

De Ondergrondse Vergassing

René Fabry

SAMENVATTING.

De petroleumcrisis leidde tot een hernieuwde belangstelling voor de valorisatie van de steenkolen door middel van de ondergrondse vergassing. Met de hulp van de E.E.G. werden onderzoeksprogramma's opgezet, waarvan de voornaamste gerealiseerd werd door "De Instelling voor de Ontwikkeling van de Ondergrondse Vergassing - I.O.O.V.", dank zij een Belgisch-Duits initiatief. In het Belgisch proefstation te Thulin werden uitgebreide proeven voor ondergrondse vergassing op grote diepte uitgevoerd.

Een eerste reeks proeven was gebaseerd op het verbinden van twee boringen, vanaf de bovengrond gedreven tot in een kolenlaag, door middel van de achterwaartse verbranding. Deze proeven leidden tot het inzicht dat op grote diepte, het zgn. kanaalbranden door achterwaartse verbranding, zoniet onmogelijk, dan toch uiterst moeilijk te realiseren is.

Daarom werd overgegaan tot het verbinden van de twee boringen door middel van gerichte boringen. Vanuit de eerste boring werd een afwijkende boring met een krommingsstraal van ca. 13 m. uitgevoerd en verder in de kolenlaag geboord over een afstand van ca. 27 m. Een boorafwijking (side-track) vanuit de tweede boring vervolledigde de verbinding, nodig voor de doorgang van de vergassingsreagentia.

De vergassingsproef die daarop volgde, gebeurde onder de volgende omstandigheden :

- werking bij zeer hoge druk nl. \pm 100 bar aan de uitlaatboring.
- gebruik van een schuimvormig mengsel van water en zuurstof.

* Eerstaanwezend divisiemijningenieur bij de Administratie van het Mijnwezen.

La Gazéification Souterraine

René Fabry

RESUME.

La crise pétrolière a engendré un nouvel intérêt pour la valorisation du charbon par gazéification souterraine. Avec l'aide de la C.E.E. des programmes de recherche ont été mis en route, dont le plus important a été réalisé par "L'Institution pour le Développement de la Gazéification Souterraine" - I.D.G.S., grâce à une initiative belgo-allemande. D'importants essais en matière de gazéification souterraine à grande profondeur ont été exécutés à la station d'essais belge de Thulin.

Une première série d'essais était basée sur la liaison par rétrocombustion de deux sondages forés à partir de la surface jusqu'à une couche de charbon. Ces essais ont démontré que la réalisation d'un chenal à grande profondeur par la méthode de rétrocombustion est sinon impossible, du moins extrêmement difficile.

Suite à cette constatation, on a réalisé la liaison entre deux sondages par forages dirigés. A partir d'un premier sondage vertical on a foré un trou dévié à court rayon de courbure (\pm 13 m.) et continué le forage en couche sur une distance de \pm 27 m. Une dérivation (side-track) partie du deuxième sondage vertical a rejoint le forage horizontal, de sorte qu'on a obtenu une liaison forée, nécessaire au passage des réactifs entre les deux puits vitaux.

Ensuite l'essai de gazéification a été réalisé dans les conditions suivantes :

- fonctionnement sous très haute pression de \pm 100 bar au puits de récupération.
- utilisation d'un mélange eau-oxygène sous forme de mousse.

* Ingénieur principal divisionnaire des Mines à l'Administration des Mines.

Van oktober '86 tot april '87, werd er een gas geproduceerd dat relatief rijk is aan metaan, evenwel in betrekkelijk kleine hoeveelheden.

Deze hoopgevende resultaten zetten de onderzoekers aan, het procédé verder te bestuderen hetzij in Thulin (zuidelijk bekken ; magere kolen) hetzij in het Kempens bekken (Noorden van België, vetkolen).

Er werd voor het Noordelijk bekken een geschikte plaats gevonden voor verdere proeven nl. in de nabijheid van een bestaande verkenningsboring die de aanwezigheid van twee geschikte lagen heeft aangeïnd.

Zusammenfassung.

Die Ölkrise lenkte erneut die Aufmerksamkeit auf Veredlung der Kohle durch Untertagevergasung. Mit Unterstützung der Europäischen Gemeinschaft wurden Forschungsprogramme aufgestellt, die vornehmlich von der Institut zur Entwicklung der *in situ* Vergasung (I.D.G.S.) eine Belgisch-Deutsche Initiative, ausgeführt wurden. Umfangreiche Untertagevergasungsversuche in grosser Tiefe wurden auf dem Versuchsfeld Thulin in Belgien unternommen.

Eine erste Testserie befasste sich mit der Herstellung einer Verbindung zwischen zwei Bohrungen mittels Rückwärtsbrennen. Die Bohrungen wurden von Übertage aus bis in ein Kohlenflöz getrieben.

Diese Versuche ergaben, dass die Schaffung von Verbindungskanälen durch Rückwärtsbrennen unter den Bedingungen der grossen Tiefe, wenn nicht unmöglich, so doch sehr schwer zu verwirklichen ist.

Die Bohrungen wurden daher mittels spezieller Bohrtechnik miteinander verbunden. Ausgehend von einer der Bohrungen wurde eine Ablenkung mit einem Krümmungsradius von ca. 13 m vorangetrieben, die dann um weitere 27 m horizontal im Flöz gebohrt werden. Eine seitliche Ablenkung (sidetrack), ausgehend von der zweiten Bohrung, vollendete die für den Durchfluss von Vergasungsmittel notwendige Verbindung.

Das Vergasungsexperiment fand statt :

- unter Bedingungen des sehr hohen Druckes, z.B. 100 bar auf Seiten der Rückgewinnungsbohrung ;
- bei Anwendung eines Gemisches aus Sauerstoff und Wasserschaum als Vergasungsmittel.

Depuis le mois d'octobre '86 jusqu'au mois d'avril '87, on a produit un gaz assez riche en méthane, en quantités relativement faibles.

Ces résultats positifs incitent les chercheurs à continuer l'étude du procédé, soit à Thulin (bassin du Sud, charbon maigre) soit en Campine (bassin du Nord, charbon gras).

Un endroit adéquat pour l'érection d'une station d'essai en Campine a été trouvé à proximité immédiate d'un sondage de reconnaissance ; ce dernier a en effet révélé la présence de deux couches de charbon convenant aux essais.

Summary.

The oil crisis led to a renewed interest for the valorisation of coal by underground gasification. With the help of the EEC research programmes were set up, the principal of which was realized by the Institution for the Development of the Underground Gasification (I.D.G.S.) a Belgian-German initiative. Extensive trials of underground gasification at great depth were undertaken at the test site of Thulin (Belgium).

A first series of tests was based on the linking of two holes, drilled from the surface into a coal seam, by means of reverse combustion. These tests demonstrated that at great depth channel burning by reverse combustion is, if not impossible, at least extremely difficult to realize.

Therefore, the holes were linked by means of special drilling techniques. Starting from a first hole, a deviated hole was drilled with a curvature radius of about 13 m and prolonged horizontally over 27 m in the seam. A sidetrack, drilled from the second hole, completed the connection necessary for the passage of the gasifying agents.

The gasification experiment occurred under the following conditions :

- running under very high pressure, i.e.
+ 100 bar at the recovery well ;
- use of a foamy mixture made of water and oxygen as gasifying agent.

Von Oktober 1986 bis April 1987 wurde ein Gas mit verhältnismässig hohem Methan-Gehalt aber in relativ kleine Mengen erzeugt.

Diese positiven Ergebnisse ermutigen die Forscher mit der Untersuchung des Prozesses fortzufahren, und zwar entweder in Thulin (südliches Kohlenrevier, Magerkohle) oder in der Campine (nördliches Kohlenrevier, Fettkohle).

Eine geeignete Stelle für weitere Versuche ist in der Nachbarschaft einer Erkundungsbohrung, die zwei geeignete Flöze durchteuft hat, im nördlichen Kohlenrevier gefunden.

DE ONDERGRONSE VERGASSING.

Historiek – Stand van zaken perspectieven.

Voorwoord.

Europa heeft in zijn ondergrond miljarden ton steenkolen die onbereikbaar zijn voor de klassieke extractieve mijnbouw. Bovendien heeft de sluiting van te zeer verlieslatende mijnen tot gevolg dat die hoeveelheid nog aanzienlijker wordt. Daartegenover staat de stijgende energiebehoefte in de industriële wereld en speciaal in Europa. De belangstelling voor het vinden van een andere manier om deze potentiële rijkdom te valoriseren werd nog groter toen de petroleumcrisis op afdoende wijze aantoonde hoezeer Europa afhankelijk was van de buitenwereld voor zijn energiebevoorrading.

Tot op heden lijkt de ondergrondse vergassing de enige kanshebbende methode om die kolen economisch te valoriseren.
In België, Frankrijk en Duitsland kwam men tot concrete programma's inzake het onderzoek naar de ondergrondse vergassing van steenkolen op grote diepte.

België en de Bondsrepubliek Duitsland sloten op regeringsniveau een akkoord, waarbij de inspanningen inzake het onderzoek omtrent de ondergrondse vergassing gebundeld worden in één groep, waaruit de Instelling voor de Ontwikkeling van de Ondergrondse Vergassing (I.O.O.V.) is ontstaan.

From October 86 until April 87 a gas with a relatively high methane content has been produced, yet in relatively small quantities.

These positive results rouse the researchers to continue the study of the process either at Thulin (southern basin ; lean coal) or in the Campine basin (northern basin of Belgium ; fat coal).

A suitable place for further trials has been found for the northern basin, i.e. in the vicinity of an existing exploratory hole which proved the presence of two suitable seams.

LA GAZEIFICATION SOUTERRAINE.

Historique – Etat actuel perspectives.

Avant-propos.

L'Europe possède dans son sous-sol des milliards de tonnes de charbon inaccessibles à l'exploitation extractive classique. En outre, la fermeture de charbonnages aux résultats financiers trop négatifs a été aura pour conséquence d'alourdir cette perte. D'autre part, nous nous trouvons en face d'un besoin d'énergie grandissant dans le monde industriel et en particulier en Europe. L'intérêt de trouver un autre moyen de valoriser cette immense richesse potentielle existe depuis longtemps et est allé en grandissant lorsque la crise pétrolière a démontré de façon péremptoire à quel point l'Europe était dépendante de l'étranger pour son approvisionnement en énergie.

Jusqu'à présent la gazéification souterraine semble être la seule méthode qui puisse réussir à valoriser économiquement ce charbon. En Belgique, en Allemagne et en France, des programmes concrets de recherche concernant la gazéification souterraine du charbon à grande profondeur ont été établis.

La Belgique et la République Fédérale d'Allemagne ont conclu en 1976 au niveau gouvernemental un accord par lequel les efforts de recherches au sujet du développement de la gazéification souterraine sont confiés à un groupe de travail commun, dont est issue l'Institution pour le Développement de la Gazéification Souterraine (I.D.G.S.).

In Frankrijk ontstond in 1980 de "Groupe d'Etude pour la Gazéification Souterraine" (G.E.G.S.) een samenwerkingsverband tussen Gaz de France, Charbonnages de France, Institut Français du Pétrole en de Bureau de Recherches Minières et Géologiques.

De E.E.G. heeft haar steun verleend aan deze initiatieven ten belope van 40 % van de kosten.

Inleiding. Doelstelling en Methoden.

De bedoeling van het onderzoek naar de ondergrondse vergassing bestaat erin, door ge-eigende technieken te komen tot de produktie van een gas dat voldoende kalorische waarde moet hebben om, na eventuele na-bewerking, gebruikt te worden hetzij als brandstof - een substituut voor het aard-gas - hetzij als grondstof voor de chemische industrie, en dit zonder de kolen op te halen. In Europa zoekt men dit te bereiken door te werken in diepliggende lagen, dit in tegen-stelling met wat in de U.S.A. en de U.S.S.R. tot nu toe gebeurde ; daar heeft men kolen vergast die op geringe diepte lagen.

Het vooropgestelde basisproces is het vol-gende. Men boort tenminste twee boorgaten van op de bovengrond tot in een kolenlaag, en men legt tussen die boorgaten een verbin-ding aan in de kolenlaag. Die verbinding moet tot stand gebracht worden in kolen die een zeer geringe permeabiliteit hebben, hoewel ze beter is dan in de omliggende gesteenten. Eenmaal zulke verbinding tot stand gebracht, injecteert men vergassingsreagentia in één bo-ring ; deze reagentia treden in reactie met de kolen op dezelfde wijze als in een bovengrondse reactor en de geproduceerde gassen worden opgevangen aan de tweede boring.

De eerste bewerking die moet plaats hebben is de aanleg van de verbinding (linking), nl. een doorstromingsweg die grote debieten door-laat. Uit de mogelijke methoden heeft G.E.G.S. er twee uitgeprobeerd : enerzijds een hydro-fracking gevolgd door achterwaartse verbranding, anderzijds de elektrolinking.

I.O.O.V. heeft geopteerd voor diffusie van lucht (of een analoog mengsel) doorheen de bestaande microscheuren gevolgd door achter-waartse verbranding. De achterwaartse verbranding is gekenmerkt door een verplaatsing van het vuurfront in een richting tegenge-steld aan de bewegingsrichting van de ver-brandingszuurstof.

En France, Gaz de France, Charbonnages de France, l'Institut Français du Pétrole et le Bureau de Recherches Géologiques et Minières, ont fondé le "Groupe d'Etude de la Gazéifica-tion Souterraine" (G.E.G.S.), en 1980.

La C.E.E. a accordé son soutien à ces initia-tives à concurrence de 40 % des frais.

Introduction. Buts et Méthodes.

Le but de la recherche concernant la gazéifi-cation souterraine est d'arriver, en appli-quant les techniques appropriées, à la pro-duction d'un gaz ayant une valeur calorifique suffisante pour que ce gaz - éventuellement après un traitement - puisse être utilisé soit comme gaz de substitution au gaz naturel, soit comme matière première dans l'industrie chimique et cela, sans que le charbon soit extrait du sous-sol. En Europe, on cherche à obtenir ce résultat en travaillant dans des couches situées à grande profondeur tandis qu'aux U.S.A. et en U.R.S.S. on a jusqu'à présent gazifié du charbon situé à faible profondeur.

Le procédé de base prévu est le suivant : on fore à partir de la surface au moins deux puits jusque dans une couche de charbon et on établit entre ces deux forages une communica-tion dans la couche. Ce chenal doit être établi dans des charbons ayant une perméabilité très faible, quoique meilleure que celle des terrains encaissants. Une fois cette liaison établie, on injecte dans un des puits les agents gazéifiants ; les réactifs entrent en réaction avec le charbon de la même façon que dans un réacteur de surface et les gaz produits sont recueillis par le deuxième puits.

La première opération à effectuer est l'éta-blissement de la liaison (linking) qui doit permettre le passage de grands débits. Parmi les méthodes possibles, le G.E.G.S. en a expérimenté deux : l'électrolinking, d'une part et l'hydrofracking suivi de rétrocombus-tion, d'autre part.

L'I.D.G.S. a opté pour la diffusion d'air (ou un mélange analogue) à travers des micro-fissures existant dans le charbon, suivie de la rétrocombustion. La rétrocombustion est caractérisée par une progression du feu en direction opposée à celle du comburant.

Te noteren valt dat de idee van de achterwaartse verbranding voor de aanleg van een kanaal tussen de boringen stamt uit de ervaringen die in de U.S.S.R. en de U.S.A. opgedaan werden bij proeven op geringe diepte.

De I.O.O.V. is later overgegaan tot een geboorde verbinding in de kolenlaag.

Voor de tweede operatie, nl. het eigenlijke vergassen, neemt men aan dat de reacties tussen de kolen en de reagentia in de ondergrond plaatshebben op dezelfde manier als in een bovengrondse hogedrukvergassingsreactor. Er is echter een belangrijk verschil, want in de ondergrond op grote diepte kan men werken bij veel hogere druk dan in bovengrondse reactoren, zodat men een beter vergassingsrendement en een betere gaskwaliteit kan verwachten.

Bij het vergassen in situ heeft men evenwel af te rekenen met andere moeilijkheden : de veranderlijke vorm van de reactor, de mogelijke vorming van by-passes, de veranderlijke thermische invloeden en de terreinreacties. Dit alles bemoeilijkt de sturing en vergt uitgebreide en betrouwbare meetcontrole- en sturingsapparatuur. Bovendien zijn er tal van parameters die men slechts onrechtstreeks kan beïnvloeden.

Deel I. De proeven gebaseerd op achterwaartse verbranding.

Het Franse programma omvatte met name proeven met elektrolinking. Die hadden plaats te l'Echaux op geringe diepte (30 m.). De eerste proef eindigde met de vernietiging van de elektroden door oververhitting. Van de tweede proef zijn geen resultaten bekend : men wacht op het afgrenzen bij exploitatie aan open lucht waardoor de gecarboniseerde kolen in visu zullen onderzocht worden.

I.1. De Franse proeven te Bruay-en-Artois.

Hier werd het proeftoestel geïnstalleerd in een stilgelegde mijn (fig. 1) ; vanuit een galerij op 960 m. diepte boorde men twee gaten naar laag 22 gelegen op 1 180 m. diepte en 2 m. dik. De boorgaten waren 65 m. van elkaar verwijderd. Twee reeksen proeven werden ondernomen op basis van hydrofracking gevolgd door achterwaartse verbranding. De eerste proeven werden gestopt omwille van zelfontsteking nabij de injectieboring die tot gevolg had dat de voorstromingsweerstand geweldig steeg ; de tweede reeks proeven werd afgebroken omdat de galerijen in de mijn gevaar voor het personeel begonnen te vertonen.

Il est à noter que la méthode de liaison par rétrocombustion pour établir un chenal entre puits découle des expériences effectuées aux U.S.A. et en U.R.S.S. lors d'essais à faible profondeur.

Par après, l'I.D.G.S. est passée à la liaison en couche par forage.

Pour la deuxième opération, c.à.d. la gazéification proprement dite, on suppose que les réactions entre le charbon et les réactifs se font de la même manière que dans un réacteur à haute pression situé en surface. Il y a cependant une grande différence car à grande profondeur on peut fonctionner à des pressions beaucoup plus élevées qu'en surface, ce qui permet d'espérer un meilleur rendement de gazéification et une meilleure qualité des gaz recueillis.

Par contre, dans la gazéification in situ, on aura à tenir compte d'autres difficultés : la forme variable du réacteur, la formation possible de court-circuits, des influences thermiques variables et des réactions des terrains encaissants. Tout ceci rend plus difficile la conduite du réacteur et demande de nombreux appareils de contrôle, de mesure et de régulation. En outre, de nombreux paramètres peuvent être influencés que de façon indirecte.

Première partie. Les essais basés sur la rétrocombustion.

Le programme français comportait notamment des essais d'électrolinking. Ils ont eu lieu à l'Echaux à faible profondeur (30 m.). Le premier essai s'est terminé rapidement par la destruction des électrodes par surchauffe. On n'a pas de résultats connus du deuxième essai et on attend que, par exploitation à ciel ouvert, le charbon carbonisé soit mis à jour pour l'examiner de visu.

I.1. Les essais de Bruay-en-Artois.

Le dispositif expérimental a été installé dans un charbonnage arrêté (fig. 1). A partir d'une galerie située à 960 m. de profondeur, on a foré deux trous vers la veine 22 à 1180 m. qui a 2 m. d'épaisseur. Les forages étaient à 65 m. de distance. Deux séries d'essais basés sur l'hydrofracking suivi de rétrocombustion ont été effectués. Les premiers essais ont été arrêtés à cause de l'autoallumage du charbon près du puits d'injection qui provoqua une importante augmentation de la résistance à l'écoulement et on a mis fin à la deuxième série d'essais par suite d'une détérioration des conditions de sécurité dans les galeries de la mine.

1.2. De Franse proeven te Haute-Deule.

De boringen vanop de bovengrond reikten tot in een 2 m. dikke laag op 880 m. diepte. Men begon met een drie maanden durende waterinjectie op laag debiet. Daarop volgde hydrofracking. De verbinding die aldus ontstond was duidelijk beter dan te Bruay. Daarop werden de bovengrondse uitrusting verder uitgebouwd, waaronder een data-processing unit voor data-verwerving, sturing, analyse en registratie (fig. 2).

Na de eerste ontstekingsproeven door middel van een elektrische luchtverhitter die veel problemen met corrosie opleverde, werden de kolen bij de extractieboring ontstoken en de achterwaartse verbranding begon. Enkele weken later geraakte de extractieboring verstopt door teerprodukten, corrossiedeeltjes en koolpartikels. Chemische solventen konden de obstructie niet verhelpen en er moest nageboord worden. Een volgende linkingtest kon geen voldoende permeabiliteit bewerkstelligen en de proeven werden definitief gestopt in 1985.

I.2. Les essais de la Haute-Deule.

Les forages partant de la surface ont atteint une couche de 2 m. d'épaisseur à 880 m. de profondeur. De l'eau à faible débit a été injectée dans ceux-ci pendant trois mois avant d'appliquer l'hydrofracking. La liaison ainsi obtenue était nettement meilleure qu'à Bruay. Les installations de surface furent alors complétées parmi lesquelles un ensemble de contrôle comportant l'acquisition de données, les appareils d'analyse, d'enregistrement et la régulation (fig. 2).

Après les premières tentatives d'allumage au moyen d'un réchauffeur électrique qui donna lieu à de multiples problèmes dus à la corrosion, on a réussi à allumer le charbon près du puits de production, et la rétrocombustion a démarré. Quelques semaines plus tard, le puits de production a été obstrué par des produits goudronneux, des produits de corrosion et des particules de charbon. N'arrivant pas à déboucher le puits avec des solvants chimiques, il a fallu procéder par reforage. Le test de linking suivant n'a pas abouti à la création d'une perméabilité suffisante et les essais ont été arrêtés en 1985.

1.3. De Belgisch-Duitse proeven met achterwaartse verbranding.

1.3.1. De voorstudies.

Vanaf 1973 begon het NIEB met voorafgaande laboproeven en met een economische voorstudie, terwijl er een campagne gevoerd werd in verschillende mijnen om de permeabiliteit van verschillende types kolen in situ te bestuderen. Toen kwam aan het licht in welke mate zelfontsteking van de kolen moeilijkheden kon opleveren en zocht men reeds naar middelen om ze te voorkomen.

Aldus slaagde men te Beringen erin om gedurende 4 maanden lucht onder een injectiedruk van 160 bar te laten doorstromen. Daartoe werden twee boorgaten op 65 m. van elkaar geboord vanuit een steengang op 800 m. diepte naar een 70 m. diepere laag. De opgetreden zelfontsteking kon bedwongen worden door de luchtinjectie om de acht uur te onderbreken en tussentijds water te injecteren gedurende 2 uren.

In Duitsland werden proeven op achterwaartse verbranding in autoclaaf doorgevoerd, tegelijk met theoretische modelling-studies.

I.3. Les essais belgo-allemands sur base de rétrocombustion.

I.3.1. Les études préalables.

Dès 1973, l'INIEX avait procédé à des études en laboratoire et à une pré-étude économique, tandis qu'on menait une campagne de mesure dans plusieurs charbonnages afin d'étudier la perméabilité naturelle de différents types de charbon in situ. A cette époque, on avait déjà des difficultés avec l'autoallumage et on a cherché des moyens pour le prévenir.

Ainsi, à Beringen, on est parvenu à faire écouler de l'air dans du charbon in situ pendant 4 mois à une pression d'injection de 160 bar. A cet effet, deux trous de forage avaient été forés à partir d'un bouteau à 800 m. jusque dans une couche située 70 m. plus bas. L'autoallumage a pu être maîtrisé en interrompant l'injection d'air toutes les 8 heures et en injectant chaque fois de l'eau pendant deux heures.

En Allemagne, on faisait des essais de rétrocombustion en autoclave, en même temps que des études de modélisation.

1.3.2. De voorbereidende werkzaamheden te Thulin.

Het Belgisch-Duits samenwerkingsakkoord inzake ondergrondse vergassing werd getekend op 01.10.1976. Op grond daarvan werd het proefstation te Thulin opgericht met het doel, *in situ*, de "feasibility" van de ondergrondse vergassing aan te tonen en de voorwaarden voor economische rendabiliteit van zulk procédé te onderzoeken.

In het licht van de toenmalige opvattingen werden de boringen uitgevoerd en de bovengrondse installaties opgebouwd.

A. De boringen.

Een eerste verkenningsboring (Th 1) werd gedreven in 1978. Zij trof de kolen aan op ca. 860 m. het gold een "doublet", gevormd uit de lagen Charles en Leopold van 4,5 m gezamenlijke koldikte met schiefertussenenlagen ; op 960 m werd de 1,2 m dikke laag Jacqmain aangeboord. De kolen hadden 12 % vluchtige bestanddelen.

Er werden nog drie andere boringen (Th 2, Th 3 en Th 4) uitgevoerd. De vier boringen vormden samen een gecenterde ster die - in de laag C.L. 35 + 5 m straal heeft (fig. 3). Bij het boren van Th 4 bleek dat deze boring door een subhorizontale storing van de andere gescheiden was. Th 4 werd dan ook niet verder in het programma betrokken.

Alle boringen zijn over hun ganse lengte verbuisd met een 7" casing en gecementeerd.

B. De bovengrondse uitrusting.

Er waren drie opeenvolgende activiteiten voorzien, nl. permeabiliteits- en communicatiestests de linkingproeven en de vergassingsproeven.

Voor de permeabiliteits- en communicatie-tests waren nodig : een eerste HD-drogelucht-compressor (300 bar - 350 Nm³/u), twee HD pompen (300 bar - 1500 l/u), een luchtkompressor (6 bar) en de nodige leidingen met verder enkele debiet- en drukmeettoestellen.

I.3.2. Les travaux préparatoires à Thulin.

L'accord intergouvernemental entre la Belgique et la République Fédérale d'Allemagne concernant la gazéification souterraine a été signé le 01.10.1976. Suite à cet accord, une station d'essai fut érigée à Thulin en vue de démontrer la "faisabilité" de la gazéification souterraine à grande profondeur et de rechercher les conditions de fonctionnement qui assurerait la rentabilité économique d'un tel produit.

C'est dans le contexte des idées prévalant à cette époque que la station d'essai a été conçue et que les puits ont été forés.

A. Les puits.

Un premier sondage de reconnaissance (Th 1) a été foré en 1978. Il a recoupé à 860 m. de profondeur le "doublet" des couches Charles et Léopold ayant 4,5 m. d'épaisseur de charbon, avec des intercalations schisteuses. A 960 m., il recoupait la couche Jacqmain de 1,2 m. d'épaisseur. Ce charbon contenait 12 % de matières volatiles.

Ensuite furent forés les puits Th 2, Th 3 et Th 4 (fig. 3). Les 4 sondages formaient une étoile centrée ayant, dans la couche C.L., 35 m. + 5 m. de rayon. Le puits Th 4 était séparé des autres puits par une faille subhorizontale. Par la suite, Th 4 a été écarté du programme.

Tous ces sondages étaient équipés d'un tube de 7" et cimentés sur toute leur longueur.

B. Les installations de surface.

Trois activités successives étaient prévues : des tests de perméabilité, des essais de linking et des essais de gazéification.

Pour les tests de perméabilité, il fallait : un compresseur d'air sec HP (300 bar - 350 Nm³/h), un compresseur d'air (6 bar), deux pompes à eau HP (300 bar - 1500 l/min), les conduites nécessaires et quelques instruments de mesure.

Voor de linkingproeven op basis van diffusie van vergassingsreagens doorheen de laag en achterwaartse verbranding waren nodig : een tweede HD-droge-luchtcompressor (300 bar - 350 Nm³/u) ; zuurstof- en stikstoftanks met pompen en verdampers, bijkomende leidingen met instrumentatie voor mogelijk omwisselen van injectie en extractie, en een stuur- en registratie- en regelinrichting en een analysesysteem.

In haar eerste uitvoeringsfase bestond de uitrusting voor de vergassing uit :

- een MD drogeluchtcompressor (5 centrifugaaltrappen ; 45 bar - 12,500 Nm³/u - 2,6 MW) beperkt regelbaar in druk en debiet ;
- het bijhorende koelwatercircuit met koeltoren en automatische watersuppletie ;
- een stoomgenerator (8,8 ton/u ; 45 bar ; lichte oververhitting) ;
- de bijhorende demineralisatie - en ontgasingsinstallatie voor de voeding van de stoomketel ;
- een installatie voor afvalwaterbehandeling ;
- twee stofafscheiders (multicyclonen) op de leiding van het produktgas en elk voorzien van een aftapsas, bestemd om de leidingen, de meettoestellen en regelapparaten te beschermen ;
- een incinerator voor het produktgas met propaansteunbrander ;
- 2 MD heetwaterpompen bestemd voor het koelen van de extractieboring (45 bar - 10 m³/u) ;
- het buizennet voor 18.000 m³/u aan injectiezijde, en voor 28.000 m³/u aan de extractiezijde ;
- bijhorende instrumentatie met automatische regelsystemen, en afstandsbesturingen ;

Pour les essais de linking par diffusion d'agent gazéifiant à travers la couche, suivie de rétrocombustion, il fallait : un deuxième compresseur d'air sec HP (300 bar - 350 Nm³/h), des réservoirs d'oxygène et d'azote avec pompes HP et évaporateurs, des conduites supplémentaires avec instruments permettant de permute l'injection et la récupération sur les puits, une unité de mesure de régulation et de contrôle et un système d'analyse.

En première phase d'exécution, l'installation nécessaire aux essais de gazéification comportait :

- un compresseur à moyenne pression pour l'air sec (5 étages 45 bar - 12,500 Nm³/h - 2,6 MW) partiellement réglable en pression de refoulement et en débit ;
- le circuit de refroidissement de ce compresseur à tour de refroidissement et à alimentation d'eau automatique ;
- un générateur de vapeur (8,8 t/h ; 45 bar ; légère surchauffe) ;
- l'alimentation en eau déminéralisée et dégazée de la chaudière ;
- une installation de traitement des eaux usées ;
- deux séparateurs de poussières multicyclones sur la conduite des gaz produits, munis d'un sas de vidange et destinés à la protection des conduites, des appareils de mesure et de régulation situés en aval ;
- un incinérateur avec brûleur d'appoint à propane pour le traitement des gaz produits ;
- deux pompes à eau chaude MD pour le refroidissement du puits d'extraction (45 bar - 10 m³/h) ;
- un réseau de conduites permettant un débit de 18.000 m³/h du côté injection et un débit de 28.000 m³/h du côté extraction ;
- les instruments avec des circuits de régulation automatiques et des commandes à distance ;

- analyse- en registratietoestellen.

- les appareils d'analyse et d'enregistrement.

Fig. 4 toont het geschematiseerd plan van de bovengrondse inrichtingen.

De meeste bovengrondse inrichtingen werden parallel met de boor- en proefactiviteiten gebouwd.

I.3.3. Het verloop van de proeven tot 1985.

A. De permeabiliteitsproeven.

Deze tests, hoewel ze veel tijd vergden, waren relatief eenvoudig ; ze bestonden erin water of stikstof te injecteren in één boring en na te gaan hoe de toestand evolueerde in de andere boringen : verandering van waterniveaus in open boringen en drukvariaties in afgesloten boringen.

Zoals verwacht bleek dat Th 4 nauwelijks reageerde. De beste permeabiliteit werd vastgesteld tussen Th 1 en Th 2. En de permeabiliteit was beduidend gunstiger in de zin van Th 1 naar Th 2 dan in omgekeerde zin. Th 3 en Th 4 werden dan ook verder alleen als observatiepunt gebruikt en ook als HD persluchtreervoirs.

B. Proeven van achterwaartse verbranding in 1982.

Er werd een elektrische luchtverhitter geplaatst aan de voet van Th 2 en de lucht die daar geïnjecteerd werd, werd verhit tot 400°C, tot de ontsteking van de kolen ooptrad. Daarna werd de lucht langs Th 1 onder HD geïnjecteerd. Om de optredende zelfontsteking aan Th 1 tegen te gaan werd regelmatig water ingespoten, wat dan telkens tot gevolg had dat de vuurhaard aan Th 2 ook verzwakte. De zelfontsteking aan Th 1 veroorzaakte na korte tijd een vermindering van permeabiliteit, wat beheerst kon worden door dispersie van de bij Th 1 ontstane vuurhaarden.

La fig. 4 montre un schéma d'ensemble des installations de surface.

La plupart des installations de surface ont été réalisées en concomitance avec les activités de forage et d'essai.

I.3.3. Les essais jusqu'en 1985.

A. Les tests de perméabilité.

Bien qu'ils aient demandé beaucoup de temps, les tests de perméabilité étaient relativement faciles à faire ; ils consistaient essentiellement à injecter dans un puits de l'eau ou de l'azote, en contrôlant l'effet sur les autres puits : variation du niveau d'eau dans des puits ouverts ou variation de pression dans des puits fermés.

Comme on pouvait s'y attendre, le puits Th 4 n'a pas réagi. La meilleure perméabilité a été observée entre les puits Th 1 et Th 2 dans le sens de Th 1 vers Th 2. Dès lors, Th 3 et Th 4 n'ont été utilisés ultérieurement que comme puits d'observation et comme réservoirs d'air comprimé HP.

B. Les essais de rétrocombustion en 1982.

Un réchauffeur d'air électrique a été placé au pied de Th 2 et l'air injecté dans ce puits a été chauffé à 400°C, jusqu'au moment où le charbon a pris feu. Puis on a injecté l'air par Th 1 à haute pression. Pour éviter l'autoallumage près de Th 1, on injectait régulièrement de l'eau : ceci provoquait chaque fois une réduction du feu près de Th 2. L'autoallumage à Th 1 s'est manifesté et a provoqué une diminution de perméabilité ; cet effet a pu être réduit en dispersant les foyers allumés près de Th 1.

Een omkering van de stromingsrichting leidde tot een sterke vermindering van de recuperatiegraad en moest dan ook gestopt worden. Begin juli 1982 kwam men terug tot injectie in Th 1 en opvang langs Th 2. Tot einde augustus verliep de proef normaal. Toen steeg weer de weerstand aan doorstroming als gevolg van de heractivering van de zelfontsteking bij de injectieboring. Uit de negatieve resultaten van de proefnemingen in de maanden september en oktober bleek dat het niet mogelijk was om achterwaartse verbranding op gang te houden met het oog op de aanleg van een kanaal.

Tracertests met radioactief Xenon leidden tot het besluit dat er zich twee zones van hoge permeabiliteit gevormd hadden rond de boringen, maar dat er zich geen kanaal gevormd had. Zelfontsteking bij de injectieboring, de toegepaste ontstekingsmethode en de verzameling van water aan de opvangboring waren wellicht ongunstige factoren die het kanaalvormen verhinderd hadden.

In november werden de ontstekingshaarden gedooft. Daarna werden permeabiliteiten gemeten die nauwelijks afwijken van de vorige.

C. Proeven van achterwaartse verbranding in 1983 en 1984.

Tijdens de 8 eerste maanden van 1983 werden de beide boorgaten Th 1 en Th 2 "schoongemaakt" en werden voorbereidingen getroffen voor nieuwe linkingproeven.

Drie nieuwe elementen werden daarbij in acht genomen :

- Er werd voorafgaande koeling van de voet van Th 1 door injectie van vloeibaar CO₂ en stikstof voorzien. Het vloeibaar CO₂ wordt aangevoerd door zgn. macaronipijpjes tot aan de voet van Th 1. Bedoeling is zelfontsteking aldaar tegen te gaan. Tijdens het kanaalbranden werd ook het zuurstofgehalte van de geïnjecteerde lucht verlaagd en de koeling met CO₂ voortgezet.
- In plaats van een elektrische luchtverhitter, werd in Th 2 een brander geplaatst die met metaan, propaan of zelfs met gasoil werken kan. Daardoor kan de temperatuur in de omgeving tot 800 - 900° C opgedreven worden. Aanvoer van zuurstof en brandstof tot aan de brander gebeurde door middel van macaroni's. Ontsteking van de brander gebeurde door middel van T.E.B. (tri-ethyl-boraan).

Un essai de changement du sens d'injection a eu pour effet de réduire fortement le taux de récupération et il a fallu l'arrêter. Au début du mois de juillet 1982 on est revenu à l'injection par Th 1 et à la récupération par Th 2. L'essai s'est poursuivi normalement jusqu'à la fin du mois d'août, quand la résistance à l'écoulement des gaz est montée brusquement, suite à une réactivation de l'autoallumage près du puits d'injection. Les résultats négatifs des essais en septembre et octobre 1982 devaient conduire à la constatation que la rétrocombustion ne pouvait pas être poursuivie en vue de la formation d'un chenal.

Des tests de traçage au Xénon radioactif ont démontré la formation de deux zones de perméabilité élevée, autour des deux puits mais aucune formation de chenal ne s'est produite. L'autoallumage près de l'injection, la méthode de mise à feu et l'eau qui restait au fond du puits Th 2 ont probablement été autant de facteurs négatifs qui ont rendu impossible la formation d'un chenal.

Les foyers furent éteints en novembre 1982 et les mesures de perméabilité réalisées après l'extinction ne différaient pas sensiblement des précédentes.

C. Les essais de rétrocombustion en 1983 et 1984.

Les huit premiers mois de 1983 furent consacrés à la remise en état des deux puits et aux préparatifs de nouveaux essais de linking.

Trois nouveaux éléments ont alors été pris en considération :

- Le refroidissement préalable du fond du puits d'injection en y envoyant du CO₂ liquide et de l'azote. Le CO₂ liquide était amené par des tuyaux fins. dits : "macaronis", jusqu'au pied de Th 1, ceci dans le but de prévenir l'autoallumage à Th 1. Pendant la formation du chenal, la concentration d'oxygène dans l'air injecté était réduite et l'injection de CO₂, entretenue.
- Le remplacement du réchauffeur électrique au pied de Th 2 par un brûleur fonctionnant au méthane, au propane ou même au gasoil permettant d'atteindre des températures de l'ordre de 800 - 900° C. L'oxygène et le combustible passaient par des "macaronis" jusqu'au brûleur. La mise à feu du brûleur se faisait au moyen de T.E.B. (tri-ethyl-borane).

- Tijdens het achterwaarts branden werd de druk in Th 2 zo laag mogelijk gehouden. Air lifting verwijderde het water in de boringen.

De brander werd in eigen regie ontworpen, gebouwd en getest te Thulin in een autoclaaf van eigen makelij.

De boringen werden uitgerust op basis van deze elementen. In Th 1 werden de nodige macaroni's en thermokoppels bevestigd aan de centrale tubing van 1"66. In Th 2 werd de brander aan een identieke tubing vastgemaakt.

De bovengrondse installaties werden terzelfder tijd aangepast : verhoging van de capaciteit van de zuurstof- en stikstofvoorziening; ombauw van de HD compressoren, plaatsen van een CO₂-installatie en opbouw van een HD propaan-pompinrichting met regelbaar debiet.

Na 20 dagen voorkoeling met CO₂ van de voet van de injectieboring, begon op 3 september 1983 een nieuwe proef tot kanaalvorming door achterwaartse verbranding. Na 62 uur trad weer zelfontsteking aan de voet van de injectieboring Th 1 op. Na 51 uur branden van de fakkel ondervaan Th 2 werd de ontsteking van de kolen aldaar waargenomen.

Als gevolg van de breuk van de 1"66 tubing werd het experiment ten slotte stopgezet.

In oktober en november 1983 werden de boringbodems opnieuw "schoongemaakt" en opnieuw uitgerust met buizen in roestvrij staal. In de 2e helft van november werd de voet van Th 1 opnieuw gekoeld. Daarna werden de kolen langs Th 1 met stikstof en langs Th 2 met propaan gedrenkt om also bij de ontsteking, de uitbreiding van de vuurhaard bij Th 2 te bevor deren.

Op 5 december 1983 werd de ontstekingsfakkel opnieuw aangestoken. 34 uur na de herneming van de luchtingejectie ontstond weer zelfontsteking bij Th 1, die verder met N₂ en CO₂ bestre den werd. Het drenken van de kolen met propaan had geen resultaat en kort na het doven van de fakkel daalde de temperatuur in Th 2 snel. Opnieuw werd de fakkel ontstoken. Deze maal werd het mengsel van lucht en hete gassen in de kolen geperst. De ontsteking van de kolen bij Th 2 had plaats en de proef werd verdergezet tot 16 januari 1984, toen een nieuwe tubingbreuk er een einde aan maakte.

Er werd een nieuwe tubing met reservemateriaal maar zonder fakkel in Th 2 geplaatst.

- La réduction maximale possible de la pression à Th 2 pendant la rétrocombustion et l'évacuation de l'eau par air-lifting.

Le brûleur a été conçu, fabriqué et testé à Thulin dans un autoclave de fabrication "maison".

Les sondages ont été équipés en fonction de ces concepts. Dans Th 1 les "macaronis" et thermocouples étaient fixés à un tubing central de 1"66. Dans Th 2 le brûleur a été fixé à un tubing identique.

En même temps, les installations de surface ont été adaptées : augmentation des capacités d'alimentation en azote et en oxygène, adaptation des compresseurs HP, mise en place d'une installation pour le CO₂ et montage de pompes réglables pour l'injection de propane.

Après une période de 20 jours de refroidissement du fond du puits d'injection au moyen de CO₂, une nouvelle tentative de réalisation d'un chenal par rétrocombustion a débuté le 3 septembre 1983. Après 62 heures, on a à nouveau observé l'autoallumage au fond du puits Th 1. 51 heures après l'allumage de la torche au fond de Th 2, on a observé l'allumage du charbon à Th 2. Enfin, suite à une rupture du tubing de 1"66, il a fallu interrompre l'essai.

En octobre et novembre 1983 les fonds de puits ont été nettoyés et rééquipés d'éléments en acier inoxydable. Pendant la seconde moitié du mois de novembre, le puits Th 1 a été refroidi. Ensuite, on a imprégné la couche du côté de Th 1 avec de l'azote et du côté de Th 2 avec du propane afin de favoriser, lors de la mise à feu, l'extension de la zone de feu près du puits Th 2.

Le 5 décembre 1983, la torche a été mise à feu. 34 heures après la reprise de l'injection d'air, il y a eu à nouveau autoallumage près de Th 1 qu'on a continué de combattre avec du CO₂ et de l'azote. L'imprégnation avec du propane n'a pas eu d'effet et peu de temps après l'arrêt du brûleur, la température dans Th 2 descendait rapidement. On a alors réallumé la torche et injecté les gaz chauds mélangés avec de l'air dans la couche. Le charbon s'est allumé près de Th 2 et l'essai s'est poursuivi jusqu'au 16 janvier 1984, date où une nouvelle rupture de tubing s'est produite.

Un nouveau tubing avec du matériel de réserve, mais sans brûleur, fut installé dans Th 2.

Op 3 februari 1984 begon opnieuw de injectie van lucht met CO₂ in Th 1. Tot mei 1984 werden de proeven verdergezet. De kolen moesten nu vanzelf ontbranden onder invloed van de injectie van lucht met CO₂ in Th 1. De zelfontsteking bij Th 1 bleef achterwege, wellicht als gevolg van de koeling en het inhiberend effect van CO₂ op de reactiviteit van de kolen.

In de loop van de test werd op 19 maart en ook op 19 april zelfontsteking bij Th 2 waargenomen. Hoewel de ontsteking van 19 maart kort daarop gestoord werd door een tubingbreuk, kon de ontsteking van 19 april in stand gehouden worden als een vergassingsproces gedurende 12 dagen. De temperatuur gemeten boven de steenkoollaag bleef variëren tussen 350 en 500° C en de calorische waarde van het gas varieerde tussen 1800 en 2500 kJ/Nm³.

Tabel 1 geeft de voornaamste data van deze proeven weer.

Men kan besluiten dat de kolentemperatuur in de omgeving van Th 2 steeds boven de 800° C gebleven is. In die periode van 12 dagen werd ca 4 ton kolen in de omgeving van Th 2 omgezet in gas. Maar niets wees erop dat deze nochtans gunstige omstandigheden tot een begin van kanaalvorming hebben geleid. De Xenon tracer tests geven curven die niet betekenisvol verschilden van de vorige.

Uit al deze proeven en vooral de laatste werden de volgende conclusies getrokken :

- Het is uiterst moeilijk, zelfontsteking bij de injectieboring te voorkomen. Het gebruik van CO₂ en de mogelijkheid om brandhaarden te disperseren, laten wel toe hun effect te beperken.
- Men kan wel de gewenste zelfontsteking bij de opvangboring opwekken, zelfs zonder toorts.
- De opgevangen gassen zijn - hier althans - uiterst corrosief, ook op bepaalde speciale staalsoorten.
- Niettegenstaande de 12 dagen durende vergassing en de gunstige omstandigheden,onden geen aanwijzingen gevonden worden voor een aanzet van kanaalvorming.

Le 3 février 1984 commençait à nouveau l'injection d'air et de CO₂ dans Th 1. L'expérience s'est poursuivie jusqu'au mois de mai 1984. Le charbon devait s'allumer sous l'influence de l'air mélangé au CO₂ venant de Th 1. Il n'y a pas eu d'autoallumage à Th 1, probablement sous l'effet conjugué du refroidissement par le CO₂ et de l'effet inhibiteur du CO₂ sur la réactivité du charbon.

Au cours de ce test, on a observé le 19 mars un allumage du feu près de Th 2 ainsi que le 19 avril. Bien que l'allumage du 19 mars ait été perturbé par une rupture de tubing, le feu allumé le 19 avril a pu être entretenu pendant 12 jours sous la forme d'un processus de gazéification. La température mesurée quelques mètres au dessus du charbon continuait à varier entre 350 et 500° C. Le pouvoir calorifique du gaz récupéré variait entre 1800 et 2500 kJ/Nm³.

Le tableau 1 résume les données principales de cette expérience.

On peut conclure que la température dans le charbon aux environs de Th 2 se situait au dessus de 800° C et qu'environ 4 tonnes de charbon ont été converties en gaz pendant 12 jours. Mais, malgré les circonstances favorables, on n'a pas pu déceler le moindre indice de formation d'un chenal. Les tests de traçage au Xénon donnaient des courbes qui ne différaient pas de façon significative des précédentes.

De tous ces essais et en particulier du dernier, se dégagent les conclusions suivantes :

- Il est extrêmement difficile de prévenir l'autoallumage près des points d'injection. L'utilisation du CO₂ et la possibilité de disperser les foyers, permettent d'en atténuer les effets.
- Il est possible de provoquer l'autoallumage souhaité près du puits de récupération, même sans torche.
- Les gaz récupérés - au moins ici - sont extrêmement corrosifs ; ils ont un effet destructif, même sur certains aciers inoxydables.
- Bien que les conditions aient été favorables, la gazéification pendant 12 jours n'a pas donné naissance à un chenal, ni même à un début de formation de chenal.

Verdere studie van de tracercurven en van het verloop van de globale permeabiliteit hebben de zeer belangrijke invloed van de terreindrukken aangetoond.

De kolen aan de rand van een open ruimte ondergaan een verhoogde lithostatische druk, waardoor hun samenhang verbroken wordt. De barsten die in die zone gevormd worden, worden door het zwollen van de kolen in hun vorming tegengewerkt. Men kan bij cocurrente verbranding tonnen kolen verbranden, zonder dat de gevormde kanalen open blijven. Men kan dus stellen dat kanaalbranden door achterwaartse verbranding op grote diepte zo goed als onmogelijk is - hoewel zulke stelling geen wetenschappelijk bewijs voor de onmogelijkheid ervan vormt. De methode is, hoe dan ook, uiterst moeilijk te verwezenlijken en nauwelijks te beheersen, zodat een industriële ontwikkeling van de ondergrondse vergassing op basis van deze methode niet overwogen kan worden.

Deel II. De Belgisch-Duitse proeven op basis van gerichte boringen.

II.1. De overgang naar de techniek van de gerichte boringen.

Na de test van april 1984 moesten nog enkel, worden nagegaan of, en in welke mate, gerichte boringen konden aangewend worden voor het realiseren van een kanaal in de laag tussen twee boringen die van op de bovengrond aangelegd zijn. Deze technieken zijn in de laatste jaren sterk geëvolueerd en men kan aannemen dat ze repetitief uitvoerbaar zijn.

Een werkgroep ad hoc kwam tot de volgende bemeringen :

- Voor de aanleg van verbindingen tussen boringen, in de laag, komen afgebogen boringen met grote buigingsstraal, maar ook afgebogen boringen met kleine buigingsstraal, of de combinatie ervan, in aanmerking.
- In Thulin heeft men 4 vertikale boringen ; in de omgeving is de afzetting goed bekend, zowel de kolenlagen als de omsluitende gesteenten. Het gebied is niettemin geologisch sterk gestoord, hetgeen moeilijkheden kan opleveren voor het gericht boren met grote straal. Bovendien is de voet van beide betrokken boringen Th 1 en Th 2 zwaar beïnvloed door de vroegere proeven.
- De afbuiging met kleine straal vanuit de bestaande vertikale boringen moet als de meest aangewezen techniek beschouwd worden voor dit geval.

Vandaar dat voor de toekomst - 1985/86 het volgende voorzien werd :

Des études plus approfondies des courbes de tracer-tests et de l'évolution de la perméabilité globale ont démontré l'influence très importante des pressions de terrain.

Le charbon se trouvant au bord d'un espace vide subit des pressions lithostatiques accrues, de sorte qu'il est désagrégé. La formation des fissures dans cette zone est contrebarée par le foisonnement de la houille. En combustion à co-courant on peut brûler des tonnes de charbon sans que les chenaux en formation ne restent ouverts. On peut donc admettre que la formation d'un chenal par rétrocombustion est quasi impossible à grande profondeur encore qu'il ne s'agit pas là d'une preuve scientifique de cette impossibilité. De toute façon, cette méthode est extrêmement difficile à mettre en oeuvre, et elle est à peine maîtrisable. En conclusion, l'industrialisation de la gazéification souterraine à grande profondeur ne peut être envisagée si elle doit se baser sur cette méthode.

Deuxième partie. Les essais belgo-allemands par forage.

II.1. Le passage à la technique des forages dirigés.

Après les essais d'avril 1984, il restait à voir si - et dans quelle mesure - des sondages dirigés pourraient être mis en œuvre pour la réalisation d'une liaison en couche entre deux sondages forés à partir de la surface. Les techniques de forage dirigé ont beaucoup évolué ces dernières années et on peut admettre qu'ils peuvent être réalisés de façon répétitive.

Un groupe de travail ad hoc a émis les avis suivants :

- Les sondages dirigés à grand rayon aussi bien qu'à faible rayon et leur combinaison peuvent être considérés comme utilisables en vue de créer une liaison en couche.
- A Thulin, existent déjà quatre forages verticaux et à l'intérieur de l'étoile les formations sont bien connues. Le gisement est cependant fort perturbé, ce qui peut créer des difficultés pour les forages dirigés à grand rayon. De plus, les pieds des sondages Th 1 et Th 2 ont subi de fortes altérations dues aux essais précédents.
- L'exécution d'une courbe à faible rayon partant d'un sondage vertical existant doit être considérée comme la plus appropriée au cas envisagé.

Dès lors, les prévisions pour 1985/86 étaient les suivantes :

- de aanleg van een "drainhole" in de laag, vertrekend vanuit Thulin 1. In de drainhole wordt onmiddellijk na de aanleg een flexible of een gearticuleerde buis ter ondersteuning aangebracht. Het geheel wordt dan uitgerust met tubings, thermokoppels, macaroni's en een brander. Deze boring wordt de injectie-boring.

- uitgaande van Th2 wordt een "side-track" naar de drainhole toe aangelegd. De uitrusting met verbuizing van de side-track, de plaatsing van tubings, macaroni's en thermokoppels moeten Th 2 geschikt maken om te fungeren als extractie-boring ;

- vervolgens wordt een communicatie-test en zo nodig een linking van de resterende meters door cocurrente verbranding uitgevoerd.

- tenslotte gaat men over tot de vergassingsproeven met verschillende types van reagentia. Voor zover dat mogelijk is, past men een variante toe van de CRIP-methode (Controlled Retraction of Injection Point).

II.2. De voorbereidingen van de proeven op basis van gerichte boringen.

De uitvoering van de drainhole, van de side-track, samen met de noodzakelijke aanpassingen op de bovengrond, dit alles heeft zeer veel tijd gevraagd, voornamelijk omwille van de zeer lange leveringstermijnen van elementen in speciale staalsoorten. Aan de bestellingen voor deze elementen is een grondige studie over de corrosiebestendigheid van de te gebruiken grondstoffen voorafgegaan.

De aanpassingen op de bovengrond behelsden voornamelijk :

- de ombouw van de HD-luchtcompressoren : de 5e trap werd vervangen door membraan-compressoren die aan 400 bar kunnen werken ;

- de verhoging van de capaciteit van de stikstofvoorziening, het installeren van een zuurstofinstallatie met veel hogere capaciteiten met nieuwe pompen, verdampers, stuuropparatuur ;

- de verhoging van de mogelijkheden van de CO₂-installatie ;

- aménagement d'un drain (drainhole) en couche, partant de Th 1. Le drainhole sera pourvu immédiatement d'un revêtement flexible ou articulé assurant son soutènement. L'ensemble sera équipé de tubings, de macaronis, de thermocouples et d'un brûleur. Ce forage sera utilisé comme puits d'injection ;

- création d'une déviation (side-track) vers le drainhole à partir de Th 2. L'équipement avec casing, tubings, thermocouples etc. devra prévoir l'utilisation de Th 2 comme puits d'extraction ;

- mise en route, ensuite, d'un essai de communication et si nécessaire de linking des derniers mètres par combustion à "co-courant" ;

- exécution, enfin, d'essais de gazéification avec différents agents gazéifiants. Pour autant que ce soit possible on appliquera une variante de la méthode CRIP (Controlled Retraction of injection Point).

II.2. Les préparatifs des essais basés sur les sondages dirigés.

L'exécution du drainhole, du side-track, ainsi que les adaptations nécessaires en surface ont pris beaucoup de temps, surtout à cause des délais de livraison très longs des éléments en aciers spéciaux. Il a fallu une étude approfondie de la résistance à la corrosion des matières premières de certains éléments d'équipement avant de pouvoir procéder à la commande de ces équipements.

Les travaux d'adaptation en surface comportaient principalement :

- la transformation des compresseurs HP : leur cinquième étage a été remplacé par des compresseurs à membrane pouvant atteindre 400 bar au refoulement ;

- l'augmentation de la capacité de l'alimentation en azote, l'installation d'un réservoir d'oxygène de plus grande capacité avec de nouvelles pompes, d'évaporateurs et d'un appareillage de commande ;

- l'augmentation des capacités de l'installation de CO₂ ;

- de opbouw in eigen regie van een fluidum-verdelingscentrum dat toelaat elk gewenst fluidum (of mengsels ervan) te sturen naar elke gewenste aansluiting aan de "christmas-tree" van elke der beide boringen ;
- de opbouw van talrijke nieuwe elementen in de "christmas-tree" van elke boring en de aansluiting ervan.

Fig. 5 geeft een vereenvoudigd schema van de toestand na deze werken.

In de put Th 1 werden de volgende werken uitgevoerd :

- het schoonmaken van de voet van de boring, cementering ervan en naboring om een stabiele aanzet voor de kromming te kunnen plaatsen ;
- de uitvoering van de kromme boring (straal 12,8 m) en van de drainhole in de laag van 27 m) ;
- de inbreng van een gearticuleerde buis in de drainhole en de kromming ;
- de inbreng van een aansluitende 5" - tubing ;
- de inbreng van een 42 mm HD-stalen flexibele buis met binnennin een bundel macaroni's en thermokoppel, en met een brander vooraan. Tijdens het inbrengen ervan in de boring is men gestuit op een vernauwing van onbekend gebleven oorsprong boven de aanzet van de kromming. Men moet vrede nemen met het plaatsen van de brander juist boven de aanzet van de kromming. De toepassing van de CRIP methode was dus onmogelijk.

In de put Th 2 werd de side-track uitgevoerd, gericht om te "landen" in de laag op korte afstand van de drainhole. De uitrusting van Th 2 werd in het vooruitzicht van de opvang van corrosieve gassen voor een gedeelte in speciale staalsoorten uitgevoerd. De uitrusting bestond uit : de verbuizing van de side-track, een tubing van 4" die binnennin aansluit bij de 5" tubing ; een centraal gelegen 1"66 tubing met thermokoppeld, macaroni's en een brander.

- le montage en régie propre d'une unité de distribution des fluides qui permet d'envoyer n'importe quel fluide (ou des mélanges) vers n'importe quelle connection sur le "christmas-tree" de chacun des puits ;

- le montage de multiples nouveaux éléments sur les "christmas-tree" et leurs raccordements.

La Fig. 5 représente un schéma simplifié de la situation après ces travaux.

Dans le puits Th 1, on a effectué les travaux suivants :

- le nettoyage du fond de puits, sa cimentation et le reforage dans le bloc cimenté afin d'obtenir un point d'appui solide pour le support de départ de la courbe à forer ;
- l'exécution du forage en courbe (rayon 12,8 m.) et du drainhole de 27 m de longueur dans la couche.;
- la mise en place d'un tuyau articulé dans le drainhole et la courbe ;
- la mise en place d'un tubing 5" raccordé au tuyau articulé ;
- la mise en place d'un tuyau flexible HP en acier d'un diamètre de 42 mm qui contient un faisceau de macaronis et de thermocouples et qui porte à son extrémité un brûleur. Pendant cette mise en place on s'est heurté à un rétrécissement du passage intérieur du tubing de 5", dont on ignore l'origine. Il a fallu se contenter d'installer le brûleur un peu au-dessus du début de la courbe. La méthode CRIP n'a donc pu être appliquée.

Dans le puits Th 2, le side-track a été dirigé de façon à "atterrir" dans la couche très près du drainhole. L'équipement de Th 2 a été réalisé partiellement en aciers spéciaux en vue de la récupération de gaz corrosifs. L'équipement de Th 2 comportait : le casing du side-track, un tubing de 4" à l'intérieur raccordé à un tubing de 5", un tubing central de 1"66 portant les therouples, les macaronis et un brûleur à son extrémité.

Fig. 6 schematiseert de toestand na al deze bewerkingen.

Na de beëindiging van deze uitrustingswerken werd een communicatietest uitgevoerd met goed gevolg : onder een overdruk van 170 bar ontstond een perfecte verbinding tussen de twee boringen.

III. 3. De vergassingsproeven.

De vergassingsproeven hebben een aanvang genomen op 9 oktober 1986 en zij hebben tot eind april 1987 geduurde. Tabellen 2, 2bis en 2ter geven een samenvatting van de voornaamste data, zijnde gemiddelden geldig voor perioden waarin de basisomstandigheden gelijkaardig waren.

Bij de eerste vaststelling van de zelfontsteking mocht men aannemen dat zij zich stroomopwaarts van de steenkolen voorgedaan heeft tussen drainhole en Th 2.

Van 19 oktober tot 5 november heeft men getracht de vuurhaard stroomopwaarts te doven en zelfontsteking bij Th 2 te veroorzaken. Blijkbaar is men daarin geslaagd : op het einde van de periode was de schijnbare permeabiliteit in de verhouding 5/1 vergroot. Er was een zich uitbreidende zone van pyrolyse ontstaan, die zich achterwaarts uitbreidde.

Van 5 tot 20 november trachtte men de pyrolysezone uit te breiden door luchtingejectie met 1 en dan met 2 compressoren : de pyrolysezone breidde zich uit maar de schijnbare permeabiliteit nam niet meer toe ; wellicht begon de druk van het omgevend gesteente zijn effect te laten gevoelen.

La fig. 6 schématiseert la situation après tous ces préparatifs.

Après ces travaux, un test de communication avait donné un bon résultat sous une surpression de 170 bar : une communication parfaite s'était en effet établie entre les deux puits.

III. 3. Les essais de gazéification.

Les essais de gazéification ont débuté le 9 octobre 1986 et ont duré jusqu'à la fin du mois d'avril 1987. Les tableaux 2, 2bis et 2ter donnent un résumé des résultats moyens obtenus durant des périodes au cours desquelles les conditions de fonctionnement sont restées relativement stables.

Lors de l'observation de l'allumage du charbon, il y avait des raisons de croire que le feu se situait en amont du charbon se trouvant entre le drainhole et Th 2.

Du 19 octobre au 5 novembre, on a essayé de réduire le feu en amont et de provoquer un autoallumage près du Th 2. Cette opération a réussi : à la fin de cette période, la perméabilité apparente était remontée dans la proportion de 5/1. Une zone de pyrolyse s'était développée à contrecourant du sens de l'écoulement.

Du 5 au 20 novembre : on essaya d'agrandir la zone pyrolysée en injectant de l'air avec un puis deux compresseurs : la zone pyrolysée s'est agrandie mais la perméabilité apparente n'augmentait plus ; il est probable que la pression des terrains encaissants commençait à se manifester.

Van 20 tot 28 november poogde men een gelijkstroomvergassing van de semi-coke in te leiden, maar de achterwaartse pyrolyse ging verder.

Van 28 november tot 5 december werd de poging tot gelijkstroomvergassing van de reeds gepyrolyseerde zone voortgezet, nu met injectie van een zuurstof-, stikstofwaterschuim met hoog zuurstofgehalte.

Men stelde, gedurende enkele dagen, een aanzienlijke verhoging van het verbruik aan vaste koolstof vast ; dit leek te bevestigen dat men overging naar de vergassing van de voorafgevormde half-coke.

Van 4 tot 30 december bleef men het zuurstof-, stikstof-, waterschuim injecteren.. Het systeem evolueerde naar een stabiele toestand waarbij de reactor radiaal uitbreiding nam en waarbij warme gassen in de kolen rond de reactor filtreerden, zodat de pyrolyse in die zone verder ging. Een trage permeabiliteitsvermindering zou te wijten zijn aan de uitbreiding van de reactor.

Van 30 december 1986 tot 8 januari 1987 trachtte men de permeabiliteit rond Th 2 te verbeteren door luchtingjectie in beide boringen tegelijk. Uiteindelijk verhoogde de schijnbare permeabiliteit met 50 0/00.

Van 10 tot 26 januari 1987 wou men weer gelijkstroomvergassing bekomen van de reeds gepyrolyseerde zone, eerst door schuiminjectie de eerste 2 dagen, daarna luchtingjectie.

Het verbruik aan vast koolstof steeg, de metaanproductie daalde, en de temperatuur van de voet van Th 2 steeg. Het doel was deels bereikt, maar het gas was zeer arm.

Vanaf 28 januari wou men de gelijkstroomvergassing verderzetten maar ook de gaskwaliteit verbeteren, door middel van schuim met andere samenstelling : het vaste koolstofverbruik bleef groot en de gaskwaliteit verbeterde. De temperatuur in Th 2 daalde ; de schijnbare permeabiliteit was stationair.

Du 20 au 28 novembre, on essaya d'entamer la gazéification à "cocourant" du semi-coke déjà formé mais la rétropyrolyse continuait.

Du 28 au 5 décembre, on continua la tentative de réalisation de la gazéification à "cocourant" en injectant une mousse formée d'oxygène, d'azote et d'eau à haut pourcentage d'oxygène.

Pendant quelques jours, une augmentation sensible de la consommation de carbone fixe fut constatée, ce qui semblait confirmer que l'on évoluait vers une gazéification de semi-coke formé précédemment.

Du 4 au 30 décembre, on continua à injecter la mousse composée d'oxygène, d'azote et d'eau à haute teneur en oxygène. Le système évolua vers une situation stable, pendant laquelle le réacteur s'agrandit radialement tandis que des gaz chauds filtraient à travers la zone entourant le réacteur : ainsi donc la pyrolyse continuait. La constatation d'une lente diminution de la perméabilité apparente serait due à l'extension que prenait le réacteur.

Du 30 décembre 1986 au 8 janvier 1987 on tenta d'améliorer la perméabilité autour de Th 2 en injectant de l'air dans les deux puits en même temps. Il en est résulté une augmentation de la perméabilité apparente de 50 0/00.

Du 10 au 26 janvier 1987 on a tenté à nouveau de gazifier la zone pyrolysée, d'abord avec la mousse pendant 2 jours, puis en injectant de l'air.

La consommation en carbone fixe augmentait, la production de méthane diminuait et la température au pied de Th 2 montait. Le but fixé était partiellement atteint, mais le gaz produit était très pauvre.

A partir du 28 janvier, on s'est évertué à continuer la gazéification à co-courant, mais aussi à améliorer la qualité du gaz en utilisant une autre composition de mousse. La consommation de carbone fixe restait élevée, la qualité du gaz s'améliorait, la température dans Th 2 descendait et la perméabilité apparente restait stationnaire.

Men stelde vast dat de mogelijkheid ontbrak om de injectiedebieten op te drijven omwille van de begrenste injectiedruk van de zuurstof-pompen. Vanaf 18 februari werden voorbereidingen getroffen om de zuurstofinstallatie aan te passen. Na de vervanging van de nodige toestellen ging men vanaf 11 maart geleidelijk over tot het opnieuw injecteren van zuurstof-waterschuim. Vanaf 21 maart was men weer in regime, bij een tegendruk van 40 bar aan TH 2 ; op 10 april werd de tegendruk opgevoerd tot 100 bar. In deze periode bereikte men gedurende 20 uur een piekvermogen van ca 1 MW.

Begin mei werden de proeven stilgelegd.

In de gegeven omstandigheden kan men een gas produceren met een stabiele samenstelling, relatief rijk aan methaan ; de samenstelling is vergelijkbaar met de theoretische samenstelling van een gas, dat volgens de reacties van Boudouard zou ontstaan bij een verondersteld evenwicht bij 100 bar en 550° C (tabel 3).

Na uitwassen van de CO₂ - wat relatief gemakkelijk is - zou men een gas van zeer goede kwaliteit bekomen.

Deel III. Globale besluiten. Perspectieven.

III.1. Besluiten uit de voorbije proeven.

Uit de nu gekende gegevens op het gebied van de ondergrondse vergassing op grote diepte, kan men enkele richtinggevende besluiten trekken van belang voor verder onderzoek in de richting van industriële toepassingen.

1° Over electrolinking : men heeft nog geen inzicht in deze methode en de verwachtingen zijn niet positief.

2° Over de achterwaartse verbranding : men is nagenoeg zeker dat de achterwaartse verbranding slechts voor korte afstanden (...2...3...m) bruikbaar is en dat de methode geen solide basis is voor industriële ontwikkeling omwille van talrijke parameters die niet of uiterst moeilijk te beheersen zijn. Ze mag wel als een hulpmiddel beschouwd worden, maar niet als basismethode.

3° Over de corrosie in de opvangboringen : bij de aanvang handelt men met dit probleem niet voldoende rekening gehouden ; in verschillende stappen heeft men de kwaliteit van de gekozen materialen verbeterd en ook de temperatuurbeheersing opgevoerd.

On se trouvait dans l'impossibilité de faire monter les débits d'injection du fait de la limitation en pression admissible dans les pompes à oxygène. A partir du 18 février les dispositions ont été prises pour améliorer l'installation d'oxygène. Après le remplacement des appareils, à partir du 11 mars, l'injection fut reprise graduellement en faisant monter les débits de mousse. A partir du 21 mars, on a fonctionné à nouveau en régime sous une contre-pression de 40 bar à TH 2 ; le 10 avril on fit monter la contre-pression à 100 bar et pendant cette période, on a atteint une puissance thermique maximale de ± 1 MW pendant 20 heures.

Début mai, les essais ont été arrêtés.

Dans les circonstances actuelles il est possible de produire un gaz de composition stable, relativement riche en méthane ; la composition est comparable à la composition théorique d'un gaz obtenu selon les réactions de Boudouard à un équilibre établi à 100 bar et 550° C (tableau 3).

Après élimination de CO₂ - ce qui est relativement facile - on obtiendrait un gaz d'une excellente qualité.

Troisième partie. Conclusions générales. Perspectives.

III.1. Leçons à tirer des essais.

Dès à présent, on peut tirer quelques conclusions générales concernant la gazéification souterraine à grande profondeur car elles sont importantes pour les recherches ultérieures visant des réalisations industrielles.

1° Concernant l'électrolinking : on n'a pratiquement pas d'informations et on ne s'attend pas à des résultats positifs.

2° Concernant la rétrocombustion : on est pour ainsi dire certain que la rétrocombustion n'est utilisable que pour de courtes distances (...2...3...m) et que la méthode ne constitue pas une base solide pour un développement industriel à cause de nombreux paramètres qu'on peut à peine maîtriser. Elle peut être considérée comme une méthode d'appoint mais non comme une méthode de base.

3° Concernant la corrosion dans les puits de production : au début, on n'a pas assez tenu compte de ce problème ; par étapes, on a amélioré la qualité des matériaux et on a trouvé le moyen de maîtriser les températures dans les puits.

Men heeft nog geen zekerheid over de levensduur van de elementen vervaardigd in speciale staallegeringen. Hoe dan ook, de bescherming tegen corrosie moet verder bestudeerd worden, o.m. de moderne temperatuur weerstandige coatings en de inerte materialen van de nieuwe generatie.

4° Over de verbinding (linking) door gerichte boringen : een drainhole aanleggen in de laag lijkt op het eerste gezicht niet al te moeilijk. Toch is er een hoge graad van onzekerheid in twee domeinen.

De laag blijven volgen over grotere afstand is één aspect. De techniek van geplante sensoren, die reageren op de aard van de aangeboorde materie bestaat, maar werd in deze kontext nooit toegepast.

Een tweede aspect geldt de richting : richting houden en corrigeren zijn zeer moeilijk en vergen talrijke metingen. Deze metingen zijn niet erg betrouwbaar. Er is een hoge graad van onzekerheid over het werkelijk verloop van de drainhole en die onzekerheid wordt groter naar mate men verder verwijderd is van de aanzet. Een verbetering van de methodes van azimuthmetingen in de drainhole dringt zich op.

Een side-track richten naar een bepaalde "landingspunt" is veel preciezer mits men voldoende hoog vertrekt. Maar dan moet de plaats van het "landingspunt" met voldoende precisie gekend zijn.

De combinatie van drainhole en side-track, waarbij deze laatste als correctiemiddel dient, is wellicht repetitief uitvoerbaar mits enige voorstudie.

5° Over de vergassing zelf :

Na de mislukkingen met het kanaalbranden, had men met de vergassing enig succes in april '84 en gunstige resultaten sedert oktober '86 tot april '87.

Dit laatste resultaat werd bekomen in specifieke omstandigheden : water-zuurstof-schuim injectie onder zeer hoge druk met diffusie doorheen de kolen onder behoud van + 100 bar aan de opvangboring.

In eerste benadering is aldus de "feasibility" van de ondergrondse vergassing op grote diepte aangetoond.

On n'a pas encore de certitude au sujet de la durée de vie des éléments en acier spéciaux. Il faudra en tous cas réétudier les moyens de protection anticorrosion, c.à.d. les revêtements modernes résistant aux températures élevées et les matériaux inertes de la nouvelle génération.

4° Concernant la liaison (linking) par forage dirigé : la mise en place d'un drain (drainhole) dans la couche ne semble pas être trop difficile. Il y a cependant un degré élevé d'incertitude dans deux domaines.

Rester dans la couche sur de grandes longueurs est un premier problème. La technique de capteurs réagissant à la nature de la matière rencontrée existe, mais n'a pas encore été appliquée dans ce contexte.

Le second problème concerne la direction : garder la direction et la corriger sont très difficiles et exigent de nombreuses mesures, celles-ci ont un degré élevé d'incertitude. Ainsi, il reste une incertitude importante quant à la forme réelle du drainhole, qui devient plus grande au fur et à mesure qu'on s'éloigne du point de départ. Une amélioration des méthodes de mesure de l'azimuth dans le drainhole s'impose.

Diriger un side-track vers un point "d'atterrissement" choisi se fait d'une façon plus précise si on démarre assez haut. Au moins faut-il connaître le point d'atterrissement avec assez de précision.

La combinaison d'un drainhole et d'un side-track qui fait office de moyen correctif semble bien être réalisable de façon répétitive moyennant certaines études préalables.

5° Concernant la gazéification :

Après les échecs en matière de rétrocombustion, on a eu un certain succès en gazéification en avril '84 et un succès certain à partir d'octobre '86 jusqu'avril '87.

Ce dernier résultat a été obtenu sous des conditions particulières : injection sous très haute pression d'une mousse eau-oxygène diffusant dans la couche en gardant la pression très élevée de + 100 bar dans le puits de récupération.

En première approximation, la "faisabilité" de la gazéification souterraine à grande profondeur a été ainsi démontrée.

Men moet daar onmiddellijk aan toevoegen dat verdere studie van de gegevens, nader onderzoek naar nieuwe data, analyses van tracers nodig zijn om een grondig inzicht te verwerken in de werking van de ondergrondse reactor.

Vervolgens kan men trachten het systeem te laten werken met andere reagentia.

III.2. Perspectieven.

1. Voorwoord.

Het in Thulin sedert oktober 1986 toegepaste systeem is blijkbaar aangepast aan de karakteristieken eigen aan diepgelegen lagen.

Het programma voorzag een andere werkwijze, maar toen men stootte op de vernauwing in de injectieboring, zodat men moest afzien van de CRIP methode, is men noodgedwongen overgegaan tot de diffusie van de reagentia doorheen de kolen. De keuze van het zuurstof-waterschuim was één van de mogelijkheden, zij heeft geleid tot de eerste blijvende succesrijke resultaten voor de productie van gas.

Het is logisch dat men deze methode verder bestudeert en dat men zoekt ze te verbeteren.

De diffusie onder zeer hoge druk van een zuurstof-waterschuim laat dus toe, in één operatie een methaanrijk gas te produceren. De vraag is : kan men hieruit een economisch haalbare methode ontwikkelen ?

Theoretische beschouwingen leiden ertoe aan te nemen dat zeer hoge druk moet samengaan met relatief lage temperaturen om een methaanrijk gas te produceren.

De ondergrondse reactor kan zeer grote afmetingen aannemen en toch aan zeer hoge druk weerstaan. Op grote diepte en met voldoende schieferdekking is het geen probleem drukken hoger dan de fracturatielijn van de kolen toe te passen. De reactor zou ook groot genoeg moeten worden om zeer grote debieten toe te laten.

Il faut ajouter immédiatement que des études plus poussées, l'examen de nouvelles données et l'analyse des essais de traceurs seront nécessaires pour acquérir une connaissance approfondie du fonctionnement du réacteur souterrain.

On pourrait ensuite chercher à faire fonctionner le système avec d'autres agents de gazéification.

III.2. Perspectives.

1. Avant-propos.

Le système appliqué à Thulin depuis octobre 1986 est vraisemblablement bien adapté aux conditions particulières propres aux couches profondes.

Le programme prévoyait une autre méthode mais lorsqu'on s'est trouvé devant l'étranglement dans le tubing d'injection, il a bien fallu abandonner la méthode CRIP et se résoudre à faire diffuser les réactifs à travers le charbon. Le choix de la mousse oxygène-eau était une des possibilités ; il a conduit à la première réussite durable en gazéification à grande profondeur.

Il est logique que l'on s'applique à étudier cette méthode et qu'on cherche à l'améliorer.

La diffusion d'une mousse eau-oxygène à très haute pression permet donc de produire directement un gaz riche en méthane.
Peut-on développer sur cette base une méthode qui soit économiquement valable ?

Des considérations théoriques mènent à admettre qu'il faut de très hautes pressions combinées avec des températures relativement basses pour obtenir un gaz riche en méthane.

Un réacteur souterrain peut prendre de très grandes dimensions et résister en même temps à des pressions très élevées. A grande profondeur et avec une couverture d'une grande épaisseur de schistes, il n'y a pas de problème pour appliquer des pressions plus élevées que la pression de fracturation du charbon.
Le réacteur devrait aussi prendre des dimensions suffisantes pour permettre le passage de grands débits.

Het na te streven procédé bestaat dan uit :

- een periode van pyrolyse waarbij het hete front zich uitbreidt in tegengestelde zin t.o.v. de beweging van het reagens. Semi-coke blijft achter. De opgevangen gassen zijn een mengsel van verbrandingsgassen en vrijgekomen vluchtige bestanddelen.

- een periode van vergassen van de koolstof, gekenmerkt door een verhoging van de debieten aan reagentia gepaard met een percentuele verhoging van het water in de reagentia.

In principe bekomt men aldus een gas zoals voorgesteld in tabel III.

In de huidige omstandigheden blijkt het moeilijk, een schijnbaar permeabiliteit te bekomen, nodig om grote debieten te realiseren. Een ander concept van de ondersteuning van de drainhole kan daaraan een oplossing bieden.

Men heeft nu een meer realistische kijk dan voorheen, over één manier waarop men kolen kan omzetten in een methaanrijk gas, en dat met een behoorlijke kans op economische haalbaarheid.

2. De verdere stappen in het onderzoek.

Europa - in casu I.O.O.V. - is op dit ogenblik aan de spits inzake het onderzoek naar de ondergrondse vergassing op grote diepte.

Bij I.O.O.V. is er nu een know-how op dit gebied die enig is in de wereld.

Een allereerste vereiste is, dat deze kennis instand gehouden wordt en dat het onderzoek verder gezet wordt, zo mogelijk in Europees verband.

Voortgezet onderzoek - voor zover het België betreft - kan plaatshebben hetzij in Thulin, hetzij in de Kempen.

Le procédé à développer consiste alors en :

- une période de pyrolyse où le front chaud se développe à contre-courant du sens de l'écoulement des réactifs laissant en place du semi-coke. Les gaz recueillis sont un mélange de gaz de combustion et de matières volatiles dégagées.

- une période de gazéification du carbone fixe, caractérisée par une augmentation du débit et une plus haute teneur en eau dans les réactifs.

Dans ces conditions, on obtient, en principe, un gaz tel que présenté dans le tableau III.

Dans les conditions actuelles, il paraît difficile d'obtenir une perméabilité apparente suffisante pour permettre de grands débits. Une autre conception du soutien du drainhole devrait permettre de résoudre ce problème.

On a maintenant une vue plus réaliste qu'avant, sur la façon dont on peut convertir le charbon en un gaz riche en méthane, avec une chance convenable d'aboutir à des résultats économiquement valables.

2. Les étapes suivantes dans la recherche.

En ce moment, l'Europe - in casu I.D.G.S. - est à la pointe de la recherche dans le domaine de la gazéification souterraine à grande profondeur.

Le savoir-faire existant à l'I.D.G.S. dans ce domaine est unique au monde.

Il est absolument nécessaire que ce savoir-faire soit entretenu et que la recherche puisse continuer, si possible dans le cadre d'une collaboration européenne.

La recherche - en ce qui concerne la Belgique - peut se poursuivre soit à Thulin, soit en Campine.

De argumenten om verder te werken in Thulin, zijn eenvoudig : men beschikt er over de bestaande installaties en er bestaat de mogelijkheid Th 3 te gebruiken voor nieuwe proeven.

Daartegenover staat dat een groot deel van de eigen installaties niet geschikt zijn voor dit specifiek procedé (zij waren geconcieerd voor andere basisomstandigheden dan deze die in dit procedé nodig zijn).

Een ander deel van de huidige installaties zal grondig moeten nagezien worden, en deels vernieuwd.

Tenslotte is veruit het grootste deel van de nu gebruikte inrichtingen in huur.

Men kan dus zeggen dat het niet de bestaande installaties zijn - behalve de bestaande boring Th 3 - die een transfert in de weg staan.

In het licht van de huidige gegevens komt het Kempens kolenbekken voor als een beter geschikt gebied om er het onderzoek op natuurlijke schaal voort te zetten op basis van het huidig gekend procedé.

Het steenkoolterrein is er goed verkend. De schieferdekking van de vergasbare lagen is er voldoende dik en de watervoerende dekterreinen vormen er een afdoend waterslot.

Er zijn meerdere kolenlagen van voldoende dikte op verschillende diepten en dat telkens in uitgestrekte gebieden zonder belangrijke stortingen.

In het Zuiden daartegenover zijn de kolenbekkens derwijze uitgebaat in het verleden, dat er geen uitgestrekte onaangetaste kolenvelden meer ter beschikking zijn : ofwel heeft men te doen met gestoorte gebieden, ofwel zit men in de nabijheid van oude werken.

Les arguments pour continuer à Thulin sont simples : on y dispose des installations existantes et il existe la possibilité de démarrer de nouveaux essais en utilisant Th 3.

Par contre, une grande partie des installations propres n'est pas adaptée à ce procédé spécifique (elles étaient conçues à partir d'autres données de base que celles qui sont d'application dans le procédé actuel).

Une autre partie des installations actuelles devra subir un contrôle approfondi et être partiellement remplacée.

Enfin, la partie de loin la plus importante des installations utilisées dans le procédé actuel est en location.

Dès lors, on peut affirmer qu'en dehors du forage existant Th 3 ce ne sont pas les installations de Thulin qui empêchent d'envisager un transfert.

Tenant compte des données actuelles, le gisement de Campine se présente comme convenant mieux pour la continuation d'essais grandeur nature, sur base du seul procédé jusqu'à présent connu.

Le carbonifère y est bien reconnu. La couverture en schiste recouvrant les couches gazeuses y a une épaisseur suffisante et les morts-terrains aquifères forment un blocage hydraulique efficace.

Il y a plusieurs couches de charbon d'épaisseur suffisante à des profondeurs différentes et cela toujours dans des panneaux sans dérangements importants.

Par contre, dans le Sud, les bassins charbonniers ont été exploités de façon telle qu'il n'y a plus de zones étendues vierges et qu'on trouve, soit des zones dérangées, soit d'anciens travaux miniers à proximité.

Uitbouw van de ondergrondse vergassing op industriële schaal is dus alleen in het Noorden van het land mogelijk.

De proeven in Thulin hebben plaats in magere kolen, daar waar de exploitatie alleen maar in de vetakolen en/of vlamkolen van het Noorden te overwegen is.

Het is duidelijk dat men logischerwijze verdere proeven uitvoert in de Kempen ; aldus kan men know-how verwerven over de parameters die eigen zijn aan de vetakolen.

Het programma zal er dan grossso modo als volgt uitzien :

- opbouw van de installaties op de bovengrond en tegelijk aanleg van de boringen met :
- injectieboring verlengd met een lange drainhole
- extractieboring met side-track als correctief
- diffusie van dezelfde reagentia als deze gebruikt in Thulin
- pyrolyseperiode met ontwikkeling van de vluchtige bestanddelen
- vergassingsperiode van de achtergebleven semi-cokes
- voortzetting van de proeven met andere reagentia.

Een diepgaand onderzoek naar mogelijke vestigingsplaatsen in het Noordelijk Bekken voor een proefstation is gestart.

Uit de eerste contacten met de Geologische Dienst van België is althans gebleken dat een gunstige plaats te localiseren is aan de Noordelijke grens van de K.S. concessie, tussen Waterschei en Eijsden. Op de bovengrond is de plaats gelegen op het grondgebied Opoeteren.

In de onmiddellijke nabijheid werd voor enkele tijd een verkenningsboring (fig. 7) uitgevoerd, zodat men er de concrete gegevens over de ondergrond nauwkeurig van kent.

De boring heeft geen storingen doorsneden, en de meeste nabijgelegen grote storing ligt op meer dan 500 m. afstand.

L'établissement de l'exploitation à l'échelle industrielle n'est donc possible que dans le Nord du pays.

Les essais de Thulin ont été faits dans du charbon maigre, alors que l'exploitation industrielle n'est envisageable que dans les charbons gras ou flambants du Nord.

Il est clair que la logique incite à faire les essais futurs en Campine. On pourra ainsi acquérir le savoir-faire en relation avec les paramètres propres au charbon gras.

Le programme comportera grossso modo les phases suivantes :

- montage des installations de surface et, en même temps, exécution des forages :
 - puits d'injection prolongé d'un drainhole allongé
 - puits d'extraction avec side-track comme correctif
- diffusion des réactifs analogues à ceux utilisés à Thulin
- pyrolyse avec dégagement des matières volatiles
- gazéification du semi-coke resté en place
- continuation des essais en utilisant d'autres réactifs.

Une recherche approfondie pour des lieux d'implantation possibles d'une station d'essai en Campine est entamée.

Lors des premiers contact avec le Service Géologique de Belgique, il est apparu qu'un endroit approprié pour une station d'essai se situe près de la limite Nord de la concession de K.S., entre Waterschei et Eijsden. En surface l'endroit se trouve sur le territoire de la commune d'Opoeteren.

Tout près de cet endroit, on a effectué, il y a peu de temps, un sondage de reconnaissance (fig. 7) de sorte qu'on connaît avec précision la situation du sous-sol.

Le sondage n'a pas recoupé de dérangements et la faille la plus proche connue se trouve à plus de 500 m. de distance.

De verkenningsboring reikt tot ca. 1200 m. Er werden daar aangeboord de lagen 10/11 op 742 m. en de laag 29 op 1.115 m. Zij hebben ca. 32 % vluchtige bestanddelen en de kolendikte is resp. 143 cm. en 126 cm. Zij zijn zeer representatief voor de kolen in de noordelijke gebieden van het kolenbekken. Verder is men meer dan 2 km. verwijderd van de ondergrondse werken. Tenslotte wordt daar geen gebied aangetast dat ooit voor andere doeleinden zou kunnen in aanmerking komen.

De toegankelijkheid van de overeenstemmende bovengrondse terreinen lijkt geen bijzondere moeilijkheden op te leveren.

Het is vanzelfsprekend dat men verder ook andere mogelijke vestigingsplaatsen dient op te zoeken ; men zal daarbij voorkeur geven aan plaatsen in de omgeving van bestaande verkenningsboringen, omwille van het feit dat men toch concrete gegevens over de ondergrond wil hebben in het vooruitzicht van de aanleg van gerichte boringen.

In dat perspectief staan men voor een dilemma : op het vlak van onderzoeks mogelijkheden geeft men de voorrang aan een plaats waarvan de ondergrond gekend en geschikt bevonden is, terwijl op het vlak van exploiteerbaarheid men eerder groot belang hecht aan de aanwezigheid binnen een relatief kleine straal van mogelijke gasafnemers. In dit laatste opzicht zou men eerder denken aan de Westelijke uitlopers van het kolenbekken (nabijheid van het industrieterrein van Tessenderlo), waar echter de mijnen van Beringen en Zolder zich zullen verzetten tegen elke aantasting van hun kolenreserves.

Men moet hier evenwel niet uit het oog verliezen dat de keuze van de vestigingsplaats in de eerste plaats moet rekening houden met het aspect "onderzoek naar feasibility in vetkolen en vlamkolen". Het is in een volgende stap dat men de externe exploitatieomstandigheden de eerste rangsrol moet geven.

De onderzoekers van I.O.O.V. die nu hun burelen hebben in Luik (waar zij overigens over een computer terminal beschikken om de meetgegevens van Thulin "af te tappen"), kunnen zonder meer hun know-how in de Kempen aanwenden, voor zover het team tenminste kan samen gehouden worden.

Het personeel dat permanent ter plaatse is in Thulin is belast met uitvoer en de taken en kan - voor zover ze de verplaatsing naar de Kempen niet wensen te doen - vervangen worden door ter plaatse aangeworven personeel.

Le sondage de reconnaissance a été foré jusqu'à 1.200 m de profondeur. On y a recoupé les couches 10/11 à 742 m et la couche 29 à 1.115 m. Elles ont + 32 % de matières volatiles et une épaisseur en charbon de respectivement 143 cm et 126 cm. Ces couches sont très représentatives des couches des terrains carbonifères du Nord du bassin. De plus, ce sondage est éloigné de plus de 2 km des travaux souterrains. Enfin, on reste éloigné des gisements qui pourraient présenter de l'intérêt pour d'autres initiatives.

L'accès des terrains en surface ne semble pas donner lieu à problèmes.

Il va de soi qu'on cherchera également d'autres sites possibles pour une station d'essai ; il y aura toujours une préférence pour les endroits situés près de sondages de reconnaissance existants puisqu'on veut avoir des renseignements concrets quant à la composition du sous-sol en vue de l'établissement de forages dirigés.

Dans cette perspective, on se trouve devant un dilemme : sur le plan des possibilités de recherche, on donne la préférence à un site où le sous-sol est bien connu et est considéré comme convenant bien, tandis que sur le plan de l'exploitabilité, on songerait plutôt à des sites aux alentours desquels des acheteurs potentiels de gaz sont présents. Dans ce dernier contexte, on devrait plutôt chercher dans les confins ouest du bassin charbonnier (à proximité de la zone industrielle de Tessenderlo) où par contre les charbonnages de Beringen et Zolder s'opposeront à toute altération de leurs réserves.

Il ne faut cependant pas perdre de vue que le choix d'un site doit tenir compte en premier lieu de l'aspect "recherche sur la faisabilité du procédé dans des charbons gras ou flamboyants". Ce n'est que dans l'étape suivante que les conditions externes d'exploitation joueront un rôle important.

Les chercheurs de l'I.D.G.S., qui ont leur bureau à Liège (où d'ailleurs ils disposent d'un terminal pour recueillir les données de Thulin), peuvent sans problème mettre leur know-how à disposition pour des essais en Campine, pour autant que le noyau de l'équipe ne soit pas dispersé.

Le personnel qui travaille à Thulin, est chargé de tâches d'exécution et peut - pour autant qu'il ne souhaite pas faire le déplacement - être remplacé par du personnel engagé sur place.

III.3. Besluiten.

België heeft er belang bij, zonder verwijl te beslissen een proefstation voor de ontwikkeling van de ondergrondse vergassing in de Kempen in te richten in het kader van de I.O.O.V. Aldus kan men verhopen dat ook de E.E.G. en de Duitse partner - deze laatste onder een nieuwe organisatie - de inspanningen zullen verder zetten. Met een minimum aan uitgaven zal men aldus kunnen uitmaken of de potentiële rijkdom die nu dreigt verloren te gaan, alsnog gevaloriseerd kan worden.

Bronnen.

J. Patigny, T.K. ; Li, V. Chandelle, R. Fabry
M. Kurth, C. Sonntag : Statusbericht zum
Forschungsvorhaben O3E-1015-D

P. Ledent : Nouvelles perspectives pour la
gazéification souterraine du charbon

F. Depouhon, M. Kurth : UCG deep well com-
pletion with corrosion resistant alloys

M. Kurth, F. Depouhon, J. Patigny, P. Ledent :
Linking and gasification in Thulin, a new
endeavor

J. Patigny, J.F. Raffoux : Recent European
results of underground coal gasification at
great depth

C. Sonntag, R. Fabry, G. Masson : Surface
equipments for UCG at great depth

T.K. Li, V. Chandelle, K. Kowol, J. Brych :
Short radius deviated lateral in-seam (drain-
hole) drilling and sidetracking technique
applied to the Thulin field test

M. Mostade, D. Sorce : Instrumentation, data
processing and valuation in the Thulin field
test and their prospects

M. Dusar - Geologische Dienst : Informatie
i.v.m. geologie van de Kempen met betrekking
tot de O.V.

III.3. Conclusions.

La Belgique a tout intérêt à décider rapidement de monter une station d'essai pour le développement de la gazéification souterraine en Cam-pine dans le cadre de l'I.D.G.S. Ainsi on peut espérer que la C.E.E. et le partenaire Allemand - ce dernier sous une autre organisation - continueront à contribuer aux efforts. Avec un minimum de dépenses, on pourra ainsi définir si la richesse potentielle que constitue le charbon et qui risque de se perdre à jamais, peut encore être valorisée au bénéfice des générations futures.

Sources

J. Patigny, T.K. ; Li, V. Chandelle, R. Fabry,
M. Kurth, C. Sonntag : Statusbericht zum
Forschungsvorhaben O3E-1015-D

P. Ledent : Nouvelles perspectives pour la
gazéification souterraine du charbon

F. Depouhon, M. Kurth : UCG deep well comple-
tion with corrosion resistant alloys

M. Kurth, F. Depouhon, J. Patigny, P. Ledent :
Linking and gasification in Thulin, a new
endeavor

J. Patigny, J.F. Raffoux : Recent European
results of underground coal gasification at
great depth

C. Sonntag, R. Fabry, G. Masson : Surface
equipments for UCG at great depth

T.K. Li, V. Chandelle, K. Kowol, J. Brych :
Short radius deviated lateral in-seam (drain-
hole) drilling and sidetracking techniques
applied to the Thulin field test

M. Mostade, D. Sorce : Instrumentation, data
processing and valuation in the Thulin field
test and their prospects

M. Dusar - Geologische Dienst : Informatie
i.v.m. geologie van de Kempen met betrekking
tot de O.V.

Lijst van de figuren.

fig. 1. Schema van de installatie te Bruay-en-Artois.

fig. 2. Plan van de bovengrondse inrichtingen te Haute Deule.

fig. 3. Relatieve stand van de boringen in Thulin ter hoogte van de laag.

fig. 4. Geschematiseerd plan van de bovengrondse installaties te Thulin.

fig. 5. Vereenvoudigd vloeistoffennetwerk na de ombouw.

fig. 6. Schema van de toestand ondergronds.

fig. 7. Verkenningsboring ten Noorden van Waterschei.

Tabel 1 : overzicht van de resultaten van de vergassingsperiode in april-mei 1984.

Tabellen 2 , 2bis en 2ter : overzicht van de resultaten van de vergassingsperiode oktober '86 - begin april 1987.

Tabel 3 : theoretische samenstelling van een gas, geproduceerd onder 100 bar en 550°C.

Liste des figures.

fig. 1. Schéma de l'installation à Bruay-en-Artois.

fig. 2. Plan des installations de surface à la Haute Deule.

fig. 3. Position relative en couche des forages à Thulin.

fig. 4. Schéma d'ensemble des installations de surface à Thulin.

fig. 5. Réseau simplifié des conduites après les transformations.

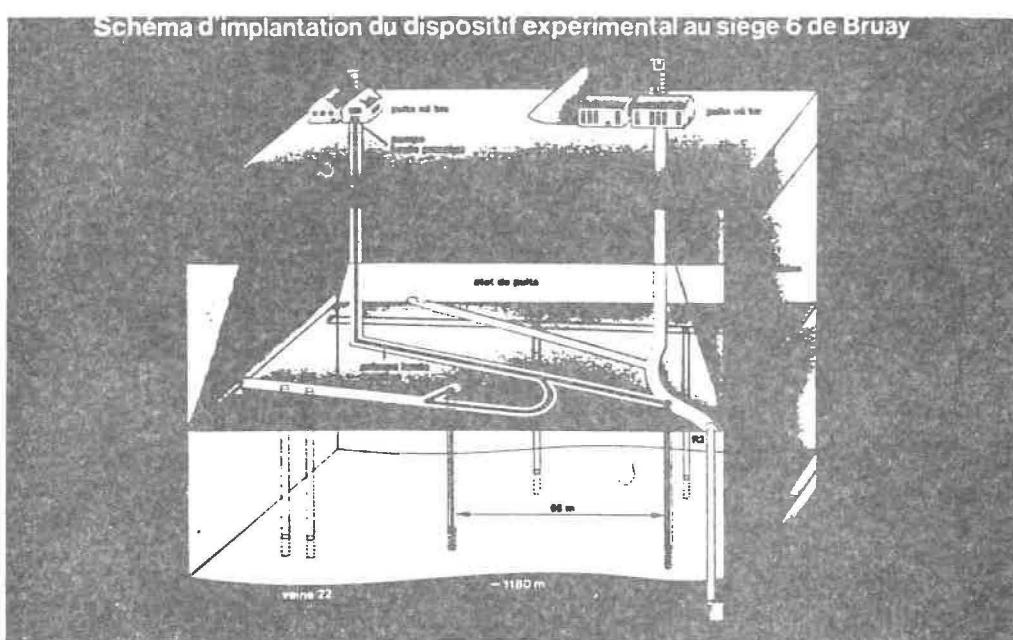
fig. 6. Schéma de la situation en sous-sol.

fig. 7. Sondage de reconnaissance au Nord de Waterschei.

Tableau 1 : résumé des résultats pendant la période de gazéification en avril-mai 1984.

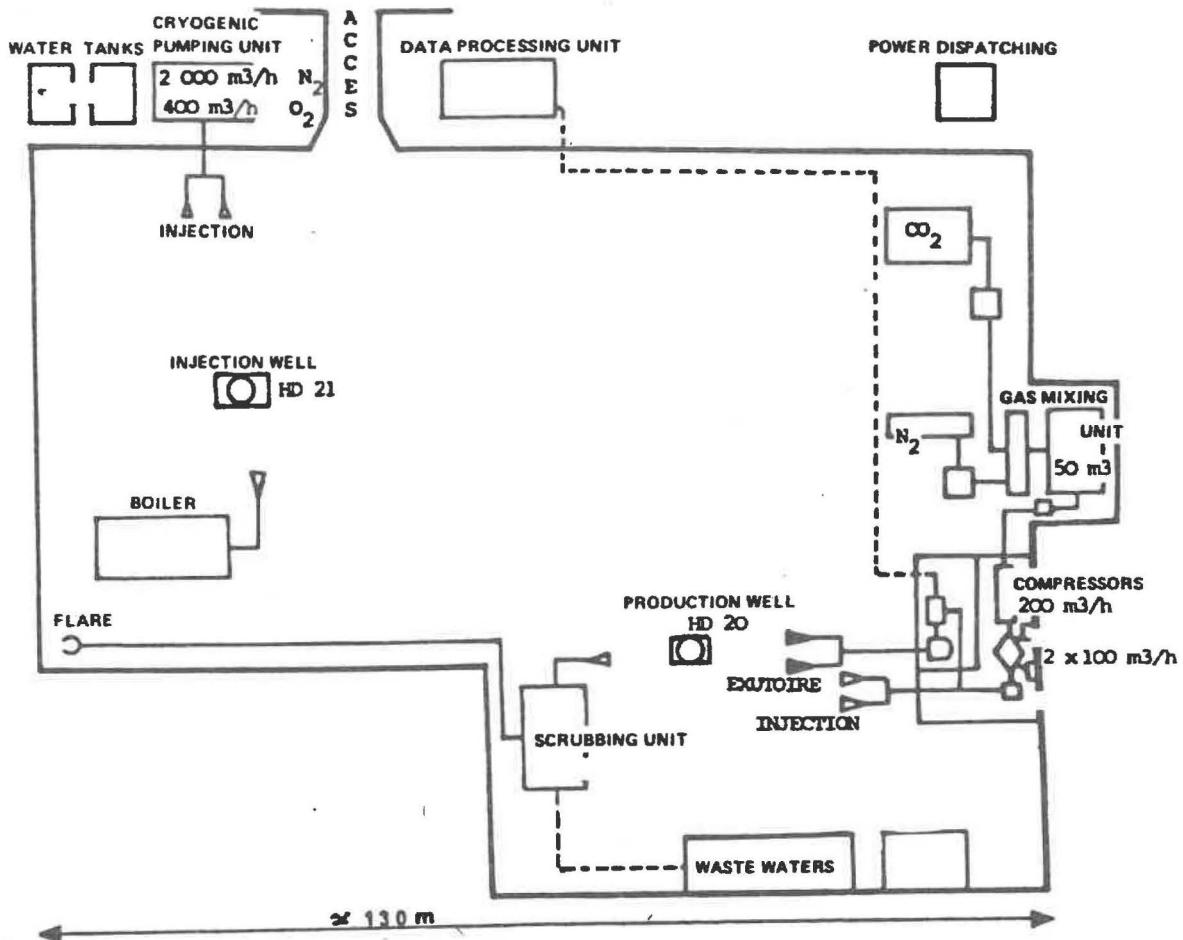
Tableau 2. 2bis et 2ter : résumés des résultats pendant la période de gazéification octobre 86 - début avril 1987.

Tableau 3 : composition théorique d'un gaz produit à 100 bar et 550° C.

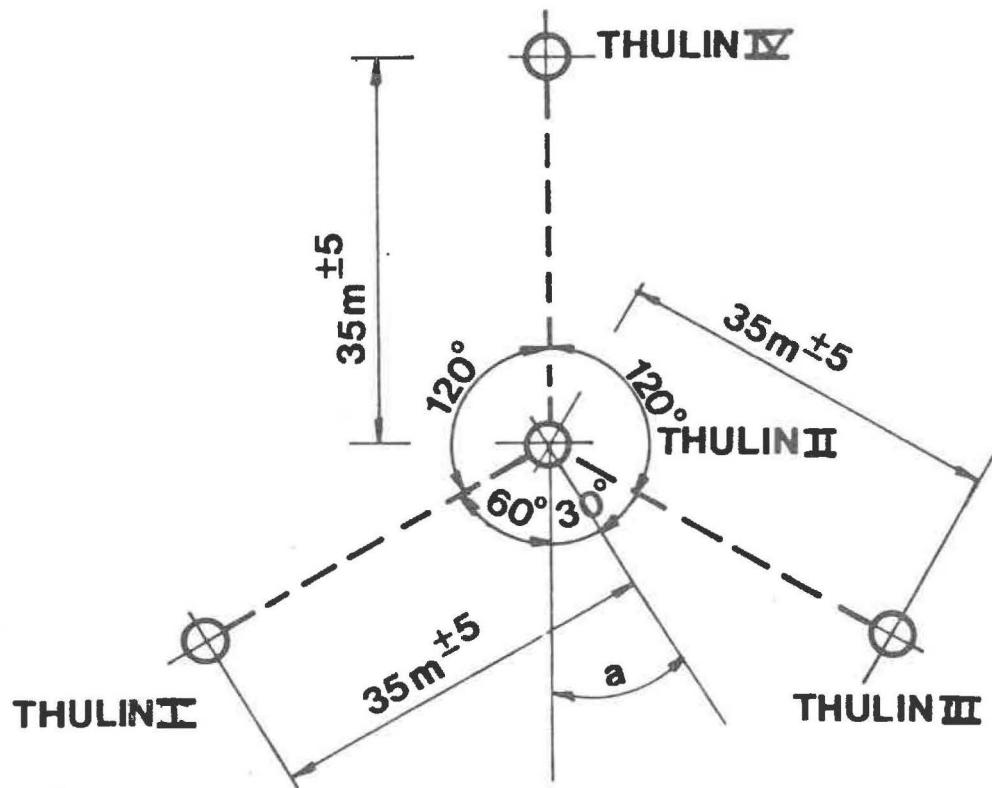


Layout of BRUAY operations

Fig. 1



Plan of surface equipment at la HAUTE-DEULE



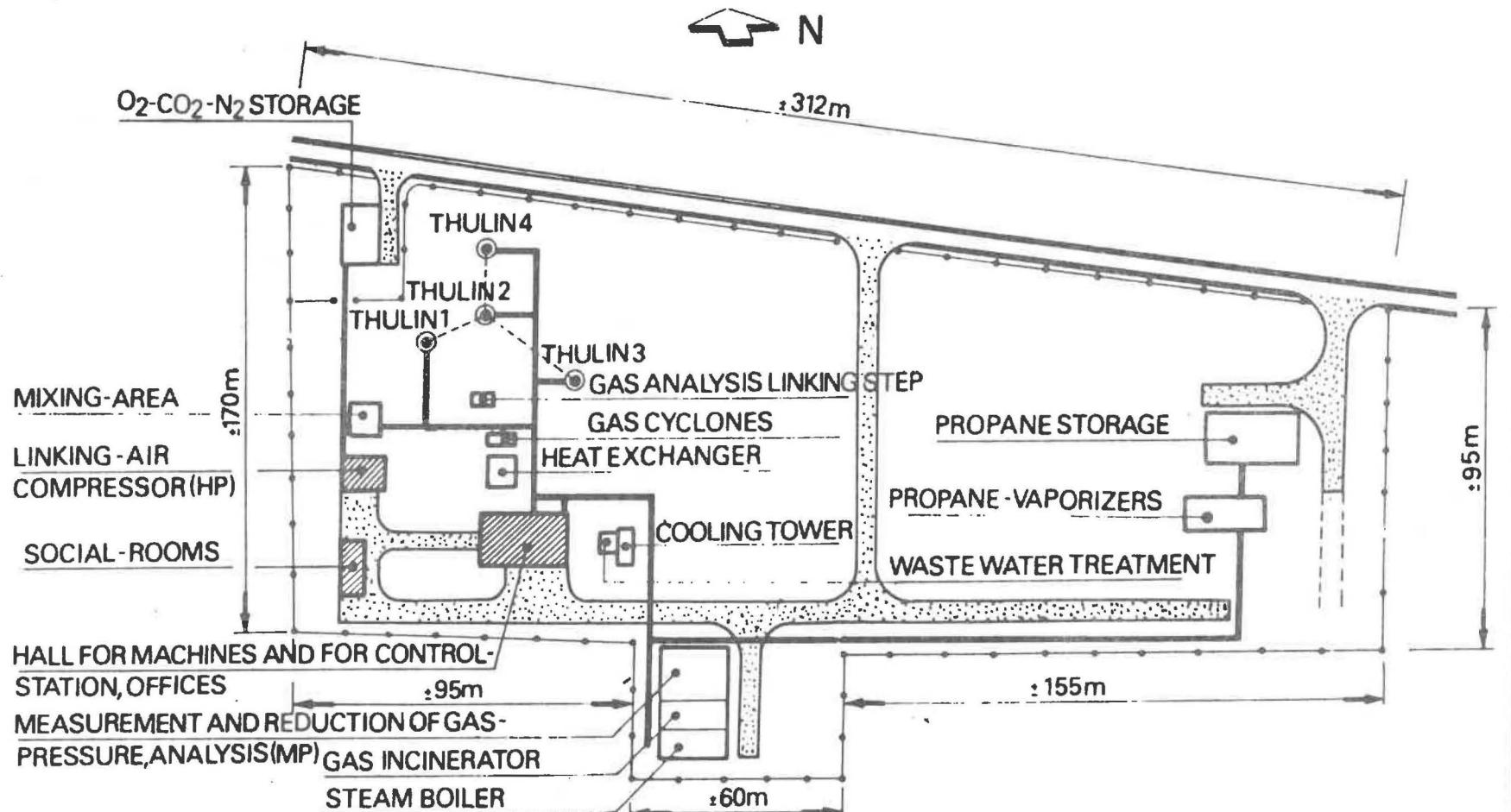


Figure 4. Simplified plotplan of the site
Thulin.

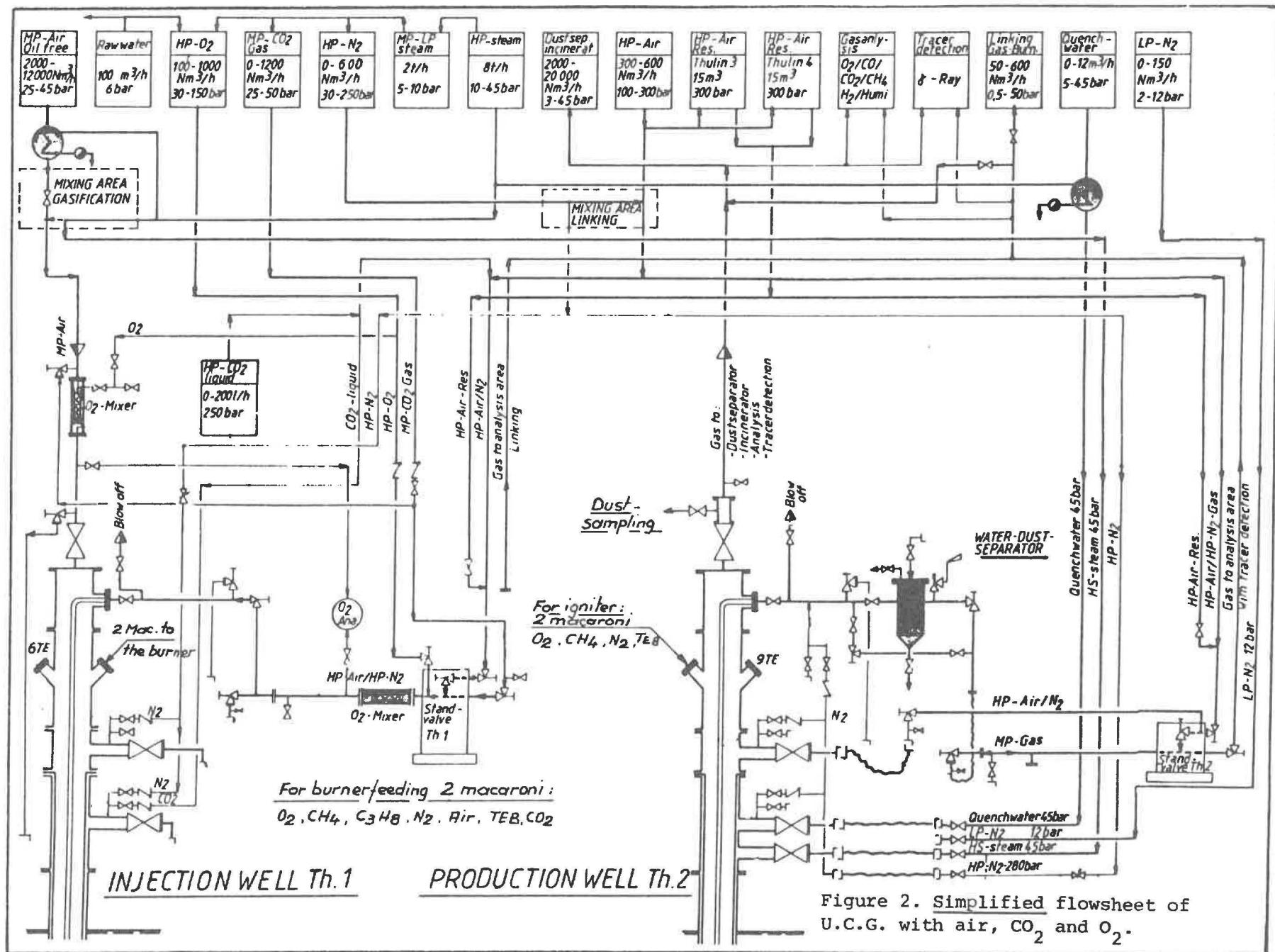


Fig. 5

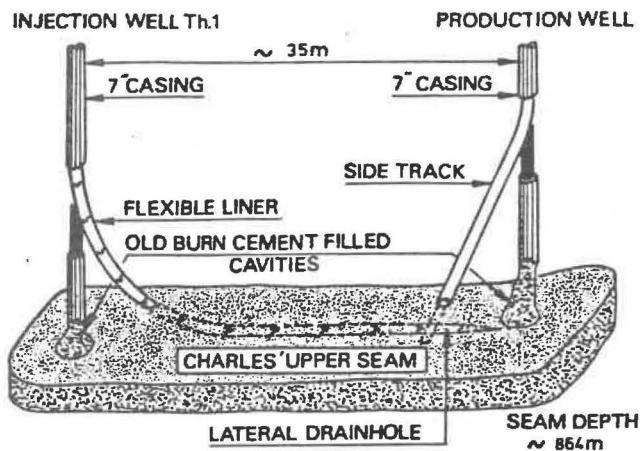


Fig. 6

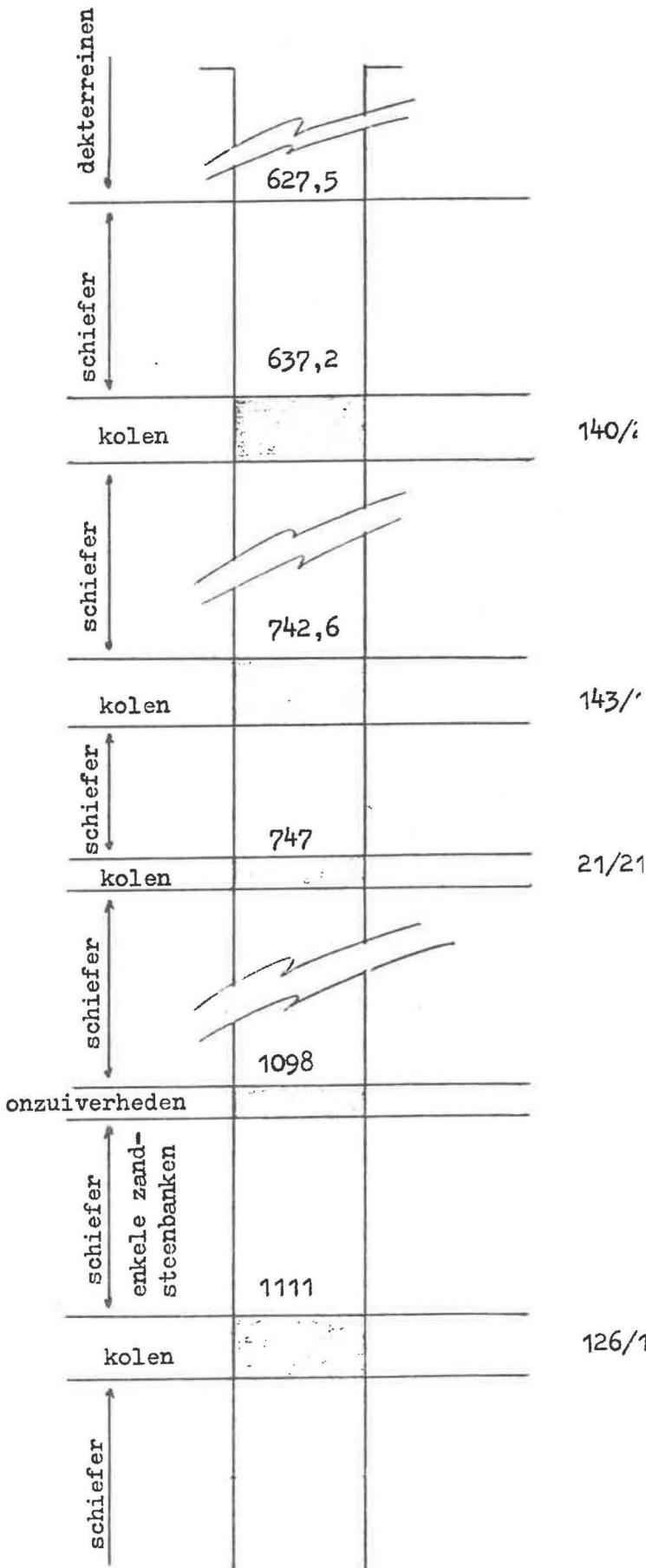


Fig. 7.

Schematische doorsnede boring Opoeteren/KS

Table 1. Reverse Combustion Test of April 1984.

Gasifying agent : 90 % air + 10 % CO₂

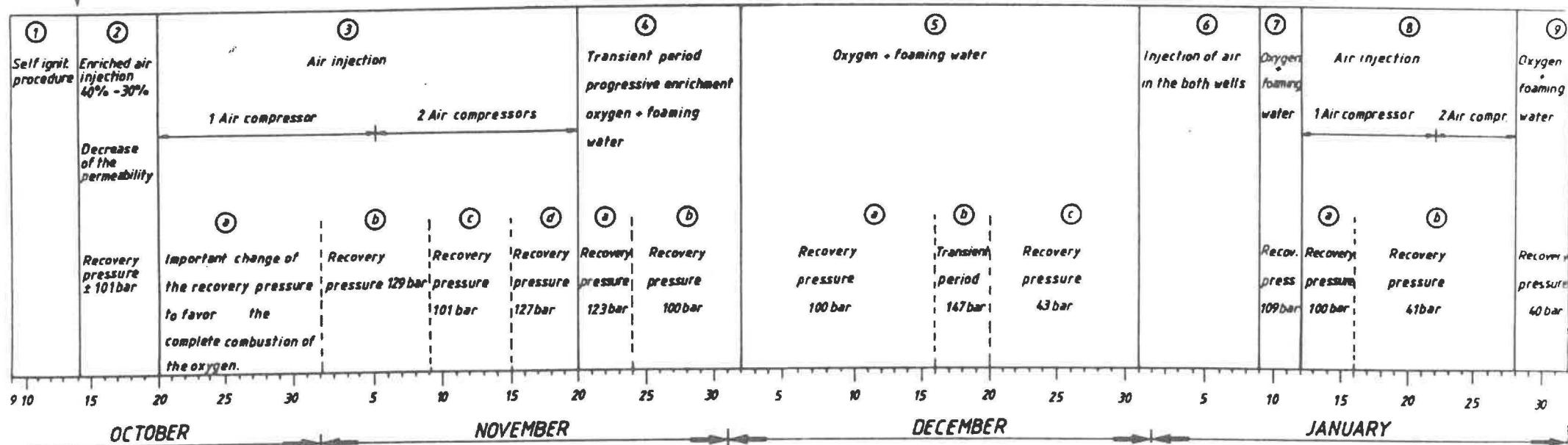
Period Beginning End	1 14/4 - 22 h 19/4 - 8 h	2 19/4 - 8 h 22/4 - 16 h	3 22/4 - 16 h 27/4 - 4 h	4 27/4 - 4 h 30/4 - 24 h
<u>Well I</u>				
Injection pressure * (bar)	252	245	243	241
Injected flow (m ³ /h)	609	593	579	578
<u>Well II</u>				
Counterpressure * (bar)	77	74	56	99
Recovered flow (m ³ /h)	145	136	147	120
Mean temperature (°C) (6 m above the well bottom)	31	397	480	444
<u>Gas analysis (vol %)</u>				
O ₂	14.4	1.0	4.6	0.6
CO ₂	10.1	18.9	16.3	23.5
CH ₄	0.3	2.1	1.2	3.6
CO	0.1	8.5	6.3	2.8
H ₂	0.1	4.3	4.5	3.6
<u>Dry gas U.H.V.</u>				
(kJ/m ³)	167	2470	1830	2240
Consumed coal (kg/h)	0.9	15.9	11.6	13.4
Gasification efficiency (%)	-	52.9	58.0	50.2

(*) Gas pressure at the surface - The pressure at the well bottom is 10 % higher.

N.B. The ignition at the bottom of well II occurred spontaneously on April 19 at 8:00 a.m.

TABLE 2. RESULTS OF THE GASIFICATION TESTS

Periods	1	2	3a	3bcd	4	5	8	9	12	13a
Beginning	2/10	14/10	20/10	1/11	20/11	2/12	12/1	28/1	11/3	21/
End	13/10	19/10	31/10	19/11	1/12	30/12	27/1	17/2	20/3	30/
Duration (days)	12	6	12	19	12	29	16	21	10	10
<u>Gasifying agent</u>	Air+O ₂	Air+O ₂	Air	Air	Air+O ₂	Foam	Air	Foam	Air+O ₂	Foam
O ₂ (m ³ /h)	9	30	66	84	60	58	70	63	204	210
N ₂ (m ³ /h)	22	62	251	316	89	13	277	8	313	59
H ₂ O (l/h)	0	0	0	0	10	30	0	21	25	105
<u>Average surface pressure</u>										
Well I (bar)	106	146	193	198	178	190	230	199	189	273
Well II (bar)	104	101	144	120	108	85	56	40	41	41
<u>Dry gas average flow</u> (m ³ /h)	30.5	37.0	56.1	190.0	132.7	97.3	220.3	92.2	189.9	176.
<u>Composition</u> (% vol)										
O ₂	27.8	6.2	10.9	1.7	0.4	0.0	0.0	0.0	2.9	1.
CO ₂	0.0	29.2	15.9	17.7	31.6	45.8	19.0	49.5	23.7	38.
N ₂	72.2	37.3	60.0	68.0	52.4	21.7	75.7	30.9	63.7	23.
H ₂	0.0	7.4	3.0	2.4	2.1	6.2	1.4	2.4	2.3	8.
CO	0.0	3.3	1.1	1.2	0.6	0.8	0.2	0.2	1.2	8.
CH ₄	0.0	16.6	9.1	9.0	12.9	25.5	3.7	17.0	6.2	18.
U.H.V. dry gas (kcal/m ³)	0	1901	988	963	1317	2634	400	1693	695	226
U.H.V. N ₂ free gas (kcal/m ³)						3365		2450		298
Thermal power (MW)	0	0.08	0.06	0.21	0.20	0.30	0.10	0.18	0.15	0.4
Gasification efficiency (%)	0	48	49	45	42	46	24	39	36	4
<u>Recovery rate</u>										
Dry gas/G.A. dry (%)	98	40	18	47.5	89	137	63.5	130	37	66
Non combustible gas/G.A. dry (%)	98	29	15	42	75	92.5	60	104	33	42
Consumed coal (kg/24 h)	0	288	216	830	912	1123	714	914	862	178
Affected coal (kg/24 h)	0	768	600	1964	1880	2835	1914	1705	1421	406
Ratio : Consumed coal / Affected coal (%)	-	37.5	36	42	48.5	40	37	54	60.5	44
V.M. of coal : 13 % (on dry ash free)										
					Total consumed coal from 14/10/86 to 30/3/87 : about 130 tonnes					
					Total affected coal from 14/10/86 to 30/3/87 : about 300 tonnes					



431

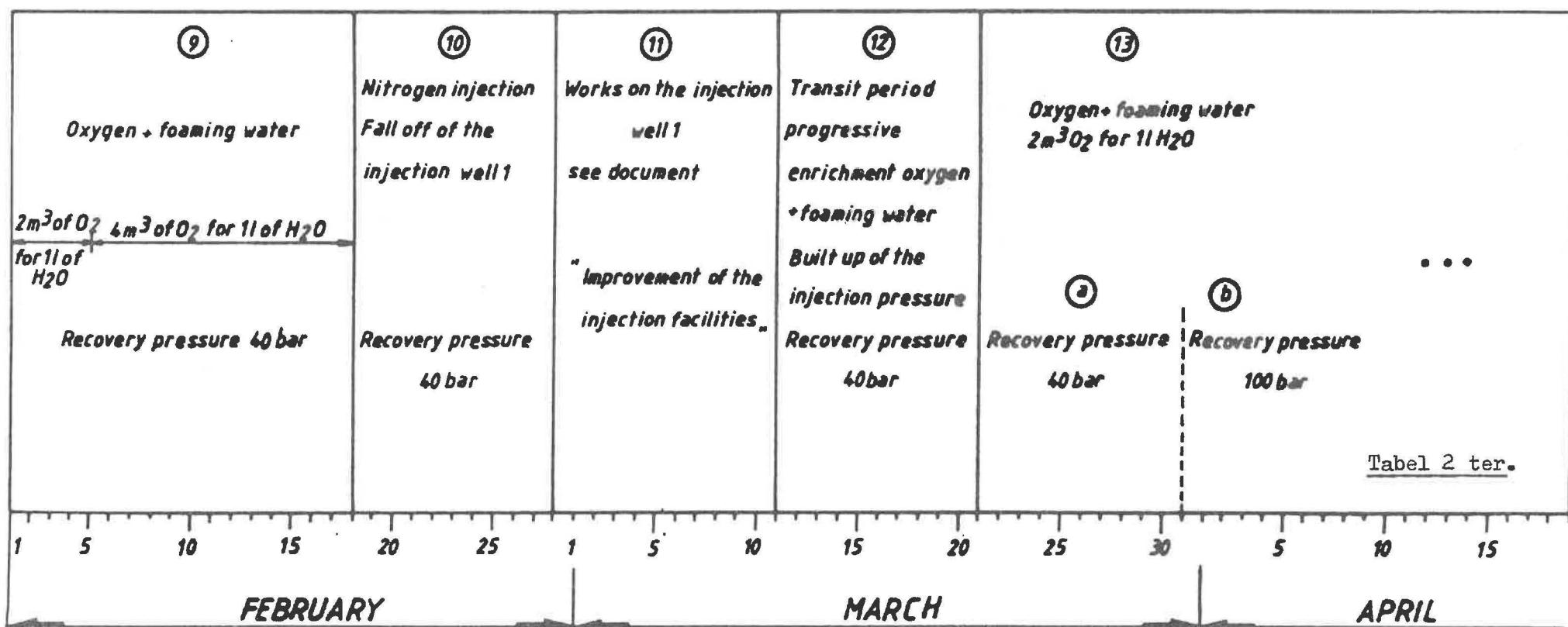


TABLEAU 3. Composition théorique du gaz produit par gazéification de charbon maigre ou de semi-coke, au moyen d'un agent gazéifiant constitué d'eau et d'oxygène

Composition du combustible

En poids : C : 92,5 %; H : 4,06 %; O : 1,22 %;
N : 1,42 %; S : 0,8 %.

En moles : C : 64,4 %; H : 33,9 %;
O, N et S : pour mémoire

Composition de l'agent gazéifiant

En poids : O₂ : 30,85 %; H₂O : 69,15 %.

En moles : O₂ : 20,0 %; H₂O : 80,0 %.

Les réactions de Boudouard, du méthane et du gaz à l'eau sont supposées à l'équilibre, sous pression de 100 atm et à la température de 550 °C.

Composition du gaz	Humide	Sec	Epuré
CH ₄ (%)	17,7	32,8	77,6
H ₂ (%)	4,3	7,9	18,7
CO (%)	0,8	1,6	3,7
CO ₂ (%)	31,1	57,7	-
H ₂ O (%)	46,1	-	-
P.C.S. (kJ/m ³ N)	7 685	14 250	33 700