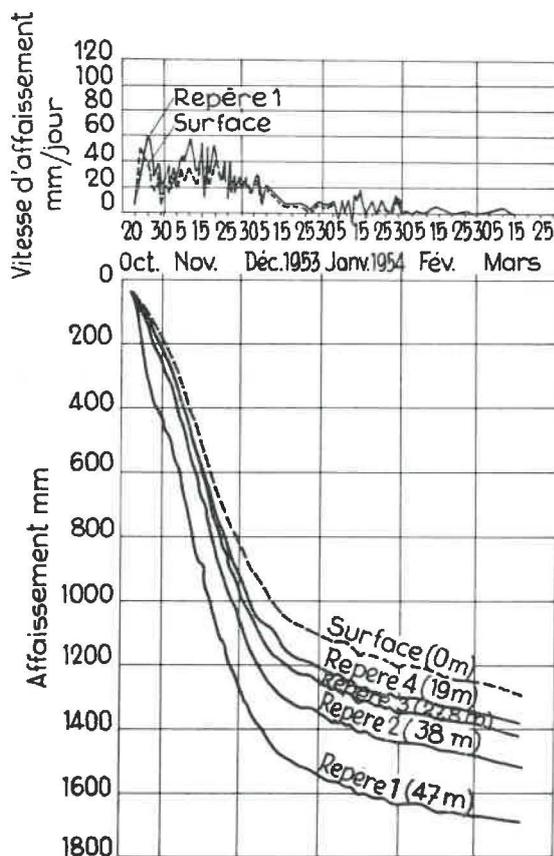


Fig. 40. — Affaissements et vitesses d'affaissement de la surface du sol et de repères ancrés à différentes profondeurs dans un sondage (le repère 1 est au toit de la couche) (station de Toula).

Dans la région de Toula, l'affaissement du toit de la couche atteint une valeur finale de 2 m pour une couche de 3 m de puissance. A la surface, l'affaissement final est de 1,20 m environ, ce qui correspond à un foisonnement de 2 à 3 % des terrains de recouvrement (40 m). Des repères fixés à diverses profondeurs dans des sondages verticaux ont permis de localiser, dans le quart inférieur, les principaux décollements de bancs. La vitesse d'affaissement, irrégulière, peut atteindre 30 mm par jour au voisinage de la couche, mais à la surface on a en moyenne 1,5 mm/jour (fig. 40 à 42).

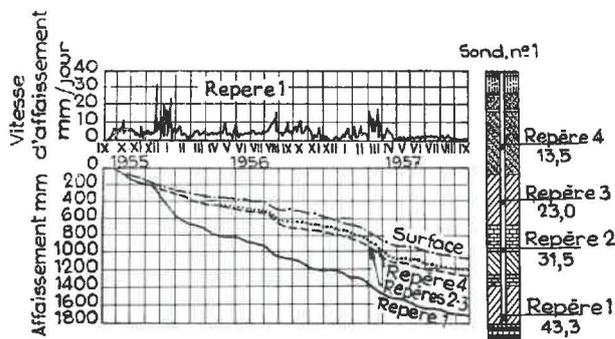


Fig. 41. — Affaissements et vitesses d'affaissement de la surface et de repères ancrés dans un sondage à différentes profondeurs, à Schatskaïa.

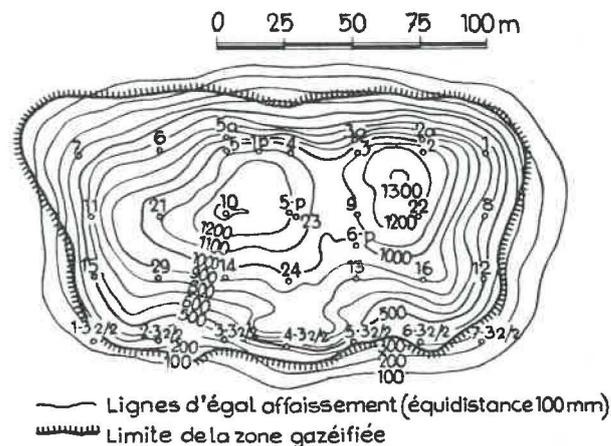


Fig. 42. — Cuvette d'affaissement à Schatskaïa.

Ces affaissements sont observés avec grand soin: ils permettent de localiser les zones gazéifiées et les stots imbrûlés éventuels (fig. 39).

A Lissitchansk, où la couche est moins puissante (0,80 m seulement), la roche plus résistante, la profondeur plus grande (jusque 1,50 m) et le pendage assez raide (40°), les affaissements sont moins marqués et se produisent avec un certain retard. Leur valeur finale n'est que de quelques dizaines de mm (après 8 mois).

Dans le Kuznetsk par contre, où on gazéifie une couche de 9 m de puissance sous une dizaine de mètres de recouvrement argileux, les affaissements prennent une allure d'effondrements : ils peuvent at-

teindre plus d'un mètre par jour. Des entonnoirs se forment le long de la ligne d'affleurement de la veine, et il faut les colmater avec de l'argile au moyen d'un bull-dozer. On arrive cependant à maintenir une étanchéité relative. Ici aussi, des sondages inclinés, forés au toit de la couche, permettent de suivre le mouvement des bancs (fig. 43).

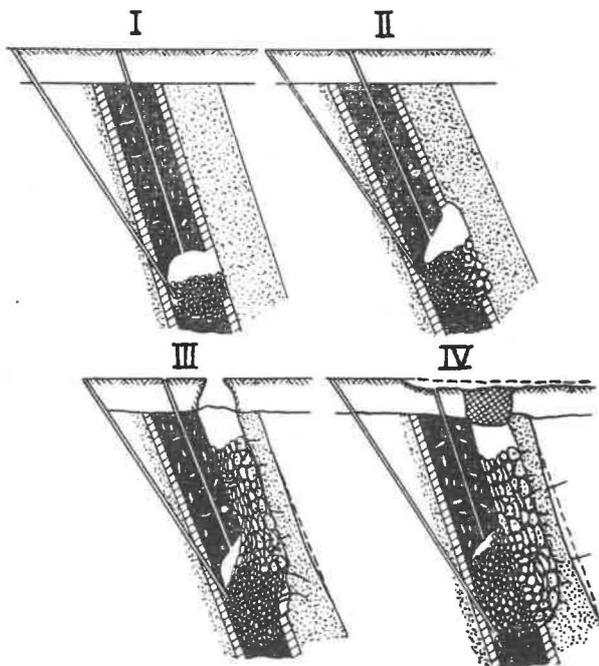


Fig. 43. — Gazéification d'une couche puissante en dressant (Yuzno-Abinskaïa). Comportement du toit.

Ces affaissements ne présentent guère d'inconvénient, les chantiers se trouvant toujours dans des zones non construites, ce qui est d'ailleurs une nécessité, vu l'encombrement des tuyauteries de surface et les servitudes de leur déplacement. Il faut cependant prendre parfois certaines précautions pour protéger les installations elles-mêmes : supports extensibles et joints à soufflets pour les tuyauteries, inclinaison des sondages, etc...

**165. Exploitations voisines.**

Généralement, les installations de gazéification souterraine sont situées à 2 km ou plus des mines les plus voisines. On a cependant dû, dans un charbonnage voisin de Toula, prendre des mesures contre les infiltrations de gaz de gazéification.

Les techniciens soviétiques sont unanimes à déclarer que la gazéification n'est pas à envisager dans un terrain ébranlé par l'exploitation minière. Cependant, à Lissitchansk, où l'exploitation date de l'époque de Pierre le Grand, on a tracé des panneaux à proximité immédiate d'anciens travaux superficiels, mais en dessous de ceux-ci.

En gisement incliné, on a pu gazéifier successivement des couches partiellement superposées, à condition qu'elles soient séparées par des bancs imper-

méables. On a d'ailleurs constaté, lorsqu'on a gazéifié la couche inférieure, des fuites de gaz vers la surface par les remblais de la couche supérieure : on pense que les deux couches ont été mises en communication par des sondages de drainage, ou par des fissures du terrain consécutives à l'exploitation de la couche inférieure.

**166. Récupération du matériel.**

Les tuyauteries de surface sont régulièrement déplacées et réutilisées, les démontages et remontages se faisant au chalumeau. Le tubage des sondages constitue donc le seul matériel éventuellement perdu. Comme le coût de ce tubage est un élément important du prix de revient, on s'efforce cependant de le récupérer. L'opération est rendue difficile par le scellement des tubes au terrain, mais souvent le ciment a perdu sa cohérence sous l'influence de la chaleur et des mouvements de terrain. Eventuellement, on coupe les tubes au moyen d'un outil à couteaux effaçables, pour en récupérer au moins la partie supérieure. A Toula, on récupère ainsi 60 % des tubes. Un vibreur électrique, à moteur à balourd, est à l'étude pour faciliter l'opération (fig. 44).

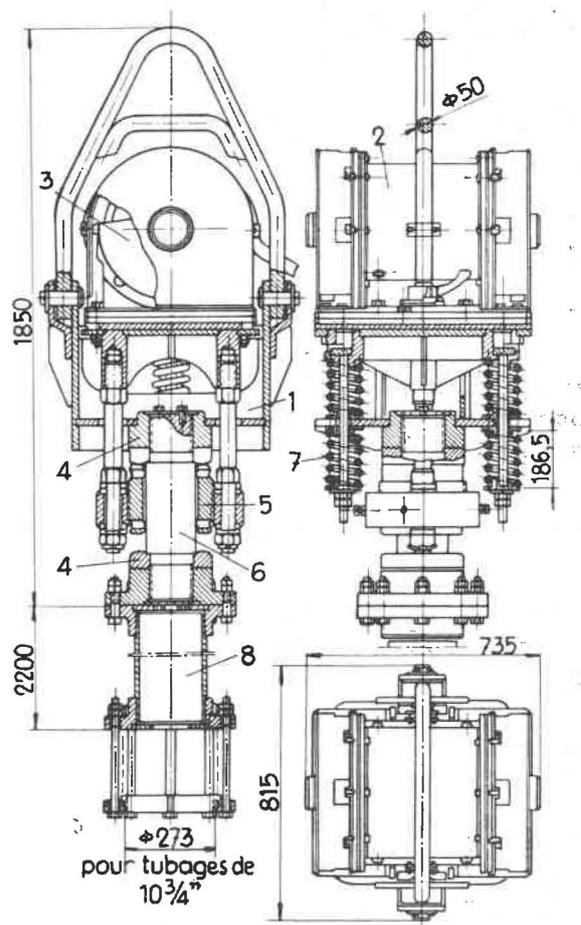


Fig. 44. — Vibreur pour la récupération de tubages. 1. Support; 2. Moteur électrique; 3. Balourd; 4. Butées; 5. Mouton; 6. Guide; 7. Ressorts amortisseurs; 8. Tube de liaison.

## 2. INSTITUTS ET STATIONS DE GAZEIFICATION SOUTERRAINE

### 20. Instituts de recherches.

#### 200. Organisation générale.

Jusqu'en 1957, le Podzemgaz, organisme chargé des recherches relatives à la gazéification souterraine, se plaçait dans le cadre de l'industrie charbonnière, qui était centralisée à l'échelle de l'Union Soviétique par le Ministère du Charbon.

Depuis la décentralisation administrative de juillet 1957, l'industrie charbonnière de chacune des républiques fédérées est devenue autonome. Cependant, comme il n'apparaissait pas opportun de disperser les efforts consacrés à la gazéification souterraine, le Podzemgaz a été maintenu et a été rattaché au Glavgaz ou Direction Générale du Gaz, dépendant directement du Conseil des Ministres de l'Union Soviétique. Le Glavgaz a gardé sa structure unitaire à l'échelle de l'Union, car les problèmes de production, de transport et de consommation du gaz naturel ou manufacturé doivent être considérés dans un cadre plus large que celui de chacune des républiques.

Le Podzemgaz centralise et coordonne les efforts de l'Institut de Gazéification Souterraine de Moscou (VNII - Podzemgaz) consacré à la recherche fondamentale, ceux de l'Institut d'Etudes et Projets de Stalino (GIPRO - Podzemgaz) et ceux des six stations de gazéification souterraine, en activité : Podmoskovnaïa (à Toula) - Schatskaïa (à 20 km de Toula) - Lissitschansk (Donetz) - Youzno-Abinskaïa (Kuzbass-Sibérie Centrale), ou en construction : Angren (Taschkent-Uzbekistan) et Kamenskaïa (Rostov). Il collabore, pour l'étude de certains problèmes de théorie pure ou de laboratoire, avec les Instituts Spécialisés de l'Académie des Sciences, qui coordonne toute la recherche scientifique en U.R.S.S.

#### 201. Institut de Recherche fondamentale à Moscou.

L'Institut VNII - Podzemgaz de Moscou centralise depuis 1949 toutes les recherches théoriques et de laboratoire consacrées à la gazéification souterraine. De plus, il suit de près les essais effectués sur le terrain dans les différentes stations, en analyse et interprète les résultats, et transmet ses conclusions à l'Institut de Stalino, chargé d'élaborer les projets d'exploitation.

L'Institut de Moscou occupe 300 personnes, dont 200 chercheurs universitaires. Une centaine de ces personnes sont détachées dans les stations de gazéification (dont certaines à 5.000 km de Moscou) pour y suivre les essais.

L'Institut comporte de nombreux services spécialisés, dont les laboratoires sont dispersés dans la capitale. Nous avons eu l'occasion de visiter cet Institut, et les chefs des services nous ont exposé les thèmes principaux de leurs recherches.

Le service «Mines» s'occupe plus particulièrement des travaux d'exploration (par forage ou galeries) des panneaux gazéifiés, de l'étude des mouvements de terrain, du comportement des roches et du remplissage de la zone gazéifiée.

Le service «Hydrologie et Géologie» effectue les prospections et étudie les procédés d'assèchement des chantiers avant leur mise à feu et pendant leur fonctionnement.

Deux services «Gazéification» sont spécialisés, l'un pour l'étude des charbons «bruns» (lignite, boghead...), l'autre pour les charbons «durs». Ces services mettent au point les techniques de liaison souterraine et de gazéification proprement dite, et étudient le mécanisme des réactions et l'influence des différents paramètres.

Un service se consacre spécialement à l'electro-linking, un autre à l'amélioration des méthodes de forage dirigé. Un service d'aérodynamique étudie les questions d'écoulement gazeux et l'influence de la turbulence dans les gazogènes souterrains (modèles réduits).

Il y a enfin un service spécialisé pour les mesures à distance et l'automatisation des manœuvres.

Finalement, une section économique établit la rentabilité des méthodes projetées ou des stations en exploitation, et un service de documentation suit de très près tout ce qui est publié à l'étranger sur la question.

Nous avons été frappés par la compétence et par l'extrême spécialisation des chercheurs de l'Institut. Celui-ci est une sorte de «Banque intellectuelle d'information scientifique» et les échanges de vue qui s'y produisent régulièrement entre chercheurs de laboratoire et techniciens détachés aux différentes stations, permettent de rassembler une documentation de première valeur. Les éléments les plus intéressants de cette documentation sont publiés dans la revue trimestrielle «Podzemnaïa Gazificatzia Uglia» à laquelle les membres de l'Institut collaborent abondamment.

#### 202. Institut d'Etudes et Projets à Stalino.

L'Institut «GIPRO - Podzemgaz» est installé à Stalino, à la limite orientale de l'Ukraine, entre Kharkhov et Rostov, à proximité du bassin du Donetz. Son rôle est d'élaborer, à partir des données scientifiques fournies par l'Institut de Moscou, les projets d'exploitation et les plans complets des stations de gazéification souterraine.

L'Institut, qui occupe 150 ingénieurs et techniciens, s'occupe également des problèmes de transport et d'utilisation du gaz produit. C'est à Stalino qu'ont été mis au point les brûleurs permettant d'obtenir une flamme stable avec du gaz à 800 - 900 kcal/m<sup>3</sup> et d'utiliser le gaz de gazéification souterraine dans les appareils domestiques. L'Institut a fourni les données nécessaires au calcul des turbines à gaz de 12 MW de Schatskaïa, et a étudié la chauffe de fours à briques Hoffmann au gaz de G.S. Il a établi les plans des stations de Schatskaïa (en cours de démarrage), d'Angren et de Kamenskaïa (en construction), ainsi que les projets de stations futures, plus puissantes, dont l'exécution attend l'approbation des autorités supérieures.

Subsidiairement, l'Institut de Stalino s'occupe de la distribution de gaz de ville dans toute la région.

## 21. Station de Toula.

### 210. Situation.

Autour de Moscou, en direction S. et W., s'étendent sur 100.000 km<sup>2</sup> un ensemble de gisements de lignite et de boghead d'âge carbonifère. Par suite de l'absence de sollicitations tectoniques et thermiques, ces couches, contemporaines de notre Houiller, sont restées à un stade peu avancé de houillification.

La partie sud de ce bassin s'étend autour de la ville de Toula, à 200 km au sud de Moscou. Les couches de lignite ont une allure lenticulaire. Elles sont comprises entre des bancs d'argile et de sable ou de grès très tendres, à une profondeur de l'ordre de 50 à 200 m. La puissance est assez variable (de 2 à 5 m) et le gisement est gorgé d'eau, ce qui rend l'exploitation par les méthodes classiques (35 millions de t par an) assez pénible.

Sur ce gisement s'est fixée une industrie métallurgique relativement importante et il existe à Toula des grandes installations de gazogènes (système Lurgi à l'air suroxygéné) qui participent à l'alimentation de Moscou en gaz de ville (l'importance relative de ces installations a cependant diminué depuis que Moscou reçoit du gaz naturel en provenance du Nord du Caucase).

Des essais de gazéification souterraine ont eu lieu dans cette région dès avant la guerre (1933) (Kru-

tov) par différentes méthodes (panneau fragmenté par des charges de dynamite, galeries suivant un schéma en fer à cheval, trous parallèles...), mais les résultats furent défavorables, aussi s'orientait-on délibérément, à partir de 1940, vers des méthodes sans main-d'œuvre souterraine, basées sur le principe de la percolation, et une station pilote fut implantée en 1940 par le Podzemgaz sur la lentille de lignite de Novobass, à 3 km au S-E de Toula.

### 211. Gisement.

Cette station, dite « Podmoskovnaïa », exploite deux lentilles de lignite. La première, celle de Novobass, sur laquelle la station elle-même est établie, a une forme irrégulière, isométrique, et s'étend sur 2,5 km d'est en ouest et 2 km du nord au sud, mais la surface où la couche a plus d'un m de puissance n'est que de 2,5 km<sup>2</sup> environ. La profondeur est en moyenne de 48 m, mais varie entre 34 et 60 m, la puissance est en moyenne de 2,70 m, mais varie entre un maximum de 4,70 m et la limite minimum d'exploitabilité de 1 m (fig. 45 et 46).

Cette lentille contient 13.10<sup>6</sup> tonnes de lignite (réserve géologique) dont 4.2.10<sup>6</sup> tonnes seulement sont considérées comme exploitables. A raison de 300.000 t/an, elle permettrait à la station de vivre pendant 14 ans, mais cette réserve était déjà sérieusement entamée au 1<sup>er</sup> janvier 1956, puisqu'on avait consommé à cette date 2.200.000 t, et, au moment de notre visite (octobre 1958), la lentille de Novobass était en voie d'épuisement.

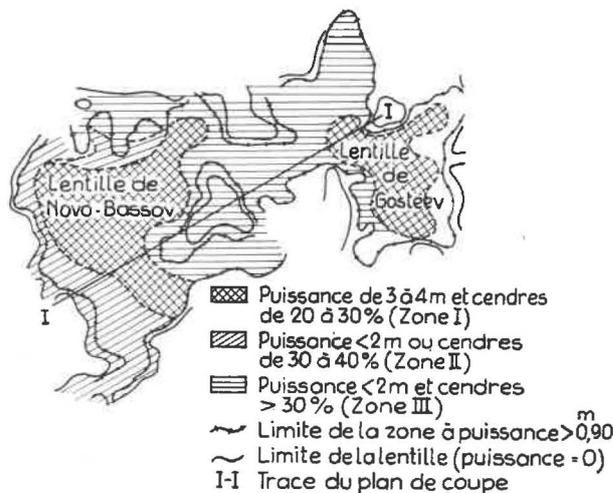


Fig. 45. — Gisement de Toula. Vue en plan.

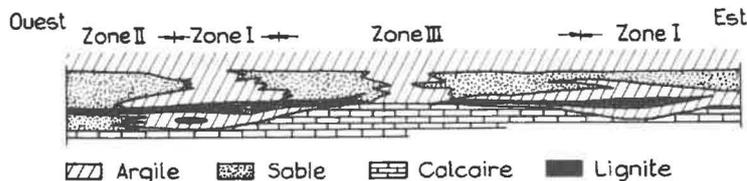


Fig. 46. — Gisement de Toula (Coupe I-I).

Pour assurer la continuité de la production, on a mis en exploitation une seconde lentille, celle de Gostéev, située 5 km au S-E de la précédente. Elle a une forme allongée du nord-ouest au sud-est et mesure 2,5 km de longueur sur 400 m de largeur. La profondeur du gisement est la même qu'à Novobass, la puissance de la couche varie entre 0,3 et 5,7 m avec une moyenne de 3 à 4 m. Cette lentille contient  $5.10^6$  tonnes de lignite, dont environ  $2.6.10^6$  tonnes exploitables, et permettrait de prolonger de 5 ans la vie de la station.

Le lignite a un pouvoir calorifique de 2.720 kcal/kg sur brut à 25 % de cendres et 25 % d'humidité.

La composition élémentaire du lignite résulte du tableau IX. Bien entendu, les teneurs en cendres et en humidité varient dans de larges limites, la gazéification s'étendant parfois à des laies contenant jusqu'à 70 % de cendres. Le gisement de Gostéev est généralement plus cendreur (35 à 43 %) que celui de Novobass (normalement 25 à 35 %).

TABLEAU IX.

| Charbon  | brut   | pur    |
|----------|--------|--------|
| C        | 32     | 64,30  |
| H        | 2,35   | 4,73   |
| O        | 13,03  | 26,20  |
| N        | 0,77   | 1,55   |
| S        | 1,6    | 3,22   |
| Cendres  | 25,10  | —      |
| Humidité | 25,15  | —      |
|          | 100,00 | 100,00 |

La couche se décompose souvent en plusieurs laies, séparées par des intercalations d'argile. Elle présente une direction de fissuration ou de clivage privilégiée nord-ouest - sud-est, et une autre, moins nette, à peu près perpendiculaire à la précédente.

Le combustible est très poreux, mais cette porosité est variable dans l'espace, ce qui influence d'une façon sensible la vitesse de filtration : on a relevé 40 à 50 % de volume de vides dans la partie N-E de la lentille de Novobass, et 20 à 30 % dans la partie S-E.

Les épontes de la couche consistent généralement en bancs d'argile de 0,3 m à 5 m d'épaisseur. Au mur, on trouve du calcaire sous l'argile. Au toit, l'argile est, sur 40 % de la surface, remplacée par du sable. Les terrains de recouvrement consistent en une alternance de bancs de sable et d'argile avec prédominance d'argile et quelques horizons calcaires (fig. 46).

## 212. Historique.

Sur la base des premiers résultats de gazéification souterraine obtenus dans les lignites du bassin de Moscou à Krutov (1932) et dans les anthracites du Donetz à Gorlovka (1934), on réalisa dans la région de Toula vers 1940 des panneaux en double II (méthode de courant), préparés par galeries souterraines et reliés à la surface par des sondages. On obtint du gaz à 800 kcal/Nm<sup>3</sup>, mais les résultats étaient irréguliers et la quantité de travail minier à effectuer prohibitive. Aussi la nouvelle station-pilote, démarrée en 1940 à Toula, avait-elle pour objectif la mise au point et le développement à échelle semi-industrielle de la méthode par percolation au moyen d'un réseau de sondages régulièrement espacés.

La période de 1941 à 1946 doit être considérée comme une période de recherche et de mise au point pendant laquelle furent forés 110 sondages totalisant 6.457 m, et réalisées 61 liaisons souterraines totalisant 1.588 m. On a produit pendant cette période  $153.6.10^6$  m<sup>3</sup> de gaz utile, équivalent en pouvoir calorifique à 45.000 t de lignite du bassin de Moscou.

Ces travaux ont été freinés par la guerre : le front s'est en effet stabilisé pendant des mois à quelques km, de Toula, qui fut sur le point d'être investie.

C'est à Toula qu'ont été mises au point la technique de liaison entre sondages par air à moyenne pression et celle de l'exploitation par sondages verticaux des couches horizontales à faible profondeur. C'est à Toula également qu'ont été faits les premiers essais de liaison par electro-linking ou par forage dirigé en lignite et les essais de gazéification du lignite par un mélange air-oxygène-vapeur, et qu'ont été effectuées de nombreuses études expérimentales sur les différents paramètres de la gazéification souterraine.

Depuis 1946, la station de Toula est une installation pilote qui fonctionne dans des conditions industrielles et alimente régulièrement une dizaine de consommateurs, adaptant avec souplesse son débit aux besoins de ceux-ci. La production a augmenté progressivement de  $50.10^6$  m<sup>3</sup> en 1946 à son niveau définitif de  $400.10^6$  m<sup>3</sup> en 1955. Cette échelle est encore modeste si on la compare à celle d'un charbonnage ordinaire ( $1.2.10^6$  m<sup>3</sup> de gaz par jour équivalent à 500 tonnes de lignite), mais la technique est bien au point, et rien n'empêcherait d'augmenter la capacité de production si les réserves de gisement le justifiaient.

Fin 1958, l'exploitation de la lentille de Novobass est en voie d'achèvement et le centre de gravité de l'exploitation s'est déplacé vers la lentille de Gostéev. La station en a encore pour 5 ans, et gazéifie 15 ha de gisement par an.

**213. Equipement.**

La station de compression d'air comporte un turbo-compresseur de 60.000 m<sup>3</sup>/h sous 0,9 atm et cinq compresseurs à pistons de 12.000 m<sup>3</sup>/h sous 2 atm, à un étage, entraînés par moteurs synchrones, alimentant les sondages en cours de gazéification. Quatre compresseurs à pistons de 6.000 m<sup>3</sup>/h sous 6 atm, à deux étages, alimentent les sondages en cours de liaison. Comme la consommation normale est de 60.000 m<sup>3</sup>/h d'air à basse pression et 6.000 m<sup>3</sup>/h d'air à moyenne pression, on dispose d'une réserve importante.

La station est reliée aux chantiers de Gostéev, distants de 5 km, par des conduites de 1 m de diamètre pour l'air basse pression et le gaz, et de 300 mm de diamètre pour l'air à moyenne pression. L'ensemble du réseau représente plus de 20 km de tuyauteries.

Sur le circuit gaz, on trouve des cyclones dépoussiéreurs en tôle, installés sur le terrain (fig. 47), puis à la station même, 3 scrubbers de 3 m Ø, à chute

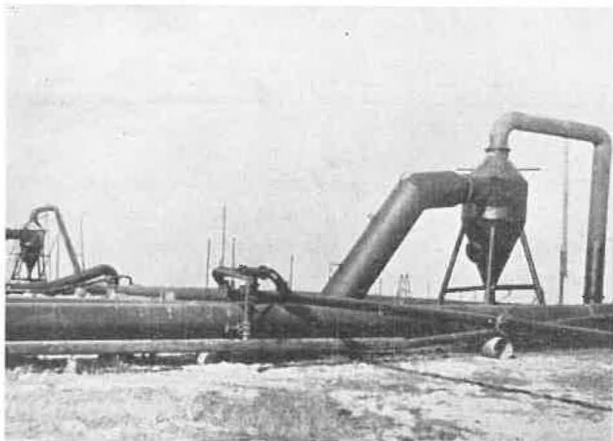


Fig. 47. — Tuyauteries et cyclone dépoussiéreur à Toula.

d'eau libre, puis 3 filtres électrostatiques, capables chacun de 60.000 m<sup>3</sup>/h, et enfin 2 scrubbers remplis d'anneaux Raschig avec lavage par une lessive d'arséniate de soude, pour la récupération du soufre. Le gaz est finalement envoyé vers les consommateurs par 3 soufflantes, capables chacune de 25.000 m<sup>3</sup>/h sous 0,6 atm de surpression.

Une division annexe récupère les produits soufrés, soit par jour 5 à 6 tonnes de soufre, 4 à 5 tonnes d'hyposulfite pour photographie et 3 à 4 tonnes d'hyposulfite à usage industriel (papeteries).

Les mesures effectuées aux différents points du circuit sont transmises automatiquement à un dispatch central où l'on enregistre les pressions, débits et températures de l'air à moyenne et basse pression, ainsi que du gaz entrant dans le collecteur général. On peut également raccorder des enregistreurs sur quelques-uns des sondages en activité. On enregistre de plus les consommations de vapeur et d'air de l'installation de désulfuration.

La teneur du gaz en hydrogène est enregistrée au moyen d'un pH mètre. A part cela, il n'y a pas d'analyseurs de gaz automatiques : on estime que les variations de composition du gaz sont trop lentes pour justifier cette complication.

Pour être complet, citons enfin les derricks de forage, les tracteurs utilisés pour le déplacement des tuyauteries, et les transformateurs triphasés-monophasés de 200 à 470 kVA, utilisés pour la liaison entre sondages par voie électrique.

En annexe à la station, il y a eu, dans le temps, des chaudières à vapeur, actuellement démontées, et il existe encore une installation de production d'oxygène, qui vend sa production à l'extérieur.

**214. Résultats d'exploitation.**

Les principaux résultats techniques de l'exploitation de Toula sont repris aux tableaux ci-après:

La production de 400 millions de Nm<sup>3</sup>/an ou 1,2.10<sup>6</sup> Nm<sup>3</sup>/jour, soit encore 50.000 Nm<sup>3</sup>/h, est obtenue au moyen de 3 chantiers comportant chacun 8 lignes de sondages (2.000 à 3.000 Nm<sup>3</sup>/h par sondage). Chaque chantier a une vie de 3 à 5 ans.

La composition du gaz reste très constante. Elle peut être caractérisée par les chiffres moyens du tableau X.

TABLEAU X.

| H <sub>2</sub> S | CO <sub>2</sub> | C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> | O <sub>2</sub> | CO | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> | PCI                  |
|------------------|-----------------|-------------------------------|----------------|----|----------------|-----------------|----------------|----------------------|
| %                |                 |                               |                |    |                |                 |                | kcal/Nm <sup>3</sup> |
| 1,1              | 18,0            | 0,2                           | 0,2            | 7  | 15             | 1,5             | 57             | 800                  |

Le pouvoir calorifique oscille entre 750 et 850 kcal/m<sup>3</sup> selon la teneur en cendres du gisement : 60 % du gaz au-dessus de 800 kcal/m<sup>3</sup> pour 35 % de cendres et 40 % au-dessus de 800 kcal/m<sup>3</sup> pour 45 % de cendres. La désulfuration fait perdre environ 35 kcal/Nm<sup>3</sup>. Les fuites d'air ou de gaz représentent 30 à 35 %, les pertes de gisement varient entre 15 et 30 %.

Le P.C.I. du gaz représente 60 % de celui du lignite complètement gazéifié et 30 à 40 % de celui du combustible en place.

En 1955, pour une production de 412.10<sup>6</sup> Nm<sup>3</sup> de gaz brut, donnant 376.10<sup>6</sup> Nm<sup>3</sup> de gaz net, on a consommé 390.10<sup>6</sup> Nm<sup>3</sup> d'air à basse pression et 58.10<sup>6</sup> Nm<sup>3</sup> d'air à moyenne pression. Par 1.000 Nm<sup>3</sup> de gaz, on a consommé 97 kWh, dont 16,5 pour la production d'air à moyenne pression et 42,7 pour la basse pression. La gazéification d'un kg de lignite exige 1,81 Nm<sup>3</sup> d'air et fournit 1,66 Nm<sup>3</sup> de gaz (tableau XI).

La mise en communication des sondages avec la zone de gazéification a absorbé par sondage 249.000 Nm<sup>3</sup> d'air comprimé et a duré en moyenne 31 jours.

TABLEAU XI.  
Production de gaz à Toula.

| Années            | Gaz brut            |                      | Gaz net             |                      | Soufre<br>+<br>Hyposulfite | Consommation par Nm <sup>3</sup> gaz |                                  |                    | Personnel |       | Prix<br>de<br>revient<br><br>Roubles/<br>103 Nm <sup>3</sup> |
|-------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------|-----------|-------|--------------------------------------------------------------|
|                   | Débit total         | PCI                  | Débit total         | PCI                  |                            | Lignite *                            | Air                              | Energie            | Ouvrier   | Total |                                                              |
|                   | 106 Nm <sup>3</sup> | kcal/Nm <sup>3</sup> | 106 Nm <sup>3</sup> | kcal/Nm <sup>3</sup> | t                          | kg/Nm <sup>3</sup>                   | Nm <sup>3</sup> /Nm <sup>3</sup> | Wh/Nm <sup>3</sup> |           |       |                                                              |
| 1943              | 14,5                |                      |                     |                      |                            |                                      |                                  |                    |           |       | 984,2                                                        |
| 1944              | 31,7                |                      |                     |                      |                            |                                      |                                  |                    |           |       | 145,4                                                        |
| 1945              | 31,7                |                      |                     |                      |                            |                                      |                                  |                    |           |       | 184,7                                                        |
| 1946              | 32,5                |                      |                     |                      |                            |                                      |                                  |                    |           |       | 182,8                                                        |
| de 1940<br>à 1946 | 154,7               | 822                  |                     |                      |                            |                                      |                                  |                    |           |       |                                                              |
| 1947              | 49,9                | 763                  | 21,3                | 763                  |                            |                                      |                                  |                    |           |       | 108,94                                                       |
| 1948              | 122,3               | 790                  | 114,7               | 790                  |                            |                                      |                                  |                    |           |       | 66,60                                                        |
| 1949              | 170,0               | 836                  | 164,7               | 836                  |                            |                                      |                                  |                    |           |       | 71,18                                                        |
| 1950              | 207,0               | 876                  | 198,0               | 876                  |                            |                                      | 0,857                            | 173                | 257       | 410   | 62,90                                                        |
| 1951              | 219,7               | 830                  | 188,5               | 780                  | 1352                       |                                      | 0,885                            | 146                | 314       | 482   | 59,46                                                        |
| 1952              | 236,8               | 770                  | 200,1               | 730                  | —                          | 0,593                                | 0,875                            | 137                | 375       | 540   | 67,59                                                        |
| 1953              | 290,3               | 808                  | 268,7               | 773                  | 1517                       | 0,618                                | 0,865                            | 114                | 376       | 534   | 55,16                                                        |
| 1954              | 354,8               | 785                  | 325,1               | 785                  | —                          | 0,570                                | 0,846                            | 114                | 347       | 499   | 47,41                                                        |
| 1955              | 412,0               | 800                  | 376,4               | 776                  | 1908                       | 0,644                                | 0,870                            | 97                 | 378       | 519   | 37,19                                                        |
| 1956              | 401,8               | 798                  | 359,4               | 770                  | 3400                       |                                      |                                  |                    | 374       | 505   | 39,17                                                        |
| 1957              | 386,0               |                      |                     |                      |                            |                                      |                                  |                    |           |       |                                                              |
| 1958              | 408,0               |                      |                     |                      |                            |                                      |                                  |                    |           |       |                                                              |

\* Charbon réellement gazéifié, donc pertes de gisement non comprises.

Ces sondages servent ensuite 41 jours comme entrée d'air et 24 jours comme sortie du gaz.

La méthode d'exploitation qui s'est révélée la plus rationnelle est celle décrite plus haut avec un réseau de sondages à mailles carrées de 25 × 25 m.

Toutes les méthodes de liaison ont été essayées. Outre l'air-linking et l'electro-linking (voir tableau XII) on a fait en 1956 des essais de forage horizontal : 15 trous « dirigés » ont été forés (100 m en roche et 60 m dans la couche) à raison de 250 à

350 m par mois et par foreuse. Ce système, malgré son intérêt au point de vue de la consommation d'énergie (45 à 70 kWh par m contre 750 environ pour l'electro-linking et 1.500 pour l'air-linking), a été abandonné à Toula en raison de sa complication et de sa lenteur. Même l'electro-linking n'a pu détrôner la liaison par air à moyenne pression, qui reste à Toula la méthode classique.

La vitesse de liaison varie avec la porosité du charbon : 1,07 m/jour dans du charbon à 40 - 50 %

TABLEAU XII.  
Etablissement des liaisons.

| Années            | Sondages verticaux |                |             | Liaison par air moyenne pression |                    |              |         | Liaison électrique |                    |                 |                      |
|-------------------|--------------------|----------------|-------------|----------------------------------|--------------------|--------------|---------|--------------------|--------------------|-----------------|----------------------|
|                   | Nombre             | Longueur forée |             | Vitesse                          | Longueur totale    | Consommation |         | Vitesse            | Nombre de liaisons | Longueur totale | Consommation Energie |
|                   |                    | Totale         | par machine |                                  |                    | air M.P.     | Energie |                    |                    |                 |                      |
|                   | m                  | m/mois         | m/jour      | m                                | Nm <sup>3</sup> /m | kWh/m        | m/jour  |                    | m                  | kWh/m           |                      |
| de 1940<br>à 1946 | 110                | 6.457          |             | 1.588                            |                    |              |         |                    |                    |                 |                      |
| 1947              |                    |                |             | 0,74                             | 965                | 27.500       |         |                    |                    |                 |                      |
| 1948              | 58                 | 2.919          |             | 0,72                             | 1.325              | 37.600       |         |                    |                    |                 |                      |
| 1949              | 90                 | 4.352          |             | 0,81                             | 1.504              | 35.500       |         |                    |                    |                 |                      |
| 1950              | 206                | 10.232         |             | 0,68                             | 1.745              | 37.200       | 5.150   |                    |                    |                 |                      |
| 1951              | 226                | 11.502         |             | 0,64                             | 2.169              | 24.700       |         |                    |                    |                 |                      |
| 1952              | 232                | 11.458         |             | 0,99                             | 3.577              | 24.600       |         | 6                  | 157                | 3.730           |                      |
| 1953              | 241                | 12.153         | 336         | 0,72                             | 4.010              | 19.400       | 2.390   | 30                 | 862                | 2.170           |                      |
| 1954              | 220                | 11.684         | 467         | 0,69                             | 4.241              | 14.200       | 1.560   | 29                 | 693                | 1.830           |                      |
| 1955              | 312                | 18.776         | 516         | 0,77                             | 5.422              | 10.500       | 1.655   | 1,5-2,0            | 85                 | 2.081           | 668                  |
| 1956              | 159                | 10.190         | 373         | 0,52                             | 4.223              | 11.450       | 1.352   | 4,24 *             | 50 *               | 813 *           |                      |

\* Chiffres relatifs aux panneaux 7 - 8 - 10 - 11 de Novobass et 1 - 2 de Gostéev.

de pores contre 0,5 m/jour dans du charbon à 20 - 30 % de pores. Elle dépend aussi de l'orientation : si la direction de la liaison coïncide avec celle des clivages principaux, on peut réaliser une économie de 37 % sur la consommation d'air comprimé et un gain de 45 % sur la vitesse.

Le gaz de la station de Toula est consommé par une dizaine d'industries situées dans un rayon de 10 km et reliées à la station par des feeders de 800 à 1.000 mm Ø. Une usine métallurgique absorbe 60 %, une fabrique d'armes 25 %, et une demi-douzaine de petits consommateurs (briqueterie, distillerie, école technique), parmi lesquels deux immeubles à appartements, se partagent les 15 % restants.

Ce gaz est vendu à 4 kopecks (= 0,04 R) le m<sup>3</sup>. Ce prix correspond à peu près au prix de revient et, depuis 1955, la station de Toula couvre ses frais. A titre de comparaison, le prix du gaz de ville, dont le pouvoir calorifique varie entre 3.500 et 8.500 kcal/m<sup>3</sup>, est standardisé à 20 kopecks dans toute l'U.R.S.S.

Le personnel « sur le terrain » comprend, pour 5 chantiers de gazéification :

- 3 opérateurs de gazéification à 3 postes, soit 9 hommes par jour,
- 3 équipes de forage + 1 surveillant à 3 postes, soit 30 hommes par jour,
- 1 équipe de déplacement des tuyauteries à 1 poste, soit 10 hommes par jour,

Total : 49 hommes.

Ce total, qu'il faut porter à environ 60 pour assurer la réserve nécessaire à un service continu, ne représente que 13 % du personnel ouvrier. Le reste est occupé dans les salles de machines, au dispatch, à l'entretien, à l'usine de désulfuration, ou à des essais et travaux divers résultant du caractère expérimental de la station. La faible proportion de l'effectif directement proportionnel à la production montre qu'une installation industrielle, à grande échelle, fonctionnerait dans des conditions de rendement beaucoup plus favorables.

## 22. Station de Schatskaïa.

La station de Schatskaïa est implantée à 20 km au S-E de Toula, sur un gisement fort analogue au précédent, et constitué également par deux lentilles de lignite. La lentille occidentale, à 2 km de la station, occupe une superficie de 10 km<sup>2</sup> et contient 19.10<sup>9</sup> de tonnes de combustible exploitable. La lentille orientale, à 5 km de la station, occupe 5 km<sup>2</sup> et contient 8.10<sup>9</sup> tonnes. La couche se trouve à 40 m de profondeur, sa puissance varie autour d'une moyenne de 1,9 m (fig. 48-49). Les terrains de recouvrement sont les mêmes qu'à Toula (fig. 50), le toit de la couche est formé tantôt par des sables,

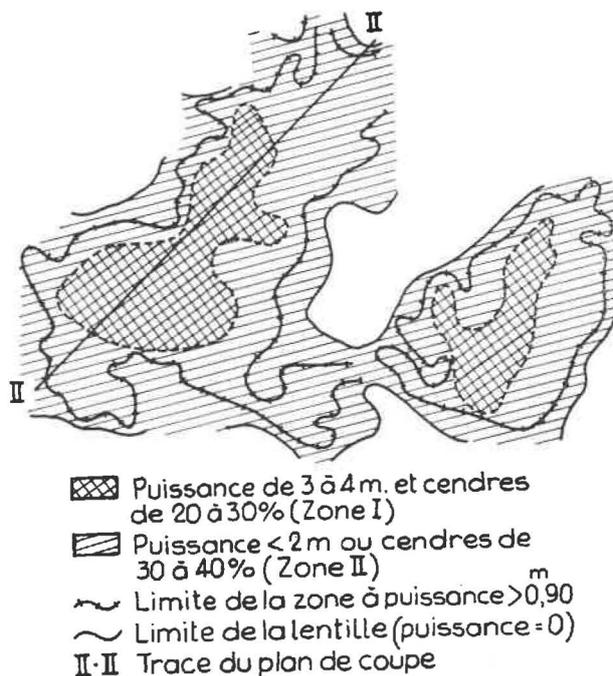


Fig. 48. — Gisement de Schatskaïa. Vue en plan.

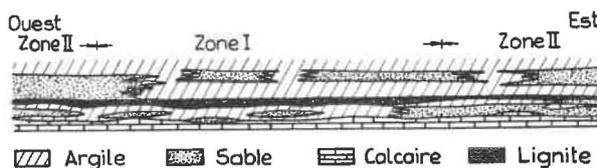


Fig. 49. — Gisement de Schatskaïa. Coupe II - II.

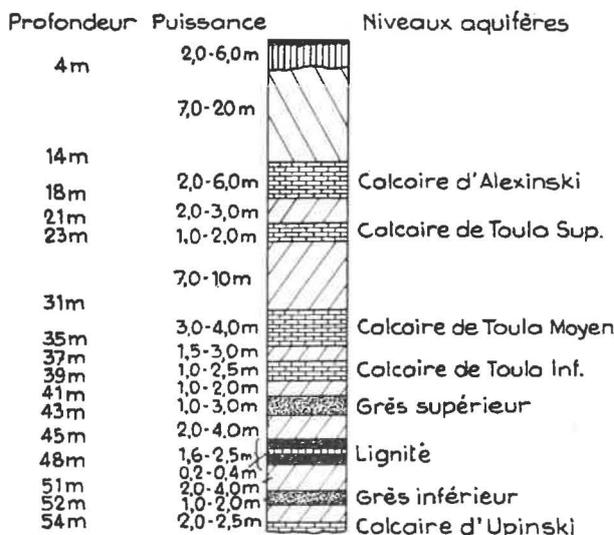


Fig. 50. — Composition des terrains de recouvrement à Schatskaïa.

tantôt par de l'argile. Le lignite contient 25 à 44 % d'humidité et 37 % de cendres ; son pouvoir calorifique est de 2.600 kcal/kg.

Les premiers essais ont eu lieu à Schatskaïa en 1956-1957 et les travaux ont été progressivement développés pour atteindre une production de 100.000 m<sup>3</sup>/h. Cette station est destinée à prendre le relais

de celle de Toula, dont le gisement s'épuise, et à en transposer au stade industriel les résultats, considérés jusqu'ici comme ceux d'une installation pilote.

La technique est très analogue, mais on a augmenté la largeur des panneaux. On travaille par lignes de dix sondages sur une largeur de front de 250 m. Les sondages de la moitié du front sont dans la phase de liaison (soufflage à 6 kg/cm<sup>2</sup>), tandis que l'autre moitié est en cours de gazéification (2 kg/cm<sup>2</sup>). Le gaz est prélevé par les trous situés en bordure du panneau. Le gaz obtenu est à 900 kcal/m<sup>3</sup>, légèrement plus riche qu'à Toula.

Des essais de liaison par air à haute pression ont donné lieu à des combustions spontanées.

Schatskaïa est dotée de moyens de soufflage puissants qui seront encore développés dans l'avenir : 5 compresseurs moyenne pression, de 6.000 m<sup>3</sup>/h sous 8 atm chacun, et 5 compresseurs moyenne pression, de 55.000 m<sup>3</sup>/h sous 2,2 atm chacun.

Le gaz est destiné à être converti sur place en énergie électrique par deux unités de 12 MW auxquelles s'adjoindra plus tard une unité de 24 MW. Cette énergie sera déversée dans le réseau à 110 kV.

Pour les unités génératrices, il a fallu choisir entre des turbines à vapeur alimentées par des chaudières chauffées au gaz, à 90 kg/cm<sup>2</sup>, 500° C, et des turbines à gaz travaillant sous 12 kg/cm<sup>2</sup>, 650° C. On s'est décidé en faveur de cette dernière solution à cause du rendement énergétique légèrement supérieur, mais surtout à cause de l'économie de main-d'œuvre.

Cette solution exige que l'on utilise au maximum le rendement des compresseurs axiaux et des turbines, qui est de l'ordre de 90 %. L'air et le gaz sont

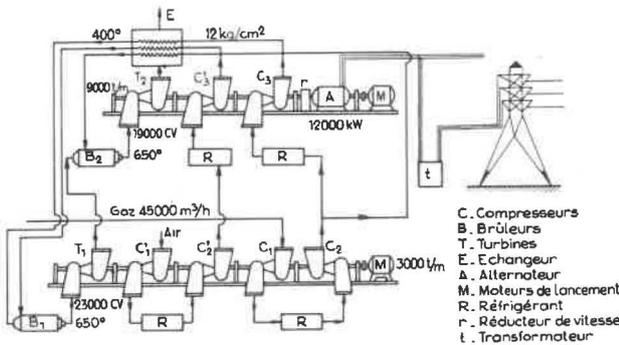


Fig. 51. — Schéma du fonctionnement de la turbine à gaz de Schatskaïa.

comprimés séparément en trois étapes avec deux refroidissements intermédiaires et passent ensuite dans un échangeur où ils récupèrent la chaleur du gaz d'échappement. La combustion et la détente se font en deux étages afin de limiter à 650° C la température à l'entrée des turbines (fig. 51).

Les machines sont réparties sur deux lignes d'arbres : une première turbine de 23.000 ch entraîne les 4 compresseurs basse et moyenne pression (3.000

t/m), tandis que la deuxième turbine, de 19.000 ch, entraîne les compresseurs haute pression (gaz + air primaire) à 9.000 t/m ; le reliquat de puissance est transmis, par un réducteur de vitesse à engrenages, à l'alternateur de 12.000 kW relié au réseau (3.000 t/m). Des moteurs de lancement sont prévus pour chaque ligne d'arbres.

La première unité est installée. Lors de notre visite, elle était en révision, après une marche d'essai d'un mois aux huiles de pétrole. Elle avait subi des avaries attribuées à des copeaux de métal restés dans les réfrigérants et entraînés entre les aubes. La machine devait être mise définitivement en service fin 1958. La consommation prévue est de 45.000 Nm<sup>3</sup>/h de gaz à 900 kcal/Nm<sup>3</sup>.

Avec deux unités de 12 MW en service, la consommation de lignite serait de l'ordre de 380.000 t/an. Après l'addition d'une nouvelle unité de 24 MW, portant la puissance définitive à 48 MW, la consommation serait doublée et la station aurait une réserve de combustible suffisante pour 30 ans.

Grâce à l'expérience acquise à Toula, aux perfectionnements apportés par rapport à cette station, et au fait de travailler à une échelle plus grande, on espère diminuer de moitié à peu près le prix du gaz et le ramener à 22 roubles environ aux 1.000 Nm<sup>3</sup>.

Actuellement, le gaz produit est inutilisé et on procède à des essais en grand sur le terrain pour fixer définitivement la technique à adopter.

### 23. Station d'Angren.

Angren est situé dans la République d'Uzbekistan (Turkestan) à 120 km au S-E de Tachkent. Le gisement à gazéifier s'étend sur 12 à 13 km en longueur et 8 à 9 km en largeur et occupe une surface de 150 km<sup>2</sup>. La couche de lignite a une puissance variant de 1,6 à 21,1 m, avec une moyenne de 9,2 m. La profondeur varie de 110 à 195 m (150 m en moyenne) et le pendage de 5 à 15°.

Le combustible est un lignite plus évolué et moins poreux (30 %) que celui de Toula (22 à 24 % de matières volatiles). Son aspect est noir. Sa composition résulte des analyses ci-dessous (tableau XIII).

TABLEAU XIII.

| Charbon  | Composition |      |
|----------|-------------|------|
|          | brut        | pur  |
| C        | 43,3        | 76,2 |
| H        | 2,3         | 4    |
| O        | 10,4        | 17,8 |
| N        | 0,5         |      |
| S        | 1,5         |      |
| Cendres  | 11          | —    |
| Humidité | 31          | —    |

Le pouvoir calorifique (sur brut) est de 3.650 kcal/kg. Au mur de la couche, il y a 10 à 15 m d'argile et d'alévolite, puis une coulée de basalte. Au toit, un banc de schiste charbonneux de 40 m, contenant 10 % de matières combustibles, participera partiellement à la gazéification. Plus haut, une couche de 20 à 30 m de kaolin permet d'espérer une étanchéité satisfaisante. Il y a plusieurs niveaux aquifères dans les terrains de recouvrement.

Il y a des exploitations souterraines à 2 km et des exploitations à ciel ouvert à 5 km du site choisi pour la gazéification souterraine.

La station d'Angren est en cours de construction. Le principe de fonctionnement sera le même qu'à Toula mais, vu la puissance de la couche, les sondages seront forés avec une inclinaison de 53° - 58° sur l'horizontale, les mettant à l'abri des mouvements de terrains pendant la période de soufflage. Le gaz sera récolté par les côtés des panneaux qui auront 315 m de largeur. La distance entre les trous sera de 35 m (fig. 8 - 9).

Les projets ont été établis pour gazéifier 1.000.000 tonnes de charbon par an, en produisant 2,5 milliards de m<sup>3</sup> de gaz à 1.000 kcal/Nm<sup>3</sup>. La puissance de la couche, et les teneurs plus favorables en cendres et humidité, permettent en effet d'escompter un P.C. plus élevé qu'à Toula. Des essais préliminaires permettent de prévoir la composition du gaz (tableau XIV).

TABLEAU XIV.

| H <sub>2</sub> S | CO <sub>2</sub> | C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> | O <sub>2</sub> | CO   | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> | PCI   |
|------------------|-----------------|-------------------------------|----------------|------|----------------|-----------------|----------------|-------|
| 1,3              | 16,0            | 0,2                           | 0,2            | 10,0 | 17,6           | 1,6             | 53,1           | 1.000 |

La pression d'air de gazéification sera de 2 atm (210.000 Nm<sup>3</sup>/h) et celle de l'air moyenne pression pour l'établissement des communications de 5 atm (30.000 Nm<sup>3</sup>/h), le débit prévu de gaz 290.000 Nm<sup>3</sup>/h. Les sondages à air auront 300 mm Ø, les sondages à gaz 400 mm Ø, les collecteurs d'air moyenne pression 325 mm Ø, air basse pression : 920 mm Ø et gaz : 1220 mm Ø (tôle de 12 mm).

Le gaz sera envoyé par une conduite de 2 m Ø à une centrale électrique à vapeur située à 4,5 km, qui fournira 200 MW par chauffe aux combustibles solides et 100 MW par chauffe au gaz de gazéification souterraine.

La station d'Angren devait démarrer un premier chantier fin 1958. Elle doit atteindre en 1960 un premier palier de production de 10<sup>9</sup> Nm<sup>3</sup>/an.

## 24. Station de Lissitchansk.

### 240. Situation.

Lissitchansk est située sur le Donetz, à 160 km au N-E de Stalino, à peu près à mi-chemin entre Karkhov et Rostov et à l'extrémité orientale de l'Ukraine. A 2 ou 3 km de la station de gazéification souterraine se trouve une plaque commémorative indiquant l'endroit où pour la première fois, sous Pierre le Grand, du charbon a été extrait dans le bassin du Donetz.

Le bassin du Donetz proprement dit, ou Vieux Donbass, s'étend sur 150 km d'ouest en est. Il occupe une superficie de 23.000 km<sup>2</sup> dans la partie orientale de l'Ukraine et déborde à l'est sur le territoire de la République de Russie (Rostov). De nouvelles découvertes ont actuellement doublé la superficie, et le Grand Donbass se prolongerait jusqu'à Kiev à l'ouest et la Volga à l'est. C'est le bassin le plus ancien et, quant à la production, le plus important d'U.R.S.S., dont il fournit 35 % de l'extraction (140.10<sup>6</sup> tonnes en 1955 sur un total de 391.10<sup>6</sup> tonnes). Son importance relative diminue cependant avec le développement des nouveaux bassins en Sibérie.

### 241. Gisement.

Le bassin du Donetz est d'âge carbonifère et a été fortement sollicité tectoniquement. Il contient 120 couches exploitables, dont la qualité varie des anthracites aux houilles à gaz avec une forte proportion de charbon à coke.

La station de gazéification souterraine de Lissitchansk est implantée sur l'affleurement d'un faisceau assez dense de 12 couches peu puissantes (0,5 m à 1,0 m), plongeant vers le sud avec un pendage de 30 à 40° assez régulier. Les terrains encaissants sont constitués de bancs de schiste et de calcaire. D'anciennes exploitations ont enlevé le charbon à l'affleurement jusqu'à 40 m environ de la surface. Le Houiller est recouvert par des terrains récents argileux.

L'analyse de ce charbon donne les chiffres suivants (tableau XV).

TABLEAU XV.

| Charbon  | brut | pur |
|----------|------|-----|
| C        | 59   | 80  |
| H        | 3    | 4   |
| O        | 7    | 9,5 |
| N        | 3    | 4   |
| S        | 2    | 2,5 |
| Cendres  | 15   | —   |
| Humidité | 11   | —   |



TABLEAU XVII.

## Caractéristiques des chantiers.

| N°                          | Chantiers<br>Dates de fonctionnement<br>mois - années | Couche         |                | Profondeur<br>des anciens<br>travaux<br>m | Charbon                       |                               | Soufflage<br>% O <sub>2</sub><br>% | Fuites<br>air<br>+ gaz<br>% | Gaz                            |                               | Rendement<br>thermique<br>% |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------|----------------|----------------|-------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
|                             |                                                       | N°             | Puissance<br>m |                                           | En place<br>10 <sup>3</sup> t | Gazéifié<br>10 <sup>3</sup> t |                                    |                             | P.C.I.<br>kcal/Nm <sup>3</sup> | Humidité<br>g/Nm <sup>3</sup> |                             |
|                             |                                                       |                |                |                                           |                               |                               |                                    |                             |                                |                               |                             |
| 4                           | X/1949 - V/1951                                       | I <sub>8</sub> | 0,8            | 25                                        | 35,3                          | 26,5                          | 39,8                               | 20,2                        | 805                            |                               | 42,5                        |
| 1                           | IV/1950 - X/1951                                      | k <sub>8</sub> | 0,53           | 45                                        | 62,2                          | 30,8                          | —                                  | 14,2                        | 868                            |                               | 43                          |
| 7                           | VII/1951 - IX/1953                                    | I <sub>8</sub> | 0,8            | 18                                        | 23,4                          | 19,8                          | 28,9                               | 18,0                        | 685                            | 740                           | 46,4                        |
| 10                          | V/1952 - IV/1954                                      | I <sub>8</sub> | 0,8            | 35                                        | 62,4                          | 51,9                          | 32,2                               | 20,0                        | 794                            | 916                           | 47,2                        |
| 15                          | IX/1953 - X/1954                                      | I <sub>6</sub> | 0,8            | 53                                        | 45,0                          | 37,6                          | 33,8                               | 15,0                        | 773                            | 720                           | 45,4                        |
| 14                          | VIII/1954 - I/1956                                    | I <sub>5</sub> | 0,84           | 35                                        | 52,7                          | 51,8                          | 34,6                               | 22                          | 822                            | 902                           | 49,7                        |
| 15                          | X/1955 - X/1957                                       | I <sub>5</sub> | 0,84           | 40                                        | 59,8                          | 25,2                          | 35,3                               | 15                          | 652                            | 1.100                         | 39,3                        |
| 24                          | VII/1956 - X/1957                                     | I <sub>4</sub> | 1,08           | 44                                        | 24,1                          | 23,26                         | 44,8                               | 15,7                        | 952                            | 1.455                         | 46,8                        |
| 25                          | XII/1956 - XII/1957                                   | I <sub>4</sub> | 1,08           | 62                                        | 61,0                          | 46,5                          |                                    | 21,0                        | 825                            | 1.500                         | 42,7                        |
| Sondage 168 (1956) (*)      |                                                       | I <sub>8</sub> | 0,8            |                                           |                               | 3,17                          | 46,4                               | 40                          | 1.185                          |                               | 59,6                        |
| 3 chantiers 1955 - VII/1958 |                                                       |                |                |                                           | 142,8                         | 139,2                         | 37,8                               |                             | 834                            | 770                           | 45,6                        |

(\*) Sondage horizontal « dirigé » à partir de la surface, et suivant la couche sur 70 m environ. Il a recoupé des anciens sondages inclinés que l'on a utilisés pour créer un système de gazéification.

TABLEAU XVIII.

## Caractéristiques du gaz.

| Chantiers                  | Air soufflé                                    |                       | Gaz                                            |                       |                      |                                    |                     |         |                     |                      |                     |                                |                               |
|----------------------------|------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------------------|---------------------|---------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                            | Débit total<br>10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup> | % O <sub>2</sub><br>% | Débit total<br>10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup> | H <sub>2</sub> S<br>% | CO <sub>2</sub><br>% | C <sub>m</sub> H <sub>n</sub><br>% | O <sub>2</sub><br>% | CO<br>% | H <sub>2</sub><br>% | CH <sub>4</sub><br>% | N <sub>2</sub><br>% | P.C.I.<br>kcal/Nm <sup>3</sup> | Humidité<br>g/Nm <sup>3</sup> |
|                            |                                                |                       |                                                |                       |                      |                                    |                     |         |                     |                      |                     |                                |                               |
| n° 14                      | 128                                            | 34,6                  | 130                                            | 1,36                  | 26,6                 | 0,19                               | 0,3                 | 6,0     | 12,6                | 2,48                 | 50,87               | 822                            | 1.100                         |
| n° 15                      | 71                                             | 35,3                  | 72,6                                           | 0,63                  | 27,6                 | 0,17                               | 0,42                | 4,84    | 10,1                | 2,19                 | 54,05               | 652                            | 1.455                         |
| n° 24                      | 45,5                                           | 44,8                  | 54                                             | 2,09                  | 32,2                 | 0,19                               | 0,37                | 7,62    | 15,8                | 2,38                 | 38,53               | 952                            | 1.500                         |
| Sondage 168 (*)            | 4,57                                           | 46,4                  | 4,6                                            | 0,76                  | 27,4                 | 0,2                                | 0,25                | 10,31   | 22,5                | 2,54                 | 36,13               | 1.185                          | —                             |
| 3 chantiers<br>1955 - 1958 | 329,5                                          | 37,8                  | 334                                            | —                     | —                    | —                                  | —                   | —       | —                   | —                    | —                   | 834                            | 770                           |
| 1958                       | —                                              | —                     | —                                              | 1,5                   | 28,5                 | —                                  | 0,2                 | 8,4     | 17,0                | 2,4                  | 43                  | 939                            | 770                           |

(\*) Voir Tableau XVII.

sitchansk. Ceux-ci sont moins réguliers que ceux de Toula, et la gazéification des charbons « durs » ou complètement houillifiés n'est pas encore aussi parfaitement au point que celle des lignites.

Au moment de notre visite, la station produisait 25.000 m<sup>3</sup>/h environ (soit 600.000 m<sup>3</sup>/jour) de gaz à 900 calories/Nm<sup>3</sup>. Les chantiers sont des panneaux de 380 m de longueur sur 125 m de hauteur (mesurée selon la pente de la couche) et comportent 8 à 10 sondages à gaz, tubés à 200 mm Ø, et débitant chacun 3.000 Nm<sup>3</sup>/h.

La station est défavorisée par la minceur de ses couches, entraînant des pertes de chaleur importantes dans les terrains, et par l'importance des venues d'eau : le gaz entraîne de 700 à 1.500 g de vapeur par Nm<sup>3</sup>. Aussi le bilan thermique est-il médiocre : 30 % de la chaleur sont entraînés sous forme de vapeur, et 45 % seulement sous forme de pouvoir calorifique du gaz. Le reste représente les fuites de gaz (10 %) et les pertes sous forme de chaleur sensible (15 %).

Pour améliorer le bilan thermique, on enrichit l'air en oxygène (30 à 40 % d'O<sub>2</sub> dans le fluide soufflé). D'après les essais effectués, on améliore ainsi de 200 à 300 kcal/Nm<sup>3</sup> le pouvoir calorifique du gaz. On utilise à cet effet alternativement un des deux groupes Linde-Frankl de la station. Les gaz rares produits améliorent légèrement le bilan financier, mais l'azote est inutilisé, malgré la proximité d'un complexe d'industries chimiques.

Pour ces raisons, la production du gaz revient deux fois plus cher à Lissitchansk qu'à Toula. Cette station n'a plus guère d'avenir. Son gisement, entamé par les anciennes exploitations, est en voie d'épuisement, et elle sera remplacée dans quelques années par celle de Kamenskaïa.

## 25. Station de Kamenskaïa.

Kamensk se trouve sur le Donetz, à 130 km au nord de Rostov, juste à l'est de la limite orientale de l'Ukraine. La station de Kamenskaïa est en construction à 8 km au S-E de la ville, sur le flanc nord d'un synclinal qui s'ennoye vers l'est et qui est cisailé à l'ouest par un faisceau de grandes fail-

les. Le gisement utilisable pour la gazéification souterraine occupe une surface de 6,6 km × 0,6 km = 4 km<sup>2</sup> entre l'affleurement et la profondeur de 500 m. Il comprend deux couches de charbon anthraciteux, avec un pendage de 40 à 60° vers le sud.

L'analyse élémentaire du charbon donne (tableau XX) :

TABLEAU XX.

| Charbon  | brut  | pur   |
|----------|-------|-------|
| C        | 67,5  | 90,0  |
| H        | 3,1   | 4,1   |
| O        | 1,6   | 2,1   |
| N        | 1,1   | 1,5   |
| S        | 1,7   | 2,3   |
| Cendres  | 13,0  | —     |
| Humidité | 12,0  | —     |
| PCI      | 6.200 | 8.540 |

Les terrains encaissants sont composés de schistes et de calcaires, et le gisement est recouvert par ± 50 m de terrains récents.

C'est la couche inférieure (i<sub>3</sub>) qui va être utilisée pour les premiers essais de gazéification souterraine.

Le premier chantier, de caractère purement expérimental, comportera 11 trous inclinés qui seront forés dans la couche à partir de la surface, à intervalles de 35 m, et atteindront une longueur de 150 m.

Différents procédés seront utilisés pour effectuer la liaison souterraine entre ces sondages. Un trou horizontal, exécuté par forage dirigé, reliera 7 d'entre eux (235 m en charbon). D'autre part, une série de neuf trous verticaux, recouperont la couche à 115 m de profondeur, dans les intervalles entre les 4 derniers trous inclinés, et permettront d'appliquer les techniques de liaison électrique et par haute pression. Ce chantier expérimental doit démarrer en 1959.

Un second chantier, qualifié de pilote ou semi-industriel, est prévu dès maintenant avec 8 sondages inclinés en couche, espacés de 30 m, de 300 m de

TABLEAU XIX.

Caractéristiques du gisement de Kamenskaïa.

| Couche         | Puissance<br>m | Cendres (%)    |      | Soufre<br>(%) | Matières<br>volatiles<br>(%) | Réserves (10 <sup>3</sup> t) |             |
|----------------|----------------|----------------|------|---------------|------------------------------|------------------------------|-------------|
|                |                | avec           | sans |               |                              | Totales                      | Exploitable |
|                |                | intercalations |      |               |                              |                              |             |
| i <sub>3</sub> | 0,75           | 11,9           | 11,6 | 1,93          | 6,56                         | 4.174                        | 3.544       |
| i <sub>3</sub> | 0,98           | 14             | 10,6 | 2,06          | 7,62                         | 6.001                        | 4.825       |
|                |                |                |      |               |                              | 10.175                       | 8.169       |

longueur totale, avec des sondages verticaux de 230 m dans les intervalles. Une série supplémentaire de sondages verticaux doit recouper les sondages inclinés à mi-hauteur du panneau (profondeur : 115 m). Des sondages spéciaux sont prévus pour le drainage, qui a été étudié avec soin.

La station est équipée de compresseurs capables d'un débit total de 55.000 Nm<sup>3</sup>/h. Elle doit produire la première année 300.000 Nm<sup>3</sup>/jour de gaz à 900 kcal/Nm<sup>3</sup>. Cette production doit être portée en quatre ans à 10<sup>6</sup> Nm<sup>3</sup>/jour, et elle atteindra au stade définitif 2.10<sup>6</sup> Nm<sup>3</sup>/jour, soit 84.000 Nm<sup>3</sup>/h. Dans ces conditions, la réserve de gisement suffirait pour 40 ans.

Le gaz sera transporté vers les utilisateurs (centrale électrique et briqueterie) par une conduite de 800 mm Ø et 9,5 km de longueur.

La station de Kamenskaïa est destinée à prendre la relève de celle de Lissitchansk pour l'étude de la gazéification en couches inclinées, et à poursuivre les travaux sur la gazéification des anthraciteux, amorcés avant la guerre à Gorlovka et à Schachty.

### 26. Station de Youzno-Abinskaïa.

La station de Youzno-Abinskaïa est située dans le bassin de Kuznetzk, ou Kuzbass, à l'extrémité S-E de la Sibérie Occidentale, près des sources de la rivière Tom, et à quelques centaines de km de la frontière chinoise.

Ce bassin, d'âge permien, s'étend sur 26.700 km<sup>2</sup>. Il est le second d'U.R.S.S. au point de vue extraction (15,3 % du total), mais son importance est croissante. Ses réserves sont 5 fois plus importantes que celles du Donetz et consistent pour 30 % en charbons à coke.

La station de gazéification souterraine est implantée près de Kiselovsk, dans la partie centrale du bassin, sur un faisceau de 23 couches de 1 à 9 m de puissance (2,5 m en moyenne) formant un synclinal aigu, dont la charnière se trouve à peu près à 200 m de profondeur pour la couche principale et dont les flancs ont un pendage de 60-67°. Ce gisement est recouvert par des alluvions épaisses de 6 à 10 m.

L'analyse de ce charbon est donnée au tableau XXI.

Les épontes consistent en schistes argileux et grès tendres. Il y a une exploitation souterraine à 4 km de la station.

TABLEAU XXI.

| Charbon  | brut  | pur   |
|----------|-------|-------|
| C        | 75,2  | 84,4  |
| H        | 4,37  | 4,9   |
| O        | 7,14  | 8,0   |
| N        | 2,12  | 2,35  |
| S        | 0,31  | 0,35  |
| Cendres  | 4,86  | —     |
| Humidité | 6,0   | —     |
| P.C.I.   | 6.960 | 7.800 |

La gazéification souterraine a démarré à Youzno-Abinskaïa en mai 1955. La technique est celle décrite au paragraphe 121 pour les couches puissantes.

Le premier chantier consistait en une galerie horizontale de 100 m, creusée à la main dans la couche de 9 m, et reliée à la surface par 10 sondages en couche et 5 sondages au mur. Ce panneau est resté en service jusqu'au 1<sup>er</sup> novembre 1956. On y a gazéifié 15.600 tonnes de charbon, sur les 20.000 tonnes existantes, au moyen de 46.10<sup>6</sup> Nm<sup>3</sup> d'air, en produisant 70.10<sup>6</sup> Nm<sup>3</sup> de gaz dont le P.C.I. moyen a été de 1.228 kcal/Nm<sup>3</sup>. Le débit d'air a varié entre 2.000 et 10.000 Nm<sup>3</sup>/h. Il a fallu le réduire à certains moments, à cause des effondrements provoqués par la combustion de la couche. Les fuites ont varié de 15 % au début à 30 à 35 % après les éboulements.

La composition du gaz a varié entre les limites indiquées au tableau XXII.

Le pouvoir calorifique du gaz semble varier parallèlement au débit d'air (1.000 kcal/Nm<sup>3</sup> pour 2.500 Nm<sup>3</sup>/h et 1.200 kcal pour 6.000 Nm<sup>3</sup>/h). Le rendement thermique des réactions a atteint 75 % (sans tenir compte des pertes de gaz), favorisé par la puissance de la couche.

Un second chantier de 100 m × 145 m, tracé dans une couche de 2,20 m, a été mis à feu le 5 janvier 1956. La liaison entre sondages a été effectuée sans travaux souterrains, par la méthode de l'air à haute pression (30-35 atm).

La vitesse de liaison a été de 2,12 m/jour, avec une consommation d'air de 9.000 Nm<sup>3</sup> et d'énergie de 1.500 kWh par mètre courant. Ce panneau a été en service jusqu'au 1-12-57. On y a gazéifié 34.500 t, soit 83 % du charbon disponible, en produisant

TABLEAU XXII.

|                | H <sub>2</sub> S | CO <sub>2</sub> | C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> | O <sub>2</sub> | CO | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> | P.C.I.    |
|----------------|------------------|-----------------|-------------------------------|----------------|----|----------------|-----------------|----------------|-----------|
| Phase initiale | 0,02             | 6               | 0,2                           | 0,3            | 22 | 20             | 3               | 48,5           | 1360-1550 |
| Phase finale   | 0,01             | 12              | 0,1                           | 0,2            | 17 | 14             | 2,5             | 54,2           | 900-1200  |

150.10<sup>6</sup> Nm<sup>3</sup> de gaz environ à 855 kcal/Nm<sup>3</sup> (20 % de fuites). Le P.C. du gaz est plus faible que celui du chantier précédent à cause sans doute de la puissance plus faible de la couche et surtout de l'importance des venues d'eau (exhaure de 21 m<sup>3</sup>/h par des sondages de 300 mm Ø implantés dans l'axe du synclinal).

Les panneaux actuels ont 500 m de longueur.

Fin 1958, le 5<sup>m</sup>e panneau était en service et la station produisait 30.000 m<sup>3</sup>/h (ce qui correspond à 250.10<sup>6</sup> Nm<sup>3</sup>/an) ; cette production doit être doublée en 1959.

Dans l'ensemble, la station a produit jusqu'ici :

|                                               |                                         |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|
| en 1955 :                                     | 20,7 . 10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup>  |
| en 1956 :                                     | 68 . 10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup>    |
| en 1957 :                                     | 84,3 . 10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup>  |
| en 1958 :                                     | ± 120 . 10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup> |
| de gaz à environ 1.000 kcal/Nm <sup>3</sup> . |                                         |

Ce gaz est utilisé à la chauffe de chaudières à vapeur et de fours à briques.

La station de Youzno-Abinskaïa, qui est encore loin d'avoir atteint son échelle définitive, n'est elle-même qu'une installation pilote destinée à amasser l'expérience nécessaire pour construire des centrales beaucoup plus vastes.

## 27. Remarques générales.

Les six stations décrites ci-dessus se trouvent à des stades d'évolution bien divers : Toula et Youzno-Abinskaïa sont des installations pilotes qui fonctionnent régulièrement et ne se différencient d'installations industrielles que par l'échelle. Les résultats

obtenus jusqu'ici, s'ils ne sont pas encore significatifs au point de vue économique, fournissent des bases sérieuses pour l'érection de stations industrielles, d'une part dans les lignites de Moscou, d'autre part dans les charbons flambants du Kuznetsk.

La station de Schatskaïa est en cours de démarrage et celle d'Angren à un stade avancé de construction. Ce seront les deux premières réalisations à échelle industrielle, toutes deux en lignite.

Enfin, la station en activité à Lissitchansk et celle qui est en construction à Kamensk, sont des stations expérimentales, destinées à mettre au point la gazéification des charbons gras et des anthracites.

Les quantités de gaz produites jusqu'ici sont indiquées au diagramme de la figure 52 (par. 401).

Nous avons pu visiter personnellement les stations de Toula, Schatskaïa et Lissitchansk. Les autres stations sont trop lointaines pour être touchées au cours d'un périple de quelques jours en Union Soviétique.

Grâce à l'amabilité de la Direction de l'Institut VNII - Podzemgaz de Moscou, nous avons pu cependant rapporter des échantillons des charbons de toutes ces stations. Ces échantillons ont été analysés au laboratoire de l'Institut National de l'Industrie Charbonnière à Liège.

Les divergences entre les chiffres obtenus (tableau XXII bis) et ceux cités plus haut peuvent provenir de différences entre les modes opératoires d'Inchar et soviétiques, de l'altération et de la dessiccation des échantillons au cours du transport, et du fait que ces échantillons, de volume nécessairement réduit, ne sont qu'imparfaitement représentatifs du gisement correspondant.

TABLEAU XXII bis.

| Résultats<br>en % | En équilibre hygrométrique<br>avec l'air |         |       | sur sec |       | sec et supposé<br>sans cendres |
|-------------------|------------------------------------------|---------|-------|---------|-------|--------------------------------|
|                   | Humidité (*)                             | Cendres | M.V.  | Cendres | M.V.  | M.V.                           |
| Toula             | 6,14                                     | 22,21   | 42,49 | 23,66   | 45,27 | 59,30                          |
| Angren            | 12,28                                    | 9,30    | 25,28 | 10,60   | 28,82 | 32,24                          |
| Lissitchansk      | 7,57                                     | 2,31    | 36,10 | 2,50    | 39,06 | 40,06                          |
| Youzno-Abinskaïa  | 2,64                                     | 2,92    | 34,52 | 3,00    | 35,46 | 36,56                          |
| Kamenskaïa        | 0,86                                     | 3,34    | 9,26  | 3,37    | 9,34  | 9,67                           |

(\*) Correction d'adsorption non faite. Les chiffres russes se rapportent à l'humidité en place, dans le gisement, et ne sont donc pas comparables à ceux-ci.

### 3. ASPECTS ECONOMIQUES

#### 30. Généralités.

##### 300. Base d'information.

Dans l'économie planifiée de l'Union Soviétique, les prix de revient industriels sont suivis de près et analysés soigneusement. Les stations expérimentales de gazéification souterraine ne font pas exception à la règle, et leurs résultats sont utilisés comme base pour le calcul de la rentabilité des stations projetées à une échelle beaucoup plus grande. Dans la littérature technique, on trouve de nombreuses études consacrées aux prix de revient et à la répartition des frais de production.

La station de Toula est de loin celle qui présente la marche la plus régulière, la technique la mieux établie et les périodes de régime les plus longues : aussi est-elle généralement prise comme référence pour des études de ce genre.

##### 301. Présentation des résultats.

Dans le présent chapitre, nous avons rassemblé quelques données concernant les éléments du prix de revient des stations de gazéification souterraine : main-d'œuvre, amortissements, activités annexes, préparation des chantiers, énergie électrique. Nous donnons ensuite quelques résultats globaux (prix de revient du gaz) et reproduisons enfin, d'après la documentation soviétique, quelques comparaisons entre la gazéification souterraine et l'exploitation minière, ou entre les centrales électriques à charbon et à gaz.

Les chiffres que nous donnons n'ont qu'une valeur d'indication. Dans la documentation dont nous disposons, nous avons d'ailleurs relevé quelques contradictions de détail. Ne possédant pas les données indispensables pour rectifier ces chiffres, nous les avons généralement laissés tels quels. Dans les grandes lignes d'ailleurs, les sources utilisées concordent d'une façon satisfaisante.

Les derniers résultats publiés se rapportent aux années 1955 et 1956. D'après les renseignements que nous avons pu recueillir sur place, ils semblent refléter encore assez fidèlement la situation actuelle (fin 1958).

Enfin, nous avons exprimé en roubles et kopecks (1 R = 100 k) tous les résultats cités. Il est en effet impossible de définir un taux de conversion général entre le rouble et nos monnaies. Le tarif du change n'a aucune signification et comporte d'ailleurs plusieurs taux différents. Le taux calculé à partir des prix d'articles comparables est très variable suivant l'article choisi comme référence. Quelques sondages effectués sur des produits industriels donnent une moyenne de 1 R  $\cong$  7 FB. Par contre, une comparaison basée sur le coût de la vie donnerait probablement 1 R = 5 FB.

##### 302. Interprétation des résultats.

Les chiffres que nous citons appellent encore quelques remarques d'un ordre plus général.

D'abord, comme dans tout problème d'exploitation minière, les conditions géologiques sont déterminantes au point de vue de la rentabilité de la gazéification. Les facteurs principaux sont ici la profondeur, la régularité, la puissance, le pendage, la porosité et la teneur en cendres des couches, la plasticité et l'imperméabilité des terrains encaissants, et le régime hydrologique du gisement.

Ensuite, étant donné l'étendue du territoire, les produits industriels ont souvent à parcourir en U.R.S.S. des distances énormes, et les frais de transport prennent une grande importance, il arrive souvent qu'ils dépassent la valeur primitive du produit. La rentabilité d'une centrale électrique ou d'un charbonnage dépend parfois plus de la distance à laquelle il faut transporter le charbon que du mode d'exploitation.

Les conditions de l'exploitation souterraine sont généralement plus favorables que chez nous (faible profondeur, forte puissance des couches, bonne tenue des terrains). Par contre, les combustibles exploités, du moins quand il est question de gazéification souterraine, ont ordinairement un pouvoir calorifique assez bas. Ces deux observations font ressortir encore l'importance relative des frais de transport.

Le gaz de gazéification souterraine, ayant lui-même un pouvoir calorifique assez bas, ne peut être transporté bien loin. Même sur des distances de l'ordre de 10 km, les frais de transport du gaz représentent 10 à 30 % du coût de production total. Ajoutons encore que les prix de certains produits ayant une incidence importante sur les frais des stations de gazéification souterraine, sont fixés par voie d'autorité, sans tenir compte de la loi de l'offre et de la demande. En particulier, le prix de l'énergie qui constitue une partie importante du prix de revient, est très variable ; la consommation spécifique d'énergie atteint elle-même des valeurs très différentes, suivant qu'il s'agit des chiffres relevés dans telle ou telle station, ou d'une estimation théorique.

D'autre part, les normalisations en vigueur imposent parfois le choix de solutions assez écartées du compromis optimum au point de vue technique.

Ces quelques considérations montrent que tout calcul de prix de revient ou toute comparaison entre procédés ne sont valables que pour une installation implantée dans des conditions géologiques et géographiques bien déterminées, et dans un contexte économique qu'il est impossible de négliger.

### 31. Main-d'œuvre.

#### 310. Effectifs occupés.

Le tableau XXIII donne le personnel occupé dans les diverses stations de gazéification souterraine.

Le personnel des stations existantes est relativement beaucoup plus nombreux que celui des stations en cours de construction : dans celles-ci en effet, il ne sera plus nécessaire de consacrer autant d'efforts à des travaux expérimentaux et on pourra travailler à une échelle plus grande. Pour les stations futures, on envisage une échelle beaucoup plus vaste encore sans augmenter beaucoup le personnel : on compte y produire de 3 à 8 milliards de m<sup>3</sup> annuels avec un personnel de 500 à 920 personnes au total, soit des rendements de 500 à 725.000 Nm<sup>3</sup> gaz par homme et par mois, équivalents à 65 à 124 tonnes de charbon à 7.000 kcal/kg par homme et par mois (2.500 à 5.000 kg/jour), mais ces chiffres attendent la confirmation de l'expérience.

#### 311. Niveau des salaires.

Si, pour la station de Toula, nous divisons les sommes payées en salaires par le nombre des ouvriers (en supposant les rémunérations des autres catégories de personnel imputées en frais généraux), nous obtenons un revenu annuel de 4.800 R par an, soit 400 R/mois.

A partir d'une autre décomposition du prix de revient, où les frais généraux ont été ventilés entre les autres rubriques, nous trouvons de la même façon 5.650 R/an pour l'ensemble du personnel, soit 470 R/mois. Les chiffres trouvés pour Lissitchansk sont encore beaucoup plus bas.

Ces chiffres paraissent très faibles, même compte tenu du prix de la vie en U.R.S.S.

En faisant le même calcul pour les charbonnages voisins, on trouve 1.200 R/mois environ (en 1955). Ce dernier chiffre est beaucoup plus vraisemblable.

Même en tenant compte de la qualification des travailleurs des stations de gazéification souterraine, de beaucoup inférieure à celle des mineurs du fond, la différence entre les deux catégories paraît anormalement élevée. Les salaires ont d'ailleurs fortement augmenté ces dernières années et doivent se situer actuellement, pour les stations de gazéification souterraine, entre 600 et 1.000 R/mois.

Il semble donc que, dans le calcul du prix de revient du gaz, on ait tenu compte du fait que le personnel d'une station pilote est anormalement élevé en imputant ailleurs une partie des rémunérations, ou en les remplaçant par des avantages en nature.

Enfin, les chiffres de personnel qu'on nous a cités oralement lors de notre visite des stations de Toula et Lissitchansk, quoique peu précis, étaient beaucoup plus faibles que ceux de la documentation imprimée qu'on nous a remise et qui sont repris ci-dessus.

### 32. Investissements et amortissements.

#### 320. Stations existantes.

Nous donnons au tableau XXIV le montant des investissements renseignés pour les installations de gazéification existantes. Notons que même les installations expérimentales comportent des bâtiments importants en maçonnerie et béton armé, construits pour durer. On ne voit pas de montages de fortune ou de hangars métalliques. Les stations comportent souvent des annexes importantes (installations de production d'oxygène ou de récupération du soufre, centrales ou sous-stations électriques, cités d'habitations pour le personnel), qui en sont considérées comme parties intégrantes au point de vue investissements et frais d'exploitation.

TABLEAU XXIII.

|                                                      | Toula<br>1955 | Lissitchansk<br>1956 | Schatskaïa<br>projet | Angren<br>projet | Kamenskaïa<br>projet | Y-Abinskaïa<br>projet |
|------------------------------------------------------|---------------|----------------------|----------------------|------------------|----------------------|-----------------------|
| Ingénieurs et techniciens                            | 76            | 71                   | 97                   | 118              | 86                   | 141                   |
| Employés                                             | 33            | 23                   |                      |                  |                      |                       |
| Surveillance                                         | 25            | 32                   |                      |                  |                      |                       |
| Personnel auxiliaire                                 | 7             | 5                    |                      |                  |                      |                       |
| Travailleurs manuels                                 | 378           | 349                  | 353                  | 508              | 141                  |                       |
| Total                                                | 519           | 480                  | 450                  | 626              | 227                  | 234                   |
| Production 10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup> (brut) an | 412           | 112,7                | 662,4                | 2.320            | 365                  | 582,5                 |
| Rendement en 10 <sup>3</sup> Nm <sup>3</sup> /mois   | 66,1          | 19,6                 | 123,0                | 322              | 134                  | 206,7                 |
| Id. en charbon à 7.000 kcal/kg<br>en t/mois          | 7,6           | 2,35                 | 17,6                 | 46               | 17,2                 | 32,5                  |

TABLEAU XXIV.

| Investissements en 10 <sup>6</sup> R | Toula       | Lissitchansk |
|--------------------------------------|-------------|--------------|
| Bâtiments                            | 10,8        | 13,8         |
| Équipement industriel                | 13,2        | 23,9         |
| Installations motrices               | 1,9         | 7,8          |
| Machines de production               | 17,7        | 7,7          |
| Aménagements généraux                | 24,9        | 1,9          |
| Moyens de transport                  | 1,1         | 0,07         |
| Petit matériel, instruments          | 0,5         | 0,05         |
| <b>Total</b>                         | <b>70,1</b> | <b>55,2</b>  |
| Installations en faveur du personnel | 12,6        | 12,4         |
| <b>Total général</b>                 | <b>82,7</b> | <b>67,6</b>  |

321. Stations en construction.

Le tableau XXV donne les investissements prévus pour les installations existantes ou en projet. Il s'agit d'une estimation faite en 1956, au moment où l'exploitation de Youzno-Abinskaïa démarrait, et où la construction de Schatskaïa et d'Angren débutait.

On remarque le montant très élevé des investissements spécifiques de Lissitchansk dont l'équipement est surdimensionné et comprend une importante installation de production d'oxygène.

322. Stations futures.

Une étude publiée en 1958 contient une estimation des investissements à prévoir pour établir des stations de gazéification souterraine dans le Kuznetzk, en fonction de la puissance des stations projetées (tableau XXVI).

Ces investissements ne comprennent pas la pose des conduites nécessaires au transport éventuel du gaz vers les consommateurs. Celle-ci représente environ 45.10<sup>6</sup> R pour un transport à 20 km et ne varie que lentement avec la capacité de l'installation.

TABLEAU XXVI.

| Stations         | Production annuelle                                 |                                           | Capitaux à investir                   |                                  |
|------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
|                  | en 10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup> gaz à 1.000 kcal | en 10 <sup>6</sup> t charbon à 6.500 kcal | en 10 <sup>6</sup> R (sans conduites) | en R par 10 <sup>6</sup> kcal/an |
| —                | 455                                                 | 0,07                                      | 62,3                                  | 137,0                            |
| —                | 2.470                                               | 0,38                                      | 94,0                                  | 38,0                             |
| Stalinsk         | 7.670                                               | 1,18                                      | 242,0                                 | 31,5                             |
| Y-Abinskaïa n° 2 | 9.570                                               | 1,47                                      | 280,0                                 | 29,3                             |
| Kolmogorovsk     | 21.400                                              | 3,29                                      | 483,0                                 | 22,7                             |

L'auteur compare ces chiffres avec les investissements nécessaires pour l'établissement de charbonnages souterrains ou d'exploitations par découverte.

Les charbonnages du Kuzbass auxquels il se réfère sont des unités de 900.000 à 2.400.000 tonnes par an, exploitant à une profondeur moyenne de 165 m des couches dont la puissance moyenne est de 5 m.

Les exploitations par découverte produisent de 500.000 à 5 millions de tonnes par an, et ont à évacuer en moyenne 5 à 6 m<sup>3</sup> de stériles par tonne de charbon.

En comparant les besoins de capitaux par million de kcal nettes produites annuellement (après déduction de l'énergie nécessaire à l'exploitation, au transport, etc.), l'auteur aboutit à la conclusion que la gazéification souterraine exige moins d'investissements :

- que l'exploitation souterraine, à partir d'une production supérieure à 1,5.10<sup>6</sup> tonnes de charbon, ou 10 milliards Nm<sup>3</sup> de gaz par an
- que l'exploitation à ciel ouvert, à partir de 2,3.10<sup>6</sup> tonnes de charbon ou 15.10<sup>9</sup> Nm<sup>3</sup> gaz par an.

323. Amortissements.

Si nous comparons les chiffres cités ci-dessus à l'incidence des amortissements sur le prix de revient du gaz, nous constatons que l'ensemble des amor-

TABLEAU XXV.

| Stations        | Capacité                            |       | Capital investi   |                           | Personnel Total | Prix de revient du gaz                                   |       |
|-----------------|-------------------------------------|-------|-------------------|---------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------|-------|
|                 | brute                               | nette | Total             | Spécifique                |                 | R/10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup> R/10 <sup>6</sup> kcal |       |
|                 | 10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup> /an |       | 10 <sup>6</sup> R | R/10 <sup>6</sup> kcal/an |                 |                                                          |       |
| Toula           | 412                                 | 376   | 82,7              | 251                       | 519             | 37,19                                                    | 46,49 |
| Lissitchansk    | 120                                 | 100   | 67,6              | 675                       | 460             | 80,66                                                    | 96,00 |
| Schatskaïa (*)  | 662                                 | 633   | 47,3              | 79                        | 450             | 21,95                                                    | 25,61 |
| Angren (*)      | 2.320                               | 1.740 | 128,2             | 55,3                      | 626             | 18,42                                                    | 18,42 |
| Kamenskaïa (*)  | 365                                 | 263   | 41,0              | 125                       | 227             | 21,80                                                    | 24,33 |
| Y-Abinskaïa (*) | 582                                 | 539   | 21,0              | 32,8                      | 234             | 20,09                                                    | 15,35 |

(\*) Au stade définitif.

tissements représente annuellement 3 % (Toula) à 5 % (Lissitchansk) de l'ensemble du capital investi. Cet amortissement semble faible, surtout si l'on tient compte du fait que la durée de vie de ces installations est limitée par le gisement même qu'elles exploitent. L'installation de Toula aura vécu (phase « semi-industrielle ») de 1946 à 1964, soit 18 ans, et celle de Lissitchansk de 1950 à  $\pm$  1965.

D'autre part, on ne semble pas affecter des fonds à la compensation des pertes subies pendant les années de mise en route, qui constituent une partie non négligeable de la vie totale de l'installation.

Bien entendu, on ne calcule pas d'intérêts sur le capital à amortir.

### 33. Coût de la désulfuration du gaz.

L'installation de désulfuration du gaz et de récupération du soufre fonctionne à Toula depuis 1951. Les quantités produites et leur prix de revient à la tonne sont donnés au tableau XXVII.

TABLEAU XXVII.

| Années | Production de soufre t | Prix de revient R/t | Hyposulfite t |
|--------|------------------------|---------------------|---------------|
| 1951   | 1.352                  | 4.046               | 29,6          |
| 1952   | —                      | 2.692               | 23,6          |
| 1953   | 1.517                  | 2.123               | —             |
| 1954   | —                      | 2.025               | —             |
| 1955   | 1.495                  | 1.498               | 413           |
| 1956   | 1.940                  | 1.316               | 1.461         |

Le prix de revient du soufre comporte 45 % de frais d'énergie, 15 % de salaires et 10 % de consommation de matériaux, 10 % d'amortissements et 10 % de divers.

La tonne de soufre se vend 910 R. Cette exploitation est donc déficitaire. Elle absorbe à peu près les gains faits sur la vente du gaz. D'autre part, elle fait perdre au gaz 35 kcal/Nm<sup>3</sup> de pouvoir calorifique.

Les besoins en soufre de l'économie nationale justifient cependant la continuation de cette production.

### 34. Coût de la suroxygénation de l'air.

La suroxygénation de l'air améliore le P.C. du gaz, mais coûte cher. Un Nm<sup>3</sup> d'O<sub>2</sub> coûte environ 0,60 R.

Les essais de suroxygénation de l'air à Toula, avec de l'air à 65 % d'oxygène, ont donné un gaz de P.C.I. 1.750 kcal/Nm<sup>3</sup>. Mais il faut, par Nm<sup>3</sup> de gaz, environ 0,4 à 0,5 Nm<sup>3</sup> d'air suroxygéné, et donc un appoint de 0,25 à 0,3 Nm<sup>3</sup> environ d'oxygène technique (98 % O<sub>2</sub>).

Dans ces conditions, le prix du gaz est grevé d'environ 170 R par 1.000 Nm<sup>3</sup>, et la calorie produite revient 3 fois plus cher qu'avec le soufflage à l'air.

Cependant, si l'on tient compte de la récupération possible des gaz rares de l'air (argon - krypton - xénon), le prix de l'oxygène diminue de moitié.

D'autre part, l'amélioration amenée par l'oxygène se maintient quelque temps après la suppression de la suroxygénation (par. 156) : on peut donc faire des sérieuses économies en n'enrichissant l'air que d'une façon intermittente. Avec ces hypothèses le prix de revient de la calorie « air suroxygéné » se rapproche de celui de la calorie « air », et le procédé peut devenir rentable, à condition bien entendu que les conditions de la gazéification restent toujours aussi favorables que lors de l'essai fait à Toula en 1957.

A Lissitchansk, l'emploi de l'oxygène grève lourdement le budget de la station et n'est justifié que par la nécessité de maintenir le niveau du P.C. du gaz au-dessus de 800 kcal/Nm<sup>3</sup> pour permettre sa combustion. On limite la teneur en oxygène à ce qui est nécessaire pour maintenir cet objectif.

### 35. Coût des méthodes de préparation des chantiers.

#### 350. Sondages verticaux.

A Toula, le coût des sondages verticaux (200 mm Ø, 40 à 50 m de profondeur) s'établit pour les années 1954-1956 entre 160 et 185 Roubles/m courant, tubage compris (moyenne établie sur 691 sondages totalisant 40.000 m).

#### 351. Sondages inclinés.

Le coût des sondages inclinés, en couche, à Lissitchansk, a diminué progressivement, pour se stabiliser vers 300 R par mètre. L'utilisation de l'électroforeuse doit cependant amener une nouvelle diminution de ce prix.

#### 352. Sondages dirigés horizontaux.

Le coût des sondages horizontaux a oscillé entre 200 et 370 R/m aussi bien à Lissitchansk, en charbon dur, qu'à Toula, en lignite, (il s'agit des mètres forés totaux : 1/3 seulement de la longueur du trou se trouve en couche et sert à créer la liaison).

#### 353. Liaison par air à moyenne pression.

Le coût de la mise en communication des sondages par soufflage d'air à 6 kg/cm<sup>2</sup> a varié, à Toula, en 1954 et 1955, de 294 à 270 R/m de chenal à créer (3.390 m en 1955).

**354. Liaison par voie électrique.**

Le coût de la liaison par voie électrique, à Toula également, qui était encore de 535 R/m en 1954 (816 m de chenaux) est tombé en 1955 à 235 R/m (2022 m de chenaux). L'électro-linking semble donc être la méthode la plus économique.

Les résultats financiers des méthodes de liaison par eau ou air à haute pression ne sont pas encore connus.

**36. Coût de l'énergie électrique consommée.**

L'énergie électrique constitue une part importante du prix de revient de la gazéification souterraine. Si nous comparons, d'une part, l'incidence des frais d'énergie dans le prix de revient total, d'autre part, la consommation en kWh/1.000 Nm<sup>3</sup> de gaz, nous arrivons à la conclusion que le prix du kWh a varié entre 1952 et 1956,

à Toula : de 20 à 17 kopecks

à Lissitchansk : de 10 à 6 kopecks.

Si l'énergie électrique coûtait le même prix à Toula qu'à Lissitchansk, le prix de revient du gaz de Toula diminuerait de 10 R par 1.000 Nm<sup>3</sup> environ, ce qui modifierait complètement les conditions de rentabilité de cette station. Celle-ci consomme environ 100 kWh par 1.000 Nm<sup>3</sup> de gaz. On a

tablé pour les futures stations sur des consommations spécifiques environ 3 à 6 fois plus faibles : Ces estimations semblent résulter d'un calcul théorique de l'énergie de compression nécessaire.

**37. Coût de production du gaz.****370. Station de Toula.**

Les frais de production de la station de Toula, décomposés par opérations, se répartissent comme indiqué au tableau XXVIII pour les 3 dernières années pour lesquelles les chiffres sont disponibles (en R par 1.000 Nm<sup>3</sup> de gaz).

En ventilant ces frais simultanément par opérations et par nature de frais, on obtient pour Toula, en 1955, le tableau XXIX (en % du prix de revient total).

Les postes principaux sont donc les salaires, le matériel pour sondages (tubages perdus) et surtout l'énergie électrique pour la gazéification proprement dite, le transport du gaz et la mise en communication entre les sondages. Les amortissements les plus lourds concernent le transport du gaz jusque chez le consommateur.

D'après ces chiffres, relatifs à 1955, des économies importantes pourraient être immédiatement réalisées en réduisant de 8, 9 ou 12 à 6 mm l'épaisseur des

TABLEAU XXVIII.

|                               | 1954                    |              | 1955                    |              | 1956                    |              |
|-------------------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|
|                               | R/1.000 Nm <sup>3</sup> | %            | R/1.000 Nm <sup>3</sup> | %            | R/1.000 Nm <sup>3</sup> | %            |
| Sondages verticaux            | 6,48                    | 13,7         | 5,80                    | 15,6         | 6,09                    | 15,4         |
| Liaison entre sondages        | 5,76                    | 12,1         | 4,56                    | 12,3         | 5,66                    | 14,5         |
| Gazéification proprement dite | 15,85                   | 33,1         | 12,04                   | 32,4         | 12,06                   | 30,8         |
| Transport du gaz              | 9,73                    | 20,5         | 8,43                    | 22,6         | 9,13                    | 23,4         |
| Divers                        | 3,23                    | 7,2          | 1,86                    | 5,0          | 1,50                    | 3,8          |
| Frais généraux                | 6,38                    | 13,4         | 4,80                    | 12,1         | 4,72                    | 12,1         |
| <b>Total</b>                  | <b>47,41</b>            | <b>100,0</b> | <b>37,19</b>            | <b>100,0</b> | <b>39,16</b>            | <b>100,0</b> |

TABLEAU XXIX.

| Nature de frais                 | Sondages verticaux | Liaison entre sondages | Gazéification | Transport du gaz | Sous-stations électriques | Frais généraux | Total %      |
|---------------------------------|--------------------|------------------------|---------------|------------------|---------------------------|----------------|--------------|
| Salaires (primés comprises)     | 4,6                | 1,0                    | 3,6           | 1,1              | 1,7                       | —              | 12,0         |
| Matériel                        | 6,1                | 0,1                    | 1,3           | —                | —                         | —              | 7,5          |
| Energie électrique, vapeur, eau | 0,6                | 6,7                    | 21,1          | 12,1             | 0,1                       | —              | 40,6         |
| Amortissements                  | 1,3                | 1,0                    | 5,7           | 6,8              | 1,2                       | —              | 16,0         |
| Divers                          | 3,0                | 0,3                    | 4,3           | 2,7              | 1,5                       | 12,1           | 23,9         |
| <b>Total</b>                    | <b>15,6</b>        | <b>9,1</b>             | <b>36,0</b>   | <b>22,7</b>      | <b>4,5</b>                | <b>12,1</b>    | <b>100,0</b> |

N.B. Les divergences entre les deux tableaux XXVIII et XXIX, provenant de deux sources distinctes, sont dues à des différences d'imputations, mais le P.R. total reste le même.

TABLEAU XXX.

| Dépenses en R/1.000 Nm <sup>3</sup><br>de gaz                | Toula |       |       |       | Lissitchansk |        |        |       |
|--------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------|--------|--------|-------|
|                                                              | 1952  | 1953  | 1954  | 1955  | 1952         | 1953   | 1954   | 1955  |
| Matériaux                                                    | 4,73  | 4,09  | 3,16  | 2,87  | 8,52         | 4,67   | 3,70   | 1,45  |
| Energie et fluides                                           | 27,93 | 22,89 | 20,46 | 15,62 | 45,49        | 37,41  | 34,86  | 19,20 |
| Salaires et primes                                           | 7,26  | 6,52  | 5,22  | 4,40  | 12,70        | 9,76   | 9,73   | 7,76  |
| Amortissements                                               | 11,42 | 9,79  | 7,42  | 5,61  | 36,47        | 42,54  | 44,65  | 31,62 |
| Travaux divers                                               | 8,08  | 5,73  | 5,00  | 4,40  | 11,75        | 10,87  | 12,84  | 9,34  |
| Frais généraux                                               | 8,17  | 6,39  | 6,38  | 4,50  | 24,25        | 17,71  | 18,11  | 11,27 |
| Prix de revient industriel                                   | 67,59 | 55,41 | 47,64 | 37,40 | 139,18       | 122,96 | 123,89 | 80,64 |
| Dépenses en faveur du personnel                              | —     | —     | —     | —     | 0,08         | 0,14   | 0,37   | 0,02  |
| Ventes d'oxygène                                             | —     | 0,25  | 0,23  | 0,21  | —            | —      | —      | —     |
| Prix de revient final                                        | 67,59 | 55,16 | 47,41 | 37,19 | 139,26       | 123,10 | 124,26 | 80,66 |
| Production en 10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup> /an<br>(nette) | 200,1 | 268,7 | 325,1 | 376,4 | 73,1         | 101,8  | 78,4   | 101,0 |

tôles servant à construire les tuyauteries (31 R/m pour des tuyaux de 6 mm contre 55 R/m pour les tuyaux de 8 mm). D'autre part, la récupération des tubages après gazéification serait également très intéressante. Enfin, un procédé tel que le sondage dirigé permettrait d'effectuer la liaison entre sondages en épargnant beaucoup d'énergie. L'ensemble de ces mesures permettrait de gagner 5 Roubles environ par 1.000 Nm<sup>3</sup> de gaz. Cependant, en 1958, le sondage dirigé semble abandonné à Toula, et le prix de revient est resté, à peu de chose près, le même qu'en 1955.

Le gaz de la station de Toula est vendu 42,50 R les 1.000 Nm<sup>3</sup> rendu chez le consommateur quand il a un P.C.I. de 800 kcal/Nm<sup>3</sup>, avec prime ou pénalité de 2,50 R par 50 kcal/Nm<sup>3</sup> en plus ou en moins. Dans ces conditions, la gazéification souterraine, qui provoquait un déficit de 18 à 36 % pendant les années 1950 à 1954, est devenue légèrement bénéficiaire depuis 1955. Le bilan général de la station reste cependant négatif, à cause des résultats défavorables de l'usine de désulfuration.

### 371. Station de Lissitchansk.

Le coût du gaz de Lissitchansk est environ deux fois plus élevé que celui de Toula, ainsi qu'il résulte de la comparaison donnée au tableau XXX.

Il ressort clairement de ce tableau que le prix de revient aux 1.000 m<sup>3</sup> de gaz varie très fort avec la production (frais fixes importants) et que la situation de Lissitchansk est obérée par les amortissements d'installations surdimensionnées. On envisage cependant, dans le domaine de la technique comme dans celui de l'organisation, une série de mesures qui pourraient réduire de 40 % le prix du gaz.

### 372. Stations en construction ou en projet sur les lignites.

En ce qui concerne les stations en cours de construction ou de démarrage, les prix de revient ne sont que des estimations basées sur l'expérience des stations actuelles. Ils ont été donnés au tableau XXV (par. 321).

A titre d'exemple, le tableau XXXI montre comment, à partir des résultats de Toula, on a extra-

TABLEAU XXXI.

|                                                         | Toula |       |       |       | Gruslov  |
|---------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|----------|
|                                                         | 1952  | 1953  | 1954  | 1955  | (projet) |
| Consommation d'énergie (kWh/1.000 Nm <sup>3</sup> ) (*) | 128   | 95,9  | 82,6  | 78,6  | 16,5     |
| Consommation d'air (Nm <sup>3</sup> /Nm <sup>3</sup> )  | 0,875 | 0,865 | 0,846 | 0,870 | 0,8      |
| Charbon gazéifié (kg/Nm <sup>3</sup> )                  | 0,593 | 0,618 | 0,570 | 0,644 | 0,416    |
| Capital investi (10 <sup>6</sup> R)                     | 90,2  | 88,0  | 78,6  | 82,7  | 173,3    |
| Production brute (10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup> /an)  | 236,8 | 290,3 | 354,8 | 412,0 | 3.140,0  |
| Production nette (10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup> /an)  | 200,1 | 268,7 | 325,1 | 376,4 | 2.770,0  |
| P.C.I. du gaz                                           | 770   | 808   | 785   | 800   | 900      |
| Personnel total                                         | 540   | 534   | 499   | 519   | 500      |
| Personnel ouvrier                                       | 375   | 376   | 347   | 378   | 371      |
| Prix de revient (R/1.000 Nm <sup>3</sup> )              | 67,59 | 55,16 | 47,41 | 37,19 | 10,76    |

(\*) Sans transport du gaz au consommateur.

polé ceux de la station en projet à Gruslov, près de Stalinogorsk, à 60 km à l'est de Toula, dans un gisement analogue.

**373. Stations en projet dans le Kuzbass.**

Une étude faite pour le bassin du Kuznetsk aboutit aux chiffres suivants (tableau XXXII) pour le prix de revient du gaz produit dans des stations de puissances croissantes (charbon à 6.500 kcal/kg).

TABLEAU XXXII.

| Puissance de la station                             |                                                                               | Prix de revient du gaz<br>R/1.000 Nm <sup>3</sup> |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 10 <sup>6</sup> t par an<br>charbon à<br>6.500 kcal | 10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup> par an<br>gaz à<br>1.000 kcal/Nm <sup>3</sup> |                                                   |
| 0,07                                                | 455                                                                           | 15                                                |
| 0,38                                                | 2.470                                                                         | 9,4                                               |
| 1,0                                                 | 6.500                                                                         | 5,0                                               |
| 1,18                                                | 7.670                                                                         | 4,65                                              |
| 1,47                                                | 9.570                                                                         | 4,0                                               |
| 2,0                                                 | 13.000                                                                        | 3,5                                               |
| 3,29                                                | 21.400                                                                        | 3,14                                              |
| 4,0                                                 | 26.000                                                                        | 3,0                                               |

Comme, dans le Kuzbass, le charbon exploité par mine souterraine revient en moyenne 60,76 R/tonne, et par exploitation en découverte, 28,39 R/tonne, le coût de production de la calorie par gazéification souterraine, compte tenu du rendement du transport, etc. deviendrait inférieur à celui de la calorie charbon à partir d'une production de 400.000 t/an pour la mine souterraine et de 1.700.000 t/an pour l'exploitation à ciel ouvert.

A titre d'indication, la station de Youzno Abinskaïa, en cours de démarrage, avait en 1956 un prix de revient de 77 R/1.000 Nm<sup>3</sup> avec une production de 68 millions de Nm<sup>3</sup>.

**38. Comparaison gazéification souterraine - Exploitation ordinaire.**

**380. Station de Toula.**

L'installation de Toula n'est pas encore compétitive avec les charbonnages du même bassin et d'un ordre de grandeur analogue (tableau XXXIII).

Si on compare les frais bruts, on voit que, à pouvoir calorifique équivalent, le lignite extrait est environ deux fois moins cher que le gaz de gazéification souterraine. Il faut cependant remarquer que celui-ci est grevé de frais de transport (livraison à 10 km de la station) qui ne sont pas imputés au combustible solide (départ mine). Si par contre on envisage une utilisation sur place, le gaz peut être envoyé immédiatement, sans frais, aux chaudières et il faut donc décompter les 8,45 R que coûte le transport de 1.000 Nm<sup>3</sup>; d'autre part, le combustible solide doit encore subir une série de manutentions (stockage, séchage, broyage...) qui représentent environ 10 % de son coût originel. Dans ces conditions, le rapport de coût entre les deux combustibles tombe à 1,4 environ. Il suffirait d'une économie de 8 R par 1.000 Nm<sup>3</sup>, qui semble possible, pour rendre l'installation de Toula compétitive dans le cas de l'utilisation du gaz sur place. Si enfin on tient compte du fait que la calorie gaz rendue chez le consommateur vaut 1,22 fois plus que la calorie charbon pour un gaz à 750 kcal/Nm<sup>3</sup> et 1,35 fois plus pour un gaz à 900 kcal/Nm<sup>3</sup>, (l'utilisation du gaz a en effet permis d'économiser 73 personnes sur 102 occupées à la conduite des chaudières du client principal de la station de Toula), la station de Toula pourrait être considérée comme plus rentable qu'un charbonnage, au point de vue frais de production, dès qu'une économie de 2,4 R/1.000 Nm<sup>3</sup> pourrait être réalisée par rapport au coût actuel (hypothèse de l'utilisation sur place).

TABLEAU XXXIII.

| Coûts de production                     | Gazéification souterraine                                          |                                                | Charbonnage                          |                                             |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|
|                                         | en R/1.000 Nm <sup>3</sup><br>de gaz à<br>800 kcal/Nm <sup>3</sup> | en R/t<br>de charbon stand.<br>à 7.000 kcal/kg | en R/t<br>lignite à<br>2.720 kcal/kg | en R/t<br>charbon standard<br>7.000 kcal/kg |
| Matériaux                               | 3,08                                                               | 26,95                                          | 11,94                                | 30,69                                       |
| Combustibles et énergie                 | 13,81                                                              | 120,84                                         | 2,66                                 | 6,83                                        |
| Salaires et primes                      | 7,11                                                               | 62,21                                          | 38,66                                | 99,38                                       |
| Amortissements                          | 8,56                                                               | 74,90                                          | 4,20                                 | 11,02                                       |
| Divers (y compris sondages)             | 4,63                                                               | 40,51                                          | 2,73                                 | 7,01                                        |
| Frais commerciaux                       | —                                                                  | —                                              | 3,47                                 | 8,91                                        |
| <b>Total</b>                            | <b>37,19</b>                                                       | <b>325,41</b>                                  | <b>63,75</b>                         | <b>163,84</b>                               |
| Correction<br>(Transport - Manutention) | - 8,43                                                             | - 73,76                                        | + 6,38                               | + 16,36                                     |
| <b>Total corrigé</b>                    | <b>28,76</b>                                                       | <b>251,65</b>                                  | <b>70,13</b>                         | <b>180,20</b>                               |

De toute façon, la nouvelle installation de Schatskaïa, où l'on estime le coût probable à 22 R/1.000 Nm<sup>3</sup>, soit 170 R/t de charbon standard, et où le gaz sera consommé sur place, doit être plus rentable qu'un charbonnage établi sur le même gisement.

Ces conclusions ne valent, bien entendu, que pour le bassin de Moscou, où l'exploitation souterraine est handicapée par l'humidité du gisement, le faible pouvoir calorifique du combustible et la mauvaise tenue du terrain. Il y a lieu, de plus, de tenir compte des réserves émises plus haut au point de vue salaires et amortissements.

### 381. Stations de Schatskaïa et d'Angren.

Des études analogues ont été faites pour les autres stations de gazéification souterraine.

En comparant les projets des stations de gazéification souterraine en construction sur des gisements de lignite, aux charbonnages établis dans les mêmes bassins, on obtient les rapports suivants pour une production équivalente en calories (tableau XXXIV).

TABLEAU XXXIV.

|            | Production<br>10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup> /an | Capital<br>investi | Coût de<br>production | Main-<br>d'œuvre |
|------------|---------------------------------------------------|--------------------|-----------------------|------------------|
| Schatskaïa | 662                                               | 102 %              | 87,7 %                | 97 %             |
| Angren     | 2.320                                             | 116 %              | 63,6 %                | 30,5 %           |

### 382. Stations du Kuzbass.

Donnons une dernière comparaison, relative à la station projetée à « Stalinsk », dans le Kuznetzk (charbon bitumineux en couches puissantes à faible profondeur). Cette station doit produire par an 7,7 milliards de Nm<sup>3</sup> de gaz à 1.000 kcal/Nm<sup>3</sup>. On a mis en regard les caractéristiques d'un charbonnage produisant 1.180.000 t de charbon à 6.500 kcal/kg, et celles d'une exploitation par découverte, produisant 1.450.000 t de charbon à 5.300 kcal/kg dans le même gisement (tableau XXXV).

Dans les paragraphes 322 et 373, nous avons déjà cité les résultats d'une étude consacrée aux stations

de Kuzbass, et comparé les investissements nécessaires et le prix de revient du gaz dans le cas d'un charbonnage et d'une station de gazéification souterraine.

### 39. Utilisation du gaz dans les centrales électriques.

L'utilisation du gaz de gazéification dans les centrales électriques est séduisante à plusieurs points de vue : d'une part, suppression des installations et de la main-d'œuvre de stockage, reprise et maintenance des combustibles et d'évacuation des cendres, d'autre part, souplesse d'utilisation et bons rendements réalisables grâce à une judicieuse combinaison de l'emploi des turbines à vapeur et à gaz.

Les centrales conçues suivant ce principe sont de très grandes installations (p. ex. 1.200 MW) utilisant des groupes de 150 à 200 MW.

On compte y atteindre des rendements énergétiques tels que ceux du tableau XXXVI (rendement brut d'après l'énergie électrique produite totale, rendement net en décomptant la consommation des auxiliaires).

TABLEAU XXXVI.

| Rendements en %                             | Charbon |      | Gaz  |      |
|---------------------------------------------|---------|------|------|------|
|                                             | brut    | net  | brut | net  |
| Unités à vapeur de 50 à 100 MW (existantes) | —       | 27   | —    | 28   |
| Unités à vapeur de 150 à 200 MW (en projet) | 54,7    | 52,2 | —    | 33,9 |
| Cycle mixte vapeur-gaz                      | —       | —    | 58,7 | 37,3 |

On estime, d'autre part, que la consommation d'énergie et les pertes lors de l'extraction et du transport à 20 km du combustible représentent pour le charbon extrait par abatage, 6,9 % du pouvoir calorifique, et pour le gaz de gazéification souterraine, 15 % ou 13,2 % selon que l'énergie néces-

TABLEAU XXXV.

|                                             | Gazéif. souterraine                                      | Charbonnage | Découverte |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------|------------|
| Capital investi (R/10 <sup>6</sup> kcal/an) | 37,7                                                     | 50,9        | 28,0       |
| Coût de production (R/10 <sup>6</sup> kcal) | 5,11                                                     | 9,64        | 6,18       |
| soit } Frais d'exploitation                 | 4,56                                                     | 7,71        | 3,71       |
|                                             | Transport                                                | 0,55        | 1,21       |
|                                             | Conditionnement du combustible et évacuation des cendres | —           | 1,10       |
| Rendement (10 <sup>6</sup> kcal/homme-mois) | 777                                                      | 357         | 742        |

TABLEAU XXXVII.

| Centrale électrique             | Charbon | Station Gazéification souterraine |            |
|---------------------------------|---------|-----------------------------------|------------|
|                                 |         | Vapeur                            | Vapeur-gaz |
| Unités à vapeur de 50 à 100 MW  | 25,1    | 23,7                              | 24,5       |
| Unités à vapeur de 150 à 200 MW | 29,9    | 27,8                              | 28,6       |
| Cycle mixte gaz-vapeur          | —       | 31,5                              | 32,4       |

saire à la gazéification souterraine est produite sur place par des chaudières à vapeur ou par un cycle mixte gaz-vapeur. (A Toula, on consomme environ 100 kWh par 1.000 Nm<sup>3</sup> de gaz, soit 40 % du P.C. du gaz). Dans ces conditions, le rendement énergétique global « centrale électrique + mine » ou « centrale électrique + gazéification souterraine » atteindrait les valeurs suivantes (tableau XXXVII).

On a tablé sur ces chiffres pour établir les projets d'une centrale de 1.200 MW à Kolmogorovsk (Kuzbass) (tableau XXXVIII).

TABLEAU XXXVIII.

|                                                      | Mine souterraine          | Exploitation à ciel ouvert | Gaz de gazéification souterraine     |                                      |       |
|------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------|
|                                                      |                           |                            | Centrale à vapeur                    | Centrale à cycle mixte               |       |
| Production annuelle de combustible                   | 3200.10 <sup>3</sup> t    | 3480.10 <sup>3</sup> t     | 22,5.10 <sup>9</sup> Nm <sup>3</sup> | 21.10 <sup>9</sup> Nm <sup>3</sup>   |       |
| Consommation de la centrale                          | 2980.10 <sup>3</sup> t    | 3240.10 <sup>3</sup> t     | 20,0.10 <sup>9</sup> Nm <sup>3</sup> | 18,7.10 <sup>9</sup> Nm <sup>3</sup> |       |
| P.C. du combustible                                  | 6500 kcal/kg              | 6000 kcal/kg               | 1000 kcal/Nm <sup>3</sup>            |                                      |       |
| Coût du combustible (R/10 <sup>6</sup> kcal)         | 8,74                      | 5,6                        | 3,4                                  | 3,4                                  |       |
| Puissance de la centrale (MW)                        | 1.200                     | 1.200                      | 1.200                                | 1.190                                |       |
| Turbines à vapeur (150 MW)                           | 8                         | 8                          | 8                                    | 7                                    |       |
| Turbines à gaz (10 MW)                               | —                         | —                          | —                                    | 14                                   |       |
| Chaudières à vapeur                                  | 16                        | 16                         | 16                                   | 14                                   |       |
| m <sup>3</sup> par kW installé                       | 0,65                      | 0,65                       | 0,4                                  | 0,48                                 |       |
| Disponibilité (h/an)                                 | 6.500                     | 6.500                      | 7.000                                | 7.000                                |       |
| Production nette de courant (10 <sup>6</sup> kWh/an) | 7.200                     | 7.240                      | 7.980                                | 8.110                                |       |
| Rendement net centrale %                             | 32,2                      | 32,1                       | 33,9                                 | 37,3                                 |       |
| Capital investi (10 <sup>6</sup> R)                  | Production de combustible | 644                        | 475                                  | 603                                  | 555   |
|                                                      | Centrale électrique       | 1.195                      | 1.212                                | 958                                  | 980   |
|                                                      | Total                     | 1.839                      | 1.687                                | 1.561                                | 1.535 |
| Personnel                                            | Production de combustible | 3.740                      | 1.330                                | —                                    | 1.030 |
|                                                      | Centrale électrique       | 715                        | 745                                  | —                                    | 255   |
|                                                      | Total                     | 4.455                      | 2.075                                | 1.395                                | 1.285 |
| Prix de revient kop/kWh net                          | Combustible               | 2,34                       | 1,50                                 | 0,86                                 | 0,80  |
|                                                      | Divers                    | 1,31                       | 1,32                                 | 0,86                                 | 0,88  |
|                                                      | Total                     | 3,65                       | 2,82                                 | 1,72                                 | 1,68  |

4. PERSPECTIVES DE LA GAZEIFICATION SOUTERRAINE

40. Perspectives en U.R.S.S.

400. Place de la gazéification souterraine dans l'économie de l'énergie.

Le Glavgaz, ou Direction Générale du Gaz en U.R.S.S., poursuit un objectif ambitieux : supprimer d'ici 1970, dans les grandes agglomérations urbaines (Moscou, Leningrad ...), l'emploi des combustibles solides ainsi que les servitudes qui y sont afférentes (poussières, fumées, manutentions), et les remplacer par du gaz. Ce programme est axé sur la production, en quantités énormes, et le transport à des distances dépassant 2.000 km, du gaz naturel à

8.500 kcal/Nm<sup>3</sup>, capté principalement dans le S-E de la Russie, le Caucase et le Turkestan.

Dans ce programme, le gaz de gazéification, trop pauvre pour être transportable, n'entre guère en considération.

Les objectifs de la gazéification sont d'une autre nature : il s'agit de répondre aux demandes croissantes d'énergie de l'industrie en plein développement au moyen d'un procédé nécessitant moins de temps et d'investissements que des charbonnages du type classique. Aussi les stations s'implanteront-elles, soit sur des gisements de combustibles médiocres, qu'elles valoriseront plus facilement et plus

rapidement que les méthodes habituelles (lignites du bassin de Moscou), soit sur des gisements plus riches, dans des régions éloignées des grands centres de production d'énergie ou de gaz, et pauvres en main-d'œuvre, mais où la présence de ressources naturelles justifie la création d'industries nouvelles, à condition qu'on y crée à bref délai des sources d'énergie bon marché.

Nous avons vu au chapitre 3 que le prix de revient du gaz décroissait rapidement quand l'échelle de l'installation augmentait, et que l'utilisation la plus rationnelle de ce gaz était de l'utiliser dans des centrales électriques aussi proches que possible du lieu de production.

Aussi les projets envisagent des complexes gazéification souterraine - centrales électriques de dimensions gigantesques, destinés à étayer l'édification de complexes industriels modernes dans des régions qui, il y a peu d'années, étaient encore désertiques.

#### 401. Perspectives immédiates.

Le diagramme fig. 52 indique les quantités de gaz (Nm<sup>3</sup> par an) produites jusqu'ici dans les stations de gazéification souterraine existantes.

Le tableau XXXIX donne le planning de production pendant les années à venir, pour les stations existantes ou en construction, et pour celles dont les projets sont suffisamment avancés pour qu'on puisse entrevoir leur réalisation à brève échéance.

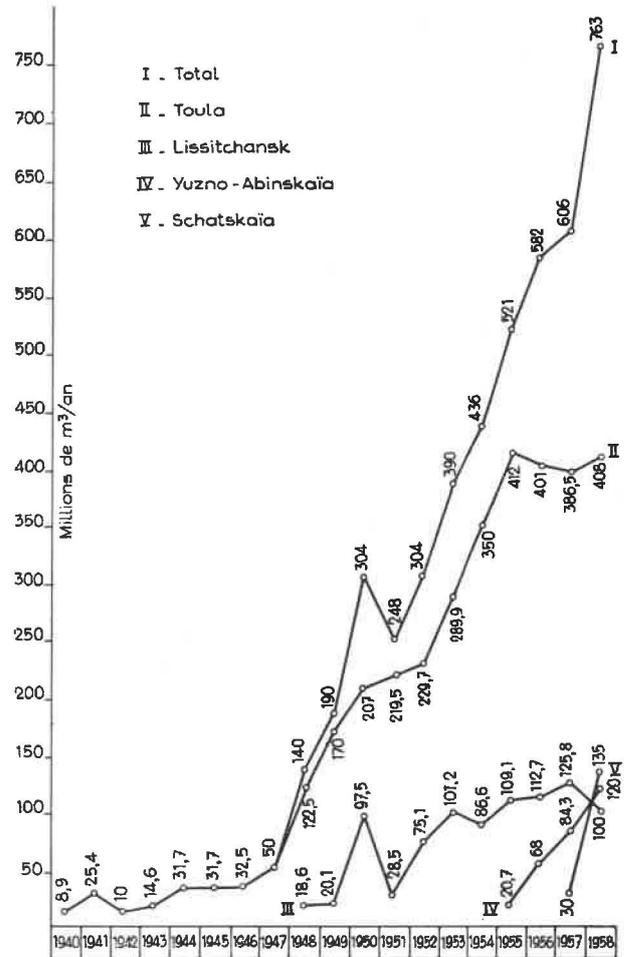


Fig. 52. — Production globale de gaz de gazéification souterraine en U.R.S.S.

TABLEAU XXXIX.

| Stations                      | Production prévue en 10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup> de gaz à 800 kcal/Nm <sup>3</sup> |              |              |              |              |              |              |               |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
|                               | 1958                                                                                   | 1959         | 1960         | 1961         | 1962         | 1963         | 1964         | 1965          |
| Toula (Bassin de Moscou)      | 408                                                                                    | 410          | 410          | 410          | 410          | 410          | 410          | 410           |
| Lissitchansk (Donetz)         | 100                                                                                    | 140          | 170          | 200          | 200          | 200          | 200          | 200           |
| Youzno-Abinskaïa (Kuzbass)    | 120                                                                                    | 200          | 400          | 600          | 800          | 1.000        | 1.500        | 2.000         |
| Schatskaïa (Bassin de Moscou) | 135                                                                                    | 260          | 400          | 600          | 800          | 1.000        | 1.000        | 1.000         |
| Angren (Ouzbékistan)          | —                                                                                      | 200          | 450          | 800          | 1.600        | 2.200        | 2.320        | 2.320         |
| Kamenskaïa (Rostov)           | —                                                                                      | —            | 50           | 100          | 200          | 270          | 360          | 360           |
| Stalinsk (Kuzbass)            | —                                                                                      | —            | —            | —            | —            | —            | 200          | 3.000         |
| Kolmogorovsk (Kuzbass)        | —                                                                                      | —            | —            | —            | —            | —            | 300          | 3.600         |
| <b>Total</b>                  | <b>763</b>                                                                             | <b>1.210</b> | <b>1.880</b> | <b>2.710</b> | <b>4.010</b> | <b>5.080</b> | <b>6.290</b> | <b>12.890</b> |

Bien entendu, des plannings pareils sont toujours sujets à révision, et les prévisions établies en 1958 sont en sensible retrait par rapport à celles établies en 1957. Mais ces chiffres montrent bien le solide optimisme qui anime les techniciens soviétiques de la gazéification souterraine. La transposition à une échelle cinq fois plus grande de ce qui a été réalisé dans les lignites de Toula ne les effraye pas, et les résultats brillants obtenus à Youzno-Abinskaïa font

espérer qu'on viendra rapidement à bout des difficultés que présente encore jusqu'à présent la gazéification des charbons « durs ».

#### 402. Prévisions à longue échéance.

En dehors des stations décrites au chapitre 2, plusieurs projets sont à l'étude :

Stalinsk, dans le Kuzbass, doit produire au stade final 7,7 milliards de Nm<sup>3</sup> par an, et dispose

d'une réserve de charbon qui lui permettrait de fonctionner pendant 48 ans (charbon « dur »).

Kolmogorovsk, près de Kemerovo (Kuzbass), est conçu pour produire 21 milliards de  $\text{Nm}^3/\text{an}$  et alimenter une centrale de 1.200 MW (charbon « dur »).

La station du Sud-Kuzbass est prévue pour  $8.10^9 \text{Nm}^3/\text{an}$  et celle de Youzno-Abinskaïa n° 2 doit atteindre  $4.5.10^9 \text{Nm}^3/\text{an}$  (charbon « dur »).

Dans le Kazakhstan, vaste république s'étendant de la Volga à la frontière chinoise, des stations sont prévues à Karaganda ( $2.10^9 \text{Nm}^3/\text{an}$ ), à Kaïnaminisk ( $9.3.10^9 \text{Nm}^3/\text{an}$ ) et à Djanuspaïsk ( $9.3.10^9 \text{Nm}^3/\text{an}$ ) (lignite).

A Angren, dans l'Uzbekistan, à 120 km de Taschkent, une nouvelle station est déjà projetée à quelque distance de celle qui est en construction. Elle devra produire  $8.7.10^9 \text{Nm}^3/\text{an}$  (lignite).

Enfin, il existe encore pour le bassin de Moscou (lignite) deux projets concernant une station au nord de Toula, capable de produire  $493.10^6 \text{Nm}^3/\text{an}$ , et une autre à Gruslov, à 60 km à l'est de Toula, capable de  $3140.10^6 \text{Nm}^3/\text{an}$ . Ces derniers projets semblent cependant avoir été postposés.

#### 403. Conclusions.

En U.R.S.S., la technique de la gazéification souterraine a énormément progressé depuis la guerre. Si, à l'heure actuelle, le procédé n'a pas encore donné des résultats décisifs au point de vue économique, il semble que ce soit là une question de grandeur des installations. Grâce à l'expérience accumulée dans les stations pilotes, les techniciens soviétiques se sentent capables, tout au moins pour les lignites, d'extrapoler à plus grande échelle ce qu'ils ont réussi au stade semi-industriel. Dans un ou deux ans, des installations rentables par elles-mêmes fonctionneront sans doute, et, si les efforts entrepris sont couronnés de succès, d'ici 5 à 7 ans, la gazéification souterraine contribuera, par un apport d'énergie appréciable, à lancer l'économie de régions nouvelles et pleines de promesses.

### 41. Applicabilité de la gazéification souterraine.

De notre visite aux installations de gazéification souterraine, de nos échanges de vues avec les spécialistes soviétiques et de la documentation que nous avons dépouillée, nous pouvons tirer les conclusions suivantes.

Les techniques de gazéification souterraine utilisées en U.R.S.S. sont applicables à des gisements réguliers, à faible profondeur (jusqu'ici : 200 m

maximum), qu'il est facile de recouper par un réseau de sondages rapprochés.

La puissance des couches doit être de préférence supérieure à 1 m (le rendement sera d'autant meilleur que la couche sera plus épaisse). La teneur en cendres peut sans inconvénient atteindre 35 %, mais ne devrait pas dépasser 50 %. Plus le charbon est poreux, plus le procédé a de chances de réussir.

Les épontes doivent être de préférence plastiques, et il est nécessaire que les terrains de recouvrement soient imperméables à l'air comprimé à 6 atm. Le terrain ne peut pas avoir subi l'influence de travaux miniers sous-jacents.

Il ne semble pas exclu d'exploiter successivement des couches superposées, si ces couches sont séparées par des bancs plastiques, imperméables et à condition de commencer par les couches supérieures.

Le gisement doit être sec, ou se prêter à un drainage par sondages.

Il faut pouvoir disposer complètement de la surface du terrain pendant la durée de l'exploitation d'un panneau (deux à trois ans), pour l'implantation des sondages, la pose et le déplacement des tuyauteries. Les affaissements de terrain, consécutifs à la gazéification de couches puissantes à faible profondeur, rendent le procédé impraticable dans les régions bâties. Après exploitation, le terrain peut éventuellement être rendu immédiatement à l'agriculture ou, après l'achèvement du tassement, à des usages quelconques.

Des précautions sont à prendre pour éviter que des travaux miniers éventuels, situés dans un rayon de quelques kilomètres, ne soient infestés par des fuites de gaz, ou que les eaux souterraines ne soient polluées par les produits de décomposition du charbon.

Quoique les prix de revient soviétiques ne soient pas comparables aux nôtres, il est évident que seule une installation de grande taille peut être rentable. Ceci postule un gisement d'une importance suffisante (au moins quelques dizaines de milliers de tonnes) et d'une certaine extension horizontale (quelques dizaines de  $\text{km}^2$ ), puisque l'échelle d'une installation ne peut être augmentée qu'en multipliant le nombre de systèmes élémentaires dont la production individuelle semble devoir rester de l'ordre de 3.000 à 5.000  $\text{Nm}^3/\text{h}$  (par sondage).

Le pouvoir calorifique du gaz restant toujours assez faible (800 à 1.000  $\text{kcal}/\text{Nm}^3$ ), il faudra lui trouver une utilisation sur place pour que le procédé soit rentable. Dans une région non bâtie, cette utilisation sera presque nécessairement la production d'énergie électrique transportable à distance, produite dans des centrales à grande puissance utilisant des cycles énergétiques très évolués.

## BIBLIOGRAPHIE

- La gazéification souterraine dans les divers pays.  
I. Essais russes.  
Annales des Mines de Belgique, novembre 1950.
  - Revue Trimestrielle « Gazéification Souterraine du Charbon » (en russe).  
Années 1957 et 1958. Edition Ougletechizdat, Moscou.
  - Analyse Economique de la Gazéification Souterraine du Charbon (en russe).  
G.D. BAKULIEV. Editions de l'Académie des Sciences d'U.R.S.S., 1957.
  - Gazéification Souterraine des lignites du bassin de Moscou (en russe).  
E.D. KULITCH. 1958, Ougletechizdat, Moscou.
  - Die Kohlenlagerstätten der Sowjetunion (carte et données géologiques).  
R. FRITZ, Glückauf, 1957, n° 13/14, p. 368/385.
  - Underground Coal Gasification in the U.S.S.R.  
W.G. CASS, Colliery Engineering, 1959. April, p. 166/168.
  - Underground Gasification of Coal.  
British team's impressions of russian tour.  
Iron and Coal T.R., 1957, 27 déc., p. 1455-1456.  
Mining El. and Mech. Eng., 1958, janv., p. 215-216.  
Colliery Engineering, 1958, féb., p. 63-65.
-