

La gazéification souterraine dans les divers pays

RAPPORT D'INICHAR

(Suite)

SAMENVATTING

V. — Experimenten te Bois-La-Dame (Luik).

In de twee grote-schaal experimenten van Bois-la-Dame werd de stroommethode toegepast op een overhellende steilte (87°) van de laag Wérisseau (13 % V.B.).

Twee horizontale galerijen, verbonden met een schuine doortocht, vormden een terugslaande pijler. Het gas stroomde van boven naar beneden door de 48 m lange, 57° hellende doortocht (vuurpijler) en werd langs de horizontale galerijen aan- en afgevoerd.

Het vuur werd de 5 Februari 1948 in de doortocht aangestoken. Hierop volgden tot op 12 Maart verschillende experimenten met luchtdebieten tussen 2.000 en 14.000 m³/h.

Merkwaardig was, gedurende deze tijdspanne, de gelijkmatigheid van de stromingsweerstand. De stromingswet wijst erop dat hier een tussengeval voorhanden was tussen de turbulente en de laminaire stroming.

Gedurende het verloop van de experimenten (35 dagen) heeft de vuurzone zich over een 100 m uitgerekt. Ondanks de werking van de watersproeiers heeft het vuur zich hoofdzakelijk stroomafwaarts, in de uitgangsgalerij, uitgebreid.

In het algemeen had de opvoering van het debiet een gunstige invloed op de gasontwikkeling. De zuurstof van de ingeblazen lucht kon bijna volledig uitgeput worden. Drie maal werd, na het langdurig inblazen van een sterk luchtdebiet, gas bekomen met een verwarmingsvermogen dat meerdere uren of verscheidene dagen tussen 500 en 700 cal/m³ schommelen bleef (12 Februari, 20 Februari, 7 Maart).

Bij het plotselings smoren van de luchtstroom werd eveneens gas aan 450 cal/m³ voortgebracht. Door de stroom herhaaldelijk te onderbreken bekwam men zelfs kleine hoeveelheden gas aan 1.000 cal/m³.

Uit de balansberekeningen blijkt nochtans dat de brandbare componenten van het gas hoofdzakelijk uit de vluchtige bestanddelen van de steenkolen voortkwamen, en dat de eigenlijke vergassing hier slechts een ondergeschikte rol gespeeld heeft.

V. — ESSAIS DE BOIS-LA-DAME (Liège).

SOMMAIRE

Introduction.

Annexe concernant la définition des unités employées.

Cadre général des essais.

- a) Gisement.
- b) Composition du charbon.
- c) Nature des épontes.

A. — Chantier n° 1.

1. — Description du chantier.

- a) Travaux souterrains;
- b) Installations de surface.

2. — Journal de l'essai.

- a) Allumage;
- b) Soufflage continu;
- c) Soufflage discontinu;
- d) Période d'extinction.

3. — Résultats.

- a) Résistance du chantier au passage du courant gazeux;
- b) Localisation de la zone de feu;
- c) Composition du gaz :
 - α Résultats généraux.
 - β Correction due aux rentrées d'air.
 - γ Bilan matières.
 - δ Analyse des différentes phases de l'essai.
 - Débits élevés
 - Faibles débits
 - Soufflage discontinu
 - Gaz à l'eau
 - Recyclage
 - ϵ Evolution du gaz le long du trajet souterrain.
 - ζ Rôle de la distillation.
 - η Influence du débit.
- d) Bilan thermique.

4. — Conclusions générales de l'essai n° 1.

- a) Consommation de charbon;
- b) Comportement du terrain;
- c) Zone de feu;

- d) Nature et qualité du gaz;
- e) Elaboration du gaz;
- f) Régime pulsatoire;
- g) Bilan thermique.

INTRODUCTION

La Belgique s'est intéressée à la gazéification souterraine après la dernière guerre. Au mois de décembre 1944, un syndicat, dénommé Syndigaz, s'est constitué sous forme d'Association en participation dans le but de rechercher les méthodes de gazéification de la houille en veine appropriées au gisement belge. Ce syndicat groupait vingt-six entreprises intéressées à l'extraction ou à l'utilisation de la houille et de ses sous-produits.

Par décision du Conseil des Ministres en date du 4 septembre 1945, des crédits furent prévus par le Gouvernement belge en vue d'octroyer une subvention à Syndigaz pour l'aider dans ses recherches.

En 1947, Syndigaz céda son actif et son passif à la Société coopérative Socogaz, chargée de poursuivre les mêmes travaux. Socogaz, ayant la personnalité juridique, pouvait négocier plus aisément, notamment avec des organismes de divers pays dont l'intérêt avait été éveillé par les recherches entreprises en Belgique.

Durant ces négociations, un essai de gazéification souterraine était préparé au siège inactif de Bois-la-Dame, situé à Wandre près de Liège, dans la concession de la S.A. des Charbonnages de Bonne-Espérance, Batterie et Violette. Cet essai, premier en date, eut lieu du 5 février au 12 mars 1948.

Le 27 mai 1948, un accord fut conclu entre Socogaz et les Charbonnages de France en vue de poursuivre en commun des recherches de gazéification souterraine.

Le 14 décembre 1948, un accord analogue fut conclu entre Socogaz et les Charbonnages de Pologne; chacun des trois participants s'engageait à apporter à la recherche la somme de 50 millions de francs belges, l'apport de Socogaz étant représenté en partie par les travaux déjà exécutés. La haute direction des travaux était confiée à un Comité International tripartite; leur exécution incombait à Socogaz.

Un deuxième essai eut lieu au siège Bois-la-Dame, à partir du 6 novembre 1949; il comporta trois périodes actives de gazéification :

- du 6 au 12 novembre 1949,
- du 11 au 18 mai 1950,
- du 1^{er} au 6 septembre 1950.

Les périodes intermédiaires furent consacrées à des travaux de réfection, préparation, etc.

Les essais souterrains du siège Bois-la-Dame pouvant être considérés comme terminés, il est opportun d'en donner un compte rendu détaillé et d'en tirer objectivement les conclusions.

A cet effet, il a été décidé de constituer un Comité comprenant des délégués de chacun des trois pays intéressés, désignés respectivement par :

le Centre d'Etudes et Recherches des Charbonnages de France, en ce qui concerne la France, l'Institut National du Charbon, en ce qui concerne la Pologne,

l'Institut National de l'Industrie Charbonnière, en ce qui concerne la Belgique.

Ce Comité s'est réuni à différentes reprises, à Liège, au siège de l'Institut National de l'Industrie Charbonnière Belge, et au lieu même des expériences, à Bois-la-Dame.

Il a disposé d'une abondante documentation mise à sa disposition par la direction de Socogaz. Il s'est entretenu avec différents ingénieurs et membres de cette Société, qui ont participé aux essais.

Il a rassemblé les renseignements d'origine française, polonaise et belge recueillis antérieurement. Socogaz lui a en outre fourni, à sa demande, de nombreuses informations complémentaires. De tout cela résulte le rapport ci-après.

ANNEXE

Définition des termes et notations utilisés dans le texte du rapport.

Sauf indication contraire :

Par « charbon net » ou « charbon », on désigne le charbon supposé sec et sans cendres.

La composition du charbon est donnée en pour-cent pondéraux des différents éléments C, H, O, N.

L'analyse immédiate du charbon donne, en pour-cent pondéraux du charbon net, le carbone fixe C_f et les matières volatiles MV, déterminés par la méthode ABS 56.13 (chauffage à 1.050° C pendant 40 minutes).

La composition des roches encaissantes est donnée en pour-cent pondéraux des différents oxydes.

Les quantités de charbon sont données en kg ou en tonnes métriques.

Les quantités de gaz ou d'air sont toujours exprimées en mètres cubes normaux (secs) (à 0° C, 760 mm Hg), les débits, en mètres cubes normaux par heure (Nm³/h).

Les compositions de gaz sont données en pour-cent volumétriques sur gaz sec.

Les pressions (+) et dépressions (—) sont données en millimètres de hauteur d'eau (mm H₂O) ou, ce qui revient au même, en kg/m². (1 kg/m² = 1 mm H₂O).

Les calories sont toujours de grandes calories (1 kg H₂O — degré centigrade).

Les pouvoirs calorifiques sont exprimés en calories par kg de charbon net et en calories par Nm³ sec de gaz.

Le pouvoir calorifique supérieur (P.C.S.) est celui que l'on obtiendrait en condensant complètement dans le calorimètre la vapeur d'eau produite par la combustion à pression constante.

Le pouvoir calorifique inférieur (P.C.I.) est celui que l'on obtiendrait en laissant échapper à l'état de vapeur toute l'eau produite.

Les combustibles (charbon ou gaz) étant supposés secs, l'eau hygroscopique n'intervient pas ici. La différence entre PCS et PCI correspond donc uniquement à la chaleur de vaporisation de l'eau formée par la combustion de l'hydrogène du combustible.

Pour les calculs, nous avons admis les pouvoirs calorifiques suivants :

	PCS	PCI
C (cal/kg)	8.100	8.100
CO (cal/Nm ³)	3.020	3.020
H ₂ (cal/Nm ³)	3.050	2.570
CH ₄ (cal/Nm ³)	9.520	8.550
C _n H _m (*) (cal/Nm ³)	15.200	14.520

(*) Assimilés à C₂H₄.

L'orifice équivalent est défini au paragraphe A. 5. a.

Les différents paramètres intervenant dans le bilan matière sont définis au paragraphe A. 5. c. γ.

Les différents paramètres intervenant dans le bilan thermique sont définis au paragraphe A. 5. d.

Cadre général des essais.

La Société Syndigaz, devenue par la suite Socogaz, a entrepris son premier essai de gazéification souterraine à Wandre, près de Liège, au siège de Bois-la-Dame, mis à sa disposition par la S.A. des Charbonnages de Bonne Espérance, Batterie et Violette, qui a joué un rôle actif dans la constitution de Syndigaz.

Ce siège, établi à flanc de coteau, sur le bord est de la vallée de la Meuse, ne sert plus à l'extraction depuis une cinquantaine d'années, mais un des puits est utilisé comme retour d'air par le charbonnage voisin de Wandre appartenant à la même Société.

a) Gisement (Fig. 1).

Le bassin houiller de Liège, allongé dans la direction S.O.-N.E., a la forme d'un synclinal dissymétrique dont le bord sud, le long de la faille Eifelienne, est fortement plissé et redressé jusqu'à la verticale par une poussée venue du massif ardennais, tandis que le bord nord, adossé à l'anticlinal du Brabant, consiste en plateaux à pendage sud qui viennent affleurer sous une couverture peu importante de morts-terrains.

La structure du gisement est fortement compliquée par de nombreuses failles d'affaissement ou de charriage et par des plis secondaires, parallèles à l'axe du bassin.

La partie N.E. du bassin est coupée par deux de ces plis, orientés S.O.-N.E. et s'ennoyant vers le sud-ouest.

Leur structure est d'ailleurs encore imparfaitement connue, car ils correspondent à des parties pauvres du gisement.

Le plus septentrional de ces deux plis porte le nom d'anticlinal de Cointe. C'est au nord de cet anticlinal qu'est établi le siège de Bois-la-Dame. On y trouve des plateaux correspondant à l'allure générale du flanc nord du bassin de Liège et, dans le sud de la concession, des dressants renversés correspondant à la retombée nord de l'anticlinal de Cointe.

Les couches recoupées à faible profondeur sont voisines de l'horizon de Quaregnon; elles sont constituées de charbon quart-gras (13 % de matières volatiles).

On décida d'établir le chantier à 150 m environ au sud des puits existants, dans un dressant renversé, incliné à 87°, de la couche Wérisseau (0,90 m de puissance).

Entre 1875 et 1945, une dizaine de couches de charbon, dont la puissance varie entre 0,50 m et 1,40 m, ont été exploitées en plateaux et partiellement remblayées à l'aplomb du panneau de gazéification, entre des niveaux situés à 150 et à 325 m sous la base du chantier.

Entre les deux essais de gazéification, une exploitation a passé dans une couche de 1,25 m, à 240 m sous le chantier (1948), et une autre dans une couche de 0,50 m, à 450 m sous le chantier (1949).

Le terrain était donc probablement fissuré préalablement aux expériences et le second chantier se trouvait dans la zone d'influence de travaux récents lors de sa mise à feu.

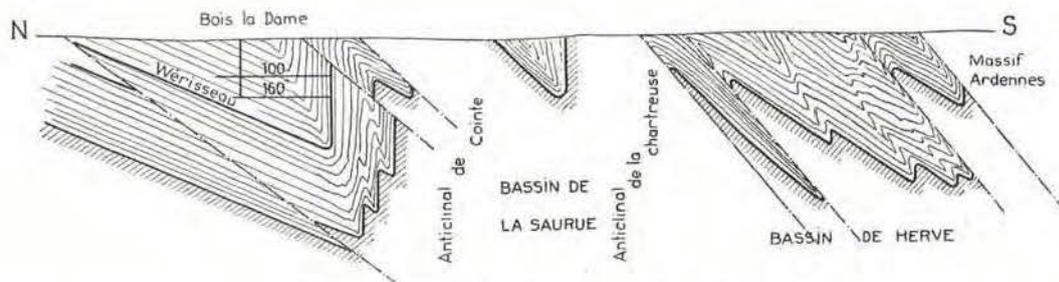


Fig. 1. — Coupe N-S schématique du bassin de Liège.

b) *Composition du charbon.*

La couche Wérisseau est salée par deux minces intercalations de schiste charbonneux (2-3 cm). Elle possède un faux mur (mur géologique) très charbonneux, d'épaisseur variable (de 12 à 25 cm). La couche proprement dite a une teneur en cendres voisine de 10 % dans les parties les plus propres. Pour l'ensemble de la veine, cette teneur est de l'ordre de 20 %, très variable cependant à cause des variations de puissance de la couche et du faux mur.

L'analyse élémentaire du charbon net et sa teneur en matières volatiles ont été déterminées par extrapolation, à partir d'échantillons à teneurs en cendres diverses. On a ainsi éliminé l'influence des matières volatiles contenues dans le stérile et celle de l'eau d'hydratation des schistes.

Pour la détermination du carbone, on a tenu compte du CO₂ des carbonates (en quantité minime d'ailleurs).

Les chiffres indiqués au tableau I pour l'azote et l'oxygène sont approximatifs.

TABLEAU I.

Analyse immédiate				Analyse élémentaire				PCS	PCI		
H ₂ O	Cendres	G _r	MV	C	H	O	N	mesuré			
sur brut		sur sec		sur charbon net (sec et sans cendres)							
5,0	19,0	87,7	12,5	92,0	4,0	2,8	1,2	8,750	8,525		

c) *Nature des épontes.*

Le toit géologique de la couche Wérisseau est constitué par un schiste assez homogène, le mur par un schiste plus ou moins gréseux et beaucoup plus

hétérogène. Des analyses et des essais de fusibilité ont été exécutés sur plusieurs échantillons du toit et du mur. Le tableau II donne la moyenne des résultats obtenus.

TABLEAU II.

			Toit	Mur		
Composition chimique	Si O ₂	} réfractaires	58,1	} 80,5	70,7	} 91,2
	Al ₂ O ₃ + Ti O ₂		22,2		11,5	
	Fe O	} fondants	5,6	} 10,7	2,1	} 4,4
	Na ₂ O + K ₂ O		5,1		2,5	
	Ca O	} carbonates	0,4	} 1,0	0,2	} 1,0
Mg O	1,5		0,8			
	CO ₂ (carbonates)	} perte au feu	2,0	} 7,1	1,0	} 5,4
	Matières organiques		5,1		2,4	
			100,0	100,0	100,0	100,0
Fusibilité (atm. réductrice)	Début d'affaissement sous 2 kg/cm ²		1.060° C		1.125° C	
	Début de fusion		1.295° C		1.390° C	
	Fusion		1.560° C		1.440° C	
	Grésage		1.460° C		1.525° C	

Les essais de fusibilité en atmosphère oxydante donnent des températures de fusion et de ramollissement légèrement supérieures.

Par suite du dégagement des matières volatiles, les échantillons gonflent et se boursoufflent avant de fondre, ce qui rend délicate la détermination exacte

des points de fusion.

Des essais de conductibilité thermique, assez peu précis toutefois, indiquent pour les roches du toit une conductibilité égale à 1,5 fois environ celle du mur de la couche. La conductibilité moindre du mur semble due à son hétérogénéité.

A. — **CHANTIER N° 1.**1. — **Description du chantier.**a) *Travaux souterrains (Fig. 2).**Schéma général.*

Le chantier de gazéification, pris dans le dressant de la couche Wérisseau (voir plus haut), com-

porte deux galeries horizontales, distantes verticalement de 60 mètres environ et réunies par un montage incliné à 57°. Le feu, allumé dans le montage, attaque le panneau à la manière d'une taille rabattante, se déplaçant parallèlement à elle-même.

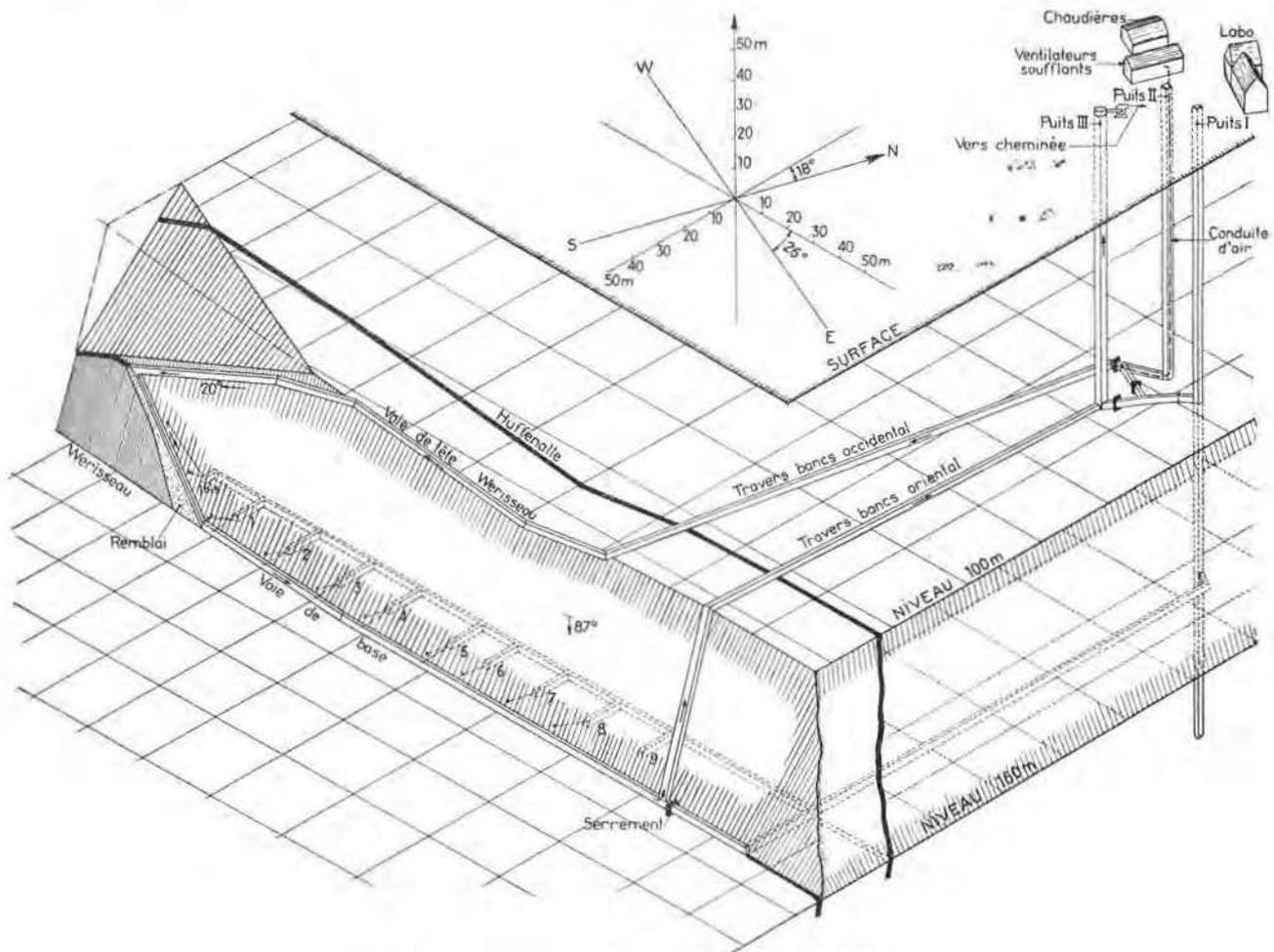


Fig. 2. — Perspective oblique du chantier n° 1 de Bois-la-Dame.

Le courant gazeux, envoyé de la surface par des ventilateurs, pénètre dans le chantier par la galerie supérieure, descend dans la taille et ressort par la galerie inférieure. Les galeries composant ce circuit sont isolées du reste de la mine par des serrements étanches.

Pour obtenir une attaque régulière du panneau, il faut éviter la remontée du feu vers la tête du chantier ou sa fuite dans la galerie de sortie et maintenir la zone de réaction dans la taille même.

A cet effet, le charbon formant la sole de la voie de tête est recouvert d'une couche protectrice d'argile ou de béton, l'empêchant de s'allumer en amont de la tête de taille. Cette couverture se détruit d'elle-même lors de la progression régulière du front de feu sous la galerie.

Des dispositifs spéciaux (clapets télécommandés) devaient mettre progressivement hors-circuit la partie aval de la galerie et amener l'air directement en contact avec le charbon, sous la couche de béton. En fait, ils n'ont pas été utilisés.

Dans la galerie de base, des pulvérisateurs d'eau refroidissent le gaz avant sa sortie du chantier, de façon à geler les réactions de rétrogradation éventuelles et à protéger les galeries de retour contre les températures trop élevées.

Le sens descendant adopté pour la circulation du courant gazeux, contraire à la pratique minière et au sens de l'aérage naturel, a été jugé nécessaire pour permettre l'installation des dispositifs destinés à régler l'avancement du feu. Avec un courant ascendant, on aurait pu craindre la chute du revêtement placé à la couronne de la galerie de base, servant dans ce cas d'entrée, ou l'inondation du chantier par les pulvérisateurs installés dans la galerie de tête, servant de sortie.

L'inclinaison du montage a été choisie égale à l'angle de talus naturel des schistes du toit, de façon que la chute des débris maintienne une ouverture plus ou moins constante de la taille, sans obstruction ni élargissement exagéré de la section.

Premiers travaux.

Pour éviter d'équiper les puits pour l'entrée et la sortie des gaz, on envisagea tout d'abord d'établir le panneau de gazéification entre les niveaux 0 et - 67 m (par rapport à l'orifice des puits) en creusant deux tunnels à flanc de coteau, au niveau des installations de surface et à celui du fond de la vallée.

Ces tunnels ne rencontrèrent qu'une zone failleuse. Aussi résolut-on d'établir le panneau plus bas, entre les niveaux de 100 et 160 mètres.

Le chantier proprement dit.

Ce panneau est limité par deux voies de niveau, hautes de 2 mètres, aux cotes 154 m et 97 m (160 m et 100 m en chiffres ronds), chassant vers l'ouest, et par un montage dans la couche, incliné à 57° et réunissant l'extrémité des deux voies.

La voie de 100 m, ayant rencontré une faille cisailante, descend dans ses 87 derniers mètres selon une pente de 15° à 20°, ce qui réduit à 48 m la longueur du montage de feu.

L'entrée d'air se fait par la voie au niveau de 100 m, reliée au puits n° II par un travers-bancs nord-sud de section trapézoïdale (2 m × 2 m). Le gaz sort du chantier par la voie de 160 m, remonte au niveau de 100 m par un montage maçonné, creusé suivant la pente de la couche, et revient jusqu'au puits n° III par un second travers-bancs au niveau de 100 m.

Les emplacements des clapets destinés à régler l'avancement du feu ont été préparés dans la voie de tête. En fin de compte cependant, on a renoncé à installer ces appareils, jugés trop complexes et d'un fonctionnement incertain. Ils ne seront pas décrits ici.

Le sol de la galerie de tête a été recouvert, sur les 30 derniers mètres, d'une couche d'argile bien tassée de 30 cm d'épaisseur.

La largeur du montage de feu, de l'ordre de 3 m au moment du creusement, a été réduite à 0,60 m par un remblai de pierres destiné à protéger le charbon situé du côté opposé au panneau à gazéifier.

Une saignée continue, de 1,50 m de profondeur, a été pratiquée au pic et à l'explosif tout le long du front de taille dans le toit géométrique (mur géologique) pour amorcer le foudroyage.

Une venue d'eau de plusieurs centaines de litres à l'heure, due sans doute à la proximité du dérangement longé par la voie de tête, débouche dans le toit (géométrique) du montage, à quelques mètres de la tête de taille.

La galerie de base (chassage à 154 m) est pourvue d'un soutènement métallique avec, au sommet, un garnissage en tôles perforées, permettant le passage des gaz tout en maintenant le charbon en place. Le sol a été recouvert d'une couche d'argile tassée de 30 cm d'épaisseur.

Les pulvérisateurs d'eau ou « atomiseurs », installés dans cette galerie, sont constitués par des petites turbines placées dans l'axe de la galerie et projettent l'eau radialement en pluie.

Ils sont montés par groupes de six (formant une rampe d'une vingtaine de mètres de longueur) sur chaque tuyau d'alimentation et peuvent débiter un total de 6 m³/h par rampe.

La galerie de 154 m est fermée par un serrement au delà du pied du montage de retour des gaz. Ce montage a une section de 2,50 m × 0,90 m. Le charbon des parois est protégé par des murs en briques de laitier de 0,50 m, dans lesquels sont ancrés, à 1,10 m d'intervalle, des rails de 25 kg/m formant bèles. Des tôles perforées sont placées contre les épontes. Le travers-bancs de retour des gaz à 100 m est également pourvu d'un soutènement métallique.

Le circuit des gaz (entrée et sortie) devait donc exclusivement comporter des galeries et puits de mine, sans conduites métalliques. Cependant, des défauts d'étanchéité constatés dans le revêtement en maçonnerie du puits II (entrée d'air) ont rendu nécessaire la pose, dans ce puits, d'une conduite en tôle de 640 mm de diamètre, amenant l'air comburant dans le travers-bancs d'entrée d'air, à 100 m, à travers un massif en béton de 2,50 m.

Pour rendre étanche le puits III (sortie des gaz), on a posé un blindage en tôle sur les 12 m supérieurs du puits. Ce blindage est solidarisé avec le terrain par injection de béton. La conduite de gaz se raccorde au puits par un couvercle solidaire du blindage.

De plus, on a établi un anneau de béton au niveau de 64 m où le puits traverse des anciens travaux.

Galerias d'observation et d'accès.

Un travers-bancs, creusé à l'étage de 160 m et partant du puits I, permet l'accès du serrement fermant la galerie de base au pied du montage de retour des gaz.

De ce travers-bancs part également une voie de niveau dans la couche Huffenalle, séparée de Wérisseau par une stampe de 27 m. A partir de cette voie, neuf recoupes, prolongées par des trous de sonde, ont été creusées en roche vers le panneau de gazéification. Les trous de sonde permettent : les uns, l'alimentation en eau des atomiseurs placés dans la voie de retour des gaz, les autres, le passage des fils des couples thermoélectriques placés dans le charbon au-dessus de cette galerie, d'autres encore, le prélèvement d'échantillons de gaz en différents points du circuit.

b) Installations de surface.

Soufflerie.

A l'entrée d'air, trois ventilateurs centrifuges assurent chacun un débit de 12.000 m³/h sous 800 mm de pression. Les conduites reliant ces ventilateurs sont équipées de vannes et de registres, permettant leur marche en série ou en parallèle à volonté (en réalité, seule la marche en série s'est avérée utilisable pratiquement) ou même un recyclage des gaz (en reliant l'aspiration des ventilateurs soufflants à la sortie des gaz). Les moteurs asynchrones de 72 CV actionnant ces ventilateurs ont dû être remplacés, au cours de l'essai, par des moteurs plus puissants, de 120 à 165 CV.

A la sortie du puits III, un ventilateur aspirant maintient en dépression les galeries d'évacuation du gaz et refoule celui-ci dans une cheminée débouchant à 40 m au-dessus du niveau des installations de surface. Il peut débiter 20.000 m³/h sous une dépression de 250 mm.

Chaudières.

Deux chaudières, type locomotive, timbrées à 12 kg/cm², d'une surface de chauffe de 156 m² et capables d'un débit de 3 tonnes de vapeur à l'heure, ont été installées près de la salle des ventilateurs, à proximité du puits II.

Ces chaudières devaient fournir la vapeur nécessaire pour fonctionner en régime de gaz à l'eau ou de gaz mixte et, en cas de danger, pour étouffer le feu.

Appareils de mesure.

Les appareils de mesure (débitmètres, pressiomètres, pyromètres) sont tous à commande à distance. Leurs indications sont répétées électriquement sur le vaste tableau de la salle de dispatch et enregistrées automatiquement.

Les débits sont mesurés par des débitmètres à tore Intégra, reliés à des diaphragmes placés en tête du puits II (mesure du débit de comburant), sur la conduite d'amenée de vapeur et sur la canalisation de refoulement des gaz produits. Cette dernière mesure (débit de gaz), influencée par la température, la teneur en vapeur d'eau et le poids spécifique du courant gazeux, est cependant fort peu précise et les chiffres obtenus n'ont qu'une valeur relative.

Des prises de pression statique sont disposées aux mêmes points. Un baromètre et un hygromètre sont placés à proximité de l'aspiration des ventilateurs.

Deux prises de gaz branchées sur la conduite d'évacuation des gaz (à côté d'un thermo-couple) aboutissent à une petite installation d'épuration, se composant de deux réfrigérants, deux condenseurs et deux épurateurs à limonite travaillant en parallèle.

Le gaz envoyé vers le laboratoire par un extracteur met, pour y parvenir, une minute environ depuis le moment de son prélèvement.

Les gaz sont analysés, soit à l'appareil d'Orsat à main, soit par des analyseurs automatiques « Mono », de fabrication Meihak, Hambourg, donnant les proportions volumétriques en N₂, pour le premier, O₂ pour le second et, pour le troisième, en CO₂ et H₂ ou en CO₂ et (CO₂ + CO + H₂ + CH₄).

Cependant, le fonctionnement du Mono oxygène n'a guère été satisfaisant pendant l'essai. D'autre part, l'oxygène présent dans le gaz fausse les résultats des appareils dosant les composants combustibles. Les indications des Monos ne sont donc à retenir que du point de vue qualitatif. Elles ont cependant été précieuses pour suivre plusieurs phénomènes trop rapides pour être interprétés au moyen des analyses Orsat.

Le laboratoire dispose également d'un calorimètre à main et d'un autre, automatique, mais ne permettant la détermination du pouvoir calorifique qu'au delà de 600 cal/m³.

2. — **Journal de l'essai.**

(Voir diagramme général, hors texte.)

a) *Allumage.*

En vue de l'allumage, on a disposé dans le montage quatre bûchers composés d'empilages de bois, avec charbon gras et huile lourde, distants d'environ 9 mètres les uns des autres (croquis au bas du diagramme).

Dans chaque bûcher se trouve une bombe incendiaire pourvue d'un dispositif d'allumage électrique, commandé de la surface.

Les bûchers amont (tête de taille) sont allumés les premiers. Dans ces bûchers ont été placés des tuyaux de 150 mm, permettant le passage direct d'une fraction de l'air frais pour alimenter les bûchers aval en oxygène.

Le chantier est allumé le 5 février 1948, à 14 h 20, par mise à feu électrique. La fumée apparaît à la cheminée 35 minutes après l'allumage du premier bûcher. Le débit d'air, de 2.600 m³/h au moment de la mise à feu, est porté progressivement à 11.000 m³/h (24 h 00).

b) *Essais de soufflage continu.*

Pendant les sept premiers jours de fonctionnement, on assiste à une simple combustion, d'ailleurs incomplète, du charbon. Le débit varie de 7.500 à 10.000 m³/h. Le gaz contient environ 10 % CO₂, 10 % O₂ et de l'azote.

Le 6 février, cependant, à 2 heures, un gaz à 420 cal est recueilli. On en attribue l'origine à la distillation du charbon gras et du mazout utilisés pour la confection des bûchers.

On remplace, pendant cette période, le moteur d'un des ventilateurs par un autre plus puissant.

Le 12 février (sixième journée de l'essai), après 18 heures de soufflage sous régime maximum de 10.400 m³/h (action des ventilateurs renforcée par un appoint d'air comprimé), apparaît du gaz combustible dont le pouvoir calorifique varie de 525 cal (7 heures) à 720 cal (11 heures) pour redescendre lentement à 420 cal (20 heures) (voir diagramme I hors texte). La composition moyenne du gaz, calculée entre 7 heures et 20 heures, est donnée au tableau III.

TABLEAU III.

CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂	PCS	PCI
11.4	4.2	4.2	4.2	3.1	72.9	553	501

Comme les pyromètres indiquent de hautes températures (965°) au pied de la taille, on réduit, à 20 heures, le débit d'air pour tenter de faire remonter le feu vers l'amont. Le pouvoir calorifique diminue aussitôt.

Les jours suivants, on envoie dans la mine des débits échelonnés entre 4.000 et 10.000 m³/h.

La production de gaz au pouvoir calorifique le plus élevé (400-500 cal/m³) correspond aux périodes à fort débit. Le 13, on obtient de nouveau du gaz

à 514 cal après une période de 5 heures de soufflage intense (10.500 m³/h).

Cependant, on obtient également des boullées de gaz à 450 cal lors des diminutions rapides du débit. Le 14 février, par exemple, après 10 heures de soufflage (10.000 m³/h de 4 heures à 14 heures) sans production de gaz, on réduit le débit à 5.500-4.000 m³/h. A 16 h 50, on obtient du gaz à 450 cal/m³ contenant 5 % H₂, 1,5 % CO et 5 % CH₄, et provenant sans doute en partie de la distillation du charbon réchauffé pendant la période de soufflage précédente.

Le 15 février, il se produit un étranglement du chantier par suite de l'accumulation d'eau dans la galerie de sortie. Pour permettre la réduction du

débit des atomiseurs et la vidange de la galerie, on maintient le chantier en veilleuse (2.000-3.000 m³/h) jusqu'au 19 février. Le gaz sortant contient de l'oxygène (10 %), du CO₂ (10 %), peu de H₂ et de CO et de 1 à 5 % de CH₄.

Le débit de 11.000 m³/h est rétabli le 19 février à 17 heures. Ceci fait immédiatement diminuer le pourcentage d'oxygène et augmenter le CO₂.

Après 10 heures de soufflage, le pouvoir calorifique augmente à son tour et se maintient au-dessus de 500 cal/m³ de 6 heures à 22 heures, le 20 février (voir diagramme II hors texte).

Le pourcentage en O₂ devient très faible et reste en dessous de 2,5 % (Tableau IV).

TABLEAU IV.

Heures	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	C _n H _m	N ₂	PCS	PCI
20 Fév. à 5 h	15,8	2,0	0,4	1,8	0,4	—	79,6	105	92
Moyenne 4 h- 5 h	14,0	1,9	2,5	5,8	1,2	—	74,1	370	330
Moyenne 6 h-16 h	15,0	1,8	5,2	5,4	2,1	0,1	72,4	540	490
Moyenne 17 h-22 h	15,0	2,1	5,6	6,8	5,2	0,2	71,1	660	585

Le lendemain, 21 février, pour permettre une nouvelle vidange de la galerie des atomiseurs, le débit est réduit graduellement jusqu'à 1.600 m³/h. Le CO disparaît rapidement du gaz et l'oxygène

reparaît pour atteindre 9 %. Le pouvoir calorifique ne diminue que lentement, grâce à la présence de gaz de distillation (H₂ et CH₄) (Tableau V).

TABLEAU V.

	m ³ /h	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	C _n H _m	N ₂	PCS	PCI
20 Fév. 22 h 00	10.200	15,4	2,4	5,0	7,2	5,2	0,2	70,6	645	576
21 Fév. 3 h 00	4.000	10,0	6,6	1,4	8,8	5,0	0	68,2	786	695
21 Fév. 7 h 00	2.500	10,0	8,0	0,2	5,2	5,6	0	75,0	506	447
21 Fév. 22 h 00	1.600	9,2	9,0	0,6	5,0	2,4	0	75,8	558	500

Le chantier reste ensuite en veilleuse jusqu'au 5 mars (28^{me} journée de l'essai), pour permettre l'assèchement complet de la galerie des gaz.

Des essais, effectués pendant cette période, mettent en évidence l'inétanchéité du puits de sortie (puits III) et l'influence du ventilateur aspirant le gaz à la sortie de la mine sur la teneur de ce gaz en O₂.

Ces mêmes essais démontrent l'étanchéité des autres parties du circuit, en particulier celle des serremments à 100 m et à 154 m.

c) Soufflage discontinu.

La galerie des gaz étant vidée, on rétablit le 3 mars, à 10 h, le débit maximum de 14.000 m³/h. Pendant 50 heures de ce régime, on n'obtient que

des gaz de combustion. Le 4 mars, à 17 heures, le pouvoir calorifique commence à remonter, pour arriver à 450 cal/m³ à 25 heures. Le maximum n'était probablement pas atteint, quand on passa aux essais suivants.

Les 5 et 6 mars (48 heures) sont consacrés à une première série d'essais de soufflage discontinu. Après une période intermédiaire de débit continu (11.500 m³/h) et un essai d'injection de vapeur qui ne donne aucun résultat appréciable, on reprend le soufflage discontinu le 9 mars, à 25 heures, jusqu'au 11 mars, à 11 heures (56 heures).

Les diagrammes-moyens hors texte et le tableau VI donnent une synthèse des résultats obtenus.

TRANSFORMATEURS "CUIRASSÉ- IMBRIQUÉ," DE GRANDES PUISSANCES

TRANSFORMATEUR DE 75000 kVA

Type « Cuirassé-Imbriqué »

roulements : 150 / 70 / 10 kV

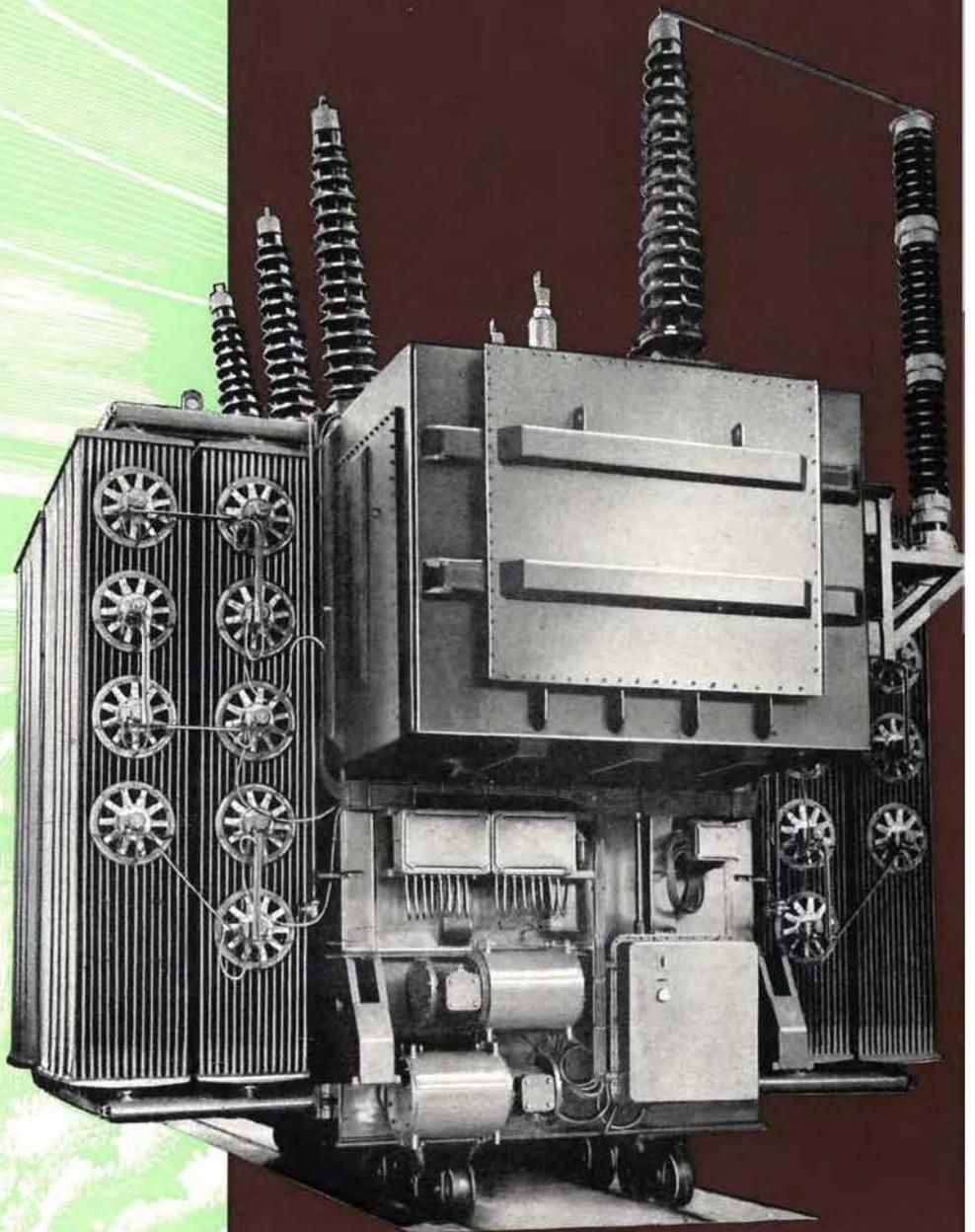
gimes de charge :

45 000 kVA; en refroidissement naturel

60 000 kVA; avec appoint de ventilateurs

75 000 kVA; avec appoint de ventilateurs et circulation forcée de l'huile.

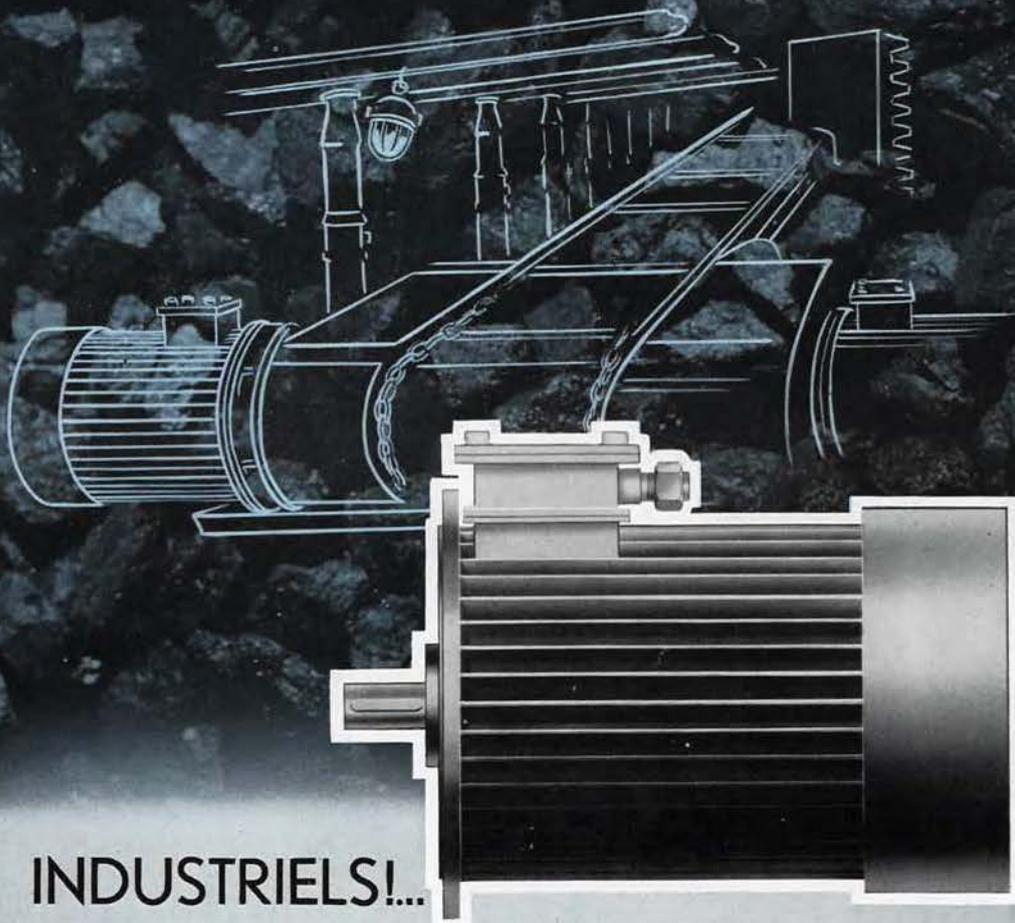
age en charge : $\pm 17,5$ % côté 150 kV



ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ELECTRIQUES DE CHARLEROI



Travail du fond



INDUSTRIELS!...

Équipez vos engins mécaniques de moteurs électriques belges. Les ACEC construisent "LE MOTEUR TOUT ACIER," spécialement conçu pour le travail mécanique du fond.

ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ELECTRIQUES DE CHARLEROI



TABLEAU VI.

Périodes	Durée	Marche	Arrêt	PCS max.	PCS min.
Débit continu (14.000 m ³ /h).					
3-4 mars	40 heures				
5-6 mars	32 heures	30'	30'	575 - 750	400 - 525
6 mars	16 heures	20'	40'	600 - 800	400 - 650
Débit continu et injection de vapeur.					
6-9 mars	72 heures				
10 mars	17 heures	30'	60'	700 - 1.050	300 - 400
10-11 mars	20 heures	60'	30'	550 - 880	400 - 500
Débit pendant les périodes de débit continu : 10.000-14.000 m ³ /h					
» » » » de marche : 10.000-14.000 m ³ /h					
» » » » d'arrêt : 0- 600 m ³ /h					

Pendant la période intermédiaire de débit continu (7-9 mars), le gaz produit en régime (11.000 m³/h) accuse une composition relativement peu variable (voir diagramme III hors texte) oscillant autour de la moyenne (Tableau VII).

TABLEAU VII.

CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂	PCS	PCI
14,5	1,7	3,7	4,8	2,6	72,8	505	457

L'essai d'injection de vapeur ne donne guère de résultats, par suite de la rupture (constatée plus tard) de la tuyauterie en éternit à une centaine de

mètres de la tête de taille. L'injection de vapeur à l'ouïe des ventilateurs n'a pas non plus d'effet net : peut-être le débit de vapeur est-il insuffisant (2 à 5 tonnes par heure).

Un essai de marche à débit variable, le 11 et le 12 mars (débit ramené progressivement de 10.000 à 3.000 m³/h, pendant l'après-midi du 11, et reporté de 3.000 à 10.000 m³/h, pendant la matinée du 12) ne permet pas de mettre en évidence une relation définie entre le débit et le pouvoir calorifique. Celui-ci oscille entre 450 et 650 cal pendant la période de débit décroissant (11 h-24 h), puis diminue pendant la période de débit croissant, de 470 à 250 cal/m³ (Tableau VIII). De toute façon, la durée de chaque régime réalisé est trop courte pour permettre de tirer des conclusions précises.

TABLEAU VIII.

	Heures	Débit	PCS moyen
11 mars	11 h 00-14 h 15	10.000	470
»	14 h 15-16 h 30	8.350	555
»	16 h 30-18 h 30	5.800	510
»	18 h 30-20 h 30	4.000	545
»	20 h 30-22 h 30	3.100	530
»	22 h 30-24 h 30	4.000	468
12 mars	0 h 30- 2 h 30	6.000	450
»	2 h 30- 4 h 30	8.200	233
»	4 h 30- 8 h 00	10.000	388

Enfin, le vendredi 12 mars, on tente encore un essai de recyclage du gaz sortant, mélangé à une certaine quantité d'air. Cet essai doit être interrompu après deux heures : on enregistre quelques explosions dans la conduite et l'on constate la présence de CO dans les galeries.

d) Période d'extinction.

On laisse le chantier en aspiration pendant trois jours, puis on arrête le ventilateur aspirant et injecte de la vapeur par la conduite de soufflage d'air pour refroidir le chantier.

Le 17 mars, on obture complètement la mine : on pose un joint étanche sur la conduite d'entrée d'air; un joint hydraulique est réalisé sur le circuit

de retour des gaz en laissant monter les eaux derrière le serrement de 160 m, de manière à fermer le pied du montage de retour.

On tente vainement à plusieurs reprises, pendant les mois de mai et de juin, de visiter les galeries d'entrée d'air et la tête de taille.

La température est trop élevée pour permettre l'approche du chantier et le courant d'air, nécessaire pour permettre la visite, a pour effet de ranimer la combustion.

Enfin, le 23 juin, on parvient jusqu'en tête du montage de feu. Il n'y a aucune trace d'incendie; on constate seulement que le charbon s'est affaissé entre les épontes.

Les canalisations en surface sont ensuite modifiées de manière à renverser le sens du courant d'air. On explore dans ces conditions la voie au niveau de 160 mètres dans Wérisseau (5 septembre). Les 67 premiers mètres à partir du serrement sont parfaitement conservés; il y stagne une eau noire et goudronneuse, dans laquelle on trouve des morceaux de bois carbonisés.

On ne peut pousser au delà, du fait d'un éboulement qui obture complètement la section; les trois cadres encore visibles ont été complètement tordus. Le déblaiement de la masse d'éboulis, gêné par les débris du soutènement, s'avère pratiquement impossible.

La position de cet éboulement coïncide avec celle du pyromètre 5/4, le dernier qui ait indiqué la présence du feu.

Cette portion de la mine est restée fermée depuis cette visite.

3. — Résultats.

a) Résistance du chantier au passage du courant gazeux.

L'orifice équivalent du chantier a été utilisé pour caractériser, en première approximation, sa résistance au passage du courant gazeux.

Rappelons en d'abord la définition :

Le débit d'air, passant dans un circuit d'aérage composé de galeries de mines, est proportionnel à la racine carrée de la dépression appliquée à ses extrémités. On peut donc considérer un tel circuit comme équivalent à un orifice en paroi mince, donné par la formule :

$$S = \frac{0,38 Q}{\sqrt{h}}$$

S : orifice équivalent en m²;

Q : débit en m³/sec;

h : dépression en kg/m² (ou en mm H₂O).

Cette formule s'applique à un courant d'air à 20° C, sous la pression atmosphérique.

Elle perd toute signification précise dans le cas d'un circuit de gazéification souterraine, pour les raisons suivantes :

- la température est extrêmement variable et peut atteindre 1.000-1.200° C ou plus encore;
- la pression peut être assez différente de la pression atmosphérique (plusieurs mètres H₂O);
- la nature et la quantité du gaz elles-mêmes sont variables par suite des réactions de gazéification, de la formation de grandes quantités de vapeur d'eau et des fuites ou rentrées d'air inévitables;
- la section du chenal est extrêmement variable et inconnue, pouvant même être resserrée au point de donner lieu à un écoulement laminaire pour lequel le débit est proportionnel à la dépression.

Il convient donc d'être très prudent dans l'interprétation des variations de l'orifice équivalent au cours de l'essai, celles-ci reflétant, non seulement les variations de la section offerte au passage du courant gazeux, mais également les variations d'autres facteurs, et notamment celles de la température.

L'orifice équivalent de l'ensemble des galeries constituant le circuit de gazéification était initialement de 16,6 dm². Il est tombé à 6,6 dm² après la mise en place des bûchers d'allumage.

Dès la mise à feu, par suite du resserrement de la section et de l'élévation de la température, la valeur de l'orifice équivalent se réduit notablement. A partir du quatrième jour, elle se stabilise et reste comprise, pour des débits de l'ordre de 10.000 m³/h, entre 2 et 2,5 dm² jusqu'à la fin de l'essai (sauf évidemment au moment de la formation d'un bouchon d'eau dans la galerie de sortie des gaz).

Relation entre le débit et la pression.

La relation entre le débit Q et la pression h a été déterminée empiriquement pour différents stades de l'essai. Elle peut se mettre, avec une bonne approximation, sous la forme $Q = A h^k$, à condition de donner à A et à k des valeurs convenables, variables au cours de l'essai (Q en m³/h, h en mm H₂O).

La constante A a évolué dans le temps de la manière suivante (Tableau IX) :

TABLEAU IX.

Dates	A	Dates	A
5 février	165	17-19 février	65-67
6 »	145	20-21 »	59-65
6-7-8 »	84	5 mars	84
9 »	71	7 »	60
10-11-12 »	61-67	8 »	50
13-14 »	55-61	11-12 »	50-55

Le coefficient A caractérise un peu mieux la résistance du chantier que l'orifice équivalent, puisqu'il échappe à la dernière critique formulée ci-dessus, mais il demeure soumis, par contre, aux trois autres critiques.

Sous cette réserve, il semble que la résistance du chantier augmente progressivement pendant les périodes de débit intense et diminue au cours du fonctionnement à débit réduit. Mais le résultat le

plus important semble être le fait que l'exposant k garde toujours une valeur intermédiaire entre 0,5 et 1. Il est le plus souvent voisin de 2/5. Cela prouve qu'une partie du circuit des gaz comporte un écoulement laminaire ou, tout au moins, un écoulement intermédiaire entre le type laminaire et le type turbulent. Il s'agit vraisemblablement de certaines portions du montage ou de la voie de base obstruées par des éboulements.

b) Localisation de la zone de feu.

Observations recueillies.

On a indiqué sur le diagramme général de l'essai les emplacements des couples thermoélectriques, logés dans la couche au moyen de trous de sonde forés à partir de la galerie d'observation. Ces couples ont fonctionné presque tous suivant des cycles similaires. Après une période d'inactivité plus ou moins longue ils ont indiqué brusquement des températures croissantes, pour osciller pendant des jours ou des semaines entre 500° et 1.000° C, et retomber ensuite brutalement à 0, sans doute après avoir été brûlés.

Certains pyromètres ont été prématurément mis hors service, d'autres n'ont jamais fonctionné. Dans l'ensemble, ils permettent cependant de se faire une idée de l'ordre de grandeur des températures atteintes, de l'extension et du déplacement de la zone de réaction.

Indépendamment des indications des pyromètres, la composition du gaz a pu fournir également certains renseignements.

Des variations brusques de la composition du gaz, coïncidant avec la mise en marche ou l'arrêt des atomiseurs de la galerie de base, ont démontré la présence de charbon incandescent dans cette galerie pendant les dernières phases de l'essai.

La composition des prises de gaz prélevées dans le panneau au moyen de trous de sonde donne aussi une idée qualitative de la température régnant au point de prélèvement.

Longueur de la zone de feu.

En mettant en regard les diagrammes des différents pyromètres, on constate qu'au début de l'essai, le feu est localisé dans la moitié inférieure de la taille (25 mètres). A partir du 19 février, il s'étend depuis le pied de taille jusqu'au pyromètre 2/6, soit sur une cinquantaine de mètres dans la galerie. Le 5 mars, il atteint le pyromètre 3/1, ce qui correspond à une zone de feu de 65 mètres, et, à la fin de l'essai, il occupe encore au moins l'espace compris entre les pyromètres 2/5 et 3/4, soit une centaine de mètres.

Rien ne permet d'affirmer que cette zone de feu ait été homogène, d'un seul tenant.

Au contraire : le fait que le pyromètre 2/5 par exemple n'a démarré que bien après le 2/6, situé en aval, et les variations importantes des pyromètres situés dans la zone de feu permettent d'imaginer celle-ci comme composée d'une succession de foyers plus ou moins individualisés.

Déplacement du feu.

Outre l'extension du feu et contrairement aux prévisions, il s'est produit, au cours de tout l'essai, un mouvement d'ensemble de la zone de feu vers l'aval. Le centre de la zone à haute température s'est déplacé d'une centaine de mètres. Ce mouvement semble avoir été plus spécialement prononcé pendant les périodes à fort débit. On remarque, en effet, que c'est généralement pendant ces périodes que les différents pyromètres ont commencé à marquer des températures élevées (Tableau X).

Tableau X.

Pyromètres	Date	Débit
2/5	12-2	10.000
2/4	15-2	3.700
2/3	19-2	10.000
2/6	20-2	10.500
3/1	4-3	14.000

Si l'on admet que le déplacement du feu s'est produit presque exclusivement pendant les périodes à fort débit (plus de 5.000 m³/h) qui ont occupé un total de 570 heures au cours de l'essai, on obtient une vitesse de déplacement moyenne de d'ordre de 100/570 = 0,27 m par heure, avec un débit moyen de l'ordre de 10.000 m³/h.

Il semble bien que cette « fuite du feu » ait été beaucoup moins rapide pendant les périodes à débit plus faible. Il fallait s'y attendre, par analogie avec les feux de mine qui remontent le courant d'air.

On a même essayé à plusieurs reprises de faire remonter le feu dans la taille en réduisant intentionnellement le débit à 2.500-3.000 m³/h. Le résultat obtenu n'a pas été net. Sans doute les pyromètres, après avoir été englobés dans la zone de feu, n'étaient-ils plus capables d'enregistrer un réchauffement éventuel du massif.

Le pyromètre 2/1, situé au tiers supérieur de la taille, n'a commencé à s'échauffer qu'à la fin de l'essai. Il est difficile de dire si ce réchauffement (200°) est dû à une remontée du feu, à une circulation de gaz chauds pendant les arrêts du soufflage (soufflage discontinu) ou à la formation d'un nouveau foyer à la partie supérieure de la taille. Des prises de gaz effectuées le 4 et le 9 mars dans le voisinage du pyromètre 2/1 (voir paragraphe c, ε) montrent en tout cas que cette zone était le siège d'une distillation, ou peut-être même d'une gazéification active, pendant les derniers jours de l'essai.

c) Composition du gaz.

α. Résultats généraux.

Le diagramme général de l'essai montre que le pouvoir calorifique du gaz produit est extrêmement variable. Il dépasse exceptionnellement 700 cal/m³, se maintient pendant quelques périodes favorables entre 500 et 700 cal/m³ et varie la plupart du temps entre 200 et 400 cal/m³. Des PCS supérieurs à 800 cal/m³ sont obtenus pendant les essais de soufflage discontinu, mais d'une manière intermittente seulement.

* * *

β. Influence des rentrées d'air.

Malgré les précautions prises, le puits n° III, servant à la sortie des gaz, n'est pas parfaitement étanche. Pour éviter la pollution de l'atmosphère des galeries d'accès et des travaux du charbonnage voisin, toute la partie du circuit située en aval du chantier (galerie à 154 mètres, montage, travers-bancs et puits de retour des gaz) est maintenue en dépression sous l'action du ventilateur aspirant placé à la sortie du puits n° III. Aussi des rentrées

d'air se produisent-elles dans cette partie du circuit, venant diluer le gaz recueilli.

Ce phénomène apparaît nettement au cours de plusieurs essais. Le 24 février par exemple, on arrête le ventilateur aspirant en maintenant à une valeur constante, par le réglage des ventilateurs

soufflants, le débit d'air à l'entrée de la mine (3.000 m³/h). La dépression dans le puits n° III est ainsi brusquement supprimée. La teneur du gaz en O₂ diminue aussitôt, comme le montre la comparaison des compositions moyennes du gaz avant et après la manœuvre (10 analyses) (Tableau XI).

Tableau XI.

	Débit m ³ /h	Pression sortie mm H ₂ O	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂
(1) Avant...	2.950	— 255	8,24	10,56	1,46	2,54	1,20	76,20
(2) Après...	2.950	— 10	12,20	5,20	2,52	5,88	1,98	74,42
(3) Mélange : 67 % gaz (2) + 33 % air			8,18	10,48	1,55	2,60	1,32	75,87

On voit que la composition du gaz (1), recueilli avant l'arrêt du ventilateur aspirant, correspond très sensiblement à celle d'un mélange, contenant 33 % d'air et 67 % du gaz (2) obtenu sans aspiration.

D'après ces chiffres, les rentrées d'air provoquées par le ventilateur aspirant représentent, le 24 février, un tiers environ du débit de gaz total ou la moitié du débit d'air envoyé dans la mine par les ventilateurs soufflants, soit 1.500 m³/h, pour une dépression de 255 mm d'eau.

Les rentrées d'air étant localisées au voisinage du puits de sortie et obéissant vraisemblablement à la loi des écoulements laminaires, on peut admettre qu'elles sont proportionnelles à la dépression observée à la sortie du puits. Les essais relatés ci-dessus conduisent à admettre une rentrée de 640 m³/h pour 100 mm de dépression. Il est facile, à partir de ce chiffre, de corriger les analyses de gaz.

En général, les rentrées d'air sont d'autant plus importantes en valeur relative, et les corrections d'autant plus élevées, que le débit d'air circulant dans le chantier est moins important, pour les raisons suivantes :

— D'une part, le débit, déterminé principalement par le réglage (de 0 à 3.000 mm H₂O) de la pression des ventilateurs soufflants, est pratiquement indépendant du réglage des ventilateurs aspirants (de 0 à — 250 mm H₂O).

— D'autre part, la dépression provoquée par le ventilateur aspirant est d'autant plus grande que le débit est plus faible; cela résulte de la forme de sa caractéristique.

On aperçoit nettement, sur le diagramme II par exemple, la relation entre le débit, la pression à la sortie et la teneur en O₂ du gaz.

* * *

γ. Bilan matière.

Le bilan matière, établi sur la base de 1 m³ normal de gaz sec sortant du chantier, s'exprime par l'équation :

$$\begin{aligned}
 & a \quad \text{Nm}^3 \text{ de comburant (air soufflé),} \\
 & + c \quad \text{kg de charbon,} \\
 & + h' \quad \text{Nm}^3 \text{ H}_2\text{O,} \\
 = & 1 \quad \text{Nm}^3 \text{ de gaz sec,} \\
 & + k \quad \text{kg de charbon brûlé,} \\
 & + h'' \quad \text{Nm}^3 \text{ H}_2\text{O,}
 \end{aligned}$$

dans laquelle :

h' représente l'eau introduite dans le courant gazeux, soit telle quelle sous forme d'eau, soit après réaction sur le charbon et formation de gaz à l'eau. Elle provient de l'humidité naturelle du gaz, de la vapeur d'eau injectée (dans les périodes d'injection de vapeur), des terrains (venues d'eau et humidité des terrains) et, enfin, de l'eau débitée par les pulvérisateurs;

h'' représente l'eau quittant le chantier, sous forme de vapeur entraînée par le gaz ou sous forme liquide (condensation, purges). Elle provient, soit de l'eau introduite telle quelle dans le courant gazeux, soit des réactions de combustion de l'hydrogène et du méthane;

c désigne la totalité du charbon ayant réagi, soit totalement, soit partiellement, la réaction pouvant aller de la distillation partielle, sans oxydation, à la gazéification totale ne laissant qu'un résidu stérile;

k est le résidu de charbon résultant des réactions partielles.

Nous supposons que le résidu de charbon, k, est constitué par du carbone et du stérile. Cette hypothèse n'est pas tout à fait exacte, car il est constitué en réalité par du charbon plus ou moins complètement distillé. La grandeur k, que nous calculerons en faisant cette hypothèse, représente le résidu que donnerait la distillation complète d'une quantité de charbon ayant perdu la même quantité de matières volatiles que le résidu réel. Ce n'est donc qu'une grandeur équivalente qui n'a pas de signification physique réelle.

Ecrivant la conservation des quatre éléments : O, H, N et C, il est possible de calculer les grandeurs a, c, k et $h = h' - h''$.

Il n'est pas possible de calculer séparément h' et h'', c'est-à-dire de déterminer l'importance de la décomposition de l'eau d'une part et de la combustion de l'hydrogène d'autre part; seule la résultante de ces deux phénomènes nous est connue : h est positif, si la formation de gaz à l'eau l'emporte sur la combustion des matières volatiles, et négatif dans le cas contraire.

On peut encore définir la quantité de charbon complètement gazéifié, soit g : la différence $c - g$ représente le charbon distillé, non gazéifié.

Avec les hypothèses admises ci-dessus, on a :

$$(c - g) + C_r = k$$

Tableau XII.

N°	Analyse	Moyenne calculée du au		Débit air m ³ /h	Pression		Composition du gaz						Pouv. calor.		Bilan par Nm ³ de gaz							N°				
					Entrée	Sortie	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂	Sup.	Inf.	Air	H ₂ O	Charbon	Imbrûlés	Ch. dist.	Ch. gaz.	Rap.					
																							mm H ₂ O		%	
1	brute corr.	12/2	7 h	12/2	20 h	10.100	2.100	—	115	11.42	4.20	4.23	4.22	3.10	72.83	553	501	0,918	—	0,044	0,332	0,205	0,234	0,098	3,40	1
										12.18	3,09	4,51	4,50	3,31	72,41	589	534	0,913	—	0,047	0,334	0,219	0,250	0,104		
2	brute corr.	15/2	12 h	15/2	21 h	10.500	2.200	—	70	12,06	3,56	4,12	2,56	1,52	75,28	347	320	0,950	—	0,031	0,204	0,088	0,100	0,104	1,96	2
										15,50	2,80	4,30	2,67	1,59	75,14	363	335	0,949	—	0,033	0,213	0,092	0,105	0,108		
3	brute corr.	20/2	4 h	20/2	17 h	11.120	2.100	—	80	13,31	1,88	4,64	3,28	2,11	72,78	503	456	0,917	—	0,048	0,318	0,186	0,212	0,106	3,00	3
										13,87	1,08	4,83	3,49	2,20	72,53	523	475	0,914	—	0,050	0,332	0,194	0,221	0,111		
4	brute corr.	20/2	18 h	21/2	1 h	9.500	2.200	—	120	12,01	2,46	3,14	6,04	3,51	71,04	641	573	0,894	—	0,064	0,456	0,315	0,359	0,097	4,70	4
										13,79	1,19	3,36	7,40	3,75	70,51	684	611	0,887	—	0,069	0,487	0,333	0,383	0,104		
5	brute corr.	21/2	2 h	21/2	6 h	2.700	150	—	216	10,08	6,36	1,64	7,44	3,96	70,32	654	579	0,885	—	0,039	0,430	0,312	0,356	0,074	5,82	5
										14,42	0,36	2,33	10,62	3,67	66,58	936	829	0,833	—	0,036	0,613	0,445	0,509	0,106		
6	brute corr.	21/2	7 h	21/2	22 h	2.500	100	—	224	9,73	8,39	0,48	3,89	3,05	74,46	424	375	0,939	—	0,039	0,310	0,214	0,244	0,066	4,75	6
										14,83	1,83	0,73	3,92	4,63	72,02	616	372	0,907	—	0,039	0,470	0,324	0,370	0,100		
7	brute	24/2	10 h	25/2	15 h	2.370			0	11,95	3,63	2,39	3,98	2,17	73,88	400	360	0,933	—	0,026	0,243	0,136	0,155	0,088	2,76	7
8	brute	7/3	0 h	8/3	13 h	11.800	3.000	—	40	14,15	1,93	3,73	3,23	2,76	72,20	533	481	0,910	—	0,036	0,320	0,184	0,210	0,110	2,90	8
9	brute	8/3	14 h	9/3	8 h	10.500	2.800		0	15,04	1,36	2,09	3,67	2,87	74,77	449	402	0,943	—	0,037	0,338	0,204	0,232	0,106	3,19	9
10	brute	9/3	9 h	9/3	22 h	10.250	3.000		0	14,72	1,09	3,53	3,02	1,83	71,77	498	453	0,906	—	0,018	0,233	0,098	0,112	0,123	1,91	10

où C_f désigne la teneur en carbone fixe du charbon, d'où :

$$g = c - \frac{k}{C_f}$$

* * *

8. Analyse détaillée des différentes phases de l'essai.

Pendant la première semaine de l'essai (du 5 au 11 février), on ne réalise guère qu'une combustion incomplète : le feu ne s'est pas encore suffisamment développé pour épuiser l'oxygène du comburant. On trouve de 8 à 10 % d'O₂ dans le gaz sortant, et parfois plus encore. Pendant cette période, le débit varie entre 5.000 et 12.000 m³/h.

Ce n'est que le 12 février que commence la production de gaz. Les essais effectués entre le 12 février et le 12 mars seront repris ci-dessous, non pas dans l'ordre chronologique, mais d'après les régimes de marche réalisés.

Pour chacune des périodes considérées comme les plus caractéristiques, on a établi un diagramme représentant le débit d'air soufflé Q_a , la pression à l'entrée P_a et la pression à la sortie P_s , la composition du gaz, résultant des analyses à l'appareil d'Orsat, et le pouvoir calorifique supérieur du gaz, déduit de la composition précédente.

Le tableau XII donne, pour chacune de ces périodes caractéristiques, la valeur moyenne des grandeurs suivantes :

grandeurs mesurées : pression et débit de l'air, pression, composition et PCS du gaz;

grandeurs calculées (définies au paragraphe précédent) : a, h, c, k, g, c/g.

Le calcul a été effectué, soit sur la composition du gaz brut, soit sur la composition corrigée pour tenir compte des rentrées d'air, comme il est indiqué au paragraphe β .

— Débits élevés.

Période du 12 février (diagramme I hors texte).

L'examen du diagramme I et du tableau XII conduit aux remarques suivantes :

- 1) L'apparition du gaz combustible ne suit pas immédiatement l'augmentation du débit (décalage de 15 heures).
- 2) La qualité du gaz s'améliore très rapidement, puis diminue lentement. La réduction du débit accentue cette décroissance, mais celle-ci était déjà franchement amorcée avant la manœuvre.
- 3) Le rétablissement d'un débit élevé (le 25 à 8 heures) est suivi d'une nouvelle élévation du pouvoir calorifique, mais beaucoup plus faible que la première. Une nouvelle phase à grand débit, le 14 (10.000 m³/h pendant 10 heures), conduit à un pouvoir calorifique très médiocre.
- 4) La part de la distillation, très importante lors de l'apparition du gaz combustible, va en diminuant. Elle est beaucoup moins importante au cours de la deuxième phase à fort débit qu'au cours de la première; elle reste toutefois relativement élevée.

5) La teneur en oxyde de carbone est plus sensible aux variations de débit que la teneur en hydrogène et en méthane.

6) h est toujours négatif. Les réactions du gaz à l'eau, si elles existent, sont masquées entièrement par la combustion des matières volatiles.

7) La teneur en oxygène reste non négligeable, même pendant la période à débit élevé et compte tenu des corrections dues aux rentrées d'air.

Ces observations peuvent s'interpréter comme suit : l'accroissement du débit provoque une extension rapide du feu (le pyromètre 2/5, placé à la base de la taille, subit une élévation rapide), une masse importante de charbon vierge se trouve échauffée et distille, d'où un dégagement important de matières volatiles dont une partie d'ailleurs brûle. Il est possible, en outre, que des éboulements provoqués par la fissuration du charbon soient également à l'origine des matières volatiles dégagées. Par la suite, le chantier tend vers un état stationnaire dans lequel la quantité de charbon distillé est peu supérieure à celle du charbon gazéifié.

* * *

Période du 20 février (diagramme II hors texte).

Cette période succède à une marche à débit réduit pendant 48 heures. Ses caractéristiques sont les suivantes :

- 1) A l'accroissement du débit succède immédiatement une réduction de la teneur en oxygène et une augmentation de la teneur en CO₂ du gaz. Par contre, l'élévation du pouvoir calorifique n'est sensible qu'au bout de 6 heures. Elle est assez rapide.
- 2) Le pouvoir calorifique se maintient à un niveau relativement élevé aussi longtemps que le débit reste important, mais on ne peut affirmer qu'il serait resté égal à cette valeur si le débit avait été maintenu plus longtemps.
- 3) Pendant la période à débit élevé, le gaz est caractérisé par une teneur en oxygène très faible (1 %) et une teneur en oxyde de carbone voisine de celle de l'hydrogène. Les réactions de gaz à l'air commencent certainement à se développer.
- 4) La réduction brusque du débit est marquée par une pointe de gaz plus riche, correspondant à une distillation importante, et suivie d'une décroissance lente du pouvoir calorifique. La teneur en oxyde de carbone décroît très rapidement et la teneur en hydrogène, beaucoup plus lentement. Autrement dit, dès que le débit diminue, les réactions de gaz à l'air s'atténuent considérablement, alors que la distillation se poursuit plus longtemps.

* * *

Période du 4 mars.

Après 11 jours de marche à débit réduit (2.500 m³/h), on reprend le soufflage sous un débit de 14.500 m³/h (le 5 mars, 10 heures). Comme pendant les autres essais de soufflage, on observe immédiatement la disparition des gaz de distillation, dégagés sous faible débit, et celle de l'oxygène. La cause des rentrées d'air ayant été découverte, on peut

même ramener la teneur en oxygène en dessous de 1 %.

Il faut cependant attendre 30 heures avant de voir monter le pouvoir calorifique du gaz selon le processus habituel, le 4 mars, à 17 heures.

La longue durée de cette période de chauffage est sans doute nécessitée par la stagnation prolongée du chantier pendant les deux semaines précédentes.

A 25 heures, le PCS dépasse 400 cal/m³. La phase

initiale de la production de gaz semble donc bien se répéter toujours de la même manière. Il n'est cependant pas possible de tirer d'autres conclusions, le régime ayant été modifié avant qu'un état stationnaire ne s'établisse, pour exécuter les essais de soufflage discontinu prévus au programme.

Le tableau XIII donne les compositions de gaz relevées avant l'augmentation du débit, pendant la période de préchauffage et au moment de l'élaboration du gaz.

Tableau XIII.

Date	Heure	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂	PCS	PCI
3 mars	10 h	11,4	8,2	1,6	1,6	1,4	75,8	220	208
»	22 h	17,2	2,2	0,2	0,4	0,4	79,6	56	50
4 mars	11 h	16,0	3,0	0	0	1,0	80,0	95	85
»	16 h	16,0	2,0	0	0	1,0	81,0	95	85
»	17 h	16,6	1,4	2,6	2,0	0,8	76,6	216	198
»	18 h	16,4	0,6	3,6	2,6	1,2	75,6	303	279
»	19 h	14,6	0,6	5,4	4,4	1,2	73,8	412	379
»	20 h	14,6	0,6	5,8	4,6	1,4	73,0	450	412
»	21 h	14,4	0,9	6,0	3,6	1,0	74,1	387	360
»	25 h	12,6	3,0	5,0	4,2	1,8	73,4	443	413
» *	25 h 55	13,2	1,0	7,2	7,8	3,0	67,8	737	703

* Après 10 minutes d'arrêt.

* * *

7, 8, 9 mars (Diagramme III hors texte).

Cet essai, effectué entre deux séries d'essais de soufflage discontinu, a permis une marche en régime stable de trois jours, sous un débit de 10.000 à 13.000 m³/h, avec production continue d'un gaz à 500 calories environ (analyses 8, 9 10, tableau XII). La dépression à la sortie de la mine ayant été continuellement maintenue à une faible valeur, les rentrées d'air n'ont eu que peu d'influence sur la composition du gaz.

On ne remarque pas, sur le diagramme de cet essai, la période de mise en train habituelle; le chantier est resté chaud depuis le 4 mars (essais de soufflage discontinu) et, dès l'établissement du débit de 13.000 m³/h, le PCS s'élève à 550 cal/m³.

En outre, la composition du gaz ne varie pas sensiblement pendant toute cette période. Il semble donc que l'on ait atteint cette fois un régime stable. La proportion de charbon distillé, non brûlé, reste toutefois importante.

— Faibles débits.

Il est difficile de dégager des conclusions nettes des périodes à faible débit. Elles correspondent bien

souvent à un fonctionnement anormal du chantier ou à des débits très variables. La composition du gaz est souvent faussée par d'importantes rentrées d'air.

En règle générale, chaque fois qu'un régime à faible débit succède à un régime à fort débit de durée suffisante, on obtient un gaz enrichi par les produits de distillation du charbon échauffé lors de la période précédente. Ce résultat a été signalé dans la discussion des essais à fort débit. Cette amélioration n'est évidemment que passagère, comme la cause qui l'a produite.

La période qui donne l'idée la plus nette d'un régime à faible débit est celle du 24 au 27 février. Le ventilateur aspirant ayant été arrêté pendant ce temps, le gaz obtenu est peu dilué par les rentrées d'air, et accuse pendant trois jours une composition relativement stable, à laquelle correspond un PCS de 400 cal/m³ environ (débit : 2.500 m³/h) (analyse 7 du tableau XII).

Si l'on considère l'ensemble de la période du 22 février au 3 mars (diagramme général) en tenant compte de l'influence des rentrées d'air, on voit que le pouvoir calorifique supérieur du gaz, voisin de 600 cal/m³ le 21 février (analyse corrigée), vaut à

Tableau XIV.

Jours	Heures	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂	PCS	PCI
21/2	7 h-22 h	14,42	1,85	0,75	5,92	4,65	72,02	646	572
24/2	15 h	12,6	3,2	2,2	4,2	2,0	73,8	385	345
25/2	15 h	11,8	6,0	2,8	3,6	2,6	73,2	443	400
27/2	15 h	11,4	6,6	2,0	3,0	2,4	74,6	381	342
28/2	14 h	10,2	8,6	1,8	2,6	1,8	75,0	305	275
29/2	17 h	10,2	8,2	1,8	2,8	1,4	75,6	273	246
3/3	7 h	11,4	8,2	1,6	1,6	1,4	75,8	251	209

peu près 400 cal/m³ le 24 février, 500 cal/m³ le 28, et tombe enfin de 500 à 200 cal/m³ entre le 29 février et le 5 mars. Les analyses reprises au tableau XIV correspondent à des moments où les rentrées d'air sont négligeables. On constate donc une détérioration progressive, à mesure que la chaleur emmagasinée dans le chantier s'épuise. La teneur en O₂, par contre, ne cesse d'augmenter.

— **Soufflage discontinu** (Diagrammes-moyens hors texte).

Plusieurs essais de soufflage pulsatoire ont lieu entre le 6 et le 11 mars. Les ventilateurs sont alternativement mis en marche et à l'arrêt, à des intervalles de temps variant de 20 minutes à une heure. Le rapport des temps de marche aux temps d'arrêt varie de 1/2 à 2/1.

L'interprétation précise des résultats obtenus est assez difficile. La composition du gaz varie évidemment suivant la même cadence que les débits : la synchronisation exacte des phénomènes est cependant assez délicate à établir, à cause de l'inertie du chantier et des appareils de mesure, d'une part, et du manque de repères précis sur les enregistrements, d'autre part.

Les diagrammes-moyens présentés ici (hors texte) sont établis à partir des moyennes des analyses Orsat pour les différentes phases de chaque régime de fonctionnement (Tableau XV). Les courbes reliant les points ainsi obtenus sont tracées d'après les enregistrements des débitmètres et des Monos.

De ces diagrammes-moyens, il résulte que les valeurs maxima du PCS ont été, dans chaque cas,

notées 40 à 50 minutes environ après l'interruption du soufflage.

Le gaz relativement riche recueilli semble bien résulter, en majeure partie tout au moins, de la distillation du charbon et de la réaction du gaz à l'eau pendant les périodes d'arrêt. Par suite de la longueur et de la section relativement large des galeries de retour, ce gaz, sous l'action du tirage naturel, met un certain temps pour arriver à la surface. Si la période d'arrêt est trop courte, l'air envoyé dans la mine au cycle suivant chasse devant lui les gaz accumulés dans le chantier et les galeries de retour : l'arrivée du gaz en surface est ainsi accélérée, mais ce gaz est plus ou moins mélangé à du gaz plus pauvre; c'est pour cette raison que les pointes des diagrammes sont beaucoup plus marquées dans le cas des périodes d'arrêt prolongées (60') que dans le cas de périodes d'arrêt plus courtes.

La quantité de gaz « riche » recueillie lors d'un arrêt dépend de la durée de la période de soufflage qui a précédé cet arrêt; le gaz le plus riche (1.000 cal/m³) correspond au premier arrêt de la série, succédant à une période prolongée de soufflage continu.

Si l'on tient compte du fait que le gaz relativement riche n'est produit qu'en très faible quantité (débit minime et pendant un temps assez court) et que le gaz pauvre obtenu pendant la plus grande partie du cycle est moins bon que celui que l'on produit en régime continu, l'ensemble du gaz produit par soufflage discontinu n'est pas meilleur que celui qu'on obtiendrait en faisant passer dans le chantier le même débit moyen en régime continu.

* * *

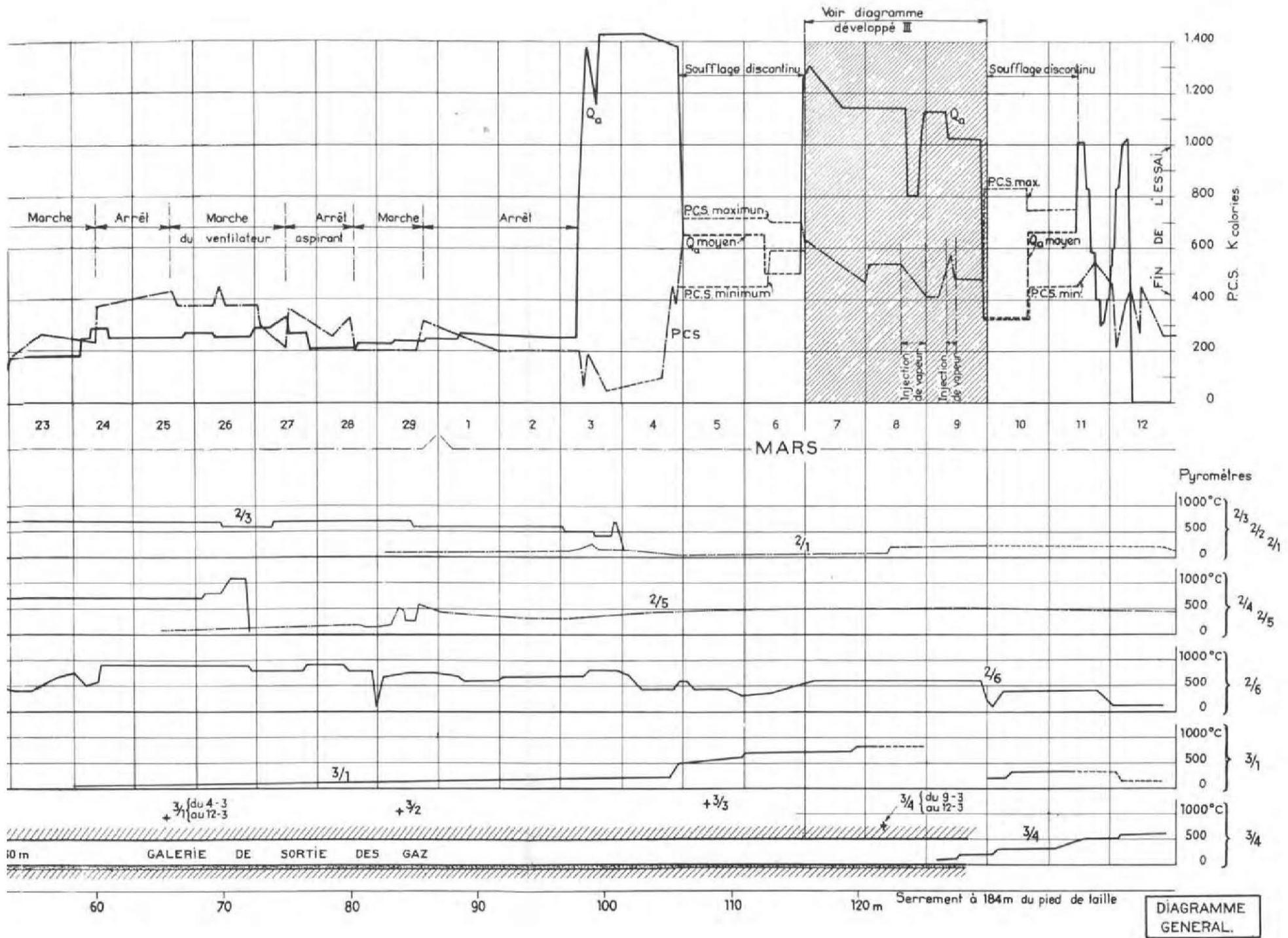
Tableau XV.

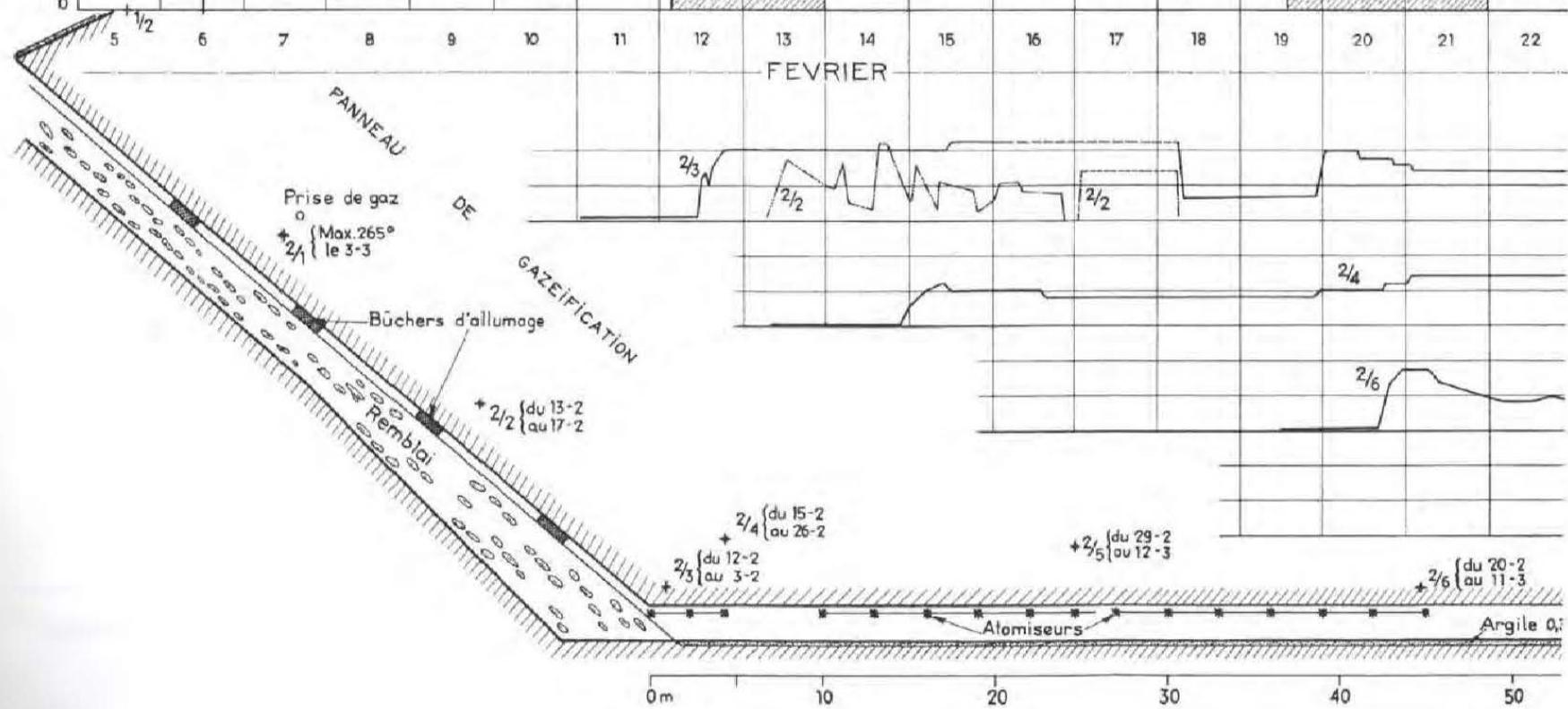
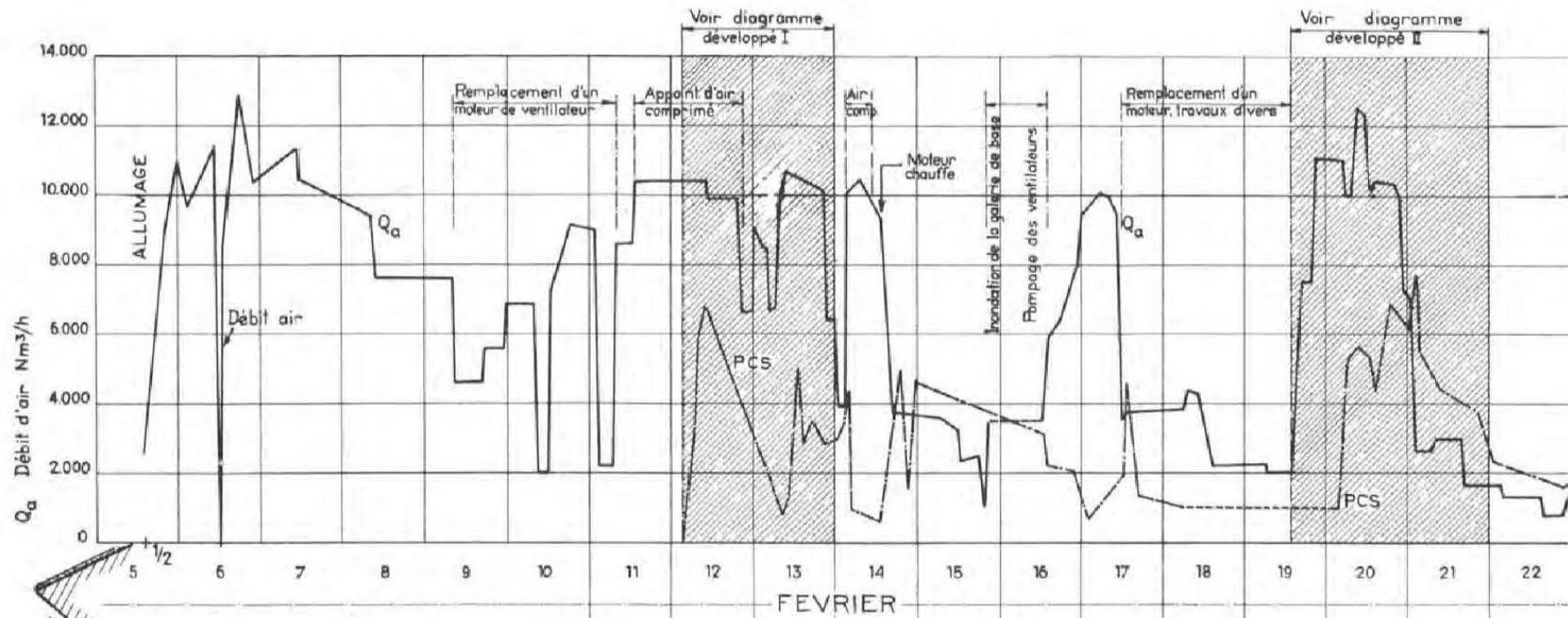
(Temps comptés en minutes à partir du milieu de la période d'arrêt.)

Du 5 mars à 15 heures au 6 mars à 8 h 15. Régime : 30' marche-30' arrêt.											
Temps	Débit air	Débit gaz	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂	PCS	PCI	
0	0	3.000	14,7	1,4	3,1	3,8	5,2	75,8	516	466	
15	0	2.800	15,1	1,3	2,1	4,1	2,7	74,7	446	399	
30	13.000	10.000	13,9	2,3	6,4	8,0	2,9	66,5	714	646	
45	13.000	10.000	14,3	2,1	4,4	8,2	3,4	67,6	708	635	

Du 6 mars à 8 h 40 au 6 mars à 20 h 40. Régime : 20' marche-40' arrêt.											
Temps	Débit air	Débit gaz	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂	PCS	PCI	
10	0	3.280	14,7	1,4	5,1	6,3	2,9	69,6	623	564	
30	13.000	11.800	14,8	1,7	3,8	7,5	3,4	69,0	662	594	
50	0	3.400	14,6	1,7	3,5	7,1	4,0	69,3	698	625	

Du 10 mars à 0 heure au 10 mars à 15 heures. Régime : 30' marche-60' arrêt.											
Temps	Débit air	Débit gaz	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂	PCS	PCI	
20	0	1.000	18,3	3,5	8,6	11,1	2,3	56,0	838	759	
50	10.000	7.000	13,9	1,7	2,2	5,1	1,7	77,4	323	291	
80	0	1.000	14,3	2,1	3,8	3,3	1,5	74,8	365	333	





Du 10 mars à 23 heures au 11 mars à 11 heures. Régime : 60' marche-30' arrêt.

Temps	Débit air	Débit gaz	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂	PCS	PCI
10	0	2.500	14,8	1,2	8,6	8,0	2,5	64,9	745	678
40	10.000	5.600	14,8	0,7	5,3	4,3	1,7	75,2	453	435
70	10.000	6.600	14,7	0,8	5,5	4,5	1,7	75,0	459	421

— Gaz à l'eau.

Le 8 mars, à 14 heures, on tente une injection de vapeur, dans le but de produire du gaz à l'eau. Avant cette manœuvre, un débit de 11.000 m³/h traversait le chantier d'une façon continue, depuis 40 heures, produisant un gaz à 500 cal/m³ environ (voir forts débits, période du 7 au 9 mars).

De 14 heures à 22 h 30, la vapeur est envoyée dans le chantier par la conduite en éternit prévue à cet effet, à raison de 1.600 kg/h (2.000 Nm³) pour 8.000 m³/h d'air, soit 200 g par Nm³ d'air (ou 20 % du volume total).

Aucun changement net de la composition du gaz n'est observé (diagramme III). On constatera plus tard (visite du chantier le 15 juin) que la tuyauterie en éternit était brisée à une centaine de mètres de la tête de taille; il est donc fort possible que la vapeur injectée par cette conduite ne soit pas parvenue au chantier. Une bonne partie de la vapeur peut s'être condensée dans la conduite elle-même.

On essaye ensuite d'injecter la vapeur (2 à 3 t par heure) à l'ouïe des ventilateurs.

Les chances de condensation sont ici moins grandes, la vapeur étant immédiatement diluée dans une grande quantité d'air.

La première tentative, le 8 mars, de 22 h 30 à 24 heures, est trop courte pour donner un résultat. Une seconde injection, le 9 mars, de 8 h 30 à 12 h 30, a peut-être formé un peu de gaz à l'eau et contribué à améliorer le gaz (voir diagramme III), expliquant ainsi le relèvement de -0,057 à -0,018 du paramètre h (voir tableau XII analyse 10), mais ceci n'est guère certain : l'augmentation de la teneur en hydrogène du gaz a commencé trop tôt pour n'être due qu'à l'injection de vapeur.

Un échantillon de gaz, prélevé par un trou de sonde le 9 mars à 12 heures, près du pyromètre 2/1, donne un pouvoir calorifique de 1.350 cal/m³; sa composition semble aussi indiquer la formation de gaz à l'eau à la partie supérieure de la taille (voir parag. ε).

* * *

Plus tard, pendant la période d'extinction, on tente d'étouffer le feu par un envoi massif de vapeur, sans air (du 15 mars, à 17 heures, au 16 mars, à 8 h 45). On peut alors constater nettement la formation de gaz à l'eau, en débit très faible il est vrai (tous les ventilateurs sont arrêtés). Le pouvoir calorifique du gaz produit est faible, la mine s'étant déjà refroidie pendant plusieurs jours (Tableau XVI).

Tableau XVI.

Jours	Heures	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂	PCS	PCI
15 mars	16 h	6,8	13,8	0,6	0,8	0,6	77,4	99	89
»	19 h	10,2	13,2	0,4	3,4	0,6	72,2	175	150
»	24 h	11,6	13,4	0,6	5,2	1,2	68,0	291	253
16 mars	8 h	11,4	13,2	1,0	6,0	1,0	67,4	309	270

Les analyses faites pendant l'injection de vapeur contiennent plus d'oxygène total (CO₂ + O₂ + ½ CO) que ne peuvent en avoir introduit la décomposition de la vapeur et l'entrée d'air, mesurées par l'hydrogène et l'azote présents :

$$\left(\frac{1}{2} \text{H}_2 + \frac{21}{79} \text{N}_2 \right).$$

Le même phénomène a été constaté lors d'essais à la vapeur faits dans d'autres chantiers (par exemple à Gorgas).

Nous n'en avons pas trouvé d'explication satisfaisante.

— Recyclage.

On tente enfin, le 12 mars, de renvoyer à l'entrée du chantier le gaz riche en CO₂ obtenu à la sortie (6.500 m³/h), de façon à réduire le CO₂ en oxyde de carbone et à enrichir le gaz.

À cet effet, on raccorde l'aspiration des ventilateurs soufflants (entrée) sur le refoulement du ventilateur aspirant (sortie). Une rentrée d'air est prévue, pour maintenir un certain pourcentage d'O₂ dans le gaz (10 %).

Ce régime, pour lequel l'équipement existant est insuffisamment adapté, ne peut être maintenu plus de deux heures. Des explosions, ou tout au moins des surpressions brusques, se produisent dans les conduites par suite du mélange d'air entrant et de l'hydrogène du gaz. D'autre part, tout le chantier se trouvant en pression, des fuites de CO se produisent, obligeant à interrompre l'essai après deux heures.

Cette expérience est de trop courte durée et les conditions de marche trop instables pour pouvoir tirer des conclusions quelconques. On obtient à certains moments du gaz à 400 calories, contenant de 4 à 5 % de CO et d'H₂, mais il n'est guère pos-

sible de déterminer si le CO₂ recyclé a réellement été réduit.

* * *

e. Evolution du gaz le long du trajet souterrain.

Un trou de sonde, creusé à partir de la galerie de contrôle vers la partie supérieure de la taille, permet de prélever à différentes reprises des échantillons de gaz en un point proche du pyromètre 2/1.

Ce gaz est nettement plus riche que celui qui parvient au même moment à la sortie du chantier (Tableau XVII). Il est cependant difficile de décider si cette différence provient de la recombustion ou de la rétrogradation du gaz dans la partie inférieure du chantier et les galeries de retour, ou bien du mélange, à l'échantillon provenant du trou de sonde, de gaz de distillation formés près du point de la prise.

Tableau XVII.

Prises au fond		CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂	PCS	PCS surface
4 mars	10 h 50	10,2	1,8	12,6	5,4	2,0	68,0	755	≅ 0
»	15 h 00	10,0	1,6	12,0	6,0	2,8	67,6	812	95
»	21 h 00	10,2	2,4	11,2	5,2	1,8	69,2	680	450
9 mars	12 h 00	6,5	0,1	20,0	11,9	5,7	58,0	1.350	500

La dernière analyse de ce tableau, celle du 9 mars, est celle d'un échantillon prélevé au moment de l'injection de vapeur (dans l'ouïe des ventilateurs). Il est peu vraisemblable qu'elle représente l'ensemble du courant gazeux passant dans la partie supérieure de la taille. Cependant, si l'on applique le calcul du bilan à cette composition, on obtient :

$$\begin{aligned} a &= 0,750 \\ h &= + 0,027 \end{aligned}$$

$$0,707 (6,5 \text{ CO}_2 + 0,1 \text{ O}_2 + 20,0 \text{ CO} + 11,9 \text{ H}_2 + 5,7 \text{ CH}_4 + 58,0 \text{ N}_2) + 0,404 (21 \text{ O}_2 + 79 \text{ N}_2) = 0,0485 \text{ H}_2\text{O} + (14,0 \text{ CO}_2 + 1,0 \text{ O}_2 + 5,5 \text{ CO} + 5,0 \text{ H}_2 + 1,9 \text{ CH}_4 + 72,8 \text{ N}_2)$$

Le gaz qui se trouvait à 12 heures en tête de taille est vraisemblablement parvenu à la surface entre 12 heures et 15 heures. La composition calculée ci-dessus vient se placer exactement entre les

$$\begin{aligned} c &= 0,371 \\ g &= 0,165 \\ c/g &= 2,25 \end{aligned}$$

On aurait, si l'échantillon est représentatif, réellement formé du gaz à l'eau en tête de taille.

En supposant que ce gaz n'a subi qu'une recombustion partielle dans le bas du chantier, on peut expliquer la composition finale du mélange sortant de la mine par l'équation :

analyses des prises de surface de 12 heures et 14 h (l'analyse de 15 heures n'a pas été effectuée) (Tableau XVIII).

Tableau XVIII.

9 mars	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂
12 heures	15,2	0,4	5,8	5,0	1,5	72,5
14 heures	14,5	1,6	4,5	5,5	2,5	72,0

D'après ces chiffres, une zone de réaction se serait formée vers la fin de l'essai, au tiers supérieur de la taille (position de la prise), et le gaz formé en ce point parcourrait le reste du chantier sans subir autre chose qu'une combustion partielle. Il n'est donc pas nécessaire d'invoquer une rétrogradation ($2 \text{ CO} = \text{CO}_2 + \text{C}$) pour justifier les analyses obtenues.

Il serait cependant imprudent de tirer des conclusions importantes d'une prise de gaz isolée, qui peut ne pas signifier grand chose dans un ensemble aussi hétérogène qu'un panneau de gazéification.

D'une part, les prises d'échantillons effectuées sont trop peu nombreuses pour pouvoir affirmer que du gaz était élaboré d'une façon continue à la partie supérieure de la taille.

D'autre part, on ignore où aboutissait exactement le tuyau de prise au moment du prélèvement. Rien ne permet d'affirmer qu'il débouchait dans le

courant gazeux principal. Le point de prélèvement peut n'être relié au front de feu que par des fissures dans le charbon, dans lesquelles l'aspiration de l'échantillon développe un système de gazéification en miniature, avec production passagère d'un gaz relativement riche. La prise peut même déboucher en pleine zone de distillation. Dans ce cas, le mélange recueilli peut être absolument sans rapport avec la composition du courant principal.

* * *

ζ. Rôle de la distillation.

De l'ensemble des analyses et du calcul des bilans, il résulte que la distillation a joué un rôle important dans la formation du gaz recueilli. Ceci ressort de la forte valeur du rapport c/g du charbon total, gazéifié ou seulement distillé, au charbon réellement gazéifié.

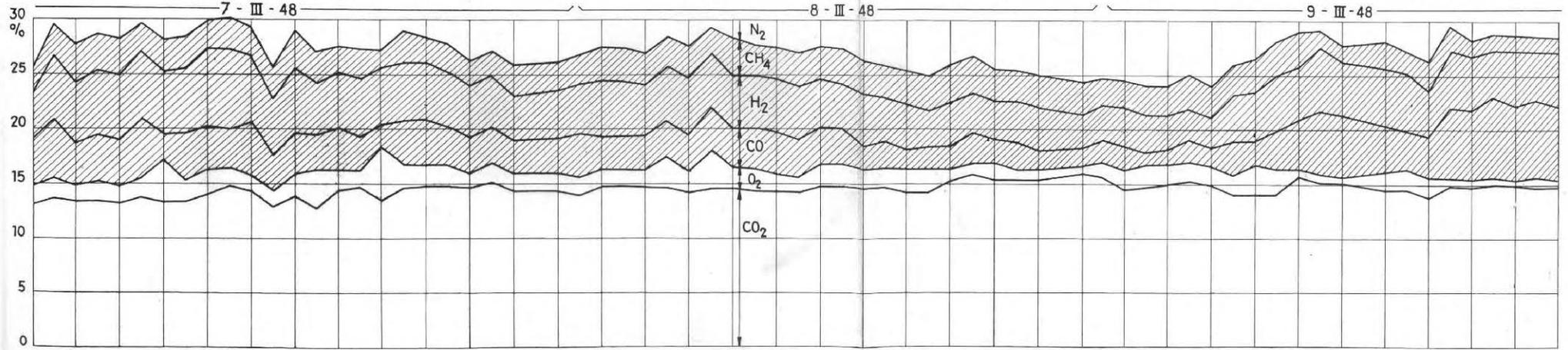
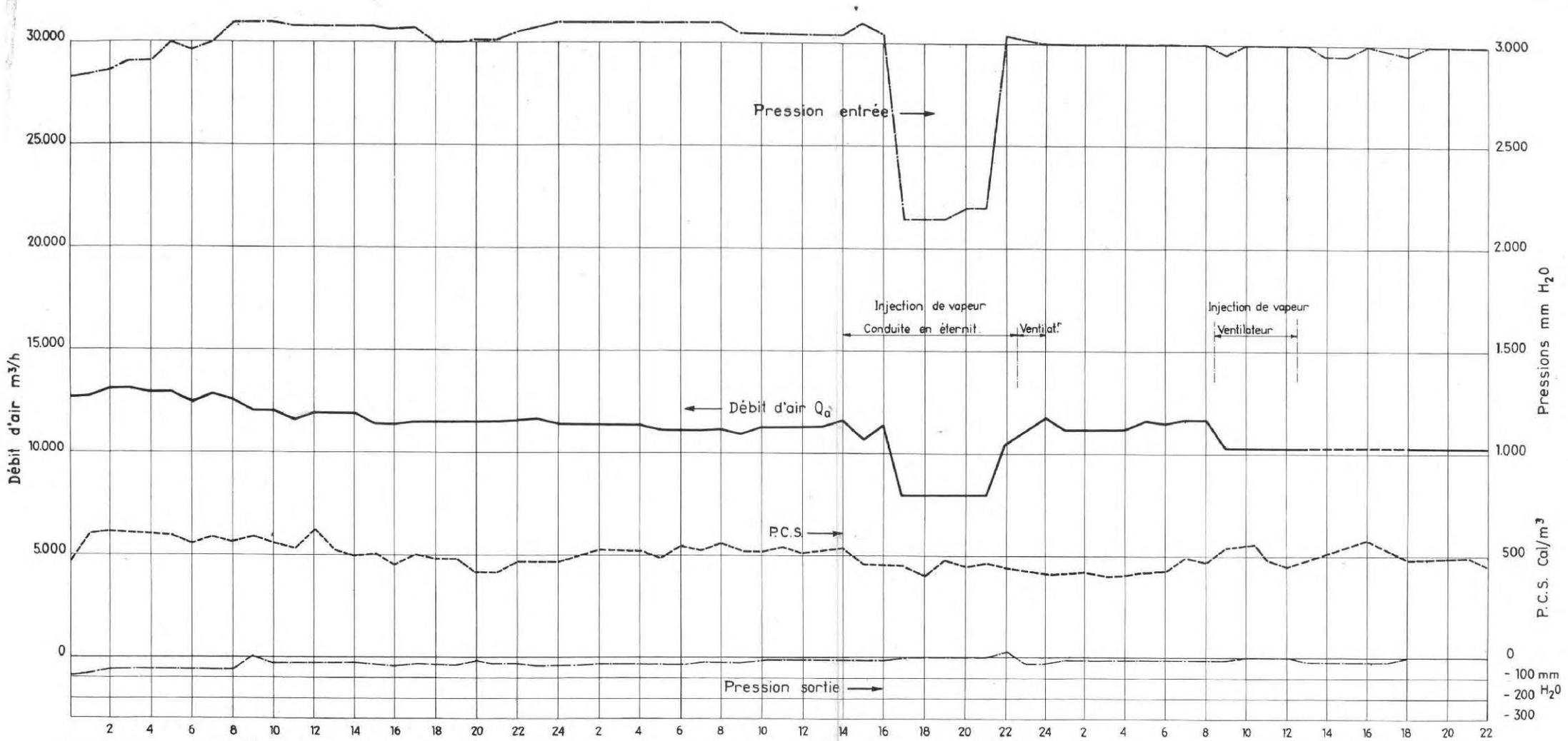


DIAGRAMME III

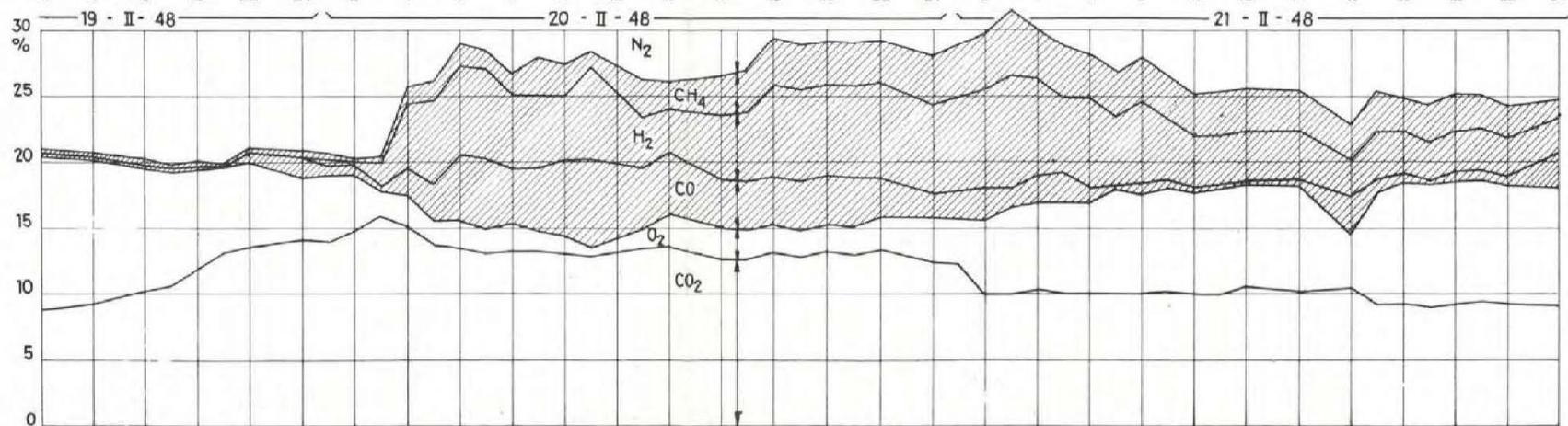
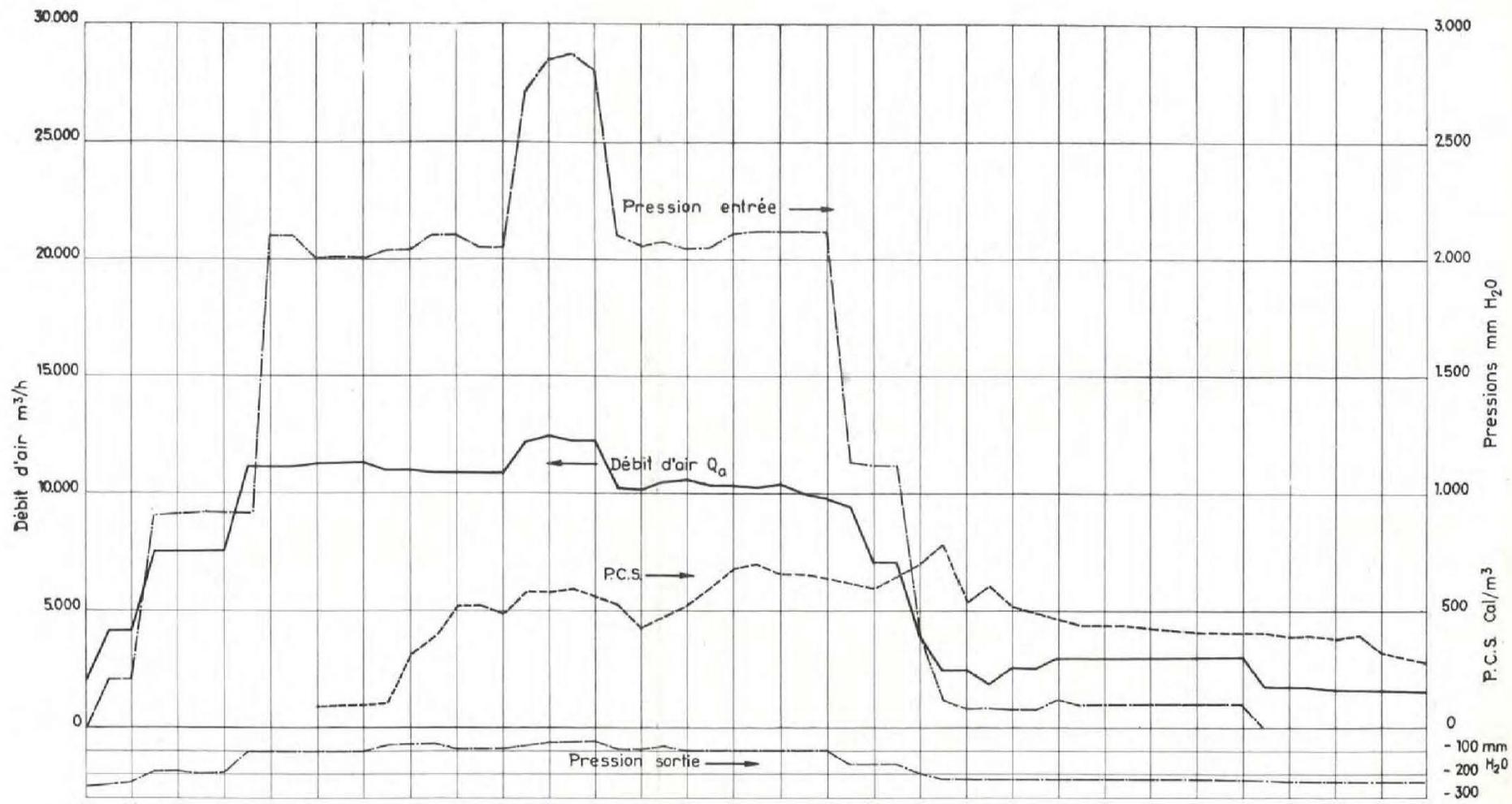


DIAGRAMME II

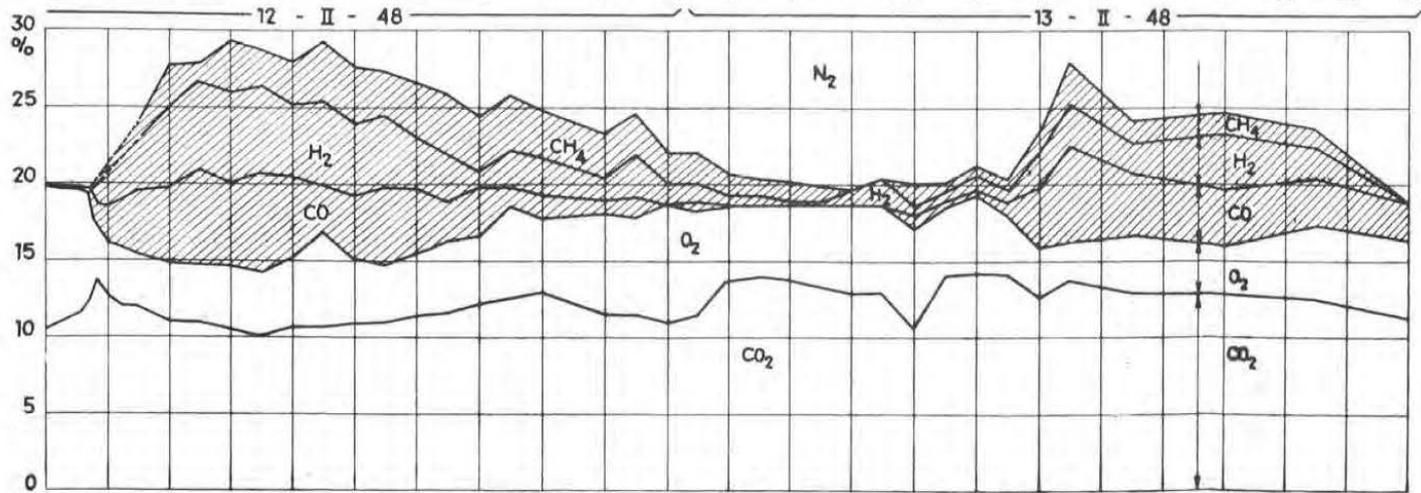
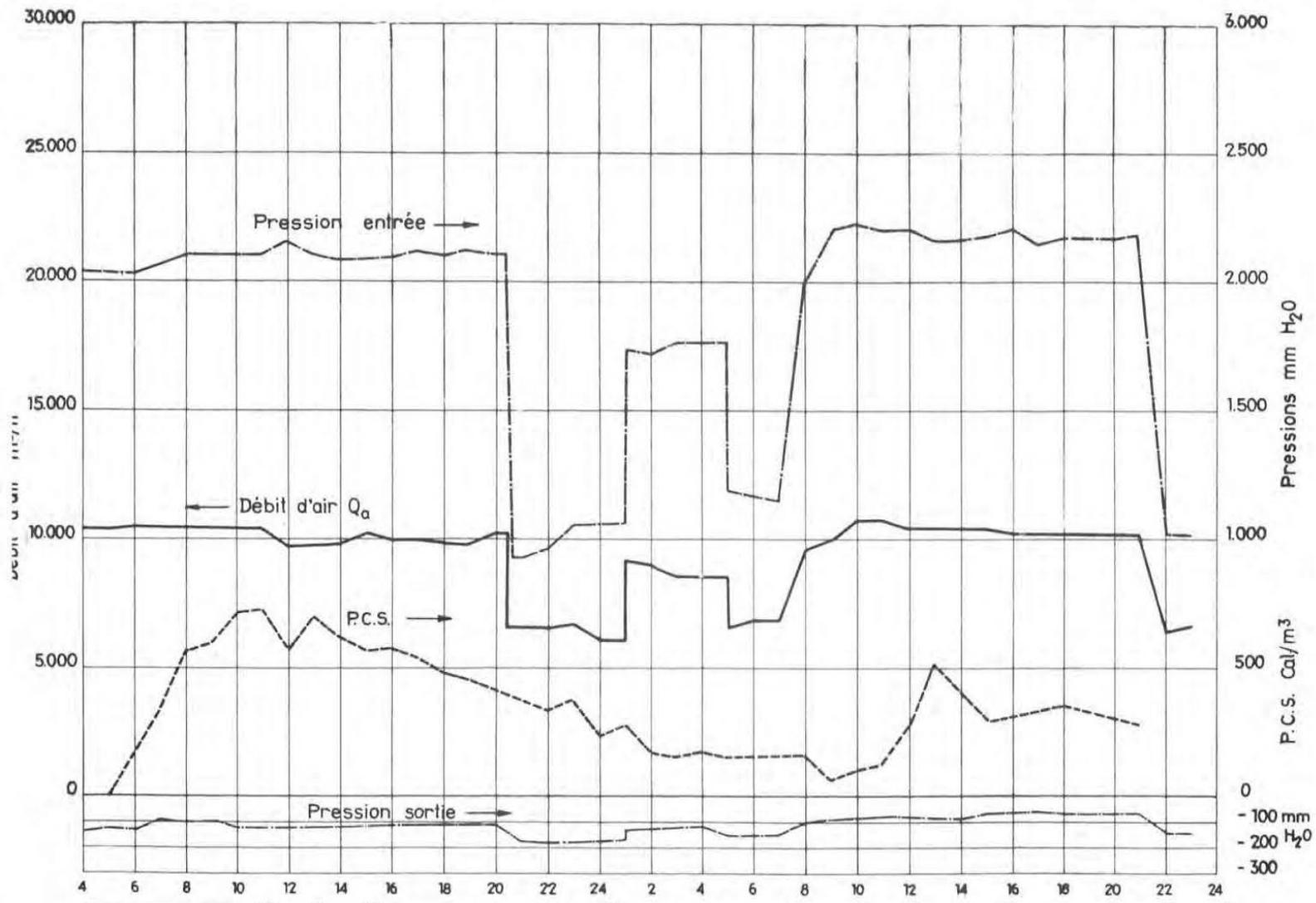


DIAGRAMME I

On peut admettre que la zone de feu est entourée d'une zone de charbon en distillation. Si la zone de feu se déplace uniquement transversalement, dans le sens de la progression normale du front, la zone de distillation se déplace solidairement et, en régime, la quantité de charbon distillé doit être égale à la quantité de charbon gazéifié : $k = 0, g = c$.

Si, par contre, la zone de feu se déplace longitudinalement avec une vitesse constante, c/g tend vers une valeur constante supérieure à 1; le régime correspondant n'est permanent qu'à une translation longitudinale près. Sa durée est limitée par la longueur de taille à parcourir.

On pourrait faire parcourir le front à plusieurs reprises par la zone de feu, soit par des réallumages successifs, soit par des inversions du courant.

Le régime périodique ainsi obtenu serait équivalent, en moyenne, à un régime permanent.

Pendant l'essai du chantier I de Bois-la-Dame cependant, on n'a parcouru qu'une fois le front de charbon frais. On n'a en fait assisté qu'à la première phase d'une mise en régime et il n'est guère étonnant de trouver un grand excès de charbon distillé.

Les périodes au cours desquelles le pouvoir calorifique a dépassé 500 calories correspondent vraisemblablement à une extension brusque et accidentelle de la zone de distillation, par exemple par suite d'un éboulement de charbon frais dans la taille ou la galerie de base, portées à haute température par un soufflage intense et prolongé.

On constate en effet que le rapport c/g est particulièrement élevé pendant la production de gaz à bon pouvoir calorifique. Au cours de chaque période, la composition du gaz produit évolue dans le temps, sans qu'on change rien au régime, plus rapidement que ne pourrait l'expliquer le déplacement de la zone de feu.

Après l'interruption ou la réduction du soufflage, le gaz continue à se dégager pendant un certain temps.

L'apparition soudaine d'un mélange de gaz combustibles fait plus penser à un apport brutal de combustible frais qu'à l'évolution progressive d'un phénomène thermochimique.

* * *

η. Influence du débit.

De l'examen du diagramme général ressort immédiatement un parallélisme grossier entre le pouvoir calorifique du gaz et le débit d'air soufflé. Cette constatation doit toutefois être précisée pour les raisons suivantes.

D'une part, l'influence des rentrées d'air est d'autant plus importante que le débit est plus faible; elle tend donc à diminuer le pouvoir calorifique du gaz brut produit pendant les périodes de faible débit. Il faut faire porter la comparaison sur les analyses corrigées.

D'autre part, chaque changement brusque de débit est suivi d'un régime transitoire qui peut masquer l'influence véritable du débit si les périodes considérées ne sont pas assez longues. Une diminution brusque du débit succédant à une période

assez longue à fort débit s'accompagne d'un dégagement de matières volatiles, important en valeur relative et conduisant à un gaz riche mais éphémère. Une augmentation brusque du débit succédant à une longue période à faible débit n'est suivie qu'avec un décalage souvent très important de la production d'un gaz relativement riche, dont le pouvoir calorifique va ensuite en décroissant.

Pour mettre en évidence de façon précise l'influence du débit, il faudrait donc comparer deux périodes au cours desquelles le débit a été maintenu constant assez longtemps pour qu'on puisse considérer le régime établi. Aucune des périodes de fonctionnement de l'essai I ne satisfait pleinement à cette condition. Faute de mieux, et avec ces réserves, on peut comparer la période du 24-27 février, à faible débit, à celle du 7 au 10 mars, à débit élevé. Ces deux périodes se distinguent :

— d'une part, par la teneur en oxygène : 5 à 6 % pour un débit de 2.500 m³, 1 à 2 % pour un débit de 10.000 m³;

— d'autre part, par le pouvoir calorifique supérieur moyen du gaz : 400 calories pour un débit de 2.500 m³, 500 cal. pour un débit de 10.000 m³.

L'écart est évidemment moins marqué que celui résultant d'un examen superficiel du diagramme, mais il est indiscutable.

Après le 27 février, le gaz s'est détérioré progressivement (compte tenu des rentrées d'air), dans des conditions de débit relativement constantes. La différence entre le gaz produit à débit élevé et à débit réduit serait encore plus nette si l'on avait pu choisir, pour les faibles débits, une période de référence postérieure à celle du 24 au 27 février.

d) Bilan thermique.

Le bilan thermique se présente comme suit :

- P_g : pouvoir calorifique supérieur du gaz;
 - + S_g : chaleur sensible du gaz (y compris la chaleur latente de vaporisation de la vapeur d'eau entraînée);
 - + P_k : pouvoir calorifique des imbrûlés;
 - + S_k : pertes de chaleur dans le massif et les tuyauteries.
-
- = T : pouvoir calorifique supérieur du charbon totalement ou partiellement utilisé.

Avec ces notations, les calories apportées ou soustraites au système par l'eau liquide (humidité du terrain, purge des atomiseurs, condensations dans les galeries et les tuyauteries) sont incorporées dans les pertes au massif.

En toute rigueur, il faudrait ajouter au pouvoir calorifique du combustible utilisé l'enthalpie de la vapeur injectée dans le chantier. Cette correction, qui n'a de raison d'être que pendant les essais à la vapeur, est peu importante.

Le bilan matière, calculé au paragraphe c. γ, donne les quantités c et k de charbon net et d'imbrûlés correspondant à la formation de 1 Nm³ de gaz.

Les pouvoirs calorifiques du charbon, des imbrûlés (carbone) et du gaz étant connus, il est facile de calculer les termes P_g , P_k et T du bilan thermique :

$$P_g = 3,020 \cdot CO + 3,050 \cdot H_2 + 9,520 \cdot CH_4;$$

$$P_k = 8,100 \times k;$$

$$T = (\text{PCS du charbon}) \times c.$$

La chaleur réellement fournie par le combustible est :

$$T - P_k = P_g + S_g + S_k.$$

La somme $S_g + S_k = S$ (chaleur dégagée sous forme sensible) se calcule par différence :

$$S = T - P_k - P_g.$$

Si l'on connaît la température du gaz et sa teneur en vapeur d'eau, on peut calculer sa chaleur sen-

sible S_g et déterminer, par différence $S - S_g = S_k$, la perte de chaleur au massif.

Les chiffres du tableau XIX ont été obtenus à partir des pouvoirs calorifiques supérieurs, sans correction pour la vapeur d'eau. Les résultats de ce bilan simplifié sont donnés en calories par Nm³ pour les dix analyses moyennes des périodes de fonctionnement les plus caractéristiques (Tableau XII, analyses brutes). On a de plus exprimé le pouvoir calorifique du gaz et la chaleur sensible totale en pour-cent de la chaleur effectivement fournie par le combustible : $T - P_k$, et celle-ci en pour-cent du pouvoir calorifique total T du combustible.

Tableau XIX.

Analyses		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
en calories	PCS gaz P_g	555	547	505	641	654	424	400	555	449	498
	Ch. sensible tot. S ..	682	720	767	789	571	548	620	765	851	759
	Ch. fournie $P_g + S$	1.235	1.067	1.270	1.430	1.225	972	1.020	1.300	1.300	1.257
	PC imbrûlés P_k ...	1.660	715	1.505	2.550	2.525	1.755	1.100	1.490	1.650	795
PCS charb. $\times c = T$		2.895	1.780	2.775	5.080	5.750	2.705	2.120	2.790	2.050	2.050
En % de la chaleur fournie par le combustible $T - P_k$	P_g	44,8	52,5	39,6	44,9	55,4	45,6	59,2	41,2	54,5	39,6
	S	55,2	67,5	60,4	55,1	46,6	56,4	60,8	58,8	65,5	60,4
Utilisation du combustible % :											
$\frac{P_g + S}{T} = \frac{T - P_k}{T}$		42,8	60,0	45,8	56,0	52,7	55,9	48,1	46,6	44,1	61,4

On voit que le PCS du gaz représente de 32,5 à 55,4 % de la chaleur fournie par le combustible. Le chiffre maximum de 55,4 % correspond à une période de distillation, succédant immédiatement à une période de soufflage intense. Cette distillation n'est possible que grâce à la chaleur emmagasinée dans le chantier pendant la période précédente. Le fonctionnement en régime semble mieux caractérisé par un chiffre variant entre 40 et 45 % (analyses 1, 3, 4, 8, 10).

Pour déterminer la chaleur sensible du gaz, il faudrait connaître sa température et sa teneur en humidité à la sortie du chantier. Ces données n'ont pas été mesurées. Il est donc impossible de départager exactement la chaleur sensible entre le gaz et les pertes au terrain.

La présence des atomiseurs à l'intérieur du chantier excluait l'utilisation de la chaleur sensible du gaz. Celle-ci doit donc être considérée elle-même comme une perte.

4. — Conclusions générales.

a) Consommation de charbon.

La quantité de charbon (net), gazéifié complètement entre le 5 février et le 12 mars 1948, est d'environ 400 tonnes.

b) Comportement du terrain.

La zone de feu proprement dite n'a pu être visitée après l'essai. Les seuls renseignements sur le comportement des terrains dans la zone de réaction nous sont fournis par la résistance du circuit au passage du courant gazeux.

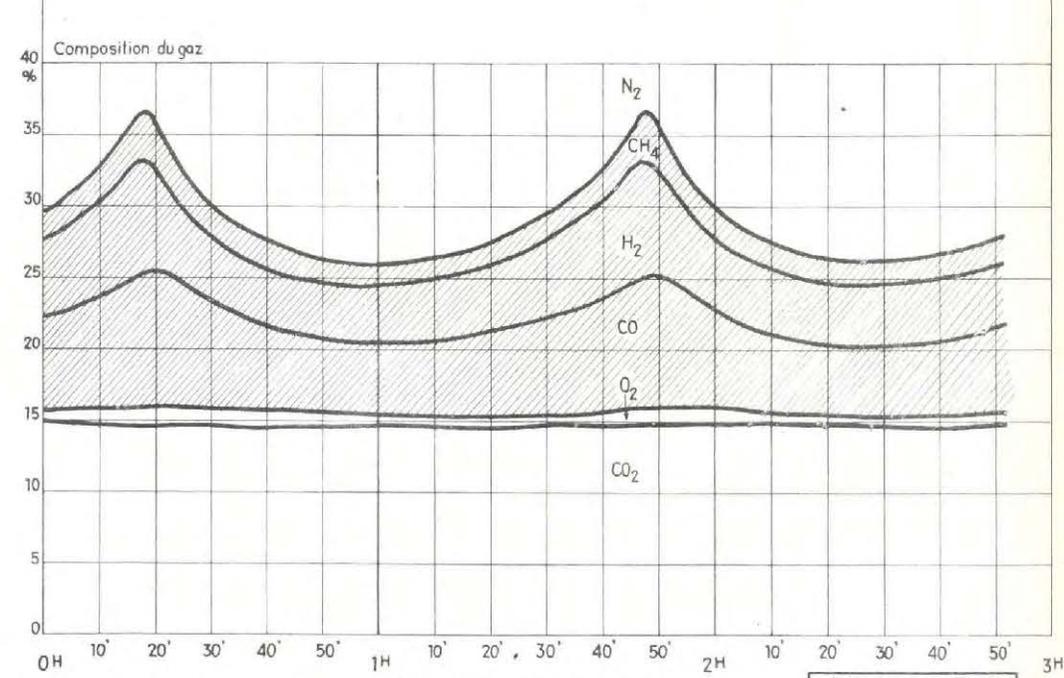
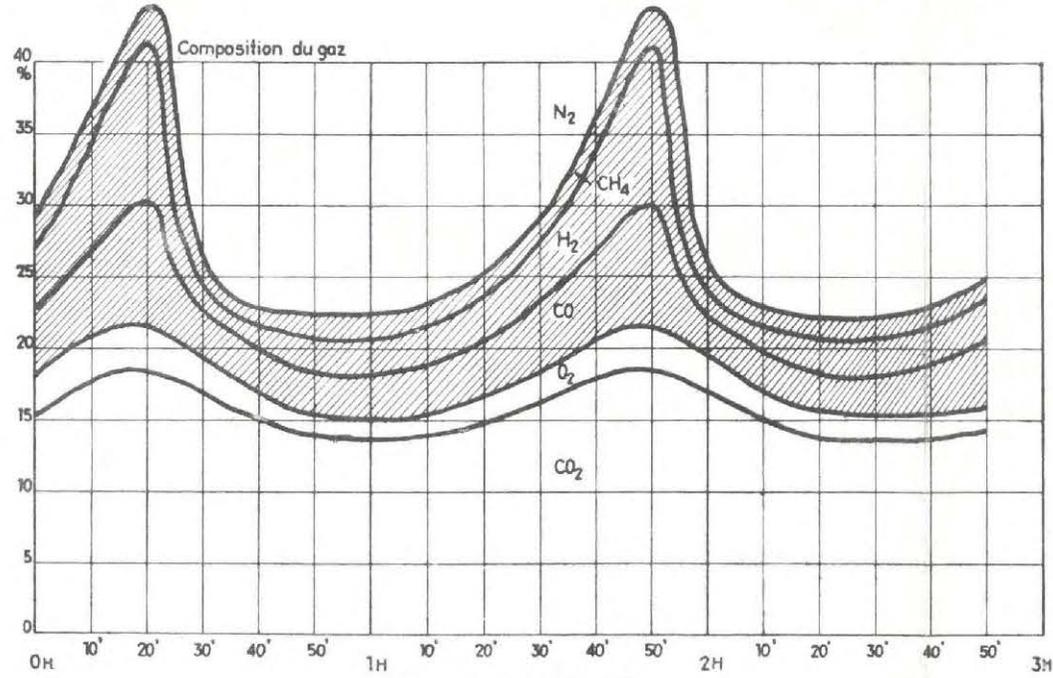
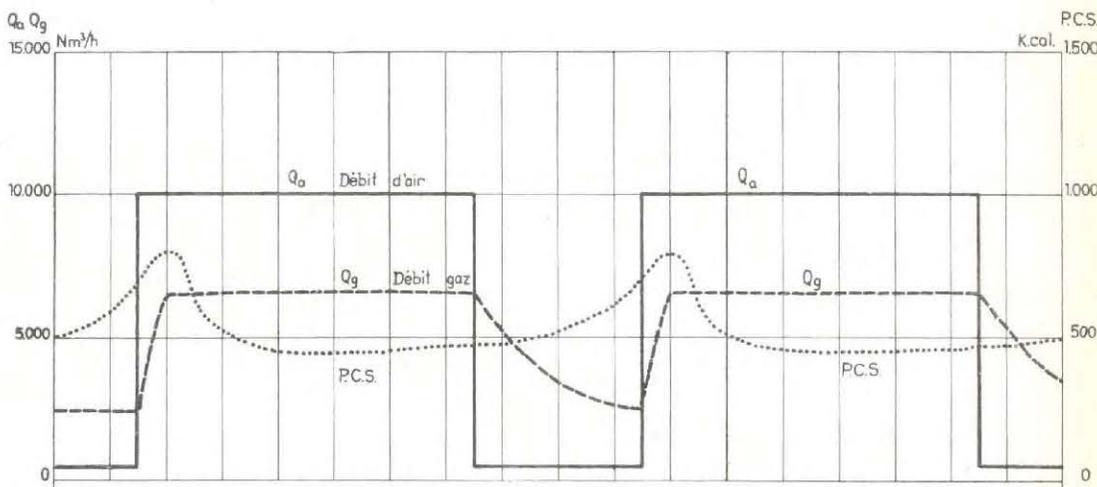
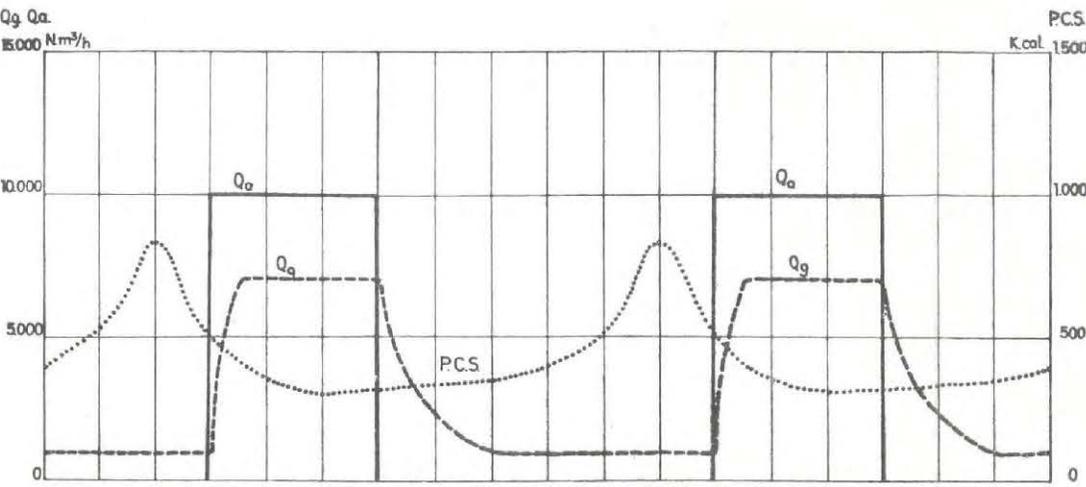
Celle-ci est allée en croissant pendant les premiers jours de l'essai, puis s'est stabilisée. La relation entre le débit et la pression caractérise un écoulement partiellement laminaire. Ceci peut s'expliquer par des éboulements de charbon dans la taille et la voie de base.

A la tête de taille, il n'y a pas eu d'éboulement. Par contre, le charbon surmontant la galerie de base s'est éboulé sur plusieurs mètres de hauteur et sur une assez grande longueur.

L'étanchéité du chantier lui-même et celle des serrements ont été satisfaisantes. Celle des puits était insuffisante et a été la cause des rentrées d'air.

c) Zone de feu.

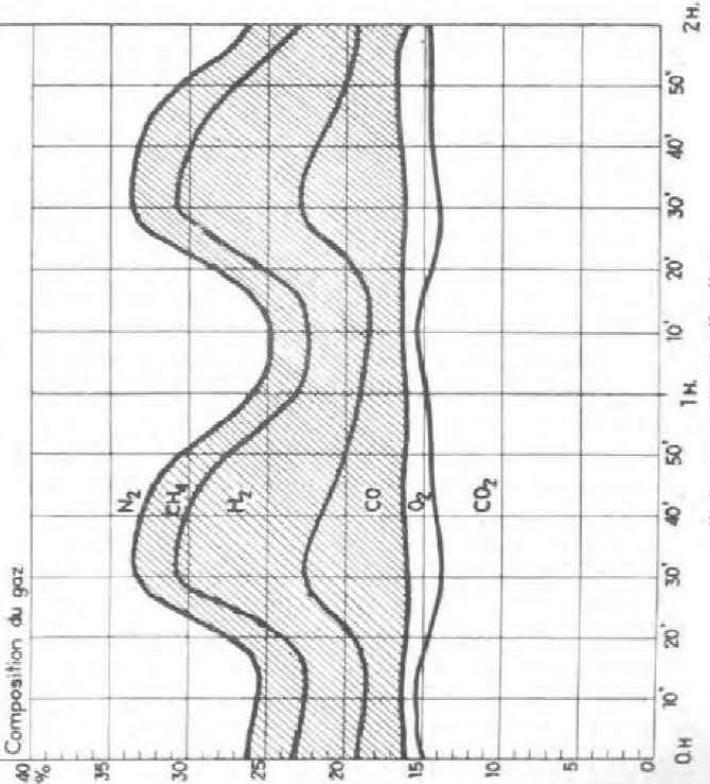
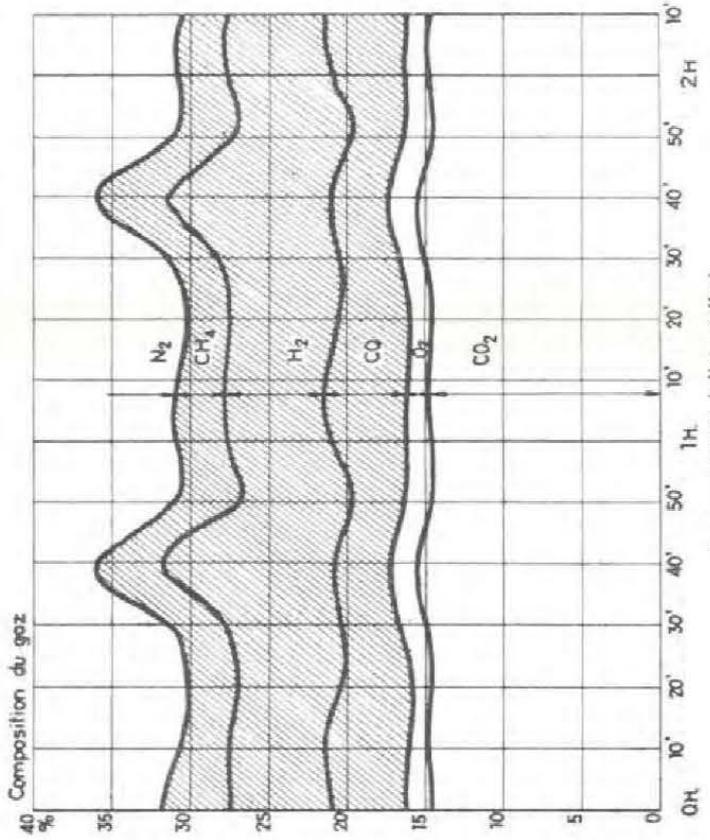
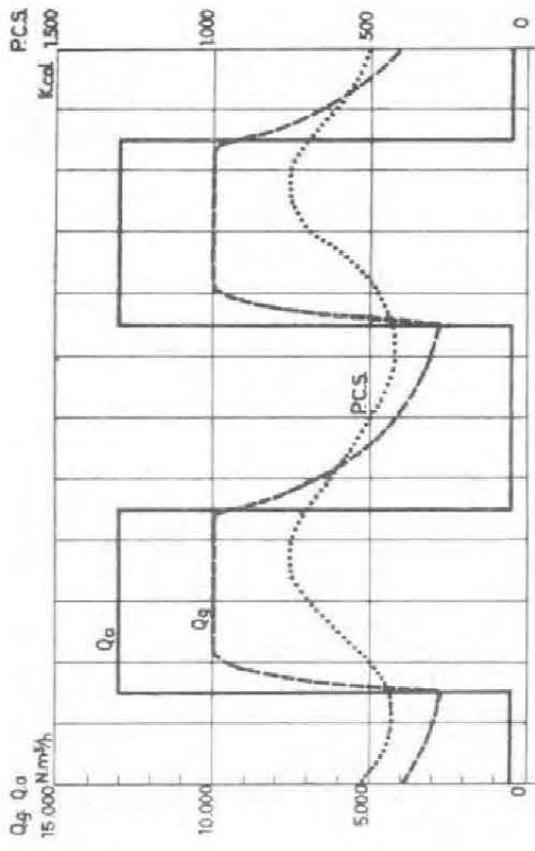
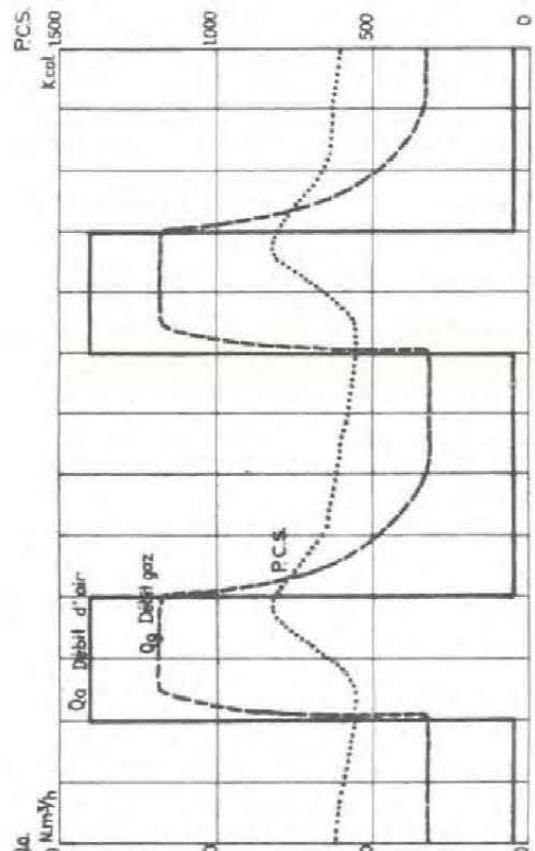
La zone de feu s'est étendue progressivement pendant l'essai jusqu'à atteindre une centaine de mètres de longueur. Toutefois, il n'est pas démontré qu'elle était continue : elle pouvait être constituée par une série de foyers séparés.



10 mars 1948 (0^h - 15^h)

10-11 mars 1948 (23^h - 11^h)

DIAGRAMMES MOYENS SOUFFLAGE DISC.



6 mars 1948 (8^H40 - 20^H40)

5-6 mars 1948 (15^H - 8^H15)

En outre, elle s'est dépacée dans son ensemble d'une centaine de mètres dans le sens du courant d'air.

Ces deux phénomènes (extension et déplacement) semblent avoir été d'autant plus rapides que le débit d'air était plus élevé.

Les atomiseurs ont été incapables de s'opposer à la progression du feu dans la galerie de base. Leur inefficacité a été imputée à une conception et à un fonctionnement défectueux.

d) Nature et qualité du gaz.

L'épuisement à peu près total de l'oxygène de l'air a été obtenu chaque fois qu'un débit important a été maintenu pendant un temps suffisant. Par contre, le gaz produit avec de faibles débits renferme toujours une proportion importante d'oxygène, même si l'on tient compte des rentrées d'air après réaction.

Cette différence est vraisemblablement causée par la température élevée et la turbulence engendrées par un débit élevé.

Le pouvoir calorifique du gaz a été assez variable. On a obtenu, pendant des périodes de :

plusieurs jours : du gaz à 400 cal/m³ (total : 260 h)

plusieurs dizaines d'heures : du gaz à 500 cal/m³ (total : 100 heures)

plusieurs heures : du gaz à 600 cal/m³ (total : 35 heures)

quelques minutes : du gaz à 800-1.000 cal/m³ (à chaque cycle de soufflage discontinu).

e) Elaboration du gaz.

Les éléments combustibles du gaz produit proviennent principalement de la distillation du charbon. La réaction du gaz à l'air a été peu active; celle du gaz à l'eau, négligeable, ou du moins masquée par la combustion partielle des produits de distillation.

L'importance relative de la distillation résulte vraisemblablement du déplacement continu du feu le long d'un front de charbon frais, laissant derrière lui une masse importante de charbon partiellement distillé.

Les composants combustibles du gaz apparaissent généralement d'une manière assez subite après une période assez longue du soufflage à débit élevé. Ceci peut s'expliquer par des éboulements de charbon consécutifs à une combustion énergique et donnant lieu à une distillation active par suite de l'augmentation de surface exposée et de la température élevée.

Par ailleurs, on observe après chaque réduction du débit un accroissement de la teneur du gaz en éléments combustibles. Cela résulte probablement du fait que le dégagement de matières volatiles se maintient pendant un certain temps et diminue moins rapidement que le débit d'air.

f) Régime pulsatoire.

Le volume relativement important des galeries parcourues par l'air et le gaz donne lieu à un décalage sensible entre les modifications du régime à l'entrée et les variations correspondantes de la composition du gaz produit, et à un amortissement de celles-ci. Aussi les essais en régime pulsatoire doivent-ils être interprétés avec prudence.

Un gaz relativement riche est recueilli à chaque interruption du soufflage, mais en quantité très faible.

g) Bilan thermique.

La chaleur latente du gaz (sec) produit pendant les périodes les plus favorables représente 35 à 45 % de la chaleur fournie par le combustible. Le reste (55 à 65 %) est constitué par la chaleur cédée au massif et à l'eau des purges, la chaleur sensible du gaz et la chaleur latente de la vapeur d'eau entraînée par celui-ci.