

Perspectives économiques de la gazéification souterraine sous haute pression

Economische vooruitzichten van de ondergrondse vergassing onder hoge druk

RESUME

Un groupe de travail a été chargé d'évaluer le prix de revient de l'énergie électrique qui pourrait être obtenue dans une centrale à cycle combiné, alimentée par un gaz pauvre produit par gazéification souterraine, suivant le procédé proposé par l'INIEX.

Le prix de revient dépend essentiellement de la profondeur et du volume de charbon gazéifié, à partir de chaque sondage. Si ce volume atteint 7000 m³, le coût de la gigacalorie extraite à 1000 m de profondeur pourrait se situer entre 180 et 250 FB, ce qui reste très en deçà du prix de revient des charbons belges.

Si le volume gazéifié atteint 10 à 12.000 m³ par sondage, un prix de revient de 65 centimes par kWh devrait pouvoir être obtenu dans une centrale de 170 MW fonctionnant 7000 h par an, sur base d'une gazéification souterraine réalisée à 1000 m de profondeur et le même résultat pourrait être acquis à 1500 m de profondeur, si le volume de charbon gazéifié atteint 16 à 18.000 m³ par sondage.

ZUSAMMENFASSUNG

Eine Arbeitsgruppe wurde damit beauftragt, die Selbstkosten der Stromenergie zu ermitteln, die in einem Kombinationskraftwerk erzeugt werden könnte, welches mit einem durch Untertagevergasung erzeugten Schwachgas nach dem vom INIEX vorgeschlagenen Verfahren versorgt würde.

SAMENVATTING

Er werd een werkgroep belast met de raming van de kostprijs van de elektrische energie die zou kunnen worden verkregen in een centrale met gecombineerde kringloop, gevoed met een arm gas dat geproduceerd wordt door ondergrondse vergassing, volgens het door het NIEB voorgestelde procédé.

De kostprijs is hoofdzakelijk afhankelijk van de diepte en van het volume vergaste steenkool vanuit elke boring. Indien dit volume 7.000 m³ bereikt zou de kostprijs van de op 1.000 m diepte gewonnen gigacalorie tussen 180 en 250 BF kunnen liggen, wat ver onder de kostprijs van de Belgische steenkool valt.

Indien het vergaste volume 10 tot 12.000 m³ per boring bedraagt zou een kostprijs van 65 centiemen per kWh moeten kunnen worden verkregen in een centrale van 170 MW, welke 7.000 h per jaar werkt op basis van een ondergrondse vergassing op 1.000 m diepte, en hetzelfde resultaat zou op 1.500 m diepte kunnen worden verkregen indien het volume vergaste steenkool 16 tot 18.000 m³ per boring bereikt.

SUMMARY

A working group has been entrusted with the task of estimating the cost of electricity generated in a combined-cycle power station fired with low BTU gas obtained by underground gasification using the INIEX process.

Bei der Festlegung der Selbstkosten kommt es vor allen Dingen auf die Tiefenlage bzw. auf das vergaste Kohlevolumen bei jeder Bohrung an. Sollte dieses Volumen 7.000 Kubikmeter betragen, so könnte der Selbstkostenpreis der bei 1.000 M Tiefe gewonnenen Gigakalorie zwischen 180 und 250 BF schwanken, und dies liegt weit unter dem Selbstkostenniveau der belgischen Kohlen.

Stellt sich das vergaste Volumen auf 10.000 bis 12.000 Kubikmeter pro Bohrung, so sollte ein Selbstkostenpreis von 65 Centimen pro kW Stunde in einem Kraftwerk von 170 MW erzielt werden können, welches 7.000 Stunden jährlich in Betrieb ist, und zwar auf der Grundlage einer Untertagevergasung bei 1.000 M Tiefe, und dasselbe Ergebnis könnte bei 1.500 M Tiefe erzielt werden, sollte das Volumen der vergasteten Kohle 16.000 bis 18.000 Kubikmeter pro Bohrung betragen.

The cost depends essentially on the depth at which the coal is situated, and on the quantity gasified from each borehole. If this volume is in excess of 7000 cu.m., the cost per gigacalorie extracted at 1000 metres depth could be between 180 and 250 BF which is very much lower than the cost of Belgian coals.

If the volume gasified is as much as 10 000 to 12 000 cu.m. per borehole, it should be possible to achieve a cost of 65 centimes per kWh in a 170 MW power station operating for 7000 hrs/year, on the basis of underground gasification at 1000 metres depth; the same result could be expected for coal at 1500 m depth, if the gasified volume from each borehole is 16 000 to 18 000 cu.m.

AVANT-PROPOS

Dans son rapport au Ministre, la Commission Technique « Gazéification souterraine sous haute pression », créée en date du 11 septembre 1974, à l'initiative de M. E. Knoop, Secrétaire d'Etat adjoint au Ministre des Affaires Economiques, a préconisé la réalisation de plusieurs études préliminaires et notamment d'une étude visant à vérifier la possibilité économique d'une valorisation, à l'échelle industrielle, de l'énergie extraite par le procédé de gazéification souterraine à haute pression, en vue de la production d'électricité.

La réalisation de cette étude a été confiée à un groupe de travail qui s'est réuni au siège social de « Laborelec » à Rhode-St-Genèse les 7 et 30 avril 1975, ainsi que les 20 janvier, 25 février, 23 mars et 25 juin 1976.

A ce groupe de travail, présidé par M. P. Ledent, Directeur de l'INIEX, ont participé :

Pour la Commission Technique « Gazéification souterraine » :

- MM. J. Baudry (Charbonnages d'Hensies-Pommerœul)*
 J. Brych (Faculté Polytechnique de Mons)
 G. Darmont (Laborelec)
 J. Fafchamps (Université de Liège)
 P. Outer (CERW)

* Décédé le 20 juin 1975.

VOORWOORD

De Technische Commissie « Ondergrondse vergassing onder hoge druk », opgericht op 11 september 1974 op initiatief van de Heer E. Knoop, Staatssecretaris toegevoegd aan de Minister van Economische Zaken, heeft in haar verslag aan de Minister de uitvoering voorgestaan van meerdere voorafgaande studies, en onder meer de studie welke de economische mogelijkheid beoogt na te gaan van een valorisatie op industriële schaal van de door het ondergronds vergassingsprocédé onder hoge druk gewonnen energie, met het oog op de productie van elektriciteit.

De uitvoering van deze studie werd toevertrouwd aan een werkgroep die vergaderde op de maatschappelijke zetel van « Laborelec » te Sint-Genesius-Rode, op 7 en 30 april 1975, evenals op 20 januari, 25 februari, 23 maart en 25 juni 1976.

Aan deze werkgroep, voorgezeten door de Heer P. Ledent, Directeur van het NIEB, namen deel :

Voor de Technische Commissie « Ondergrondse vergassing » :

- De HH. J. Baudry (Charbonnages d'Hensies-Pommerœul)*
 J. Brych (Faculté Polytechnique de Mons)
 G. Darmont (Laborelec)
 J. Fafchamps (Université de Liège)
 P. Outer (CERW)

* Overleden op 20 juni 1975.

J. Patigny (Université Catholique de Louvain)
 J. Ribesse (Distrigaz)
 R. Stinglhamber (CRIF)

J. Patigny (Université Catholique de Louvain)
 J. Ribesse (Distrigaz)
 R. Stinglhamber (CRIF)

A titre de consultants :

MM. P. De Boeck (Traction et Electricité)
 R. de Viron (Linalux)
 Ch. Heine (Electrobel)

Als raadgevers :

De HH. P. De Boeck (Traction et Electricité)
 R. de Viron (Linalux)
 Ch. Heine (Electrobel)

A titre d'observateurs :

MM. R. Breton (Charbonnages de France)
 J. Decherf (Charbonnages de France)
 P. Dumoutet (Cerchar)
 R. Monteyne (Secrétariat d'Etat Adjoint au
 Ministère des Affaires Economiques)
 D. Seelemann (Cerchar)

Als waarnemers :

De HH. R. Breton (Charbonnages de France)
 J. Decherf (Charbonnages de France)
 P. Dumoutet (Cerchar)
 R. Monteyne (Staatssecretariaat toegevoegd
 aan het Ministerie van Economische Zaken)
 D. Seelemann (Cerchar)

Pour l'INIEX :

MM. P. Browaeyts
 V. Chandelle

Voor het NIEB :

De HH. P. Browaeyts
 V. Chandelle

Les membres du groupe de travail sont conscients du caractère provisoire de ce travail basé sur un certain nombre d'hypothèses et de données numériques dont la valeur devra être réexaminée au fur et à mesure de la progression des études expérimentales.

Ils croient également nécessaire d'attirer l'attention du lecteur sur le fait que toute l'étude a été axée sur la valorisation du gaz par production d'électricité. Dans cette optique, il leur a paru commode d'inclure le coût global des compresseurs d'air et des installations d'épuration des gaz dans l'investissement consenti pour la réalisation de la centrale électrique, qui a été évalué par comparaison avec les valeurs admises pour une centrale à cycle combiné du genre de la centrale STEAG à Lünen dans laquelle le charbon extrait est préalablement gazéifié dans des gazogènes à haute pression.

Dans la même optique, l'énergie consommée pour assurer la circulation de l'air et du gaz dans le gazogène souterrain a été imputée comme consommation propre de la centrale, son rendement global étant de ce fait ramené à 36 %.

Ce mode de calcul n'affecte pas le résultat final de l'étude lorsqu'on l'exprime sous la forme du prix de revient du kWh, mais il entraîne une sous-estimation du prix de la « gigacalorie extraite », qui ne constitue qu'un élément de calcul transitoire dont se trouvent exclus le coût de l'énergie consommée pour assurer la circulation de l'air dans le gazogène souterrain et le coût de l'épuration du gaz préalable à son utilisation.

De leden van de werkgroep zijn zich bewust van het tijdelijke karakter van dit werk dat steunt op een zeker aantal hypothesen en cijfergegevens waarvan de waarde opnieuw zal moeten worden onderzocht naarmate de proefnemingsstudies vorderen.

Zij achten het tevens nodig de aandacht van de lezer te vestigen op het feit dat de ganse studie gericht was op de gasvalorisatie door produktie van elektriciteit. Uit dit oogpunt bleek het hen geschikt de globale kostprijs van de luchtcompressoren en de gaszuiveringsinstallaties op te nemen in de verleende investering voor de totstandbrenging van de elektrische centrale, welke geraamd werd bij vergelijking met de toegestane waarden voor een centrale met gecombineerde kringloop in de aard van de STEAG-centrale te Lünen waarin de gewonnen steenkool vooraf vergast wordt in hogedrukgasgenerators.

Uit hetzelfde oogpunt werd de verbruikte energie voor de lucht- en gascirculatie in de ondergrondse gasgenerator opgenomen als eigen verbruik van de centrale, waardoor het globale rendement bijgevolg op 36 % werd teruggebracht.

Deze rekenwijze heeft geen invloed op het eindresultaat van de studie wanneer het uitgedrukt wordt in de vorm van de kostprijs van het kWh, maar het brengt een onderschatting teweeg van de prijs van de « gewonnen gigacalorie », die slechts een overgangsberekeningselement is waarin de prijs aan verbruikte energie voor de luchtcirculatie in de ondergrondse gasgenerator en de prijs voor de gaszuivering vóór het gebruik ervan, niet ingerekend zijn.

Le présent document constitue le rapport final des travaux du groupe de travail.

Il est divisé en six chapitres :

1. Rappel des principales caractéristiques du procédé de gazéification souterraine proposé par l'INIEX
2. Hypothèses admises comme bases de calcul
3. Programme d'exploitation
4. Coût de l'énergie thermique
5. Prix de revient du kWh
6. Conclusions.

1. RAPPEL DES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DU PROCEDE DE GAZEIFICATION SOUTERRAINE PROPOSE PAR L'INIEX

Le procédé de gazéification souterraine, proposé par l'INIEX, est un procédé d'exploitation des gisements de houille situés à moyenne ou à grande profondeur, utilisant la filtration d'un courant gazeux entre des sondages réalisés à partir de la surface.

Il constitue une adaptation de la méthode qui s'est développée pour l'exploitation des gisements peu profonds en U.R.S.S. (exploitations d'Angren et de Youzno-Abinskaya) et aux U.S.A. (Hanna). Son originalité découle d'un certain nombre de caractéristiques que l'on peut résumer comme suit :

1. Développement de l'exploitation dans des zones vierges, à plus de 700 m de profondeur, afin que l'étanchéité du gazogène souterrain puisse être assurée et maintenue, grâce au comportement plastique des schistes houillers.
2. Réalisation de la gazéification par injection d'air, ou d'un mélange d'air et de vapeur, sous haute pression, les pressions maximales restant en deçà de la pression hydrostatique qui règne dans les terrains sus-jacents.
3. Réalisation simultanée d'une production continue de gaz et d'une fluctuation cyclique de la pression, dans le gazogène souterrain, cette variation de pression étant obtenue par variation du débit et de la pression de l'agent gazéifiant injecté.
4. Protection des sondages d'évacuation du gaz de gazéification par des dispositifs de refroidissement à circulation d'eau, les échanges thermiques étant réalisés au travers d'une paroi métallique, afin de produire de la vapeur d'eau à une pression et à une température convenant pour l'alimentation d'une turbine ou pour sa réinjection dans le gazogène souterrain.

Dit document vormt het eindverslag van de werkzaamheden van de werkgroep.

Het is onderverdeeld in 6 hoofdstukken :

1. Herhaling van de voornaamste kenmerken van het door het NIEB voorgestelde ondergronds vergassingsprocédé
2. Als rekenbasis aangenomen hypothesen
3. Ontginningsprogramma
4. Kostprijs van de thermische energie
5. Kostprijs van het kWh
6. Conclusies

1. HERHALING VAN DE VOORNAAMSTE KENMERKEN VAN HET DOOR HET NIEB VOORGESTELDE ONDERGRONDS VERGASSINGSPROCEDE

Het door het NIEB voorgestelde ondergronds vergassingsprocédé is een ontginningsprocédé voor steenkoolafzettingen op middelmatige of grote diepte, dat gebruik maakt van de filtratie van een gasstroom tussen de vanaf de bovengrond tot stand gebrachte boringen.

Het is een aanpassing van de methode die zich voor de ontginning van ondiepe afzettingen ontwikkelde in de U.S.S.R. (ontginningen van Angren en Youzno-Abinskaya) en in de U.S.A. (Hanna). Het originele karakter ervan vloeit voort uit een zeker aantal kenmerken die als volgt kunnen worden samengevat :

1. Ontwikkeling van de ontginning in onontgonnen zones op meer dan 700 m diepte, opdat de ondergrondse gasgenerator dicht kan zijn en zo worden gehouden dank zij het plastisch gedrag van de kolenhoudende leisteen.
2. Totstandbrenging van de vergassing door injectie van lucht of een mengsel van lucht en stoom onder hoge druk, waarbij de maximale drukkingen onder de hydrostatische druk blijven die in de bovenliggende gesteenten heerst.
3. Gelijktijdige uitvoering van een bestendige gasproductie en een cyclische drukschommeling in de ondergrondse gasgenerator, waarbij deze drukverandering verkregen wordt door verandering van het debiet en de druk van het geïnjecteerde vergassingsmiddel.
4. Beveiliging van de afvoerboringen voor het vergassingsgas door koelers met watercirculatie, waarbij de thermische uitwisseling gebeurt doorheen een metalen wand, om waterdamp te produceren bij een druk en een temperatuur die gepast zijn voor de voeding van een turbine of voor de nieuwe injectie ervan in de ondergrondse gasgenerator.

5. Réalisation simultanée de la gazéification des couches profondes et du captage du grisou qui se dégage dans la partie supérieure du gisement, par suite de la détente et de la fissuration des terrains, consécutives à la gazéification des couches profondes.
6. Association du gazogène souterrain avec une centrale électrique à cycle combiné : turbine à gaz + turbine à vapeur, qui utilise tout à la fois le gaz pauvre de gazéification souterraine, le gaz riche de captage (grisou) et la vapeur produite dans les circuits de refroidissement des sondages.
7. Synchronisation du cycle de fonctionnement du gazogène souterrain avec les fluctuations journalières de demande de courant dans le réseau électrique de distribution, de telle façon que l'énergie accumulée par la compression des gaz dans les cavités souterraines, durant les périodes de faible demande, puisse être restituée, sous forme d'énergie électrique, durant les périodes de pointe.

Ces différentes caractéristiques sont illustrées à la figure 1 qui schématise une coupe dans le gisement passant par deux sondages d'exploitation.

L'air sous pression, insufflé par le premier sondage, filtre à travers la couche en cours d'exploitation. Il est repris à l'état de gaz pauvre par le sondage de captage du gaz, équipé d'un dispositif de refroidissement à circulation d'eau.

La gazéification de la couche en cours d'exploitation entraîne une détente progressive du massif sus-jacent. Cette détente permet le dégagement du grisou contenu dans les veines et dans les veinettes surmontant la couche exploitée, et ce grisou est collecté par un troisième sondage foré jusqu'à la partie supérieure du gisement.

Le gazogène souterrain est associé à une centrale à cycle combiné : gaz + vapeur, qui utilise tout à la fois :

- le gaz pauvre, préalablement épuré, qui est brûlé sous pression dans une chambre de combustion alimentant la turbine à gaz ;
- le gaz riche qui est stocké ou injecté dans la chambre de combustion, pour alimenter une flamme pilote ou un brûleur de soutien destiné à pallier les variations du pouvoir calorifique du gaz pauvre ;
- la vapeur d'eau produite par le dispositif de refroidissement des sondages à gaz, qui contribue à l'alimentation de la turbine à vapeur.

Le compresseur à air, qui alimente le gazogène souterrain, est actionné par moteur électrique. Son débit nominal est sensiblement supérieur au débit requis pour assurer la production du gaz pauvre. Ses périodes de fonctionnement sont synchronisées avec

5. Gelijktijdige verwezenlijking van de vergassing van de diepe lagen en van de afzuiging van mijn-gas dat vrijkomt in het hogere afzettingsgedeelte, naar aanleiding van de ontspanning en de splijting van de gesteenten volgend op de vergassing van de diepe lagen.
6. Koppeling van de ondergrondse gasgenerator aan een elektrische centrale met gecombineerde kringloop : gasturbine + stoomturbine, welke tegelijkertijd het arm gas van de ondergrondse vergassing aanwendt, het rijk gas van de afzuiging (mijngas) en de in de koelwegen van de boringen geproduceerde stoom.
7. Synchronisatie van de werkingskringloop van de ondergrondse gasgenerator met de dagschommelingen van de stroomvraag in het elektrisch bedeelnet zodat de tijdens de perioden van lage vraag opgestapelde energie door de samendrukking van de gassen in de ondergrondse holten, in de vorm van elektrische energie kan worden vrijgemaakt tijdens de piekperiodes.

Deze verschillende kenmerken zijn geïllustreerd op figuur 1 die schematisch een doorsnede voorstelt in een afzetting door twee ontginningsboringen.

De door de eerste boring ingeblazen lucht onder druk filtreert doorheen de in ontginning zijnde laag. Ze wordt opgevangen als arm gas door de gasafzuigboring welke voorzien is van een koeler met watercirculatie.

De vergassing van de in ontginning zijnde laag veroorzaakt een geleidelijke ontspanning van het bovenliggende gesteente. Deze ontspanning maakt het mogelijk het mijngas vrij te maken dat in de lagen en de riffsels boven de ontgonnen laag opgesloten zit. Dit mijngas wordt verzameld door een derde boring die tot aan het bovenste afzettingsgedeelte geboord is.

De ondergrondse gasgenerator is verbonden met een centrale met gecombineerde cyclus : gas + stoom, welke tegelijkertijd gebruik maakt van :

- het vooraf gezuiverde arm gas dat onder druk verbrand is in een verbrandingskamer welke de gasturbine voedt;
- het rijk gas dat opgeslagen of geïnjecteerd is in de verbrandingskamer om een proefvlam of een hulpbrander te voeden welke bestemd is om de veranderingen in de stookwaarde van het arm gas te beletten;
- de door de koeler van de gasboringen geproduceerde stoom welke bijdraagt tot de voeding van de stoomturbine.

De luchtcompressor welke de ondergrondse gasgenerator voedt is aangedreven door een elektrische motor. Het nominaal debiet ervan ligt gevoelig lager dan het debiet dat vereist is voor de produktie van arm gas. De werkingsperiodes zijn gesynchroniseerd

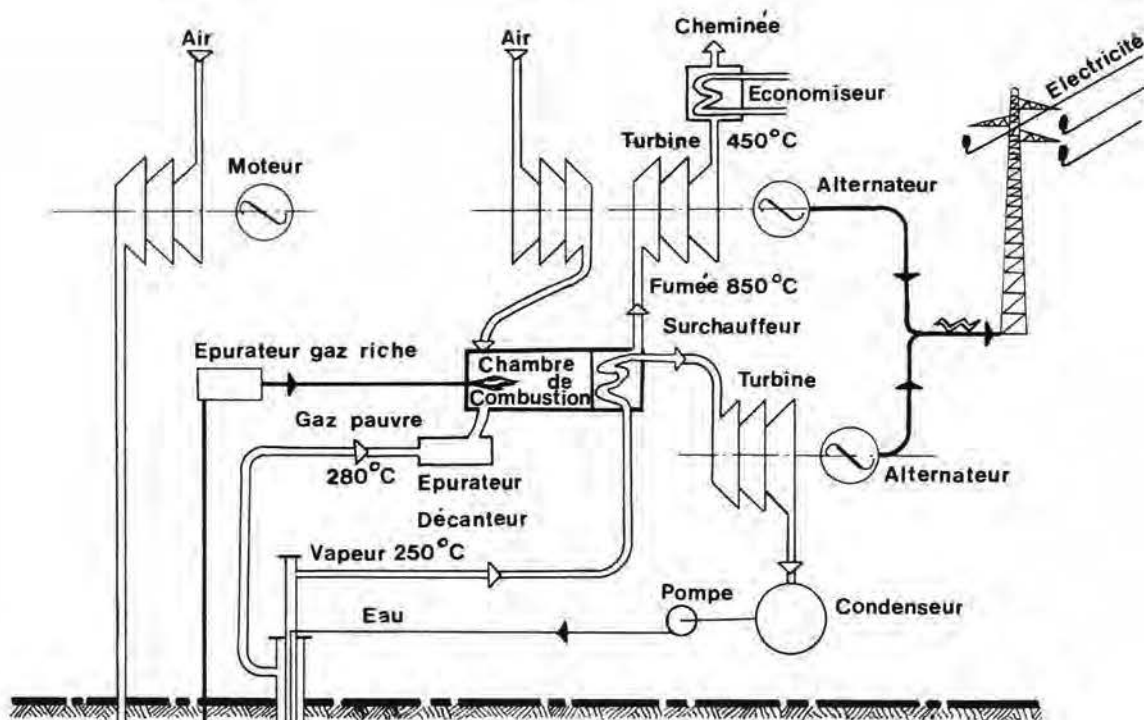


Fig. 1. — Schéma du procédé de gazéification sous haute pression (projet INIEX)
 Schema van het vergassingsprocédé onder hoge druk (NIEB-project)

Air — Lucht	Epurateur — Zuiveringstoestel
Cheminée — Schoorsteen	Gaz riche — Rijk gas
Economiseur — Economiser	Chambre de combustion — Verbrandingskamer
Moteur — Motor	Gaz pauvre — Arm gas
Turbine — Turbine	Decanteur — Decanteertoestel
Alternateur — Alternator	Vapeur 250°C — Damp 250°C
Electricité — Elektriciteit	Eau — Water
Fumée 850°C — Rook 850°C	Pompe — Pomp
Surchauffeur — Oververhitter	Condenseur — Condensor

Gazéification souterraine

les périodes de faible demande de courant et elles entraînent une montée progressive de la pression dans le gazogène souterrain.

Durant les heures de pointe de consommation d'électricité, l'électrocompresseur est arrêté et la production du gaz est réalisée par décompression progressive du gazogène, toute l'énergie électrique produite restant disponible pour l'alimentation du réseau.

2. HYPOTHESES DE TRAVAIL

2.1. Cadre de l'étude

L'étude est limitée à la valorisation des produits de la gazéification proprement dite et ne tient pas compte de l'incidence économique du captage du grisou, considéré comme activité distincte.

2.2. Caractéristiques du gaz de gazéification

Le pouvoir calorifique du gaz peut varier en fonction de l'indice de matières volatiles des couches exploitées et des conditions d'exploitation ; cette variation n'ayant qu'une faible influence sur le prix de revient du kWh, on a admis, en première approximation, que le gaz qui parvient à la centrale a un P.C.I. constant de 800 kcal/Nm^3 et une température de 180°C .

Au besoin, ce P.C.I. minimum sera maintenu en faisant appel à un combustible d'appoint.

2.3. Coefficient d'utilisation du gisement

Les données obtenues à Angren (U.R.S.S.) sur la base d'une exploitation de gazéification souterraine de lignite à une profondeur de l'ordre de 150 et 300 m, conduisent à la répartition suivante de l'énergie potentielle du gisement :

— Chaleur potentielle du gaz produit	45 %
— Pertes de gaz	10 à 15 %
— Chaleur sensible du gaz	5 %
— Pertes de chaleur (roches et vaporisation)	15 à 20 %
— Imbrûlés	20 %

met de periodes van lage vraag en zij veroorzaken een geleidelijke druktoename in de ondergrondse gas-generator.

Tijdens de piekuren in het elektriciteitsverbruik wordt de elektrocompressor stilgelegd en de gasproductie gebeurt door geleidelijke drukvermindering van de gasgenerator waarbij alle geproduceerde elektrische energie beschikbaar blijft voor de voeding van het net.

2. WERKHYPOTHESE

2.1. Studiekader

De studie is beperkt tot de valorisatie van de producten van de eigenlijke vergassing en houdt geen rekening met de economische weerslag van de mijn-gasafzuiging welke beschouwd wordt als een onderscheiden bedrijvigheid.

2.2. Kenmerken van het vergassingsgas

De stookwaarde van het gas kan veranderen volgens de index aan vluchtige bestanddelen van de ontgonnen afzettingen en volgens de ontginningomstandigheden; daar deze verandering slechts weinig invloed uitoefent op de kostprijs van het kWh werd bij ruwe schatting aangenomen dat het gas dat de centrale bereikt een constante onderste stookwaarde heeft van 800 kcal/Nm^3 en een temperatuur van 180°C .

Indien nodig zal deze minimale onderste stookwaarde gehandhaafd worden door een beroep te doen op een aanvullingsbrandstof.

2.3. Benuttingscoëfficiënt van de afzetting

De in Agren (U.S.S.R.) verkregen gegevens op grond van een ontginning van ondergrondse vergassing van bruinkool op een diepte van zowat 150 en 300 m, leiden tot de volgende indeling van de potentiële energie van de afzetting :

— Potentiële warmte van het geproduceerde gas :	45 %
— Gasverliezen :	10 tot 15 %
— Gevoelige warmte van het gas :	5 %
— Warmteverliezen (gesteenten en verdamping) :	15 tot 20 %
— Onverbrande steenkool :	20 %

Les études thermodynamiques montrent que l'utilisation de hautes pressions de gazéification a pour effet d'augmenter la chaleur sensible du gaz produit et de réduire la perte de chaleur à travers les roches.

En tenant compte de ce facteur, de l'étanchéité des terrains à grande profondeur (suppression des pertes de gaz) et d'une certaine augmentation du pourcentage d'imbrûlés comme suite aux difficultés de contrôle de la gazéification à grande profondeur, les valeurs finalement admises comme bases de calcul sont détaillées au tableau I.

2.4. Refroidissement des sondages à gaz

Sur la base des études développées au Département de Thermodynamique de l'Université Catholique de Louvain (Professeur J. Patigny), il a été admis que le dispositif de refroidissement des sondages à gaz aurait la forme d'un doigt réfrigérant, constitué par deux tubes concentriques disposés comme indiqué à la figure 2.

Le tube intérieur d'un pouce de diamètre, qui sert à l'adduction de l'eau, est entouré d'une gaine isolante d'une épaisseur de 10 à 15 mm. L'eau et la vapeur produite remontent dans l'espace annulaire compris entre cette gaine et le tube-enveloppe, d'un diamètre extérieur de 140 mm.

2.5. Caractéristiques des sondages de gazéification

Le diamètre des sondages à gaz a été choisi de telle façon que le dispositif de refroidissement n'occupe pas plus de 50 % de la section droite, ceci conduit à un diamètre intérieur plus grand ou égal à $\sqrt{2} \times 140$ mm. En pratique, on a retenu un tubage normalisé de 8 5/8" (219,2 mm), avec une épaisseur de paroi de 10,2 mm, ce qui conduit à un diamètre intérieur de 198,8 mm.

L'exploitation par gazéification souterraine implique la réalisation d'un grand nombre de sondages répartis sur toute la surface à exploiter. L'expérience acquise en U.R.S.S. montre cependant qu'il n'est pas nécessaire que tous les sondages soient utilisés pour le captage du gaz.

Dans le cas d'une exploitation à grande profondeur, la spécialisation de la fonction des sondages entraîne une économie importante, les sondages utilisés uniquement pour l'injection de l'air pouvant être foncés à plus faible section.

De thermodynamische studies tonen aan dat de aanwending van hoge vergassingsdrukken de gevoelige warmte van het geproduceerde gas verhogen en het warmteverlies doorheen de gesteenten beperken.

Rekening houdend met deze factor, met de dichtheid van de gesteenten op grote diepte (afschaffing van de gasverliezen) en met een zekere toename van het percentage onverbrande steenkool naar aanleiding van de beheersingsmoeilijkheden van de vergassing op grote diepte, zijn de uiteindelijk als rekenbases aangenomen waarden in detail opgenomen in tabel I.

2.4. Koeling van de gasboringen

Op grond van de in het Departement Thermodynamica van de Katholieke Universiteit van Leuven (Professor J. Patigny) ontwikkelde studies werd aangenomen dat de koeler voor de gasboringen de vorm zou hebben van een koelvinger bestaande uit twee concentrische buizen welke opgesteld zijn zoals aangegeven op figuur 2.

De binnenste buis met een diameter van een duim welke dient voor de watertoevoer, is omringd met een 10 tot 15 mm dikke isolerende huls. Het water en de geproduceerde stoom stijgen in de ringvormige ruimte tussen deze huls en de omhulselbuis welke een buitendiameter van 140 mm heeft.

2.5. Kenmerken van de vergassingsboringen

De diameter van de gasboringen werd zo gekozen dat de koeler niet meer dan 50 % van de rechte doorsnede inneemt. Dit leidt tot een binnendiameter groter of gelijk aan $\sqrt{2} \times 140$ mm. In de praktijk werd een genormaliseerde verbuizing van 8 5/8" (219,2 mm), met een wanddikte van 10,2 mm in aanmerking genomen, wat leidt tot een binnendiameter van 198,8 mm.

De ontginning door ondergrondse vergassing impliceert de totstandbrenging van een groot aantal boringen verdeeld over de ganse te ontginnen oppervlakte. De in de U.S.S.R. verworven ervaring toont evenwel aan dat niet alle boringen noodzakelijkerwijs moeten worden gebruikt voor de gasafzuiging.

In het geval van een ontginning op grote diepte veroorzaakt de specialisatie van de boringenfunctie een belangrijke besparing, aangezien de uitsluitend voor de luchtinjectie gebruikte boringen een kleinere sectie mogen hebben.

Tableau I. — Répartition de l'énergie potentielle du gisement
 Tabel I. — Indeling van de potentiële energie van de afzetting

1. Répartition de l'énergie sous ses différentes formes	en % du potentiel du gisement <i>in % van het afzettings-potentieel</i>	en kcal par Nm ³ de gaz <i>in kcal per Nm³ gas</i>	1. <i>Indeling van de energie in haar verschillende vormen</i>
— Chaleur potentielle du gaz produit	50	800	— <i>Potentiële warmte van het geproduceerde gas</i>
— Chaleur sensible du gaz au fond du sondage (700° C)	15	240	— <i>Gevoelige warmte van het gas onderaan in de boring (700°C)</i>
— Chaleur accumulée dans les roches	10	160	— <i>Opgestapelde warmte in de gesteenten</i>
— Imbrûlés « in situ »	25	400	— <i>Onverbrande steenkool « in situ »</i>
Total	100	1.600	<i>Totaal</i>

2. Répartition de la chaleur sensible du gaz	en % du potentiel du gisement <i>in % van het afzettings-potentieel</i>	en kcal par Nm ³ de gaz <i>in kcal per Nm³ gas</i>	2. <i>Indeling van de gevoelige warmte van het gas</i>
— Production de vapeur dans le dispositif de refroidissement du sondage	9	144	— <i>Stoomproductie in de boringkoeler</i>
— Chaleur sensible du gaz épuré (180°C)	4	64	— <i>Gevoelige warmte van het gezuiverde gas (180°C)</i>
— Pertes de chaleur ($\Delta t = 100^\circ\text{C}$) (transport et épuration)	2	32	— <i>Warmteverliezen ($\Delta t = 100^\circ\text{C}$) (vervoer en zuivering)</i>
Total	15	240	<i>Totaal</i>

3. Energie disponible à l'entrée de la centrale	en % du potentiel du gisement <i>in % van het afzettings-potentieel</i>	en kcal par Nm ³ de gaz <i>in kcal per Nm³ gas</i>	3. <i>Beschikbare energie bij de ingang van de centrale</i>
— Chaleur potentielle du gaz	50	800	— <i>Potentiële warmte van het gas</i>
— Chaleur sensible du gaz (180°C)	4	64	— <i>Gevoelige warmte van het gas (180°C)</i>
— Vapeur du dispositif de refroidissement	9	144	— <i>Stoom van de koeler</i>
Total	63	1.008	<i>Totaal</i>

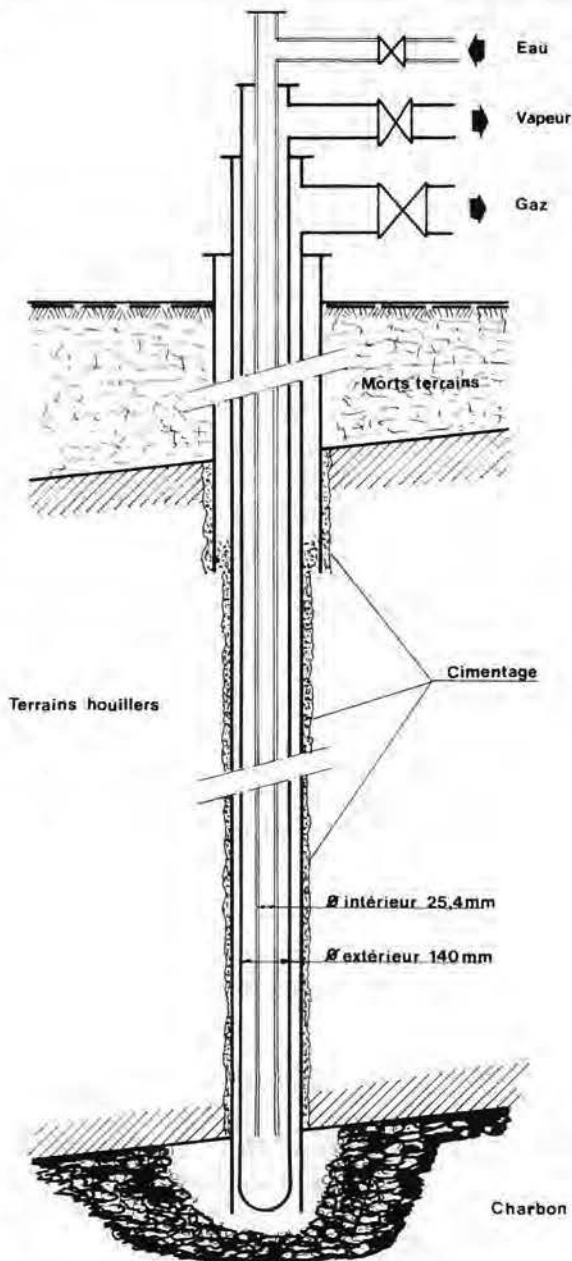


Fig. 2. — Dispositif de refroidissement des sondages
Boringenkoeler.

Eau — Water	Terrains houillers — Steenkoolgebergte
Vapeur — Damp	Cimentage — Cementering
Gaz — Gas	Intérieur — Binnen
Morts terrains — Deklagen	Extérieur — Buiten
	Charbon — Steenkool

Deux variantes sont étudiées dans la suite du rapport :

Variante 1 : La moitié des trous sont forés au diamètre 8 5/8'' pour permettre de capter le gaz produit. Les autres sondages utilisés uniquement pour l'injection de l'air sont foncés au diamètre de 5 1/2''.

Variante 2 : Le tiers des trous sont forés au diamètre 8 5/8'' pour permettre de capter le gaz produit. Les autres sondages utilisés uniquement pour l'injection de l'air sont foncés au diamètre 4 1/2''.

In het rapport worden vervolgens twee varianten bestudeerd :

Variante 1 : De helft van de gaten zijn geboord met 8 5/8'' diameter om het geproduceerde gas te kunnen afzuigen. De andere, uitsluitend voor de luchtinjectie gebruikte boringen zijn gedolven met 5 1/2'' als diameter.

Variante 2 : Het derde van de gaten zijn geboord met 8 5/8'' diameter om het geproduceerde gas te kunnen afzuigen. De andere, uitsluitend voor de luchtinjectie gebruikte boringen zijn gedolven met 4 1/2'' diameter.

2.6. Débits et pressions de fonctionnement

Les calculs sont basés sur un débit moyen de 12.000 Nm³/h par sondage à gaz, ce débit étant obtenu par injection d'un débit d'air de l'ordre de 9.000 Nm³/h.

Fonctionnement en régime permanent

Avec les diamètres de sondage définis ci-dessus et compte tenu d'une température moyenne de l'ordre de 50°C dans les sondages à air et de 300°C dans les sondages à gaz, les pressions normales de fonctionnement peuvent être estimées comme indiqué au tableau II.

2.6. Werkingsdebieten en -drukken

De berekeningen zijn gebaseerd op een gemiddeld debiet van 12.000 Nm³/h per gasboring verkregen door injectie van een luchtdebiet van zowat 9.000 Nm³/h.

Werking in bestendig bedrijf

Met de hierboven bepaalde boringdiameters en rekening houdend met een gemiddelde temperatuur van zowat 50°C in de luchtboringen en 300°C in de gasboringen, kunnen de normale werkingsdrukken zo worden geraamd als aangegeven in tabel II.

Tableau II. — Répartition des pressions en régime d'écoulement permanent
Tabel II. — Indeling van de drukken in bestendig stroombedrijf

Profondeur des sondages	1.000 m	1.500 m	Diepte van de boringen
	<i>bars</i>	<i>bars</i>	
Sortie du compresseur	36,0	40,0	<i>Bij het verlaten van de compressor</i>
Arrivée au fond	32,5	36,5	<i>Bij aankomst in de ondergrond</i>
Sortie du gazogène souterrain	29,0	33,5	<i>Bij het verlaten van de ondergrondse gasgenerator</i>
Arrivée à la centrale	18,0	20,0	<i>Bij aankomst in de centrale</i>

Fonctionnement en régime variable

Si l'on fait varier de 20 bars la pression de l'air à la sortie du compresseur, tout en maintenant constant le débit de gaz prélevé sur le gazogène souterrain, on peut évoluer vers un régime cyclique de compression et de décompression dans les limites indiquées au tableau III.

Werking in variabel bedrijf

Indien men de luchtdruk met 20 bar verandert bij het verlaten van de compressor, terwijl het debiet van het in de ondergrondse gasgenerator opgevangen gas constant wordt gehouden, kan men evolueren naar een cyclisch samendrukkings- en drukverminderingbedrijf binnen de grenzen aangegeven in tabel III.

Tableau III. — Répartition des pressions en régime variable
Tabel III. — Indeling van de drukken in variabel bedrijf

Profondeur des sondages	1.000 m	1.500 m	Diepte van de boringen
	<i>bars</i>	<i>bars</i>	
Sortie du compresseur	36,0—56,0	40,0—60,0	<i>Bij het verlaten van de compressor</i>
Arrivée au fond	32,5—52,5	36,5—56,5	<i>Bij aankomst in de ondergrond</i>
Sortie du gazogène souterrain	29,0—50,0	33,5—54,5	<i>Bij het verlaten van de ondergrondse gasgenerator</i>
Arrivée à la centrale	18,0—41,0	20,0—43,0	<i>Bij aankomst in de centrale</i>

Energie extraite

Compte tenu des hypothèses qui précèdent, le régime de 12.000 Nm³ de gaz par heure et par sondage correspond à une énergie extraite de :

$$12.000 \times 800 = 9.600.000 \text{ kcal/h de chaleur de combustion}$$

$$+ 12.000 \times 240 = 2.880.000 \text{ kcal/h de chaleur sensible,}$$

soit, au total : 12,48 Gcal/h par sondage de captage du gaz.

2.7. Coût des sondages

Le coût des sondages a été estimé sur la base d'une étude réalisée par M. J. Brych, Chargé de Cours associé à la Faculté Polytechnique de Mons.

Pour des sondages avec tubage simple, les valeurs admises sont les suivantes (tableau IV).

Gewonnen energie

Rekening houdend met de voorgaande hypothesen stemt het bedrijf van 12.000 Nm³ gas per uur en per boring overeen met een gewonnen energie van :

$$12.000 \times 800 = 9.600.000 \text{ kcal/h verbrandingswarmte}$$

$$+ 12.000 \times 240 = 2.880.000 \text{ kcal/h gevoelige warmte,}$$

of in totaal : 12,48 Gcal/h per gasafzuigboring.

2.7. Kostprijs van de boringen

De kostprijs van de boringen werd geraamd op grond van een door de Heer J. Brych, Lector aan de Faculté Polytechnique de Mons, uitgevoerde studie.

Voor de boringen met enkele verbuizing werden de volgende waarden aangenomen.

Tableau IV. — Coût des sondages avec tubage simple
Kostprijs van de boringen met enkele verbuizing

Diamètre <i>Diameter</i>	Bassin Sud - Zuiderbekken			Campine - Kempen		
	8 5/8"	5 1/2"	4 1/2"	8 5/8"	5 1/2"	4 1/2"
	(10 ^e FB)	(10 ^e FB)	(10 ^e FB)	(10 ^e FB)	(10 ^e FB)	(10 ^e FB)
Profondeur <i>Diepte</i>						
1.000 m	7,9	5,2	4,7	9,8	5,8	5,1
1.500 m	12,8	8,5	7,7	14,9	8,8	7,8

L'écart de coût entre la Campine et le Bassin Sud résulte de la différence d'épaisseur des morts-terrains qui exigent un forage initial à plus grand diamètre et un tubage supplémentaire pour isoler le gisement des nappes aquifères superficielles.

2.8. Evaluation de l'énergie consommée pour assurer la circulation de l'air et du gaz dans le parcours souterrain

Cette évaluation doit tenir compte de deux données :

1. Le volume normal d'air utilisé pour la gazéification ne représente que 75 % du volume de gaz produit.

Het kostprijsverschil tussen de Kempen en het Zuiderbekken is het gevolg van het dikteverschil in de deklagen waarvoor een eerste boring met grotere diameter vereist is en een bijkomende verbuizing om de afzetting te isoleren van de oppervlakkige waterlagen.

2.8. Raming van de verbruikte energie voor de lucht- en gascirculatie in de ondergrondse omloop

Deze raming moet rekening houden met twee gegevens :

1. Het normaal luchtvolume dat aangewend wordt voor de vergassing vormt slechts 75 % van het volume geproduceerd gas.

2. La pression à la sortie du compresseur d'air doit atteindre des valeurs 2 à 3 fois plus élevées que celles qui seraient nécessaires en l'absence de toutes pertes de charge dans le parcours souterrain.

Rapportée à 1 Nm³ de gaz de gazéification, l'équivalent calorifique de l'énergie consommée pour vaincre les pertes de charge dans le parcours souterrain peut s'exprimer par la relation :

$$E_n = 0,75 \cdot \frac{P_0 V_0}{427} \cdot \frac{T_{AD}}{T_0} \cdot \frac{1}{\rho_{iso}} \cdot I_n \cdot \frac{P_2}{P_1} \quad (\text{kcal/Nm}^3 \text{ de gaz})$$

Pour un taux de compression $P_2/P_1 = 2,5$, une température d'admission de 20°C et un rendement isothermique du compresseur de 85 %, il vient :

$$E_n = 0,75 \cdot \frac{10.332}{427} \cdot \frac{293}{273} \cdot \frac{1}{0,85} I_n \cdot 2,5 = 21 \text{ kcal/Nm}^3 \text{ de gaz,}$$

ce qui représente environ 2 % de l'énergie thermique disponible à l'entrée de la centrale.

2. De druk bij het verlaten van de luchtcompressor moet 2 tot 3 maal hogere waarden bereiken dan die welke nodig zouden zijn indien zich geen ladingsverliezen voordoen in de ondergrondse omloop.

Het warmte-equivalent van de verbruikte energie per Nm³ vergassingsgas om de ladingsverliezen in de ondergrondse omloop te overwinnen kan worden uitgedrukt door de verhouding :

Bij een samendrukkingsgraad $P_2/P_1 = 2,5$, een inlaattemperatuur van 20°C en een isothermisch rendement van de compressor van 85 % verkrijgt men :

wat ongeveer 2 % is van de thermische energie die aan de inlaat van de centrale beschikbaar is.

2.9. Caractéristiques de la centrale

La production d'électricité est supposée réalisée dans une centrale de 170 MW de puissance utile (183 MW de puissance installée).

Les calculs ont été menés pour deux taux d'utilisation :

- le taux de 7.000 h par an, qui est celui d'une centrale de base ;
- le taux de 4.500 h par an, qui est celui d'une centrale de moyenne utilisation.

Différentes raisons militent en faveur de la limitation de la puissance installée :

- a) Limitation du gisement à exploiter.
- b) Limitation de la surface occupée et de la longueur des conduites de transport d'eau, de gaz et de vapeur.
- c) Limitation des débits d'eau de refroidissement, ce qui permet une plus grande liberté dans le choix du site.
- d) Possibilité d'obtenir un rendement élevé à partir d'un cycle mixte : turbine à gaz + turbine à vapeur fonctionnant à ce niveau de puissance.
- e) Existence de turbines à gaz de construction standard dans la gamme de 80 MW.

Au stade actuel des études, le choix du cycle combiné paraît nécessaire pour obtenir un rendement suffisant malgré la perte thermodynamique qu'impli-

2.9. Kenmerken van de centrale

De elektriciteit wordt verondersteld te worden geproduceerd in een centrale met 170 MW nuttig vermogen (183 MW geïnstalleerd vermogen).

Er werden berekeningen gemaakt voor twee benuttingsgraden :

- de graad van 7.000 h per jaar voor een basiscentrale;
- de graad van 4.500 h per jaar voor een centrale met middelmatige benutting.

Verschillende redenen pleiten in het voordeel van de beperking van het geïnstalleerde vermogen :

- a) Beperking van de te ontginnen afzetting.
- b) Beperking van de ingenomen oppervlakte en van de lengte van de leidingen voor het vervoer van water, gas en stoom.
- c) Beperking van de koelwaterdebieten waardoor men vrijer is bij het kiezen van de winningsplaats.
- d) Mogelijkheid om een hoger rendement te verkrijgen uitgaande van een gemengde kringloop : gasturbine + stoomturbine die bij dit vermogen werkt.
- e) Bestaan van gasturbines van standaardformaat in het gamma van 80 MW.

In het huidige stadium van de studies blijkt het nodig te kiezen voor de gecombineerde kringloop om een voldoende rendement te verkrijgen on-

que l'utilisation d'une pression variable ; d'autre part, ce choix permet de valoriser aisément les calories récupérées sous forme de vapeur saturée dans le système de réfrigération des sondages.

Sans vouloir préjuger du schéma définitif de la centrale, il a paru nécessaire de baser l'étude économique sur un projet concret, représenté à la figure 3.

Ce schéma est similaire à celui de la centrale STEAG de Lünen ; sa caractéristique essentielle est la combinaison de la chambre de combustion de la turbine à gaz et de la chaudière à vapeur en une seule unité fonctionnant sous une pression d'air de l'ordre de 15 bars. L'épuration du gaz de gazéification pourrait également être réalisée par les méthodes de lavage utilisées à Lünen pour le traitement des gaz de gazogène. La vapeur collectée à la tête des sondages serait mélangée à celle sortant du vaporisateur, tandis qu'un économiseur-récupérateur, alimenté par l'échappement de la turbine à gaz, serait implanté à proximité de la chaudière.

Conformément aux installations à vapeur classiques, on a prévu des pompes d'extraction et d'alimentation, ainsi qu'un nombre limité de soutirages (dont un réchauffe, par mélange, l'eau de la bêche alimentaire). Une pompe séparée est destinée à alimenter le circuit de réfrigération des sondages.

danks het thermodynamisch verlies te wijten aan het gebruik van een variabele druk; anderzijds maakt deze keuze het mogelijk de opgevangen calorische stoom in het koelsysteem voor de boringen.

Om het definitieve schema van de centrale niet voorbarig te willen beoordelen bleek het nodig de economische studie te baseren op een concreet project dat voorgesteld is op figuur 3.

Dit schema is hetzelfde als dat van de Steag-centrale in Lünen; het voornaamste kenmerk is de combinatie van de verbrandingskamer van de gasturbine met de stoomketel in één enkele eenheid die onder een luchtdruk van zowat 15 bar werkt. Het vergassingsgas kan eveneens worden gezuiverd door de in Lünen gebruikte wasmethoden voor de behandeling van de generatorgassen. De bovenaan in de boringen opgevangen stoom zal worden vermengd met die welke uit de verdamper komt, terwijl er in de nabijheid van de ketel een economiser-recuperator, gevoed door de uitlaat van de gasturbine, zal worden opgesteld.

Conform de klassieke stoominstallaties werd voorzien in extractie- en voedingspompen, alsook in een beperkt aantal aftappings (waarvan een het water van de voedingstank verwarmt door menging). Een afzonderlijke pomp is bestemd om de koelomloop voor de boringen te voeden.

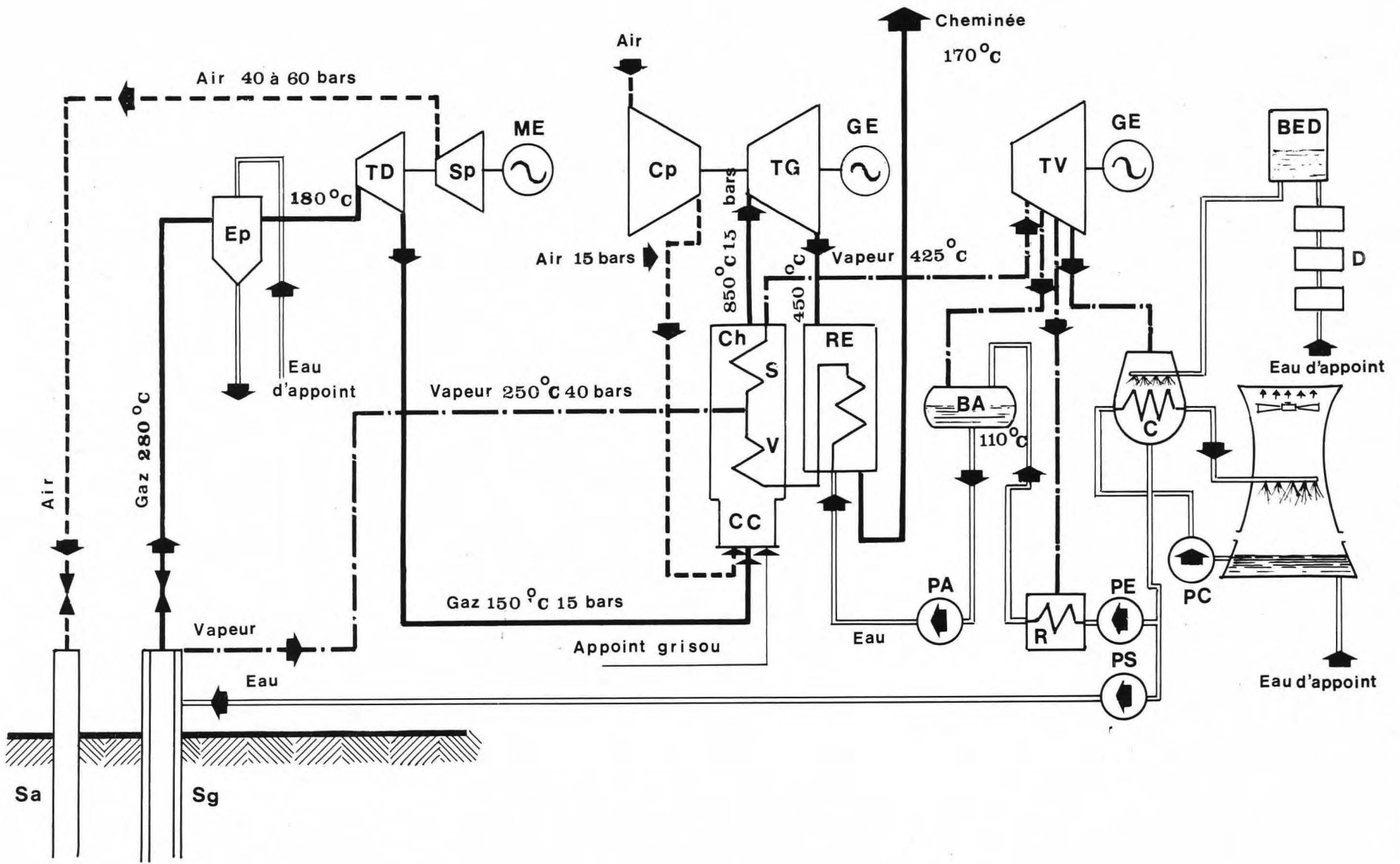
Fig. 3. — Schéma de centrale à cycle combiné TG-TV
Schema van centrale met gecombineerde kringlopen TG-TV (Gasturbine-Stoomturbine)

BED	Bâche eau déminéralisée
PA	Pompe alimentaire
BA	Bâche alimentaire
D	Inst. de déminéralisation
ME	Moteur électrique
GE	Générateur électrique
Cp	Compresseur
CC	Chambre de combustion
Sp	Surpresseur
Sa	Sondages alimentation air
Sg	Sondages extraction gaz
Ep	Epurateur
TD	Turbine détente
TG	Turbine à gaz
RE	Récupérateur Économiseur
S	Surchauffeur
Ch	Chaudière
V	Vaporisateur
TV	Turbine à vapeur
R	Réchauffeur basse pression
C	Condenseur
PC	Pompe de circulation
PE	Pompe extraction
PS	Pompe sondages

Air — Lucht
Gaz — Gas
Eau d'appoint — Aanvullingswater

BED	Reservoir onthard water
PA	Voedingspomp
BA	Voedingsreservoir
D	Onthardingsinstallatie
ME	Elektrische motor
GE	Elektrische generator
Cp	Compressor
CC	Verbrandingskamer
Sp	Overdrukpomp
Sa	Luchtvoedingsboringen
Sg	Gasextractieboringen
Ep	Zuiveringstoestel
TD	Ontspanningsturbine
TG	Gasturbine
RE	Recuperator Economiser
S	Oververhitter
Ch	Ketel
V	Verdamper
TV	Stoomturbine
R	Lagedrukopwarmer
C	Condensor
PC	Circulatiepomp
PE	Extractiepomp
PS	Boringenpomp

Vapeur — Damp
Appoint grisou — Aanvulling mijngas
Cheminée — Schouw



Des calculs d'avant-projet indiquent comme ordre de grandeur, pour une puissance totale brute de 183 MW : 80 MW à la turbine à gaz, 103 MW à la turbine à vapeur et 160 Gcal/h au condenseur. Deux cellules aérorefrigérantes à tirage forcé suffiraient à évacuer ces calories ; l'appoint d'eau rendrait nécessaire la proximité d'un canal ou d'un ruisseau à débit suffisant.

2.10. Prix, intérêts et amortissements

Tous les prix unitaires mentionnés dans l'étude ont été rapportés aux indices de prix du mois d'août 1975.

Sur cette base, la valeur des investissements de la centrale a été estimée à 11.000 FB par kW installé, y compris les frais indirects.

Les calculs d'amortissement ont été basés sur un taux d'intérêt de 9 % l'an et sur une durée d'utilisation de 20 ans, pour la centrale.

2.11. Rendement de conversion de la chaleur en électricité

Le rendement brut de la centrale à cycle combiné gaz-vapeur, a été estimé à 38 %.

Compte tenu de l'énergie consommée pour assurer la circulation de l'air et du gaz dans le parcours souterrain, le rendement net en électricité, fournie au réseau de distribution, est ramené à 36 % de la quantité d'énergie thermique disponible à l'entrée de la centrale.

En se basant sur les coefficients d'utilisation et de pertes admis au § 3, la quantité d'électricité livrée au réseau correspond à :

$$36 \times \frac{63}{65} = 34,9 \text{ \% de l'énergie extraite}$$

ou encore :

$$36 \times \frac{63}{100} = 22,7 \text{ \% du potentiel du gisement.}$$

2.12. Paramètres variables

Trois facteurs exercent une influence prépondérante sur le prix de revient du gaz produit. On a admis que ces facteurs étaient susceptibles de varier dans les limites suivantes :

Voorontwerpberekeningen geven voor een totaal brutovermogen van 183 MW als grootte-orde aan : 80 MW in de gasturbine, 103 MW in de stoomturbine en 160 Gcal/h in de condensor. Twee lucht-koelcellen met kunstmatige trek zouden volstaan om deze calorieën te verwijderen; voor de wateraanvulling zou de nabijheid van een kanaal of van een stroom met voldoende debiet vereist zijn.

2.10 Prijzen, interesten en afschrijvingen

Alle in de studie vermelde eenheidsprijzen werden uitgedrukt op basis van de prijsindex van de maand augustus 1975.

Op grond daarvan werd de waarde van de investeringen voor de centrale geraamd op 11.000 BF per geïnstalleerd kW, met inbegrip van de indirecte kosten.

De afschrijvingsberekeningen waren gebaseerd op een interestvoet van 9 % per jaar en op een benuttingsduur van 20 jaar, voor de centrale.

2.11. Omzettingsrendement van warmte in elektriciteit

Het brutorendement van de centrale met gecombineerde gas-stoom cyclus werd op 38 % geraamd.

Rekening houdend met de verbruikte energie voor de lucht- en gascirculatie in de ondergrondse omloop, is het netto-rendement aan elektriciteit, geleverd aan het bedelingsnet, teruggebracht op 36 % van de hoeveelheid thermische energie die beschikbaar is aan de ingang van de centrale.

Zich steunend op de in § 3 aangenomen benuttings- en verliescoëfficiënten stemt de hoeveelheid aan het net geleverde energie overeen met :

$$36 \times \frac{63}{65} = 34,9 \text{ \% van de gewonnen energie}$$

of nog :

$$36 \times \frac{63}{100} = 22,7 \text{ \% van het afzettingspotentieel}$$

2.12. Veranderlijke parameters

Drie factoren hebben doorslaggevende invloed op de kostprijs van het geproduceerde gas. Er werd aangenomen dat deze factoren konden veranderen binnen de volgende grenzen :

- a) Profondeur des sondages de gazéification :
de 1.000 à 1.500 m
- b) Surface de la zone gazéifiée par sondage :
de 1.000 à 10.000 m²
- c) Puissance cumulée des couches exploitées à partir des mêmes sondages :
de 2 à 8 m.

En ce qui concerne le volume de charbon gazéifié par sondage, l'étude se limite à une gamme comprise entre 5.000 et 30.000 m³.

- a) Diepte van de vergassingsboringen :
van 1.000 tot 1.500 m
- b) Oppervlakte van de per boring vergaste zone :
van 1.000 tot 10.000 m²
- c) Gecumuleerd vermogen van de lagen ontgonnen vanaf dezelfde boringen :
van 2 tot 8 m.

Wat het volume vergaste steenkool per boring betreft, is de studie begrensd tot een gamma tussen 5.000 en 30.000 m³.

3. PROGRAMME D'EXPLOITATION

3.1. Consommation annuelle de la centrale

Pour l'évaluation du volume de houille à exploiter par gazéification souterraine pour l'alimentation de la centrale, on a admis que les laies de charbon qui composent le gisement ont un poids spécifique moyen de 1.400 kg par m³ et qu'elles sont constituées de 80 % de charbon pur d'un P.C.S. de 8.800 kcal/kg et de 20 % de matières minérales inertes, ce qui conduit à un pouvoir calorifique supérieur moyen de 7.040 kcal/kg.

Compte tenu de ces valeurs et des rendements définis au chapitre 2, l'énergie thermique et le volume de gisement consommés annuellement par la centrale peuvent être évalués comme indiqué au tableau V.

3. ONTGINNINGSPROGRAMMA

3.1. Jaarlijks verbruik van de centrale

Voor de raming van het volume door ondergrondse vergassing te ontginnen steenkool voor de voeding van de centrale, werd aangenomen dat de steenkoolbeddingen, welke de afzetting vormen, een gemiddeld soortelijk gewicht van 1.400 kg per m³ hebben en dat zij bestaan uit 80 % zuivere steenkool met een bovenste stookwaarde van 8.800 kcal/kg en 20 % inerte minerale stoffen, wat leidt tot een gemiddelde bovenste stookwaarde van 7.040 kcal/kg.

Rekening houdend met deze waarden en met de in hoofdstuk 2 bepaalde rendementen, kunnen de jaarlijks door de centrale verbruikte thermische energie en het afzettingsvolume worden geraamd zoals aangegeven in tabel V.

Tableau V. — Production et consommation annuelle de la centrale
Tabel V. — Jaarlijkse produktie en verbruik van de centrale

Taux d'utilisation de la centrale	7.000 h	4.500 h	Benuttingsgraad van de centrale
Energie électrique distribuée (10 ⁶ kWh)	1.190	765	Bedeelde elektrische energie (10 ⁶ kWh)
Equivalent calorifique (Gcal)	1.023.400	657.900	Warmte-equivalent (Gcal)
Energie à extraire du gisement sur base d'un rendement de 34,9 % (Gcal)	2.932.400	1.885.100	In de afzetting te winnen energie op basis van een rendement van 34,9 % (Gcal)
Potentiel du gisement à exploiter sur base d'un rendement global de 22,7 % (Gcal)	4.508.400	2.898.200	Te ontginnen afzettingspotentieel op basis van een globaal rendement van 22,7 % (Gcal)
Poids du charbon correspondant (t)	640.400	411.680	Gewicht v/d overeenstemmende steenkool (t)
Volume de houille à exploiter (m ³)	457.400	294.100	Te ontginnen steenkoolvolume (m ³)

3.2. Superficie du site à prévoir pour l'alimentation de la centrale

La surface de gisement nécessaire pour assurer l'alimentation de la centrale pendant une durée de 20 ans est précisée au tableau VI.

3.2. Te bepalen winningsplaatsoppervlakte voor de voeding van de centrale

De tijdens 20 jaar, voor de voeding van de centrale benodigde afzettingsoppervlakte is aangegeven in tabel VI.

Tableau VI. — Superficie du gisement à exploiter
Tabel VI. — Oppervlakte van de te ontginnen afzetting

Taux d'utilisation de la centrale	7.000 h	4.500 h	Benuttingsgraad van de centrale
	(10 ⁶ m ³)	(10 ⁶ m ³)	
Volume de charbon à exploiter	9,15	5,88	<i>Te ontginnen steenkoolvolume</i>
Surface du gisement à exploiter	(km ²)	(km ²)	<i>Te ontginnen afzettingsoppervlakte</i>
— pour une puissance globale de 2 m	4,58	2,94	<i>— voor een globale dikte van 2 m</i>
— pour une puissance globale de 4 m	2,29	1,47	<i>— voor een globale dikte van 4 m</i>
— pour une puissance globale de 6 m	1,53	0,98	<i>— voor een globale dikte van 6 m</i>
— pour une puissance globale de 8 m	1,14	0,74	<i>— voor een globale dikte van 8 m</i>

3.3. Valeur limite des affaissements de terrains résultant de l'exploitation

La figure 4 donne une évaluation de l'affaissement maximum résultant de l'exploitation d'une couche d'un mètre de puissance, suivant que l'exploitation est réalisée par gazéification souterraine ou par exploitation classique sans remblayage.

A partir de ces données, la valeur limite des affaissements de terrain à prévoir peut être précisée comme indiqué au tableau VII.

3.3. Grenswaarde van de gesteenteverzakkingen ten gevolge van de ontginning

Figuur 4 geeft een raming van de maximum-verzakking ten gevolge van de ontginning van een één meter dikke laag, naargelang de ontginning gebeurt door ondergrondse vergassing of door klassieke ontginning zonder opvulling.

Uitgaande van deze gegevens kan de grenswaarde van de te verwachten gesteenteverzakkingen worden bepaald zoals aangegeven in tabel VII.

Tableau VII. — Valeur limite des affaissements de terrains

Puissance cumulée des couches	Affaissement maximum		
	Gazéification souterraine	Exploitation classique	
		Couches homogènes	Couches hétérogènes
(m)	(m)	(m)	(m)
2	1,33	2	2,67
4	2,67	4	5,33
6	4,00	6	8,00
8	5,33	8	10,67

Tabel VII. — Grenswaarde van de gesteenteverzakkingen

Gecumuleerde dikte van de lagen	Maximale verzakking		
	Ondergrondse vergassing	Klassieke ontginning	
		Homogene lagen	Heterogene lagen
(m)	(m)	(m)	(m)
2	1,33	2	2,67
4	2,67	4	5,33
6	4,00	6	8,00
8	5,33	8	10,67

Ces chiffres montrent avec évidence que les affaissements prévisibles à la suite d'une exploitation par gazéification souterraine sont d'un ordre de grandeur de 30 à 50 % plus faible que ceux que l'on peut attendre d'une exploitation classique avec foudroyage du toit, et qu'ils ne devraient pas être très différents des valeurs observées dans les exploitations classiques dans lesquelles on effectue un remblayage de qualité courante.

Deze cijfers tonen duidelijk aan dat de te verwachten verzakkingen naar aanleiding van een ontginning door ondergrondse vergassing 30 tot 50 % kleiner zijn dan die welke te verwachten zijn bij een klassieke ontginning met dakbreukbouw, en dat ze niet zouden verschillen van de waargenomen waarden in de klassieke ontginningen waar een vulling van gewone kwaliteit wordt aangebracht.

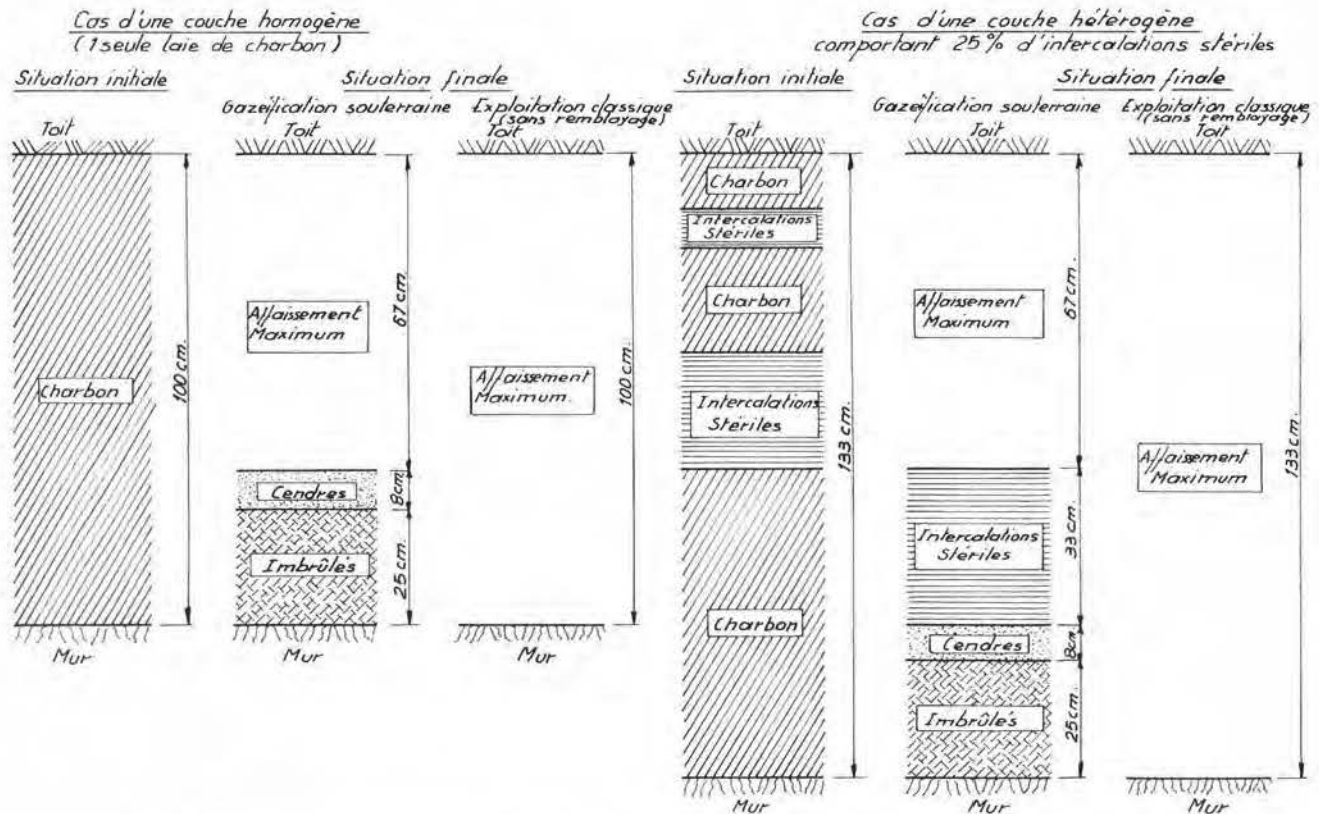


Fig. 4. — Evaluation de l'affaissement maximum, résultant de l'exploitation d'une couche de 1 m de puissance.

Raming van de maximumverzakking ten gevolge van de ontginning van een 1 m dikke laag.

Cas d'une couche homogène (1 seule laie de charbon) — Geval van een homogene laag (1 enkele steenkoolbedding)

Cas d'une couche hétérogène comportant 25 % d'intercalations stériles — Geval van een heterogene laag met 25 % steenmiddelen

Situation initiale — Oorspronkelijke toestand

Situation finale — Eindtoestand

Gazéification souterraine — Ondergrondse vergassing

Exploitation classique (sans remblayage) — Klassieke ontginning (zonder opvulling)

Toit — Dak

Charbon — Steenkool

Mur — Vloer

Affaissement maximum — Maximumverzakking

Cendres — As

Imbrûlés — Onverbrande steenkool

3.4. Evaluation du nombre de sondages

3.4.1. Nombre de sondages en exploitation

Compte tenu des rendements définis au chapitre 2.10, la quantité d'énergie à extraire pour assurer la production de 1 kWh, a pour valeur :

$$860 \times \frac{1}{0,349} = 2.465 \text{ kcal.}$$

Le débit calorifique maximum d'un sondage à gaz étant de 12,48 Gcal/h (réf. chap. 2.6.), le nombre minimum de sondages à gaz nécessaires pour assurer l'alimentation de la centrale lorsqu'elle fonctionne à son régime nominal de 170 MW peut se déduire de l'équation :

Energie extraite pour une heure de fonctionnement =
 $N_0 \times 12.480.000 \text{ kcal} = 170.000 \times 2.465 \text{ kcal}$
 ce qui conduit à une valeur minimum :

$$N_0 = 34 \text{ sondages.}$$

L'exploitation par gazéification souterraine impliquant la réalisation d'un circuit comportant une entrée d'air et une sortie de gaz, N_0 représente également le nombre minimum de sondages d'entrée d'air à réaliser comme travail préparatoire avant toute mise en exploitation du gisement.

3.4.2. Nombre de sondages à foncer annuellement pour assurer le développement de l'exploitation

Lorsque l'exploitation se développe à son régime normal, le volume de charbon, qui peut être gazéifié à partir du fonçage de chaque nouveau sondage, est le produit de la puissance cumulée des couches par la surface moyenne gazéifiée à partir d'un sondage (tableau VIII).

3.4. Raming van het aantal boringen

3.4.1. Aantal in ontginning zijnde boringen

Rekening houdend met de in hoofdstuk 2.10 bepaalde rendementen heeft de hoeveelheid te winnen energie voor de produktie van 1 kWh als waarde :

$$860 \times \frac{1}{0,349} = 2.465 \text{ kcal.}$$

Daar het maximaal warmtedebiet van een gasboring 12,48 Gcal/h bedraagt (ref. hoofdstuk 2.6), kan het minimumaantal gasboringen dat nodig is voor de voeding van de centrale, wanneer deze bij een nominaal bedrijf van 170 MW werkt, worden afgeleid uit de vergelijking :

Gewonnen energie na een uur werking =
 $N_0 \times 12.480.000 \text{ kcal} = 170.000 \times 2.465 \text{ kcal}$
 wat leidt tot een minimumwaarde :

$$N_0 = 34 \text{ boringen}$$

Aangezien de ontginning door ondergrondse vergassing de uitvoering impliceert van een omloop met een lucht- en een gasuitlaat, geeft N_0 eveneens het minimumaantal intrekende boringen aan die vóór elke ontginning van de afzetting als voorbereidend werk moeten worden tot stand gebracht.

3.4.2. Aantal jaarlijks te delven boringen voor de ontwikkeling van de ontginning

Wanneer de ontginning in normaal bedrijf verloopt, is het steenkoolvolume dat na het delven van elke nieuwe boring kan worden vergast het produkt van de gecumuleerde dikte van de lagen met de gemiddelde, vanaf een boring vergaste oppervlakte (tabel VIII).

Tableau VIII. — Volume gazéifié par sondage
 Tabel VIII. — Vergast volume per boring

Puissance cumulée des couches (m)	Volume gazéifié par sondage (m ³) Vergast volume per boring (m ³)					Gecumuleerde dikte van de lagen (m)
2		6.000	10.000	14.000	20.000	2
4		12.000	20.000	28.000		4
6	6.000	18.000	30.000			6
8	8.000	24.000				8
Surface de la zone gazéifiée par sondage (m ²)	1.000	3.000	5.000	7.000	10.000	Oppervlakte van de vergaste zone per boring (m ²)

Compte tenu de ces valeurs et du volume de houille à exploiter pour assurer l'alimentation de la centrale, le nombre minimum de sondages à foncer annuellement s'établit comme indiqué au tableau IX.

Rekening houdend met deze waarden en met het te ontginnen steenkoolvolume voor de voeding van de centrale, neemt het jaarlijks te delven minimumaantal boringen de volgende waarden aan (tabel IX).

Tableau IX. — Nombre de sondages à foncer annuellement
Tabel IX. — Aantal jaarlijkse te delven boringen

1. Pour un taux d'utilisation de la centrale de 7.000 h par an
(Vol. à exploiter : 457.400 m³)
1. Voor een benuttingsgraad van de centrale van 7.000 h per jaar
(Te ontginnen vol. : 457.400 m³)

Puissance cumulée des couches (m)	Nombre de sondages à foncer chaque année (N _i) Aantal jaarlijks te delven boringen (N _i)					Gecumuleerde dikte van de lagen (m)
	1.000	3.000	5.000	7.000	10.000	
2		76,2	45,7	32,7	22,9	2
4		38,1	22,9	16,3		4
6	76,2	25,4	15,2			6
8	57,2	19,1				8
Surface de la zone gazéifiée par sondage (m ²)	1.000	3.000	5.000	7.000	10.000	Oppervlakte van de vergaste zone per boring (m ²)

2. Pour un taux d'utilisation de la centrale de 4.500 h par an
(Vol. à exploiter : 294.100 m³)
2. Voor een benuttingsgraad van de centrale van 4.500 h per jaar
(Te ontginnen vol. : 294.100 m³)

Puissance cumulée des couches (m)	Nombre de sondages à foncer chaque année (N _i) Aantal jaarlijks te delven boringen (N _i)					Gecumuleerde dikte van de lagen (m)
	1.000	3.000	5.000	7.000	10.000	
2		49,0	29,4	21,0	14,7	2
4		24,5	14,7	10,5		4
6	49,0	16,3	9,8			6
8	36,8	12,2				8
Surface de la zone gazéifiée par sondage (m ²)	1.000	3.000	5.000	7.000	10.000	Oppervlakte van de vergaste zone per boring (m ²)

3.4.3. *Nombre minimum de sondages à foncer pour assurer l'alimentation de la centrale pendant ses 20 années d'existence*

Ce nombre minimum a pour expression :

$$N = N_0 + 20 N_1$$

en désignant par N_0 le nombre de sondages à réaliser comme travail préparatoire avant la mise en exploitation du gisement et par N_1 le nombre de sondages à foncer annuellement pour assurer le développement de l'exploitation.

Les valeurs numériques de N sont indiquées au tableau X.

3.4.3. *Minimumaantal te delven boringen voor de voeding van de centrale tijdens de 20 jaren van haar bestaan*

Dit minimaantal wordt uitgedrukt door :

$$N = N_0 + 20 N_1$$

waarbij N_0 het aantal boringen aangeeft dat als voorbereidend werk, vóór de ontginning van de afzetting, moet worden uitgevoerd en N_1 het aantal jaarlijks te delven boringen voor de ontwikkeling van de ontginning.

De numerieke waarden van N zijn aangegeven in tabel X.

Tableau X. — Nombre de sondages à foncer en 20 ans
Tabel X. — Aantal in 20 jaar te delven boringen

1. Pour un taux d'utilisation de la centrale de 7.000 h par an
1. Voor een benuttingsgraad van de centrale van 7.000 h per jaar

Puissance cumulée des couches (m)	Nombre de sondages à foncer en 20 ans (N) Aantal in 20 jaar te delven boringen (N)					Gecumuleerde dikte van de lagen (m)
	1.000	3.000	5.000	7.000	10.000	
2		1.558	948	688	492	2
4		796	492	360		4
6	1.558	542	338			6
8	1.178	416				8
Surface de la zone gazéifiée par sondage (m ²)	1.000	3.000	5.000	7.000	10.000	Oppervlakte van de vergaste zone per boring (m ²)

2. Pour un taux d'utilisation de la centrale de 4.500 h par an
2. Voor een benuttingsgraad van de centrale van 4.500 h per jaar

Puissance cumulée des couches (m)	Nombre de sondages à foncer en 20 ans (N) Aantal in 20 jaar te delven boringen (N)					Gecumuleerde dikte van de lagen (m)
	1.000	3.000	5.000	7.000	10.000	
2		1.014	622	454	328	2
4		524	328	244		4
6	1.014	360	230			6
8	770	278				8
Surface de la zone gazéifiée par sondage (m ²)	1.000	3.000	5.000	7.000	10.000	Oppervlakte van de vergaste zone per boring (m ²)

3.4.4. Volume moyen gazéifié par sondage

Si l'on tient compte du nombre total de sondages à foncer pour assurer l'exploitation du gisement pendant les 20 années d'existence de la centrale, le volume moyen de gisement gazéifié par chaque sondage s'établit aux valeurs données au tableau XI. Ce sont ces dernières valeurs qu'il convient d'utiliser pour l'interprétation des prix de revient dont il sera question aux chapitres 4 et 5.

3.4.4. Gemiddeld vergast volume per boring

Indien rekening wordt gehouden met het totaal aantal te delven boringen voor de ontginning van de afzetting tijdens de 20 jaren van het centralebestaan, stemt het gemiddeld vergast volume voor elke boring overeen met de volgende waarden (tabel XI). Deze waarden moeten worden gebruikt voor de interpretatie van de kostprijzen waarvan sprake zal zijn in de hoofdstukken 4 en 5.

Tableau XI. — Volume moyen gazéifié par sondage (compte tenu de la première ligne de 34 sondages)
Tabel XI. — Gemiddeld vergast volume per boring (rekening houdend met de eerste lijn van 34 boringen)

1. Pour un taux d'utilisation de 7.000 h par an
1. Voor een benuttingsgraad van 7.000 h per jaar

Puissance cumulée des couches (m)	Volume moyen gazéifié par sondage (m ³) Gemiddeld vergast volume per boring (m ³)					Gecumuleerde dikte van de lagen (m)
2		5.868	9.642	13.295	18.618	2
4		11.479	18.618	25.304		4
6	5.868	16.869	26.941			6
8	7.769	22.019				8
Surface de la zone gazéifiée par sondage (m ²)	1.000	3.000	5.000	7.000	10.000	Oppervlakte van de vergaste zone per boring (m ²)

2. Pour un taux d'utilisation de 4.500 h par an
2. Voor een benuttingsgraad van 4.500 h per jaar

Puissance cumulée des couches (m)	Volume moyen gazéifié par sondage (m ³) Gemiddeld vergast volume per boring (m ³)					Gecumuleerde dikte van de lagen (m)
2		5.796	9.455	12.939	17.933	2
4		11.217	17.933	24.082		4
6	5.796	16.298	25.541			6
8	7.642	21.071				8
Surface de la zone gazéifiée par sondage (m ²)	1.000	3.000	5.000	7.000	10.000	Oppervlakte van de vergaste zone per boring (m ²)

3.5. Plan d'exploitation

Les plans d'exploitation peuvent varier en fonction des circonstances locales de disposition du gisement et d'occupation de la surface.

La figure 5 donne, à titre d'exemple, les dispositions qui pourraient être adoptées pour l'exploitation d'un gisement homogène d'assez grand développement.

Dans le cas de la *variante 1* (alternance d'un sondage à gaz et d'un sondage à air), on a admis que les sondages étaient répartis aux sommets d'un réseau à mailles carrées de 75 m de côté et que la gazéification progressait suivant quatre fronts de 600 m de longueur, déterminés par quatre alignements de 9 sondages.

Dans le cas de la *variante 2* (alternance d'un sondage à gaz et de deux sondages à air), on a admis que les sondages étaient répartis aux sommets d'un réseau à mailles triangulaires de 80 m de côté et que la gazéification progressait suivant quatre fronts de 1.040 m de longueur, déterminés par quatre alignements de 13 sondages.

Dans les deux cas, un stot de protection de 1.000 m a été réservé autour de la centrale.

4. COUT DE L'ENERGIE THERMIQUE

4.1. Expression générale du coût de l'énergie thermique « extraite »

L'analyse des facteurs qui influencent le coût de l'énergie thermique conduit à regrouper les éléments du prix de revient en une somme de 3 termes :

$$P = (S + R) + (T) + (C + MO)$$

avec les notations :

- P : coût de l'énergie extraite (FB/Gcal)
 S + R : intervention du coût des sondages et de leurs dispositifs de refroidissement
 T : intervention de l'intérêt du capital immobilisé pour l'acquisition du terrain
 C + MO : intervention du coût des canalisations reliant la centrale aux sondages et du coût de la main-d'œuvre nécessaire pour le déplacement et l'entretien des installations de chantiers.

3.5. Exploitatieplan

De exploitatieplannen kunnen variëren naar gelang van de plaatselijke omstandigheden van de afzettingsgesteldheid en de oppervlaktebezetting.

Figuur 5 geeft bij wijze van voorbeeld de schikkingen aan die zouden kunnen worden aangenomen voor de exploitatie van een homogene afzetting van vrijwel grote ontwikkeling.

In het geval van *variante 1* (afwisseling van een gasboring en een luchtboring) werd aangenomen dat de boringen verdeeld waren over de toppen van een net met vierkante mazen van 75 m zijde, en dat de vergassing vorderde volgens vier fronten van 600 m lengte, bepaald door vier lijnen van 9 boringen.

In het geval van *variante 2* (afwisseling van een gasboring en twee luchtboringen) werd aangenomen dat de boringen verdeeld waren over de toppen van een net met driehoekige mazen van 80 m zijde en dat de vergassing vorderde volgens vier fronten van 1.040 m lengte bepaald door vier lijnen van 13 boringen.

In beide gevallen werd een beveiligingsmassief van 1.000 m rond de centrale vrijgehouden.

4. KOSTPRIJS VAN DE THERMISCHE ENERGIE

4.1. Algemene uitdrukking van de kostprijs van de « gewonnen » thermische energie

De analyse van de factoren welke de kostprijs van de thermische energie beïnvloeden leidt tot de hergroepering van de kostprijs-elementen in een som van 3 termen :

$$P = (S + R) + (T) + (C + MO)$$

met de aanduidingen :

- P : kostprijs van de gewonnen energie (BF/Gcal)
 S + R : kostprijs van de boringen en van hun koelers
 T : interest van het vast kapitaal voor de aankoop van het terrein
 C + MO : kostprijs van de leidingen welke de centrale verbinden met de boringen en van de kostprijs van de benodigde arbeidskrachten voor de verplaatsing en het onderhoud van de werkinstallaties.

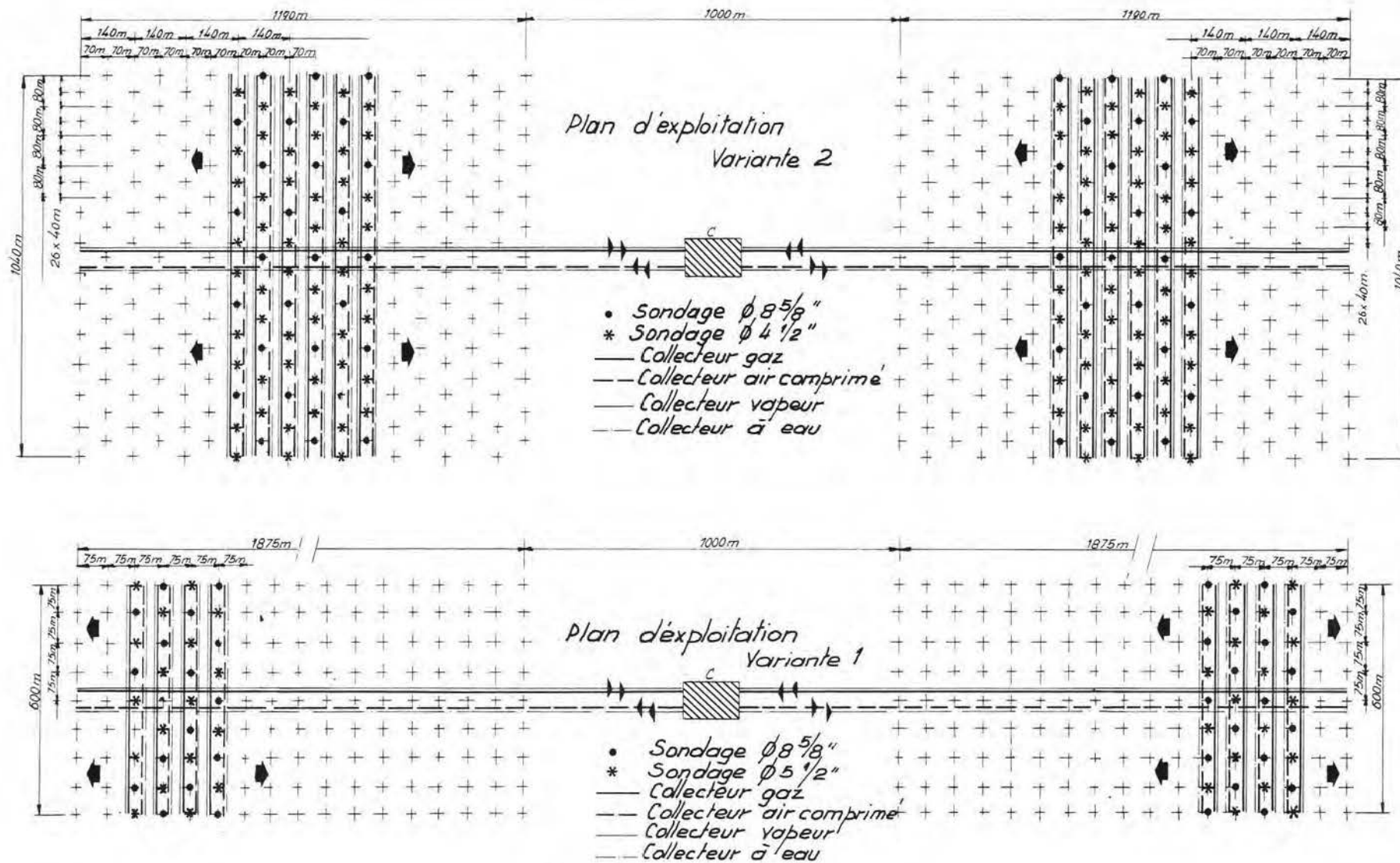


Fig. 5. — Plans d'exploitations — Winningsplannen

- Sondage — Boring
- Collecteur gaz — Gasleiding
- Collecteur air comprimé — Persluchtleiding
- Collecteur vapeur — Stoomleiding
- Collecteur à eau — Waterleiding

4.2. Sondages et dispositifs de refroidissement

Le premier terme du prix de revient peut s'exprimer par le rapport :

$$(S + R) = \frac{\text{Prix moyen d'un sondage}^*}{\text{Energie thermique extraite par sondage}}$$

* y compris intervention du dispositif de refroidissement.

La valeur du numérateur dépend du gisement (Campine ou Bassin Sud), de la profondeur, du diamètre et de la répartition des sondages (variantes 1 et 2).

La valeur du dénominateur dépend du volume moyen de charbon gazéifié à partir de chaque sondage, paramètre variable, dont la valeur réelle ne pourra être déterminée que par l'expérience.

4.2.1. Coût moyen d'un sondage

Le coût d'un sondage à tubage simple, déduit de l'étude du Professeur Brych, est donné au chapitre 2.7.

Pour l'étude de la *variante 1*, on a adopté comme coût moyen la moyenne des prix obtenus pour les forages à 8 5/8" et à 5 1/2".

Pour la *variante 2*, on a adopté la moyenne du prix d'un forage à 8 5/8" et de deux forages à 4 1/2".

Dans les deux cas, les valeurs obtenues ont été majorées de 15 % pour tenir compte des aléas d'ordres technique et/ou géologique qui peuvent entraîner l'abandon d'un sondage ou réduire sa productivité.

Si un même sondage est utilisé pour l'exploitation successive de plusieurs couches, une majoration des dépenses devrait être prévue pour tenir compte des adaptations nécessaires (obstruction du fond du sondage et perforation du tubage à hauteur des couches à exploiter). A défaut d'éléments d'appréciation suffisants, ces majorations de dépenses n'ont pas été reprises dans les calculs et il y a lieu d'en tenir compte dans l'interprétation des résultats.

4.2.2. Coût du dispositif de refroidissement

Le coût de l'équipement destiné au refroidissement des sondages et à la récupération de la chaleur sensible des gaz a été estimé à 1.700 francs par mètre courant, et on a admis que le prix de cet équipement amovible pouvait être amorti sur deux périodes d'utilisation.

4.2. Boringen en koelers

De eerste term van de kostprijs kan worden uitgedrukt door de verhouding :

$$(S + R) = \frac{\text{Gemiddelde prijs van een boring}^*}{\text{Gewonnen thermische energie per boring}}$$

* met inbegrip van de koelerbijdrage.

De waarde van de teller is afhankelijk van de afzetting (Kempen of Zuiderbekken), de diepte, de diameter en de verdeling van de boringen (varianten 1 en 2).

De waarde van de noemer is afhankelijk van het vanaf elke boring gemiddelde volume vergaste steenkool. Dit is een variabele parameter waarvan de werkelijke waarde slechts bij proefneming kan worden vastgesteld.

4.2.1. Gemiddelde kostprijs van een boring

De kostprijs van een boring met enkele verbuizing, afgeleid uit de studie van Professor Brych, wordt in hoofdstuk 2.7. gegeven.

Voor de studie van *variante 1* werd het gemiddelde van de prijzen voor de boringen met 8 5/8" en 5 1/2" als gemiddelde genomen voor de kostprijs.

Voor *variante 2* nam men het gemiddelde van de prijs van een boring met 8 5/8" en van twee boringen met 4 1/2".

In beide gevallen werden de verkregen waarden verhoogd met 15 % om rekening te houden met de technische en/of geologische risico's waardoor een boring moet worden prijsgegeven of de produktiviteit ervan beperkt.

Indien eenzelfde boring aangewend wordt voor de opeenvolgende exploitatie van meerdere lagen, zullen de uitgaven moeten worden verhoogd om rekening te houden met de nodige aanpassingen (verstoppen van de boringbodem en doorboring van de verbuizing ter hoogte van de te ontginnen lagen). Bij gebrek aan voldoende beoordelingselementen werden deze uitgaveverhogingen niet opgenomen in de berekeningen en er moet dus rekening mee worden gehouden bij de interpretatie van de resultaten.

4.2.2. Koelerkostprijs

De kostprijs van de uitrusting bestemd voor de koeling van de boringen en de recuperatie van de gevoelige warmte van de gassen werd geraamd op 1.700 frank per strekkende meter, en men nam aan dat de prijs van deze verplaatsbare uitrusting over twee benuttingsperiodes kan worden afgeschreven.

Si l'on observe qu'un sondage sur deux est équipé d'un dispositif de refroidissement dans le cas de la variante 1, et un sondage sur trois dans le cas de la variante 2, l'incidence du coût des dispositifs de refroidissement conduit à majorer le coût moyen des sondages de :

425 francs par mètre dans le cas de la variante 1
et de
283 francs par mètre dans le cas de la variante 2.

4.2.3. Energie thermique extraite

Pour l'évaluation de l'énergie thermique extraite par sondage, le potentiel thermique d'un mètre cube de charbon à 20 % de stériles, gazéifié « in situ » a été calculé comme suit :

$8.800 \text{ kcal/kg} \times 0,80 \times 1.400 \text{ kg/m}^3 = 9.850.000 \text{ kcal/m}^3$ soit, en chiffres ronds : 10 Gcal/m^3 .

A partir de ce chiffre et des valeurs de rendement indiquées au chapitre 2.3., l'énergie thermique extraite par m^3 de charbon gazéifié « in situ » (chaleur potentielle et chaleur sensible du gaz) peut être estimée à $6,5 \text{ Gcal/m}^3$.

4.2.4. Evaluation du terme proportionnel au coût des sondages

Sur la base de ces données, le prix moyen d'un sondage, majoré de l'intervention du dispositif de refroidissement, s'établit aux valeurs données au tableau XII.

On en déduit, pour valeur du premier terme du prix de revient de la gigacalorie extraite, les valeurs détaillées au tableau XIII.

4.3. Intérêts pour occupation du terrain

L'achat du terrain représente une immobilisation de 300.000 francs par hectare, dont il faut payer l'intérêt pendant 20 ans.

L'intervention de cette dépense dans le coût de l'énergie extraite peut s'exprimer par la relation :

$$(T) = \frac{\text{Prix du terrain} \times \text{taux d'amortissement}}{\text{Energie thermique extraite annuellement}}$$

La valeur du numérateur dépend de la surface immobilisée qui est elle-même proportionnelle au taux d'utilisation de la centrale et fonction de la puissance cumulée des couches.

La valeur du dénominateur est directement proportionnelle au taux d'utilisation de la centrale.

Wanneer één boring op twee voorzien is van een koeler in het geval van variante 1, en één boring op drie in het geval van variante 2, leidt de weerslag van de koelerskosten tot de verhoging van de gemiddelde boringkosten met :

425 frank per meter in het geval van variante 1
en met
283 frank per meter in het geval van variante 2.

4.2.3. Gewonnen thermische energie

Voor de raming van de gewonnen thermische energie per boring werd het thermisch potentieel van een kubieke meter steenkool met 20 % afvalstenen, vergast « in situ », als volgt berekend :

$8.800 \text{ kcal/kg} \times 0,80 \times 1.400 \text{ kg/m}^3 = 9.850.000 \text{ kcal/m}^3$ of afgerond : 10 Gcal/m^3 .

Uitgaande van dit cijfer en van de in hoofdstuk 2.3. aangegeven rendementswaarden, kan de gewonnen thermische energie per m^3 « in situ » vergaste steenkool (potentiële warmte en gevoelige warmte van het gas) op $6,5 \text{ Gcal/m}^3$ worden geraamd.

4.2.4. Raming van de term evenredig met de boringkosten

Op grond van deze gegevens stemt de gemiddelde prijs van een boring, verhoogd met de bijdrage van de koeler, overeen met de volgende waarden (tabel XII).

Hieruit leidt men als eerste term van de kosten van de gewonnen gigacalorie de waarden af voorkomende in tabel XIII.

4.3. Interesten voor de inbeslagneming van het terrein

De aankoop van de grond betekent een immobilisatie van 300.000 frank per hectare, waarvoor tijdens 20 jaar interest moet worden betaald.

De deelname van deze uitgave in de gewonnen energiekosten kan worden uitgedrukt door de verhouding :

$$(T) = \frac{\text{Grondprijs} \times \text{afschrijvingspercentage}}{\text{Jaarlijks gewonnen thermische energie}}$$

De waarde van de teller is afhankelijk van de geïmmobiliseerde oppervlakte die op haar beurt evenredig is met de benuttingsgraad van de centrale en afhankelijk van de gecumuleerde laagdikte.

De waarde van de noemer is rechtstreeks evenredig met de benuttingsgraad van de centrale.

Tableau XII. — Coût moyen d'un sondage majoré de l'intervention
du dispositif de refroidissement
Tabel XII. — Gemiddelde boringkostprijs verhoogd
met de bijdrage van de koeler

Profondeur et conditions de gisement	Prix moyen d'un sondage (10 ^e FB) Gem. prijs van een boring (10 ^e BF)		Afzettingsdiepte en -omstandigheden
	Variante 1	Variante 2	
1.000 m (Bassin Sud)	7,958	6,915	1.000 m (Zuiderbekken)
1.000 m (Campine)	9,395	7,950	1.000 m (Kempen)
1.500 m (Bassin Sud)	12,885	11,235	1.500 m (Zuiderbekken)
1.500 m (Campine)	14,265	12,117	1.500 m (Kempen)

Tableau XIII. — Incidence du prix des sondages sur le prix de la gigacalorie
Tabel XIII. — Weerslag van de boringprijs op de prijs van de gigacalorie
Pour la variante 1 — Voor variante 1

Profondeur et conditions de gisement	(S + R) = Incidence du coût des sondages et des dispositifs de refroidissement (FB / Gcal) (S + R) = Weerslag van de boring- en koelersprijs (BF / Gcal)				Afzettingsdiepte en -omstandigheden
1.000 m (Bassin Sud)	244,8	122,4	61,2	40,8	1.000 m (Zuiderbekken)
1.000 m (Campine)	289,1	144,5	72,3	48,2	1.000 m (Kempen)
1.500 m (Bassin Sud)	396,5	198,2	99,1	66,1	1.500 m (Zuiderbekken)
1.500 m (Campine)	438,9	219,5	109,7	73,2	1.500 m (Kempen)
Volume de charbon gazéifié par sondage (m ³)	5.000	10.000	20.000	30.000	Volume vergaste steenkool per boring (m ³)

Pour la variante 2 — Voor variante 2

Profondeur et conditions de gisement	(S + R) = Incidence du coût des sondages et des dispositifs de refroidissement (FB / Gcal) (S + R) = Weerslag van de boring- en koelersprijs (BF / Gcal)				Afzettingsdiepte en -omstandigheden
1.000 m (Bassin Sud)	212,8	106,4	53,2	35,5	1.000 m (Zuiderbekken)
1.000 m (Campine)	244,6	122,3	61,2	40,8	1.000 m (Kempen)
1.500 m (Bassin Sud)	345,7	172,8	86,4	57,6	1.500 m (Zuiderbekken)
1.500 m (Campine)	372,8	186,4	93,2	62,1	1.500 m (Kempen)
Volume de charbon gazéifié par sondage (m ³)	5.000	10.000	20.000	30.000	Volume vergaste steenkool per boring (m ³)

Le calcul conduit aux valeurs numériques suivantes :

Intérêt annuel par km² de surface :

— $30.000.000 \times 0,09 = 2.700.000$ FB.

Energie thermique extraite annuellement (réf. chap. 3.1.) :

— au taux d'utilisation de 7.000 h/an : 2.932.400 Gcal ;

— au taux d'utilisation de 4.500 h/an : 1.885.100 Gcal.

On en déduit pour l'intervention du prix du terrain les valeurs reprises au tableau XIV.

De berekening leidt tot de volgende numerieke waarden :

Jaarlijkse interest per km² oppervlakte :

— $30.000.000 \times 0,09 = 2.700.000$ BF.

Jaarlijks gewonnen thermische energie (ref. hoofdstuk 3.1.) :

— bij een benuttingsgraad van 7.000 h/jaar : 2.932.400 Gcal;

— bij een benuttingsgraad van 4.500 h/jaar : 1.885.100 Gcal

Voor de bijdrage van de grondprijs leidt men dus de waarden af voorkomende in tabel XIV.

Tableau XIV. — Incidence du prix du terrain sur le prix de la gigacalorie
Tabel XIV. — Weerslag van de grondprijs op de prijs van de gigacalorie

Puissance cumulée des couches Gecumuleerde laagdikte	Taux d'utilisation de 7.000 h/an Benuttingsgraad van 7.000 h/jaar		Taux d'utilisation de 4.500 h/an Benuttingsgraad van 4.500h/jaar	
	Intérêts annuels Jaarlijkse interesten	Incidence par gigacalorie extraite Weerslag per gewonnen gigacalorie	Intérêts annuels Jaarlijkse interesten	Incidence par gigacalorie extraite Weerslag per gewonnen gigacalorie
(m)	(10 ⁶ FB)	(FB/Gcal)	(10 ⁶ FB)	(FB/Gcal)
2	12,366	4,16	7,965	4,16
4	6,183	2,08	3,982	2,08
6	4,123	1,39	2,655	1,39
8	3,092	1,04	1,991	1,04

Comme on le voit, l'incidence des intérêts payés pour l'occupation du terrain ne constitue qu'un faible poste du prix de revient, qui dépend uniquement de la puissance cumulée des couches.

Dans la suite des calculs, on n'a pas estimé devoir tenir compte de cette variation et l'incidence du prix du terrain a été portée en compte pour une valeur uniforme de 2,08 FB/Gcal qui correspond à une puissance exploitée de 4 m.

4.4. Canalisations et main-d'œuvre

Le coût des canalisations d'eau, d'air comprimé, de gaz et de vapeur reliant la centrale au sondage a été évalué à partir d'une étude réalisée par Distrigaz, sur la base des plans d'exploitation détaillés à la figure 5.

Zoals kan worden vastgesteld, vormt de weerslag van de betaalde interesten voor de inbeslagneming van het terrein slechts een kleine post van de kostprijs, die enkel afhankelijk is van de gecumuleerde laagdikte.

In de verdere berekeningen werd het niet nodig geacht rekening te moeten houden met deze schommeling, en de weerslag van de grondprijs werd in rekening gebracht voor een uniforme waarde van 2,08 BF/Gcal welke overeenstemt met een ontgonnen dikte van 4 m.

4.4. Leidingen en arbeidskrachten

De kostprijs van de leidingen voor water, perslucht, gas en stoom, welke de centrale verbinden met de boring werden geraamd uitgaande van een door Distrigaz verrichte studie, op grond van de op figuur 5 in detail voorkomende exploitatieplannen.

L'investissement à réaliser, comprenant la fourniture et le montage des canalisations, les vannes et flexibles, le calorifugeage et l'instrumentation, a été estimé à 860 millions de francs.

Pour le calcul du prix de revient, on a admis que ce montant serait engagé en quatre tranches de 215 millions amortissables chacune en 5 ans.

La dépense salariale à prévoir pour le déplacement et l'entretien des installations de chantiers a été estimée à :

35 millions de francs pour un taux d'utilisation de la centrale de 7.000 h/an

et à

28 millions de francs pour un taux d'utilisation de la centrale de 4.500 h/an.

Compte tenu de ces données, l'intervention du coût des canalisations et de la main-d'œuvre de chantier dans le prix de l'énergie thermique extraite s'établit comme indiqué au tableau XV.

De uit te voeren investering, bestaande in de levering en de montage van de leidingen, de afsluiters en slangen, de warmte-isolatie en de instrumentatie, werd op 860 miljoen frank geraamd.

Voor de berekening van de kostprijs werd aangenomen dat dit bedrag zou worden besteed in vier schijven van 215 miljoen, elk afschrijfbaar over 5 jaar.

De te verwachten loonuitgaven voor de verplaatsing en het onderhoud van de werkinstallaties werd geraamd op :

35 miljoen frank voor een benuttingsgraad van 7.000 h/jaar voor de centrale

en op

28 miljoen frank voor een benuttingsgraad van 4.500 h/jaar voor de centrale.

Rekening houdend met deze gegevens is de bijdrage van de kostprijs voor de leidingen en de arbeidskrachten op het werk in de prijs van de gewonnen thermische energie als volgt vastgesteld (tabel XV).

Tableau XV. — Incidence du coût des canalisations et de la main-d'œuvre de chantiers sur le prix de la gigacalorie
Tabel XV. — Weerslag van de kostprijs voor de leidingen en de arbeidskrachten op het werk op de prijs van de gigacalorie

Eléments de Prix de revient	Taux d'utilisation de 7.000 h/an <i>Benuttingsgraad van 7.000 h/jaar</i>		Taux d'utilisation de 4.500 h/an <i>Benuttingsgraad van 4.500 h/jaar</i>		<i>Kostprijs-elementen</i>
	Valeurs annuelles <i>Jaarlijkse waarden</i>	Incidence par Gcalorie extraite <i>Weerslag per gewonnen Gcalorie</i>	Valeurs annuelles <i>Jaarlijkse waarden</i>	Incidence par Gcalorie extraite <i>Weerslag per gewonnen Gcalorie</i>	
Intérêts et Amortissements	(10 ^e FB)	(FB/Gcal)	(10 ^e FB)	(FB/Gcal)	<i>Interesten en Afschrijvingen</i>
Canalisations	55,275	18,57	55,275	28,87	<i>Leidingen</i>
Main-d'œuvre	35,000	11,76	28,000	14,63	<i>Arbeidskrachten</i>
Total	90,275	30,33	83,275	43,50	<i>Totaal</i>

4.5. Coût de la gigacalorie extraite

En additionnant les valeurs partielles obtenues aux trois paragraphes précédents et en adoptant pour l'incidence du prix du terrain une valeur constante de 2,08 F/Gcal, on parvient finalement aux tableaux ci-après qui définissent la variation du coût de la gigacalorie en fonction des différents paramètres :

4.5. Kostprijs van de gewonnen gigacalorie

Door opstelling van de gedeeltelijke waarden uit de vorige drie paragrafen en door aanneming van een constante waarde van 2,08 F/Gcal voor de weerslag van de grondprijs, bereikt men uiteindelijk de volgende tabellen die de schommeling van de kostprijs van de gigacalorie bepalen volgens de verschillende parameters :

- Taux d'utilisation de la centrale.
- Variante adoptée pour la disposition des sondages.
- Profondeur.
- Conditions de gisement.
- Volume moyen de charbon gazéifié par sondage.

L'ensemble de ces valeurs sont reportées en diagrammes aux figures 6, 7, 8 et 9.

- Benuttingsgraad van de centrale.
- Aangenomen variante voor de schikking van de boringen.
- Diepte.
- Afzettingsomstandigheden.
- Gemiddeld volume vergaste steenkool per boring.

Al deze waarden zijn voorgesteld in diagrammen op de figuren 6, 7, 8 en 9.

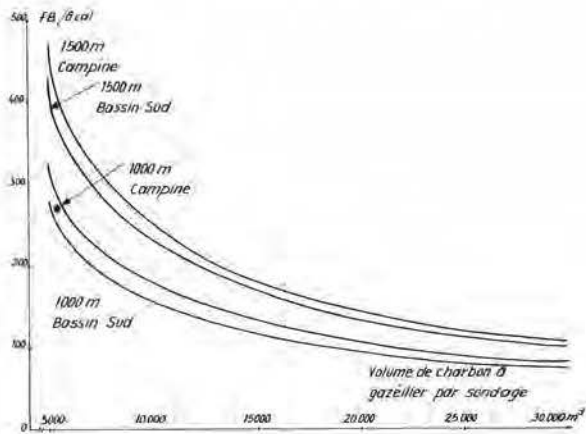


Fig. 6. — Prix de revient de la gigacalorie — 7.000 h/an. Variante 1

* Valeur tirée de l'analyse du N.C.B. pour :

- 1.000 m de profondeur
- maille du réseau de sondage 30 m x 30 m
- puissance exploitée : 6 mètres

Kostprijs van de gigacalorie — 7.000 h/jaar. Variante 1

* Uit de analyse van de N.C.B. getrokken waarde voor :

- 1.000 m diepte
- maas van het boringnet 30 m x 30 m
- ontgonnen dikte : 6 m

Campine — Kempen

Bassin Sud — Zuiderbekken

Volume de charbon à gazéifier par sondage
Per boring te vergassen steenkoolvolume

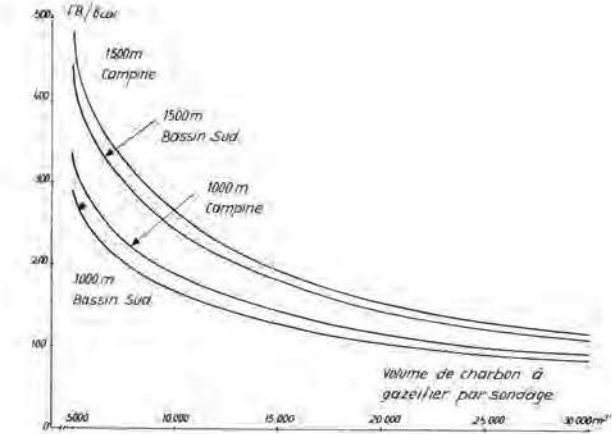
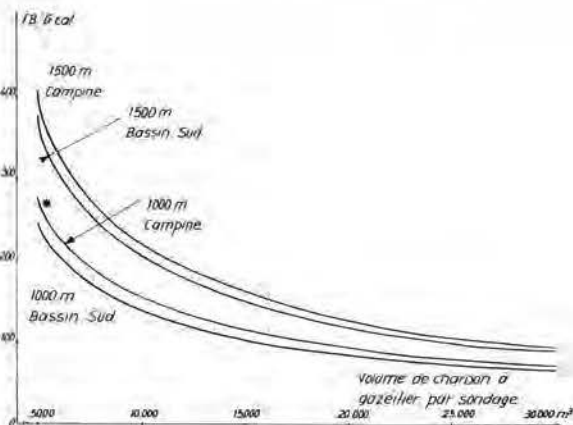


Fig. 8. — Prix de revient de la gigacalorie — 4.500 h/an. Variante 1

Kostprijs van de gigacalorie — 4.500 h/jaar. Variante 1

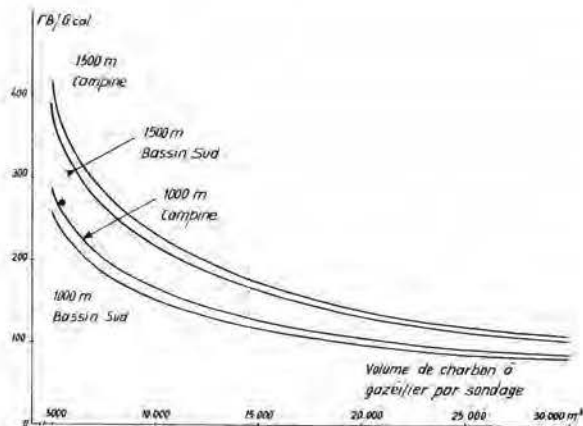


Fig. 9. — Prix de revient de la gigacalorie — 4.500 h/an. Variante 2

Kostprijs van de gigacalorie — 4.500 h/jaar. Variante 2

Fig. 7. — Prix de revient de la gigacalorie — 7.000 h/an. Variante 2

Kostprijs van de gigacalorie — 7.000 h/jaar. Variante 2

5. PRIX DE REVIENT DU kWh

5.1. Expression du prix de revient du kWh

Le prix de revient du kWh est lié au coût de la gigacalorie extraite (P) par une relation linéaire de la forme :

$$\text{Prix du kWh} = A + BP \quad (1)$$

Compte tenu du rendement de 34,9 % défini au chapitre 2.11., la livraison d'un kWh exige l'extraction de 2.465 kcal, ce qui donne au coefficient B une valeur numérique de $2.465 \cdot 10^{-6}$.

5.2. Frais fixes

Intérêts et amortissements

L'investissement « centrale » a été estimé à 11.000 FB par kW installé, frais indirects compris. Pour une puissance installée de 183.000 kW, ceci donne :

$$183.000 \times 11.000 = 2.013.000.000 \text{ FB}$$

Compte tenu d'un taux d'intérêt de 9 % et d'une période d'amortissement de 20 ans, la charge annuelle s'établit à 10,955 % du coût initial, soit :

$$220.525.000 \text{ FB/an.}$$

Autres frais fixes

L'ensemble des autres frais fixes : main-d'œuvre, conduite, grosses réparations, assurances et frais généraux, a été évalué, par comparaison avec une centrale thermique à charbon pulvérisé, à 150.000.000 FB/an.

Sur ces bases, l'incidence des frais fixes sur le coût du kWh distribué s'établit aux valeurs ci-après :

Pour un taux d'utilisation de 7.000 h par an :

$$A = \frac{370.525.000}{7.000 \times 170.000} = 0,311 \text{ FB/kWh}$$

Pour un taux d'utilisation de 4.500 h par an :

$$A = \frac{370.525.000}{4.500 \times 170.000} = 0,484 \text{ FB/kWh}$$

5. KOSTPRIJS VAN HET kWh

5.1. Uitdrukking van de kostprijs van het kWh

De kostprijs van het kWh is gebonden aan de kostprijs van de gewonnen gigacalorie (P) door een lineaire betrekking van de vorm :

$$\text{Prijs van het kWh} = A + BP \quad (1)$$

Rekening houdend met het in hoofdstuk 2-11 bepaalde rendement van 34,9 %, vergt de levering van een kWh de winning van 2.465 kcal, waardoor coëfficiënt B een numerieke waarde van $2.465 \cdot 10^{-6}$ krijgt.

5.2. Vaste kosten

Interesten en afschrijvingen

De investering « centrale » werd op 11.000 BF geraamd per geïnstalleerd kW, indirecte kosten inbegrepen. Voor een geïnstalleerd vermogen van 183.000 kW geeft dit :

$$183.000 \times 11.000 = 2.013.000.000 \text{ BF}$$

Rekening houdend met een interestvoet van 9 % en met een afschrijvingsperiode van 20 jaar bedraagt de jaarlijkse last, tegen 10,955 % van de aanvankelijke kostprijs :

$$220.525.000 \text{ BF/jaar}$$

Andere vaste kosten

Het geheel van de andere vaste kosten : arbeidskrachten, leiding, grote herstellingen, verzekeringen en algemene kosten, werd op 150.000.000 BF/jaar geraamd bij vergelijking met een thermische centrale met poederkolen.

Op basis hiervan stemt de weerslag van de vaste kosten op de kostprijs van het bedeelde kWh overeen met de volgende waarden :

Voor een benuttingsgraad van 7.000 h per jaar :

$$A = \frac{370.525.000}{7.000 \times 170.000} = 0,311 \text{ BF/kWh}$$

Voor een benuttingsgraad van 4.500 h per jaar :

$$A = \frac{370.525.000}{4.500 \times 170.000} = 0,484 \text{ BF/kWh}$$

En reportant ces valeurs dans la formule (1), on obtient pour prix du kWh les valeurs portées en diagrammes à la figure 10.

Door deze waarden over te brengen in de formule (1), verkrijgt men voor de prijs van het kWh de waarden die op figuur 10 in diagram werden gebracht.

5.3. Variation du prix du kWh en fonction des différents paramètres d'exploitation

5.3. Verandering van de prijs van het kWh naar gelang van de verschillende exploitatieparameters

Pour exprimer le prix de revient du kWh, en fonction des différents paramètres qui influent sur le prix de la gigacalorie extraite, les valeurs numériques qui figurent au tableau XVI seront transformées en prix du kWh en appliquant la formule (1).

Om de kostprijs van het kWh uit te drukken naar gelang van de verschillende parameters die de prijs van de gewonnen gigacalorie beïnvloeden, zullen de numerieke waarden voorkomende in tabel XVI worden omgezet in de prijs van het kWh door toepassing van de formule (1).

Les résultats de cette transposition sont détaillés au tableau XVII et reportés en diagrammes aux figures 11, 12, 13 et 14.

De resultaten van deze omzetting komen in detail voor in tabel XVII en zijn in diagram gebracht op de figuren 11, 12, 13 en 14.

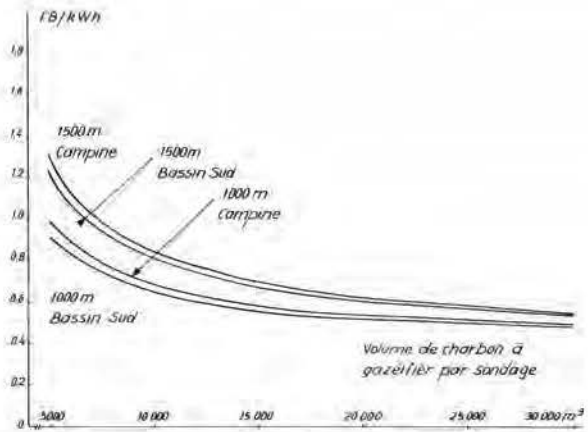
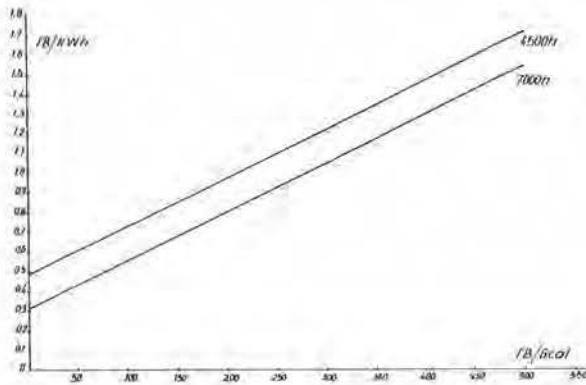


Fig. 10. — Prix du kWh en fonction de la Gcal extraite
Prij van het kWh naar gelang van de gewonnen Gcal

Fig. 12. — Prix de revient du kWh — 7.000 h/an. Variante 2
Kostprijs van het kWh — 7.000 h/jaar. Variante 2

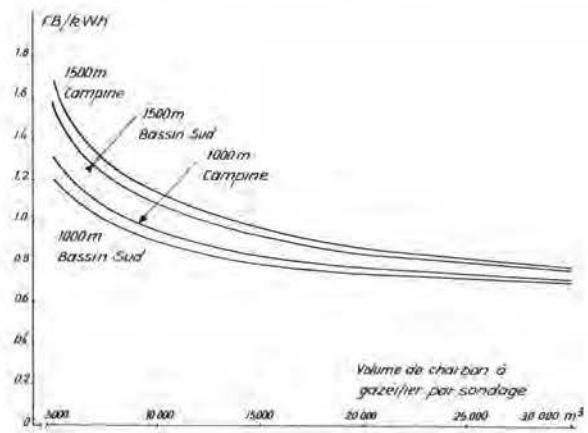
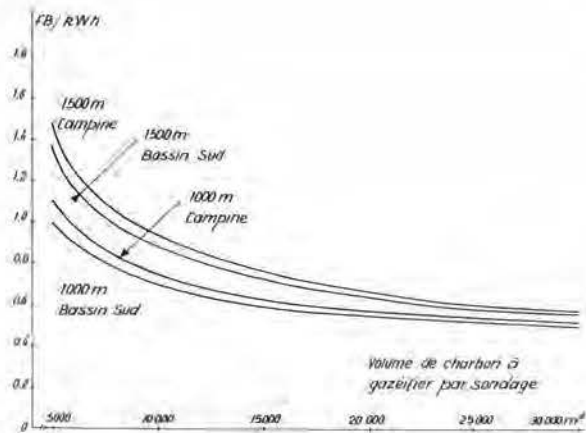


Fig. 11. — Prix de revient du kWh — 7.000 h/an. Variante 1
Kostprijs van het kWh — 7.000 h/jaar. Variante 1

Fig. 13. — Prix de revient du kWh — 4.500 h/an. Variante 1
Kostprijs van het kWh — 4.500 h/jaar. Variante 1

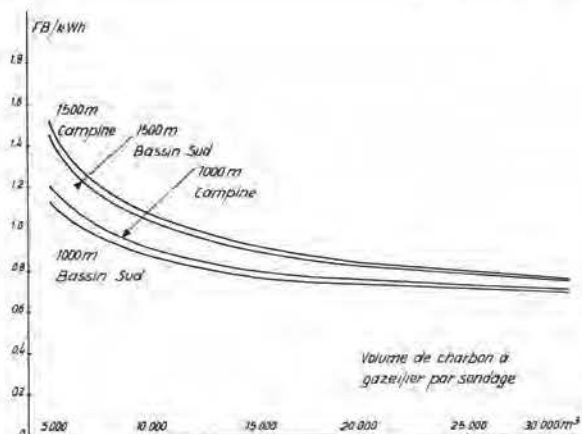


Fig. 14. — Prix de revient du kWh — 4.500 h/an. Variante 2
 Kostprijs van het kWh — 4.500 h/jaar. Variante 2

Tableau XVI. — Coût de la gigacalorie extraite
 Tabel XVI. — Kostprijs van de gewonnen gigacalorie

1. Taux d'utilisation de 7.000 h/an — Variante 1
 1. Benuttingsgraad van 7.000 h/jaar — Variante 1

Profondeur et conditions de gisement	Coût de la gigacalorie extraite (FB/Gcal) Kostprijs van de gewonnen gigacalorie (BF/Gcal)				Diepte- en afzettingssomstandigheden
	5.000	10.000	20.000	30.000	
1.000 m (Bassin Sud)	277,2	154,8	93,6	73,2	1.000 m (Zuiderbekken)
1.000 m (Campine)	321,5	176,9	104,7	80,6	1.000 m (Kempen)
1.500 m (Bassin Sud)	428,9	230,6	131,5	98,5	1.500 m (Zuiderbekken)
1.500 m (Campine)	471,3	251,9	142,1	105,6	1.500 m (Kempen)
Volume de charbon gazéifié par sondage (m ³)	5.000	10.000	20.000	30.000	Volume vergaste steenkool per boring (m ³)

2. Taux d'utilisation de 7.000 h/an — Variante 2
 2. Benuttingsgraad van 7.000 h/jaar — Variante 2

Profondeur et conditions de gisement	Coût de la gigacalorie extraite (FB/Gcal) Kostprijs van de gewonnen gigacalorie (BF/Gcal)				Diepte- en afzettingssomstandigheden
	5.000	10.000	20.000	30.000	
1.000 m (Bassin Sud)	245,2	138,8	85,6	67,9	1.000 m (Zuiderbekken)
1.000 m (Campine)	277,0	154,7	93,6	73,2	1.000 m (Kempen)
1.500 m (Bassin Sud)	378,1	205,2	118,8	90,0	1.500 m (Zuiderbekken)
1.500 m (Campine)	405,2	218,8	125,6	94,5	1.500 m (Kempen)
Volume de charbon gazéifié par sondage (m ³)	5.000	10.000	20.000	30.000	Volume vergaste steenkool per boring (m ³)

3. Taux d'utilisation de 4.500 h/an — Variante 1
 3. *Benuttingsgraad van 4.500 h/jaar — Variante 1*

Profondeur et conditions de gisement	Coût de la gigacalorie extraite (FB/Gcal) <i>Kostprijs van de gewonnen gigacalorie (BF/Gcal)</i>				<i>Diepte- en afzettingsomstandigheden</i>
1.000 m (Bassin Sud)	290,4	168,0	106,8	86,4	1.000 m (Zuiderbekken)
1.000 m (Campine)	334,7	190,1	117,9	93,8	1.000 m (Kempen)
1.500 m (Bassin Sud)	442,1	243,8	144,7	111,7	1.500 m (Zuiderbekken)
1.500 m (Campine)	484,5	265,1	155,3	118,8	1.500 m (Kempen)
Volume de charbon gazéifié par sondage (m ³)	5.000	10.000	20.000	30.000	<i>Volume vergaste steenkool per boring (m³)</i>

4. Taux d'utilisation de 4.500 h/an — Variante 2
 4. *Benuttingsgraad van 4.500 h/jaar — Variante 2*

Profondeur et conditions de gisement	Coût de la gigacalorie extraite (FB/Gcal) <i>Kostprijs van de gewonnen gigacalorie (BF/Gcal)</i>				<i>Diepte- en afzettingsomstandigheden</i>
1.000 m (Bassin Sud)	258,4	152,0	98,8	81,1	1.000 m (Zuiderbekken)
1.000 m (Campine)	290,2	167,9	106,8	86,4	1.000 m (Kempen)
1.500 m (Bassin Sud)	391,3	218,4	132,0	103,2	1.500 m (Zuiderbekken)
1.500 m (Campine)	418,4	232,0	138,8	107,7	1.500 m (Kempen)
Volume de charbon gazéifié par sondage (m ³)	5.000	10.000	20.000	30.000	<i>Volume vergaste steenkool per boring (m³)</i>

Tableau XVII. — Prix de revient du kWh

Tabel XVII. — Kostprijs van het kWh

1. Taux d'utilisation de 7.000 h/an — Variante 1
 1. *Benuttingsgraad van 7.000 h/jaar — Variante 1*

Profondeur et conditions de gisement	Prix de revient du kWh (FB/kWh) <i>Kostprijs van het kWh (FB/kWh)</i>				<i>Diepte- en afzettingsomstandigheden</i>
1.000 m (Bassin Sud)	0,994	0,693	0,542	0,491	1.000 m (Zuiderbekken)
1.000 m (Campine)	1,103	0,747	0,569	0,510	1.000 m (Kempen)
1.500 m (Bassin Sud)	1,368	0,879	0,635	0,554	1.500 m (Zuiderbekken)
1.500 m (Campine)	1,473	0,932	0,661	0,571	1.500 m (Kempen)
Volume de charbon gazéifié par sondage (m ³)	5.000	10.000	20.000	30.000	<i>Volume vergaste steenkool per boring (m³)</i>

2. Taux d'utilisation de 7.000 h/an — Variante 2
 2. Benuttingsgraad van 7.000 h/jaar — Variante 2

Profondeur et conditions de gisement	Prix de revient du kWh (FB/kWh) Kostprijs van het kWh (BF/kWh)				Diepte- en afzettingsomstandigheden
1.000 m (Bassin Sud)	0,915	0,653	0,522	0,478	1.000 m (Zuiderbekken)
1.000 m (Campine)	0,994	0,692	0,542	0,491	1.000 m (Kempen)
1.500 m (Bassin Sud)	1,243	0,817	0,604	0,533	1.500 m (Zuiderbekken)
1.500 m (Campine)	1,310	0,850	0,621	0,544	1.500 m (Kempen)
Volume de charbon gazéifié par sondage (m ³)	5.000	10.000	20.000	30.000	Volume vergaste steenkool per boring (m ³)

3. Taux d'utilisation de 4.500 h/an — Variante 1
 3. Benuttingsgraad van 4.500 h/jaar — Variante 1

Profondeur et conditions de gisement	Prix de revient du kWh (FB/kWh) Kostprijs van het kWh (BF/kWh)				Diepte- en afzettingsomstandigheden
1.000 m (Bassin Sud)	1,200	0,898	0,747	0,697	1.000 m (Zuiderbekken)
1.000 m (Campine)	1,309	0,953	0,775	0,715	1.000 m (Kempen)
1.500 m (Bassin Sud)	1,574	1,085	0,841	0,759	1.500 m (Zuiderbekken)
1.500 m (Campine)	1,678	1,137	0,867	0,777	1.500 m (Kempen)
Volume de charbon gazéifié par sondage (m ³)	5.000	10.000	20.000	30.000	Volume vergaste steenkool per boring (m ³)

4. Taux d'utilisation de 4.500 h/an — Variante 2
 4. Benuttingsgraad van 4.500 h/jaar — Variante 2

Profondeur et conditions de gisement	Prix de revient du kWh (FB/kWh) Kostprijs van het kWh (BF/kWh)				Diepte- en afzettingsomstandigheden
1.000 m (Bassin Sud)	1,121	0,859	0,727	0,684	1.000 m (Zuiderbekken)
1.000 m (Campine)	1,199	0,898	0,747	0,697	1.000 m (Kempen)
1.500 m (Bassin Sud)	1,449	1,022	0,809	0,738	1.500 m (Zuiderbekken)
1.500 m (Campine)	1,515	1,056	0,826	0,749	1.500 m (Kempen)
Volume de charbon gazéifié par sondage (m ³)	5.000	10.000	20.000	30.000	Volume vergaste steenkool per boring (m ³)

6. CONCLUSIONS

1. L'étude économique basée sur les prix d'août 1975 est effectuée dans l'hypothèse d'une réussite technique des expériences à entreprendre « in situ ».

Ces expériences doivent confirmer :

- la possibilité de réaliser un gazogène souterrain fonctionnant sous haute pression ;
- la possibilité de réaliser des linkings entre sondages profonds distants de 70 à 80 m ;
- la possibilité d'atteindre un rendement de gazéification et d'utilisation du gisement suffisamment élevé à partir de sondages assez largement espacés, grâce aux effets favorables de la variation de pression et des hautes pressions de gazéification.

2. L'étude confirme que le coût des sondages constitue l'élément prépondérant du prix de revient de la gazéification souterraine à grande profondeur. Ce coût dépend de la profondeur du gisement, de l'épaisseur des morts-terrains (Campine et Bassin Sud) et du diamètre de forage.

Compte tenu de l'encombrement des dispositifs de refroidissement prévus à l'intérieur des sondages de récupération du gaz, le diamètre extérieur de ces sondages a été fixé à 8 5/8" (219 mm), ce qui permet d'assurer une production d'énergie électrique de 5 MW par sondage, pour une pression d'injection d'air n'excédant pas 40 bars.

En s'inspirant des techniques pratiquées en U.R.S.S., une spécialisation des sondages a été envisagée, le nombre de sondages utilisés pour la récupération des gaz étant limité à 1 sur 2 (variante 1) ou à 1 sur 3 (variante 2). Cette spécialisation des sondages conduit à une importante économie de forage, les sondages d'injection d'air pouvant être réalisés à plus faible diamètre.

Au surplus, l'incidence du coût des sondages sur le prix de la gigacalorie extraite est inversement proportionnelle au volume de charbon gazéifié.

Si le volume de charbon gazéifié par sondage atteint 7.000 m³, le coût de la gigacalorie extraite à 1.000 m de profondeur pourrait se situer dans une gamme comprise entre 180 et 250 FB. Ces valeurs se comparent favorablement aux prix actuels des charbons importés et restent très en deçà du prix de revient des charbons belges.

3. Le rendement et le coût de la conversion de la chaleur en électricité ont été évalués dans le cas d'une installation de gazéification souterraine intégrée à une centrale à cycles combinés gaz-vapeur, d'une puissance utile de 170 MW.

6. CONCLUSIES

1. De economische studie gebaseerd op de prijzen van augustus 1975 is uitgevoerd in de hypothese dat de « in situ » te ondernemen proefnemingen technisch slagen.

Deze proefnemingen moeten een bevestiging geven van :

- de mogelijkheid om een ondergrondse gas-generator tot stand te brengen die onder hoge druk werkt;
- de mogelijkheid om linkings uit te voeren tussen diepe boringen op 70 tot 80 m afstand van mekaar;
- de mogelijkheid om een voldoende hoog vergassings- en benuttingsrendement van de afzetting te bereiken vanuit de op nogal brede afstand van mekaar verwijderde boringen, dank zij de gunstige invloeden van de drukverandering en van de hoge vergassingsdrukken.

2. De studie bevestigt dat de kostprijs van de boringen het doorslaggevende element vormt van de kostprijs van de ondergrondse vergassing op grote diepte. Deze prijs is afhankelijk van de diepte van de afzetting, van de dikte van de deklagen (Kempen en Zuiderbekken) en van de boringdiameter.

Rekening houdend met de omvang van de koelers binnen de gasopvangboringen, werd de buitendiameter van deze boringen vastgesteld op 8 5/8" (219 mm), waardoor per boring elektrische energie van 5 MW kan worden geproduceerd voor een luchtinjectiedruk kleiner dan 40 bar.

In navolging van de in de U.S.S.R. toegepaste technieken werd een specialisatie van de boringen gepland, daar het aantal boringen voor de gasopvang beperkt is tot 1 op 2 (variante 1) of tot 1 op 3 (variante 2). Deze specialisatie van de boringen leidt tot een belangrijke boorbesparing aangezien de luchtinjectieboringen een kleinere diameter mogen hebben.

Bovendien is de weerslag van de boringenprijs op de prijs van de gewonnen gigacalorie omgekeerd evenredig met het volume vergaste steenkool.

Indien het volume vergaste steenkool 7.000 m³ bereikt per boring, kan de prijs van de op 1.000 m diepte gewonnen gigacalorie liggen in een gamma begrepen tussen 180 en 250 BF. Deze waarden staan in gunstige vergelijking met de huidige prijzen van de ingevoerde steenkolen en blijven onder de kostprijs van de Belgische steenkolen.

3. Het rendement en de omzettingprijs voor de warmte in elektriciteit werden geraamd in het geval van een ondergrondse vergassingsinstallatie gekoppeld aan een centrale met gecombineerde gas/stoomkringlopen met een nuttig vermogen van 170 MW.

Le prix de revient du kWh fourni au réseau est essentiellement fonction de deux paramètres : le taux d'utilisation de la centrale et le prix de la gigacalorie extraite.

Si le prix de la gigacalorie peut être maintenu suffisamment bas, il est permis d'envisager d'utiliser la centrale de gazéification comme centrale de base, avec un taux d'utilisation de l'ordre de 7.000 h/an.

Dans les conditions les plus favorables (variante 2), le volume moyen de charbon à exploiter, dans le Bassin Sud, pour réaliser un prix de revient de 65 centimes/kWh devrait atteindre :

- 10.000 m³ par sondage pour une profondeur de 1.000 m, et
- 16.000 m³ par sondage pour une profondeur de 1.500 m.

En Campine, le même résultat pourrait être obtenu avec des volumes de :

- 12.000 m³ par sondage pour une profondeur de 1.000 m, et
- 18.000 m³ par sondage pour une profondeur de 1.500 m.

Dans les mêmes conditions de volume de charbon gazéifié et avec un taux d'utilisation de 4.500 h/an, le prix de revient du kWh passerait de 65 à 82 centimes et se situerait encore dans la zone de prix de revient des centrales thermiques classiques.

4. Sur la base des essais de « linking » actuellement en cours en Campine, il semble que l'on puisse envisager de disposer les sondages suivant un réseau carré de 70 à 80 m de côté, ce qui implique la réalisation de 2 sondages par hectare.

Dans ces conditions, des prix de revient de l'ordre de 65 à 70 centimes/kWh devraient être accessibles dans tous les gisements belges, par l'exploitation d'une seule couche de 2 m d'épaisseur à 1.000 m de profondeur.

Cependant, compte tenu de l'épaisseur limitée des couches de nos gisements, il est important de se fixer pour objectif d'exploiter successivement plusieurs couches par un même réseau de sondages.

5. Pour son utilisation dans une centrale à cycles combinés, le gaz doit être épuré à un très haut degré. De ce fait, les effluents rejetés à l'atmosphère sont pratiquement exempts de poussières et de composés sulfurés.

Les problèmes du lavage des gaz et de l'évacuation des eaux usées n'ont pas été examinés de façon détaillée, mais il est permis de penser qu'ils pourront être résolus par les techniques en voie de développement dans les centrales qui procèdent à la gazéification du charbon extrait, dans des gazogènes à haute pression.

De kostprijs van het aan het net geleverde kWh is hoofdzakelijk afhankelijk van twee parameters : de benuttingsgraad van de centrale en de prijs van de gewonnen gigacalorie.

Indien de prijs van de gigacalorie laag genoeg kan worden gehouden, mag het gebruik worden overwogen van een vergassingscentrale als basiscentrale, met een benuttingsgraad van zowat 7.000 h/jaar.

In de gunstigste omstandigheden (variante 2) moet in het Zuiderbekken, om een kostprijs van 65 centiemen/kWh te bereiken, het volume te ontginnen steenkool gemiddeld bedragen :

- 10.000 m³ per boring voor een diepte van 1.000 m, en
- 16.000 m³ per boring voor een diepte van 1.500 m.

In de Kempen zou hetzelfde resultaat kunnen worden verkregen met volumes van :

- 12.000 m³ per boring voor een diepte van 1.000 m, en
- 18.000 m³ per boring voor een diepte van 1.500 m.

In dezelfde omstandigheden voor het volume vergaste steenkool en met een benuttingsgraad van 4.500 h/jaar, zou de kostprijs van het kWh van 65 tot 82 centiemen stijgen en zou nog binnen de kostprijszone vallen van de klassieke thermische centrales.

4. Op grond van de thans in de Kempen aan de gang zijnde « linking »-proeven blijkt dat de schikking van de boringen mag worden gepland volgens een vierkant net van 70 tot 80 meter zijde, waardoor er per hectare 2 boringen worden gemaakt.

In deze omstandigheden zouden kostprijzen van zowat 65 tot 70 centiemen/kWh in alle Belgische afzettingen bereikbaar moeten zijn door ontginning van een enkele 2 m dikke laag op 1.000 m diepte.

Rekening houdend met de beperkte laagdikte van onze afzettingen is het belangrijk zich de opeenvolgende ontginning ten doel te stellen van verschillende lagen door éénzelfde boringennet.

5. Voor het gebruik van het gas in een centrale met gecombineerde kringlopen moet het in hoge mate worden gezuiverd. Bijgevolg zijn de in de atmosfeer vrijgegeven effluents nagenoeg vrij van stof en zwavelhoudende verbindingen.

De problemen inzake de gaswassing en de verwijdering van het afvalwater werden niet in detail bestudeerd, maar er mag worden aangenomen dat ze kunnen worden opgelost door de in ontwikkeling zijnde technieken in de centrales die gewonnen steenkool vergassen in hogedrukgasgenerators.

6. Les problèmes d'approvisionnement en eau, lors d'une exploitation à grande échelle, devront être examinés cas par cas. La perte en eau par évaporation et par consommation de vapeur dans le processus de gazéification souterraine peut être évaluée à $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ par tranche de 100 MW, soit environ 75 % des besoins d'une centrale thermique classique équipée de réfrigérants atmosphériques produisant la même puissance. Un prélèvement sensiblement plus important est nécessaire pour assurer la déconcentration du circuit des réfrigérants, ce débit étant restitué à l'aval de l'installation.

7. L'ensemble de cette étude permet d'envisager la possibilité d'utiliser économiquement l'énergie extraite par gazéification souterraine sous pression, en vue de la production d'électricité, à condition que le volume de charbon gazéifié par sondage puisse atteindre les niveaux définis au point 3. La gazéification souterraine offrirait l'avantage de s'adapter à des régimes variables de production d'électricité.

8. Sur la base d'un programme expérimental progressif, on pourrait envisager de mettre en exploitation, d'ici 15 ans, deux ou trois sites correspondant chacun à une puissance de 170 à 300 MW. A ce stade, il ne semble pas se poser de problèmes d'immobilisations de terrains. Un développement plus important, justifié par le souci de réduire la dépendance énergétique du pays, impliquerait l'immobilisation temporaire d'environ 10 km^2 de sol pour chaque tranche de 1.000 MW. La mise à disposition de ces terrains soulèverait un problème qui devrait être discuté, tant avec les autorités publiques qu'avec les milieux agricoles.

6. De watervoorzieningsproblemen in een ontginning op grote schaal moeten geval per geval worden onderzocht. Het waterverlies door verdamping en stoomverbruik in het ondergronds vergassingsproces kan op $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ worden geraamd per schijf van 100 MW, of ongeveer 75 % van de behoeften van een klassieke thermische centrale voorzien van luchtkoelers met hetzelfde vermogen.

Er moet voor een veel groter debiet worden gezorgd om de deconcentratie van de koelersomloop te bewerkstelligen maar dit debiet wordt stroomafwaarts ten opzichte van de installatie hersteld.

7. Door deze ganse studie kan de mogelijkheid worden gepland om de door ondergrondse vergassing onder druk gewonnen energie economisch te gebruiken met het oog op de produktie van elektriciteit, op voorwaarde dat het volume vergaste steenkool per boring de in punt 3 bepaalde niveaus kan bereiken. De ondergrondse vergassing biedt het voordeel om zich te kunnen aanpassen aan de variabele regimes in de produktie van elektriciteit.

8. Op grond van een progressief proefningsprogramma zou binnen 15 jaar de ontginning kunnen worden gepland van twee of drie winningsplaatsen die elk een vermogen van 170 tot 300 MW hebben. In dit stadium blijken zich geen problemen inzake grondimmobilisatie voor te doen. Een ruimere ontwikkeling, verantwoord door het streven naar de beperking van de energie-afhankelijkheid van ons land, zou de tijdelijke immobilisatie impliceren van ongeveer 10 km^2 grond voor elke schijf van 1.000 MW. De terbeschikkingstelling van deze gronden zal een probleem doen oprijzen dat zowel met de openbare overheden als met de landbouwmilieus moet worden besproken.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

CONGRÈS ANNUEL 1977 — BIARRITZ, 10-14 MAI PROGRAMME PROVISOIRE

JOURNÉES TECHNIQUES

SECTION MINE
Président : F. Pot

SECTION MINÉRALURGIE
Président : A. Bullet

Mardi 10 mai
(après-midi)
section
Minéralurgie seule

1^{er} thème : *Relation entre la métallogénèse et l'aptitude à l'enrichissement*

- Interaction entre géologie, minéralogie et minéralurgie grès armoricains à titane et zirconium.
- Guides sédimentologiques et paléogéographiques domaine margino-littoral et infra-littoral.
- Corrélation entre la géologie du quartz et l'efficacité d'un traitement pour une roche destinée à l'industrie verrière.
- Considération sur le rôle de la recherche et de l'évaluation des gisements miniers pour l'étude et les décisions relatives aux installations minéralurgiques.

Mercredi 11 mai
et
Jeudi 12 mai
(matinée)
(pour les 2 sections)

Evolution et limites de la mécanisation dans les chantiers du fond et du jour

- M. Roussel (Compagnie générale des Matières nucléaires) : Aspects de la mécanisation dans les exploitations souterraines de Cogema. Mécanisation du creusement des galeries. Mécanisation des chantiers.
- Imétal + B.R.G.M. : La mécanisation et ses conséquences. Cas particulier d'une mine de Bolivie.
- J. Choisel (SamiFer) : Abattage à l'explosif et abattage mécanique dans les mines de fer de Lorraine.
- P. Sinou et J.F. Raffoux (Mines de fer et Charbonnages de France) : Récents progrès du boulonnage.
- M. Bodu (Mines de Potasse d'Alsace) : Evolution de la mécanisation dans les chantiers d'abattage aux M.D.P.A. Examen d'un cas particulier.
- R. Schweitzer (Charbonnages de France) : Revue de l'évolution du matériel de mine de construction française.
- M. Jacometti (Minatome) : L'outil informatique dans l'établissement d'avant-projets de mines d'uranium. Examen d'un cas concret.
- Charbonnages de France : Exposé sur la mécanisation des longues tailles. Exemples des Houillères du Bassin de Lorraine et des Houillères de Provence.
- R. Cordel (Electricité de France) : Chantiers de creusement traditionnels et chantiers avec tunneliers dans la galerie sous Belledonne (Isère).
- G. de la Rupelle (Ciments Lafarge France) : Choix des engins mobiles de chargement et de transport en carrières de cimenterie.
- P. Laneyrie (Comilog) : Monographie d'une exploitation de manganèse en Afrique.
- Unicem : Monographie d'une carrière moderne.

2^e thème : *Entretien dans les ateliers de traitement des matières minérales*

- Méthodes préventives d'entretien.
- Réduction des coûts d'entretien grâce au caoutchouc.
- Inspection des appareils de laverie.
- Entretien de la laverie de Largentière.
- Problèmes d'abrasion et de corrosion à Roberto (Espagne).
- Progrès récents dans l'entretien des outillages soumis à une abrasion intense.
- Entretien dans les lavoirs à charbon.
- Entretien des pompes aux Mines de potasse d'Alsace.
- Dispositifs de régénération systématique de la charge des broyeurs à barres et à boulets.
- Entretien d'un atelier de broyage et de flottation de minerai de cuivre.

3^e thème : *Sujets divers*

- Application de la microsonde électronique quantitative à balayage aux études minéralurgiques.
- Simplification des dispositifs d'alimentation broyeurs sur patins de virole.
- Synthèse et caractérisation de flocculants sélectifs.
- Mise au point d'une nouvelle balance de sédiments pour la détermination de la composition granulométrique des poudres homogènes.
- Possibilités présentes et perspectives techniques et économiques des opérations de préconcentration des minerais.

Présence de stands d'exposition (constructeurs et bureaux d'ingénierie)

Déjeuner officiel

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE

Président : R. Cheradame

Jeudi 12 mai
(après-midi)

Assemblée générale de la Société.
Conférences sur l'aménagement de la Côte d'Aquitaine.

soirée

Nuit basque à l'hostellerie du château de Brindos.

Vendredi
13 mai

Visites techniques et touristiques : installations minières en France et en Espagne, gisements d'hydrocarbures, électricité métallurgie, mécanique, thermalisme, le Pays Basque, le littoral.

Samedi 14 mai

Journée de détente, à la découverte du parc naturel régional des Landes de Gascogne (écomusée de Marquèze).

Pour les personnes associées : programme spécial de visites les 11 et 12 mai : Pays Basque, ville de Bayonne