



**SOMMAIRE**  
décembre 1981

**INHOUD**  
december 1981

✓ P. Ledent	De l'exploitation minière conventionnelle à la gazéification souterraine du charbon  Van de conventionele mijnbouw naar de ondergrondse vergassing van steenkolen	1021
J. Bracke, R. Derie, D. Gilbert, M. Taillet	Considérations sur les méthodes d'échantillonnage pour la détermination du taux de neutralisation des poussières  Beschouwingen over de bemonsteringsmethodes voor de bepaling van het neutralisatiegehalte	1051
✓ S. Furfari	Hydrogénopyrolyse des charbons — Etude bibliographique	1069
J. Medaets	Activité des services de l'Administration des Mines en 1980  Bedrijvigheid van de diensten van de Administratie van het Mijnwezen in 1980	1103
	Selection of Coal Abstracts	1123
	Bibliographie	1131
	Année 1981 : Table alphabétique des auteurs  Jaar 1981 : Alphabetische tafel van de auteurs	1133

## CHAPTER

THE PRACTICE OF

THE PRACTICE OF  
THE PRACTICE OF

THE PRACTICE OF  
THE PRACTICE OF  
THE PRACTICE OF

THE PRACTICE OF  
THE PRACTICE OF

THE PRACTICE OF  
THE PRACTICE OF

THE PRACTICE OF  
THE PRACTICE OF

THE PRACTICE OF

THE PRACTICE OF

THE PRACTICE OF  
THE PRACTICE OF

THE PRACTICE OF  
THE PRACTICE OF



# De l'exploitation minière conventionnelle à la gazéification souterraine du charbon \*

# Van de conventionele mijnbouw naar de ondergrondse vergassing van steenkolen \*

Pierre LEDENT \*\*

## RESUME

*Le développement de la gazéification souterraine du charbon ouvre à l'Europe de nouvelles perspectives d'indépendance en matière d'approvisionnement en énergie.*

*L'adaptation de cette technique aux conditions particulières des gisements en veines minces, à grande profondeur, impose l'utilisation de pressions élevées et d'agents gazéifiants non conventionnels.*

*Bon nombre d'arguments techniques et économiques portent à croire que les premières applications industrielles prendront la forme d'une méthode mixte comportant le creusement de galeries sous le gazogène souterrain, avec un petit nombre de sondages à gaz reliant le générateur à la surface.*

*La gazéification souterraine sera orientée vers la production d'un gaz à pouvoir calorifique moyen, susceptible d'être utilisé comme gaz de réseau ou comme matière première pour les industries chimiques de synthèse. La technique pourrait se développer en association étroite avec les grandes centrales électriques thermiques et nucléaires, en consommant, sous forme d'oxygène, l'énergie excédentaire disponible pendant les heures creuses.*

\* Texte d'une conférence présentée au Colloque « L'Energie en 1981 » organisé à Liège par l'A.I.M. du 18 au 21 mai 1981.

\*\* Directeur du Groupe de Projet de l'Expérience Belgo-Allemagne de Gazéification In Situ, rue du Chéra 200, B-4000 Liège.

## SAMENVATTING

*De ontwikkeling van de ondergrondse vergassing van steenkolen opent voor Europa nieuwe perspectieven van onafhankelijkheid op het vlak van zijn energievoorziening.*

*De aanpassing van deze methode aan de bijzondere omstandigheden van afzettingen in dunne lagen en op grote diepte noodzaakt tot het gebruik van hoge drukken en van niet-conventionele vergassingsmiddelen.*

*Omwille van een aantal technische en economische argumenten kan aangenomen worden dat de eerste industriële toepassingen in de vorm van een gemengde methode zullen plaatsvinden, met galerijen die onder de ondergrondse gasgenerator gedolven worden, en met een klein aantal gasboringen die de generator met de bovengrond verbinden.*

*De ondergrondse vergassing zal gericht zijn op de produktie van een gas met een gemiddelde verbrandingswaarde, dat kan gebruikt worden als netgas of als grondstof voor synthese in de chemische nijverheid. De techniek zou kunnen ontwikkeld worden in een nauwe samenwerking met de grote thermische en nucleaire elektriciteitscentrales, omdat de ondergrondse vergassing de overtollige energie die tijdens de daluren beschikbaar is in de vorm van zuurstof zou verbruiken.*

\* Tekst van een voordracht gehouden tijdens het Colloquium « De energie in 1981 », georganiseerd te Luik door de A.I.M. van 18 tot 21 mei 1981.

\*\* Directeur van de Projectgroep van het Belgisch-Duits experiment voor in situ-vergassing, rue du Chéra 200, B-4000 Liège.

## ZUSAMMENFASSUNG

*Die Entwicklung der Untertagevergasung der Kohle eröffnet für Europa neue Perspektiven hinsichtlich der Unabhängigkeit in Sachen Energieversorgung.*

*Die Anpassung dieser Technik an die besonderen Bedingungen der Vorkommen in Form von dünnen Flözen in großer Tiefe erfordert die Verwendung von hohen Drücken und unkonventionellen Vergasungsmedien.*

*Zahlreiche technische und wirtschaftliche Argumente sprechen dafür, daß die ersten industriellen Anwendungen nach einer gemischten Methode erfolgen werden, bei der Stollen unter dem Untertage-Gaserzeuger vorgetrieben werden, und der Gaserzeuger durch eine kleine Zahl von Gas-Bohrungen mit der Oberfläche verbunden wird.*

*Die Untertage-Vergasung wird auf die Erzeugung eines Gases mit mittlerem Brennwert ausgerichtet sein, das als Brenngas oder als Rohstoff für die chemische Syntheseindustrie verwendet werden kann. Die Technik könnte in engem Verbund mit den großen Wärme- und Kernkraftwerken entwickelt werden, wobei die während der Stunden des Minimalverbrauchs verfügbare überschüssige Energie, zur Erzeugung von Sauerstoff, genutzt werden kann.*

## SUMMARY

*The development of the technique of underground coal gasification opens up for Europe an entirely new prospect of independence in respect of energy supplies.*

*The adaptation of this technique to the specific conditions of thin seams at considerable depths makes it essential to use high pressures and to employ unconventional gasifying media.*

*A number of technical and economic arguments lead us to believe that the first industrial applications will take the form of a mixed method involving drifts running below the underground gas generator, with a small number of gas boreholes linking the generator to the surface.*

*Underground gasification will be used to produce gas of medium calorific value which can be used as mains gas or as a feedstock for chemical synthesis. The technique could be developed in close association with large thermal and nuclear power stations, consuming, in the form of oxygen, the surplus energy produced by such stations during off-peak hours.*

## 1. AVANT-PROPOS

Les lois qui régissent le développement des techniques présentent une étonnante analogie avec les lois biologiques qui, au cours des temps, ont présidé au développement des espèces qui peuplent la biosphère.

L'invention génétique est une donnée permanente, présente à toutes les époques de l'évolution du monde, mais le développement d'une nouvelle espèce est lié à l'existence d'une niche écologique qui puisse lui fournir des conditions de vie appropriées.

Dès le moment où ces conditions sont remplies, on assiste à une explosion démographique suivant une loi qui, au départ, est proche de l'exponentielle, pour s'incurver ensuite en forme de courbe « logistique » lorsque le milieu propice au développement approche de la saturation.

C'est cette même courbe « logistique » que l'on retrouve dans l'étude du développement d'une nouvelle technique lorsqu'elle réussit à s'étendre à travers le monde.

L'imagination de l'Homme est, elle aussi, présente à toutes les époques. L'exploitation souterraine du charbon s'était implantée en Europe dès l'an 1000

## 1. VOORWOORD

De wetmatigheid waaraan de technische ontwikkeling onderworpen is vertoont een verbazingwekkende overeenkomst met de biologische wetten die door de tijden heen de ontwikkeling van de wezens in de biosfeer bepaald hebben.

Het ontstaansproces is een factor die in alle tijdsperiodes van de evolutie van de wereld gewerkt heeft, maar voor de ontwikkeling van een nieuwe soort is een natuurlijke omgeving vereist waarin deze soort aangepaste levensvoorwaarden kan aantreffen.

Vanaf het ogenblik dat deze voorwaarden vervuld zijn vindt een bevolkingsexplosie plaats volgens een wet die aanvankelijk bijna exponentieel verloopt, en die nadien in een « logistische » curve overgaat wanneer het voor de ontwikkeling gunstige milieu het verzadigingspunt benadert.

Diezelfde « logistische » curve kan aangetroffen worden bij de studie van de ontwikkeling van een nieuwe techniek wanneer deze over de hele wereld kan verspreid worden.

De vindingrijkheid van de mens is ook niet aan een bepaald tijdperk gebonden, maar heeft altijd bestaan. Reeds vanaf het jaar 1.000 was er in Europa een

et, dès le milieu du XVIIe siècle, Newcomen avait construit sa première machine à vapeur. Cependant, il aura fallu attendre l'épuisement des forêts, qui jusqu'alors avaient permis d'alimenter l'industrie métallurgique naissante, pour que subitement se produise, dans l'Angleterre du XIXe siècle, l'extraordinaire explosion industrielle résultant de l'expansion de l'utilisation du charbon et du développement de la machine à vapeur.

La crise de l'énergie, que connaît actuellement l'Europe occidentale, aurait pu être évitée si, au cours des 30 années d'expansion qu'a connues notre économie, nous avions pu, suffisamment tôt, prendre conscience du fait que l'exploitation souterraine de nos gisements profonds était devenue une méthode désuète, inadaptée au niveau de vie de notre population.

Dès cette époque, une nouvelle technique était prête à prendre la relève : la gazéification souterraine du charbon, dont le principe avait été exposé par Mendeleïev, vers la fin du XIXe siècle, et dont Sir William Ramsay disait, en 1913, qu'elle était la seule méthode capable d'assurer une exploitation économique des veines minces.

Si la gazéification souterraine est retombée dans l'oubli, après quelques brèves tentatives de développement, au cours des années 50, c'est que la « niche écologique » qui lui était destinée et qui consiste à réaliser la production massive d'une énergie fluide, sur base charbon, s'est trouvée comblée par un afflux de pétrole à bon marché, exploité à des milliers de kilomètres de l'Europe et distribué à travers le monde par quelques grandes sociétés à caractère monopolistique, dernières héritières de l'épopée coloniale.

Depuis la création de l'OPEP, la guerre du Kippour et l'extraordinaire montée des prix de l'énergie, le créneau propice au développement de la gazéification souterraine est à nouveau grand ouvert.

Avec sa dépendance énergétique, qui menace de ruiner son économie; avec les conditions géologiques difficiles de ses gisements profonds et le coût élevé de sa main-d'œuvre, qui font des charbons européens les charbons les plus chers du monde, l'Europe est à nouveau à la pointe du combat. La technique de gazéification souterraine constitue une réponse à ses problèmes; elle pourrait connaître, en cette fin du XXe siècle, un essor comparable à celui qu'ont connu les charbonnages il y a quelque 150 ans.

Dans les pages qui suivent, je ferai appel aux études qui ont été réalisées dans le cadre de la collabo-

ondergrondse ontginding van steenkolen, en rond het midden van de XVIIde eeuw had Newcomen zijn eerste stoommachine gebouwd.

Nochtans was het eerst na een massale ontbossing de opkomende metaalindustrie gebruikte nog hout als brandstof dat in de XIXde eeuw in Engeland plotseling de buitengewone industriële revolutie plaatsvond als gevolg van een toenemend gebruik van steenkool en van de ontwikkeling van de stoommachine.

De energiecrisis waarmee West-Europa, momenteel geconfronteerd wordt had kunnen vermeden worden, indien we ons tijdens de 30 jaar durende periode van economische expansie tijdig gerealiseerd hadden dat de ondergrondse ontginding van onze diepgelegen steenkoolafzettingen een verouderde methode is, die niet meer aangepast is aan de levensstandaard van onze bevolking.

Vanaf dat ogenblik was er een nieuwe techniek beschikbaar om de oude te vervangen : de ondergrondse vergassing van steenkolen, waarvan het principe reeds rond het einde van de XIXde eeuw werd uiteengezet door Mendeleïev, en waarvan Sir William Ramsay in 1913 zei dat het de enige methode was waarmee een economisch verantwoorde ontginding van dunne lagen kon verzekerd worden.

Na enkele korte pogingen tot ontwikkeling in de jaren 50 raakte de ondergrondse vergassing in de vergeethoek. Dit was te wijten aan het feit dat men, in plaats van op grote schaal energie in een fluïde vorm te produceren op basis van steenkool, de mogelijkheid had om enorme hoeveelheden goedkope aardolie aan te voeren die op duizenden kilometers van Europa geproduceerd werd, en die over de hele wereld verdeeld werd door enkele grote maatschappijen met monopolistisch karakter, en die zich als de laatste erfgenamen van de koloniale overheersing aandieden.

Sedert de oprichting van de OPEC, de Kipoeroorlog en de buitengewone stijging van de energieprijzen zijn er weer redenen te over om de ondergrondse vergassing te ontwikkelen.

Met zijn afhankelijkheid op energiegebied, waardoor zijn economie dreigt ten onder te gaan, met de moeilijke geologische omstandigheden van zijn diepgelegen afzettingen en met zijn hoge loonkosten, waardoor zijn steenkool de duurste van de hele wereld is, staat Europa opnieuw in de vuurlijn. De techniek van de ondergrondse vergassing is een antwoord op zijn problemen. Ze zou nu, op het einde van de XXste eeuw, een vlucht kunnen nemen die vergelijkbaar is met die van de steenkoolmijnen 150 jaar geleden.

In de volgende bladzijden zal ik een beroep doen op de studies die in het raam van de Belgisch-Duitse

ration entre la Belgique et la RFA et je tenterai d'esquisser les orientations que pourrait prendre la gazéification souterraine pour s'adapter à l'exploitation des veines minces en gisements profonds, qui constituent l'essentiel des ressources énergétiques de l'Europe.

## 2. PROBLEMES SPECIFIQUES DE LA GAZEIFICATION SOUTERRAINE

La gazéification souterraine est un procédé hybride, qui tend à réaliser, en une seule opération, deux objectifs essentiels :

- l'exploitation d'une couche de houille et
- la transformation du charbon en un gaz combustible susceptible d'être utilisé industriellement.

### 2.1. Les contraintes liées à l'exploitation

De très nombreux facteurs influent sur l'organisation de l'exploitation souterraine d'une couche de houille. Sans prétendre à une énumération exhaustive, on peut souligner qu'une méthode d'exploitation doit pouvoir répondre à quatre conditions essentielles :

- la limitation des travaux préparatoires coûteux et peu productifs;
- l'exploitation aussi complète que possible du gisement;
- la concentration de la production dans un petit nombre de chantiers;
- le contrôle des pressions de terrain par l'abandon de piliers de charbon, par la mise en place de remblais ou par l'organisation méthodique du foudroyage du toit.

Dans la technique minière classique, deux méthodes très différentes se sont développées pour satisfaire à ces conditions :

- *la méthode par chambres et piliers* assez largement utilisée aux USA et qui est particulièrement adaptée aux gisements peu profonds, comportant des couches d'épaisseur moyenne et de faible倾inuation;
- *la méthode par longues tailles* qui s'est généralisée en Europe pour l'exploitation des veines de faibles ouvertures, situées à moyenne ou à grande profondeur.

Nous aurons l'occasion de montrer que la gazéification souterraine s'orientera, par nécessité, vers les deux mêmes schémas et que l'on peut s'attendre à ce que les développements prennent la forme de petits fronts multiples dans les exploitations situées à faible profondeur et la forme de longues tailles dans les gisements profonds constitués de veines pentées et relativement minces.

samenwerking werden uitgevoerd, en ik zal trachten aan te geven in welke richting de ondergrondse vergassing zou kunnen ontwikkeld worden om te komen tot de ontginding van de dunne lagen in diepgelegen afzettingen die het grootste gedeelte van de energievoorraad in Europa uitmaken.

## 2. SPECIFIEKE PROBLEMEN VAN DE ONDERGRONDSE VERGASSING

De ondergrondse vergassing is een hybridische methode, die erop gericht is, in één enkele operatie twee belangrijke doelstellingen te verwezenlijken :

- de ontginding van een steenkoollaag en
- de omvorming van de steenkool tot een brandbaar gas dat op industriële schaal kan gebruikt worden.

### 2.1. De moeilijkheden verbonden aan de ontginding

De ondergrondse ontginding van een steenkoollaag wordt door zeer veel factoren beïnvloed. Zonder daarom een volledige opsomming te geven kan men toch stellen dat een ontginningsmethode aan vier essentiële voorwaarden moet beantwoorden :

- de beperking van kostelijke en weinig produktieve voorbereidende werken;
- een zo volledig mogelijke ontginding van de afzetting;
- de concentratie van de produktie in een klein aantal werkplaatsen;
- de controle van de gesteenteindruck door het achterlaten van steenkoolpijlers, door het aanbrengen van vulmateriaal of door het toepassen van een systematische breukbouw.

In de klassieke mijnbouwtechniek werden twee sterk verschillende methodes ontwikkeld om aan deze voorwaarden te voldoen :

- *De methode met kamers en pijlers* die vrij veel gebruikt wordt in de VS, en die zich bijzonder goed leent voor weinig diepgelegen afzettingen met lagen van gemiddelde dikte en met een kleine helling.
- *De methode met lange pijlers* die in Europa algemeen gebruikt wordt voor het ontginnen van lagen met een kleine dikte, en die op gemiddelde of op grote diepte gelegen zijn.

We zullen nog de gelegenheid hebben om aan te tonen dat de ondergrondse vergassing noodzakelijk op deze twee schema's zal gericht zijn, en dat verwacht kan worden dat de ontgindingen op geringe diepte de vorm van talrijke kleine fronten zullen aannemen, en dat de ontgindingen van diepgelegen afzettingen met hellende en relatief dunne lagen de vorm van lange pijlers zullen aannemen.

## *2.2. Caractéristiques du gazogène souterrain*

Il existe trois différences importantes entre la gazéification souterraine et la gazéification dans les gazogènes de surface.

- Le gazogène souterrain contient sa charge de combustible, qui reste immobile et se consumme sur place, tandis que le gazogène se déplace au sein de la couche de houille.
- Dans le gazogène souterrain, le charbon se présente sous forme d'une veine compacte et la surface de réaction gaz-solide se réduit à l'interface qui sépare la zone déjà gazéifiée de la zone encore vierge.
- Le circuit dans lequel s'intercale le gazogène souterrain peut atteindre une longueur de plusieurs kilomètres, alors que, dans une installation de surface, il dépasse rarement quelques dizaines de mètres.

De ces différences découlent un certain nombre de conséquences :

*A l'avantage de la gazéification souterraine, on peut noter :*

- la facilité de travailler sous pression, aucun éclusage de matière solide n'étant à prévoir à l'entrée ou à la sortie du gazogène;
- la possibilité de réaliser à volonté l'écoulement du flux gazeux dans le sens montant ou dans le sens descendant en raison de l'absence de mouvement du combustible solide;
- la plus grande liberté dans le choix des températures de réaction, le problème du ramollissement des cendres n'ayant qu'une importance secondaire lorsque le combustible ne doit pas se déplacer à travers le gazogène.

*Parmi les inconvénients liés aux caractéristiques du gazogène souterrain, on retiendra :*

- la très faible surface de contact gaz-solide et
- le niveau élevé des pertes de charge résultant de la circulation des gaz dans l'ensemble du circuit souterrain.

## *2.3. Effets de la limitation de la surface de contact gaz-solide*

Les granulométries de charbon les plus couramment utilisées dans les gazogènes mécaniques modernes se situent entre 10 et 40 mm.

Si l'on admet que la hauteur moyenne de la zone de réaction est de l'ordre d'un mètre, la surface de con-

## *2.2. Kenmerken van de ondergrondse gasgenerator*

Er zijn drie belangrijke verschillen tussen de ondergrondse vergassing en de vergassing in de bovengrondse gasgeneratoren.

- De ondergrondse gasgenerator bevat zijn brandstoflading, die onbeweeglijk blijft en ter plaatse verbruikt wordt, terwijl de gasgenerator zich binnen de steenkoollaag voortbeweegt.
- In de ondergrondse gasgenerator is de steenkool in de vorm van een compacte laag vorhanden, en het reactieoppervlak tussen gas en vaste stof beperkt zich tot het grensvlak tussen de reeds vergaste zone en de nog onaangeroerde zone.
- Het circuit waarin de ondergrondse gasgenerator gelegen is kan een lengte van verschillende kilometers bereiken, terwijl het in een bovengrondse gasgenerator zelden langer is dan een paar tientallen meters.

Deze verschillen hebben een aantal gevolgen.

*Als voordeel voor de ondergrondse vergassing kan genoteerd worden :*

- de gemakkelijkheid van het werken onder druk, daar aan de ingang of aan de uitgang van de gasgenerator geen versassing van vaste brandstof nodig is;
- de mogelijkheid om de uitstroming van de gasstroom naar believen in stijgende of in dalende richting te doen verlopen, omdat er geen beweging van de vaste brandstof is;
- de zeer grote vrijheid bij het kiezen van de reactietemperaturen, daar het probleem van de verwarming van de assen slechts van bijkomend belang is wanneer de brandstof niet doorheen de gasgenerator moet bewegen.

*De volgende nadelen zijn verbonden aan de kenmerken van de ondergrondse gasgenerator :*

- het zeer kleine contactoppervlak gas-vaste brandstof en
- het aanzienlijke ladingsverlies als gevolg van de circulatie van de gassen in het ondergrondse circuit.

## *2.3. Gevolgen van de begrenzing van het contactoppervlak gas-vaste brandstof*

In de moderne mechanische gasgeneratoren worden doorgaans steenkolen met een korrelgrootte tussen 10 en 40 mm gebruikt.

Indien men aanneemt dat de gemiddelde hoogte van de reactiezone ongeveer een meter bedraagt, dan

tact gaz-solide atteint couramment 100 à 150 m<sup>2</sup> par m<sup>3</sup> de section transversale de l'appareil.

Pour les gazogènes air-vapeur qui fonctionnent à la pression atmosphérique, les taux de chargement maxima sont de l'ordre de 250 kg de charbon par heure et par m<sup>2</sup> de grille.

Partant de là, la vitesse maximale des réactions rapportées à l'unité de surface de contact gaz-solide peut être évaluée à 2,5 kg de charbon par m<sup>2</sup> et par heure. Il y correspond une vitesse d'avancement de l'ordre de 2 mm par heure.

Si l'on applique cette valeur au cas d'un gazogène souterrain constitué par un front de taille d'une longueur de 100 m dans une veine d'un mètre d'ouverture, on arrive à une consommation de charbon de 240 kg par heure, ce qui équivaut à une puissance consommée de l'ordre de 2 MW<sub>th</sub>.

En fait, les puissances utiles qui ont été obtenues lors des essais de gazéification souterraine qui se sont déroulés jusqu'à présent en URSS et aux USA ont généralement varié entre 2,5 et 15 MW<sub>th</sub> par sondage de production de gaz, les valeurs les plus élevées étant relatives à des gazogènes souterrains situés dans des couches d'une puissance utile de 8 à 10 m.

Le niveau très modeste de ces puissances unitaires constitue l'un des principaux handicaps du procédé de gazéification souterraine.

#### 2.4. Etat actuel des techniques

Les exploitations par gazéification souterraine qui se sont développées en URSS, au cours des 20 dernières années, et les expériences actuellement en cours aux USA s'apparentent toutes au même schéma : l'exploitation par fronts multiples, d'assez faible largeur, avec évacuation des gaz produits par un réseau de chenaux parallèles tracés dans l'épaisseur de la veine.

Dans le procédé par sondages verticaux qui s'est développé à Angren (URSS) et qui a fait l'objet des expériences américaines de Hanna, de Hoe Creek et de Pricetown, l'accès au gisement est assuré par un réseau de sondages distants entre eux de 20 à 30 m et les liaisons nécessaires à l'exploitation sont réalisées entre les pieds de deux sondages voisins, par la technique de rétrocombustion, dont le principe est schématisé à la figure 1 [1].

Cette première opération aboutit à la formation de chenaux de 2 à 3 pieds de diamètre, à travers lesquels il devient possible de faire circuler des quantités de gaz importantes, sans devoir recourir à des pressions d'injection élevées.

bereikt het contactoppervlak gas-vaste brandstof doorgaans 100 tot 150 m<sup>2</sup> per m<sup>3</sup> dwarsdoorsnede van het toestel.

Voor de lucht-stoom gasgeneratoren die bij atmosferische druk werken bedragen de maximale ladingshoeveelheden ongeveer 250 kg steenkool per uur en per m<sup>2</sup> roosteroppervlak.

Bijgevolg kan de maximumsnelheid van de reacties, overgebracht op de eenheid van het contactoppervlak gas-vaste brandstof, op 2,5 kg steenkool per m<sup>2</sup> en per uur geraamd worden. Dit komt overeen met een vorderingssnelheid van ongeveer 2 mm per uur.

Indien men deze waarde toepast op een ondergrondse gasgenerator die gevormd wordt door een pijlerfront met een lengte van 100 m in een laag met een opening van 1 m, dan komt men tot een steenkoolverbruik van 240 kg per uur, hetgeen overeenkomt met een verbruikt vermogen van 1 MW<sub>th</sub>.

De nuttige vermogens die bekomen werden bij de ondergrondse vergassingsproeven in de VSA en de USSR lagen over het algemeen tussen 2,5 en 15 MW<sub>th</sub> per gasproductieboring. De hoogste waarden hadden betrekking op ondergrondse gasgeneratoren die in lagen met een nuttige dikte van 8 tot 10 meter gelegen waren.

Het zeer bescheiden vermogen per eenheid is een van de voornaamste nadelen van het procédé van de ondergrondse vergassing.

#### 2.4. Huidige stand van de technieken

De ontginningen door ondergrondse vergassing die de laatste 20 jaar in de USSR werden ontwikkeld, en de experimenten die momenteel in de VSA worden uitgevoerd, verlopen allemaal volgens hetzelfde schema : ontginding door talrijke fronten met een geringe breedte, met afvoer van de geproduceerde gassen door een net van parallelle kanalen die in de dikte van de laag getrokken zijn.

Bij het procédé met vertikale boringen dat in Angren (USSR) werd ontwikkeld, en waarmee in Hanna, Hoe Creek en Pricetown in de VS proeven werden uitgevoerd, wordt de afzetting toegankelijk gemaakt door een reeks boringen met een onderlinge afstand van 20 tot 30 m. De verbindingen tussen de boringen werden onderaan twee dicht bij elkaar gelegen boringen tot stand gebracht door de techniek van de achterwaartse verbranding, waarvan het principe in figuur 1 [1] schematisch wordt weergegeven.

Door deze operatie worden kanalen met een diameter van 2 tot 3 voet gevormd, waar doorheen grote hoeveelheden gas kunnen gestuurd worden zonder dat hoge injectiedrukken moeten gebruikt worden.

L'évolution du gazogène souterrain est schématisée à la figure 2 qui met en évidence le rôle fondamental de la convection thermique dans le développement de la gazéification.

Le développement de cette méthode conduit au schéma de la figure 3, qui présente une analogie frappante avec la méthode d'exploitation traditionnelle par chambres et piliers.

Dans les gisements à forte pente, les chenaux, à partir desquels se développe l'exploitation, sont constitués par des forages en veine partant de la surface et ceci conduit au schéma de la figure 4, qui a servi de base aux exploitations russes de Lisichansk et de

De evolutie van de ondergrondse gasgenerator wordt in figuur 2 schematisch weergegeven. Deze figuur toont ook duidelijk aan welke fundamentele rol de thermische convectie speelt bij de ontwikkeling van de vergassing.

De ontwikkeling van deze methode geeft aanleiding tot het schema van figuur 3, waaruit een opvallende analogie met de traditionele ontginning met kamers en piliers blijkt.

In de sterk hellende afzettingen worden de kanalen van waaruit de ontginning ontwikkeld wordt tot stand gebracht door boren in de laag die vanaf de bovengrond worden uitgevoerd. Dit geeft aanleiding tot het schema van figuur 4, dat bij de ontginningen

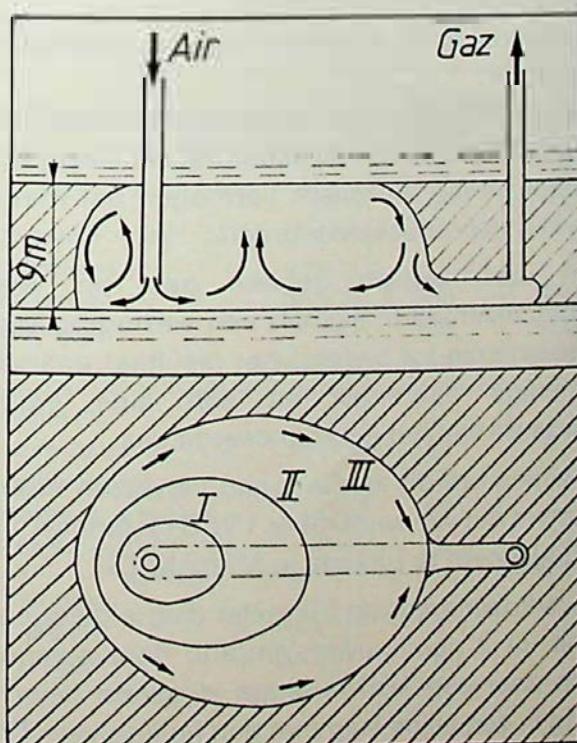
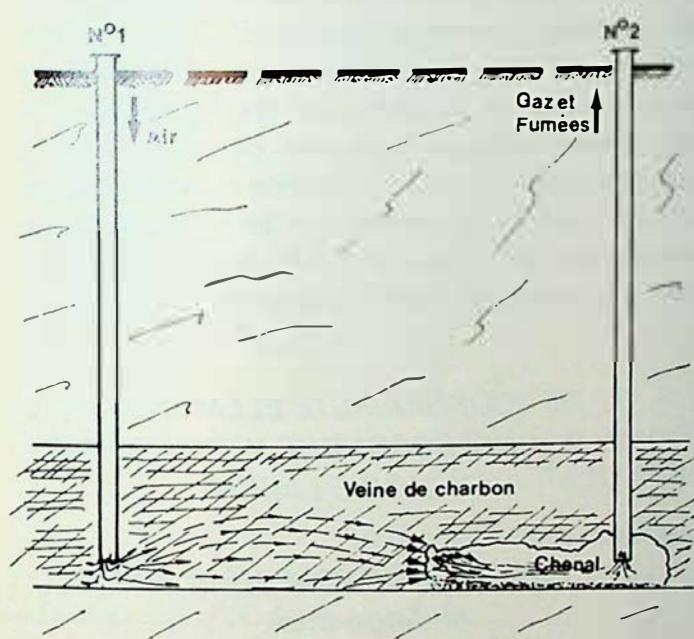


Fig. 2

Progression de la gazéification durant l'expérience de Hanna  
Vooruitgang van de vergassing tijdens de proefneming te Hanna

Fig. 1

Réalisation d'une liaison par rétrocombustion

Verwezenlijking van een verbinding door achterwaartse verbranding

Air : lucht

Gaz et fumées : gas en rook

Veine de charbon : kolenlaag

Chenal : kanaal

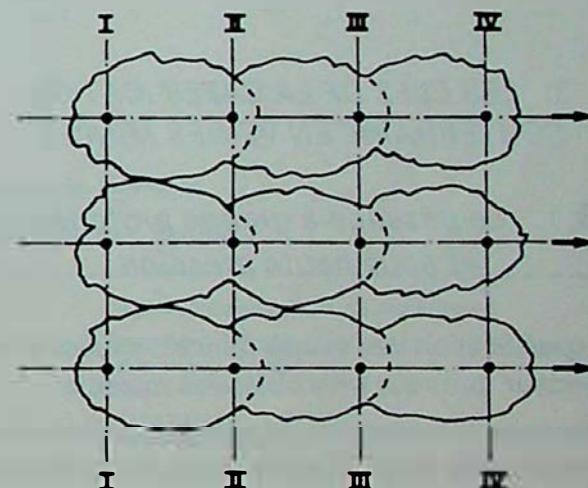


Fig. 3

Schéma d'une exploitation par fronts multiples

Schema van een ontginning met talrijke fronten

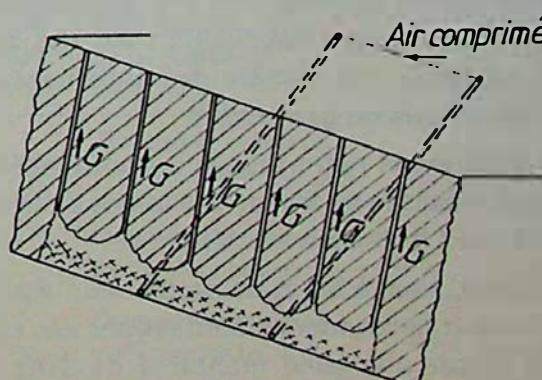


Fig. 4

Schéma des chantiers de Lisichansk et de Yuzhno-Abinsk

G : sondages à gaz

Schema van de winplaatsen te Lisichansk en te Yuzhno-Abinsk

G : gasboringen

Air comprimé : perslucht

Yuzhno-Abinsk et qui, plus récemment, a été expérimenté aux USA sur le site de Rawlins [2].

On notera que tous ces développements présentent un certain nombre de caractéristiques communes :

- exploitation à faible profondeur (moins de 300 m);
- gazéification à l'air et à faible pression (1 à 2 bar);
- préparation des chantiers sans aucun travail minier souterrain.

Dans ces conditions de faible profondeur et de faible pression, le choix de la méthode par fronts multiples apparaît comme la seule solution qui permette de remédier à l'insuffisance de production de gaz par unité de surface de contact gaz-solide et d'atteindre une puissance thermique de l'ordre de 50 à 70 MW<sub>th</sub> par chantier, en développant au maximum les surfaces de contact entre le charbon et l'air de gazéification et en multipliant les circuits d'injection d'air et de captage du gaz, afin que le débit total puisse atteindre un niveau suffisamment élevé.

van Lisichansk en Yuzhno-Abinsk werd toegepast, en dat onlangs nog in de VSA werd toegepast bij de proefnemingen in Rawlins [2].

Er kan vastgesteld worden dat al deze ontwikkelingen een aantal gemeenschappelijke kenmerken vertonen:

- ontgassing op geringe diepte (minder dan 300 m);
- vergassing met lucht en met geringe druk (1 tot 2 bar);
- voorbereiding van de werkplaatsen zonder ondergrondse mijnarbeid.

In deze omstandigheden van geringe diepte en geringe druk lijkt de keuze van de methode met talrijke fronten de enige oplossing waarmee het nadeel van de ontoereikende gasproductie per eenheid van contactoppervlak gas-vaste brandstof kan gecompenseerd worden, en waarmee een thermisch vermogen van 50 tot 70 MW<sub>th</sub> per werkplaats kan bereikt worden; dit kan gebeuren door het contactoppervlak tussen de steenkool en de vergassingslucht zo sterk mogelijk te ontwikkelen en door het aantal luchtingest- en gasafzuigingscircuits sterk te verhogen, zodat het totale debiet voldoende groot wordt.

### 3. LES CLES DE LA GAZEIFICATION SOUTERRAINE EN VEINES MINCES

#### 3.1. Le passage à grande profondeur et sous haute pression

La gazéification des veines minces, situées à faible profondeur, bute sur trois obstacles majeurs :

- le manque d'étanchéité du gazogène souterrain;
- l'interférence avec les nappes aquifères qui occupent la zone superficielle de l'écorce terrestre et
- la très faible puissance thermique qu'il est possible de produire à partir de chacun des sondages.

Ces trois handicaps ont pour corollaires des pertes de gaz et d'agents gazéifiants et une aggravation des pertes thermiques, qui débouchent sur des performances médiocres en matière de rendement et de pouvoir calorifique du gaz produit.

Nous illustrerons notre propos en nous référant à l'expérience réalisée au Maroc, sur le site de Djerada, de septembre 1950 à janvier 1951 [3].

Le chantier, situé à 50 m de profondeur, était constitué par deux descenderies bordées par des épis de remblais et par une taille montante de 100 m de longueur, ouverte dans une couche en dressant, d'un pendage de 77° et d'une puissance comprise entre 1 m et 1,20 m (fig. 5).

Le préchauffage de l'air de gazéification était réalisé au moyen de deux régénérateurs de chaleur

#### 3. DE VOORNAAMSTE ELEMENTEN VAN DE ONDERGRONDSE VERGASSING VAN DUNNE LAGEN

##### 3.1. De overgang naar grote diepte en hoge druk

De vergassing van dunne lagen op geringe diepte stuit op drie grote moeilijkheden:

- de ontoereikende dichtheid van de ondergrondse gasgenerator;
- de storende invloed van de grondwaterlagen die in de oppervlaktezone van de aardkorst aanwezig zijn en
- het zeer gering thermisch vermogen dat met elke boring kan geproduceerd worden.

Deze drie nadelen hebben gas- en vergassingsmiddelverliezen, evenals een verhoging van de warmteverliezen tot gevolg; het resultaat daarvan is een matige opbrengst en een lage verbrandingswaarde van het geproduceerde gas.

We zullen om dit aan te tonen verwijzen naar het experiment dat van september 1950 tot januari 1951 werd uitgevoerd te Djerada in Marokko [3].

De werkplaats was op 50 meter diepte gelegen, en bestond uit 2 neerhouwen omrand door steendammen en door een 100 m lange stijgende pijler met opening in een steile laag met een helling van 77° en met een dikte tussen 1 m en 1,20 m (fig. 5).

De vergassingslucht werd voorverwarmd door twee warmteregeneratoren die aan de top van de

disposés au sommet des deux descenderies, en opérant des inversions périodiques du sens d'écoulement des gaz.

Les débits d'air effectivement injectés au cours de ces essais ont varié de 1.500 à 3.000 m<sup>3</sup>/h, ces variations étant la conséquence de fuites au sommet des descenderies et d'importantes variations de la résistance du chantier.

La quantité de charbon consommé a atteint 6 à 8 t/jour, soit environ 2 à 3 kg de charbon par m<sup>2</sup> de surface de taille et par heure.

Les résultats globaux obtenus au cours des 5 mois d'expérimentation sont détaillés à la première colonne du tableau I.

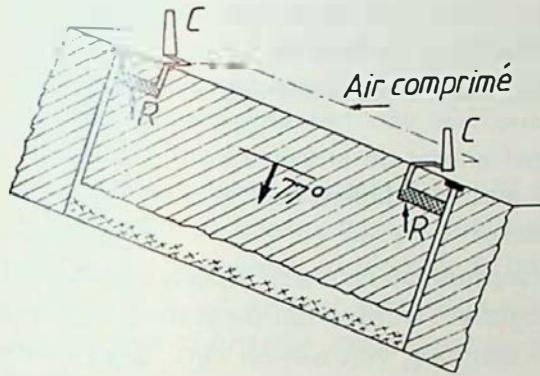


Fig. 5

Schéma du chantier de Djerada

C : cheminées

R : régénérateurs

Schema van de werkplaats van Djerada

C : schoorstenen

R : regeneratoren

TABLEAU I — TABEL I

Transposition des résultats de l'expérience de Djerada  
Omrekening van de resultaten van de proefneming van Djerada

Caractéristiques du chantier

Puissance : 1.10 m  
Longueur de taille : 100 m  
Pendage : 77°  
Charbon anthracite : 5,6 % MV  
PCS : 7 925 kcal/kg

Karakteristieken van de werkplaats

Laagdikte : 1,10 m  
Pijlerlengte : 100 m  
Helling : 77°  
Antracietkolen : 5,6 % VB  
BVW : 7 925 kcal/kg

Conditions de fonctionnement	Réelles Reelle	Transposées (*) Omgerekend (**)				Werkingsomstandigheden
		I	II	III	IV	
Profondeur	(m)	50	$\geq 700$	$\geq 700$	$\geq 700$	Diepte (m)
Pression de gazéification	(bar)	1,3	1,3	8	32	Vergassingsdruk (bar)
Avancement moyen	(cm/h)	0,23	0,23	1,4	5,6	Gem. Vorderung (cm/u)
Débit de gaz moyen	(m <sup>3</sup> /h)	2 000	1 850	9 900	39 600	Gem. gasdebit (m <sup>3</sup> /u)
Température du gaz	(°C)	300	900	900	900	Gastemperatuur (°C)
PCS moyen	(kcal/m <sup>3</sup> )	350	675	1 000	1 070	Gem. BVW (kcal/m <sup>3</sup> )
Bilan thermique (**)						Thermische balans (**)
Chaleur latente du gaz	(%)	30	53,5	70	74,5	Latente warmte v.h. gas (%)
Chaleur sensible du gaz	(%)	8	24	21	21	Voerbare warmte v.h. gas (%)
Chaleur sensible de la vapeur	(%)	47	—	—	—	Voerbare warmte v.d. stoom (%)
Pertes par conduction	(%)	15	22,5	9	4,5	Verlies door geleiding (%)
Puissance thermique						Thermisch vermogen
du charbon gazéifié	(MW <sub>th</sub> )	2,7	2,7	16,5	66	v.d. vergaste kolen (MW <sub>th</sub> )
du charbon produit	(MW <sub>th</sub> )	0,8	1,5	11,5	49	v.d. produktie (MW <sub>th</sub> )

(\*) II : Gisement sec

III : Gazéification à l'air à moyenne pression

IV : Gazéification air + vapeur à haute pression

(\*\*) Rapporté au potentiel calorifique du charbon effectivement gazéifié.

(\*\*) II : Watervrije afzetting

III : Vergassing met lucht bij gemiddelde druk

IV : Vergassing met lucht en stoom bij hoge druk

(\*\*) In verhouding tot de warmteinhoud van vergaste kolen.

Le pouvoir calorifique du gaz s'est maintenu à une valeur moyenne de  $350 \text{ kcal/m}^3$  avec des périodes à 500 ou  $600 \text{ kcal/m}^3$ . Le rendement de gazéification a atteint une valeur moyenne de 30 % avec quelques périodes avoisinant les 50 %.

L'examen du bilan thermique met en évidence l'influence prépondérante de la pénétration de l'eau dans le gazogène, cette pénétration d'eau étant, à elle seule, responsable de la dissipation de 47 % du potentiel calorifique du charbon consommé.

Il est assez facile d'imaginer les conditions de fonctionnement qui auraient pu être atteintes si le chantier de Djerada s'était trouvé transporté à une profondeur de 700 à 800 m, en dehors de la zone d'influence des nappes aquifères.

Les résultats de cette transposition sont détaillés à la deuxième colonne du tableau I. Ils ont été calculés en admettant que la vitesse d'avancement du front de gazéification restait inchangée et que le charbon anthracite pouvait être assimilé à un carbone exempt de matières volatiles.

Dans le bilan thermique présenté à la colonne II, on note la disparition des pertes de chaleur par évaporation d'eau, mais cette amélioration est partiellement compensée par l'augmentation de la température de sortie du gaz, qui passe de 300 à 900 °C, et par une aggravation des pertes par conduction à travers les roches. Le résultat final est cependant très positif et il se traduit par un relèvement du rendement de gazéification qui passe de 30 à 53,5 %.

Les deux dernières colonnes du tableau montrent à quel point les résultats peuvent encore être améliorés, si l'on tire parti de l'étanchéité du gazogène souterrain pour réaliser les opérations de gazéification sous pression élevée.

Ces résultats ont été calculés à partir de deux hypothèses :

- 1) la vitesse de progression du front ne dépend que de la cinétique chimique des réactions de gazéification, ce qui conduit à admettre que sa valeur est proportionnelle à la pression absolue qui règne dans le gazogène;
- 2) les pertes par conduction à travers les roches obéissent aux lois de Fourier, ce qui conduit à admettre qu'en valeur absolue elles augmentent proportionnellement à la racine carrée de la vitesse d'avancement du front.

Les valeurs reprises à la colonne III montrent que le PCS de  $1.000 \text{ kcal/m}^3$  et le rendement de gazéification de 70 %, qui correspondent aux conditions optimales de gazéification du carbone par de l'air sec, peuvent être atteints pour une pression de gazéification de 8 bar.

De verbrandingswaarde van het gas bleef op een gemiddelde waarde van  $350 \text{ kcal/m}^3$ , met perioden tot 500 of  $600 \text{ kcal/m}^3$ . Het vergassingsrendement bereikte een gemiddelde waarde van 30 %, gedurende enkele perioden bereikte het ongeveer 50 %.

Uit het onderzoek van de warmtebalans blijkt zeer duidelijk de belangrijke invloed van de waterindringing in de gasgenerator; deze waterindringing alleen is immers al verantwoordelijk voor het verlies van 47 % van het warmtegevend vermogen van de verbruikte steenkool.

Men kan zich vrij makkelijk voorstellen welke werkingsomstandigheden hadden kunnen bereikt worden indien de werkplaats van Djerada op een diepte van 700 tot 800 m, buiten de invloedszone van de grondwaterlagen had gelegen.

De resultaten van deze overbrenging op grotere diepte worden in de tweede kolom van tabel I gegeven. Bij de berekening werd aangenomen dat de vorderingssnelheid van het vergassingsfront onveranderd bleef en dat de antracietkool kon gelijkgesteld worden met een kolensoort zonder vluchtbare bestanddelen.

In de warmtebalans die in kolom II wordt gegeven kan vastgesteld worden dat de warmteverliezen door waterverdamping verdwenen zijn; deze verbetering wordt echter gedeeltelijk teniet gedaan door de verhoging van de uitgangstemperatuur van het gas van 300 tot 900 °C en door een verhoging van de verliezen door geleiding doorheen het gesteente. Het uiteindelijke resultaat is evenwel zeer positief, hetgeen blijkt uit een verhoging van het vergassingsrendement van 30 tot 53,5 %.

De twee laatste kolommen van de tabel tonen aan in welke mate de resultaten nog kunnen verbeterd worden indien men gebruik maakt van de dichtheid van de ondergrondse gasgenerator om de vergassing onder hoge druk uit te voeren.

Voor de berekening van deze resultaten werd van twee veronderstellingen uitgegaan:

- 1) De vorderingssnelheid van het front is alleen afhankelijk van de chemische kinetica van de vergassingsreacties; dit leidt tot de veronderstelling dat haar waarde evenredig is met de absolute druk die in de gasgenerator heerst;
- 2) De verliezen door geleiding doorheen het gesteente volgen de wet van Fourier; bijgevolg kan aangenomen worden dat ze in absolute waarde toenemen, evenredig met de vierkantswortel van de vorderingssnelheid van het front.

De waarden in kolom III tonen aan dat de bovenste verbrandingswaarde van  $1.000 \text{ kcal/m}^3$  en het vergassingsrendement van 70 %, die overeenkomen met de optimale omstandigheden van kolenvergassing met droge lucht, kunnen bereikt worden bij een vergassingsdruk van 8 bar.

La colonne IV montre que l'élévation de la pression de gazéification jusqu'au niveau de 32 bar peut encore amener une importante amélioration du pouvoir calorifique du gaz et du rendement de gazéification, si l'air de gazéification est additionné d'une certaine quantité de vapeur, afin que la température de sortie des gaz ne dépasse pas 900 °C.

Le résultat le plus spectaculaire de la transposition du gazogène à grande profondeur et sous haute pression réside dans l'extraordinaire élévation de la puissance qui peut être produite dans un chantier de géométrie donnée, le jeu combiné de l'augmentation de la vitesse d'avancement et du rendement de gazéification ayant pour résultat de porter la puissance utile de 0,8 MW<sub>th</sub> à près de 50 MW<sub>th</sub>.

L'amélioration de la puissance thermique, du rendement de gazéification et du pouvoir calorifique du gaz ~~ne sont~~ cependant pas les seuls avantages que l'on peut tirer de la mise sous pression du gazogène souterrain.

Un autre avantage important résulte de la réduction des pertes de charge dans le circuit souterrain et du fait qu'un gazogène, qui fournit du gaz sous pression, constitue un moteur thermique susceptible de produire plus d'énergie mécanique qu'il n'en consomme.

L'énergie dépensée pour faire circuler un kilogramme de gaz dans une section du circuit de gazéification souterraine a pour expression

In kolom IV wordt aangetoond dat de verhoging van de vergassingsdruk tot 32 bar nog tot een aanzienlijke verbetering van de verbrandingswaarde en van het vergassingsrendement kan leiden, indien bij de vergassingslucht een bepaalde hoeveelheid stoom wordt toegevoegd om te verhinderen dat de uitlaattemperatuur van de gassen hoger is dan 900 °C.

Het opvallendste resultaat van het overbrengen van de gasgenerator op grote diepte en bij hoge druk ligt in de buitengewone verhoging van het vermogen dat in een werkplaats met een gegeven geometrie kan geproduceerd worden. De verhoging van de vorderingssnelheid en van het vergassingsrendement leiden immers tot een verhoging van het nuttig vermogen van 0,8 MW<sub>th</sub> tot bijna 50 MW<sub>th</sub>.

De verbetering van het warmtevermogen, van het vergassingsrendement en van de verbrandingswaarde van het gas zijn echter niet de enige voordelen van het onder druk brengen van de ondergrondse gasgenerator.

Een ander belangrijk voordeel is het gevolg van de vermindering van de ladingsverliezen in de ondergrondse kringloop en van het feit dat een gasgenerator die gas onder druk levert een thermische motor is die meer mechanische energie kan produceren dan hij verbruikt.

De energie die verbruikt wordt om een kilogram gas in een afdeling van de ondergrondse vergassingskringloop te laten circuleren wordt uitgedrukt door de formule

$$dW = V dP \quad (1)$$

of

$$dW = k V \delta V_E^2 \quad (2)$$

en désignant par  $V$  le volume d'un kilogramme de gaz, par  $\delta$  sa densité, par  $V_E$  sa vitesse moyenne d'écoulement et par  $k$  une constante, dont la valeur dépend des caractéristiques du circuit.

Par définition, le produit  $\delta V$  est égal à 1, ce qui donne :

$$dW = k V_E^2 \quad (3)$$

Cette formule montre que l'énergie dépensée pour assurer la circulation d'un kilo de gaz ne dépend que de sa vitesse d'écoulement et que la puissance utile produite par un gazogène souterrain peut augmenter proportionnellement à la pression de gazéification tout en maintenant constante la fraction de cette puissance, qui est consommée pour assurer la circulation du gaz.

L'analyse du cycle thermodynamique d'un gazogène sous pression est un problème complexe dans lequel doivent intervenir la température des gaz, en

waarin  $V$  het volume van een kilogram gas is,  $\delta$  de dichtheid ervan,  $V_E$  de gemiddelde stromingssnelheid en  $k$  een constante waarvan de waarde afhankelijk is van de kenmerken van de kringloop.

Het produkt  $\delta V$  is per definitie gelijk aan 1, zodat :

Deze formule toont aan dat de energie die verbruikt wordt om een kilogram gas te laten circuleren enkel afhankelijk is van de stromingssnelheid, en dat het nuttig vermogen dat door een ondergrondse gasgenerator geproduceerd wordt evenredig met de vergassingsdruk kan verhogen, terwijl het vermogen dat verbruikt wordt om het gas te laten circuleren constant blijft.

De analyse van de thermodynamische cyclus van een gasgenerator onder druk is een complex probleem, waarbij de temperatuur van de gassen op

differents points du circuit, et les moyens mis en œuvre pour utiliser au maximum leur énergie thermique.

Nous limiterons notre analyse au cas d'un gazogène alimenté en air froid et destiné à fournir un gaz froid, sans récupération énergétique de la chaleur sensible du gaz sortant du gazogène. Nous utiliserons les notations suivantes :

$P_0$	pression atmosphérique	(bar)
$P_c$	pression de l'air à la sortie du compresseur	(bar)
$P_g$	pression utile du gaz sortant	(bar)
$V_0$	débit d'air injecté	(m <sup>3</sup> /h)
$V_G$	= $\alpha V_0$ : débit de gaz produit	(m <sup>3</sup> /h)
$\rho$	: rendement isothermique des compresseurs	

La puissance consommée pour comprimer l'air de gazéification a pour expression :

$$W_c = \frac{1}{\rho} P_0 V_0 \ln \frac{P_c}{P_0}$$

La puissance qu'il aurait fallu consommer pour produire le gaz à la pression  $P_g$  a pour expression :

$$W_g = \frac{1}{\rho} \alpha P_0 V_0 \ln \frac{P_g}{P_0}$$

En adoptant pour pression atmosphérique une valeur de 1 bar et pour  $\alpha$  une valeur moyenne de l'ordre de 1,25, le rapport entre  $W_g$  et  $W_c$  devient :

$$\frac{W_g}{W_c} = 5/4 \frac{\ln P_g}{\ln P_c} = \frac{\ln P_g^{5/4}}{\ln P_c}$$

Pour un gazogène qui produit le gaz à la pression atmosphérique, le rapport  $W_g/W_c$  est égal à 0.

Toute l'énergie de compression de l'air de gazéification est dépensée en pure perte et, si l'on se réfère aux conditions de fonctionnement des installations russes et américaines, on s'aperçoit que cette perte d'énergie peut atteindre 15 à 20 % de l'énergie utile produite sous forme de gaz.

Pour un gazogène qui produit le gaz sous une pression absolue de 16 bar, la formule (6) montre que la puissance mécanique qu'il aurait fallu dépenser pour assurer la compression du gaz est supérieure, égale ou inférieure à la puissance dépensée pour assurer la compression de l'air, suivant que la pression, à la sortie du compresseur, est inférieure, égale ou supérieure à 32 bar.

De tout ceci, on peut conclure que :

le passage à grande profondeur et la mise sous pression du gazogène constituent l'une des clés du développement de la gazéification souterraine des veines minces;

verschillende plaatsen in de kringloop, en de middelen die worden aangewend om hun warmteénergie zoveel mogelijk te benutten een rol moeten spelen.

We zullen onze analyse beperken tot het geval van een gasgenerator die met koude lucht gevoed wordt, en die een koud gas dient af te leveren, zonder terugwinning van de voelbare warmte van het gas dat de gasgenerator verlaat. We zullen volgende symbolen gebruiken :

$P_0$	atmosferische druk	(bar)
$P_c$	druk van de lucht bij het verlaten van de compressor	(bar)
$P_g$	nuttige druk van het uitkomende gas	(bar)
$V_0$	geïnjecteerd luchtdebiet	(m <sup>3</sup> /u.)
$V_g$	= $\alpha V_0$ : produktgasdebiet	(m <sup>3</sup> /h)
$\rho$	: isothermisch rendement van de compressoren	

Het vermogen dat verbruikt wordt om de vergassingslucht samen te persen wordt uitgedrukt door :

$$\frac{P_c}{P_0} \quad (4)$$

Het vermogen dat had moeten verbruikt worden om het gas bij een druk  $P_g$  te produceren wordt uitgedrukt door :

$$\frac{P_g}{P_0} \quad (5)$$

Indien we als atmosferische druk een waarde van 1 bar, en voor  $\alpha$  een gemiddelde waarde van ongeveer 1,25 aannemen, dan wordt de verhouding tussen  $W_g$  en  $W_c$  :

$$\frac{W_g}{W_c} = 5/4 \frac{\ln P_g}{\ln P_c} = \frac{\ln P_g^{5/4}}{\ln P_c} \quad (6)$$

Voor een gasgenerator die het gas bij atmosferische druk produceert is de verhouding  $W_g/W_c$  gelijk aan 0.

Alle energie voor de compressie van de vergassingslucht gaat verloren, en wanneer men de werkingsomstandigheden van de Russische en Amerikaanse installaties als voorbeeld neemt kan men merken dat dit energieverlies 15 tot 20 % van de in de vorm van gas geproduceerde nuttige energie kan bedragen.

Voor een gasgenerator die het gas bij een absolute druk van 16 bar produceert toont formule (6) aan dat het mechanisch vermogen dat nodig zou geweest zijn voor de compressie van het gas hoger dan, gelijk aan of lager dan het vermogen voor de compressie van de lucht is, naargelang de druk aan de uitgang van de compressor lager dan, gelijk aan of hoger dan 32 bar is.

Hieruit kan men besluiten :

- de overgang naar grote diepte en het onder druk brengen van de gasgenerator vormen een van de sleutelelementen van de ondergrondse vergassing van dunne lagen;

- le passage à grande profondeur permet d'éliminer l'interférence entre le gazogène et les nappes aquifères qui occupent la zone superficielle de l'écorce terrestre;
- la mise sous pression du gazogène remédie à l'insuffisance des surfaces de contact entre le charbon et les agents gazéifiants; elle permet d'augmenter les vitesses d'avancement du front de gazéification et d'améliorer du même coup la puissance produite, le rendement et le pouvoir calorifique du gaz;
- le travail à contrepression transforme le gazogène souterrain en un véritable moteur thermique qui, moyennant un choix convenable des conditions de fonctionnement, est susceptible de produire plus d'énergie mécanique qu'il n'en consomme.

- door de overgang naar grote diepte kan de interférence van de gasgenerator en de waterhoudendelagen in de oppervlaktezone van de aardkorst geëlimineerd worden.
- het onder druk brengen van de gasgenerator biedt een oplossing voor de ontoereikendheid van de contactoppervlakken tussen de steenkool en de vergassingsmiddelen; het wordt hierdoor mogelijk de vorderingssnelheden van het vergassingsfront te verhogen en tegelijkertijd het geproduceerde vermogen, het rendement en de verbrandingswaarde van het gas te verbeteren;
- door het werken met tegendruk wordt de ondergrondse gasgenerator omgevormd tot een echte thermische motor die, indien de werkingsomstandigheden behoorlijk gekozen worden, meer mechanische energie kan produceren dan hij verbruikt.

### 3.2. Le choix des agents gazéifiants

Au cours d'un siècle et demi de développement industriel, la technique de gazéification du charbon extrait a connu une évolution progressive dans le choix des gazéifiants.

*L'air et la vapeur d'eau* ont été les seuls agents de gazéification utilisés jusqu'à la première guerre mondiale.

Au cours des années 30, les progrès réalisés dans la production industrielle de l'oxygène ont permis le développement des premiers gazogènes alimentés au moyen d'un mélange *oxygène-vapeur*.

La même époque a vu se développer les premiers gazogènes sous pression, mais ce n'est qu'au cours des 30 dernières années, sur la base des travaux du Professeur Dent, que sont apparus les nouveaux prototypes de gazogène à très haute pression, destinés à la production directe du méthane par gazéification du charbon à l'aide d'un gaz riche en *hydrogène*.

Dans les premières tentatives de développement de la gazéification souterraine à faible profondeur, l'oxygène n'a été utilisé que très exceptionnellement, du fait de son coût élevé, des faibles rendements de gazéification obtenus et des pertes d'agent gazéifiant résultant du manque d'étanchéité du gazogène souterrain.

Par ailleurs, l'humidité élevée des gisements à faible profondeur rendait superflue toute injection de vapeur, en sorte que, jusqu'à présent, les applications industrielles de la gazéification souterraine du charbon se sont limitées à la production d'un gaz pauvre, par gazéification à *l'air* ou exceptionnellement, dans le cas de veines très minces, par gazéification au moyen d'air enrichi d'oxygène.

### 3.2. De keuze van de vergassingsmiddelen

Gedurende anderhalve eeuw industriële ontwikkeling kende de techniek van de vergassing van ontgonnen steenkolen een geleidelijke evolutie wat betreft de keuze van de vergassingsmiddelen.

Tot de eerste wereldoorlog waren *lucht en waterstoom* de enige vergassingsmiddelen die gebruikt werden.

Door de vooruitgang op het vlak van de industriële productie van zuurstof werd in de jaren dertig de ontwikkeling mogelijk van de eerste gasgeneratoren die met een mengsel van *zuurstof en stoom* werden gevoed.

In dezelfde periode werden de eerste gasgeneratoren onder druk ontwikkeld, maar pas in de laatste 30 jaar verschenen, op basis van de werkzaamheden van Professor Dent, de nieuwe prototypes van gasgeneratoren met zeer hoge druk, die bestemd waren voor de rechtstreekse productie van methaan door steenkoolvergassing met een *waterstofrijk gas*.

Bij de eerste pogingen tot ontwikkeling van de ondergrondse vergassing op geringe diepte werd slechts zeer uitzonderlijk gebruik gemaakt van zuurstof, omwille van de hoge kostprijs, de lage vergassingsrendementen en de verliezen van vergassingsmiddel als gevolg van de ontoereikende dichtheid van de ondergrondse gasgenerator.

Bovendien maakte de hoge vochtigheid van de afdelingen op geringe diepte iedere stoominjectie overbodig, zodat de industriële toepassingen van de ondergrondse vergassing van steenkolen tot nu toe beperkt bleven tot de productie van een arm gas, door vergassing *met lucht* of uitzonderlijk, bij zeer dunne lagen, door vergassing *met lucht* die met zuurstof verrijkt was.

Le passage à grande profondeur et à haute pression ouvre à la gazéification souterraine de toutes nouvelles perspectives.

Au moment où ont débuté les études belgo-allemandes, trois variantes étaient envisagées :

- 1) la production d'un gaz pauvre destiné à l'alimentation des centrales électriques à cycles combinés, par gazéification au moyen d'un mélange air-vapeur;
- 2) la production d'un gaz à pouvoir calorifique moyen pouvant servir de gaz de réseau ou de gaz de synthèse chimique, par gazéification au moyen d'un mélange oxygène-vapeur;
- 3) la production directe d'un substitut de gaz naturel riche en méthane, par gazéification sous haute pression, au moyen d'un gaz à haute teneur en hydrogène.

Dans l'état actuel de nos recherches, la gazéification souterraine à l'hydrogène nous paraît devoir être abandonnée, par suite de la conjonction de trois circonstances défavorables :

- la très faible étendue des surfaces de contact gaz-solide dans le gazogène souterrain;
- la faible vitesse de réaction entre le carbone et l'hydrogène;
- l'impossibilité d'accroître cette vitesse par une élévation de la température, qui déplacerait les équilibres chimiques dans le sens de la dissociation du méthane.

La gazéification à l'air ne nous paraît pas avoir beaucoup plus de chances de développement industriel, car elle conduit à faire circuler dans le gazogène souterrain de grands débits d'azote, totalement inerte, et dont la présence entraîne une série de conséquences défavorables :

- réduction des vitesses d'avancement du front de gazéification par diminution de la concentration en gaz réactifs;
- réduction de la puissance thermique qui peut être produite par chaque sondage;
- doublement du volume de gaz qu'il faut faire circuler dans le gazogène souterrain pour produire une quantité donnée d'énergie thermique, ce qui réduit d'autant les possibilités d'utilisation du gazogène en « moteur thermique »;
- doublement des pertes d'énergie sous forme de chaleur sensible du gaz sortant de la zone de gazéification et, par voie de conséquence, doublement des quantités d'eau déminéralisée qu'il faut injecter à la base des sondages de captage du gaz, pour éviter la surchauffe des tubes de revêtement et la désagrégation du ciment qui les lie au massif rocheux.

L'utilisation d'oxygène en vue de la production d'un gaz à pouvoir calorifique moyen semble à

De l'overgang naar grote diepte en hoge druk openen totaal nieuwe perspectieven voor de ondergrondse vergassing.

Toen met de Belgisch-Duitse studies begonnen werd, werden drie varianten in overweging genomen :

- 1) de productie van een arm gas voor elektrische centrales met gecombineerde cyclus door vergassing met een mengsel van *lucht en stoom*;
- 2) de productie van een gas met gemiddelde verbrandingswaarde dat kan gebruikt worden als netgas of als chemisch synthesegas, door vergassing met een mengsel van *zuurstof en stoom*;
- 3) de rechtstreekse produktie van een methaanrijk vervangingsgas voor aardgas, door vergassing onder hoge druk door middel van *een zuurstof met een hoog waterstofgehalte*.

In de huidige stand van ons onderzoek kunnen we dat de ondergrondse vergassing niet waterstof moet opgegeven worden, omdat er drie ongunstige factoren samenvallen :

- de zeer geringe contactoppervlakken gas-vaste brandstof in de ondergrondse gasgenerator;
- de kleine reactiesnelheid tussen de koolstof en de waterstof;
- de onmogelijkheid om deze snelheid te verhogen door een temperatuursverhoging, die de chemische evenwichten in de richting van de ontbinding van het methaan zou verplaatsen.

De vergassing met lucht lijkt ons niet veel meer kansen op industriële ontwikkeling te bieden, aangezien ze grote hoeveelheden stikstof in de ondergrondse gasgenerator laat circuleren; deze stikstof is volledig inert, en haar aanwezigheid heeft een aantal ongunstige gevolgen :

- vermindering van de vorderingssnelheden van het vergassingsfront door een vermindering van de concentratie van reactieve gassen;
- vermindering van het warmtevermogen dat door elke boring kan geproduceerd worden;
- verdubbeling van het gasvolume dat men in de ondergrondse gasgenerator moet laten circuleren om een gegeven hoeveelheid warmteenergie te produceren; hierdoor worden de gebruiksmogelijkheden van de gasgenerator als « thermische motor » in gelijke mate vermindert;
- verdubbeling van de energieverliezen in de vorm van voelbare warmte van het gas dat uit de vergassingszone komt, en bijgevolg ook een verdubbeling van de hoeveelheid onthard water die onderaan de gasboringen moet geïnjecteerd worden om de oververhitting van de bekledingsbuizen en de ontbinding van het cement tussen de buizen en het gesteente te voorkomen.

Het gebruik van zuurstof voor de produktie van een gas met gemiddelde verbrandingswaarde lijkt mo-

l'heure actuelle la voie la plus prometteuse pour le développement de la gazéification souterraine à grande profondeur. Cependant, l'oxygène ne peut être utilisé seul, sans entraîner une élévation excessive des températures et une dégradation du rendement de gazéification.

Indépendamment du coût de l'eau déminéralisée et du coût de l'énergie thermique utilisée pour la produire, *la vapeur d'eau* présente le grave inconvénient de devoir être injectée à une température de l'ordre de 200 à 250 °C, ce qui entraîne une très forte augmentation du coût des conduites de distribution et du coût des sondages d'injection. Il semble que son utilisation devrait faire place à une technique d'infusion de la veine par injection d'eau, en avant du front de gazéification.

Cette technique réduirait considérablement le coût de production des agents gazéifiants, l'énergie dépensée pour leur injection et le coût des conduites utilisées à cet effet. Elle présenterait deux autres caractéristiques avantageuses :

- la possibilité de se débarrasser des eaux phénolées provenant du lavage du gaz, qui pourraient être réinjectées dans le gisement et
- la possibilité d'augmenter considérablement la surface de réaction gaz-solide en provoquant une désagrégation des veines de charbon et en favorisant leur écrasement sous l'effet de la pression lithostatique.

*L'emploi du dioxyde de carbone*, comme diluant de l'oxygène, pourrait également être envisagé.

Dans les installations de surface, son utilisation ne présente aucun intérêt en raison de deux inconvénients :

- le fait qu'à température égale la vitesse de la réaction de Boudouard est moindre que la vitesse de la réaction du gaz à l'eau;
- l'effet néfaste de l'augmentation de la pression sur le taux de dissociation du CO<sub>2</sub>, qui régresse beaucoup plus rapidement que le taux de dissociation de la vapeur d'eau [4].

Cependant, dans le cas particulier de la gazéification souterraine, il existe un argument important en faveur de l'utilisation du CO<sub>2</sub>.

En effet, la nécessité d'injecter de l'eau pour refroidir les gaz de gazéification et protéger le cimentage des sondages de captage, aboutit à ramener, en surface, un mélange constitué d'environ 2 parts de gaz sec pour une part de vapeur d'eau.

La faible température du mélange ( $\leq 200$  °C) rend très aléatoire la récupération de la chaleur de condensation de cette vapeur.

L'utilisation de CO<sub>2</sub> comme agent gazéifiant permet la récupération de cette chaleur. En effet, le gaz pro-

menteel de meestbelovende méthode pour la ontwikkeling van de ondergrondse vergassing op grote diepte. De zuurstof kan echter niet alleen gebruikt worden zonder een overdreven temperatuurverhoging en een verlaging van het vergassingsrendement te weeg te brengen.

Behalve de kostprijs van onthard water en de kostprijs van de warmte-energie die nodig is voor zijn productie heeft *stoom* het grote nadeel dat hij aan een temperatuur van ongeveer 200 tot 250 °C moet geïnjecteerd worden; dit heeft een aanzienlijke stijging van de kostprijs van de distributieleidingen en van de injectieboringen tot gevolg.

Het lijkt erop dat het gebruik van stoom vervangen zal worden door een techniek van waterinjectie in de laag vóór het vergassingsfront.

Deze techniek zou de kostprijs van de vergassingsmiddelenproductie, de energie voor de injectie ervan, en de kostprijs van de hiervoor gebruikte leidingen aanzienlijk verminderen. Bovendien zou ze nog twee andere voordelen bieden :

- de mogelijkheid om fenolhoudend water afkomstig van het gaswassen te verwijderen door het opnieuw in de afzetting te injecteren en
- de mogelijkheid om het reactieoppervlak gas-vaste brandstof aanzienlijk te verhogen door een verbrokkeling van de steenkoollagen te veroorzaken en door hun verbrijzeling te bevorderen onder invloed van de lithostatische druk.

*Het gebruik van kooldioxyde* als verdunningsmiddel van de zuurstof zou ook in overweging kunnen genomen worden.

In bovengrondse installaties heeft het gebruik ervan geen nut omdat er twee nadelen aan verbonden zijn :

- het feit dat de snelheid van de reactie van Boudouard bij gelijke temperatuur lager is dan de snelheid van de reactie van het gas met water;
- de nefaste invloed van de drukverhoging op de dissociatiegraad van de CO<sub>2</sub>, die veel sneller terugvalt dan de dissociatiegraad van de stoom [4].

Nochtans kan bij de ondergrondse vergassing een belangrijk element in het voordeel van het gebruik van CO<sub>2</sub> aangehaald worden.

De noodzaak om water in te sputten voor de produktgasafkoeling en voor de bescherming van de cementering van de opvangboringen heeft namelijk tot gevolg dat aan het oppervlak een mengsel aangevoerd wordt, dat uit ongeveer 2 delen droog gas en één deel stoom bestaat.

De lage temperatuur van het mengsel ( $\leq 200$  °C) maakt de terugwinning van de condensatiewarmte van deze stoom erg onzeker.

Door het gebruik van CO<sub>2</sub> als vergassingsmiddel wordt de terugwinning van deze warmte mogelijk.

duit qui est tout à la fois, riche en CO et riche en vapeur d'eau peut, après une épuration sommaire, être traité dans un réacteur de conversion qui opère à une température de l'ordre de 300 à 350 °C suivant la réaction :



Cette réaction amène la teneur en hydrogène du gaz à un niveau comparable à celui que l'on aurait pu obtenir par utilisation directe de vapeur d'eau dans le mélange gazéifiant; elle conduit également à récupérer dans le réacteur de catalyse ou dans des chaudières de récupération une énergie thermique qui correspond, à peu de chose près, à la chaleur sensible du gaz sortant du gazogène.

Le tableau II compare les réactions chimiques qui se déroulent au cours d'une gazéification au CO<sub>2</sub> et au cours d'une gazéification à la vapeur. La composition finale du gaz est la même dans les deux cas et la quantité de CO<sub>2</sub> utilisée pour la gazéification est plus faible que la quantité de CO<sub>2</sub> récupérée par lavage du gaz.

Finalement, le choix du CO<sub>2</sub> comme agent de gazéification permet d'apporter un certain nombre de simplifications dans l'exploitation du gazogène souterrain, au prix d'un surdimensionnement de l'installation de traitement du gaz produit.

De cette analyse des mérites respectifs des différents agents gazéifiants nous retiendrons que la gazéification souterraine devrait s'orienter vers la production d'un gaz à pouvoir calorifique moyen, par l'utilisation de trois agents gazéifiants :

- un mélange d'O<sub>2</sub> et de CO<sub>2</sub> introduit à température ambiante en arrière du front de gazéification et
- de l'eau, en quantité contrôlée injectée dans la veine, en avant du front.

Le choix de ces réactifs répond à trois critères :

Het produktgas, dat zowel een hoog CO- als een hoog stoomgehalte bevat, kan immers na een oppervlakkige zuivering behandeld worden in een omzettingsreactor die aan een temperatuur van 300 tot 350 °C werkt volgens de reactie :

Deze reactie brengt het waterstofgehalte van het gas op een peil dat vergelijkbaar is met het peil dat had kunnen verkregen worden door het rechtstreeks gebruik van stoom in het vergassingsmengsel; ze leidt eveneens tot een terugwinning van warmte-energie in de katalysereactor of in terugwinningsstoomketels. Deze warmte-energie komt ongeveer overeen met de voelbare warmte van het gas dat de gasgenerator verlaat.

Tabel II geeft een vergelijking van de chemische reacties die tijdens een vergassing met CO<sub>2</sub> en tijdens een vergassing met stoom plaatsvinden. De uiteindelijke samenstelling van het gas is in beide gevallen dezelfde, en de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die voor de vergassing gebruikt wordt is kleiner dan de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die door de gaswassing wordt teruggewonnen.

Tenslotte maakt de keuze van CO<sub>2</sub> als vergassingsmiddel een aantal vereenvoudigingen mogelijk bij het gebruiken van de ondergrondse gasgenerator. De installatie voor de behandeling van het produktgas zal echter veel groter moeten zijn.

Uit deze analyse van de verdiensten van de verschillende vergassingsmiddelen kunnen we onthouden dat de ondergrondse vergassing op de productie van een gas met gemiddelde verbrandingswaarde zou moeten gericht worden, en dat drie vergassingsmiddelen kunnen gebruikt worden :

- een mengsel van O<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> dat bij omgevingstemperatuur achter het vergassingsfront aangevoerd wordt en
- water dat in een gecontroleerde hoeveelheid vóór het front in de laag geïnjecteerd wordt.

De keuze van deze reagentia voldoet aan drie vereisten :

TABLEAU II — TABEL II  
Réactions de gazéification à la vapeur et au dioxyde de carbone  
Vergassingsreacties met waterdamp en met kooldioxyde

Agent gazéifiant	Vapeur d'eau Waterdamp	Dioxyde de carbone Kooldioxyde	Vergassingsmiddel
1. Gazéification	$H_2O_{\text{vap}} + C = CO + H_2$	$CO_2 + C = 200$	1. Vergassing
2. Refroidissement au pied des sondages	$CO + H_2 + 2H_2O_{\text{lqd}} = CO + H_2 + 2H_2O_{\text{vap}}$	$2 CO + 2H_2O_{\text{lqd}} = 2 CO + 2H_2O_{\text{vap}}$	2. Koeling aan voet van boring
3. Conversion	$CO + H_2 + 2H_2O_{\text{vap}} = CO_2 + H_2O_{\text{vap}} + 2H_2$	$2 CO + 2 H_2O_{\text{vap}} = 2 CO_2 + 2 H_2$	3. Conversie
4. Lavage du gaz	$CO_2 + H_2O_{\text{vap}} + 2 H_2 = 2 H_2 + (CO_2 + H_2O)$	$2 CO_2 + 2 H_2 = 2 H_2 + (2 CO_2)$	4. Gaszuivering

- minimiser le coût des sondages et des conduites de distribution, en utilisant des agents gazéifiants qui peuvent être injectés à température ambiante;
- maximiser les vitesses d'avancement du front de gazéification en évitant de diluer les gaz réactifs par l'azote de l'air;
- maximiser l'effet de « moteur thermique » du gazogène souterrain en adoptant pour agents gazéifiants de l'eau liquide et des gaz donnant lieu à une importante augmentation du nombre de moles gazeuses au cours des opérations de gazéification.

- de kosten van de boringen en van de distributieleidingen tot een minimum beperken door het gebruiken van vergassingsmiddelen die bij omgevingstemperatuur kunnen geïnjecteerd worden;
- zo hoog mogelijke vorderingssnelheden van het vergassingsfront bekomen door een verdunning van de reactiegassen met de stikstof van de lucht te vermijden;
- een zo groot mogelijk effect van « thermische motor » bereiken voor de ondergrondse gasgenerator, door als vergassingsmiddelen water in vloeibare vorm en gassen die tijdens de vergassingsoperaties een aanzienlijke verhoging van het aantal mol teweegbrengen te gebruiken.

### *3... la gazéification par longues tailles*

Dans tous les gisements européens, l'exploitation traditionnelle du charbon s'est orientée vers la méthode par longues tailles qui permet d'assurer la mise à fruit de veines relativement minces, avec un minimum de travaux préparatoires, un taux élevé d'utilisation du gisement, une concentration de la production, un contrôle des pressions de terrains et une organisation méthodique du foudroyage du toit.

Toutes les raisons qui militent en faveur de l'utilisation des longues tailles pour l'exploitation mécanisée conduisent à choisir le même type d'exploitation pour le développement de la gazéification souterraine des veines minces situées à grande profondeur, dès le moment où l'utilisation des hautes pressions et le choix d'agents de gazéification appropriés permettent d'assurer à chaque chantier une production suffisamment élevée.

Il convient cependant de souligner que l'un des problèmes fondamentaux de la gazéification par longues tailles consiste à assurer une progression régulière des chantiers, dans toute l'étendue du gisement et avec un minimum de pertes par imbrûlés.

A défaut de toute possibilité d'intervention humaine, ces résultats ne peuvent être atteints qu'en utilisant, au mieux, les trois forces qui peuvent jouer un rôle directeur dans le déroulement du processus :

- la gravité;
- la convection thermique, résultant des variations de densité du gaz en fonction de sa température;
- la convection forcée, induite par l'écoulement du gaz sous l'effet de la différence de pression appliquée aux bornes du chantier.

### *3.3. De vergassing met lange pijlers*

In alle Europese afzettingen is de traditionele steenkoolontginding gericht op de methode met lange pijlers; deze methode maakt de ontginding van relatief dunne lagen mogelijk, met een minimum aan voorbereidende werken, een hoge gebruiksgraad van de afzetting, een concentratie van de productie, een controle van de gesteenteindruck en een methodische toepassing van dakbreuk.

Alle redenen die in het voordeel van het gebruik van de lange pijlers bij de gemechaniseerde ontginding kunnen aangehaald worden zijn ook geldig voor de ontwikkeling van de ondergrondse vergassing van dunne lagen op grote diepte, van zodra de toepassing van hoge druk en de keuze van aangepaste vergassingsmiddelen een voldoende hoge produktie in elke werkplaats mogelijk maken.

Hierbij dient echter onderstreept te worden dat een van de fundamentele problemen van de vergassing met lange pijlers erin bestaat, een regelmatige vordering van de werkplaatsen in de hele afzetting, met een minimum aan verliezen door onverbrande steenkool te bewerkstelligen.

Aangezien elke vorm van menselijke tussenkomst onmogelijk is kunnen deze resultaten slechts bereikt worden door zo goed mogelijk gebruik te maken van de drie krachten die een invloed kunnen hebben op het verloop van het proces :

- de zwaartekracht;
- de thermische convectie als gevolg van de schommelingen in de dichtheid van het gas in functie van zijn temperatuur;
- de geforceerde convectie die teweeggebracht wordt door de gasuitstroming, die veroorzaakt wordt door het drukverschil dat aan de uiteinden van de werkplaats wordt toegepast.

## *Effets de la gravité*

*Si la couche à exploiter est parfaitement horizontale, la gravité ne peut jouer qu'un rôle accessoire dans l'organisation des chantiers.*

*Il n'en va pas de même dans les couches pentées où la gravité peut être utilisée dans un double but :*

- *éviter que les eaux d'infiltration se rassemblent dans la zone où se développe le processus de gazéification;*
- *éviter que les pierres provenant du foudroyage du toit puissent empêcher la circulation du gaz le long du front de taille.*

*Dans les gisements à faible profondeur, où les venues d'eau constituent le problème majeur, l'adoption de la taille montante est le seul choix possible. C'est ce choix qui a été retenu pour les exploitations de Djerada, de Lisichansk et de Yuzhno-Abinsk.*

*Dans les exploitations profondes où les venues d'eau devraient être négligeables, le choix est plus ouvert et le maintien d'une allée de circulation du gaz le long des fronts peut être obtenu par l'adoption d'une taille montante ou par l'adoption d'une taille chassante, oblique par rapport à la plus grande pente.*

## *Effets de la convection thermique*

*Dans les gazogènes de surface, les effets de la convection thermique sont généralement négligeables vis-à-vis des effets de la convection forcée; c'est la pression de soufflage et la résistance offerte par le lit de combustible calibré qui assurent la régularité de la répartition des gaz dans toute la section droite de l'appareil, en évitant la formation de cheminées à travers lesquelles les gaz les plus chauds pourraient s'échapper sans réagir.*

*La situation est tout autre dans un gazogène souterrain. Il suffit pour s'en convaincre de se référer aux résultats qui ont été observés dans les exploitations de Lisichansk (URSS) et de Hanna (USA).*

*Les résultats obtenus dans les gazogènes souterrains exploités à Lisichansk montrent que les réactions ont tendance à se développer le long des montages en veines qui servent d'exutoire au gaz, la gazéification des zones intercalaires restant généralement incomplète et ne produisant qu'un gaz de moindre qualité [5].*

*On peut également se référer à la figure 2 déjà citée et qui est relative à l'expérience américaine de Hanna réalisée dans une couche de 9 m d'ouverture à très faible pente. Elle montre comment il est possible de développer des chambres de gazéification de grand volume, par le simple jeu de la convection naturelle, pour autant que le chenal servant d'exutoire soit situé au mur de la couche.*

## *Invloeden van de zwaartekracht*

*Indien de te ontginnen laag volledig horizontaal is kan de zwaartekracht slechts een bijkomende rol spelen in de planning van de werkplaatsen.*

*Dit is echter niet het geval voor hellende lagen, waar de zwaartekracht met een dubbel doel kan gebruikt worden :*

- *vermijden dat ingesijpeld water samenloopt in de zone waar het vergassingsproces zich ontwikkelt;*
- *vermijden dat stenen afkomstig van de dakbreuk de gascirculatie langsheel het pijlerfront zouden verhinderen.*

*In afzettingen op geringe diepte, waar waterdoorbraak het grootste probleem is, is een *stijgende pijler* de enige mogelijke oplossing. Deze oplossing werd weerhouden voor de ontginning van Djerada, Lisichansk en Yuzhno-Abinsk.*

*Bij ontginning op grote diepte waar de waterdoorbraak te verwaarlozen moet zijn is de keuze ruimer, en de gascirculatie langsheel de fronten kan behouden worden door een *stijgende pijler* of door een *voorwaartse pijler die schuin ten opzichte van de grootste helling verloopt.**

## *Invloeden van de thermische convectie*

*In bovengrondse gasgeneratoren zijn de invloeden van de thermische convectie doorgaans te verwaarlozen in vergelijking met de invloeden van de gedwongen convectie; de aanblaasdruk en de weerstand van het bed van gecalibreerde brandstof zorgen voor een regelmatige verdeling van de gassen in de volledige doorsnede van het apparaat, door te vermijden dat schoorstenen gevormd worden waar doorheen de warmste gassen zouden kunnen ontsnappen zonder te reageren.*

*Helemaal anders is de toestand in een ondergrondse gasgenerator. Om zich hiervan te overtuigen moet men enkel de resultaten bekijken die in de ontginnings van Lisichansk (USSR) en Hanna (VSA) werden verkregen.*

*De resultaten die in de ondergrondse gasgeneratoren van Lisichansk werden verkregen tonen aan dat de reacties geneigd zijn zich te ontwikkelen langsheel de doortochten in de laag die als uitgang voor het gas dienen, terwijl de vergassing van de tussenliggende zones doorgaans onvolledig blijft, en slechts een gas van geringe kwaliteit oplevert [5].*

*We kunnen ook nog eens verwijzen naar figuur 2, die een voorstelling geeft van het Amerikaanse experiment van Hanna, dat in een laag met een dikte van 9 m en met een zeer zwakke helling werd uitgevoerd. Deze figuur toont aan hoe vergassingskamers met een groot volume kunnen ontwikkeld worden alleen al door de natuurlijke convectie, op voorwaarde dat het uitgangskanaal zich op de vloer van de laag bevindt.*

## *Effets de la convection forcée*

Les effets de la convection forcée sont liés à la forme du front de gazéification et à la disposition des points de percée des sondages par lesquels s'effectuent l'injection des agents gazéifiants et l'évacuation du gaz produit.

Dans la description qu'il donne du procédé de contournement du massif (Blockumströmungsverfahren) [6], le Professeur Wenzel propose de disposer les sondages d'injection et de reprise du gaz en avant d'un front de taille convexe entourant le massif à gazéifier. De cette façon, la tendance naturelle des gaz à emprunter le chemin le plus court les amènerait à rester au contact du charbon, sur toute la longueur du front. Cependant, on peut craindre que cette disposition du chantier ait pour effet de provoquer un avancement très rapide de la première moitié du front de taille, où s'effectuent les réactions de combustion, et un avancement beaucoup plus lent de la seconde moitié du front, là où se déroulent les réactions de gazéification. La solution qui nous paraît devoir être conseillée consiste à tracer un front de taille oblique par rapport à la plus grande pente, les agents gazéifiants étant introduits par un ou plusieurs sondages disposés en arrière du front, à proximité de la tête de taille, et le gaz produit étant évacué par un long canal tracé en gisement vierge, entre le pied de taille et le sondage de captage du gaz produit.

Trois raisons essentielles justifient cette disposition :

- l'utilisation de la gravité pour éloigner les pierres du foudroyage et maintenir à front de taille un espace permettant la circulation du gaz;
- l'utilisation de la convection thermique pour ramener vers le front de taille les gaz les plus chauds produits par les réactions de combustion et en éloigner les gaz combustibles dont la température se trouve diminuée par l'effet des réactions endothermiques qui leur ont donné naissance;
- la possibilité de laisser s'établir un front de taille en équilibre dynamique, l'avancement trop rapide du front, dans la zone oxydante, étant freiné par la formation d'une poche de forme concave, située en avant du courant gazeux principal et la progression du front dans la zone réductrice étant favorisée par une forme convexe tendant à ramener l'écoulement gazeux vers la surface du charbon à gazéifier.

La figure 6 donne le schéma d'un chantier de gazéification conçu suivant ce modèle.

Le pendage de la veine est supposé orienté en direction sud. La zone A représente une zone exploitée précédemment, comblée par foudroyage du toit et dont les éboulis ont déjà subi un important tassement.

## *Invloeden van de gedwongen convectie*

De invloeden van de gedwongen convectie houden verband met de vorm van het vergassingsfront en met de ligging van de doorbraakpunten van de boringen die gebruikt worden voor de injectie van vergassingsmiddelen en voor de afvoer van het geproduceerde gas.

In zijn beschrijving van het massiefstromingsproces (Blockumströmungsverfahren) [6] stelt Professor Wenzel voor, de injectieboringen en de gasafvoerboringen aan te brengen vóór een convex pijlerfront dat het te vergassen massief omringt. Op die manier zouden de gassen, door hun natuurlijke neiging om de kortste weg te volgen, over de hele lengte van het front in contact blijven met de steenkool. Er kan evenwel gevreesd worden dat zulk een inrichting van de werkplaats zal leiden tot een zeer snelle vordering van de eerste helft van het pijlerfront, waar de verbrandingsreacties plaatsvinden, en tot een veel tragere vordering van de tweede helft van het front, waar de vergassingsreacties plaatsvinden. Wij menen dat het raadzaam is een pijlerfront schuin ten opzichte van de grootste helling te verwezenlijken, waarbij de vergassingsmiddelen aangevoerd worden via een of meer achter het front gelegen boringen, in de omgeving van de kop van de pijler; het geproduceerd gas zou dan via een lang kanaal in de onontgonnen afzetting, tussen de voet van de pijler en de produktieboring afgevoerd worden.

Er zijn drie belangrijke redenen voor deze lay-out :

- het gebruik van de zwaartekracht om breukstenen te verwijderen en om bij het pijlerfront ruimte voor gascirculatie te laten;
- het gebruik van de thermische convectie om de warmste gassen, die door de verbrandingsreacties geproduceerd worden, terug naar het pijlerfront te brengen, en om de brandbare gassen, waarvan de temperatuur verminderd wordt door de invloed van de endothermische reacties waardoor ze ontstaan zijn, ervan weg te voeren;
- de mogelijkheid om een pijlerfront in dynamisch evenwicht te laten ontstaan, waarbij de te snelle vordering van het front in de oxyderende zone geremd wordt door de vorming van een concave holte vóór de voornaamste gasstroom, en waarbij de vordering van het front in de reducerende zone begunstigd wordt door een convexe vorm die de gasstroom terug naar het oppervlak van de te vergassen steenkool drijft.

Figuur 6 geeft een schema van een vergassingswerkplaats die volgens dit model werd ontworpen.

Er wordt aangenomen dat de helling van de laag in zuidelijke richting verloopt. Zone A is een voorheen ontgonnen zone die door dakbreuk opgevuld is en waarin de breukstenen reeds in sterke mate gezet zijn.

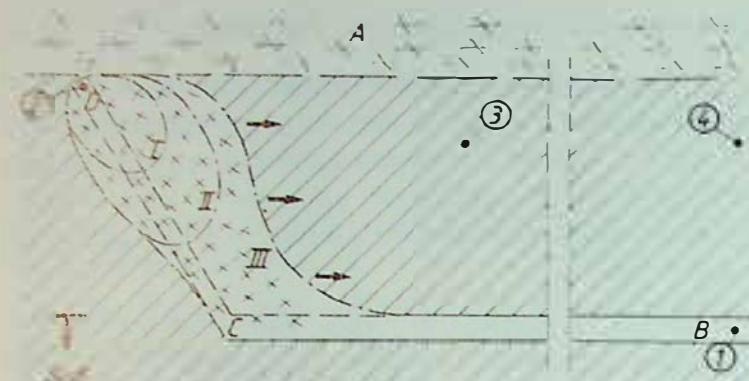


Fig. 6

Schéma d'une exploitation de gazéification par longue taille  
 1) sondage à gaz  
 2) sondage d'injection d'agents gazéifiants gazeux  
 3), 4) sondages d'injection d'eau  
 Schema van een vergassingsontgassing met lange pijler  
 1) gásboring  
 2) injectieboring voor gasachtige vergassingsmiddelen  
 3), 4) waterinjectieboringen

La préparation du chantier comporte le fonçage d'un sondage 1 partant de la surface et qui est destiné à servir de sondage d'évacuation du gaz, le traçage d'un chenal horizontal BC entre ce sondage et le futur pied de taille et le traçage d'un chenal incliné CD destiné à servir de point de départ au front de gazéification. A l'extrémité de ce chenal, se trouve le point de percée d'un sondage 2 qui sera utilisé pour la mise à feu du chantier et à travers lequel seront injectés les agents gazéifiants gazeux; d'autres sondages, tels que 3 et 4, seront utilisés pour une éventuelle infusion d'eau en avant du front de taille.

Les courbes I, II et III figurent des positions successives du front de gazéification qui est déporté vers l'amont par l'effet de la convection thermique, qui favorise le mouvement ascensionnel du gaz et par l'effet du foudroyage du toit qui accumule les éboulis sur le front de charbon situé à l'aval.

De l'exposé qui précède, nous retiendrons que le développement de la gazéification souterraine dans des veines minces situées en gisements profonds impose l'abandon des méthodes de gazéification par fronts multiples et l'adoption d'une méthode par longue taille qui permette de réduire le coût des travaux préparatoires, de concentrer la production de gaz sur un petit nombre de sondages et de résoudre les problèmes liés au contrôle du toit.

Pour la conduite du chantier, on devra faire appel aux forces de gravité, de convection thermique et de convection forcée des gaz.

Ceci conduira vraisemblablement à donner à chaque chantier la forme d'une longue taille, oblique par rapport à la plus grande pente, avec circulation des agents gazéifiants et du gaz en rabat-vent et évacuation du gaz produit par un long chenal en gisement vierge reliant le pied de taille au sondage de captage du gaz.

De voorbereiding van de werkplaats omvat de verwezenlijking van een boring 1 vanaf de bovengrond, die zal moeten dienen als gasvoerboring. Tussen deze boring en de toekomstige pijler wordt een horizontaal kanaal BC getrokken en een hellend kanaal CD dat als vertrekpunt voor het vergassingsfront moet dienen. Aan het uiteinde van dit kanaal bevindt zich het snijpunt met boring 2 die zal gebruikt worden voor het ontsteken van de werkplaats. Door deze boring zullen de gasachtige vergassingsmiddelen geïnjecteerd worden; andere boren, zoals 3 en 4, zullen gebruikt worden voor een eventuele wateraanvoer vóór het pijlerfront.

De curven I, II en III stellen opeenvolgende posities van het vergassingsfront voor. Dit front wordt stroomopwaarts verplaatst door de invloed van de thermische convectie, die de opwaartse beweging van het gas begünstigt, en door de invloed van de dakbreuk, die de breukstenen op het stroomafwaarts gelegen steenkoolfront ophoopt.

Van hetgeen voorafgaat kunnen we onthouden dat voor de ontwikkeling van de ondergrondse vergassing van dunne lagen in diepgelegen afzettingen moet afgewijsen worden van de vergassingsmethodes met talrijke fronten, en dat een methode met lange pijler moet toegepast worden, waardoor de kosten van de voorbereidende werken kunnen verminderd worden, de gasproductie op een klein aantal boren kan geconcentreerd worden, en de problemen in verband met de controle van het dak kunnen opgelost worden.

Voor de werking van de werkplaatsen moet een beroep gedaan worden op de invloeden van de zwaartekracht, de thermische convectie en de gedwongen convectie van de gassen.

Dit zal waarschijnlijk tot gevolg hebben dat elke werkplaats de vorm aanneemt van een lange pijler die schuin ligt ten opzichte van de grootste helling, met circulatie van de vergassingsmiddelen en het gas in een dalende luchtstroom, en met produktgasafvoer via een lang kanaal in de onontgonnen afzetting, dat de voet van de pijler met de produktieboring verbindt.

### 3.4. *Le choix de la méthode d'exploitation*

Les chapitres précédents nous ont donné l'occasion de définir quelques options concernant le choix de la pression de gazéification, la nature des agents gazifiants et la forme à donner aux chantiers.

Il nous reste à intégrer ces différents éléments et à jeter les bases d'une méthode d'exploitation dont la rentabilité économique puisse être démontrée.

La méthode qui sera retenue doit apporter une solution aux problèmes de reconnaissance du gisement, de préparation des chantiers et de contrôle de la progression des tailles.

Elle doit tenir compte des conséquences des options qui nous avons admises et que l'on peut résumer en quelques impératifs :

- 1) Pour assurer l'étanchéité du gazogène souterrain, l'exploitation ne sera envisagée que dans des gisements profonds où le charbon et les schistes houillers acquièrent un comportement plastique. L'expérience acquise dans les exploitations minières conventionnelles montre que ce comportement apparaît à une profondeur de 500 à 600 m, dans les gisements faiblement métamorphisés et qui sont situés sous une forte épaisseur de terrains meubles gorgés d'eau (par exemple : le bassin houiller de Campine). Ce même type de comportement ne devient perceptible qu'à plus de 1.000 m de profondeur dans les gisements plus métamorphisés dont la couverture est constituée de terrains houillers cohérents.
- 2) Quel que soit le choix des agents de gazéification, on doit s'attendre à produire un gaz à haute teneur en CO. Si l'on y ajoute le niveau élevé des pressions de gazéification qui pourraient atteindre plusieurs dizaines de bar, il devient évident qu'aucune présence humaine ne peut être tolérée dans la zone qui surmonte le gazogène souterrain. De façon plus générale, on peut admettre que la présence de travaux miniers classiques est à exclure dans tout le volume susceptible d'être affecté par les affaissements consécutifs à l'exploitation. La haute teneur en CO des gaz produits impose également que ces gaz soient évacués par un réseau de sondages assurant une liaison directe entre le gazogène souterrain et la surface.
- 3) L'exploitation successive de plusieurs couches ne peut être envisagée que dans l'ordre descendant, afin que la circulation des gaz puisse rester canalisée dans les chenaux créés à l'intérieur de la couche, en évitant toute déperdition à travers des épontes rocheuses, qui auraient été fracturées par l'exploitation de veines situées à plus grande profondeur.

### 3.4. *De keuze van de ontginningsmethode*

In de vorige hoofdstukken hadden we de gelegenheid enkele mogelijkheden in verband met de keuze van de vergassingsdruk, de aard van de vergassingsmiddelen en de vorm van de vergassingswerkplaatsen te definiëren.

Nu moeten we deze verschillende elementen nog tot één systeem combineren, en de grondslagen leggen voor een ontginningsmethode waarvan de economische rentabiliteit kan aangetoond worden.

De methode die zal weerhouden worden moet een oplossing brengen voor de problemen in verband met de verkenning van de afzetting, de voorbereiding van de werkplaatsen en de controle op de vordering van de pijlers.

Ze moet rekening houden met de gevolgen van de opties die we genomen hebben, en die in enkele absolute vereisten kunnen samengevat worden :

- 1) Om de dichtheid van de ondergrondse gasgenerator te garanderen kan enkel gedacht worden aan een ontginning in diepelegen afzettingen, waar de steenkool en de steenkoolhoudende schiefer een plastisch gedrag vertonen. De ondervinding die bij de conventionele mijntuiningen werd opgedaan toont aan dat dit gedrag op een diepte van 500 tot 600 m optreedt, in weinig metamorfe afzettingen die onder een dikke laag sterk waterhoudend los gesteente gelegen zijn (bijvoorbeeld : het steenkolenbekken van de Kempen). In sterker metamorfe afzettingen die door samenhangende kolengebergten overdekt zijn wordt een gelijkaardig gedrag slechts op een diepte van meer dan 1.000 meter waarneembaar.
- 2) Ongeacht de keuze van de vergassingsmiddelen moet de produktie van een gas met een hoog CO gehalte verwacht worden. Indien we daarbij nog de hoge vergassingsdruk voegen, die tot meerdere tienvallen bar kan oplopen, dan wordt het duidelijk dat geen menselijke aanwezigheid in de zone boven de ondergrondse gasgenerator kan toegelaten worden. Meer algemeen kan gesteld worden dat alle klassieke mijnarbeid moet uitgesloten worden in heel de zone die kan aangetast worden door verzakkingen als gevolg van de ontginning. Het hoge CO gehalte van de geproduceerde gassen vereist tevens dat deze gassen afgevoerd worden via een net van boringen, die een rechtstreekse verbinding tussen de ondergrondse gasgenerator en de bovengrond verzekeren.
- 3) De opeenvolgende ontginning van verschillende lagen kan enkel in dalende richting overwogen worden; alleen zo kan de gascirculatie in de kanalen binnen de laag gehouden worden, en kan er geen gas ontsnappen doorheen de nevengesteenten die door de ontginning van lagen op grotere diepte zouden kunnen opengebroken zijn.

Dans l'état actuel des techniques, il semble qu'il n'existe que deux modes d'exploitation susceptibles de répondre à ces exigences :

- l'exploitation par un réseau de sondages forés à partir de la surface, suivant le modèle qui s'est développé en URSS et aux USA;
- l'exploitation mixte, dans laquelle les sondages reliant le gazogène souterrain à la surface ne seraient utilisés que pour l'évacuation des gaz produits, la reconnaissance du gisement, la préparation des chantiers et l'injection des agents gazéifiants étant assurées à partir d'un réseau de galeries en site vierge, creusées par les techniques minières conventionnelles en dessous des couches à exploiter et séparées de celles-ci par un massif de protection d'une épaisseur minimale de 40 à 50 m.

#### Evaluation économique de la méthode par sondages

La méthode par sondages a fait l'objet d'une étude économique au sein d'un groupe de travail belgo-allemand [7].

Dans cette étude, on a fait l'hypothèse que les agents gazéifiants comporteraient de la vapeur d'eau et que, de ce fait, les sondages d'injection et les sondages à gaz seraient pratiquement identiques.

On a également admis que les sondages utilisés pour l'exploitation d'une première couche pourraient être approfondis et réutilisés pour l'exploitation d'une seconde couche.

Le tableau III donne une estimation du prix de revient du gaz et de l'électricité qui pourraient être produits à partir d'une installation exploitant successivement deux couches de puissance moyenne, situées à une profondeur de 1.200 m.

TABLEAU III  
Méthode par forage  
Exemple de prix de revient

Puissance de charbon : 3 m (en deux couches)		
Profondeur : 1.200 à 1.240 m		
Nombre de sondages : 2 par hectare		
Taux d'utilisation des installations : 7.000 h/an		
Installation	300 MW <sub>e</sub>	750 MW <sub>th</sub>
<i>Prix de revient</i>	<i>FB/kWh<sub>e</sub></i>	<i>FB/kWh<sub>th</sub></i>
Intervention du coût des sondages	0,67 à 0,94	0,25 à 0,35
Frais fixes	0,68	0,17
Consommations	—	0,11
Total	1,35 à 1,62	0,53 à 0,63

Bij de huidige stand van de techniek lijken slechts twee ontginningsvormen te bestaan die aan deze vereisten kunnen voldoen :

- de ontginning door een net van boringen die vanaf de bovengrond geboord zijn, volgens het model dat in de USSR en in de VSA werd ontwikkeld;
- de gemengde ontginning, waarbij de boringen die de ondergrondse gasgenerator met de bovengrond verbinden enkel voor de produktgasafvoer zouden gebruikt worden; de verkenning van de afzetting, de voorbereiding van de werkplaatsen en de injectie van de vergassingsmiddelen zouden gebeuren vanuit een netwerk van galerijen in een onontgonnen zone. Deze galerijen zouden volgens conventionele mijntechnieken gedolven worden onder de te ontginnen lagen, en ze zouden hiervan afgescheiden zijn door een beschermingsmassief met een dikte van ten minste 40 tot 50 m.

#### Economische beoordeling van de methode met boringen

De methode met boringen vormde het voorwerp van een economische studie door een Belgisch-Duitse werkgroep [7].

In deze studie werd verondersteld dat de vergassingsmiddelen waterdamp zouden bevatten, en dat daardoor de injectieboringen en de produktieboringen vrijwel identiek zouden zijn.

Er werd tevens aangenomen dat de boringen die voor de ontginning van een eerste laag gebruikt werden dieper konden geboord worden, en opnieuw konden gebruikt worden voor de ontginning van een tweede laag.

Tabel III geeft een raming van de kostprijs van het gas en de elektriciteit die zouden kunnen geproduceerd worden door een installatie die achtereenvolgens twee lagen van gemiddelde dikte op een diepte van 1.200 m zou ontginnen.

TABEL III  
Methode met boringen  
Voorbeeld van de kostprijs

Dikte van de steenkool : 3 m (in twee lagen)		
Diepte : 1.200 tot 1.240 m		
Aantal boringen : 2 per hectare		
Gebruiksgraad van de installaties : 7.000 u/jaar		
Installatie	300 MW <sub>e</sub>	750 MW <sub>th</sub>
<i>Kostprijs</i>	<i>Bfr/kWh<sub>e</sub></i>	<i>Bfr/kWh<sub>th</sub></i>
Aandeel van de kostprijs van de boringen	0,67 tot 0,94	0,25 tot 0,35
Vaste kosten	0,68	0,17
Verbruik	—	0,11
Totaal	1,35 tot 1,62	0,53 tot 0,63

Le prix de revient de l'électricité serait difficilement compétitif avec le prix de l'électricité qui peut être produite dans des centrales nucléaires ou dans des centrales thermiques utilisant des charbons importés.

Par contre, le prix de revient d'un gaz de synthèse semble particulièrement attractif et sensiblement moins cher que tout autre gaz de synthèse que nous pourrions être amenés à produire sur base charbon.

Le point faible de la méthode par sondages partant de la surface réside dans l'incidence très grande du coût des sondages et dans l'ignorance où nous sommes du volume moyen de charbon qu'il sera effectivement possible de gazéifier à partir de chacun d'eux.

Cette méthode devra négliger l'exploitation des veines très minces, car chaque nouvel approfondissement des sondages entraîne une réduction de leur diamètre, qu'il doit être compensée par un accroissement du diamètre adopté au départ de la surface.

Par ailleurs, aucune certitude n'existera quant à la rentabilité du procédé, tant que nous n'aurons pas pu répondre à deux questions fondamentales :

- Serons-nous à même d'assurer la reconnaissance du gisement et la préparation des chantiers à partir d'un réseau de sondages dont l'interdistance moyenne pourrait atteindre 60 à 70 m ?

- Les dégâts subis par les sondages à la suite des affaissements de terrain résultant de l'exploitation d'une première couche ne seront-ils pas trop importants pour que l'on puisse procéder à un ou plusieurs approfondissements en vue de l'exploitation successive de plusieurs couches ?

De kostprijs van de elektriciteit zou moeilijk kunnen concurreren met die van de elektriciteit die kan geproduceerd worden in kerncentrales of in thermische centrales die op ingevoerde steenkool werken.

De kostprijs van een synthesegas daarentegen lijkt erg aantrekkelijk, en gevoelig lager dan die van een ander welk ander synthesegas dat we op basis van steenkool zouden kunnen produceren.

Het zwakke punt van de methode met boringen vanaf de bovengrond is de grote invloed van de kostprijs van de boringen, en het feit dat we niet weten welk steenkoolvolume in werkelijkheid met elke boring zal kunnen vergast worden.

Deze methode zal niet kunnen toegepast worden voor de ontginning van zeer dunne lagen, want elke nieuwe uitdieping van de boringen heeft een vermindering van hun diameter tot gevolg. Dit moet dan gecompenseerd worden door een vergroting van de diameter vanaf de bovengrond.

Aan de andere kant kan er over de rentabiliteit van het procédé geen zekerheid bestaan zolang we nog geen antwoord hebben kunnen geven op twee fondamentale vragen :

- zullen we in staat zijn de afzetting te verkennen en de werkplaatsen voor te bereiden vanuit een net van boringen met een gemiddelde onderlinge afstand van 60 tot 70 m ?

- zal de schade die aan de boringen wordt toegebracht door verzakkingen als gevolg van de ontginning van een eerste laag niet te groot zijn om nog een of meerdere uitdiepingen te kunnen uitvoeren met het oog op de opeenvolgende ontginning van verschillende lagen ?

#### *Caractéristiques de la méthode mixte*

La figure 7 donne un schéma de ce que pourrait être une exploitation par la méthode mixte.

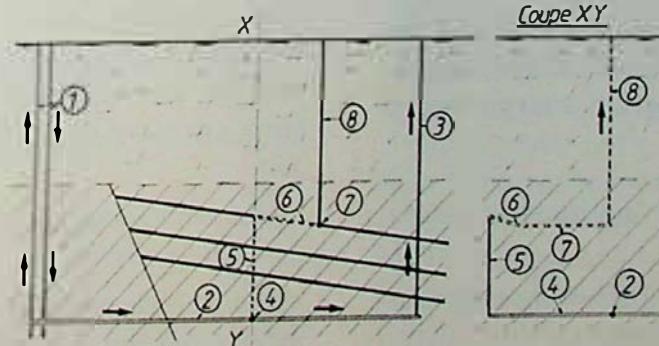


Fig. 7

#### *Schéma d'une exploitation par la méthode mixte*

- 1) puits d'accès
- 2) travers bancs
- 3) sondage d'aérage
- 4) galerie transversale
- 5) sondage d'injection
- 6) chantier de gazéification
- 7) chenal de base
- 8) sondage à gaz

#### *Schema van een ontginning volgens de gemengde methode*

- 1) toegangsschacht
- 2) dwarssteengang
- 3) verluchtingsboring
- 4) dwarsgalerij
- 5) injectieboring
- 6) vergassingswerkplaats
- 7) basiskanaal
- 8) gasboring

L'accès au gisement serait assuré par d'anciens puits de mines actuellement désaffectés ou par des puits d'assez faible diamètre creusés spécialement à proximité du gisement.

La préparation d'un quartier comporterait le creusement d'un travers-bancs en site vierge et d'un ensemble de galeries transversales creusées sous le faisceau de couches à exploiter.

Ces galeries serviraient de point de départ à la reconnaissance du gisement, à la préparation des chantiers et à la distribution des agents gazéifiants, qui seraient injectés de bas en haut à travers des sondages d'assez faible diamètre forés d'emblée jusqu'à la couche supérieure du faisceau.

Les mêmes sondages seraient réutilisés pour l'exploitation successive de toutes les couches comprises dans une tranche de gisement de 150 m d'épaisseur, entre deux niveaux dont la cote se situerait à 200 m et à 50 m au-dessus du niveau des galeries d'accès.

Si on la compare à la méthode par forages partant de la surface, la méthode mixte présente trois caractéristiques avantageuses :

- L'occupation de la surface du sol est réduite aux emplacements nécessaires pour le forage des sondages de captage du gaz et des sondages destinés à assurer l'aérage diagonal de chacun des quartiers. Si l'on adopte la méthode d'exploitation par longues tailles, chaque sondage à gaz est susceptible de desservir une zone de l'ordre de 10 hectares et l'emprise en surface devient extrêmement faible.
- Compte tenu du faible diamètre des sondages montants, utilisés pour l'injection des agents gazéifiants du fait qu'ils ne recoupent aucune nappe aquifère et que, durant toute leur durée d'utilisation, ils sont localisés dans un gisement vierge, à l'abri des affaissements produits par l'exploitation, le prix de revient de ces sondages est sans commune mesure avec le prix de revient des sondages d'injection forés à partir de la surface.

A titre indicatif, il semble que l'on puisse citer les valeurs suivantes :

- pour un sondage montant de 200 m de longueur foré à partir des galeries souterraines :

$$200 \text{ m} \times 3.000 \text{ F/m} = 600.000 \text{ F}$$

- pour un sondage descendant de 1.200 m de longueur, foré à partir de la surface et qui doit subir un approfondissement :

$$1.200 \text{ m} \times 11.200 \text{ F/m} + 2.000.000 = 15.440.000 \text{ F}$$

De toegang tot de afzetting zou verzekerd worden door oude schachten van momenteel stilgelegde mijnen of door schachten met een vrij kleine diameter die speciaal in de nabijheid van de afzetting gedolven worden.

De voorbereiding van een afdeling zou het delven van een dwarssteengang in een onontgonnen zone en van een aantal dwarsgalerijen onder de te ontginnen lagenbundel omvatten.

Deze galerijen zouden gebruikt worden als uitgangspunt voor de verkenning van de afzetting, voor de voorbereiding van de werkplaatsen en voor de verdeling van de vergassingsmiddelen, die van onder naar boven zouden geïnjecteerd worden doorheen boringen met een vrij kleine diameter die onmiddellijk tot aan de bovenste laag van de bundel zouden geboord worden.

Deze boringen zouden opnieuw gebruikt worden voor de opeenvolgende ontgunning van alle lagen in een afzettingsschijf van 150 m, tussen twee niveaus op 200 m en op 50 m boven het niveau van de toegangsgalerijen.

In vergelijking met de methode met boringen vanaf de bovengrond biedt de gemengde methode drie voordelige kenmerken :

- het gebruik van het bodemoppervlak is beperkt tot de plaatsen waar de gasboringen en de boringen voor de diagonale ventilatie van de afdelingen moeten verwezenlijkt worden. Indien de methode met lange pijlers wordt toegepast zal met elke gasboring een zone van ongeveer 10 hectare kunnen ontgonnen worden, en zal er weinig oppervlakte gebruikt worden;
- door de geringe diameter van de stijgende boringen, die gebruikt worden voor de injectie van vergassingsmiddelen, door het feit dat ze geen enkele grondwaterlaag aansnijden en doordat ze zich gedurende hun hele levensduur in een onontgonnen afzetting bevinden, waar ze beschermd zijn tegen de verzakkingen als gevolg van de ontgunning, is hun kostprijs niet te vergelijken met die van de injectieboringen die vanaf de bovengrond geboord worden.

Om een idee te geven kunnen de volgende cijfers genoemd worden :

- voor een stijgende boring met een lengte van 200 m, geboord vanuit ondergrondse galerijen :

- voor een dalende boring met een lengte van 1.200 m geboord vanaf de bovengrond, en die nog moet uitgediept worden :

Le rapport entre ces deux valeurs est de l'ordre de 25 à 1. Dans ces conditions, le nombre de sondages à forer pour assurer la reconnaissance du gisement, le traçage du chantier et la progression du front de taille ne constitue pas un élément déterminant du prix de revient de la méthode mixte.

- L'utilisation d'un même sondage pour l'exploitation successive de plusieurs couches n'implique aucune augmentation de coût, du fait que chaque sondage peut être foré d'emblée à sa longueur maximale et que son utilisation pour l'exploitation successive de plusieurs couches prises dans l'ordre descendant n'entraîne aucune majoration dans le choix de son diamètre.

De ce fait, on peut supposer que l'utilisation de la méthode mixte permettra d'exploiter toutes les veines du faisceau, compris les plus minces, ce qui devrait entraîner une réduction du prix de revient de l'énergie produite et une large réévaluation du montant des réserves économiquement exploitables. Notons encore que, par l'adoption de la méthode mixte, on se réserve le choix entre différentes techniques pour la réalisation du traçage des chantiers. Les chenaux de départ peuvent être créés par la technique de rétroc combustion à partir des points de recoupe d'une série de forages montants, mais on peut également envisager d'accéder à la veine, qui doit être gazifiée, par un puits intérieur de petit diamètre et, partant de là, de réaliser le chenal de base de chaque chantier sous la forme d'une voie de traçage ou par un long forage horizontal exécuté dans l'épaisseur de la couche.

Grâce à cette diversité de moyens, la méthode mixte présente une extraordinaire souplesse pour l'organisation des chantiers de gazification.

La figure 8 donne un échantillonnage de dispositions susceptibles d'être envisagées et qui se réfèrent :

- au système de tailles inclinées proposé par Demart, lors des essais de Bois-la-Dame (Liège);
- au système de tailles pivotantes proposé par le Professeur Wenzel (Aachen);
- au système de tailles retraitantes proposé par le MERC (Morgantown);
- au système de tailles multiples réalisées à partir de forages parallèles, en prenant pour modèle les exploitations de Lisichansk, de Yuzhno-Abinsk et de Newman Spinney.

#### Evaluation économique de la méthode mixte

L'un des mérites de la méthode mixte est de permettre une reconnaissance précise du gisement et de réduire au minimum les incertitudes en ce qui concerne l'évaluation du prix de revient de l'énergie

De la verhouding tussen deze twee waarden is ongeveer 25 tot 1. In die omstandigheden vormt het aantal boringen voor de verkenning van de afzetting, het verwezenlijken van de afdeling en de vordering van het pijlerfront geen element dat bepalend is voor de kostprijs van de gemengde methode.

- Het gebruik van éénzelfde boring voor de opeenvolgende ontginding van verschillende lagen houdt geen verhoging van de kostprijs in, omdat elke boring onmiddellijk tot haar maximumlengte kan geboord worden, en omdat haar gebruik voor de opeenvolgende ontginding van verschillende lagen in stijgende volgorde geen verhoging van de te kiezen diameter tot gevolg heeft.

Bijgevolg kan verondersteld worden dat met de gemengde methode alle lagen van de bundel, zelfs de dunste, kunnen ontgonnen worden. Dit zou een kostprijsvermindering van de geproduceerde energie en een aanzienlijke verhoging van de economisch ontginbare reserves tot gevolg hebben.

We willen er nog op wijzen dat bij de gemengde methode de keuze tussen verschillende methoden voor de voorbereiding van werkplaatsen open blijft.

De eerste kanalen kunnen met de methode van achterwaartse verbranding verwezenlijkt worden vanuit de aansnijdingspunten van een reeks stijgende boringen maar er kan eveneens gedacht worden aan de toegang tot de te vergassen laag via een binnen-schacht met een kleine diameter, van waaruit een basiskanaal voor elke werkplaats kan verwezenlijkt worden in de vorm van een galerij of door een lange horizontale boring in de laag.

Dank zij deze verscheidenheid van middelen biedt de gemengde methode een buitengewone soepelheid voor de inrichting van de vergassingswerkplaatsen.

Figuur 8 geeft een aantal mogelijkheden die kunnen overwogen worden, en die betrekking hebben op :

- het systeem van hellende pijlers, voorgesteld door Demart tijdens de proefnemingen van Bois-la-Dame (Luik);
- het systeem van zwenkende pijlers voorgesteld door Professor Wenzel (Aachen);
- het systeem van terugwaartse pijlers dat door MERC (Morgantown) werd voorgesteld;
- het systeem van talrijke pijlers die verwezenlijkt worden vanuit parallelle boringen, naar het voorbeeld van de ontginningen van Lisichansk, Yuzhno-Abinsk en Newman Spinney.

#### Economische beoordeling van de gemengde methode

Een van de voordelen van de gemengde methode is het feit dat een nauwgezette verkenning van de afzetting mogelijk is, en dat de onzekerheid in verband met de raming van de kostprijs van de geproduceerde

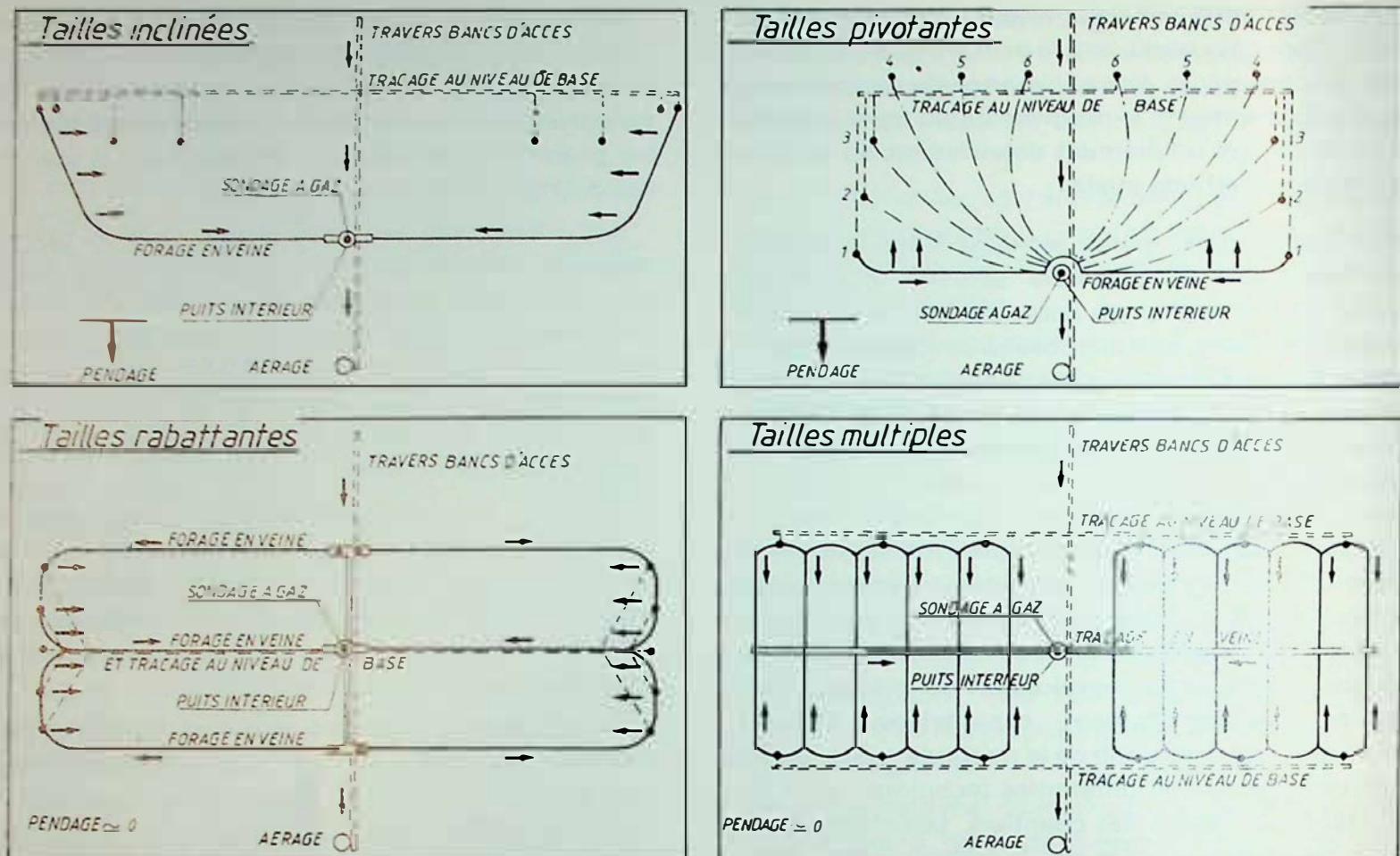


Fig. 8

Exemples d'organisation de chantiers de gazéification suivant la méthode mixte

Voorbeelden van inrichting van vergassingswerkplaatsen volgens de gemengde methode

Tailles inclinées : hellende pijlers

Tailles pivotantes : zwenkende pijlers

Tailles rabattantes : terugwaartse pijlers

Tailles multiples : talrijke pijlers

Travers bancs d'accès : toegangsdwarssteengang

Tracage au niveau de base : galerij op basisniveau

Sondage à gaz : gasboring

Forage en veine : boring in de laag

Puits intérieur : binnenschacht

Pendage : helling

Aérage : verluchting

Tracage en veine : galerij in de laag

produite, le coût des travaux préparatoires effectués par les méthodes minières conventionnelles pouvant être évalué avec précision et les incertitudes concernant le nombre et le coût des sondages n'ayant qu'une incidence mineure.

Le tableau IV donne une première évaluation du prix de revient du gaz de synthèse qui pourrait être produit par la méthode mixte et une comparaison de ce prix de revient avec celui d'un gaz produit suivant la technique classique de gazéification du charbon extrait.

Ces calculs sont basés sur le prix de revient actuel des charbonnages de Campine, qui sont parmi les plus mal lotis de l'Europe, en raison de la profondeur du gisement et des fortes pressions de terrains.

Le prix de revient obtenu par application de la méthode mixte apparaît comme exceptionnellement

énergie tot un minimum herleid wordt omdat de kosten van de voorbereidende werken door conventionele mijnbouwtechnieken juist geraamd kunnen worden, en omdat de onzekerheden wat betreft het aantal en de kostprijs van de boringen slechts een geringe weerslag hebben.

Tabel IV geeft een eerste raming van de kostprijs van het synthesegas dat zou kunnen geproduceerd worden door de gemengde methode, en een vergelijking van deze kostprijs met die van een gas geproduceerd volgens de klassieke techniek van vergassing van ontgonnen steenkool.

Deze berekeningen zijn gebaseerd op de huidige kostprijs van de Kempense steenkolenmijnen, die omwille van de diepte van de afzettingen en omwille van de hoge gesteentendrukken tot de slechtstbedeelde van Europa behoren.

De kostprijs die door toepassing van de gemengde methode bekomen wordt lijkt uitzonderlijk voordelig

avantageux, si on le compare au prix de revient obtenu par gazéification du charbon extrait ou au prix de revient qui avait été estimé dans le cas de la méthode par forage (cf. tableau III).

Cependant, cette évaluation a été réalisée de façon prudente; en effet, le coût des travaux préparatoires par tonne découverte devrait normalement être moins élevé dans le cas de la méthode mixte que dans l'exploitation classique, si l'on tient compte de la possibilité de réduire le diamètre des galeries qui n'auront plus à servir de galeries de transport du charbon et de l'augmentation des ressources en charbon résultant de la possibilité d'exploiter des veines d'épaisseur trop faible pour permettre leur exploitation par les techniques classiques.

#### 4. PROGRAMME DE DEVELOPPEMENT

La décision de réaliser une première expérience de gazéification souterraine à grande profondeur a été prise au début de l'année 1978, dans le cadre de l'Accord belgo-allemand.

Le site de Thulin, choisi pour la réalisation de cette expérience, est situé à l'extrême ouest du bassin du

in vergelijking met de kostprijs die bekomen wordt door vergassing van ontgonnen steenkool of met de kostprijs die in het geval van de methode met boringen werd geraamd (zie tabel III).

Dit is evenwel een zeer voorzichtige raming; de kosten van de voorbereidende werken per ton blootgelegde steenkool zouden bij de gemengde methode immers lager moeten zijn dan bij een klassieke ontginding, omdat het mogelijk is de diameter te verminderen van de galerijen die niet meer moeten gebruikt worden voor het vervoer van de steenkolen, en omdat de steenkolenvoorraden groter zijn, aangezien het mogelijk wordt lagen te ontginnen die te dun zijn om een ontginding met de conventionele mijnbouwtechnieken mogelijk te maken.

#### 4. ONTWIKKELINGSPROGRAMMA

Begin 1978 werd binnen het raam van de Belgisch-Duitse Overeenkomst beslist, een eerste proefneming voor ondergrondse vergassing op grote diepte uit te voeren.

De plaats in Thulin die voor de verwezenlijking van deze proefneming werd gekozen ligt op de westelijke

TABLEAU IV — TABEL IV

Estimation du prix de revient d'un gaz de synthèse chimique produit par la méthode mixte et du prix de revient d'un même gaz obtenu par gazéification de charbon extrait  
(Référence Bassin Houiller de Campine)

*Raming van de kostprijs van een chemisch synthesegas geproduceerd door de gemengde methode, en van de kostprijs van eenzelfde gas dat geproduceerd wordt door vergassing van ontgonnen steenkool  
(Referentie : Steenkolenbekken van de Kempen)*

	Méthode mixte <i>Gemengde methode steenkool</i>	Gazéification de charbon extrait <i>Vergassing van ontgonnen steenkool</i>	
I. Coût des travaux miniers (FB par tonne de charbon découverte)			
Travaux préparatoires	1.200	1.200	I. Kosten van de mijnwerken (BF per ton blootgelegde steenkool) Voorbereidende werken
Sondages et tuyauteries	600	—	Boringen en verbuizingen
Abattage, transport extraction	—	2.400	Breekwerk, vervoer, winning
Total	FB par tonne) (FB/MW <sub>th</sub> )	1.800 210	Totaal (BF per ton) (BF/MW <sub>th</sub> )
Rendement de gazéification	0.60	0.70	Vergassingsrendement
II. Prix de revient du gaz (FB/MW <sub>th</sub> )			II. Kostprijs van het gas (BF/MW <sub>th</sub> ) Aandeel van de mijnwerken Omzettingskosten
Intervention des travaux miniers	350	600	— gasgenerator
Frais de conversion :			— voorbereiding van de vergassingsmiddelen en gasbehandeling
— gazogène	—	150	
— préparation des agents gazéifiants et traitement du gaz	150	150	
Total	(FB/MW <sub>th</sub> )	500	Totaal (BF/MW <sub>th</sub> )

Borinage, dans une zone restée vierge, en raison de la présence d'importants dérangements tectoniques entre la surface et le niveau de 800 m.

Le timing prévu pour la réalisation de l'expérience est détaillé au tableau V. Seule la réalisation de la première phase est actuellement décidée; elle ne comporte aucune innovation par rapport aux essais russes ou américains et son seul but est de démontrer la faisabilité d'un gazogène souterrain fonctionnant à grande profondeur et sous haute pression.

Quatre sondages sont actuellement forés jusqu'à la profondeur de 880 m et, dans la zone comprise entre 860 et 870 m, ils ont recoupé un doublet de couches d'allure assez irrégulière et dont la puissance totale varie entre 2,30 m et 4,00 m.

Les mesures de perméabilité dans les veines recoupées ont débuté en janvier 1981 et les premières mises à feu pour la création des chenaux de liaison entre sondages pourraient avoir lieu vers la fin de cette année.

Les opérations de gazéification à plus grand débit sont programmées pour la fin du premier trimestre 1982, après achèvement des installations de surface destinées à la production des agents gazéifiants et au traitement du gaz produit.

TABLEAU V  
L'expérience de Thulin

<b>1<sup>ère</sup> phase</b> 3 ans 1979-1982	Construction des installations de surface Forage de 4 sondages à 880 m Linkings entre sondages distants de 35 m Gazéification air-vapeur par petites tailles
<b>2<sup>e</sup> phase</b> 2 ans 1982-1983	Forage de 3 nouveaux sondages à 880 m Linkings entre sondages distants de 50 à 70 m Gazéification oxygène-vapeur par longue taille
<b>3<sup>e</sup> phase</b> 2 ans 1984-1985	Approfondissement de 6 sondages jusqu'à 980 m Linkings entre sondages Gazéification d'une seconde couche par longue taille

Pour autant que les conditions géologiques s'y prêtent, la seconde phase de l'expérience de Thulin pourrait être la plus intéressante, car elle devrait permettre d'aborder la gazéification à l'oxygène, d'accroître les distances entre sondages et d'évoluer vers une technique d'exploitation par longue taille.

rand van het bekken van de Borinage, in een zone die omwille van belangrijke tektonische storingen tussen het oppervlak en het niveau van 800 m onontgonnen is gebleven.

Het tijdschema voor de verwezenlijking van de proefneming wordt in tabel V gegeven. Tot nu toe werd enkel een beslissing genomen voor de uitvoering van de eerste fase; zij bevat geen nieuwe elementen ten opzichte van de Russische en de Amerikaanse proefnemingen, en ze heeft enkel tot doel aan te tonen dat een ondergrondse gasgenerator die op grote diepte en onder hoge druk werkt kan verwezenlijkt worden.

Op dit ogenblik zijn vier boringen tot op een diepte van 880 m geboord, en in de zone tussen 860 en 870 m hebben ze een dubbele aangesneden die een vrij onregelmatig verloop heeft en waarvan de totale dikte tussen 2,30 m en 4,00 m sommelt.

In januari 1981 werd begonnen met de permeabiliteitsmetingen in de aangesnedenlagen en de eerste ontstekingen voor het verwezenlijken van de verbindingsskanalen tussen de boringen zouden tegen het einde van dit jaar kunnen plaatsvinden.

De vergassing van grotere hoeveelheden is voorzien voor het einde van het eerste trimester van 1982 na voltooiing van de bovengrondse installaties voor de productie van vergassingsmiddelen en voor de behandeling van het geproduceerde gas.

TABEL V  
De proefneming van Thulin

<b>1ste fase</b> 3 jaar 1979-1982	<i>Opbouw van de bovengrondse installaties</i> <i>Boren van 4 boringen tot 880 m</i> <i>Linkings tussen boringen met een onderlinge afstand van 35 m</i> <i>Vergassing met lucht-stoom door middel van kleine pijlers</i>
<b>2de fase</b> 2 jaar 1982-1983	<i>Boren van 3 nieuwe boringen tot 880 m</i> <i>Linkings tussen boringen met een onderlinge afstand van 50-70 m</i> <i>Vergassing met zuurstof-stoom door middel van lange pijler</i>
<b>3de fase</b> 2 jaar 1984-1985	<i>Uitdiepen van 6 boringen tot op 980 m</i> <i>Linkings tussen boringen</i> <i>Vergassing van een tweede laag door middel van lange pijler</i>

Voor zover de geologische omstandigheden zich ertoe lenen zou de tweede fase van de proefneming van Thulin de interessantste kunnen zijn, want tijdens deze fase zou moeten beginnen worden met de vergassing met zuurstof, met het vergroten van de afstand tussen de boringen, en met de evolutie naar een ontginningstechniek door middel van een lange pijler.

La troisième phase ne constituerait qu'une répétition de la seconde phase; elle aurait pour but essentiel de vérifier si le même réseau de sondages peut être utilisé pour l'exploitation successive de plusieurs couches.

Il convient de souligner que l'expérience de Thulin a été programmée pour recueillir un maximum d'informations sur les possibilités de développement de la méthode de gazéification souterraine par forages à partir de la surface.

On peut souhaiter que, dans un délai aussi court que possible, d'autres expériences soient entreprises en vue de démontrer les potentialités techniques et économiques de la méthode mixte.

Pour ces premières tentatives, il serait intéressant de retenir le site d'anciens charbonnages, dont les puits sont creusés jusqu'à grande profondeur et qui disposent encore d'importants gisements dont l'exploitation a été abandonnée par manque de rentabilité.

Le développement rapide de la production d'un gaz à pouvoir calorifique moyen par gazéification souterraine des gisements profonds est un enjeu d'importance vitale pour l'Europe, car il constitue actuellement la seule voie possible pour lui rendre son indépendance énergétique en mettant à sa disposition à un prix compétitif une matière première susceptible de servir de base à la production de tous les types de produits organiques et inorganiques actuellement dérivés du pétrole, en y incluant : l'ammoniac, les engrains azotés, les matières plastiques, le méthanol et les huiles de synthèse.

Ce gaz à pouvoir calorifique moyen pourrait également se substituer au gaz naturel, dans nos réseaux de distribution, et devenir la principale source de combustible fluide pour nos installations industrielles et nos appareils domestiques.

Cette forme de gazéification souterraine pourrait se développer en symbiose avec la production d'électricité dans les centrales nucléaires. En effet, l'installation de gazéification souterraine serait un gros consommateur d'oxygène et il est parfaitement possible que cet oxygène puisse être obtenu économiquement à partir des excédents d'électricité produits, durant la nuit, dans les grandes centrales nucléaires.

Par ailleurs, il est bien connu que la turbine à gaz est, à l'heure actuelle, le moyen le plus économique de production d'électricité lorsque le temps d'utilisation de la centrale est très réduit; ainsi, il est parfaitement possible que le gaz produit par gazéification souterraine soit utilisé comme base de production de l'électricité destinée à la couverture des pointes de consommation.

Enfin, il est permis de souligner que le développement de la méthode mixte offre à l'industrie

De derde fase zou slechts een herhaling van de tweede fase zijn; het voornaamste doel ervan zou erin bestaan, na te gaan of hetzelfde net van boringen kan gebruikt worden voor de opeenvolgende ontgunning van verschillende lagen.

Het dient onderstreept te worden dat de proefneming van Thulin werd gepland om zoveel mogelijk informatie te krijgen over de ontwikkelingsmogelijkheden van de methode van ondergrondse vergassing via boringen vanaf de bovengrond.

Het is te hopen dat binnen een zo kort mogelijke tijd kan begonnen worden met andere proefnemingen die de technische en economische mogelijkheden van de gemengde methode zouden aantonen.

Voor deze proefnemingen zou het interessant zijn, voormalige steenkoolmijnen te kiezen waarvan de schachten tot op grote diepte gedolven zijn, en waarin nog belangrijke afzettingen aanwezig zijn die wegens hun te gering rendement werden opgegeven.

De snelle ontwikkeling van de produktie van een gas met een gemiddelde verbrandingswaarde door vergassing van afzettingen op grote diepte is van vitaal belang voor Europa, want het is de enige mogelijkheid om Europa opnieuw onafhankelijk te maken op het vlak van de energievoorziening. Europa zou hierdoor tegen een competitieve prijs de beschikking kunnen krijgen over een grondstof die de basis kan vormen voor de produktie van alle soorten organische en anorganische produkten die momenteel op basis van aardolie worden geproduceerd, met inbegrip van : ammoniak, stikstofhoudende meststoffen, kunststoffen, methanol en syntheseolie.

Dit gas met een gemiddelde verbrandingswaarde zou eveneens het aardgas in onze distributienetten kunnen vervangen, en de voornaamste fluïde brandstofvorm kunnen worden voor onze industriële installaties en voor onze huishoudtoestellen.

Deze vorm van ondergrondse vergassing zou kunnen samengaan met de elektriciteitsproduktie in de kerncentrales.

De ondergrondse vergassingsinstallatie zou immers een grote zuurstofverbruiker zijn, en het is zeer goed mogelijk om deze zuurstof goedkoop te produceren met de elektriciteitoverschotten die 's nachts in de grote kerncentrales vorhanden zijn.

Bovendien is het bekend dat de gasturbine momenteel het goedkoopste middel is om elektriciteit te produceren indien de gebruikstijd van de centrale sterk beperkt is; zo is het zeer goed mogelijk om het gas dat door ondergrondse vergassing wordt geproduceerd te gebruiken voor de produktie van elektriciteit tijdens de piekuren.

Tenslotte willen we nog onderstrepen dat de ontwikkeling van de gemengde methode de Europese steenkolennijverheid de beste kansen voor een her-

charbonnière européenne sa meilleure chance de redressement, en lui permettant de limiter l'exploitation mécanisée classique aux gisements peu profonds, où il existe encore des conditions d'exploitation raisonnablement favorables et en assurant une reconversion progressive de l'exploitation des gisements profonds, où l'exploitation classique se heurte à de nombreuses difficultés résultant tout à la fois : des pressions de terrains, des dégagements de grisou et de la haute température des roches.

opleving biedt. Ze zou het mogelijk maken, de conventionele gemechaniseerde ontginning te beperken tot de afzettingen op geringe diepte, waar nog redelijk gunstige ontginningsvoorwaarden bestaan, en een geleidelijke omschakeling uit te voeren bij de ontginning van diepgelegen afzettingen, waar de conventionele ontginning talrijke moeilijkheden kent die het gevolg zijn van een samengaan van verschillende factoren : de gesteentendrukken, de mijngasuitstroming en de hoge temperatuur van het gesteente.

#### BIBLIOGRAPHIE — BIBLIOGRAFIE

- [1] P.N. THOMSON, J.R. MANN and F. WILLIAMS. Underground gasification of coal. N.C.B., 1976.
- [2] A.H. SINGLETON, W.L. NOLL and J.M. ALLEN. Summary report of the Rawlins test for gasification of steeply dipping coal beds. Sixth U.C.C. Symposium, Shangri-La (Oklahoma), July 1980.
- [3] M. LOISON. Essai français de gazéification souterraine à Djedda (Maroc). *Annales des Mines de Belgique*, janvier 1952.
- [4] R.S. CHAPELL. High pressure gasification of deep coal. N.C.B., 1980.
- [5] D.U. OLNESS. The underground coal gasification station at Lisichansk. *Lawrence Livermore Laboratory UCRL 52572*, September 19, 1978.
- [6] W. WENZEL. Das Blockumströmungsverfahren zur Vergasung tiefliegender geringmächtiger Kohlen. *Glückauf Forschungshefte*, 40, 1979.
- [7] Etude économique de la gazéification souterraine du charbon. *Annales des Mines de Belgique* 1, 1980. — Economische studie van de ondergroundse vergassing van steenkolen. *Annaelen der Mijnen van België*, mei 1980.

# Considérations sur les méthodes d'échantillonnage pour la détermination du taux de neutralisation des poussières

## Beschouwingen over de bemonsteringsmethodes voor de bepaling van het neutralisatiegehalte van stof

BRAEM (\*), DERIE R. (\*\*), GILBERT D. (\*\*),  
TAILLET (\*\*)

### RESUME

L'étude est en fait un essai afin de savoir si le taux de neutralisation des poussières déterminé en laboratoire, suite à un prélèvement effectué selon l'une ou l'autre méthode, correspondrait au taux réel de la galerie.

Nous avons dans une même galerie effectué, en trois endroits voisins, un prélèvement d'après la méthode belge et constatons que le taux de neutralisation d'une zone n'est statistiquement pas identique à celui d'une autre zone.

Une comparaison de quatre différentes méthodes de prélèvement effectué sur un même tronçon de galerie indique que la méthode belge donne les taux les plus faibles. D'autre part, il semble qu'il existe dans une galerie des bandes longitudinales moins bien neutralisées.

Dans notre galerie métallique de 1,6 m de diamètre, nous avons soulevé, par l'explosion d'un mélange grisou-air d'un volume de 10 m<sup>3</sup>, des poussières de charbon neutralisées à 80 %. Nous constatons que le taux de neutralisation des poussières soulevées est inférieur au taux des poussières déposées.

Nous pensons que ces constatations ne peuvent pas encore conduire à des conclusions, un plus grand nombre d'essais étant nécessaire.

### SAMENVATTING

De studie is eigenlijk een proef om te weten of het neutralisatiegehalte van stof dat in het laboratorium werd bepaald na een bemonstering volgens een of andere methode, overeenstemt met het werkelijk gehalte van de galerij.

In eenzelfde galerij hebben wij op drie naburige plaatsen een bemonstering uitgevoerd volgens de Belgische methode en we stellen vast dat het neutralisatiegehalte van één zone statistisch niet identiek is met het gehalte van een andere zone.

Een vergelijking van vier verschillende bemonsteringsmethodes in eenzelfde galerijstrook toont aan dat de Belgische methode de geringste gehalten oplevert. Anderzijds blijkt dat er minder goed geneutraliseerde overlangse stroken bestaan in een galerij.

In onze metalen galerij met een diameter van 1,6 m, hebben we d.m.v. een ontploffing van een mengsel mijngas-lucht met een volume van 10 m<sup>3</sup>, steenkolenstof opgejaagd dat geneutraliseerd werd op 80 %. Wij stellen vast dat het neutralisatiegehalte van het opgejaagde stof kleiner is dan het gehalte van het afgezet stof.

Wij denken dat wij door deze vaststellingen nog geen besluiten kunnen trekken aangezien een groter aantal proefnemingen noodzakelijk is.

(\*) INIEX, div. Colfontaine, 60, rue Grande, 7260 Colfontaine.

(\*\*) Service Exploitation des Mines ULB, 50, av. Roosevelt, 1050 Bruxelles.

(\*) NIEB - Afd. Colfontaine, 60 rue Grande, 7260 Colfontaine.

(\*\*) Dienst Mijnontginding ULB, 50, avenue Roosevelt, 1050 Brussel.

## ZUSAMMENFASSUNG

Bei dieser Untersuchung wird in der Tat versucht, herauszufinden, ob der aufgrund einer Probenentnahme nach der einen oder anderen Methode im Labor bestimmte Neutralisierungsgrad dem tatsächlichen Neutralisierungsgrad der Strecke entspricht.

Wir haben in derselben Strecke an drei benachbarten Stellen Proben nach der belgischen Methode entnommen und stellen fest, daß der Neutralisierungsgrad verschiedener Zonen statistisch nicht identisch ist.

Ein Vergleich von verschiedenen Entnahmemethoden bei demselben Streckenabschnitt zeigt, daß mit der belgischen Methode die niedrigsten Neutralisierungsgrade erhalten werden. Außerdem scheint es in einer Strecke weniger gut neutralisierte Längsbänder zu geben.

In unserer Metallstrecke von 1,6 m Durchmesser haben wir durch Explosion eines Gas / Luft-Gemisches mit einem Volumen von 10 m<sup>3</sup> zu 80 % neutralisierte Kohlenstaube aufgewirbelt. Wir stellen fest, daß der Neutralisierungsgrad der aufgewirbelten Staube niedriger als der Neutralisierungsgrad der abgelagerten Staube ist.

Wir meinen, daß aus diesen Feststellungen noch keine Schlußfolgerungen gezogen werden können, da dafür eine größere Anzahl von Versuchen notwendig ist.

## SUMMARY

This investigation is an attempt to find out whether the rate of neutralisation of dust, as established in the laboratory after sampling by one method or another, corresponds with the actual rate in the roadway.

In one road we took samples at three neighbouring points, using the Belgian method; we observed that the neutralisation rate of one zone is not statistically identical with that of another. Comparison of four different sampling methods applied in the same section of a road indicates that the Belgian method gives the lowest rates. Moreover, it would seem that there are in a roadway longitudinal bands which are less effectively neutralized.

In our metal 1.6 m diameter roadway we made use of the explosion of 10 cubic metres of a methane / air mixture to stir up a quantity of coal dust which had been 80 % neutralized. We observed that the rate of neutralization of the stirred-up dust was lower than that of the dust deposited.

It is our view that more trials will be needed before these observations can lead to any conclusions.

## O. INTRODUCTION

Les méthodes de contrôle du taux de neutralisation des poussières charbonneuses consistent toutes à prélever un certain nombre d'échantillons de poussières et à déterminer en laboratoire leur teneur en matières incombustibles (cendres + humidité). Cette manière — pratiquement inévitable — de procéder devrait tenir compte des particularités suivantes [1] :

- Les conditions de dépôt ne sont pas uniformes : la poussière inerte, projetée souvent manuellement, peut s'accumuler en des endroits privilégiés, peu prévisibles, le plus souvent au mur de la galerie; la poussière de charbon, par contre, se dépose de manière à peu près continue jusque dans les anfractuosités les moins accessibles du toit et des cadres.
- Par suite, la composition de la poussière pourrait varier de manière considérable en fonction de la position dans la galerie, des travaux en cours, des caractéristiques du courant d'air, etc.

## O. INLEIDING

Alle controlesmethodes van het neutralisatiegehalte van steenkolenstof bestaan in het nemen van een bepaald aantal stofmonsters en in het bepalen, in het laboratorium, van hun gehalte aan onbrandbare stoffen (as + vochtigheid). Deze — praktisch onvermijdelijke — handelwijze zou rekening moeten houden met de volgende bijzonderheden [1] :

- De afzettingsomstandigheden zijn niet eenvormig : het inert stof, dat dikwijls met de handen wordt gestrooid, kan zich ophopen op bevoordeerde, praktisch onvoorzienbare, plaatsen, meestal op de vloer van de galerij; daarentegen zet het steenkolenstof zich vrijwel op ononderbroken wijze af tot in de minst toegankelijke holtes van het dak en de ramen.
- Bijgevolg zou de samenstelling van het stof aanzienlijk kunnen veranderen naargelang van de plaats van de werkzaamheden in de galerij, de karakteristieken van de luchtstroom, enz.

- La grande diversité des surfaces dégagées rend difficile le choix d'une zone d'échantillonnage véritablement représentative.
- Enfin, en un endroit donné, la composition de la poussière peut varier en fonction de la profondeur dans la couche. Il importe donc de déterminer l'épaisseur de couche qui pourrait être mise en suspension par une onde de choc, et de limiter la prise d'échantillons à cette épaisseur.

Pour tenir compte de cet ensemble complexe de facteurs, le schéma d'échantillonnage devrait résulter d'une longue série d'études expérimentales et d'interprétations statistiques approfondies; celles-ci ne se limiteraient pas à l'analyse des paramètres statistiques habituels (moyenne, variance,...), mais devraient s'étendre à l'étude des répartitions spatiales des teneurs de neutralisation. De tels travaux font actuellement défaut.

Les recherches décrites ci-dessous représentent une première — et nécessairement incomplète — étude statistique dans le cadre qui vient d'être esquissé. Leur but est de rechercher la représentativité des échantillonnages suivant la méthode préconisée par l'Organe Permanent pour la Sécurité et la Salubrité dans les Mines de Houille, ainsi qu'une première comparaison de cette méthode et de trois méthodes françaises.

Les prélèvements ont été effectués dans les voies de tête de deux chantiers d'un charbonnage campinois.

Enfin, on trouvera décrite une approche expérimentale directe de l'étude de la distribution des poussières dans la section d'une galerie lors du passage du souffle de coups de grisou, réalisés en galerie d'essai.

## 1. METHODOLOGIE ADOPTEE

### 1.1. *Description sommaire des méthodes de prélèvements choisies*

#### 1.1.1. *Méthode belge*

La pratique actuelle du prélèvement est définie dans la circulaire du 24 juillet 1963 [2] et les prescriptions de l'Organe Permanent [3]. On délimite dans la galerie une ou plusieurs zones de 20 m, dans lesquelles on effectue à la fois des prises au mur et au toit. Les prises au toit se font sur 6 mm d'épaisseur au maximum, à raison d'une tous les m (la distance étant comptée parallèlement à l'axe de la galerie); elles sont réparties sur un arc diagonal dont le point de départ

- Wegens de grote verscheidenheid van de vrijgemaakte oppervlakten is het moeilijk een bemonsteringszone te kiezen die werkelijk representatief is.
- Tenslotte kan op een welbepaalde plaats, de samenstelling van het stof verschillend zijn naar gelang van de diepte in de laag. De dikte van de laag die zou kunnen opgejaagd worden door een schokgolf dient dus bepaald te worden en de bemonstering moet tot deze dikte beperkt worden.

Om rekening te houden met al deze ingewikkelde factoren zou het bemonsteringsschema moeten voortvloeien uit een lange reeks proefondervindelijke studies en grondige statistische interpretaties; deze zouden zich niet beperken tot de analyse van de gebruikelijke statistische parameters (gemiddelde, varianties,...), maar zouden zich moeten uitbreiden tot de studie van de ruimtelijke verdeling van de neutralisatiegehaltes. Dergelijke werkzaamheden ontbreken op dit ogenblik.

De hieronder beschreven onderzoeken stellen een eerste — en noodzakelijkerwijze onvolledige — statistische studie voor in het zojuist aangehaalde kader. Zij hebben tot doel de representativiteit te onderzoeken van de bemonsteringen volgens de methode aanbevolen door het Permanent Orgaan voor de Veiligheid en de Gezondheid in de Steenkolenmijnen, evenals een eerste vergelijking van deze methode met drie Franse methodes.

De bemonsteringen werden uitgevoerd in de kogalerijen van twee werkplaatsen van een Kempense steenkolenmijn.

Tenslotte vindt men een beschrijving van een rechtstreekse proefondervindelijke benadering van de studie betreffende de stofverdeling in een galerijsectie tijdens een luchtverplaatsing ten gevolge van mijngasontploffingen, verwezenlijkt in een proefgalerij.

## 1. AANGENOMEN METHODOLOGIE

### 1.1. *Beknopte beschrijving van de gekozen bemonsteringsmethodes*

#### 1.1.1. *Belgische methode*

De huidige bemonsteringsmethode is bepaald in de omzendbrief van 24 juli 1963 [2] en in de voorschriften van het Permanent Orgaan [3]. Men bakent in de galerij één of meer zones van 20 m af, waarbinnen men tegelijkertijd monsters neemt van de vloer en van het dak. De opnemingen van het dak gebeuren op maximum 6 mm dikte, naar rata van één om de m (waarbij de afstand evenwijdig met de as van de galerij wordt gerekend); ze zijn verdeeld op een

se trouve au niveau de l'aire de voie d'une paroi, et le point d'arrivée au niveau de l'aire de voie de l'autre paroi. Les prises au mur, sur 1 cm d'épaisseur au maximum, sont effectuées aussi exactement que possible sous chaque prise au toit (fig. 1a). L'échantillon « mur » est constitué du mélange homogène des 20 prises « mur »; il en va de même pour l'échantillon « toit ». La distance entre les zones de prélèvement est fixée en fonction des caractéristiques des ouvrages et de l'empoussiérage.

#### 1.1.2. Méthode Bruay [4]

Les prélèvements se font uniquement au mur, sur une longueur de 20 m, à raison de trois prises tous les deux mètres de galerie, et le long de lignes transversales à la voie. Ainsi, deux des prélèvements sont situés aux abords immédiats de chaque paroi, et le troisième à mi-distance (fig. 1b). On effectue la prise au moyen d'une écope introduite à 45° sur une profondeur de 15 mm.

#### 1.1.3. Méthode Lens [4]

Les prélèvements se font également au mur, le long des diagonales tracées dans des sections de 40 m de galerie, et à raison de cinq par diagonale (fig. 1c). L'opération se fait à la cuiller, par simple raclage; la prise est de l'ordre de 1 cm<sup>3</sup>.

#### 1.1.4. Méthode Courrières [4]

Les prélèvements se font toujours au mur; les prises sont localisées le long de diagonales tracées dans des sections de 12 m de galerie, et à raison de trois par diagonale (fig. 1d). On effectue les prélèvements au moyen d'une écope introduite à 90° sur une profondeur de 15 mm, puis doucement relevée.

## 1.2. Localisation et analyse des échantillons

### 1.2.1. Individualité des échantillons

Suivant toutes les méthodes de détermination du taux de neutralisation, on rassemble les échantillons prélevés dans une zone plus ou moins étendue en un échantillon unique qui est alors soumis à l'analyse au laboratoire. Par cette façon de procéder, l'existence éventuelle de positions privilégiées ou défavorisées, et en particulier l'existence de passages possibles du coup de poussières par des « tubes » longitudinaux à faible taux de neutralisation, ne peuvent être mises en évidence.

Dans la présente étude, nous avons toujours conservé l'individualité de chaque échantillon, qui sera

diagonale boog met vertrekpunt ter hoogte van de galerijzone van een wand, en met eindpunt ter hoogte van de galerijzone van de andere wand. De bemonstering op de vloer, op maximum 1 cm dikte, gebeurt zo exact mogelijk onder elk opnemingspunt aan het dak (fig. 1a). Het monster « vloer » bestaat uit een homogeen mengsel van 20 opnamen « vloer »; hetzelfde geldt voor het monster « dak ». De afstand tussen de bemonsteringszones wordt bepaald in functie van de kenmerken van de werken en de stofontwikkeling.

#### 1.1.2. Methode Bruay [4]

De opnamen gebeuren uitsluitend op de vloer, over een lengte van 20 m, naar rata van drie opnamen om de twee meter galerij, en langs dwarslijnen van de galerij. Op deze manier gebeuren twee opnamen in de onmiddellijke buurt van elke wand, en de derde halfweg (fig. 1b). De opname gebeurt d.m.v. een hoosvat dat onder 45° ingebracht wordt op een diepte van 15 mm.

#### 1.1.3. Methode Lens [4]

De opnamen gebeuren eveneens op de vloer, langs de diagonalen getrokken in secties van 40 m galerij, en naar rata van vijf per diagonaal (fig. 1c). De operatie gebeurt met de lepel, door eenvoudig schrapen; de opname is ter grootte van 1 cm<sup>3</sup>.

#### 1.1.4. Methode Courrières [4]

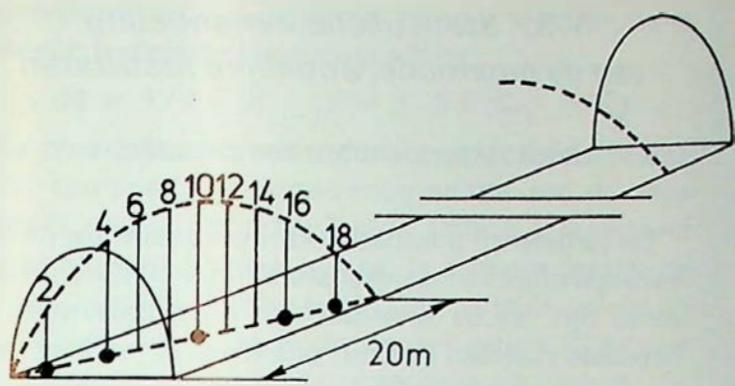
Het trekken van de monsters gebeurt nog steeds op de vloer; de opnamen zijn gelokaliseerd langs diagonalen getrokken in secties van 12 m galerij, en naar rata van drie per diagonaal (fig. 1d). De monsters worden getrokken d.m.v. een hoosvat ingebracht onder 90° op een diepte van 15 mm en dan voorzichtig opgericht.

## 1.2. Lokalisatie en analyse van de monsters

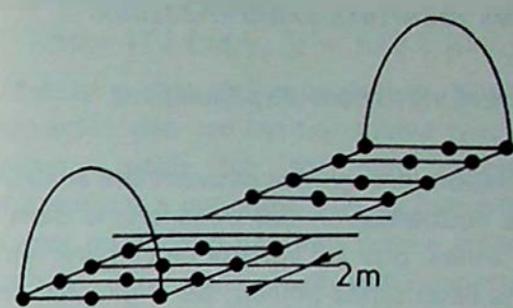
### 1.2.1. Individualiteit van de monsters

Volgens alle methodes ter bepaling van het neutralisatiegehalte, verzamelt men de monsters getrokken in een min of meer uitgebreide zone in een enkel monster dat dan laboratoriumanalyses ondergaat. Door deze handelwijze kan het gebeurlijk bestaan van bevoor- of benadeelde posities, en meer in het bijzonder het bestaan van mogelijke doorgangen voor de stofontploffingen langs « buizen » met laag neutralisatiegehalte in de lengte, niet in het licht worden gesteld.

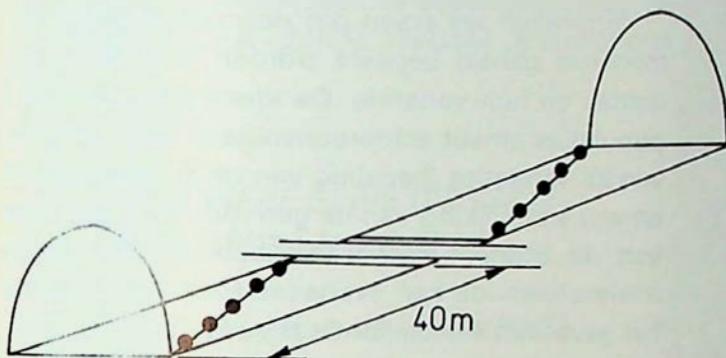
In de onderhavige studie hebben wij steeds de individualiteit van elk monster bewaard, dat dus in wat



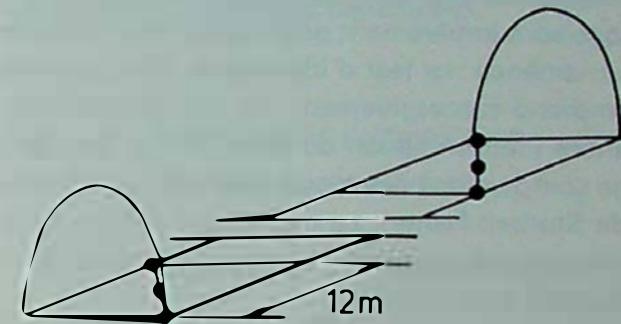
a. METHODE BELGE



b. METHODE BRUAY



c. METHODE LENS



d. METHODE COURRIÈRES

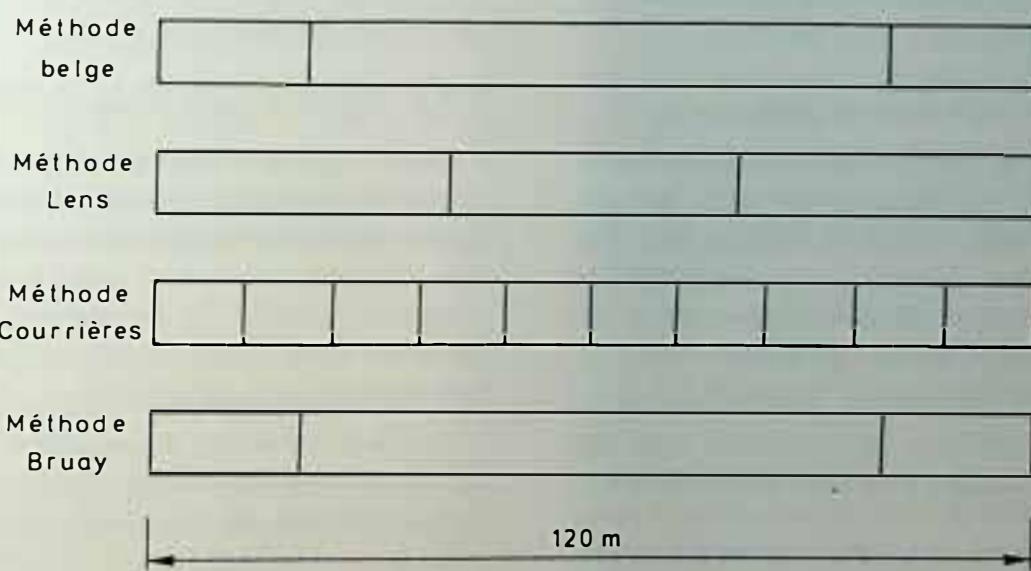


Fig. 1

Schémas de prélèvements en galerie  
*Schema's van bemonstering in galerijen*  
 a) Belgische methode - b) Methode Bruay  
 c) Méthode Lens - d) Méthode Courrières

donc considéré dans ce qui suit comme le résultat d'une prise localisée de poussières.

#### 1.2.2. Analyse au laboratoire

L'analyse des échantillons a été effectuée en suivant les prescriptions du Code des Mines [2], c'est-à-dire par calcination, dans des conditions bien déterminées, à 500° C, d'une prise de 1 g jusqu'à poids constant.

volgt beschouwd zal worden als een gelokaliseerde stofopname.

#### 1.2.2. Laboratoriumanalyse

De analyse van de monsters werd uitgevoerd volgens de voorschriften van de Code der Mijnen [2], d.w.z. door verbranding, in welbepaalde omstandigheden, bij 500° C, van een opname van 1 g tot constant gewicht.

### 1.3. Traitement statistique des résultats expérimentaux

#### 1.3.1. Identité statistique de populations

Les populations comparées peuvent être aussi bien les taux de neutralisation des échantillons dans les différentes zones, que les valeurs de ce paramètre à des endroits déterminés (milieu, paroi gauche, paroi droite de la galerie, mur ou toit dans son ensemble...), ou encore les valeurs obtenues par les diverses méthodes d'échantillonnage décrites en 1.1.

Rappelons que des populations normales d'échantillons sont entièrement définies par leur moyenne et leur variance. Le test d'identité de deux populations comprend successivement une comparaison des variances (détermination du facteur F de Snédécor) et une comparaison des moyennes (calcul de la variable  $t$  de Student-Fisher). La méthode d'analyse de la variance peut également être appliquée dans le cas de plusieurs populations.

Nous ne nous sommes pas préoccupés de vérifier la normalité des populations comparées, les tests ayant conduit dans la quasi-totalité des cas au rejet de l'hypothèse d'identité.

#### 1.3.2. Corrélation entre deux variables

Il est possible de déterminer les liaisons éventuelles entre les valeurs correspondantes que peuvent prendre deux variables aléatoires caractérisant chacune une population, comme par exemple, dans la méthode belge, les taux de neutralisation des prises au mur et des prises au toit qui les surplombent.

Pour étudier ces corrélations, nous avons calculé l'estimateur du coefficient de corrélation avec une fourchette correspondant à un seuil de confiance de 95 %.

#### 1.3.3. L'auto-corrélation et le semi-variogramme

On peut supposer que le taux de neutralisation déterminé à partir d'un échantillon localisé de poussières est une variable régionalisée, c'est-à-dire que la relation entre elle-même et la position qu'elle occupe dans l'espace n'est ni aléatoire, ni fonctionnelle, mais présente une certaine structure, une certaine apparence de continuité.

Pour des raisons de simplification, le champ géométrique de la variable régionalisée peut être considéré comme unidimensionnel, seule la distance mesurée parallèlement à l'axe de la galerie étant prise en considération.

Pour l'étude de la régionalisation, nous avons estimé systématiquement le semi-variogramme, c'est-à-dire la variance des différences des taux de

### 1.3. Statistische behandeling van de proefondervindelijke resultaten

#### 1.3.1. Statistische identiteit van populaties

De vergeleken populaties kunnen zowel de neutralisatiegehaltes van de monsters in de onderscheiden zones zijn, als de waarden van deze parameter op bepaalde plaatsen (milieu, linkerwand, rechterwand van de galerij, vloer of dak in zijn geheel...), of nog de waarden bekomen door de verschillende in 1.1. beschreven bemonsteringsmethodes.

Herinneren we eraan dat normale populaties van monsters geheel bepaald worden door hun gemiddelden en hun variantie. De identiteits-test van twee populaties omvat achterenvolgens een vergelijking van de varianties (bepaling van de Snédécorfactor F) en een vergelijking van de gerelateerde (berekening van de Student-Fischer-variantie  $t$ ). De variantieanalysemethode kan eveneens toegepast worden in het geval van verschillende populaties.

We hebben ons niet beziggehouden met het na gaan van de normaliteit van de vergeleken populaties, daar de tests in vrijwel alle gevallen geleid hebben tot het verwerpen van de identiteitshypothese.

#### 1.3.2. Correlatie tussen twee variabelen

Het is mogelijk de eventuele verbanden te bepalen tussen de overeenstemmende waarden die twee onzekere variabelen kunnen nemen, variabelen die elk een populatie kenmerken, zoals bijvoorbeeld, in de Belgische methode, de neutralisatiegehaltes van de opnamen op de vloer en de opnamen van het dak die zich er boven bevinden.

Om deze correlaties te bestuderen, hebben wij de estimator berekend van de correlatiecoëfficiënt met een begrenzing die overeenstemt met een vertrouwensgrens van 95 %.

#### 1.3.3. De auto-correlatie en het semi-variogram

Men kan veronderstellen dat het neutralisatiegehalte, bepaald op basis van een gelokaliseerd stofmonster, een geregionaliseerde variabele is, d.w.z. dat de relatie tussen haarzelf en de positie die ze inneemt in de ruimte noch onzeker, noch functioneel is, maar wel een zekere structuur vertoont, een zeker teken van continuïteit.

Ter vereenvoudiging kan het meetkundig veld van de geregionaliseerde variabele beschouwd worden als ééndimensioneel, waarbij uitsluitend de afstand wordt beschouwd die evenwijdig aan de as van de galerij werd gemeten.

Voor de studie van de regionalisatie hebben wij systematisch het semi-variogram geschat, d.w.z. de variantie van de verschillen van de neutralisatie-

neutralisation C, considérée comme fonction de la distance h séparant les échantillons :

$$\gamma(h) = 1/2 E(d_{i,i+h})^2 = 1/2 E(C_{i+h} - C)^2$$

Le plus fréquemment, dans ce genre de distributions spatiales, le semi-variogramme est du type transitif : nul à l'origine, il croît jusqu'à une certaine valeur appelée portée, qui est la distance maximum jusqu'à laquelle l'influence d'une certaine valeur de la variable (ici le taux de neutralisation C) se fait encore sentir. Au-delà de cette distance, le semi-variogramme demeure le plus souvent constant; dans certains cas cependant, apparaissent des perturbations qui sont caractéristiques de dépendances qui ne se manifestent qu'à grande distance (corrélations différencées).

## 2. PREMIERE SERIE D'ESSAIS (Méthode belge)

### 2.1. Application de la méthode

La longueur de la voie de tête envisagée, soit 220 m, a été divisée en six zones de prélèvement de 20 m, séparées l'une de l'autre par cinq intervalles de 20 m. Dans chaque zone, on a procédé à 20 prélèvements équidistants de poussières au mur, suivant la diagonale de la zone, et à 20 prélèvements au toit à la verticale des points au mur. La numérotation des zones et des échantillons suit un ordre croissant dans le sens de l'aérage.

### 2.2. Echantillons prélevés au mur

Les résultats d'analyse sont rassemblés dans le tableau I. On trouvera dans le tableau II les valeurs moyennes du taux de neutralisation pour chaque zone, ainsi que les écarts-types correspondants.

Ces résultats se caractérisent de prime abord par des valeurs relativement faibles du taux de neutralisation, et des écarts-types parfois très importants.

Les populations des différentes zones ne peuvent pas être considérées comme statistiquement identiques; elles diffèrent soit par leurs moyennes, soit par leurs variances. Il en résulte qu'une seule zone n'est pas représentative de l'ensemble de la galerie.

Le semi-variogramme (fig. 2a) est du type transitif, avec une portée de 6 à 7 m. Du fait du mode d'échantillonnage (interruption de 20 à 40 m, de 60 à 80 m, etc...), les valeurs de  $\gamma(h)$  pour h compris entre 10 et 30, 50 et 70 m... sont estimées à partir d'un nombre beaucoup trop restreint de termes que pour être significatives. Par contre, le minimum aigu observé aux environs de 42 m est révélateur d'une

gehaltes C, considérée comme fonction de la distance h die de monsters scheidt :

$$\gamma(h) = 1/2 E(d_{i,i+h})^2 = 1/2 E(C_{i+h} - C)^2$$

Meestal is het semi-variogram in dit soort ruimtelijke verdelingen van het transitieve type : nul bij de aanvang, groeit het tot een zekere waarde, « draagwijdte » genoemd, die de hoogste afstand is tot waar de invloed van een zekere waarde van de variabele (hier het neutralisatiegehalte C) nog voelbaar is. Verder dan deze afstand blijft het semi-variogram meestal constant; in sommige gevallen verschijnen evenwel storingen die kenmerkend zijn voor afhankelijkheden die zich slechts op grote afstand voordoen (uitgestelde correlaties).

## 2. EERSTE PROEVENREEKS (Belgische methode)

### 2.1. Toepassing van de methode

De lengte van de beschouwde kogalerij, d.w.z. 220 m, werd onderverdeeld in zes opnamezones van 20 m onderling gescheiden door 5 tussenzones van 20 m. In elke zone werd overgegaan tot 20 opnamen van stof op de vloer, op gelijke onderlinge afstand, volgens de diagonaal van de zone, en tot 20 opnamen van het dak verticaal ten overstaan van de punten op de vloer. De nummering van de zones en de monsters volgt een klimmende orde in de richting van de verluchting.

### 2.2. Monsters opgenomen van de vloer

De analyseresultaten zijn verzameld in tabel I. In tabel II vindt men de gemiddelde waarden van het neutralisatiegehalte voor elke zone, evenals de overeenkomstige type-verschillen.

Deze resultaten worden vooreerst gekenmerkt door betrekkelijk lage waarden van het neutralisatiegehalte, en soms zeer belangrijke type-verschillen.

De populaties van de verschillende zones mogen niet als statistisch identiek beschouwd worden; ze verschillen ofwel door hun gemiddelden, ofwel door hun varianties. Het gevolg is, dat één enkele zone niet representatief is voor het geheel van de galerij.

Het semi-variogram (fig. 2a) is van het transitieve type, met een draagwijdte van 6 tot 7 m. Vanwege de bemonsteringsmodus (onderbreking van 20 tot 40 m, van 60 tot 80 m, enz...), zijn de  $\gamma(h)$  waarden voor h begrepen tussen 10 en 30, 50 en 70... m geschat op basis van een veel te beperkt aantal termen om betekenisvol te zijn. Daarentegen is het scherpe minimum, vastgesteld rond 42 m, tekenend voor een

TABLEAU I — TABEL I  
Première série d'essais - Taux de neutralisation au mur (en %)  
Eerste proevenreeks - Neutralisatiegehalte op de vloer (in %)

Echantillon Monster	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6
1	—	74,37	63,89	76,89	51,23	—
2	72,28	—	66,20	68,99	32,09	—
3	—	—	67,60	70,54	52,47	46,19
4	71,80	69,35	62,19	65,98	68,07	33,62
5	70,20	68,15	76,74	57,26	—	—
6	78,14	65,23	78,87	72,40	77,54	76,92
7	71,40	67,56	80,29	81,59	77,19	76,59
8	70,02	62,42	78,65	78,03	71,50	77,44
9	74,21	68,10	86,81	77,97	74,87	76,79
10	72,97	67,85	82,16	74,71	79,12	75,54
11	76,73	63,86	81,48	71,68	—	75,81
12	73,78	67,67	81,17	72,15	—	75,30
13	70,96	74,23	81,67	70,88	—	76,46
14	67,22	70,35	79,49	76,10	75,71	—
15	72,98	63,66	78,51	—	84,70	76,11
16	—	63,82	69,36	77,13	—	72,63
17	—	67,01	73,23	74,49	—	—
18	—	62,14	72,98	—	—	—
19	86,57	—	62,31	—	—	—
20	—	—	72,91	73,26	—	—

TABLEAU II  
Première série d'essais

Moyenne et écart-type du taux de neutralisation au mur			
Zone	Nombre d'échantillons (n)	Moyenne (%)	Ecart-type
1	14	73,52	4,65
2	16	67,24	3,70
3	20	74,83	7,36
4	17	72,94	5,57
5	11	67,68	15,84
6	12	69,95	14,34
Ensemble des zones	90	71,39	9,23

certaine périodicité des taux de neutralisation; un autre minimum de  $\gamma(h)$  s'observe d'ailleurs au double de la première distance, soit environ 80 m.

Il est tentant de penser que la périodicité ainsi mise en évidence soit due au fait que les couples de points considérés dans chaque terme de l'estimateur du semi-variogramme sont, pour  $h = 42$  m ou  $h = 80$  m, situés assez sensiblement sur des lignes longitudinales à la galerie. S'il en était ainsi, le dépôt au mur de la galerie serait constitué de « bandes » à taux de

TABEL II  
Eerste proevenreeks

Gemiddelde en typeverschil van het neutralisatiegehalte op de vloer			
Zone	Aantal monsters	Gemiddelde %	Type-verschil
1	14	73,52	4,65
2	16	67,24	3,70
3	20	74,83	7,36
4	17	72,94	5,57
5	11	67,68	15,84
6	12	69,95	14,34
Geheel van de zones	90	71,39	9,23

zekere periodiciteit van het neutralisatiegehalte; een ander minimum voor  $\gamma(h)$  wordt anderzijds vastgesteld op het dubbele van de eerste afstand, d.w.z. ongeveer 80 m.

Het is verleidelijk te denken dat de periodiciteit die aldus in het licht wordt gesteld te wijten is aan het feit dat de puntenparen beschouwd in elke term van de estimator van het semi-variogram voor  $h = 42$  m of  $h = 80$  m, vrij opmerkelijk gesitueerd zijn op de lengtelijnen van de galerij. Als dit zo was, dan zou de

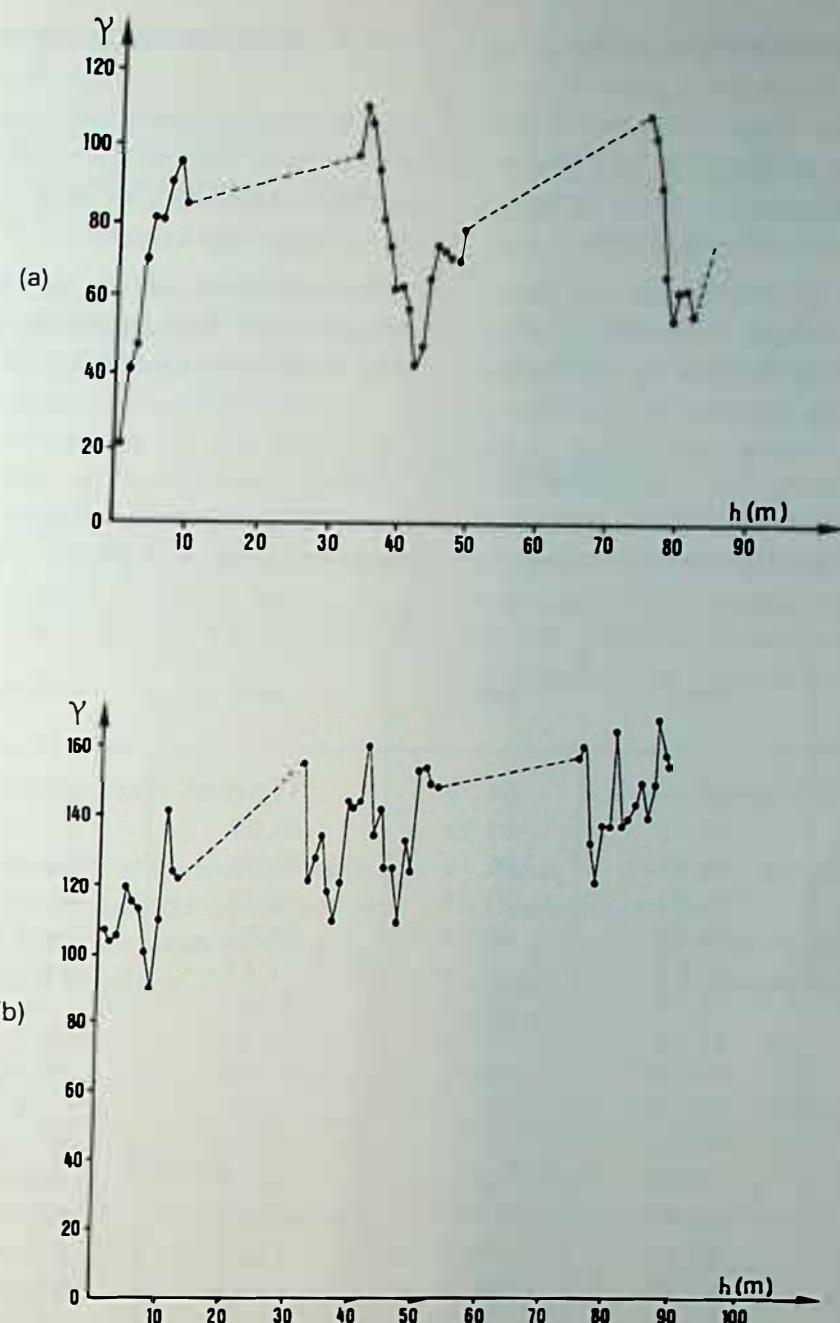


Fig. 2

Première série d'essais - Semi-variogrammes des taux de neutralisation

a) échantillons au mur - b) échantillons au toit

Eerste proevenreeks - Semi-variogrammen van de neutralisatiegehaltes

a) staal op de vloer - b) staal aan het dak

neutralisation homogène. Dans ce cas, la « période » réelle serait de 20 à 22 m, valeur de  $h$  pour laquelle (cf. plus haut) l'estimateur du semi-variogramme perd malheureusement, dans le cas présent, toute signification.

La périodicité se révèle de façon remarquable si l'on compare les populations formées des échantillons distants de 42 ou 80 m; l'hypothèse de l'identité statistique peut être retenue à un seuil de confiance très élevé.

afzetting op de galerijvloer bestaan uit « linten » met homogeen neutralisatiegehalte. In dit geval zou de reële « periode » 20 tot 22 m bedragen,  $h$ -waarde waarvoor (zie hoger) de estimator van het semi-variogram jammer genoeg, in het onderhavig geval, alle betekenis verliest.

De periodiciteit wordt op merkwaardige wijze aangegetoond als men een vergelijking maakt tussen de populaties gevormd door de monsters op onderlinge afstand van 42 of 80 m; de hypothese van statistische identiteit kan weerhouden worden met een zeer hoge vertrouwendsdrempel.

### 2.3. Echantillons prélevés au toit

Les résultats d'analyse sont rassemblés dans le tableau III. On trouvera dans le tableau IV les valeurs moyennes du taux de neutralisation pour chaque zone, ainsi que les écarts-types correspondants.

On constate que les taux de neutralisation moyens sont souvent plus faibles que les taux observés au mur. Par contre, les écarts-types sont plus élevés. La

### 2.3. Monsters opgenomen van het dak

De analyseresultaten zijn verzameld in tabel III. In tabel IV vindt men de gemiddelde waarden van het neutralisatiegehalte voor elke zone, evenals de overeenkomstige type-verschillen.

Men stelt vast dat de gemiddelde neutralisatiegehaltes vaak lager liggen dan de gehaltes vastgesteld op de vloer. Daarentegen zijn de type-verschil-

TABLEAU III — TABEL III

Première série d'essais - Taux de neutralisation au toit (en %)  
Eerste proevenreeks - Neutralisatiegehalte aan het dak (in %)

Echantillon Monster	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6
1	—	69,31	54,79	75,96	57,11	63,13
2	93,34	87,31	89,99	66,92	47,26	47,86
3	79,10	63,01	65,78	54,89	84,78	47,36
4	94,08	57,82	71,25	74,25	50,66	53,39
5	91,88	73,89	60,84	49,62	66,94	50,93
6	89,54	76,57	74,49	51,41	49,28	58,42
7	84,48	71,24	59,72	61,82	—	—
8	—	71,34	70,69	85,62	68,74	54,78
9	75,98	66,13	68,25	67,09	46,59	68,55
10	67,65	83,06	56,15	79,01	—	57,26
11	74,80	87,45	65,78	80,12	60,05	64,39
12	—	75,03	58,57	56,15	70,44	75,38
13	76,29	89,57	53,65	50,38	58,56	72,30
14	79,06	80,62	70,02	61,25	67,19	68,72
15	—	62,29	64,37	75,37	89,88	68,44
16	—	70,13	69,98	83,39	75,53	44,76
17	—	66,89	51,43	75,06	54,17	60,64
18	—	77,57	56,88	62,89	66,53	79,99
19	64,88	92,40	63,20	84,90	51,88	47,25
20	85,08	89,68	46,67	66,05	61,04	46,41

TABLEAU IV  
Première série d'essais

Moyenne et écart-type du taux de neutralisation au toit			
Zone	Nombre d'échantillons (n)	Moyenne (%)	Ecart-type
1	13	81,24	9,46
2	20	75,57	10,17
3	20	63,62	9,73
4	20	68,11	11,83
5	18	62,59	12,39
6	19	59,47	10,75
Ensemble des zones	110	67,81	12,81

TABEL IV  
Eerste proevenreeks

Gemiddelde en typeverschil van het neutralisatiegehalte aan het dak			
Zone	Aantal monsters	Gemiddelde (%)	Type-verschil
1	13	81,24	9,46
2	20	75,57	10,17
3	20	63,62	9,73
4	20	68,11	11,83
5	18	62,59	12,39
6	19	59,47	10,75
Geheel van de zones	110	67,81	12,81

neutralisation est donc à la fois moins bonne et moins homogène au toit qu'au mur.

Comme pour les prélèvements au mur, on peut montrer que les populations des six zones ne sont pas statistiquement identiques.

Le semi-variogramme (fig. 2b) est, aux fluctuations aléatoires près, pratiquement horizontal. En outre, les minima observés pour les essais au mur, et qui indiquaient une certaine périodicité, n'apparaissent plus. La portée n'est plus définissable : à des distances supérieures à 1 m, les taux de neutralisation se succèdent au hasard. Ceci implique qu'à l'échelle d'observation supérieure au mètre, la précision de l'échantillonnage au toit, dans la galerie testée, dépend seulement du nombre, et non de la position des points de prélèvement.

#### 2.4. Corrélation mur-toit

Le tableau V donne les valeurs et les fourchettes de probabilité à 95 % du coefficient de corrélation  $\rho$  entre les taux de neutralisation des prises au mur et au toit à la même distance dans la galerie.

TABLEAU V

Zone	$\rho$	Fourchette
1	-0,43	-0,81 , 0,20
2	0,16	-0,42 , 0,64
3	-0,16	-0,57 , 0,31
4	0,43	-0,07 , 0,76
5	0,05	-0,74 , 0,78
6	0,48	-0,18 , 0,84

La fourchette de probabilité comprenant toujours la valeur zéro, on ne peut rejeter l'hypothèse de l'indépendance statistique des deux taux de neutralisation. Ceci n'est nullement étonnant si l'on considère que les modes de dépôt et surtout de remaniement des poussières sont très différents au toit et au mur.

### 3. DEUXIÈME SERIE D'ESSAIS

#### 3.1. Buts

La deuxième série de prélèvements, réalisée également dans une voie de tête d'un chantier, comportait des échantillonnages suivant les diverses méthodes décrites en 2.1.

len hoger. De neutralisatie is dus tegelijkertijd minder goed en minder homogeen aan het dak dan op de vloer.

Zoals voor de bemonstering van de vloer kan men aantonen dat de populaties van de zes zones statistisch niet identiek zijn.

Het semi-variogram (fig. 2b) is, op de onzekere schommelingen na, vrijwel horizontaal. Buitendien verschijnen de minima niet meer die werden vastgesteld voor de proeven op de vloer en die op een zekere periodiciteit wezen. De draagwijdte is niet meer te bepalen : over afstanden van meer dan 1 m volgen de neutralisatiegehaltes elkaar willekeurig op. Dit brengt mee dat op een waarnemingsschaal van meer dan 1 m de precisie van de bemonstering aan het dak uitsluitend afhangt van het aantal, en niet van de positie van de bemonsteringspunten.

#### 2.4. Correlatie vloer-dak

Tabel V geeft de waarden en de waarschijnlijkheidsgrenzen aan 95 % van de correlatiecoëfficiënt  $\rho$  tussen de neutralisatiegehaltes van de opnames op de vloer en aan het dak, op gelijke afstand in de galerij.

TABEL V

Zone	$\rho$	Begrenzing
1	-0,43	-0,81 , 0,20
2	0,16	-0,42 , 0,64
3	-0,16	-0,57 , 0,31
4	0,43	-0,07 , 0,76
5	0,05	-0,74 , 0,78
6	0,48	-0,18 , 0,84

Daar de waarschijnlijkheidsbegrenzing steeds de waarde nul bevat, kan men de hypothese van de statistische onafhankelijkheid van de neutralisatiegehaltes niet verwerpen. Dit is helemaal niet verwonderlijk als men bedenkt dat de afzettingswijze en vooral de omverwerking van het stof zeer verschillend zijn aan het dak en op de vloer.

### 3. TWEEDE SERIE PROEVEN

#### 3.1. Doelstellingen

De tweede serie afnemingen, die verwezenlijkt werd in een koppalerij van een werkplaats, bestond uit het nemen van monsters volgens de verschillende methodes beschreven in 2.1.

Pour la méthode belge, la distance entre les deux zones de prélèvements de 20 m, est de 80 m. La longueur totale de la partie de galerie considérée est donc de 120 m. Dans ce tronçon de 120 m nous avons échantilloné trois zones de 40 m de longueur d'après la méthode de Lens (fig. 1c), 10 zones de 12 m de longueur d'après la méthode de Courrières et 2 zones de 20 m de longueur d'après la méthode de Bruay. Les deux dernières zones étaient placées à chaque extrémité de la partie de galerie prise en considération pour les prélèvements.

Nous avons pu ainsi effectuer une première comparaison des résultats obtenus en suivant ces méthodes. Il est impossible de reproduire ici ces résultats dans le détail. Nous nous limiterons donc à formuler les principales conclusions.

### 3.2. *Essai belge*

L'examen confirme, quoique moins nettement, les conclusions antérieures relatives à cet essai; en particulier, le semi-variogramme des prélèvements au mur présente une portée de l'ordre de 10 m, alors que le semi-variogramme « toit » ne présente aucune transition à l'origine. Les taux de neutralisation sont plus élevés que dans la première série d'essais; à nouveau, le toit est moins bien neutralisé que le mur.

Les taux de neutralisation dans deux zones, distantes de 80 m, appartiennent à des populations dont l'identité statistique ne peut pas être retenue. Cette constatation confirme le danger d'un choix arbitraire de la longueur du tronçon échantillonné.

Enfin, et comme précédemment, aucune corrélation ne semble exister entre les échantillons prélevés respectivement au toit et au mur.

### 3.3. *Essai Courrières*

Les échantillons prélevés suivant la méthode de Courrières mettent en évidence une très nette différence entre les taux de neutralisation au centre de la galerie et le long des parois. Au centre, la moyenne est élevée (91,6 %) et la dispersion des valeurs (mesurée par l'écart-type) très faible (1,25 %). D'une façon tout à fait caractéristique, le semi-variogramme (fig. 3) se présente en dents de scie. Lorsque le nombre  $h$  de pas est impair, c'est-à-dire lorsqu'une des extrémités du vecteur  $h$  est située au centre et l'autre près d'une paroi de la galerie, la différence des taux de neutralisation est en valeur absolue élevée.

Voor wat de Belgische methode betreft bedraagt de afstand tussen de twee afnemingszones van 20 m, 80 m. De totale lengte van het beschouwde deel van de galerij bedraagt dus 120 m. In dit gedeelte van 120 m hebben wij proefmonsters genomen in 3 zones van 40 m lengte volgens de methode Lens (fig. 1c), in 10 zones van 12 m lengte volgens de methode van Courrières, en in 2 zones van 20 m lengte volgens de methode van Bruay. De laatste twee zones werden geplaatst aan elk uiteinde van het gedeelte van de galerij die werd in acht genomen voor de afnemingen.

Wij hebben volgens deze methode een eerste vergelijking van de verkregen resultaten kunnen uitvoeren. Het is onmogelijk om hier deze resultaten in detail weer te geven. Wij beperken ons dus tot het formuleren van de voornaamste conclusies.

### 3.2. *Belgisch proef*

Het examen bevestigt, alhoewel minder duidelijk, de voorafgaande conclusies in verband met deze proef; meer in het bijzonder, het semi-variogram op de vloer heeft een draagwijdte van 10 m, terwijl het semi-variogram « dak » aan de oorsprong geen enkele overgang toont. De neutralisatiegehaltes zijn hoger dan tijdens de eerste reeks proeven; nogmaals is het dak minder goed geneutraliseerd dan de muur.

De neutralisatiegehaltes in twee zones met een onderlinge afstand van 80 m, behoren bij populaties waarvan de statistische identiteit niet kan weerhouden worden. Deze vaststelling bevestigt het gevaar van een willekeurige keuze van de lengte van het gedeelte waarvan een monster werd genomen.

Uiteindelijk, en zoals tevoren, schijnt er geen enkele wederzijdse betrekking te bestaan tussen de monsters respectievelijk afgenoem van het dak en van de vloer.

### 3.3. *Courrières-proef*

De monsters die werden afgenoem volgens de methode van Courrières stellen een duidelijk verschil in het licht tussen de neutralisatiegehaltes in het midden van de galerij en langs de zijkanten. In het midden ligt het gemiddelde hoog (91,6 %) en is de verspreiding van de waarden (gemeten d.m.v. afwijkingstype) zeer zwak (1,25 %). Op een heel karakteristieke wijze vertoont het semi-variogram (fig. 3) « zaagtanden ». Wanneer het aantal passen  $h$  oneven is, d.w.z. wanneer een van de uiteinden van de vector  $h$  zich in het midden bevindt en het ander dichtbij een wand van de galerij, is het verschil van de neutralisatiegehaltes hoog in absolute waarde.

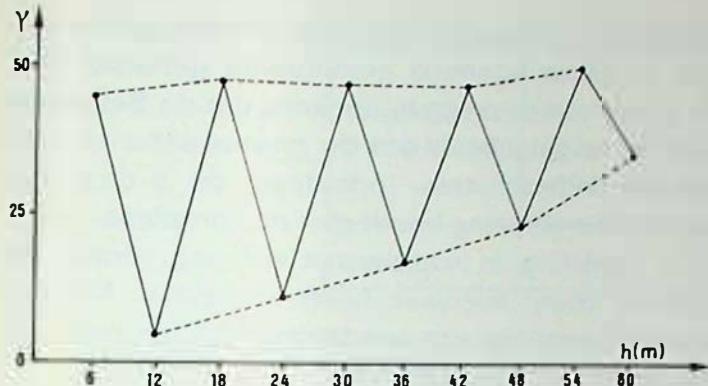


Fig. 3

Essais Courrières. Semi-variogramme  
des taux de neutralisation  
Proef van Courrières. Semi-variogram  
van de neutralisatiegehaltes

### 3.4. Essais Lens et Bruay

Les trois zones (tronçons) échantillonnées selon la méthode de Lens et les deux zones prévues par la méthode de Bruay contiennent des populations non identiques. Cette constatation confirme la conclusion tirée de l'essai belge, relative au danger du choix arbitraire de la longueur de tronçon échantillonnée.

Les résultats de la méthode Bruay indiquent clairement que les échantillons prélevés au centre de la galerie et dans chacune des bandes latérales se regroupent en des populations distinctes (par leurs moyennes, variances et semi-variogrammes). Ces différences pourraient être expliquées par le mode de schistification, l'encombrement ou l'histoire de la galerie après sa neutralisation.

Quoiqu'il en soit, le taux de neutralisation varie fortement dans le sens transversal à la galerie, et un échantillonnage représentatif doit comporter des prélèvements rapprochés dans cette direction. Seule la méthode belge satisfait à cette exigence.

### 3.5. Comparaison des résultats globaux

On trouvera dans le tableau VI une comparaison des résultats globaux obtenus par les quatre méthodes.

### 3.4. Lens- en Bruay-proeven

De drie zones (bemonsterde gedeelten) volgens de methode Lens en de twee zones voorzien in de methode Bruay, bevatten niet-identieke populaties. Deze vaststelling bevestigt de conclusie die werd getrokken uit de Belgische proefneming i.v.m. het gevaar van de willekeurige keuze van de lengte van het bemonsterde gedeelte.

De resultaten van de Bruay-methode geven duidelijk aan dat de monsters, afgenoem in het midden van de galerij en in elk van de laterale banden, zich groeperen in aparte populaties (door hun gemiddelden, varianties en semi-variogrammen). Deze verschillen zouden kunnen verklaard worden door de wijze van steenstofbestuiving, de versperring of de geschiedenis van de galerij na neutralisatie.

Wat er ook van zij, de neutralisatiegraad varieert sterk in overdwarse richting van de galerij, en een representatieve monsterneming moet vergelijkende afnemingen in die richting inhouden. Enkel de Belgische methode voldoet aan deze eis.

### 3.5. Vergelijking van de globale resultaten

In tabel VI vindt men een vergelijking van de globale resultaten bekomen door deze vier methodes.

TABLEAU VI — TABEL VI

Moyenne et écart-type pour chaque essai  
Gemiddelde en afwijkingstype voor elke proef

Essai Proef	Nombre d'échantillons Aantal monsters	Moyenne (%) Gemiddelde (%)	Ecart-type (%) Afwijkingstype (%)
Belge / Belgische Courrières	40	82,33	8,75
Lens	30	86,81	6,06
Bruay	15	87,44	8,36
	66	87,62	5,17

Les essais Bruay, Lens et Courrières donnent des taux moyens assez proches. Il serait cependant erroné de croire que l'essai belge a tendance à sous-estimer la neutralisation de la galerie. En effet, il est la seule méthode qui tienne compte de la distribution spatiale complexe dans le sens transversal. Seule la méthode de Bruay, toutefois, a permis de confirmer l'existence de bandes longitudinales à taux de neutralisation homogène.

#### 4. TROISIÈME SÉRIE D'ESSAIS

##### 4.1. Répartition spatiale des poussières lors d'une mise en suspension brutale

Il existe a priori une forte probabilité pour qu'un nuage de poussières mis en suspension lors du passage d'une onde de choc n'ait pas une composition homogène. Une certaine sélection s'opère nécessairement entre les éléments du gisement poussiéreux dont il est issu, en fonction notamment de la granulométrie, de la masse spécifique et des propriétés superficielles des différents constituants, et aussi de la distribution spatiale des vitesses dans le courant d'air.

Il apparaît fondamental de savoir si un gisement de poussières parfaitement neutralisé au sens où l'entendent les normes actuellement admises, ne peut pas, par un phénomène de ségrégation, donner lieu à un nuage de poussières en suspension dont au moins certaines zones préférentiellement enrichies en charbon (des « tubes » longitudinaux en particulier) pourraient favoriser la propagation d'un coup de poussières.

L'étude complète des relations gisement-nuage est un travail dépassant très largement les limites de la présente recherche. Les essais décrits ci-dessous en constituent une première — et nécessairement grossière — approche expérimentale; ils ont néanmoins permis de dégager quelques conclusions importantes.

##### 4.2. Méthode expérimentale

Les essais ont été effectués dans la galerie expérimentale en acier de la Division de Colfontaine de l'INIEX (fig. 4). L'inflammation d'un mélange grisouteux dans la chambre d'explosion met en suspension les poussières (1 kg au total) réparties sur le sol de la zone de 5 m jouxtant ladite chambre. Des échantillons de poussières sont recueillis sur des fioles en pyrex de 70 mm de diamètre, enduites de glycérine; ces fioles sont fixées sur deux treillis mé-

De Bruay-, Lens- en Courrières-proeven geven erg dicht bij elkaar liggende gemiddelde gehaltes. Het zou echter verkeerd zijn te denken, dat de Belgische proef de neiging heeft om de neutralisatie van de galerij te onderschatten. Inderdaad, dit is de enige methode die rekening houdt met de complexe, ruimtelijke verdeling in overdwarse richting. Enkel de methode Bruay, evenwel, heeft toegelaten het bestaan te bevestigen van overlangse banden met een homogeen neutralisatiegehalte.

#### 4. DERDE REEKSEN PROEVEN

##### 4.1. Ruimtelijke verdeling van het stof tijdens een brutale opjaging

Er bestaat a priori een grote waarschijnlijkheid dat een stofwolk die wordt opgejaagd tijdens het doortrekken van een schokgolf, geen homogene samenstelling heeft. Een bepaalde selectie komt noodzakelijkerwijze tot stand tussen de elementen van de stofafzetting waaruit ze is voortgekomen, niet name in functie van de granulometrie, van de specifieke massa en van de oppervlakkige eigenschappen van de verschillende samenstellende elementen, en eveneens van de ruimtelijke verdeling van de snelheden in de luchtstroom.

Het lijkt fundamenteel te weten of een perfect gneutraliseerde stofwolk, in de zin van de thans toegepaste normen, d.m.v. een afscheidingsverschijnsel geen stofwolk kan teweegbrengen waarvan bepaalde zones, bijzonder verrijkt aan steenkool (overlangse « tubes » in 't bijzonder), de voortplanting van een stofontploffing zouden kunnen begunstigen.

Een complete studie van de verhoudingen wolkafzetting is een werk dat grotendeels de grenzen van het huidige onderzoek overschrijdt. De hieronder beschreven proeven vormen een eerste — en noodzakelijkerwijze ruwe — experimentele benadering; zij hebben desalniettemin toegestaan enkele belangrijke conclusies te trekken.

##### 4.2. Proefondervindelijke methode

De proeven werden uitgevoerd in de stalen proefgalerij van de Afdeling Colfontaine van het NIEB (fig. 4). De ontvlamming van een mijngashoudend mengsel in de verbrandingskamer jaagt het stof op (1 kg in het totaal), dat verdeeld werd op de grond van de zone van 5 m die naast de genoemde kamer ligt. Stofmonsters werden opgevangen op pyrex-flessen van 70 mm doormeter, bestreken met glycerine; deze flessen werden vastgemaakt op twee metalen traliewerken waarvan het ene geplaatst werd aan het

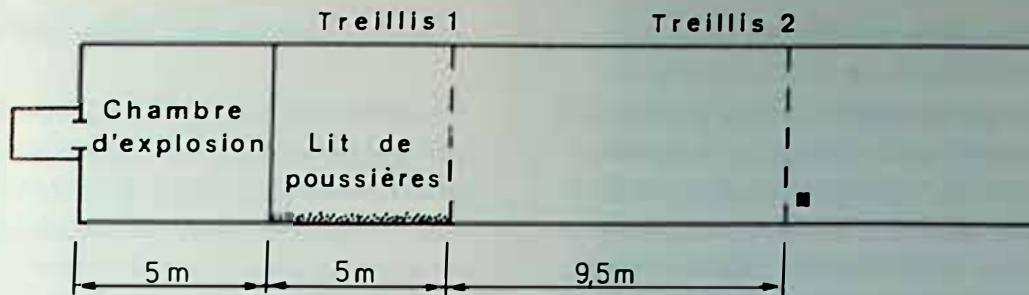


Fig. 4

Schéma de la galerie expérimentale (l'échelle n'est pas respectée, le diamètre de la galerie étant 1,60 m)

*Schema van de proefgalerij (de schaal werd niet geëerbiedigd, vermits de doormeter van de galerij 1,60 m bedraagt)*

Chambre d'explosion : *ontploffingskamer*

Lit de poussières : *stofbed*

Treillis : *traliewerk*

talliques disposés l'un à l'extrême de la zone de poussières, l'autre à 9,5 m en aval. Les fioles sont retirées immédiatement après l'explosion; les poussières qui s'adhèrent sont récupérées par simple rinçage à l'eau et analysées chimiquement. Afin de simplifier cette analyse, le stérile de neutralisation choisi est constitué de calcaire très pur finement broyé (100 % inférieurs à 148 µm, 80 % inférieurs à 53 µm); la poussière de charbon utilisée provient d'un charbonnage campinois (25 % M.V., 100 % inférieurs à 175 µm).

uiteinde van de stofzone en het ander op 9,5 m afwaarts. De flessen worden onmiddellijk na de ontstelling teruggetrokken; het stof dat blijft zitten wordt gerecupereerd d.m.v. een eenvoudig uitspoelen met water en het wordt scheikundig ontleed. Ten einde deze analyse te vereenvoudigen werd de gekozen neutralisatievlak samengesteld uit zeer fijn verbrijzelde kalk (100 % fijner dan 148 µm, 80 % fijner dan 53 µm); het gebruikte kolenstof komt voort uit een Kempense steenkolenmijn (25 % V.B., 100 % fijner dan 175 µm).

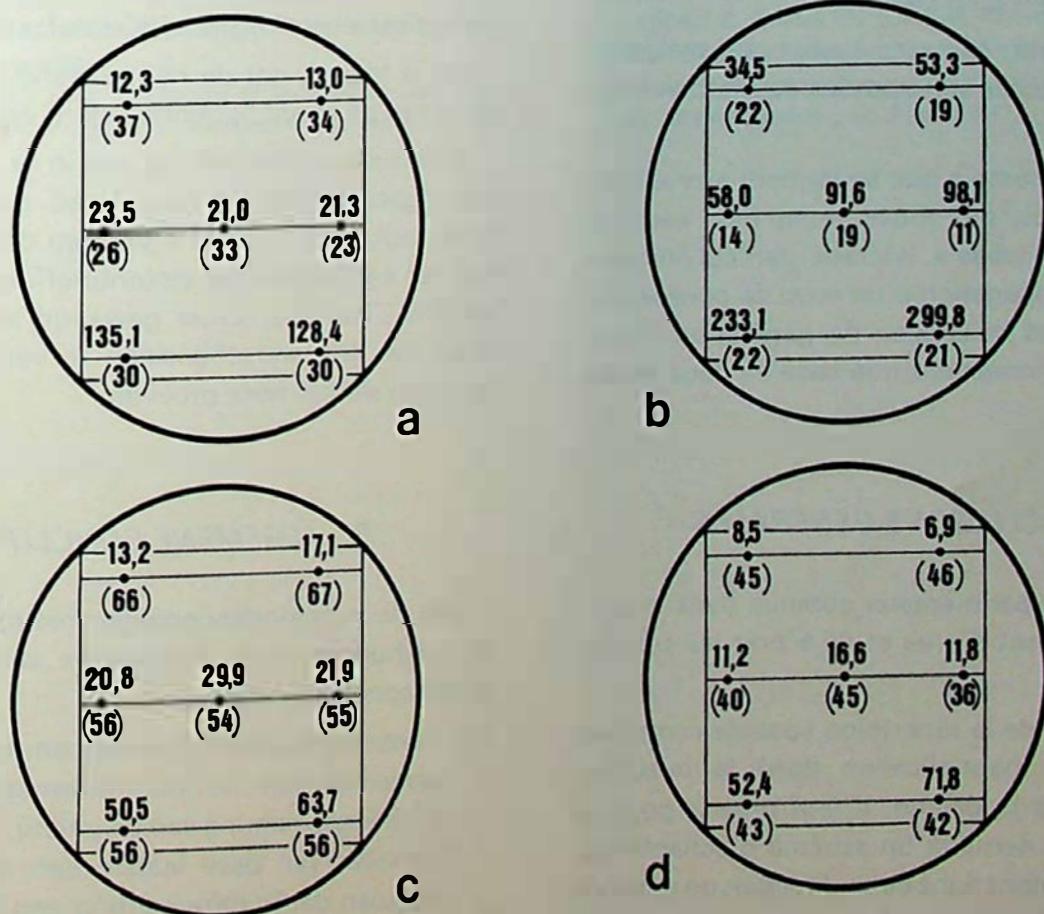


Fig. 5

*Proef in experimentele galerij - Resultaten van de bemonsteringen*

a) homogeen stofbed, traliewerk 1 - b) homogeen stofbed, traliewerk 2 - c) opgestapelde stofbedden, traliewerk 1 - d) opgestapelde stofbedden, traliewerk 2

Essais en galerie expérimentale - Résultats des prélèvements  
 a) lit de poussières homogène, treillis 1 - b) lit de poussières homogène, treillis 2 - c) lit de poussières superposées, treillis 1 - d) lit de poussières superposées, treillis 2

### 4.3. Résultats expérimentaux

Deux essais ont été effectués; dans le premier essai, le lit de poussières était homogène, et constitué d'un mélange intime de 0,8 kg de calcaire et 0,2 kg de charbon; dans le second, le lit était constitué d'une couche de poussière de charbon (0,2 kg) surmontée d'une couche, grossièrement répandue, de poussière de calcaire (0,8 kg). Ce deuxième essai schématisé donc l'effet d'une neutralisation peu soignée au mur. Aucun des deux essais n'a permis la propagation de l'inflammation.

Ces résultats d'analyse sont rassemblés aux figures 5 a, b, c, d. Ces figures indiquent à l'échelle la disposition des fioles de prélèvement par rapport à la section de la galerie expérimentale. La quantité de poussière prélevée (en mg) est reproduite au-dessus de chaque point représentatif; au-dessous, et entre parenthèses, figure le taux de neutralisation correspondant.

### 4.4. Conclusions

Le taux de neutralisation (que l'on peut sans trop d'erreur assimiler à la fraction pondérale de calcaire) des poussières prélevées est toujours nettement inférieur à ce qu'on pourrait attendre, vu la composition globale du gisement de poussières.

Très logiquement, la neutralisation est meilleure dans le cas de couches superposées de charbon et de calcaire.

D'autre part, il semble que se forment aux abords des parois latérales, des zones moins bien neutralisées, sortes de « tubes » latéraux particulièrement favorables à la propagation d'un coup de poussières. Il serait cependant hasardeux de généraliser l'existence de ces phénomènes sur la base de deux essais seulement.

## 5. CONCLUSIONS GENERALES

Des résultats expérimentaux obtenus dans le présent travail, on peut d'ores et déjà tirer les conclusions suivantes :

- 1º) Compte tenu de la répartition spatiale complexe des taux de neutralisation dans la direction transversale à la galerie, il faut prévoir pour le mur de cette dernière un schéma d'échantillonnage comprenant dans cette direction un nombre élevé de prélèvements. A cet égard, la méthode belge est la plus satisfaisante des méthodes testées, mais l'espacement entre prélèvements devrait être modifié (sans doute à une valeur comprise entre 6 et 10 m) et la longueur du

### 4.3. Proefondervindelijke resultaten

Twee proeven werden uitgevoerd : bij de eerste proef was de stoflaag homogeen en samengesteld uit een intiem mengsel van 0,8 kg kalk en 0,2 kg kolen; bij de tweede proef was de stoflaag samengesteld uit een laag kolenstof (0,2 kg) bedekt met een grofweg uitgespreide laag kalkstof (0,8 kg). Deze tweede proef schematiseert aldus het effect van een weinig verzorgde neutralisatie op de vloer. Geen van de twee proeven heeft de voortzetting van een ontvlamming toegelaten.

De resultaten van de analyse werden bijeengebracht in figuur 5 a, b, c, d. Deze figuren duiden op de schaal de rangschikking aan van de afnameflessen in vergelijking met de sectie van de proefgalerij. De hoeveelheid afgenoem stof (in mg) is weergegeven boven elk representatief punt; onderaan, en tussen haakjes w. de vereenstemmende neutralisatiegraad aangegeven.

### 4.4. Conclusies

Het neutralisatiegehalte (dat men zonder zich te vergissen met het in evenwicht zijnde kalkdeel kan gelijkstellen) van het afgenoem stof, is altijd duidelijk lager dan wat men kan verwachten, gezien de globale samenstelling van de stofafzetting.

Het is logisch dat de neutralisatie beter is in het geval van op elkaar liggende kolen- en kalklagen.

Anderzijds, schijnt het dat zich in de omtrek van de zijdelingse wanden, minder goed geneutraliseerde zones, een soort « tubes » vormen die de voortplanting van een zijdelingse stofontploffing bijzonder bevorderen. Het zou echter gewaagd zijn om het bestaan van deze verschijnselen te veralgemenen op basis van slechts twee proeven.

## 5. ALGEMENE CONCLUSIES

Van de proefondervindelijke resultaten bekomen bij het huidige werk, kunnen we van nu af de volgende conclusies trekken :

- 1º) Rekening houdend met de complexe ruimtelijke verdeling van de neutralisatiegehaltes in de overlangse richting van de galerij, moet men voor de vloer van deze laatste een monsterschema voorzien dat in deze richting een hoog aantal afnemingen inhoudt. In dit opzicht geeft de Belgische methode het meest voldoening, wat de geteste methodes aangaat, maar de afstand tussen de afnemingen zou moeten worden gewijzigd (zonder twijfel een waarde begrepen tussen 6 en

tronçon échantillonné devrait être précisée statistiquement.

- 2º) L'existence au mur de « bandes » longitudinales à taux de neutralisation homogène semble établie. Cette notion devrait cependant être précisée et le schéma d'échantillonnage futur devra en tenir compte.
- 3º) On ne peut se contenter de prélèvements au mur.
- 4º) Au toit, la localisation des prélèvements paraît sans importance, seul compte leur nombre.
- 5º) Quel que soit l'état d'homogénéité du dépôt de poussières, il se produit entre elles une ségrégation lorsqu'elles sont soulevées par le passage d'une onde de choc, et le nuage résultant comporte des zones enrichies en charbon.

L'intérêt devient évident, à partir de ces conclusions, de mettre au point un programme de recherches précis et systématique, afin de définir un protocole de prélèvement normalisé qui permette de déterminer le taux de neutralisation véritablement représentatif.

10 m) en de lengte van het bemonsterde gedeelte zou statistisch moeten gepreciseerd worden.

- 2º) Het bestaan van overlangse « banden » met een homogeen neutralisatiegehalte lijkt bewezen. Deze notie zou inmiddels moeten gepreciseerd worden en het toekomstig monsterschema zal er rekening mee moeten houden.
- 3º) Men kan zich niet tevredenstellen met afnemingen op de vloer.
- 4º) Op het dak lijkt de lokalisatie van de afname zonder belang; enkel hun aantal telt.
- 5º) Wat ook de staat van homogeniteit van de stofafzetting weze, er doet zich in het stof een afscheiding voor wanneer het wordt opgejaagd door een schokgolf, en de wolk die eruit voortkomt bevat steenkool-verrijkte zones.

Uitgaande van deze conclusies, wordt het belang duidelijk om een precies en systematisch onderzoeksprogramma op punt te stellen om zo een protocol over genormaliseerde afnamen te bepalen dat zou toelaten een echt representatief neutralisatiegehalte vast te stellen.

#### BIBLIOGRAPHIE — BIBLIOGRAFIE

- [1] CYBULSKI, N. Coal Dust Explosions and their Suppression. Ed. U.S. Dept of Commerce Springfield Va 22161, 1975.
- [2] STASSEN, J., STENUIT, R., VAN KERKHOVEN, H. Codes des Mines, Minières et Carrières, pp. 119/2, 3. Ed. Techniques et Scientifiques, Bruxelles.
- [3] Organe Permanent pour la Sécurité et la Salubrité dans les Mines de Houille. Projet d'harmonisation des procédés de contrôle de la neutralisation par schistification dans les travaux souterrains des mines de houille. Doc. n° 3419/3/77f, décembre 1977. Ed. C.E.C.A.
- [4] GILBERT, D. Etudes de quelques Paramètres influençant le Taux de Neutralisation des Poussières Inflammables dans les Galeries des Charbonnages. Travail de Fin d'Etudes. Université Libre de Bruxelles. Sc. Appl. 1981.

## Communiqué

### 7<sup>e</sup> CONFERENCE INTERNATIONALE SUR LES PRESSIONS DE TERRAINS

Liège, 20-24 septembre 1982

La Septième Conférence Internationale sur les Pressions de Terrains dans les exploitations minières se tiendra au Palais des Congrès de la ville de Liège, en Belgique du 20 au 24 septembre 1982.

Cette Septième Conférence est organisée par l'Institut National des Industries Extractives (INIEX), avec l'aide financière de la Commission des Communautés Européennes (CECA).

Les thèmes choisis sont relatifs au contrôle des terrains :

- A. dans les galeries au rocher, les descenderies et les puits;
- B. dans les exploitations par longues tailles et dans leurs voies d'accès;
- C. dans les exploitations par chambres et piliers et dans leurs voies d'accès;
- D. dans les autres types d'exploitation et face aux technologies nouvelles.

Des visites de chantiers souterrains dans les charbonnages des bassins belge et allemand ainsi que dans les exploitations à ciel ouvert des lignites du bassin d'Aachen-Köln sont organisées au cours d'une journée.

Un service d'interprétation simultanée assurera la traduction des exposés dans chacune des langues du congrès : allemand, anglais, français et néerlandais.

Pour tous renseignements, prière de s'adresser à :

Secrétariat de la 7<sup>e</sup> Conférence Internationale sur les Pressions de Terrains  
c/o INIEX  
Rue du Chéra 200  
B-4000 Liège (Belgique).

## Mededeling

### ZEVENDE INTERNATIONALE CONFERENTIE OVER GESTEENTEDRUK

Luik, 20 tot 24 september 1982

De Zevende Internationale Conferentie over Gesteentedruk zal plaatshebben in het Congressenpaleis van de stad Luik, van 20 tot 24 september 1982.

Deze zevende conferentie wordt georganiseerd door het Nationaal Instituut voor de Extractiebedrijven (NIEB) met de financiële steun van de Commissie van de Europese Gemeenschappen (EGKS).

De gekozen thema's staan in verband met de gesteentedrukbeheersing :

- A. in de steengangen, de neerhouwen en de schachten;
- B. in de ontginnings met lange pijlers en in hun toegangsgalerijen;
- C. in de ontginnings met kamers en steunpijlers en in hun toegangsgalerijen;
- D. in de andere types van ontgining en tegenover de nieuwe technologieën.

Gedurende een dag worden bezoeken georganiseerd van ondergrondse werkplaatsen in de steenkolenmijnen van de Belgische en Duitse bekens evenals van ontginnings van bruinkool in open lucht van het bekken van Aken-Keulen.

Een dienst voor simultane vertaling zal instaan voor de vertaling van de uiteenzettingen in iedere taal van het congres : Duits, Engels, Frans en Nederlands.

Voor alle verdere inlichtingen, gelieve zich te wenden tot :

Secretariaat van de 7de Internationale Conferentie over Gesteentedruk  
c/o NIEB  
Rue du Chéra 200  
B-4000 Luik (België).

# Hydrogénopyrolyse des charbons

## Etude bibliographique

Samuel FURFARI \*

### RESUME

*La présente monographie est consacrée à l'étude critique des principaux travaux publiés sur l'hydrogénopyrolyse des charbons. Les résultats sont analysés en fonction des différents modes de pyrolyse (lit fixe, lit fluidisé, lit entraîné, chauffage par effet Joule) et des variables des procédés. L'influence des principaux paramètres de l'hydrogénopyrolyse est discutée et critiquée.*

*Il ressort de cette analyse que les résultats publiés, s'ils vont tous dans le même sens, démontrant l'intérêt de ce nouveau mode de traitement du charbon, ne sont néanmoins pas toujours concordants. Ceci semble dû à la méconnaissance de certains facteurs importants. Les recherches doivent être approfondies et systématisées, car il reste de nombreux problèmes fondamentaux à résoudre.*

### SAMENVATTING

*De onderhavige monografie is gewijd aan de kritische studie van de voornaamste werken die gepubliceerd werden over steenkoolhydrogenopyrolyse. De resultaten worden ontleed in functie van de verschillende pyrolyse-wijzen (vast bed, gefluïdiceerd bed, aangedreven bed, verwarming door Joule-effect), en van de procédé-variabelen. De invloed van de belangrijkste parameters van de hydrogenopyrolyse wordt besproken en bekritiseerd.*

*Uit deze analyse blijkt dat de gepubliceerde resultaten, hoewel ze alle in dezelfde zin gaan en het belang van deze nieuwe behandelingswijze van steenkool aantonen, niet altijd overeenstemmen. Dit lijkt te wijzen aan de miskenning van zekere belangrijke factoren. De opzoeken dienen grondiger te gebeuren en moeten gesystematiseerd worden, want talrijke fundamentele problemen wachten nog op een oplossing.*

### ZUSAMMENFASSUNG

*Dieser Einzelbericht ist der kritischen Untersuchung der hauptsächlichen Arbeiten gewidmet, die über die Wasserstoff-Pyrolyse der Kohle veröffentlicht wurden. Die Ergebnisse werden in Abhängigkeit von den verschiedenen Pyrolysearten (Festbett, Wirbelbett, Mitreibbett, Erhitzung durch Joule-Effekt) und den Variablen der Verfahren analysiert. Der Einfluß der hauptsächlichen Parameter der Wasserstoff-Pyrolyse wird diskutiert und beurteilt.*

### SUMMARY

*This monograph is a critical study of the main articles published on the subject of hydrogenopyrolysis of coal. The results are analysed in terms of the different pyrolysis techniques (fixed bed, fluidized bed, entrained bed, heating by Joule effect) and the characteristic variables of the different processes. The influence of the principal parameters of hydrogenopyrolysis are discussed and criticized.*

\* Ingénieur Civil, Assistant à l'Université Libre de Bruxelles, Faculté des Sciences Appliquées, Service de Chimie Générale et Carbochimie, avenue F.D. Roosevelt 50, B-1050 Bruxelles.

*Aufgrund dieser Analyse ergibt sich, daß die veröffentlichten Ergebnisse zwar alle in die gleiche Richtung gehen und die Vorteile dieser neuen Kohleaufbereitung art deutlich machen, aber nicht immer übereinstimmen. Dies scheint auf die falsche Beurteilung bestimmter wichtiger Faktoren zurückzuführen sein. Die Untersuchungen müssen erweitert und systematisiert werden, da noch zahlreiche grundlegende Probleme zu lösen sind.*

*This analysis shows that although the results published all point in the same direction — and thus indicate the interest inherent in this new method of coal treatment — they are not always in agreement. It seems that this is due to imperfect knowledge of certain important factors. The research work must be intensified and systematized, to find answers to the many fundamental problems which remain unsolved.*

## SOMMAIRE

1. Introduction
  2. Travaux publiés
    - 2.1. Réacteur en lit fixe
    - 2.2. Réacteur en lit fluidisé
    - 2.3. Lit entraîné
    - 2.4. Chauffage par effet Joule
  3. Discussion
    - 3.1. Influence du type de charbon et de sa préparation
    - 3.2. Influence de la température d'HyPy
    - 3.3. Influence du temps de séjour des matières volatiles
  - 3.4. Influence du temps de séjour du charbon
  - 3.5. Influence de la pression
  - 3.6. Influence de la vitesse de chauffage
  - 3.7. Influence de la granulométrie
  - 3.8. Consommation d'hydrogène
  - 3.9. Elimination du soufre
  - 3.10. Mécanismes de l'HyPy
4. Conclusions
  - Références

## 1. INTRODUCTION

Le but de cette étude bibliographique est d'effectuer l'analyse critique des recherches effectuées dans le monde sur l'hydrogénopyrolyse des charbons. L'hydrogénopyrolyse consiste à effectuer la dévolatilisation du charbon sous pression d'hydrogène.

Parmi les nombreux travaux consacrés depuis 150 ans à la chimie du charbon, l'hydrogénopyrolyse (HyPy) ou hydrogénocarbonisation est un domaine relativement neuf. Le Professeur Lowe peut être considéré comme le père de la gazéification puisqu'il a pris un brevet en 1872 pour la fabrication du gaz à l'eau [1]. A partir de 1930, la liquéfaction du charbon s'est développée en Allemagne sur la base des travaux de Bergius [2] (1913). Le premier travail sur l'HyPy date de 1937 et il est l'œuvre d'une équipe anglaise (Dent) [3]. A l'époque, et jusqu'à la crise pétrolière, l'HyPy avait pour but de produire du gaz naturel de substitution (SNG); dans ce cas, hydrogénogazéification est un nom qui convient mieux au procédé. Ce n'est que dans le début des années septante que l'HyPy est

venue à l'ordre du jour. Son but principal est de former une huile partiellement hydrogénée pouvant servir de matière première pour l'industrie chimique et de carburant. En 1975, Cyprès, dans sa communication présentée à la Commission des Communautés Européennes « Techniques des Cokeries » [4], soulignait tout l'intérêt que présente la décomposition thermique du charbon sous pression d'hydrogène. Il disait : « *L'hydrogénéation limitée, consommant moins d'hydrogène et réalisable en un temps de réaction plus court que l'hydrogénéation plus poussée requise pour la production de combustibles liquides, est moins coûteuse que celle-ci alors que la valeur commerciale des produits obtenus est plus grande.*

Evidemment, une partie non négligeable du charbon est convertie en gaz. Le semi-coke (on l'appellera « char » dans la suite) résultant de l'opération peut être gazéifié intégralement, mais il est également un combustible de choix pour les centrales électriques. Cyprès [5] a repris la question en développant une filière basée sur le couplage de la dévo-

latilisation du charbon et la combustion de ce charbon « écrémé » dans les centrales électriques au charbon.

Le tableau I donne les différents modes de pyrolyse utilisés en HyPy. Les paramètres qui peuvent influencer l'HyPy sont donnés au tableau II. On les a divisés en paramètre fondamental, paramètres principaux et paramètres secondaires. Ces variables influencent la nature et les caractéristiques des produits de l'HyPy : celles-ci sont résumées au tableau III.

Dans les mêmes conditions expérimentales, il ne faut pas s'étonner de trouver des résultats sensiblement différents car, comme on le verra, le mode de pyrolyse est très important. D'autre part, il n'existe

TABLEAU I  
*Modes de pyrolyse*

Réacteur	Centres de recherche
Lit fixe	US Bureau of Mines Institute of Gas Technology, USA Columbus Laboratories, USA Brookhaven National Laboratory, USA Université Libre de Bruxelles, Belgique
Lit fluidisé	US Bureau of Mines Oak Ridge National Laboratories, USA
Lit entraîné	Cities Service RD Co, USA Institute of Gas Technology, USA Rockwell Inst./Rocketdyne Div., USA Brookhaven National Laboratory, USA University of Utah, USA Pittsburgh Energy Research Center, USA
Chauffage par effet Joule	US Bureau of Mines City College, City University, New-York, USA National Coal Board, UK Massachusetts Institute of Technology, USA

N.B. : Cette liste n'est pas exhaustive.

TABLEAU II  
*Variables indépendantes de l'HyPy*

Paramètre fondamental	Mode de pyrolyse (cf. tableau I)
Paramètres principaux	Type de charbon Température Pression d'hydrogène Pression totale
Paramètres secondaires	Temps de séjour du gaz Temps de séjour du solide Vitesse de chauffage du charbon Granulométrie Rapport massique H <sub>2</sub> : charbon Imprégnation de catalyseur Prétraitement du charbon

aucune définition rigoureuse des termes « huile » ou « liquide », ni même « char ». « Liquide » se réfère tantôt au goudron seul, tantôt au goudron et à l'eau, et parfois il englobe, en plus, les liquides extraits du char par un solvant.

TABLEAU III  
*Variables dépendantes de l'HyPy*

Rendements massiques :	- huile - gaz - char - eau
Composition de l'huile :	- aromatiques légers - phénols - asphaltènes
Composition du gaz :	CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , CO, ...
Caractéristiques du char :	- MV - % S, % N - réactivité
Consommation d'hydrogène	
Désulfuration du charbon	
Prix de revient	

## 2. TRAVAUX PUBLIES

### 2.1. Réacteur en lit fixe

Mima et al. [6] (1962) du US Bureau of Mines ont étudié l'HyPy d'un charbon bitumeux A dans un autoclave chauffé intérieurement, pouvant supporter près de 1400 atm pour une température allant jusqu'à 600 °C. La conversion en gaz et liquide est de 90 % à 480 °C et 97 % à 600 °C pour une pression de 1380 atm sans catalyseur (fig. 1). A 480 °C, le rendement en liquide est de 66 % maf avec ou sans catalyseur (celui-ci est à base de Fe). La pression en absence de Fe augmente légèrement la teneur en phénol de l'huile, alors qu'en présence de 1 % maf de fer, la teneur en phénol triple. A 600 °C, les produits obtenus sont essentiellement du méthane et de l'éthane et la petite quantité d'huile produite est surtout du benzène. L'huile produite dans tous les cas est surtout constituée de composés lourds et d'asphaltènes (fig. 2). Ce travail est, à notre connaissance, celui employant les pressions les plus élevées en HyPy, ces pressions n'étant d'ailleurs pas applicables dans un processus industriel.

Dans le cadre de l'hydrogénolyse du charbon, en vue d'obtenir principalement du méthane, un important article a été publié en 1956 par Channabasappa et Linden [7] de l'Institute of Gas Technology. Leurs essais ont été faits en réacteur fermé. Les conditions

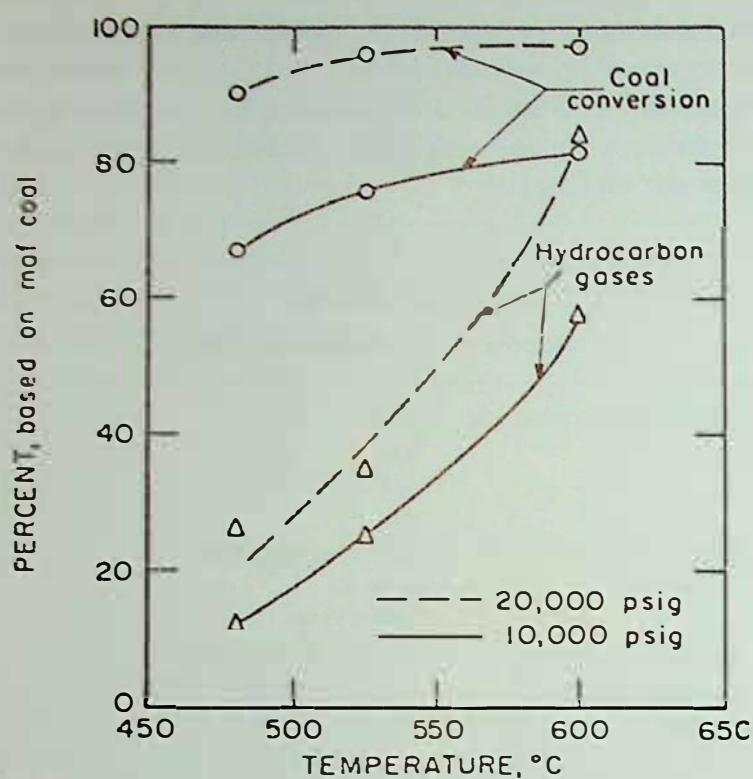


Fig. 1

Influence de la pression et de la température sur le taux de conversion du charbon et le rendement en hydrocarbures gazeux (réf. 6).

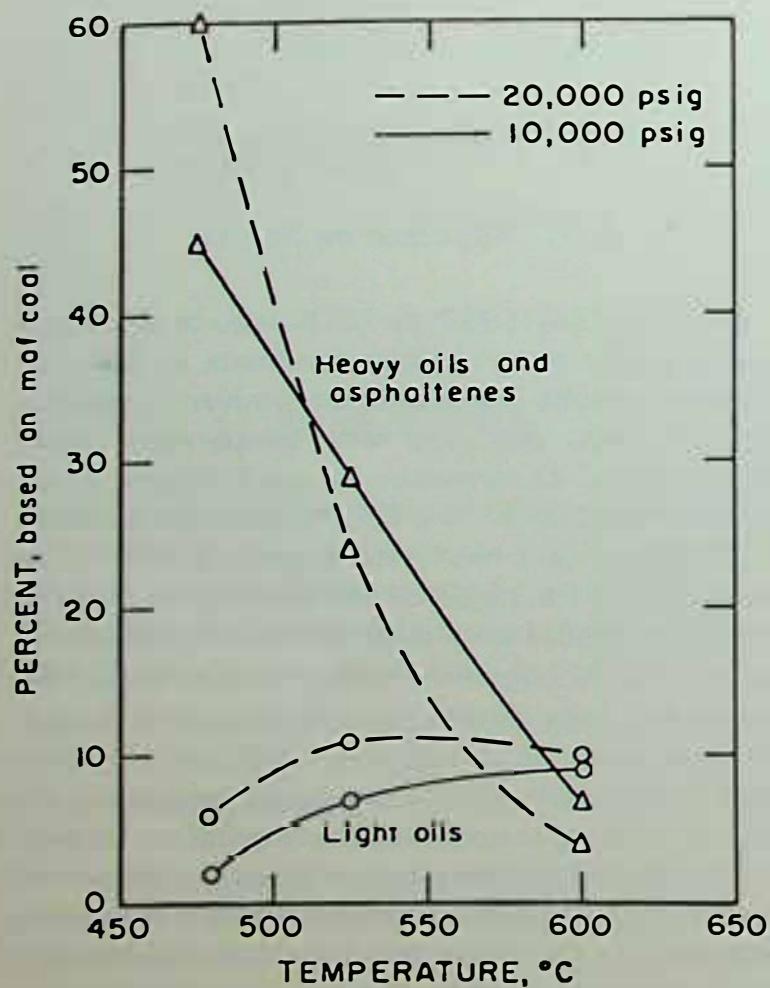


Fig. 2

Influence de la pression et de la température sur les rendements en hydrocarbures liquides (réf. 6).

expérimentales étaient les suivantes : 30 à 60 g de charbon bitumeux B; températures de réaction 650, 690 et 730 °C; temps d'essai total : 100 à 200 min à

température constante et à pression initiale de 36 à 71 atm. L'augmentation de la pression initiale, bien que diminuant la production de méthane et d'éthane ainsi que le pouvoir calorifique du gaz produit, augmente la conversion du charbon et le rendement total en gaz. De même, l'élévation de la température donne un rendement supérieur en hydrocarbures gazeux, en méthane et éthane et augmente le taux de conversion du charbon. Le procédé semble se dérouler en deux étapes : la première consiste en une pyrolyse et une hydrogénolyse des constituants les plus réactifs du charbon. La vitesse de production d'hydrocarbures est très rapide dans cette étape et une part importante des constituants peut être gazéifiée. Dans la seconde étape, l'hydrogène gazeux et le résidu réagissent pour former du méthane à une vitesse beaucoup plus lente.

Flinn et Sachsel de Columbus Laboratories ont publié [8], en 1968, un travail sur l'hydrogénopyrolyse de sable bitumeux et de charbon. Seules trois expériences ont été reportées. 20 g de charbon bitumeux sont mélangés avec un catalyseur à base de Co-Mo. La température est de 482 °C et la pression de 37 atm. Les rendements massiques ne sont pas donnés. La distillation de l'huile montre que 40-45 % passent avant 204 °C et que 85-90 % passent avant 340 °C. La teneur en S et N de l'huile est faible.

A Brookhaven National Laboratory, Growcock et Mackenzie (1976) [9] utilisent 3 mg de lignite pour leurs essais. La charge est introduite dans un lit préchauffé de particules en acier inoxydable ou en alumine sous pression d'hydrogène. La vitesse de chauffage calculée est de 10<sup>1</sup> °C/s. Les rendements en hydrocarbures produits ont été déterminés par une série de températures entre 550 et 850 °C, et des pressions d'hydrogène de 10 à 272 atm. La conversion du carbone en produits organiques à 750 °C et 102 atm est de 33 %. Si le temps de chauffage passe de 5 s à 5 min, l'augmentation du rendement en produits liquides est faible, et celui des gaz est presque doublé. Dans la plupart des conditions, le méthane et le benzène prédominent, particulièrement pour les conditions donnant le rendement optimal en liquide. Pour un temps de chauffage de 5 s, le rendement maximal en liquide est obtenu à 750 °C et 272 atm. Le rendement en gaz continue à augmenter avec la pression et la température, le méthane constituant plus de 95 % des gaz à 850 °C. Le rendement en goudrons varie de 20 à 40 % du total. En élevant le temps de séjour des vapeurs produites de 0,3 à 9,7 s, on ne modifie pas sensiblement les rendements en méthane et benzène, mais les rendements des autres hydrocarbures et des goudrons sont considérablement réduits.

Cyprès et Furfari [10] ont construit, à l'Université Libre de Bruxelles, un réacteur qui peut traiter 100 g de charbon sous 100 atm et 900 °C. Avec un charbon

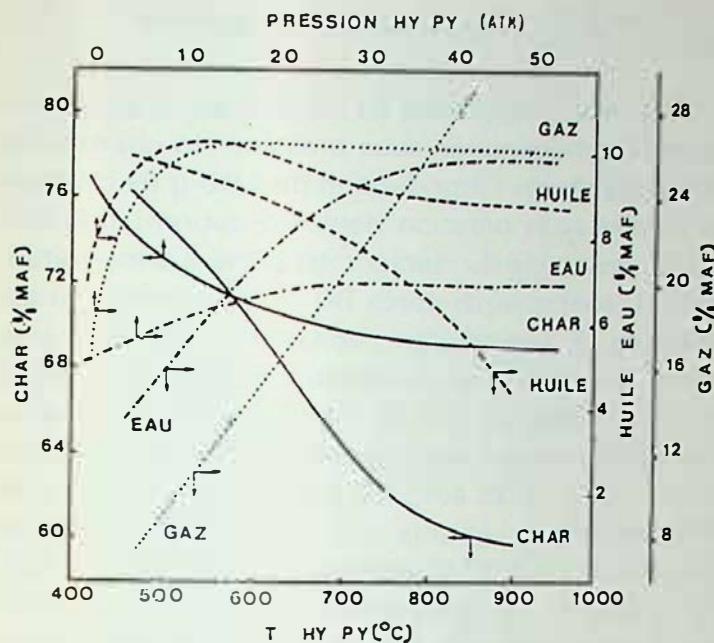


Fig. 3

Influence de la pression à 580 °C et influence de la température à 30 atm sur les rendements (% MAF) en char, huile, gaz et eau  
 $\tau = 60 \text{ s}, < 500 \mu\text{m}$   
(réf. 10)

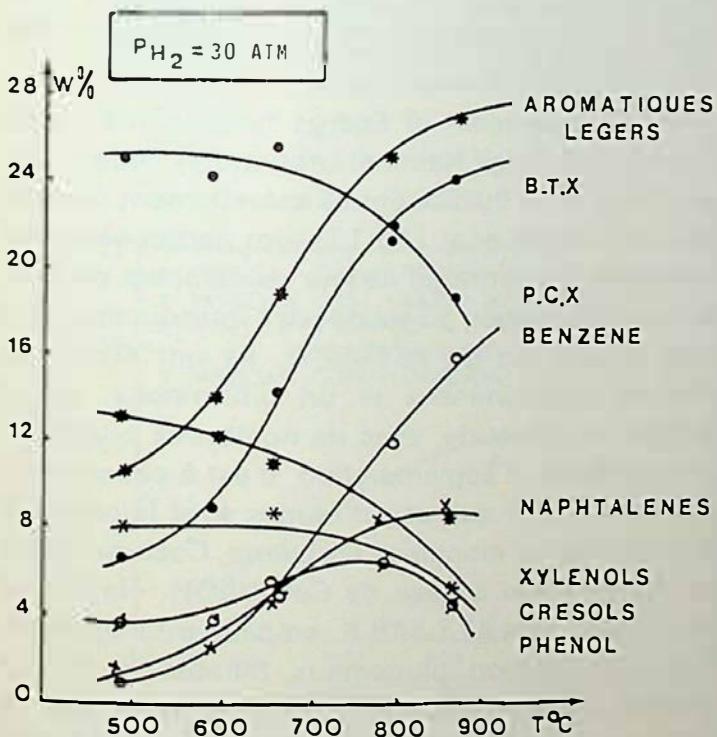


Fig. 4 :

Composition de l'huile en fonction de la température  
 $\tau = 60 \text{ s} < 500 \mu\text{m}$   
(réf. 10)

de Beringen à 32,8 % de matières volatiles, nous avons fait varier [10] la température entre 480 et 850 °C à une pression fixe de 30 atm d'hydrogène et, à 580 °C, on a étudié le rôle de la pression entre 0 et 50 atm. Le temps de séjour du gaz vecteur est de l'ordre de 60 s et la vitesse de chauffage est faible (10 °C/min). Au-delà de 700 °C (fig. 3), la dévolatilisation du charbon est supérieure à la teneur normalisée des MV. Même à faible vitesse de chauffage, il est possible d'obtenir le taux de dévolatilisation atteint à

grande vitesse de chauffage. La variation de la concentration en BTX, PCX et naphtalènes est donnée à la figure 4 en fonction de la température d'HyPy. La quantité d'aromatiques légers croît avec la température. Les phénols, au contraire, sont en concentration maximale dans les huiles de basse température. La déshydroxylation des phénols a lieu à 700 °C. La vitesse de disparition des créosols est sensiblement la même que celle de leur formation par désalkylation des xylénols. L'augmentation des phénols est une conséquence des deux processus. La production en phénol est optimale vers 750 °C. La déshydroxylation des PCX contribue à l'augmentation de la teneur en BTX entre 600 et 800 °C. La figure 5 montre que, pour les aromatiques légers, la pression d'hydrogène est importante, à 580 °C, entre 1 et 20 atm. Ceci n'est pas vrai pour les PCX. La quantité de naphtalènes passe de 1,2 sous 1 atm à 3,6 % sous 50 atm.

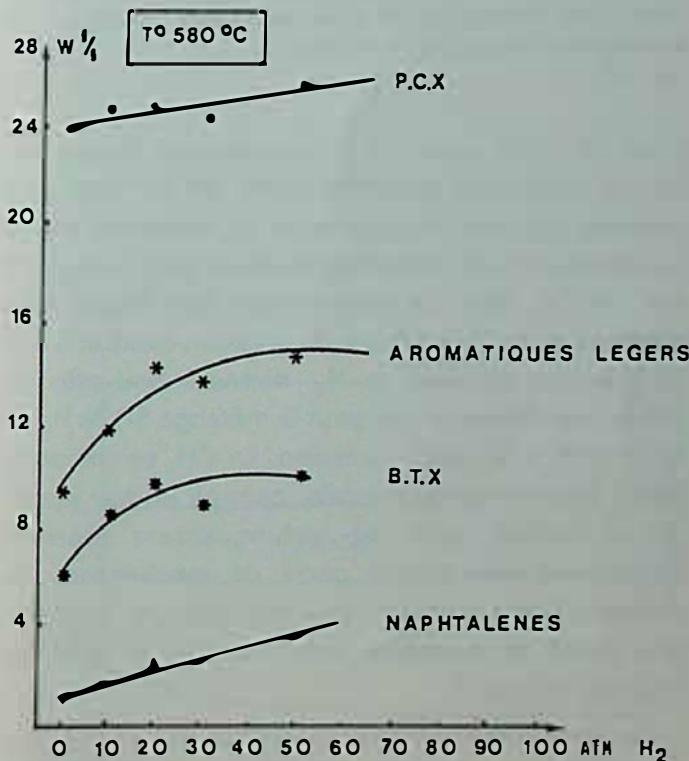


Fig. 5 :  
Composition de l'huile en fonction de la pression d'hydrogène  
 $\tau = 60 \text{ s} < 500 \mu\text{m}$   
(réf. 10)

Ces auteurs ont étudié l'influence de la pression partielle de CH<sub>4</sub> dans le mélange gazeux pour déterminer dans quelles conditions il est possible d'effectuer l'HyPy au moyen du gaz produit recyclé [11]. Pour élucider le rôle du méthane, on a également utilisé un mélange H<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>. Les expériences ont été faites à 580 °C sous une pression totale de 10 atm et de 40 atm. La figure 6 représente l'évolution des rendements en huile, semi-coke et eau. La conversion en huile croît avec la pression partielle d'hydrogène. Sous une pression totale de 10 atm, si l'on utilise un mélange 75 % H<sub>2</sub> — 25 % CH<sub>4</sub> et 0 % H<sub>2</sub> — 100 % CH<sub>4</sub>, les rendements en huile tombent respective-

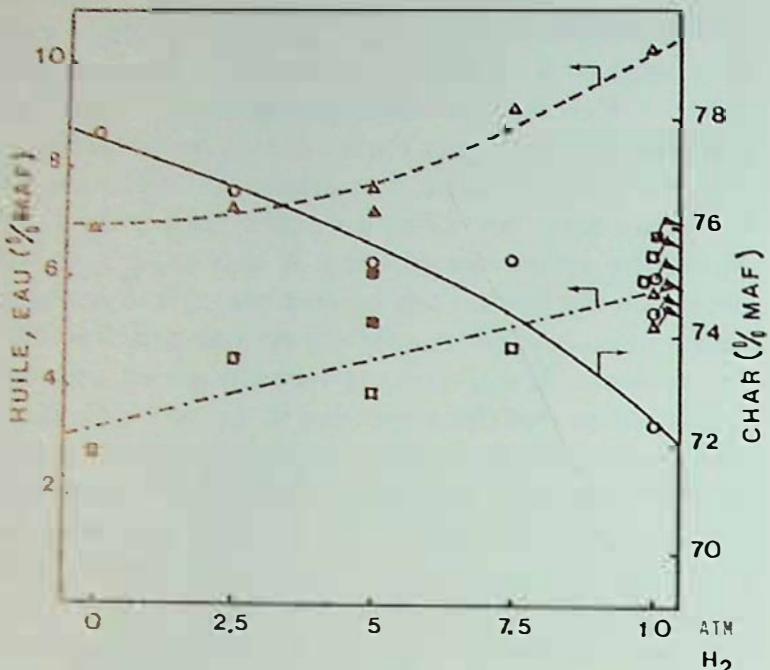


Fig. 6 :

Rendements (% MAF) en huile  $\Delta$ , semi-coke  $\circ$ , et eau  $\square$ , 580 °C,  $P_t = 10$  atm, mélanges  $H_2-CH_4$  (sauf points pleins : mélanges  $H_2-N_2$ , et points avec drapeau :  $P_t = 40$  atm) (réf. 11)

ment de 11 % et de 33 % par rapport à  $H_2$  pur. Par contre, sous une pression totale de 40 atm, une pression partielle de 10 atm de  $H_2$  ne permet même pas d'atteindre le rendement en huile obtenu sous 10 atm de  $CH_4$  seul. La comparaison avec l'essai sous mélange de  $H_2-N_2$  à 10 atm de pression totale et 5 atm de pression partielle de  $H_2$ , donne à peu près les mêmes rendements que pour le mélange 50 %  $H_2$  — 50 %  $CH_4$ , à la même pression. Le  $CH_4$  se comporte donc, à cette pression totale, comme un gaz inert. On a montré qu'il est techniquement possible, moyennant une légère perte de rendements, de réaliser l'HyPy avec un recyclage des gaz produits. Une étude économique devra montrer si cette hypothèse se justifie.

Par thermogravimétrie, Cyprès et Furfari [11] ont étudié les chars d'HyPy. La teneur en MV résiduelles diminue linéairement avec la température d'HyPy suivant l'équation : % MV = 28,9 — 0,03 T (°C). Dans nos conditions expérimentales, la teneur résiduelle en MV du char diminue à température d'HyPy constante, asymptotiquement avec la pression d' $H_2$  et tend vers une valeur constante. A pression constante, elle est déterminée et diminue avec la température d'HyPy.

Du charbon de Sulcis (Sardaigne) à 4,45 % de soufre a également été traité dans notre installation [12, 13]. On a montré que, sous 30 atm de  $H_2$  à 580 °C et 850 °C, respectivement 51,4 et 45,2 % du soufre sont éliminés dans les gaz, alors que 41,4 et 49,8 % du soufre de départ restent dans le char. Cette augmentation de la teneur en soufre du char est due à la forte teneur en  $CaCO_3$  et  $MgCO_3$  du charbon de Sulcis : le  $H_2S$  formé est fixé par les cendres.

## 2.2. Réacteur en lit fluidisé

Clark *et al.* [14] au US Bureau of Mines ont étudié l'hydrogénération sous pression du charbon en lit fluidisé. Après l'introduction de 100 g de charbon et la mise sous pression dans un courant d'hydrogène, l'ensemble du réacteur est porté à température (600 °C sont atteints après 80 min). La réaction est effectuée à température constante pendant une heure. Un essai avec de l'hélium à 600 °C a donné 9,1 % d'huiles et 6,7 % d'hydrocarbures gazeux. Ces rendements augmentent avec la pression d'hydrogène : à 35 atm, 22,2 % d'huiles et 17,3 % d'hydrocarbures gazeux et, à 70 atm, 24,6 % d'huiles et 25,1 % d'hydrocarbures gazeux, à 600 °C. A 500 °C, les rendements sont légèrement inférieurs mais augmentent également avec la pression d'hydrogène. Parallèlement, les rendements en semi-coke diminuent avec l'augmentation de pression. L'analyse des goudrons indique que la fraction d'huiles légères et asphaltenes : à 600 °C et 35 atm, la composition est respectivement de 13,5 % et 74,2 %, alors qu'à 70 atm, elle est de 43 % et 55,3 %. Une pression élevée semble donc favorable à tout point de vue.

Le US Department of Energy finance, via Union Carbide (Oak Ridge National Laboratory), le seul projet d'HyPy en lit fluidisé étudié actuellement. Les travaux de Cochran *et al.* [15-17] sont particulièrement intéressants. Le principe de leur réacteur est de réaliser une recirculation du solide par l'introduction d'un tube à l'intérieur du lit (fig. 7). Ils ont étudié un charbon subbitumineux et un bitumineux. En lit fluidisé, on se heurte, avec de nombreux carbons, aux problèmes d'agglomération; c'est à cause de ce problème crucial que peu d'études sont faites en lit fluidisé. Pour surmonter ce problème, Cochran utilise un prétraitement à base de  $CaO-NaOH$ ,  $Na_2CO_3$  et  $Na_2CO_3-CaO$  vers 473-548 K, empêchant l'agglomération du charbon bitumineux (Illinois n° 6). Le charbon subbitumineux (Wyodak) ne pose pas de problème d'agglutination. La méthode la plus simple pour éviter l'agglomération est l'oxydation, mais l'auteur prétend que le rendement en huile diminue alors fortement [15]. L'HyPy est effectué à 21 atm entre 694 et 850 K sur 45 kg de charbon. Les rendements en liquide passent de 5 à 21 % lorsque la température croît de 694 à 850 kg (fig. 8). A 850 K, le rendement en gaz est de 19 %, celui en char de 48 % et ils obtiennent également 12 % d'eau. Les rendements en gaz augmentent avec la température, ainsi que le pouvoir calorifique du gaz et du char. La teneur en matières volatiles du char diminue avec la température. La concentration en S dans le char est sensiblement la même que celle du charbon de départ (0,5 %). Les rendements en fonction de la pression [15] sont repris à la figure 9. La consommation

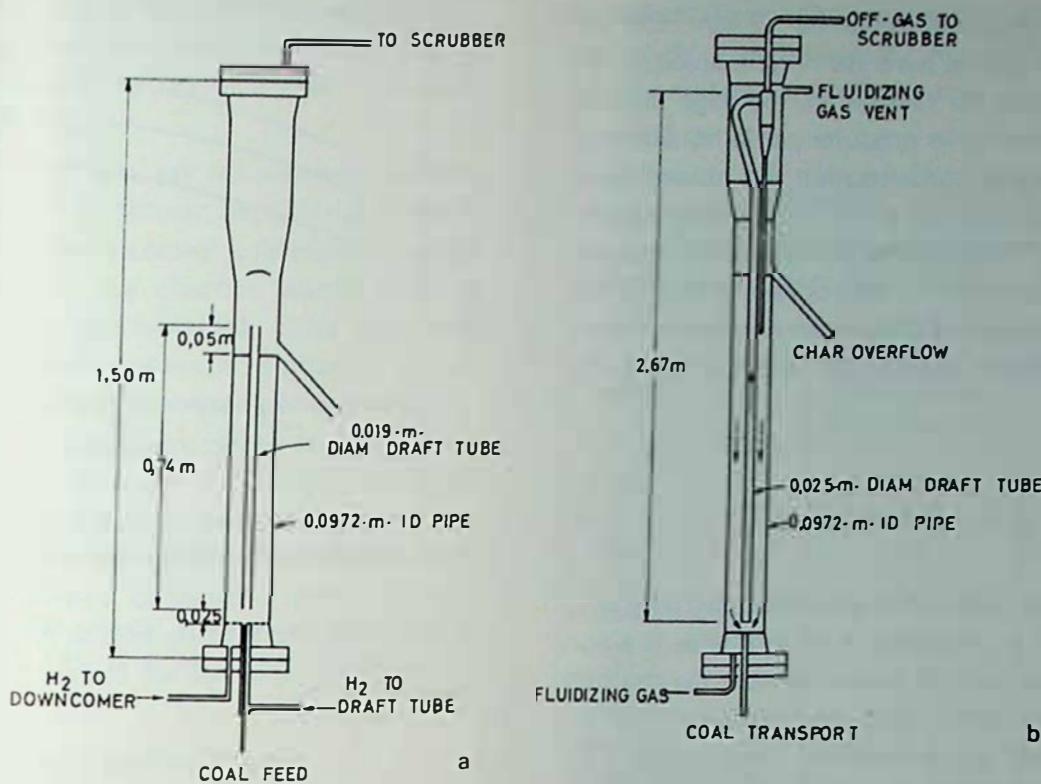


Fig. 7 :

- a : Réacteur à lit fluidisé avec recirculation
- b : Réacteur d'hydrogénopyrolyse rapide

(Reprinted with permission from Ind. Eng. Chem., Prod. Res. Dev., 1980, 19 (1), 29-34. Copyright 1980 American Chemical Society)

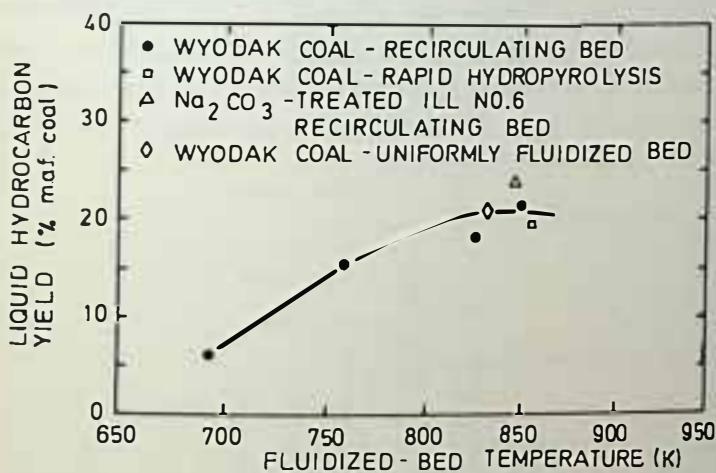


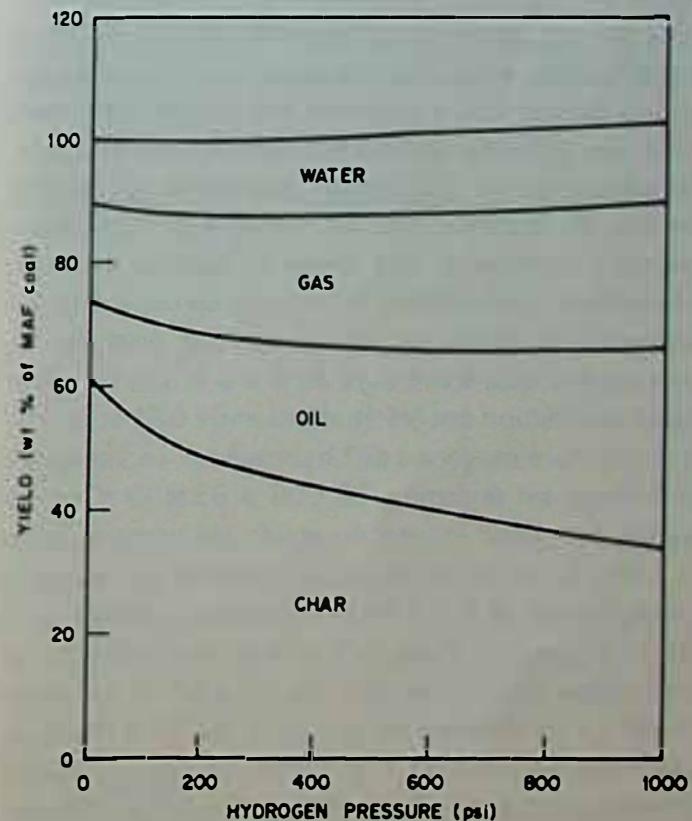
Fig. 8 :

Influence de la température sur le rendement en huile (réf. 16)

(Reprinted with permission from Ind. Eng. Chem., Prod. Res. Dev., 1980, 19 (1) 29-34. Copyright 1980 American Chemical Society)

d'hydrogène dépend fortement des conditions d'HyPy et, dans certains cas, il peut même y avoir production de H<sub>2</sub>.

Le Clean Coke Process [18] développé par US Steel et expérimenté déjà à l'échelle semi-industrielle, a pour but la production de coke métallurgique à partir d'un charbon à coke à haute teneur en soufre. Une partie du charbon est liquéfiée par le procédé « Solvent Refined Coal ». L'autre partie du charbon subit une HyPy en lit fluidisé à une température allant



#### « Coal Conversion Technology »

Fig. 9 :

Rendements d'hydrogénopyrolyse d'un charbon subbitumineux à 566 °C (réf. 15)

(Cochran H.D. Jr. in « Coal Conversion Technology », Pelofsky A.H. Ed., ACS Symposium Series No. 110; American Chemical Society : Washington, DC 1979, p. 40)

jusqu'à 785 °C et une pression de 12 atm. Elle est effectuée avec le gaz de pyrolyse recyclé après purification. Le char qui en résulte est mélangé avec la fraction lourde de l'huile produite par la liquéfaction et agglomérée. Après carbonisation, on obtient ainsi un bon coke métallurgique à 0,8 % de soufre à partir d'un charbon à 2 % de soufre. Le Clean Coke Process a été conçu dans ce but. L'hydrogénopyrolyse a été choisie comme moyen d'obtenir un coke pulvérulent désulfurisé au départ duquel on fabrique un coke moulé.

### 2.3. Lit entraîné

La plupart des recherches actuelles en HyPy sont effectuées dans un réacteur à lit entraîné. Il s'agit dans chaque cas, soit de laisser tomber du charbon dans un tube chauffé, soit de l'entraîner par un courant ascendant ou descendant d'hydrogène. Ces réacteurs sont actuellement utilisés en échelle pilote ou vont l'être prochainement, car le lit entraîné permet d'éviter le problème de l'agglomération du solide puisque la distance entre les grains de charbon est suffisamment grande. Hiteshue du US Bureau of Mines a proposé ce type de réacteur en 1966 [19].

Cities Service Research and Development Company a construit une unité de traitement d'environ 1 kg/h; elle est décrite par Pelofsky, Greene et La Delfa [20] (1977). De l'hydrogène sous pression et chaud entraîne avec lui le charbon pulvérulent. Le mélange se fait de manière à atteindre des vitesses de chauffage très grandes. Le charbon tombe alors en chute libre à travers les 123 cm du réacteur et est recueilli en bas du réacteur. Par un système de refroidissement à l'hydrogène, une partie du réacteur peut être refroidie et, en modifiant la longueur de cette zone, on influence le temps de séjour des gaz produits. La plupart des essais ont duré de 4 à 5 h. Les températures de réaction ont été étudiées entre 621 et 857 °C (température moyenne de l'hydrogène). La vitesse de chauffage est énorme : 28.000 à 83.300 °C/s. Le temps de séjour moyen du solide est compris entre 0,1 et 3 s. Le temps de séjour maximal des vapeurs produites est de 0,8 à 14 s. La pression étudiée varie de 34 à 204 atm. Avec du lignite du North Dakota, ils obtiennent une conversion de 40 à 85 % en poids (maf). Le rendement en gaz varie de 14 à 65 % et celui des liquides de 4 à 16 %. La consommation d'hydrogène est de 3 à 9,9 % en poids de charbon. Les principaux produits sont le méthane et le benzène. La figure 10 montre l'évolution asymptotique de la conversion avec la température et avec la vitesse de chauffage.

Greene [21] a utilisé différentes configurations de réacteur. Celles-ci sont reprises à la figure 11. Il utilise toujours le même lignite. L'auteur montra l'impor-

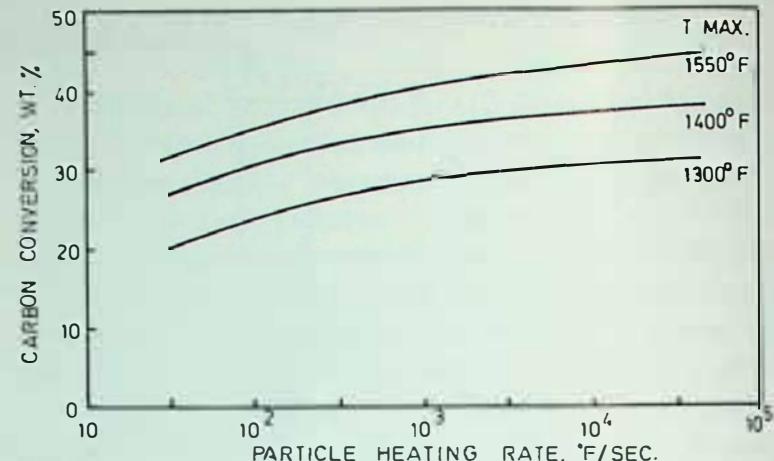


Fig. 10 :

Hydrogénogazéification de lignite : influence de la vitesse de chauffage et de la température sur la conversion du carbone (réf. 20)

(Reprinted from Pelofsky A.H., Greene M.I., LaDelfa C.J., Energy Communications, Vol. 3, No. 3, p. 267 1977 by courtesy of Marcel Dekker, Inc.)

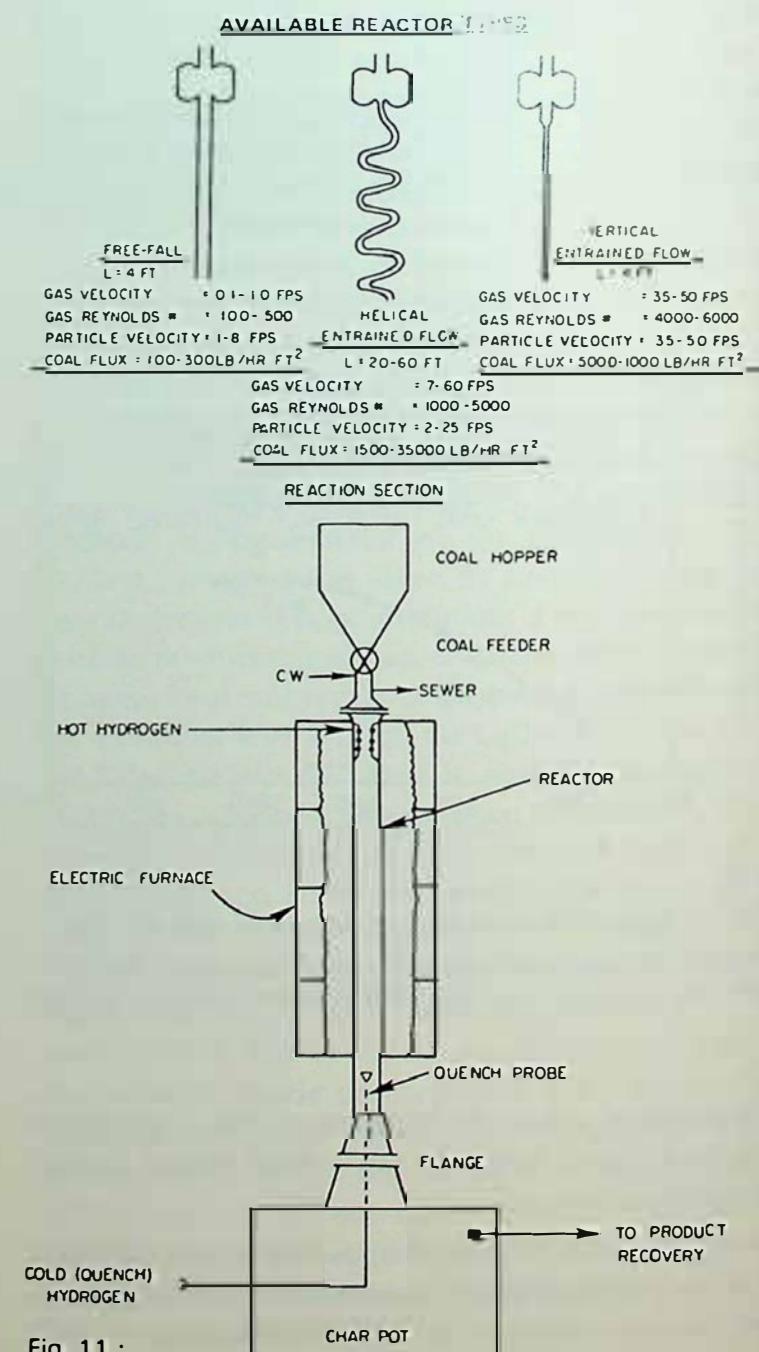


Fig. 11 :

Comparaison des réacteurs étudiés en laboratoire (réf. 21)

(Reprinted from Greene M.I., Fuel Processing Technology, Vol. 1, 1977-1978, p. 171, by courtesy of Elsevier Scientific Publishing Company)

tance du temps de séjour des matières volatiles produites sur leur composition. Des produits de plus en plus légers se forment au fur et à mesure qu'augmente le temps de séjour.

Hamshar *et al.* [22] donnent les résultats obtenus, à partir d'un charbon subbitumineux, dans le même appareil et pour les mêmes conditions expérimentales citées plus haut [21]. Le charbon étudié contient 59,7 % maf de matières volatiles. Sans décrire ici l'ensemble des résultats obtenus, signalons que la formation de méthane est favorisée par une température et un temps de séjour élevé. La conversion en éthane présente un maximum en fonction du temps de séjour : il provient à la fois de la réaction primaire du charbon et des réactions secondaires des matières volatiles qui, elles-mêmes, dépendent fortement de la température. Les BTX se comportent comme l'éthane et leur rendement maximal est de l'ordre de 10 % du carbone mis en œuvre. La figure 12 illustre ces principaux résultats.

En 1980, Greene *et al.* [23] reprennent ce type de réacteur mais modifient les conditions expérimentales de manière à produire plus de produits utilisables par la pétrochimie. La principale différence est qu'ils travaillent à 700 °C au lieu de 870 °C, sous une pression de 150 atm au lieu de 100 atm. Le tableau IV donne les rendements des produits obtenus dans chacun des cas. Cette publication relève plus de l'économie de l'HyPy que de son aspect scientifique. Nous n'examinerons pas ici les données économiques reprises dans chaque publication de Cities Services. Signalons cependant le travail détaillé de

La Delfa et Greene [24] montrant que le SNG produit par l'HyPy ne coûte que 80 % du prix de revient de celui produit par le procédé Lurgi.

TABLEAU IV (réf. 23)

*Procédé d'hydrogénopyrolyse-éclair : rendements du réacteur « bench-scale ». Lignite*

Composé	Mode pétrochimique (% poids sur sec)	Mode gazéification * (% poids sur sec)
Méthane	12.52	21.45
Ethane	7.19	5.95
Propane	23.6	0
Butane	0.35	0
Monoxyde carbone	11.91	10.36
Dioxyde carbone	Traces	0.55
BTX	4.74	6.88
Huile légère	12.87	Traces
Ammoniac	1.17	0.91
Sulfure d'hydrogène	0.23	0.73
Phase aqueuse	15.50	16.04
Char	36.03	42.99
Consommation d'hydrogène (kg de H <sub>2</sub> / kg de charbon sec)	0.049	0.059
Conversion du carbone (% poids)	60.2	50.0

\* Réf. 21

(Reprinted from Greene M.I., Fuel Processing Technology, Vol. 3, 1980, p. 79, by courtesy of Elsevier Scientific Publishing Company)

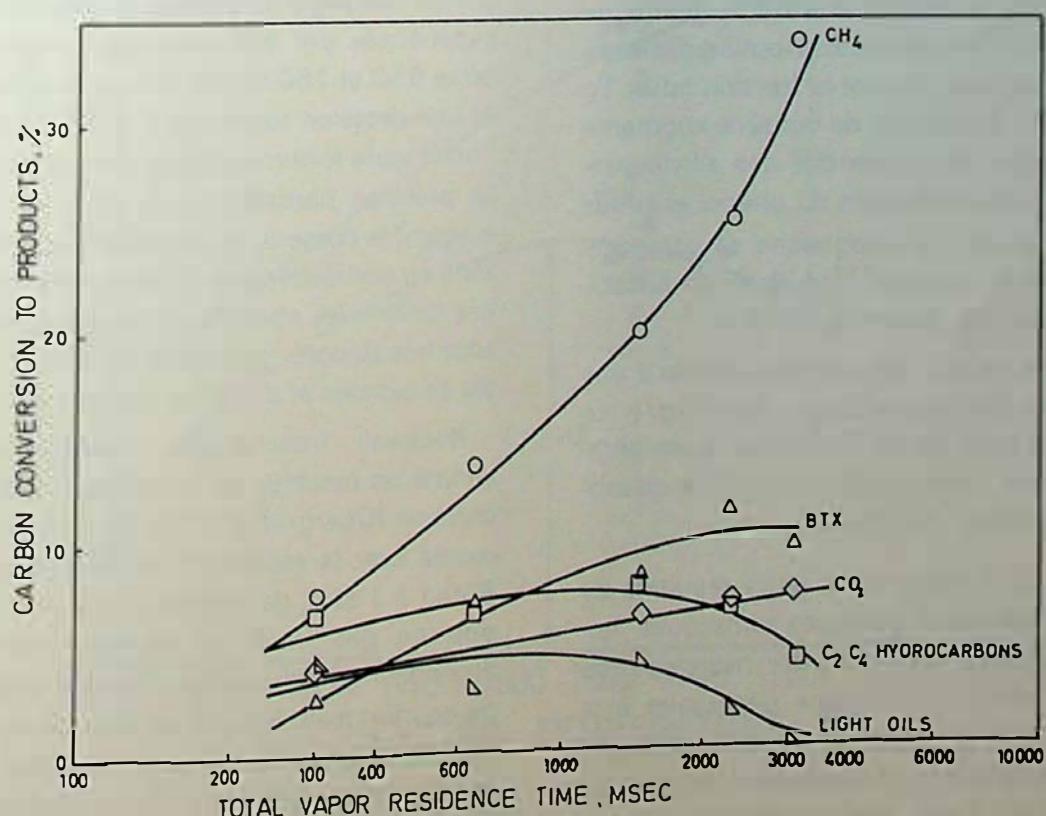


Fig. 12 :  
Influence du temps de séjour sur le taux de conversion du carbone; pression totale : 100 atm; température moyenne du réacteur : 855 °C; charbon subbitumineux du Montana (Rosebud)

L'étude de Singh [25], faite par le US Department of Energy, démontre également l'intérêt du procédé Cities Service d'HyPy.

Feldkirchner et Linden [26] (1962) de l'Institute of Gas Technology ont utilisé un réacteur en lit entraîné pour produire du méthane. Le réacteur est alimenté dès qu'il a atteint la température choisie (705-930 °C) et que la pression est stabilisée à 105 atm-175 atm. Le gaz vecteur est, soit de l'hydrogène, soit de la vapeur d'eau, soit un mélange des deux. Les liquides sont produits en quantités non mesurables et le méthane est le principal hydrocarbure obtenu; seules quelques traces d'alcanes à longues chaînes, d'alcènes et d'aromatiques ont été formées. Cette étude a été réalisée pour étudier essentiellement la cinétique de gazéification.

À l'Institute of Gas Technology, Duncan, Beeson et Oberle [27-29] (1978) ont réalisé une installation pouvant traiter jusqu'à 5 kg/h de charbon. Le réacteur est un tube de 3,2 mm de diamètre intérieur, boudiné en hélice et placé dans une enceinte chauffée. Le charbon utilisé est du lignite du North Dakota à 45 % maf de matières volatiles. Il est entraîné par un débit de H<sub>2</sub> froid et le mélange entre dans le bas du réacteur, d'où le nom du procédé : « Riser Cracking of Coal ». La température étudiée varie de 760 à 816 °C pour des temps de séjour de 2 à 4 s. Les deux pressions utilisées sont 103 atm et 138 atm. Le réacteur est chauffé non uniformément de manière à obtenir un profil de température; la vitesse de chauffage n'est pas donnée. Ils obtiennent jusqu'à 49 % de conversion de carbone introduit en CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O et hydrocarbures liquides (13-15 %). Si la pression partielle de H<sub>2</sub>, la température et le temps de séjour augmentent, il y a une redistribution des composés chimiques qui constituent la fraction huile. En particulier (fig. 13), la quantité de benzène augmente avec une diminution de l'ensemble des alkylbenzènes, tout comme une diminution du phénol et autres aromatiques oxygénés. Le naphtalène se comporte également comme le benzène. Une étude de faisabilité économique est donnée en fin d'article.

Les mêmes auteurs [30] donnent les détails d'une installation « Riser Cracking of Coal » de 45 kg/h. La chaleur nécessaire pour porter le réacteur à température est obtenue par l'introduction de faibles quantités d'O<sub>2</sub> dans le réacteur lui-même.

Duncan et al. [31] reprennent leurs résultats de 1978 [27] et développent quelques remarques, notamment l'importance du prix du recyclage de l'hydrogène. En effet, l'hydrogène nécessaire à la réaction est de 4-5 % en poids de charbon, alors que l'hydrogène nécessaire à la circulation du charbon est de 10,5 à 45,8 %. Dans une publication récente (1980), Duncan et Paganessi [32] donnent des résultats de l'HyPy de tourbe. Le procédé Peatgas est

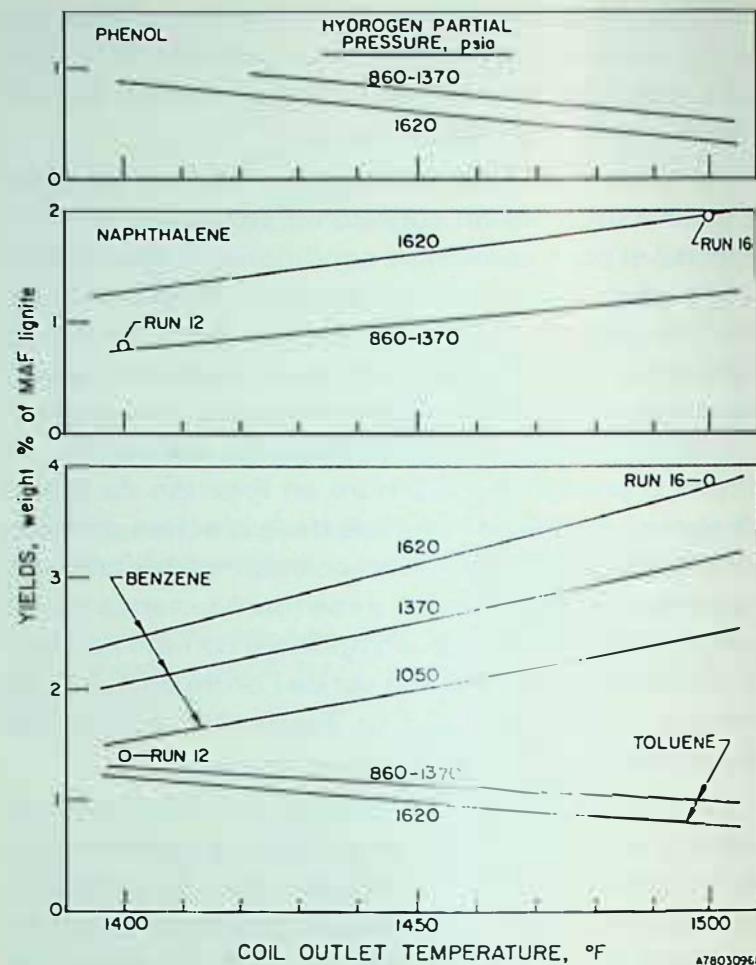


Fig. 13 :

Influence de la température et de la pression partielle d'hydrogène sur les rendements en produits chimiques (réf. 27)

un procédé de gazéification à deux étages. La tourbe est séchée à contre-courant avec les gaz produits dans le premier étage d'hydrogazéification. Le char formé passe alors dans le fond du réacteur où il est gazifié par un mélange de vapeur d'eau et d'oxygène. Les expériences ont été conduites à des températures entre 650 et 760 °C, un temps de séjour de 2 à 10 s et une pression totale de 7 à 34 atm. La qualité de l'huile varie fortement avec ces conditions de travail. La pression partielle de H<sub>2</sub> et la température augmentent le contenu en aromatiques légers, et le benzène en particulier, aux dépens des composés oxygénés comme les phénols. Si les conditions de réaction sont très douces, on obtient des quantités importantes de cétones et d'acides organiques.

Rockwell International/Rocketdyne Division a adopté un réacteur de fusée pour réaliser l'HyPy du charbon (Oberg et al. [33, 34]). Le charbon est alimenté avec le minimum de H<sub>2</sub> (160:1 à 69 atm et 810:1 à 1 atm) de manière à ne pas devoir chauffer trop de gaz froid. La chaleur est apportée par l'hydrogène : celui-ci est d'abord préchauffé à contre-courant avec les gaz sortant de la réaction; il est ensuite surchauffé dans le réacteur de fusée par combustion partielle avec de l'oxygène. L'installation traite 1 t/h de charbon (même agglutinant). Le chauffage est dans ces conditions ultra rapide (~ 10.000 °C/s) et le temps de séjour est très court

(< 0,5 s). Les produits sortants sont refroidis brutalement (« quenching ») par un jet d'eau. La conversion en liquide (fig. 14) est de 35 % maximum (par rapport au carbone) vers 840 °C, 35-70 atm et 34-274 ms de temps de séjour. Si celui-ci passe à 640 ms, l'ensemble des liquides se transforme en gaz et principalement en méthane (fig. 15). Le rendement en BTX augmente si la température et la pression croissent et si la granulométrie diminue. Le rendement maximal en BTX est obtenu à 960 °C et 69 atm et il est dans ces conditions de 12 % (fig. 16). La consommation d'hydrogène dépend fortement des conditions expérimentales et peut atteindre 8 % en poids de charbon.

Brookhaven National Laboratory travaille pour le US Department of Energy sur l'HyPy éclair du charbon (Flash Hydropyrolysis FHP) et les moyens mis en œuvre sont importants. Steinberg et Fallon [35] (1974) utilisent un réacteur de 19 mm de diamètre intérieur et de 2,5 m de longueur. Du lignite du North Dakota ou du charbon subbitumineux du New-Mexico broyé à  $\leq 150 \mu\text{m}$  est entraîné par un courant d'hydrogène dans le réacteur porté à 700 °C et 69-104 atm. Le temps de séjour varie de 16 à 38 s. Le taux de conversion (en % du carbone introduit) varie de 18 à 25 % pour les liquides et de 27 à 40 %

pour les gaz. Le liquide est essentiellement du benzène (60 %) et le gaz, du méthane et de l'éthane. Le rendement en liquide est favorisé par une diminution du temps de séjour du charbon. Si ce dernier reste constant, on observe une diminution du rendement en liquide si l'alimentation en charbon est augmentée. L'emploi d'un gaz inert (Ar) dans les mêmes conditions produit beaucoup moins d'hydrocarbures gazeux et liquides et l'addition de 1 % de molybdate ammonique au lignite a peu d'effet sur les rendements. La consommation maximale d'hydrogène extérieur est de 5 % en poids du charbon.

Steinberg et al. [36] (1978) décrivent une installation (fig. 17) plus perfectionnée, surtout du point de vue instrumentation : un calculateur on-line analyse l'ensemble des résultats. Les conditions limites d'emploi sont 272 atm — 800 °C ou 170 atm — 900 °C. La présence d'hydrogène favorise sensiblement la formation d'hydrocarbure : 10 % de BTX et 10 % d'huile sont obtenus vers 725-800 °C sous 136 atm (fig. 18) et, au-delà de cette température, ces rendements diminuent. Bien que la pression d'hydrogène favorise la formation de liquide, son effet devient moins prononcé au-delà de 136 atm. Au-delà de 775 °C, un temps de séjour du charbon, supérieur à 5-7 s, cause une décomposition des li-

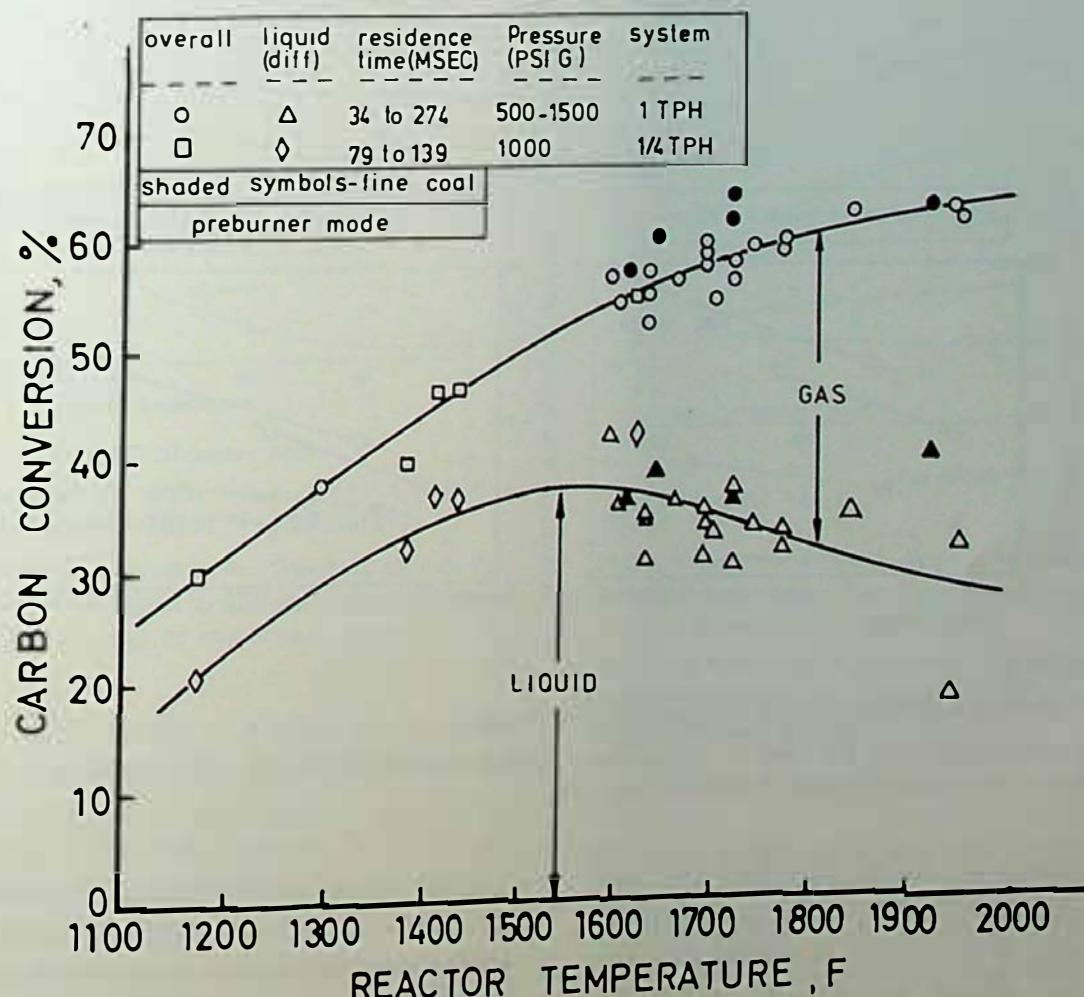


Fig. 14 :

Influence de la température du réacteur sur le taux de conversion du carbone (réf. 34)

(Reprinted from Oberg C.L., Falk A.Y., Silverman J., Coal Processing Technology, 1979, 5, 182-3, by courtesy of American Institute of Chemical Engineers)

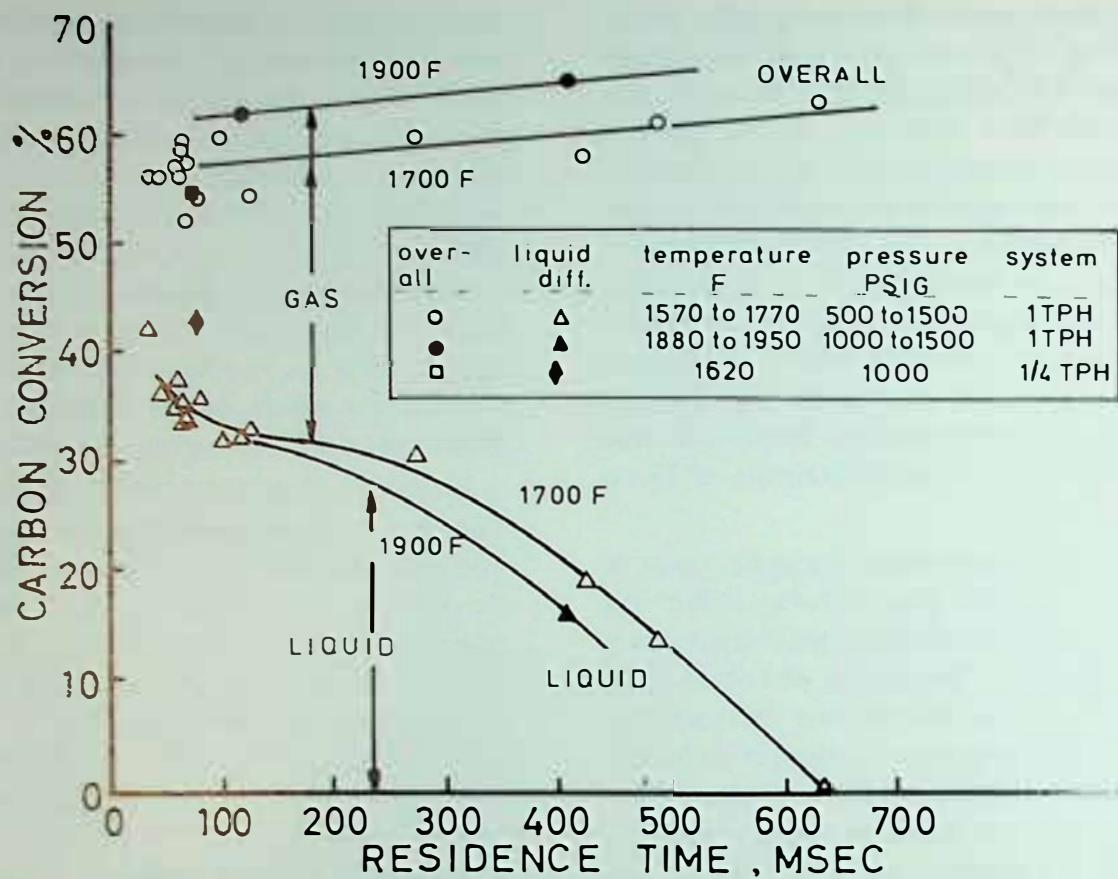


Fig. 15 :

Influence du temps de séjour sur le taux de conversion du carbone (réf. 34)

(Reprinted from Oberg C.L., Falk A.Y., Silverman J., Coal Processing Technology, 1979, 5, 182-3, by courtesy of American Institute of Chemical Engineers)

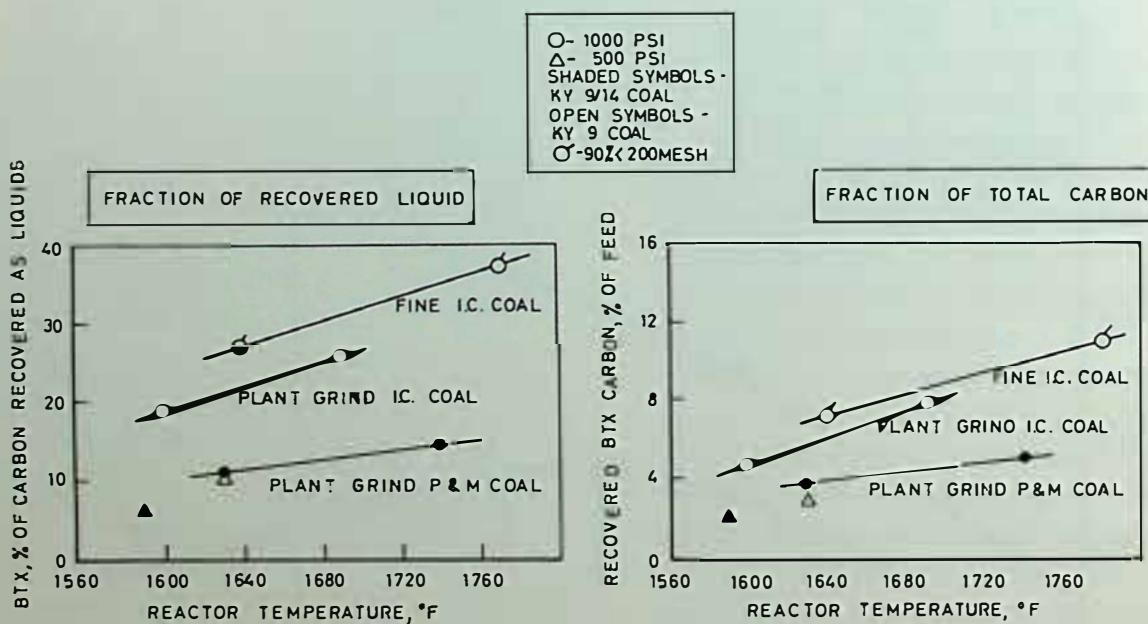


Fig. 16 :

Influence de la température sur le rendement en BTX (réf. 34)

(Reprinted from Oberg C.L., Falk A.Y., Silverman J., Coal Processing Technology, 1979, 5, 182-3, by courtesy of American Institute of Chemical Engineers)

quides. Si la pression augmente vers 270 atm, des problèmes d'agglomération du charbon surgissent. A 875 °C et 172 atm, la conversion maximale (fig. 19) en hydrocarbures gazeux est atteinte (90 % du carbone). Un modèle mathématique est développé à partir des résultats obtenus. Dang et Steinberg [37] (1979), ainsi que Bhatt *et al.* [38] (1980), approfondissent ce modèle mathématique.

Fallon, Bhatt et Steinberg [39] (1980) reprennent les résultats qui viennent d'être décrits. Ils analysent également la répartition du soufre et de l'azote. Plus de 50 % de soufre du lignite sont retenus dans le char. Environ 64 % du soufre du lignite sont sous forme organique contre 90 % du soufre du char. Le liquide ne contient que 0,3 % de soufre. L'azote se comporte sensiblement comme le soufre.

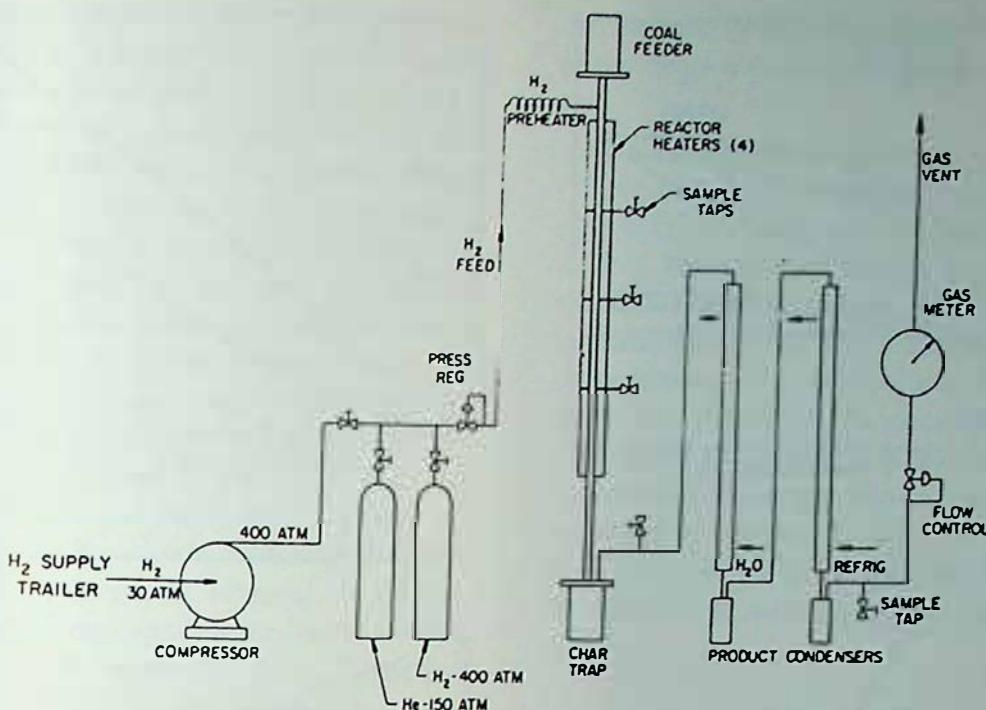


Fig. 17 :

Schéma de l'installation en lit entraîné (réf. 39)

(Reprinted from Fallon P.T., Bhatt B. and Steinberg M. Fuel Processing Technology, Vol. 3, 1980, p. 156, by courtesy of Elsevier Scientific Publishing Company)

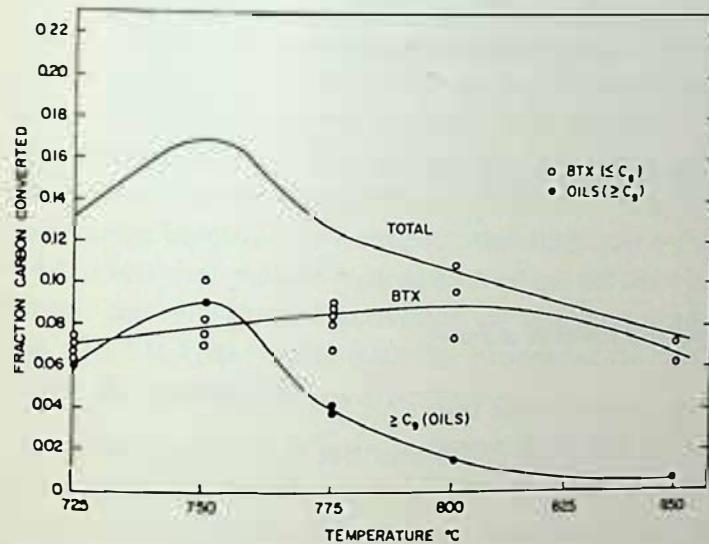


Fig. 18 :

Hydrogénopyrolyse éclair du lignite. Influence de la température sur le rendement en liquide. Pression : 140 atm (réf. 39)

(Reprinted from Fallon P.T., Bhatt B. and Steinberg M. Fuel Processing Technology, Vol. 3, 1980, p. 160, by courtesy of Elsevier Scientific Publishing Company)

Qader et al. [40] (1969) de l'University of Utah décrivent un réacteur en acier 316 de 50 mm de diamètre intérieur et 1,22 m de longueur. Le système est construit pour supporter 340 atm à 25 °C. Le charbon bitumineux, imprégné de catalyseurs ( $\text{SnCl}_2$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_2$ , ...), est mélangé avec du char dans la proportion 1:1 pour éliminer les problèmes d'agglomération. Les conditions d'HyPy sont 400-700 °C et 34-204 atm. L'optimum de conversion en liquide est obtenu à 515 °C et 132 atm.

Wood et Wiser [41] (1976), toujours à l'University of Utah, utilisent un tube en spirale de 4,8 mm ou de

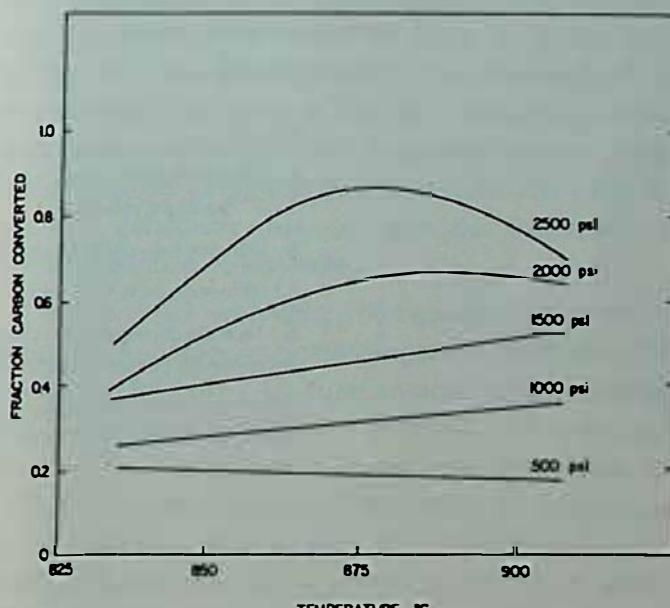
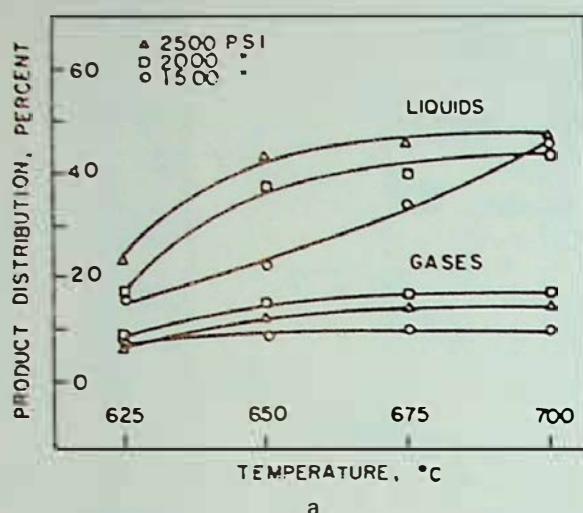


Fig. 19 :

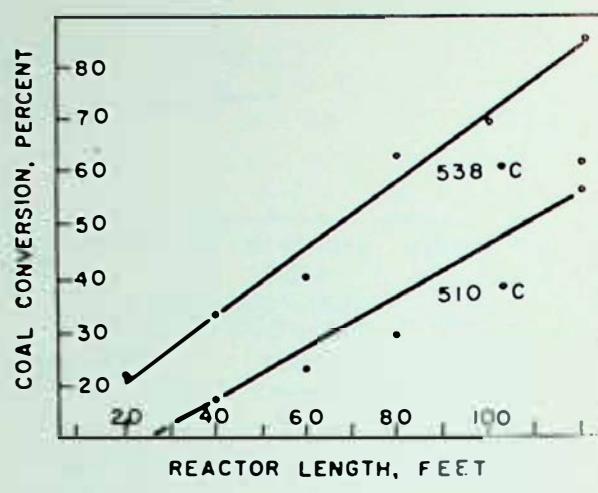
Hydrogénopyrolyse éclair du lignite. Rendements maximaux en hydrocarbures gazeux ( $\text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_6$ ) en fonction de la température; temps de séjour : 2,4 à 7,0 s (réf. 39)

(Reprinted from Fallon P.T., Bhatt B. and Steinberg M. Fuel Processing Technology, Vol. 3, 1980, p. 162, by courtesy of Elsevier Scientific Publishing Company)

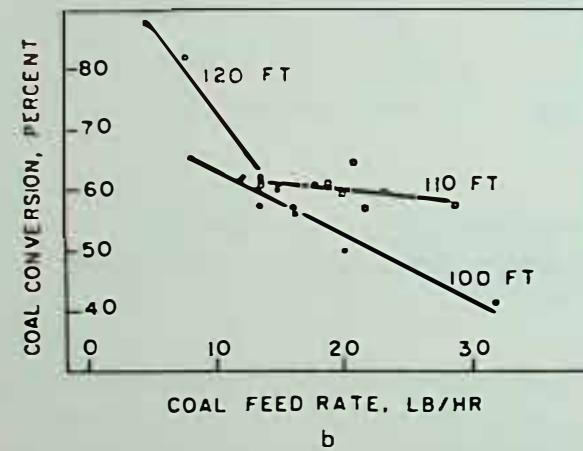
6,4 mm de diamètre intérieur et dont la longueur varie de 6,8 à 40,8 m. Le charbon, finement broyé, est entraîné par de l'hydrogène. La température atteint 700 °C et les pressions étudiées sont 103, 138 et 172 atm. Le poids de gaz formé est déterminé par différence. Le charbon (Hiawatha, Utah), à 48,7 % maf de matières volatiles, est imprégné de 5 % de  $\text{ZnCl}_2$ , avant d'être traité. La figure 20 donne l'influence des différents paramètres étudiés. Un ac-



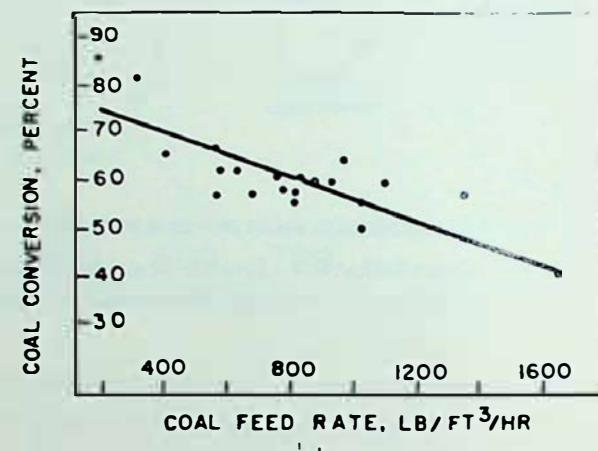
a



c



b



d

Fig. 20 :

a : Influence de la pression et de la température pour le réacteur de 1/4" diamètre intérieur

b : Influence du débit de charbon

c : Influence de la longueur du réacteur

d : Taux de conversion du charbon en fonction du débit de charbon en terme de vitesse superficielle (réf. 41)

(Reprinted with permission from Ind. Eng. Chem., Process Des. Dev., 1976, 15 (1), 144-9. Copyright 1976 American Chemical Society)

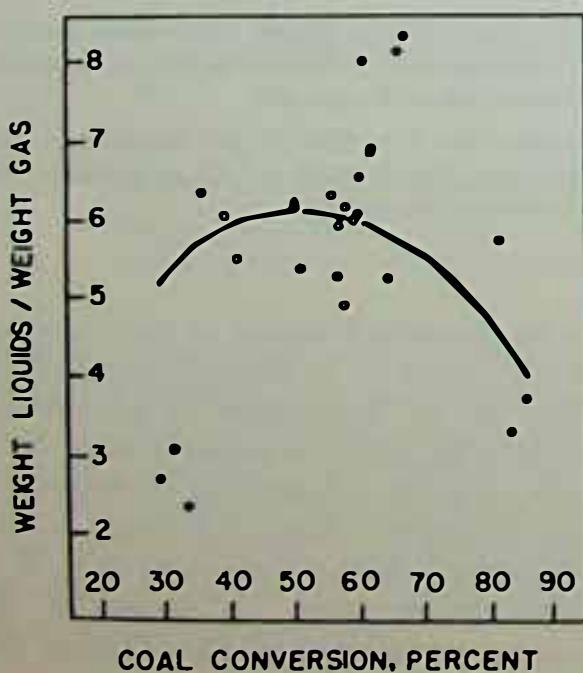


Fig. 21 :

Corrélation entre le rapport poids de liquide/poids de gaz et le taux de conversion du charbon (réf. 41)

(Reprinted with permission from Ind. Eng. Chem., Process Des. Dev., 1976, 15 (1), 144-9. Copyright 1976 American Chemical Society)

croissement de température ou de pression provoque une augmentation de la conversion en liquide et gaz. A pression élevée, la formation de liquide continue à croître, alors que celle en gaz diminue. Un tube plus long, donc un temps de séjour plus grand, permet d'atteindre la même conversion à plus basse température que celle obtenue à plus haute température dans un tube plus court. On voit que, si la charge augmente, la conversion diminue. Pour des débits d'hydrogène trop faibles, des bouchages ont été observés. Des rendements jusqu'à 70 % (50 % liquide, 20 % gaz, surtout CH<sub>4</sub>), peuvent être obtenus à 500 °C et 124 atm dans un tube de 19,4 à 40,8 m. Le liquide est un mélange complexe dont la teneur en BTX n'est pas donnée (le liquide contient également la phase extraite du char par du toluène). Puisque le but de l'opération est de produire du liquide et non pas du gaz, comme le montre la figure 21, il est intéressant de ne pas atteindre des taux de conversion du charbon trop élevés. Le char s'enrichit en soufre par rapport au charbon de départ : celui-ci en contient 0,88 % maf, alors que la teneur en soufre du char est 1,35 % maf si la conversion a été de 60 % et de 3,53 % maf si elle a été de 80 %.

Dans le même laboratoire, avec la même technique, Lytle *et al.* [42] (1981) traitent un charbon (Clear Creek, Utah) à environ 46 % de matières volatiles. Ce travail concerne plus la cinétique de conversion globale que la nature des produits obtenus. L'énergie d'activation calculée de l'addition de l'hydrogène est de 44,5 kcal par mole d'hydrogène, ce qui est dans la gamme des énergies d'activation généralement admise (25-50 kcal/mole) pour les processus de conversion du charbon par hydrogénéation.

Lantz [43] (1977) a fait une étude du procédé de l'University of Utah pour le US Department of Energy. Une synthèse des résultats est donnée. Lantz insiste sur le fait que la réaction est exothermique (100 cal/g) et qu'elle est suffisante pour maintenir la température de réaction une fois le régime atteint. Le catalyseur ZnCl<sub>2</sub> semble agir comme un agent de transfert pour l'hydrogène, favorisant l'hydrogénéation dans la phase gazeuse. Lantz conclut que le procédé n'est intéressant que si le catalyseur est facilement récupérable, ce qui n'est pas encore le cas.

Au Pittsburgh Energy Research Center (US Department of Energy), reprenant l'idée de Hiteshue [19], Feldmann *et al.* [44] (1974) utilisent un réacteur de 76 mm de diamètre intérieur et de 1,52 m de longueur, alimenté au sommet par du charbon broyé et de l'hydrogène. Le chauffage est assuré par un four faisant varier la température d'HyPy de 480 à 900 °C; les pressions étudiées sont comprises entre 34 et 136 atm. Le but de cette étude est la production de méthane. La quantité d'huile obtenue est faible et difficile à mesurer. De l'eau est produite (de 1 à 8 %

du charbon). Le soufre est éliminé sous forme de H<sub>2</sub>S et son degré d'élimination est fonction de la conversion.

Plus récemment, Chambers et Yavorsky [45] (1978) utilisaient le même principe que Feldmann *et al.* [44] (1974), mais avec un réacteur de 83 mm × 2,74 m. Les charbons étudiés sont un charbon bitumineux C (Illinois n° 6) et du lignite du North Dakota. Les mesures sont réalisées à 900 °C et 68 atm et dans ces conditions on obtient surtout du méthane, ce qui est le but de l'étude. La conversion maximale du charbon est de 37 à 45,1 % maf pour Illinois n° 6 et 46,6 à 63,7 % pour le lignite. La production d'eau est de 3-4 % maf pour Illinois n° 6 et de 8-28 % maf pour le lignite. La consommation en hydrogène est sensiblement la même pour les deux charbons (2 à 4,5 %).

#### 2.4. Chauffage par effet Joule

Nous plaçons dans cette catégorie les procédés où le chauffage du réacteur se fait par effet Joule. Les deux types étudiés sont le tube ou la grille. Le charbon, placé à l'intérieur du tube ou entre deux grilles, est chauffé rapidement par passage d'un courant électrique dans le réacteur. Ce type de réacteur est très intéressant dans le cas des études cinétiques et études générales de laboratoire. On peut facilement concevoir que ce type de réacteur n'a aucune ambition industrielle.

Les premiers à avoir conçu ce type de réacteur sont Hiteshue, Anderson et Schlessinger du US Bureau of Mines en 1957 [46]. Un tube en acier inoxydable de 5/16" de diamètre intérieur et de 70" de longueur est chauffé par passage d'un courant électrique de 700 A. Dans ces conditions, la vitesse de chauffage est de l'ordre de 400 °C/min. Une charge de 8 g de charbon (bitumineux C) est placée au centre du tube; un courant d'hydrogène, maintenu sous une pression de 211 à 562 atm, fixe le temps de séjour des matières volatiles formées. Le temps de séjour du solide est fixé par la durée de passage du courant électrique. La température étudiée est de 800 °C. La plupart des essais ont été effectués en utilisant un catalyseur à base de Mo. Comme on le voit sur la figure 22, les principaux produits obtenus sont des hydrocarbures gazeux et le rendement en huile est de l'ordre de 10 %.

Plus tard (1960), avec le même appareil, Hiteshue, Anderson et Friedmann [47] ont étudié l'HyPy de divers autres charbons pour une pression de 422 atm, une température de 800 °C et un temps de chauffage de 0 à 15 min. Remarquons que, pour ces deux articles, les auteurs donnent les caractéristiques du courant d'hydrogène sous forme de débit volumique (100 SCF/h) plutôt qu'en termes de temps de

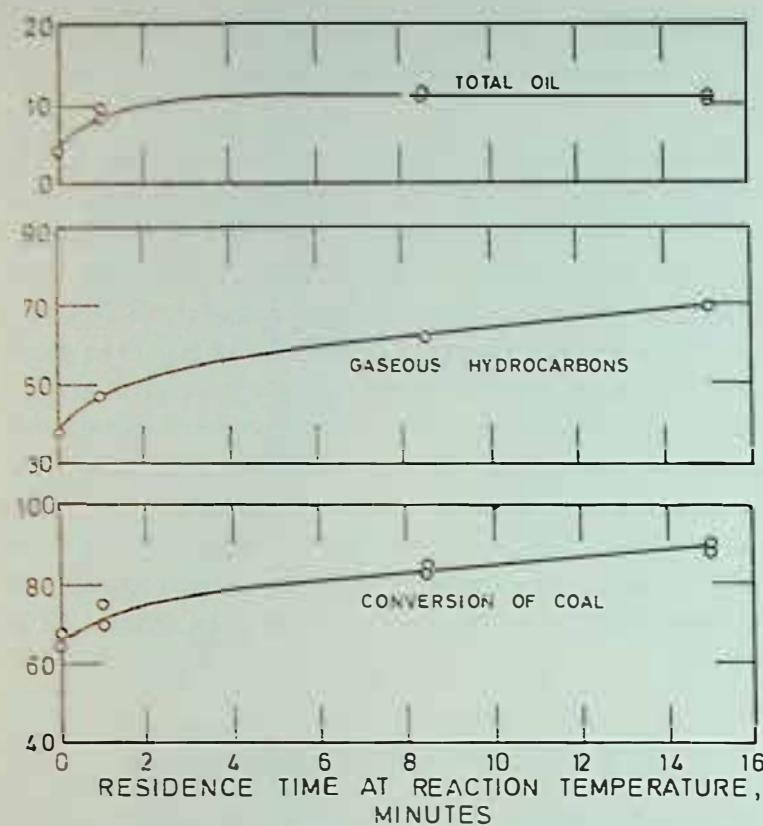


Fig. 22 :

Influence du temps de séjour sur le taux de conversion du charbon et les rendements en hydrocarbures gazeux et en huile (réf. 46)  
(Reprinted with permission from Ind. Eng. Chem., 1957, 49 (12). 2008-10. Copyright 1957 American Chemical Society)

séjour des matières volatiles. L'influence du temps de séjour des MV n'est que brièvement examinée. La figure 23 montre que, pour tous les charbons, le taux de conversion augmente avec le temps de séjour du charbon. Cependant, les rendements en huile, contrairement aux gaz, ne sont pas influencés par ce paramètre (fig. 24 et fig. 25). L'huile se forme pendant la période de chauffage à 800 °C. Ensuite,

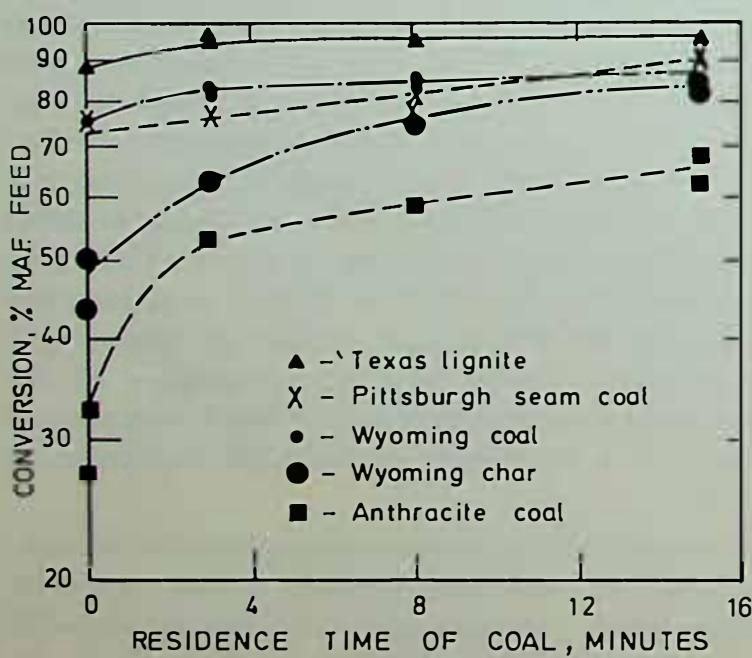


Fig. 23 :

Taux de conversion du charbon en fonction du temps de séjour du charbon (réf. 47)  
(Reprinted with permission from Ind. Eng. Chem., 1960, 52 (7). 577-9. Copyright 1960 American Chemical Society)

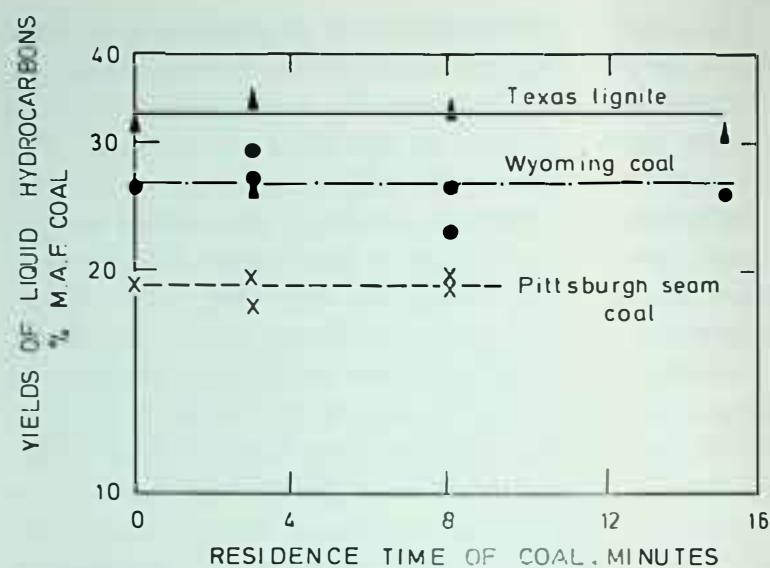


Fig. 24 :

Rendement en huile en fonction du temps de séjour du charbon (réf. 47)

(Reprinted with permission from Ind. Eng. Chem., 1960, 52 (7). 577-9. Copyright 1960 American Chemical Society)

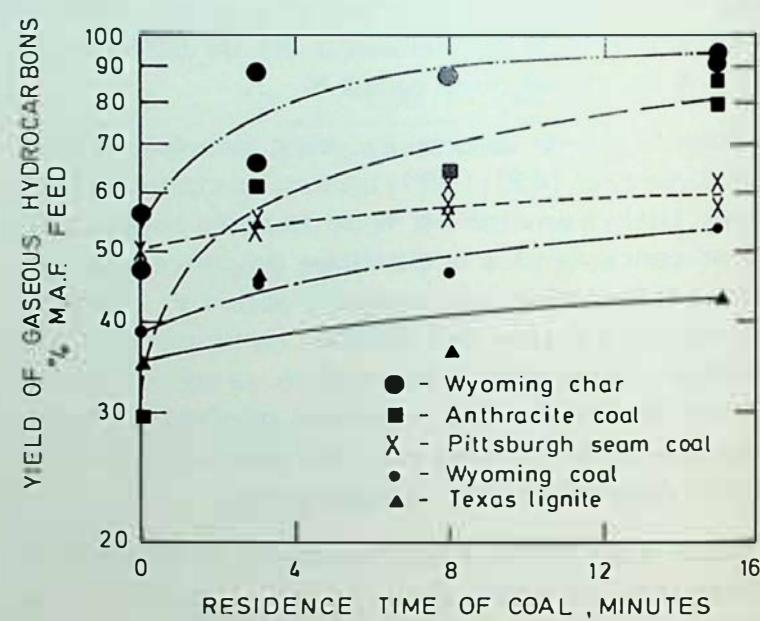


Fig. 25 :

Rendement en gaz en fonction du temps de séjour du charbon (réf. 47)

(Reprinted with permission from Ind. Eng. Chem., 1960, 52 (7). 577-9. Copyright 1960 American Chemical Society)

l'hydrogène réagit avec le carbone du char, pour donner essentiellement du méthane. Ils observent également qu'une augmentation du temps de séjour des MV de 6 à 30 s provoque un accroissement des hydrocarbures gazeux de 53 à 82 % et une perte de rendement en huile de 26 à 45 %. Mais le poids moléculaire moyen de l'huile diminue et sa teneur en benzène et naphtalène croît.

En 1972, R.A. Graff [48] de City College of the City University of New-York a remis l'HyPy à l'ordre du jour, et son équipe a repris ce type de réacteur en 1975. Plusieurs publications y sont consacrées [49-54].

Le principe de leur appareil est repris à la figure 26. Il peut supporter 100 atm jusqu'à 1000 °C. Le principal inconvénient de ce type d'étude est que la charge de charbon n'est que de 10 mg (Illinois n° 6). La vitesse de chauffage est de 650 °C/s, bien que certains essais aient été faits avec des vitesses de 20 et 1400 °C/s. Le temps de séjour des matières volatiles est déterminé par la position du charbon dans le tube et par le débit d' $H_2$ . En fin d'essai, pour doser le char, de l'oxygène est envoyé dans le réacteur, de manière à convertir tout le carbone résiduel en  $CO_2$ . Malgré la très faible quantité de charbon mise en jeu, les auteurs prétendent avoir un bilan carbone entre 91 et 102 %. Le tableau V illustre l'influence des différents paramètres étudiés [50]. Une vitesse de chauffage élevée a un effet favorable sur la conversion totale, mais pour obtenir un rendement optimal en BTX, 650 °C est la vitesse la plus favorable. Une vitesse de chauffage de 1400 °C/s modifie peu les rendements par rapport à 650 °C/s. Il faut signaler que malheureusement, dans l'essai à 20 °C/s, les auteurs ont modifié également le temps de séjour du solide; il est difficile de séparer l'effet de chaque paramètre. Une autre série d'expériences montre que la conversion totale augmente pour un plus long temps de séjour du solide. L'influence du temps de séjour montre clairement son importance si on examine le rendement en benzène.

La publication suivante de cette équipe [51] étudie plus en détail le rôle de la température du temps de séjour des matières volatiles pour une vitesse de chauffage de 650 °C/s sous 100 atm et pour un

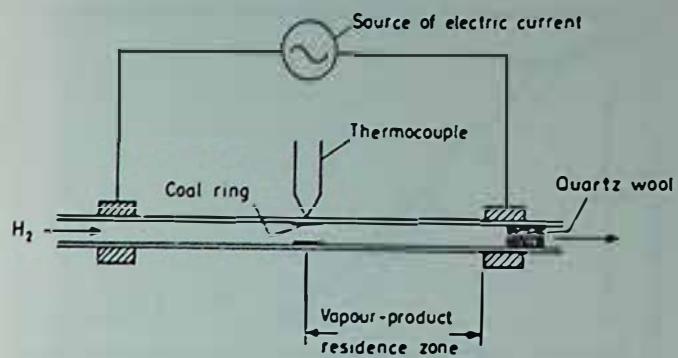


Fig. 26 :

Réacteur tubulaire pour chauffer rapidement le charbon en présence d'hydrogène et contrôler le temps de séjour des MV produites (réf. 50)

(Reproduced from Graff R.A., Dobner S. and Squires A.M. *Fuel*, 1976, 55 (2), 109-12 by permission of the publishers, IPC Business Press Ltd. )

temps de séjour du solide de 10 s. La conversion en méthane croît avec la température : à 950 °C, 37 % du carbone de départ sont convertis en  $CH_4$ . La conversion en éthane présente un maximum vers 750 °C, température à laquelle 7 % du carbone donnent de l'éthane. Le rendement en BTX présente également un maximum mais à 800 °C (11 % du carbone). La trop petite quantité de charbon mise en œuvre ne permet pas de déterminer les composés plus lourds que les xylènes. La figure 27 montre l'évolution des produits non dosés et on remarque que les variations ne sont pas négligeables au-delà de 800 °C. Dans les conditions assez sévères qu'ils utilisent, ces auteurs montrent (fig. 28), que, si le temps de séjour des matières volatiles est supérieur à 3 s, l'ensemble de

TABLEAU V (Réf. 50)

Influence des paramètres temps sur les rendements en présence d'hydrogène sous 100 atm.

Essai n°	Vitesse de chauffage			Temps de séjour du solide				Temps de séjour des gaz	
	IA-69	IA-54	IA-37	IA-70	IA-55	IA-67	IA-66	IA-45	
Température (°C)	790	789	781	819	808	817	798	814	
Vitesse de chauffage (°C/s)	20	650	1400	650	650	650	650	650	
Temps de séjour du solide (s)	65	10	10	2	10	30	10	30	
Temps de séjour des gaz (s)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.18	23.0	
Carbone dans les produits (% poids du carbone dans le charbon)									
Méthane	12.6	19.2	21.1	18.2	21.3	27.7	18.1	44.7	
Ethane	5.1	5.8	6.2	6.2	5.7	7.3	6.4	0.48	
Propane + butanes	0.98	—	—	0.32	—	0.14	0.27	—	
Benzène	3.3	11.4	12.0	9.9	11.6	11.4	7.8	2.3	
Toluène + xylènes	0.93	0.15	0.15	0.68	—	0.32	0.95	—	
Char	43	60	63	65	55	57	57	55	
Carbone total récupéré (%)	66	97	102	100	94	104	91	102	

(Reproduced from Graff R.A., Dobner S. and Squires A.M. *Fuel*, 1976, 55 (2), 109-12 by permission of the publishers, IPC Business Press Ltd. )

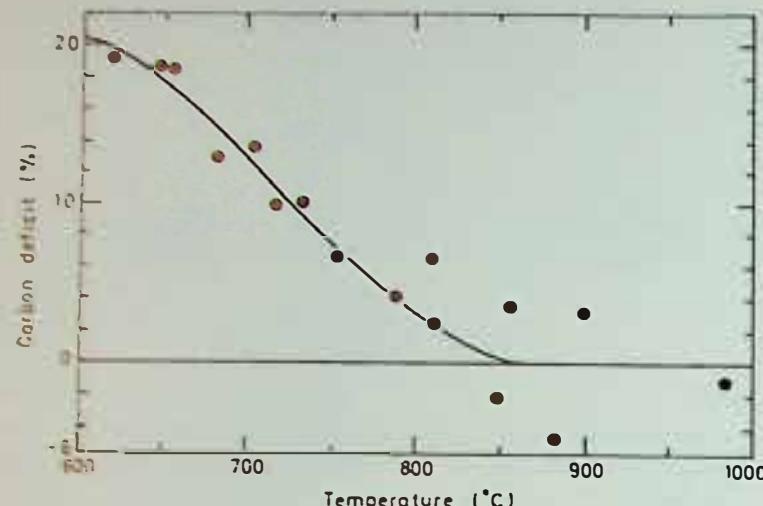


Fig. 27

Déficit en carbone en fonction de la température pour un temps de séjour des MV de 0,6 s (réf. 51)

(Reproduced from Dobner S., Graff R.A. and Squires A.M. *Fuel*, 1976, 55 (2), 113-5 by permission of the publishers, IPC Business Press Ltd. ®)

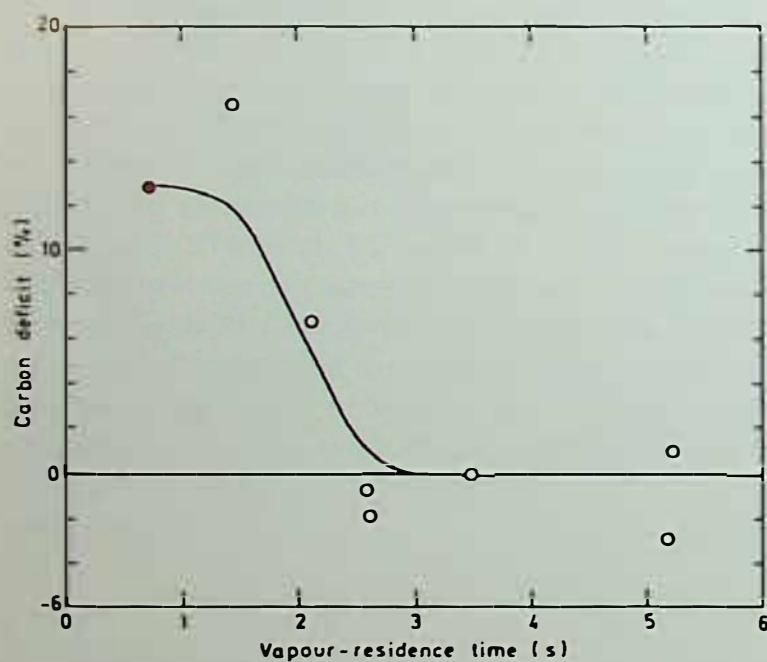


Fig. 28 :

Déficit en carbone en fonction du temps de séjour des MV à 700 °C (réf. 51). Le point fermé provient de la fig. 27.

(Reproduced from Dobner S., Graff R.A. and Squires A.M. *Fuel*, 1976, 55 (2), 113-5 by permission of the publishers, IPC Business Press Ltd. ®)

ces dernières n'est plus constitué que de CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> et de BTX.

Avec la même technique, Chen, Graff et La Cava [52] (1978) ont comparé le comportement de huit charbons des USA. Les conditions expérimentales sont toujours les mêmes : 100 atm, 750-850 °C, 0,6 s pour le temps de séjour des matières volatiles et 10 s pour celui du solide. Bien qu'il y ait une certaine dispersion dans les résultats, la conversion totale semble diminuer quand le rang du charbon augmente; cette conversion varie de 40 à 70 % sur la base du carbone contenu (fig. 29). C'est le lignite qui donne le plus de méthane. La production de CO<sub>2</sub> par

rapport à l'oxygène initial du charbon semble être indépendante du rang du charbon, c'est-à-dire que la quantité absolue du CO<sub>2</sub> formé diminue pour les charbons les plus houillifiés. La quantité de liquide du produit croît avec le rang du charbon (fig. 30) (les températures sont choisies de manière à obtenir les rendements maximaux en liquides). Le rendement en BTX présente un maximum pour les charbons de rang intermédiaire et diminue pour les charbons de bas et haut rang.

Ladner et collaborateurs [55] du National Coal Board, UK, étudient l'HyPy de charbons anglais dans le même type de réacteur que Dobner [50], mais cette fois la quantité de charbon est de 10 g, soit 1000 fois plus que ce qu'utilise Dobner. La pression utilisée est comprise entre 50 et 150 atm, la température maximale est 1200 K et la vitesse de chauffage est relativement faible : 7 à 30 °C/s, alors que Dobner [51] utilise généralement 650 °C/s. Le but de cette étude du NCB est d'étudier les conditions dans lesquelles le rendement en BTX est maximal. C'est pourquoi les résultats sont présentés en termes de conversion, en BTX et PCX. La figure 31 montre qu'un maximum de conversion en mono-aromatiques est obtenu vers 1000 K. Ce rendement de 4,5 % maf se répartit à peu près de manière équivalente pour la quantité de BTX et celle de PCX. Cependant, à cette température, le rendement en huile n'est pas maximal. D'où l'idée de Ladner de diviser son réacteur en deux zones de chauffage distinctes : une première maintenue vers 900 K où se produit la dévolatilisation du charbon et une seconde portée vers 1100-1200 K pour craquer les goudrons formés dans la première zone. Ils peuvent ainsi optimiser les réactions de dévolatilisation du charbon et de craquage des goudrons. Au-delà de 900 K (fig. 32), si on augmente la sévérité du craquage, le rendement en méthane croît également, alors que l'éthane et le benzène passent par un maximum étalé. Les rendements en goudrons décroissent avec

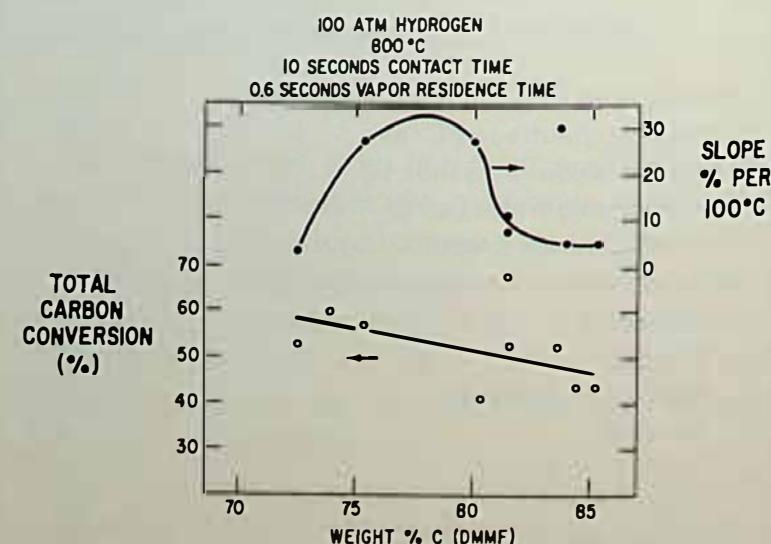


Fig. 29 :

Taux de conversion du carbone et sa sensibilité à la température en fonction de la teneur en carbone du charbon (réf. 54)

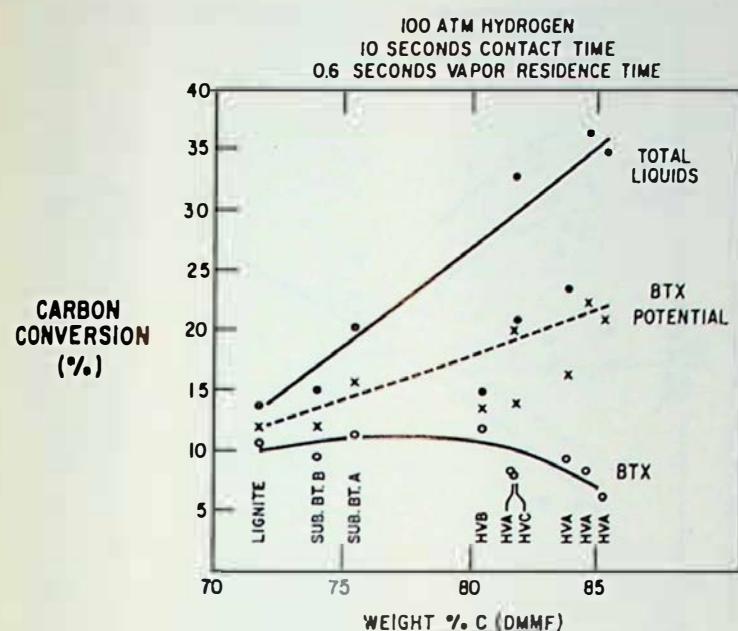


Fig. 30 :

Rendement maximal en liquide en fonction de la teneur en carbone (●). Le rendement potentiel en BTX (X) est calculé en supposant que 50 % des liquides produits seraient convertis en BTX pour un temps de séjour optimal des MV (réf. 54)

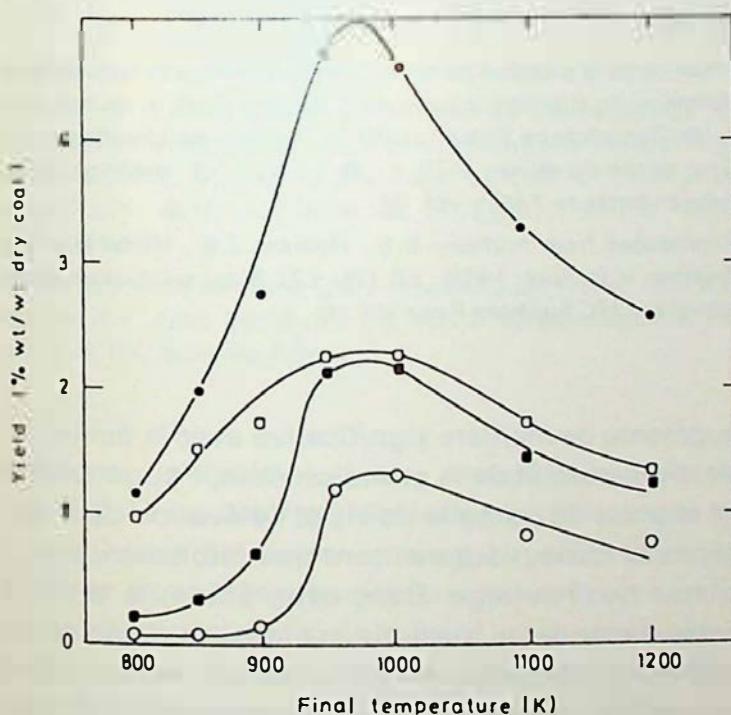


Fig. 31 :

Hydrogénopyrolyse à un stade : influence de la température finale. Vitesse de chauffage,  $7 \text{ K s}^{-1}$ ; pression, 15 MPa; temps de séjour du solide, 0 min; temps de séjour des MV, 11 s; ●, aromatiques à un cycle; ○, benzène; ■, BTX; □, phénols (réf. 55)

(Reproduced from Finn M.J., Fynes G., Ladner W.R. and Newman J.O.H. *Fuel*, 1980, 59 (6), 397-404 by permission of the publishers, IPC Business Press Ltd ©)

l'augmentation de la température montrant que le benzène et l'éthane proviennent de ce post-craquage. À température plus élevée encore, il sont à leur tour convertis en méthane. Grâce à ce réacteur à deux étages, Ladner *et al.* arrivent à produire plus de 10 % de benzène à partir d'un charbon de bas rang sans avoir à atteindre les vitesses de chauffage de  $650^\circ\text{C/s}$  avec lesquelles des auteurs américains préten-

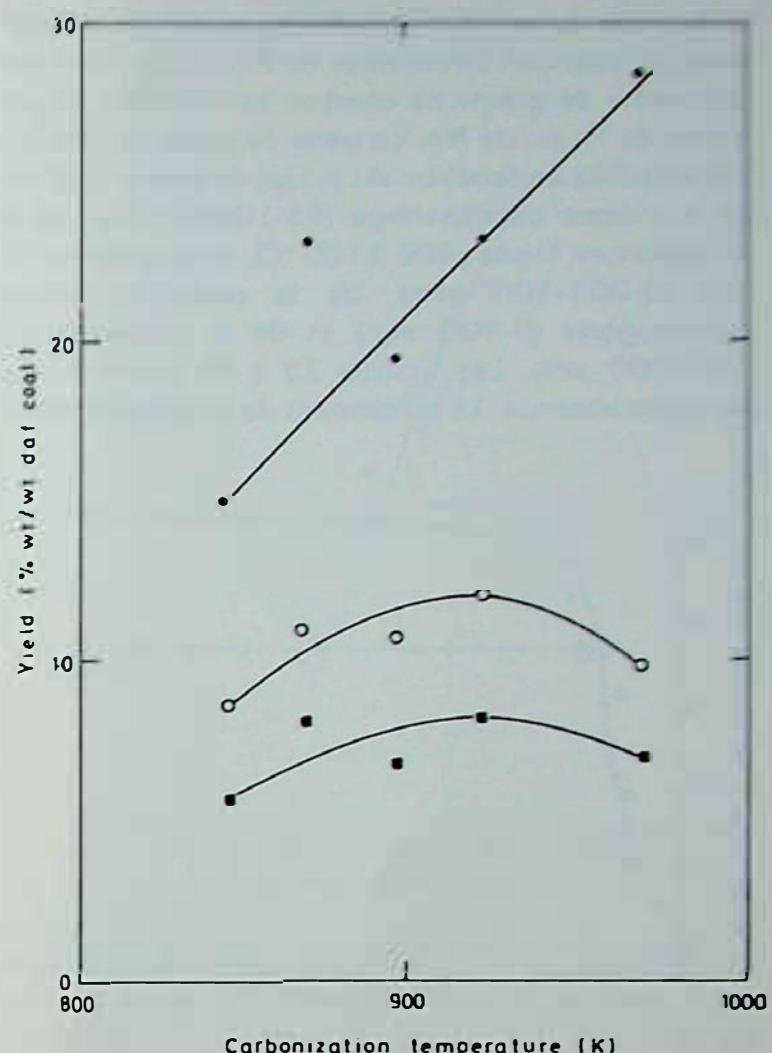


Fig. 32 :

Hydrogénopyrolyse à deux stades : influence de la température de carbonisation. Vitesse de chauffage,  $5 \text{ K s}^{-1}$ ; temps de carbonisation, 9 min; température de cracking, 1123 K; pression, 15 MPa; temps de séjour des MV, 4 s; ●, méthane; ○, benzène; ■, éthane (réf. 55)

(Reproduced from Finn M.J., Fynes G., Ladner W.R. and Newman J.O.H. *Fuel*, 1980, 59 (6), 397-404 by permission of the publishers, IPC Business Press Ltd ©)

dent également obtenir ce rendement en benzène. Cette information est très importante d'un point de vue pratique puisque, industriellement, des vitesses de chauffage de l'ordre de  $30^\circ\text{C/s}$  sont beaucoup plus facilement réalisables que  $650$  à  $1400^\circ\text{C/s}$ .

Howard et son équipe (Massachusetts Institute of Technology) [56] ont mis au point un appareil relativement simple pour étudier la cinétique de la réaction charbon-H<sub>2</sub>. 5 à 10 mg de charbon finement broyé sont placés en « sandwich » entre deux grilles en acier inoxydable. L'ensemble est pesé et placé dans une enceinte pouvant supporter des pressions de l'ordre de 205 atm. Après pesée et mise sous pression, un courant électrique passe dans les grilles et chauffe instantanément le charbon. Les vitesses atteintes vont jusqu'à  $12.000^\circ\text{C/s}$ . La masse de charbon étant faible, seule la grille est chaude et le reste de l'appareil est à température ambiante. Ceci a l'avantage de refroidir rapidement les matières volatiles produites.

Anthony et al. [57] (1976) ont utilisé ce dispositif avec un charbon bitumineux de Pittsburgh. Une monocouche de grains de charbon est chauffée en présence de H<sub>2</sub> ou de He. La perte de poids du charbon est mesurée en fonction du temps de séjour (0-20 s), de la vitesse de chauffage (65-10000 °C/s), de la température finale (400-1100 °C), de la pression totale (0,001-100 atm), de la pression partielle d'hydrogène (0-100 atm) et de la granulométrie (70-1000 µm). Les figures 33 à 36 résument les résultats obtenus. Le rendement de la dévolatilisation

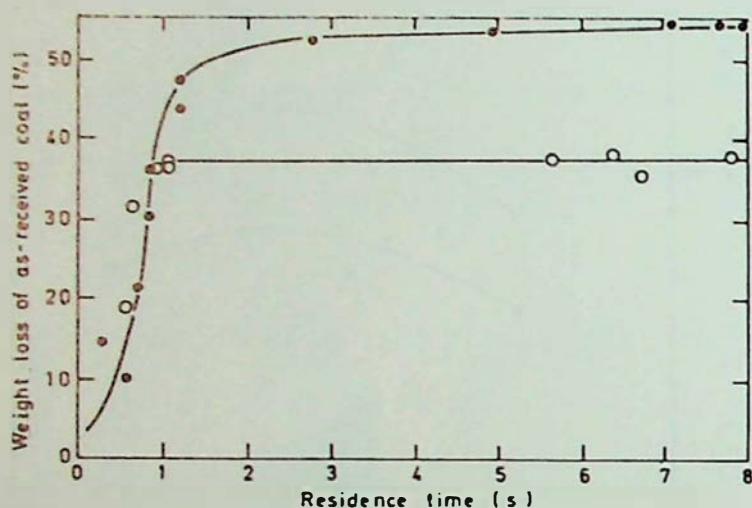


Fig. 33 :

Influence du temps sur la perte de poids pour du charbon chauffé en présence d'hélium et d'hydrogène. Température finale, 900 °C; vitesse de chauffage, 750 °C/s; diamètre moyen des grains, 70 µm; pression ≈ 7 MPa; O, He; ●, H<sub>2</sub> (réf. 57)

(Reproduced from Anthony D.B., Howard J.B., Hottel H.C. and Meissner H.P. *Fuel*, 1976, 55 (2), 121-8 by permission of the publishers, IPC Business Press Ltd ©)

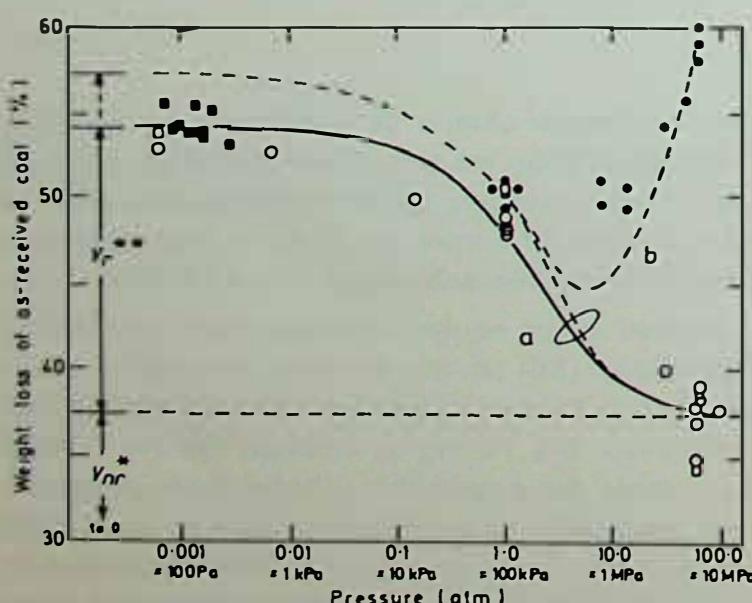


Fig. 34 :

Influence de la pression sur la perte de poids pour du charbon chauffé en présence d'hélium et d'hydrogène. Température finale, 1000 °C; temps de séjour, 5-20 s; □, He (10.000 °C/s); ■, He (3.000 °C/s); ○, He (650-750 °C/s); ●, H<sub>2</sub> (750 °C/s) (réf. 57)

(Reproduced from Anthony D.B., Howard J.B., Hottel H.C. and Meissner H.P. *Fuel*, 1976, 55 (2), 121-8 by permission of the publishers, IPC Business Press Ltd. ©)

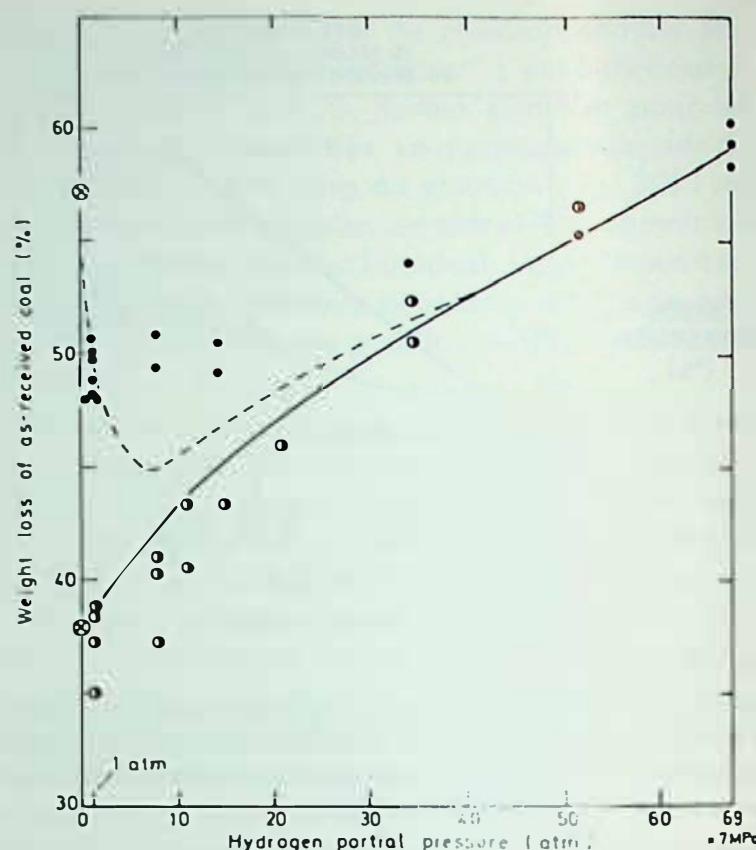


Fig. 35 :

Influence de la pression partielle d'hydrogène sur le taux de dévolatilisation du charbon chauffé en présence de H<sub>2</sub> et de mélanges H<sub>2</sub>-He. Température finale, 1000 °C; vitesse de chauffage, 750 °C/s; temps de séjour, 5-20 s; ●, H<sub>2</sub> pur; ○, mélange H<sub>2</sub>-He; pression totale ≈ 7 MPa (réf. 57)

(Reproduced from Anthony D.B., Howard J.B., Hottel H.C. and Meissner H.P. *Fuel*, 1976, 55 (2), 121-8 by permission of the publishers, IPC Business Press Ltd. ©)

augmente de manière significative avec la diminution de la pression et de la granulométrie, l'augmentation de la pression partielle de H<sub>2</sub> et l'élévation de la température finale n'augmentent que faiblement avec la vitesse de chauffage. Dans cette étude, la seule variable dépendante mesurée est la perte de poids globale. Une interprétation des résultats est donnée et un modèle mathématique est développé. L'influence du paramètre temps de séjour des matières volatiles n'est pas examinée puisque dans cet appareil on ne peut pas le maîtriser, mais on peut supposer qu'il est pratiquement nul.

Suuberg et al. [58] ont plus récemment (1980) publié les résultats donnant la composition des produits obtenus dans le même réacteur, à partir du même charbon, étudié par Anthony et al. [57] et d'un lignite de Montana. Les conditions expérimentales sont les suivantes : température jusqu'à 1080 °C, temps de séjour du charbon : 0-20 s, pression : 69 atm de H<sub>2</sub> pur, granulométrie moyenne : 74 µm; vitesse de chauffage : 1000 °C/s. Les résultats sont comparés à ceux obtenus par pyrolyse en atmosphère inerte pour les deux charbons [59]. Les résultats de la dévolatilisation sont donnés aux figures 37 et 38. Pour le lignite, l'influence de la pression de H<sub>2</sub> est

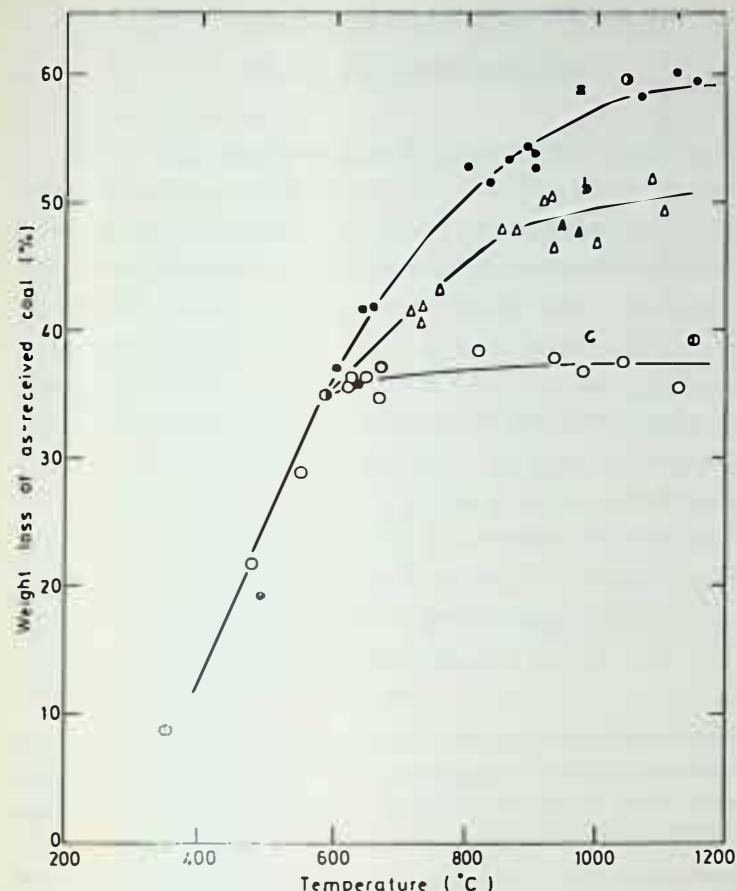


Fig. 36 :

Influence de la température sur le taux de dévolatilisation du charbon chauffé en présence de  $H_2$  et en atmosphère inerte à haute et basse pression. Vitesse de chauffage, 65-750 °C/s; temps de séjour, 5-20 s; ●,  $H_2$  ( $\approx 7$  MPa); ▲, He, Δ,  $N_2$  (1 atm); ○, He ( $\approx 7$  MPa) (réf. 57)

(Reproduced from Anthony D.B., Howard J.B., Hottel H.C. and Meissner H.P. *Fuel*, 1976, 55 (2), 121-8 by permission of the publishers, IPC Business Press Ltd. ©)

importante, surtout à haute température. Avant 650-700 °C, les résultats obtenus sous 69 atm de  $H_2$  et sous 1 atm de He ne sont pas significativement différents. Pour le charbon bitumineux et sur toute la gamme de température étudiée, il n'est pas évident que la pression d'hydrogène influence favorablement le taux de dévolatilisation, surtout si on compare le rôle joué par l'hélium sous 69 atm. Les auteurs prétendent que les taux élevés de dévolatilisation, dans ces dernières conditions, sont dus à l'autohydrogénération. Dans cette série d'expériences, le rôle joué par l'hydrogène du point de vue dévolatilisation n'est pas en accord avec les autres études. Cet effet moins marqué de l'hydrogène par rapport à une atmosphère inerte est probablement dû aux conditions expérimentales particulières. Pour les deux charbons étu-

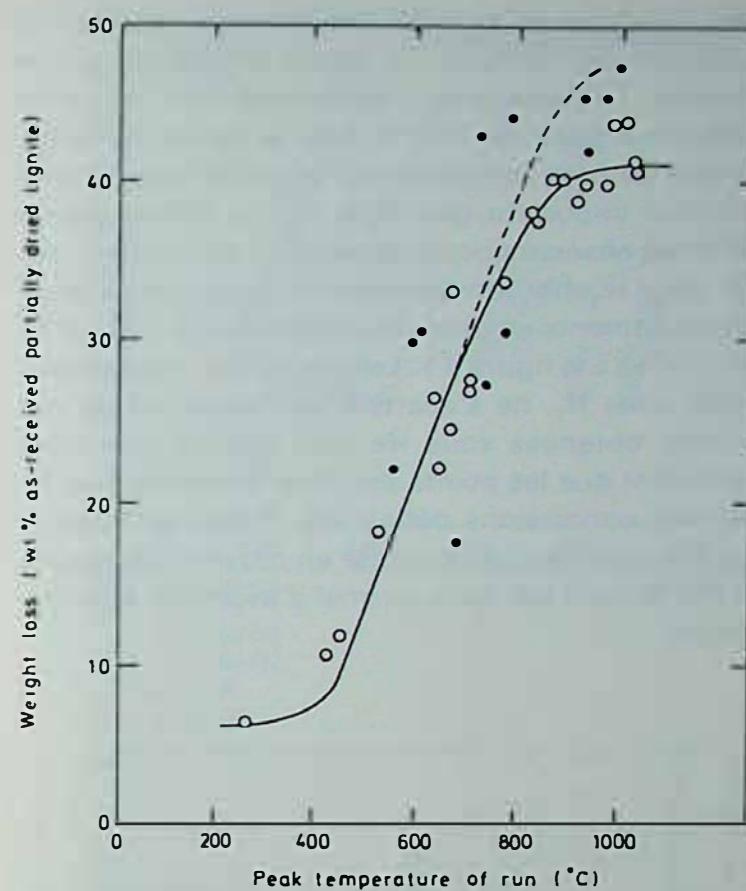


Fig. 37 :

Influence de la température sur le taux de dévolatilisation de lignite. ●, 69 atm  $H_2$ ; ○, 1 atm He. Vitesse de chauffage, 1000 °C/s (réf. 58)

(Reproduced from Suuberg E.M., Peters W.A. and Howard J.B. *Fuel*, 1980, 59 (6), 405-12 by permission of the publishers, IPC Business Press Ltd. ©)

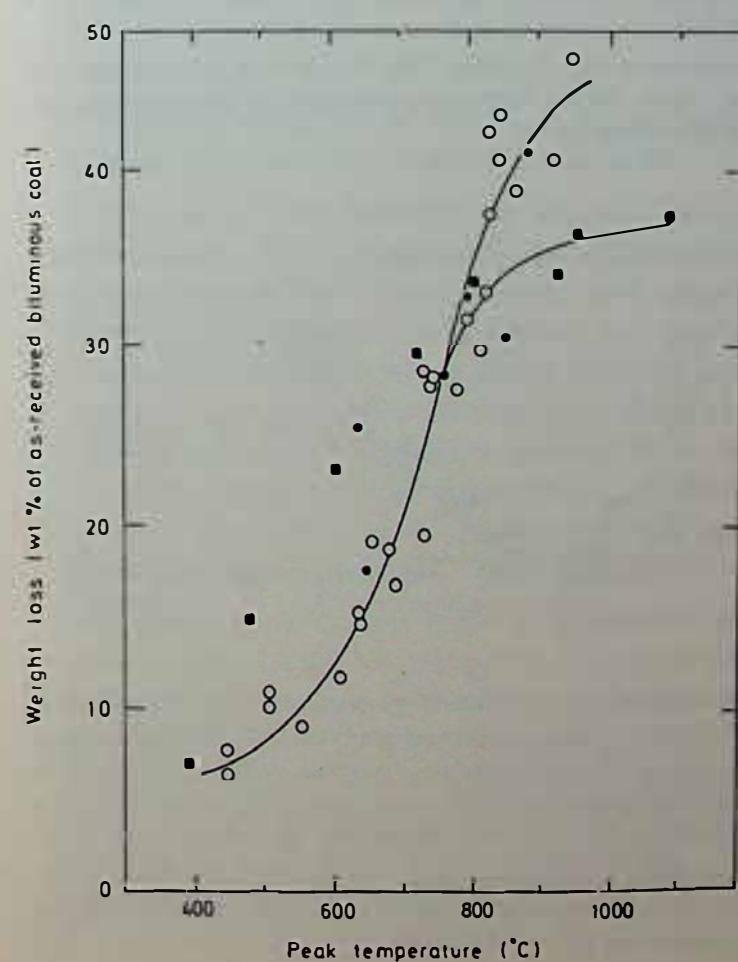


Fig. 38 :

Influence de la température sur le taux de dévolatilisation de charbon bitumineux. ●, 69 atm  $H_2$ ; ○, 1 atm He; ■, 69 atm He (réf. 58)

(Reproduced from Suuberg E.M., Peters W.A. and Howard J.B. *Fuel*, 1980, 59 (6), 405-12 by permission of the publishers, IPC Business Press Ltd. ©)

diés, l'hydrogène sous 69 atm favorise nettement la formation de méthane. La figure 39 montre que la pression d'hydrogène défavorise la formation d'éthane à partir de 700 °C pour le lignite. Sous He, au-delà de cette température, le rendement est trois fois plus important que sous H<sub>2</sub>. Le même phénomène est observé pour le rendement en goudron (fig. 40) pour le charbon bitumineux. Une comparaison des rendements en produits oxygénés (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) est donnée à la figure 41. Les points, qui représentent l'essai sous H<sub>2</sub>, ne s'écartent pas sensiblement des courbes obtenues sous He. Les auteurs admettent cependant que les points sont trop dispersés pour en tirer des conclusions définitives. Il faut se rappeler que la masse de charbon mise en œuvre n'est que de 10 mg et qu'il est donc normal d'avoir une telle dispersion.

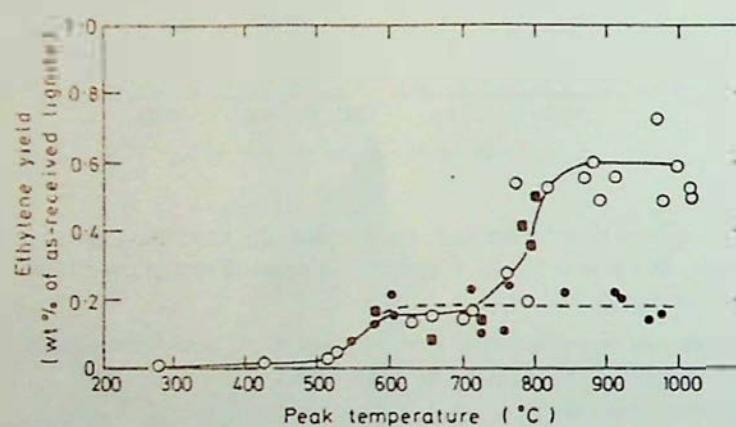


Fig. 39 :

Comparaison des rendements en éthylène pour la pyrolyse ou l'HyPy du lignite du Montana à différentes températures. Vitesse de chauffage, 1000 °C/s; ●, 69 atm H<sub>2</sub>; ○, 1 atm He; ■, 69 atm He (réf. 58)

(Reproduced from Suuberg E.M., Peters W.A. and Howard J.B. Fuel, 1980, 59 (6), 405-12 by permission of the publishers, IPC Business Press Ltd. ®)

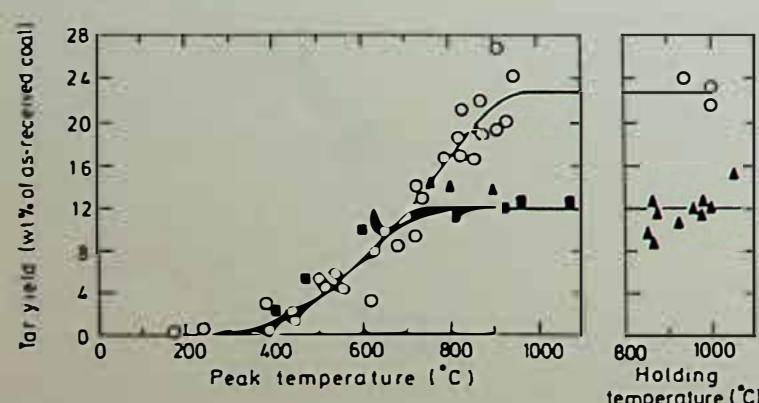


Fig. 40 :

Comparaison des rendements en goudrons pour la pyrolyse et l'HyPy d'un charbon bitumineux de Pittsburgh. Diamètre moyen des grains, 74 µm; vitesse de chauffage, 1000 °C/s; temps de maintien à température, 2-20 s pour la partie gauche et zéro pour la partie droite. ○, 1 atm He; ■, 69 atm He; ▲, 69 atm H<sub>2</sub> (réf. 58)

(Reproduced from Suuberg E.M., Peters W.A. and Howard J.B. Fuel, 1980, 59 (6), 405-12 by permission of the publishers, IPC Business Press Ltd. ®)

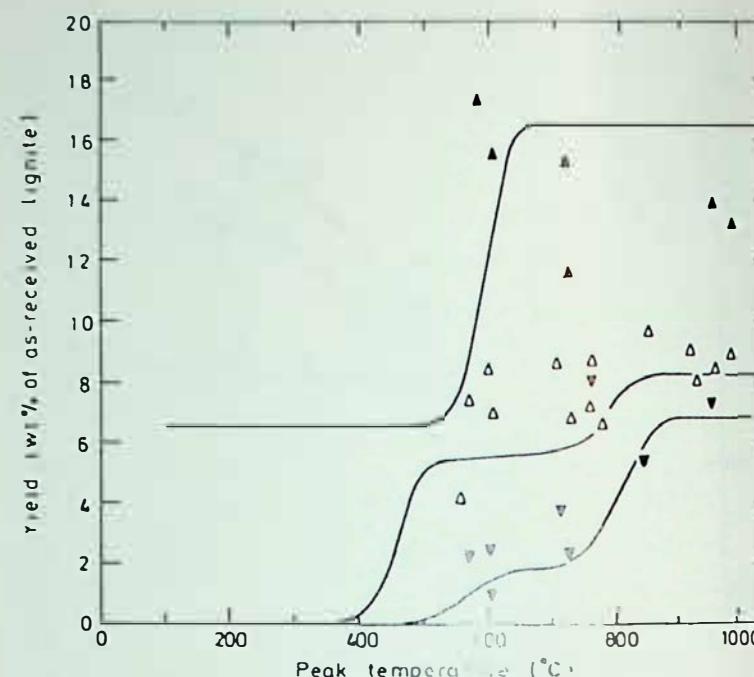


Fig. 41

Comparaison des rendements en eau (△), CO<sub>2</sub> (▽) et CO (▲) pour la pyrolyse et l'HyPy du lignite du Montana à différentes températures. Points, 69 atm H<sub>2</sub>; courbes, 1 atm He. Vitesse de chauffage, 1000 °C/s; diamètre moyen des grains, 74 µm (réf. 58).

(Reproduced from Suuberg E.M., Peters W.A. and Howard J.B. Fuel, 1980, 59 (6), 405-12 by permission of the publishers, IPC Business Press Ltd. ®)

Ce type de réacteur est très intéressant pour étudier la dévolatilisation globale du charbon, puisqu'il est d'un emploi aisément et rapidement. Par contre, l'étude des produits obtenus semble être beaucoup plus problématique à cause de la trop faible masse de charbon traitée.

### 3. DISCUSSION

Les différentes études que l'on a examinées montrent qu'il est difficile de déterminer avec certitude l'influence de chaque paramètre de l'HyPy. D'autant plus que bien souvent, si on modifie un paramètre, on en influence un autre. On ne prendra que deux exemples pour illustrer cela :

— toutes choses restant égales, si l'on désire étudier l'influence de la granulométrie, on modifiera immédiatement la vitesse de chauffage du grain de charbon;

— en modifiant la température et la pression d'HyPy, on fait varier le temps de séjour des matières volatiles; on ne peut, dans un même appareil, rétablir le temps de séjour désiré qu'en modifiant la vitesse de passage du gaz et donc en changeant le rapport H<sub>2</sub> : charbon à l'entrée.

Certaines tendances sont cependant suffisamment claires pour en tirer des conclusions.

### 3.1. Influence du type charbon et de sa préparation

On a déjà signalé que le type de charbon est une des variables importantes de l'HyPy. En effet, on ne peut espérer obtenir le même rendement en liquide à partir de charbons à 30 % maf de matières volatiles et à 50 % maf. Il faut également tenir compte du traitement que le charbon a subi avant d'être pyrolyisé; le charbon s'oxydant à l'air, certains auteurs le stockent directement sous eau [16] dès la sortie de la mine, ou effectuent le broyage en atmosphère inerte [16, 36]. Cochran [15] signale que le rendement en huile diminue fortement si le charbon est oxydé (fig. 42). Des essais effectués dans notre laboratoire [60] ne montrent qu'une faible influence malgré une exposition de plusieurs heures à l'air à 110 °C du charbon broyé à < 500 µm.

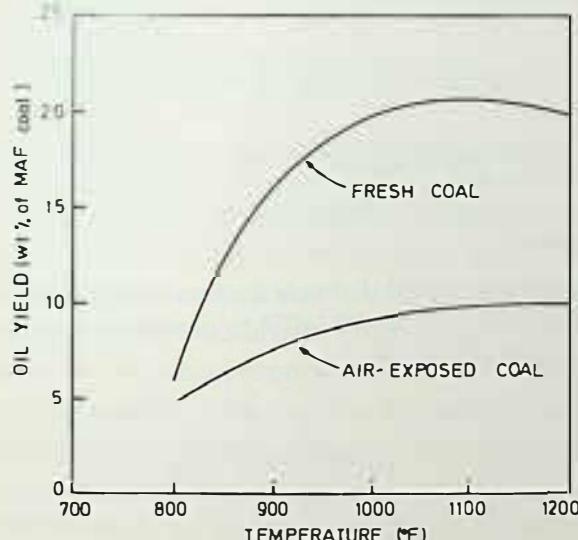


Fig. 42 : « Coal Conversion Technology »  
Influence de l'exposition à l'air sur le rendement en huile pour un charbon subbitumineux (réf. 15)

(Cochran H.D. Jr. in « Coal Conversion Technology », Pelofsky A.H. Ed., ACS Symposium Series No. 110; American Chemical Society : Washington, DC 1979, p. 42)

### 3.2. Influence de la température d'HyPy

L'HyPy modifie le mécanisme de la pyrolyse. Il faut donc qu'il y ait pyrolyse pour qu'il y ait hydrogénopyrolyse et que donc la température soit au moins de 400 °C. Tous les travaux montrent que le taux de dévolatilisation croît avec la température, mais au-delà de 750-850 °C, il ne peut plus y avoir qu'hydrogénéation du char formé. A la figure 43, on a porté les taux de dévolatilisation en fonction de la température. Aucune autre variable n'est prise en considération, mais on voit que la conversion se situe

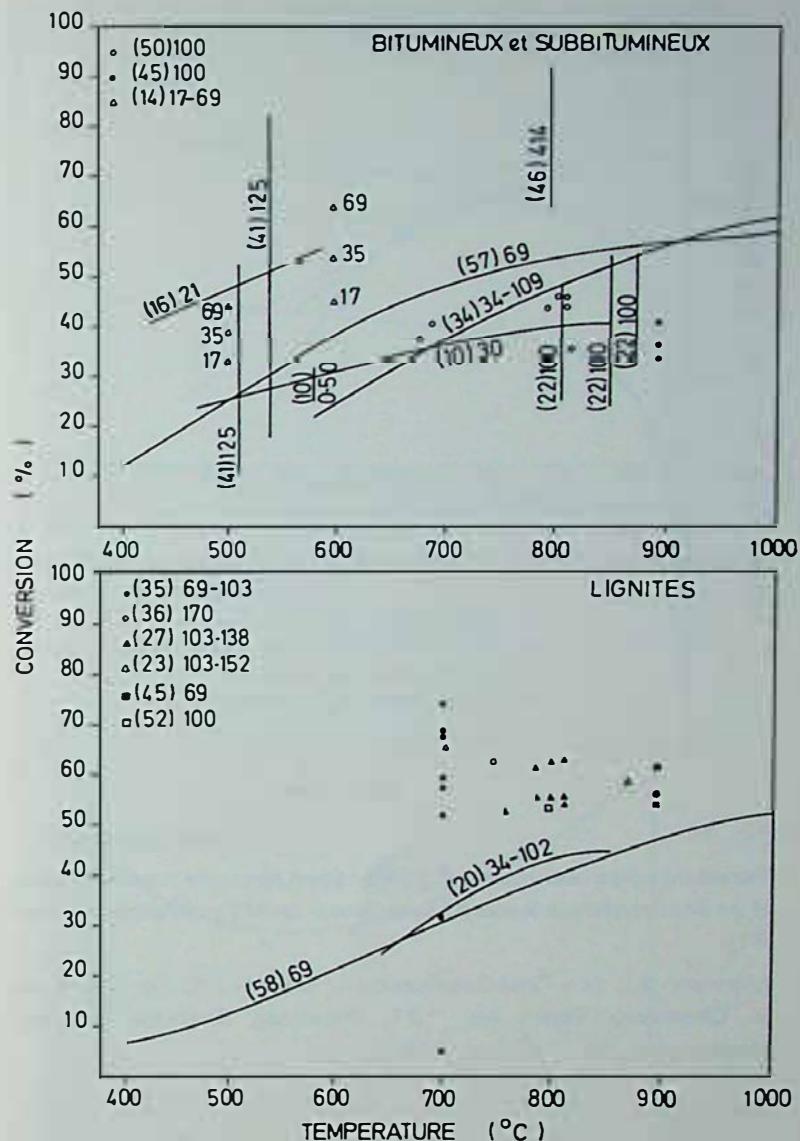
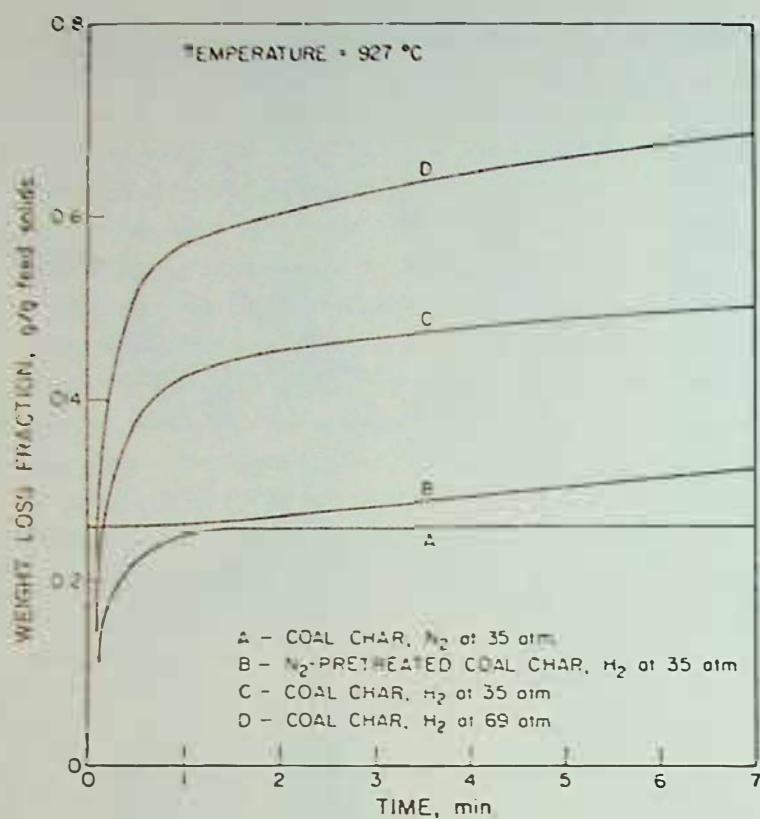


Fig. 43 :  
Influence de la température sur la conversion. La pression est donnée en atm; le numéro de la référence est entre parenthèses

en moyenne entre 20 et 65 % et la tendance à l'augmentation avec la température est nette.

La conversion en méthane est toujours favorisée par l'élévation de la température. La dévolatilisation du charbon terminée, il reste un résidu très réactif qui réagit avec l'hydrogène pour donner du méthane. Johnson [61] a montré que la dévolatilisation est importante au début du processus (fig. 44). Sous azote, la dévolatilisation s'arrête après environ 60 s. Sous hydrogène, après ce même temps, la gazéification se poursuit. A même pression, la vitesse d'hydrogénéation est la même que celle du carbone résiduel.

L'effet de la température sur le rendement en liquide montre généralement qu'un maximum de liquide est produit vers 650-830 °C en fonction des autres paramètres. La nature du liquide produit est fortement fonction de la température. Cyprès et Furfari [10] ont montré qu'à 700 °C, la déshydroxylation des phénols entraîne une augmentation de la teneur en benzène de l'huile. L'équipe du NCB [55] utilise le post-craquage à cet effet.



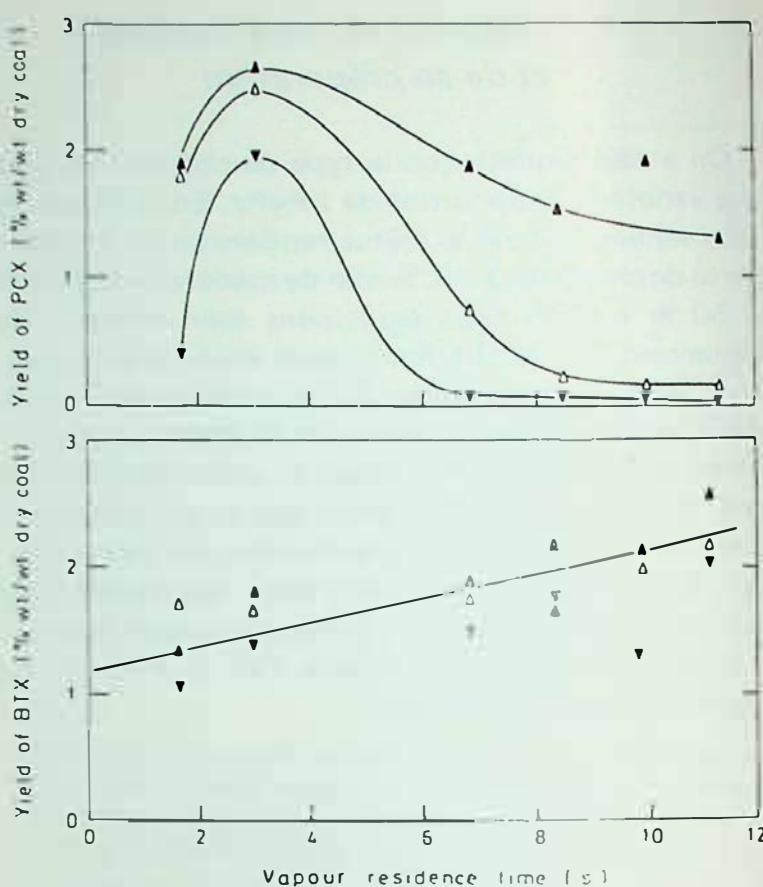
(Johnson J.L. in « Coal Gasification », Massey L.G. Ed., Advances in Chemistry Series No. 131; American Chemical Society : Washington, DC, 1974, p. 148)

### 3.3. Influence du temps de séjour des matières volatiles

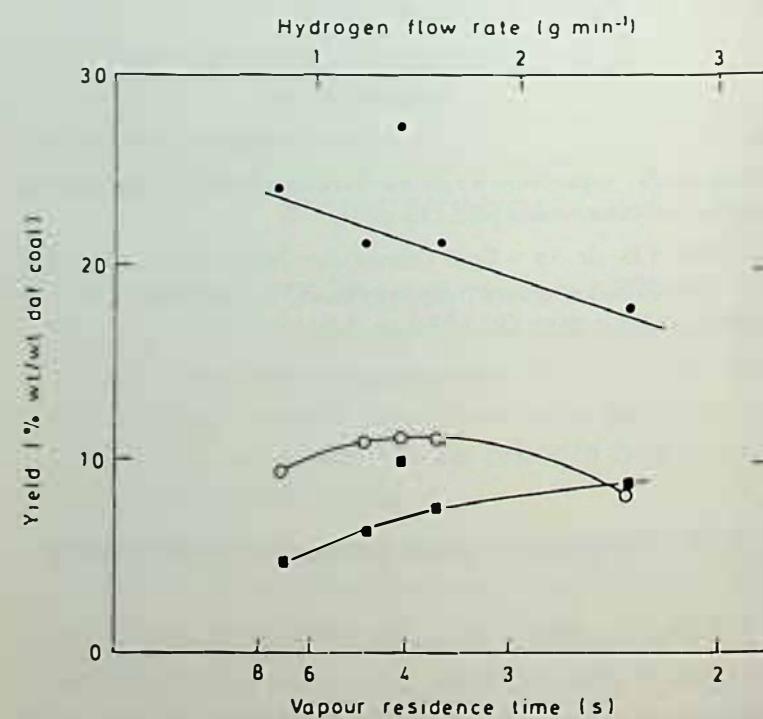
On ne peut séparer l'influence de la température et celle du temps de séjour des matières volatiles. La figure 12, tirée de Hamshar *et al.* [22], montre que le méthane se forme aux dépens des hydrocarbures plus lourds. À partir de 3 s, la conversion en BTX décroît, alors que les huiles légères commencent à se dégrader à partir d'un temps de séjour de 1 s.

Finn *et al.* [55] ont montré (fig. 45) que le rendement en PCX passe par un maximum pour un temps de séjour des matières volatiles de 3 s. Après 8 s, les PCX sont presque complètement détruits. Ils n'observent pas de maximum de formation de BTX. Par contre, dans le second étage du réacteur où la température est plus élevée, on observe (fig. 46) un maximum de conversion en BTX en fonction du temps de séjour des matières volatiles.

Les résultats obtenus par Dobner *et al.* [51] sont en accord avec ceux de Finn *et al.* [55] : il existe pour chaque température un temps de séjour optimal pour les différents composés qui peuvent être obtenus.



(Reproduced from Finn M.J., Fynes G., Ladner W.R. and Newman J.O.H. *Fuel*, 1980, 59 (6), 397-404 by permission of the publishers, IPC Business Press Ltd. ®)



(Reproduced from Finn M.J., Fynes G., Ladner W.R. and Newman J.O.H. *Fuel*, 1980, 59 (6) 397-404 by permission of the publishers, IPC Business Press Ltd. ®)

### 3.4. Influence du temps de séjour du charbon

Ce paramètre influence surtout les rendements obtenus et la figure 44, tirée de Johnson [61], le confirme. Dans les expériences faites en lit entraîné [33, 39], le temps de séjour du solide est le même que celui des matières volatiles et on ne peut donc pas en séparer les effets.

Par contre, dans les expériences en chauffage par effet Joule, Graff *et al.* [51] montrent que la variation de rendement porte uniquement sur le méthane.

Il faut que le temps de séjour du charbon soit suffisamment long pour qu'il soit entièrement dévolatilisé. Plus la température de pyrolyse est élevée, plus on peut réduire le temps de séjour du charbon et inversément. Une fois la dévolatilisation terminée, l'hydrogénéation ne porte plus que sur la gazéification du carbone résiduel.

### 3.5 Influence de la pression

Comme pour l'effet de la température, l'influence de la pression n'est pas univoque.

La figure 47, tirée de Hamshar *et al.* [22], montre que les courbes de conversion obtenues à différentes pressions, sont concourantes. Ceci nous informe sur un mécanisme en deux étapes. La première étape est une dévolatilisation très rapide (pyrolyse). La deuxième phase est une hydrogénéation directe beaucoup plus lente. L'augmentation de la pression défavorise la dévolatilisation et augmente l'hydrogénéation du char formé lors de la première partie de la réaction. Le temps auquel cette transition se passe est fonction de la température.

Les travaux de Anthony *et al.* [57] sont, à ce sujet, très intéressants. La figure 34 montre que, sous He, la perte de poids diminue si la pression augmente et atteint des valeurs asymptotiques à faible et haute pression. Sous hydrogène, la perte de poids montre un minimum vers 10 atm et dépasse ensuite les valeurs obtenues sous vide.

Furfari [62] a obtenu des résultats allant dans ce sens. La figure 48 montre que, sous N<sub>2</sub>, le rendement en goudron diminue avec la pression vers une valeur constante. Le rendement en goudron sous pression de H<sub>2</sub> passe par un minimum vers 10-15 atm.

En lit fixe, Cyprès et Furfari [10] observent (fig. 3 et 5), qu'à 580 °C, la pression joue un rôle très important entre 0 et 20 atm, mais qu'au-delà, les rendements évoluent peu. Le rendement en huile passe par un maximum vers 10 atm et le rendement en gaz semble se stabiliser au-delà de cette pression. La nature de l'huile varie peu au-delà de 30 atm.

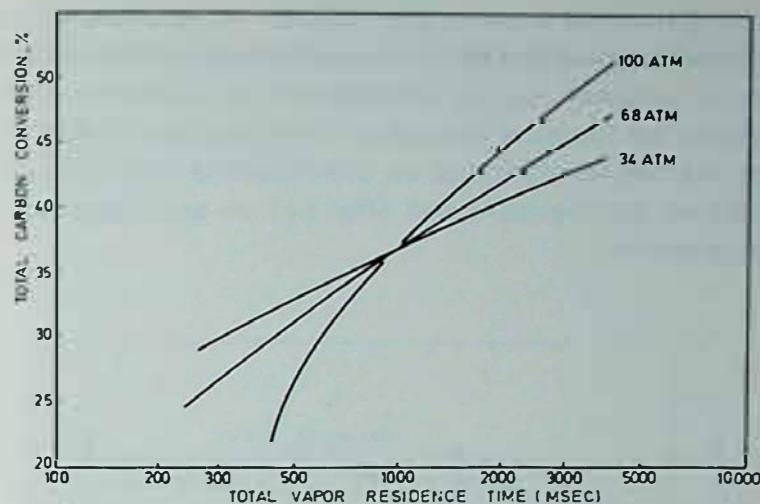


Fig. 47 :  
Influence de la pression et du temps de séjour des MV sur le taux de conversion du carbone (réf. 22)

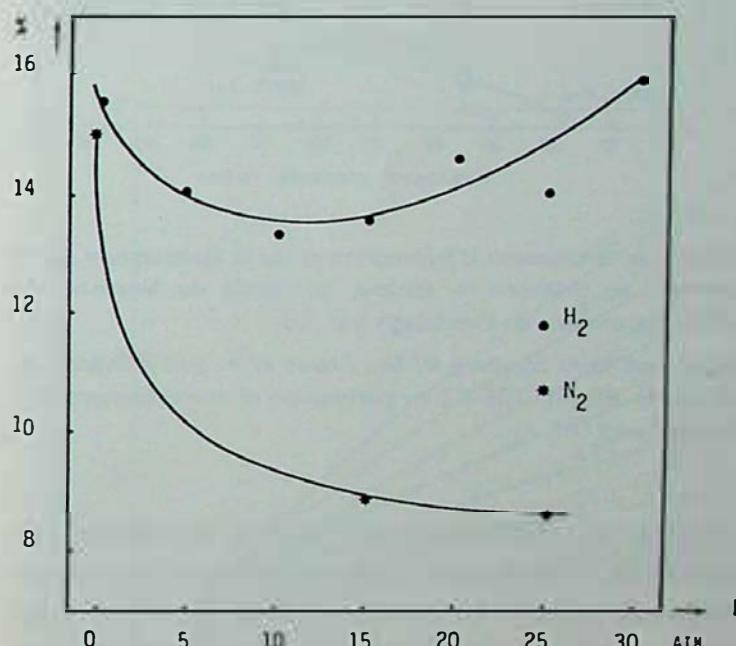


Fig. 48 :  
Influence de la pression d'H<sub>2</sub> sur le rendement en goudrons à 550 °C (réf. 62)

Anthony *et al.* [57] signalent que, si la pression partielle d'hydrogène est faible et que la pression totale est plus importante, l'effet de l'hydrogène est peu important; par contre, dès que la pression partielle d'hydrogène est du même ordre de grandeur que la pression partielle de gaz inerte, les rendements de dévolatilisation sont les mêmes que si la pression était due à de l'hydrogène pur.

L'étude de Cyprès et Furfari [11] (fig. 6) montre que, si la pression totale est trop élevée par rapport à la pression partielle d'hydrogène, les rendements sont inférieurs à ceux que l'on obtient avec de l'hydrogène pur si la pression totale est égale à cette pression partielle.

Suuberg *et al.* [58] montrent que la pression influence surtout la production de méthane; ils compa-

rent différents travaux (fig. 49) et on constate que, malgré les grandes différences expérimentales, l'effet de la pression sur le rendement en méthane plus éthane est toujours favorable. Il est possible d'obtenir les mêmes rendements en diminuant la température mais en compensant son effet par un accroissement de pression.

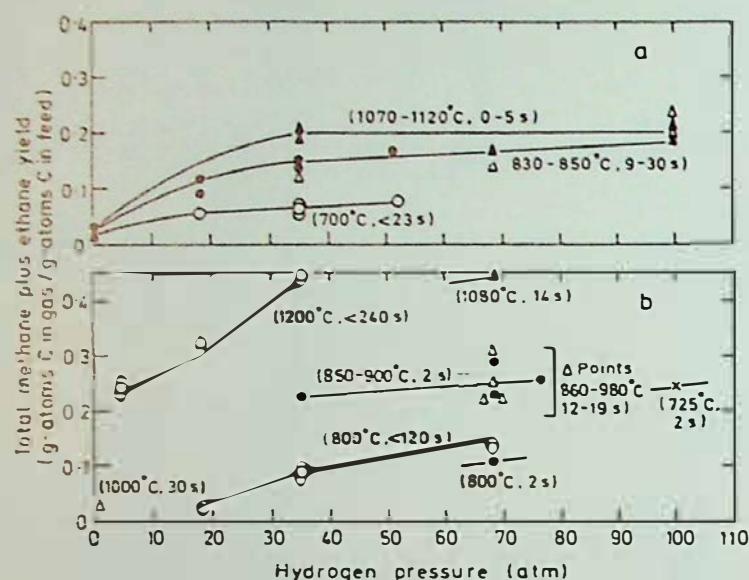


Fig. 49 :

influence de la pression d'hydrogène et de la température sur le rendement en méthane + éthane; (a) lignite du Montana; (b) charbon bitumineux de Pittsburgh (réf. 58)

(Reproduced from Suuberg W.M., Peters W.A. and Howard J.B. Fuel, 1980, 59 (6), 405-12 by permission of the publishers, IPC Business Press Ltd. \*)

Finn *et al.* [55] observent que le rendement en méthane et éthane croît linéairement avec la pression d'hydrogène pur. Le rendement en benzène augmente moins que proportionnellement avec la pression.

Fallon *et al.* [39] obtiennent un rendement maximal en BTX de 15 % à 138-172 atm, qui passe à 12 % si la pression est réduite à 69 atm. Les températures auxquelles ces rendements maximaux sont obtenus, diminuent si la pression augmente, passant de 825 °C à 69 atm, à 775 °C à 172 atm. Ceci montre que les différentes variables influent les unes sur les autres.

Duncan *et al.* [27], pour une même température, ont des rendements en benzène et naphtalène croissant avec la pression partielle d'hydrogène, alors que les rendements en toluène et phénol diminuent.

Holmes *et al.* [63] signalent que le rendement en huile est une fonction de la racine carrée de la pression d'hydrogène. Mais la corrélation que ces auteurs ont développée à partir de résultats publiés par Albright et Davis [64] montre une relation linéaire entre le rendement en huile et la pression partielle d'hydrogène.

L'ensemble de ces résultats montre que la formation de méthane est favorisée par la pression

d'hydrogène et particulièrement à haute température. La nature des liquides obtenus est également améliorée par la pression d'hydrogène. Cependant, il est difficile de tirer une conclusion formelle du rôle joué par la pression d'hydrogène sur le rendement en liquide.

### 3.6. Influence de la vitesse de chauffage

De nombreux travaux [65-72] ont montré l'importance favorable de ce paramètre sur la dévolatilisation du charbon en atmosphère inerte. Cependant, dans ces expériences, le temps de séjour des matières volatiles est généralement très faible, ce qui permet de limiter ces réactions secondaires. Il semble difficile de faire la part des choses pour chacun de ces paramètres. Néanmoins, on ne peut pas nier qu'un chauffage rapide permet d'augmenter les rendements.

Graff *et al.* [51] (tableau V) montrent que l'effet est surtout favorable sur la formation de benzène, mais qu'une vitesse trop grande (1400 °C/s) ne donne pas de meilleurs résultats que 650 °C/s.

L'équipe de Ladner [55] a montré que les vitesses élevées, utilisées par les chercheurs américains, ne sont pas absolument nécessaires et que des résultats comparables peuvent être obtenus avec des vitesses plus faibles, mais en effectuant la pyrolyse en deux étapes.

### 3.7. Influence de la granulométrie

La plupart des recherches sont conduites avec une granulométrie fixée. Suuberg *et al.* [58] ont montré que la perte de poids diminue fortement lorsque le diamètre moyen des grains de charbon augmente. Cependant, la composition des produits liquides et gazeux formés ne montre aucune corrélation avec la granulométrie, si ce n'est qu'une légère diminution de l'éthane et des hydrocarbures gazeux supérieurs avec l'augmentation du diamètre moyen des particules.

Lytle *et al.* [42] montrent que la vitesse de réaction augmente considérablement avec la diminution du diamètre du grain de charbon. Mais ces auteurs font justement remarquer que l'énergie de broyage augmente exponentiellement si l'on diminue la granulométrie. Une étude économique est nécessaire pour établir quelle est la granulométrie optimale.

### 3.8. Consommation d'hydrogène

La figure 50 représente la teneur en hydrogène des différents combustibles solides, liquides et gazeux. La

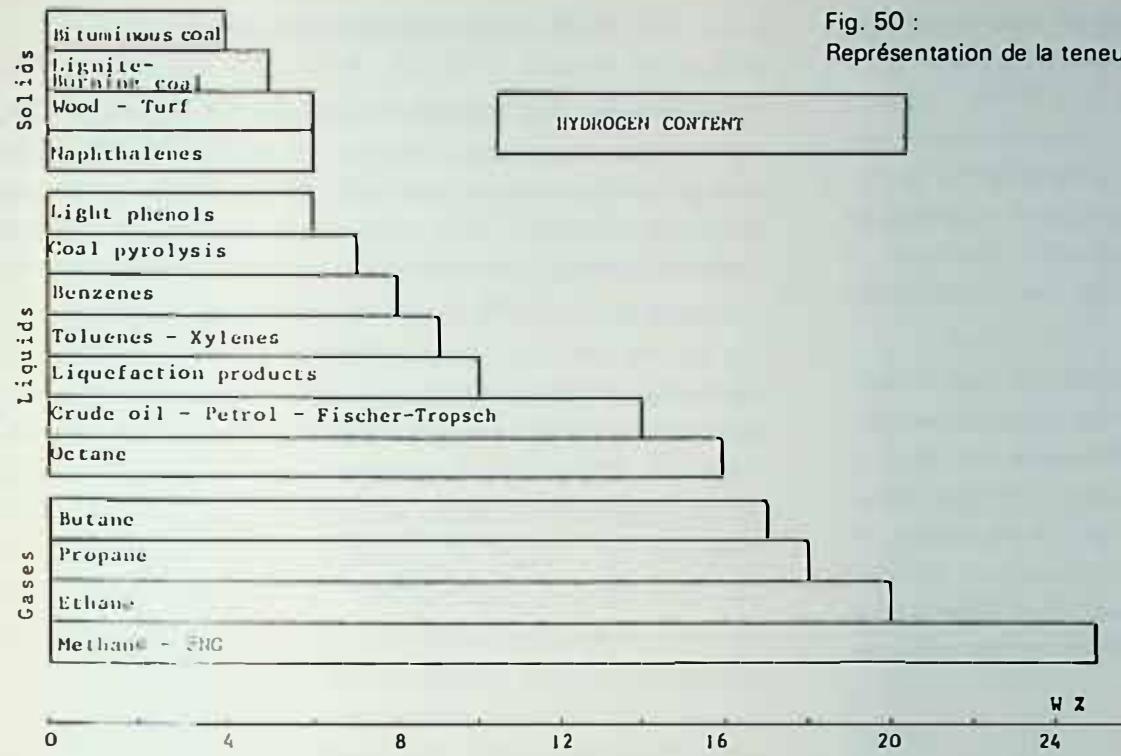


Fig. 50 :  
Représentation de la teneur en hydrogène de différents combustibles

formation de benzène, qui est prépondérante dans les BTX obtenus, comporte l'incorporation de 3 à 4 % d'hydrogène. Par contre, l'hydrogénéation complète du charbon en méthane nécessite une consommation de 20 % en poids d'hydrogène. Il faut tenir compte de l'oxygène contenu dans les charbons, représenté dans le diagramme triangulaire [73] de la figure 51. Plus la teneur en oxygène d'un charbon est élevée, plus il se formera d'eau lors de l'hydrogénéation complète, entraînant une augmentation en pure perte de la consommation d'hydrogène. Par contre, si les composés oxygénés, comme les phénols, subsistent dans les huiles, la consommation d'hydrogène est réduite d'autant. La figure 52, tirée de Holmes *et al.* [63], est très significative à ce sujet. La consommation d'hydrogène augmente avec la température et la pression mais l'influence de la pression est impor-

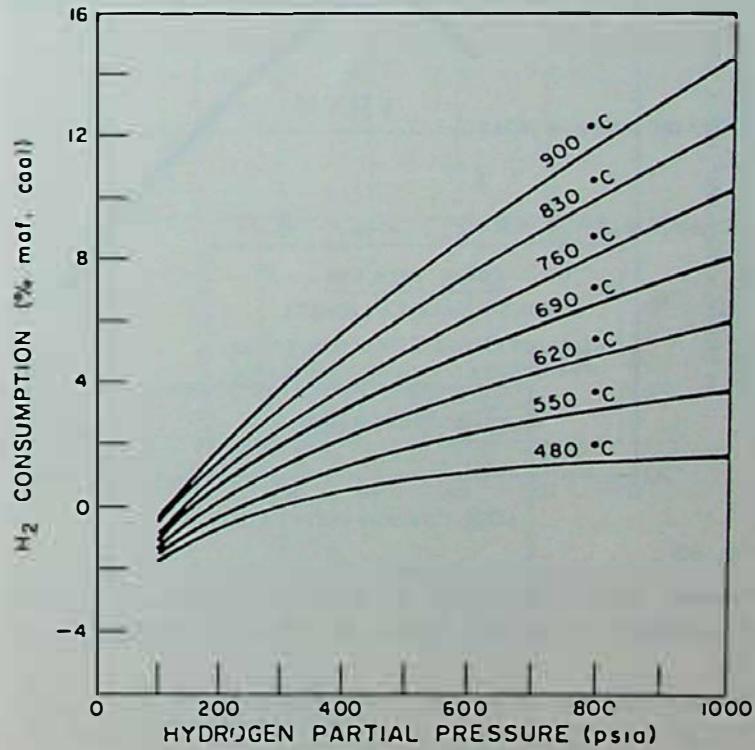


Fig. 52 :  
Consommation d'hydrogène pour un temps de séjour de 10 min dans un réacteur en lit fluidisé (réf. 63)  
(Reproduced from Holmes J.M., Cochran H.D. Jr., Edwards M.S., Joy D.S., Lantz P.M., Coal Processing Technology, 1977, 3, by courtesy of American Institute of Chemical Engineers)

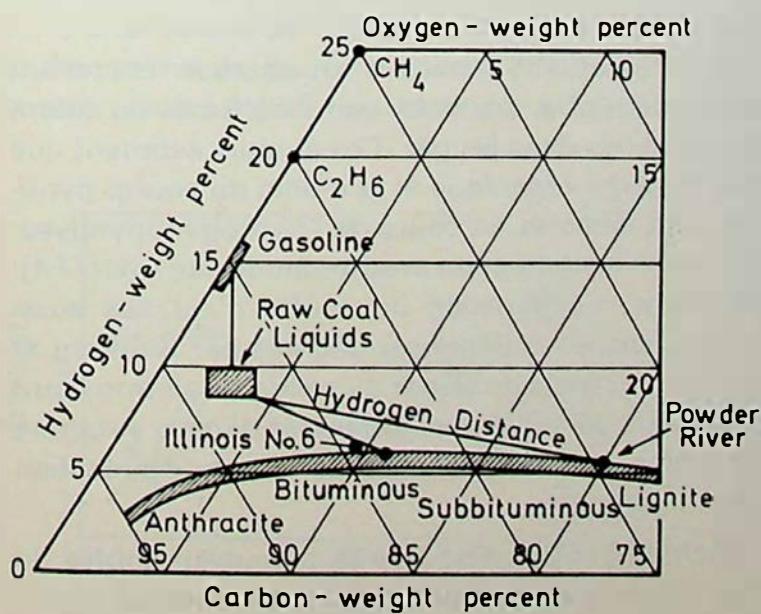


Fig. 51 :  
Diagramme de Seyler montrant la « distance d'hydrogène » (réf. 73)

tante à haute température puisque, dans ces conditions, on forme surtout du méthane. Dans le cas où la température et la pression sont suffisamment faibles, le bilan d'hydrogène peut être excédentaire.

Greene a montré [21], sur du lignite du North Dakota, qu'au cours de l'étape initiale qui concerne la fraction facilement et rapidement hydrogénable du charbon, la vitesse de déshydrogénération du charbon est supérieure à la consommation d'hydrogène. On

voit, sur la figure 53, que la déshydrogénéation est maximale vers 30 % de conversion du carbone contenu dans le charbon. A ce point, 50 % de l'hydrogène consommé proviennent directement du charbon. Ce point marque la fin de l'étape de la pyrolyse et de l'hydrogénéation des matières volatiles et le début de l'hydrogénéation du carbone résiduel. Il correspond au point de concourance des courbes de la figure 47.

La figure 54 (Oberg *et al.* [33]) confirme également ces remarques. Dans l'ensemble des travaux examinés, la consommation nette d'hydrogène est de 0 à 8 % en poids du charbon. D'un point de vue industriel étant donné le coût élevé de l'hydrogène, il faudra se limiter en rendement de conversion de manière à diminuer la consommation en hydrogène et il faudra favoriser la formation de BTX et limiter celle de méthane.

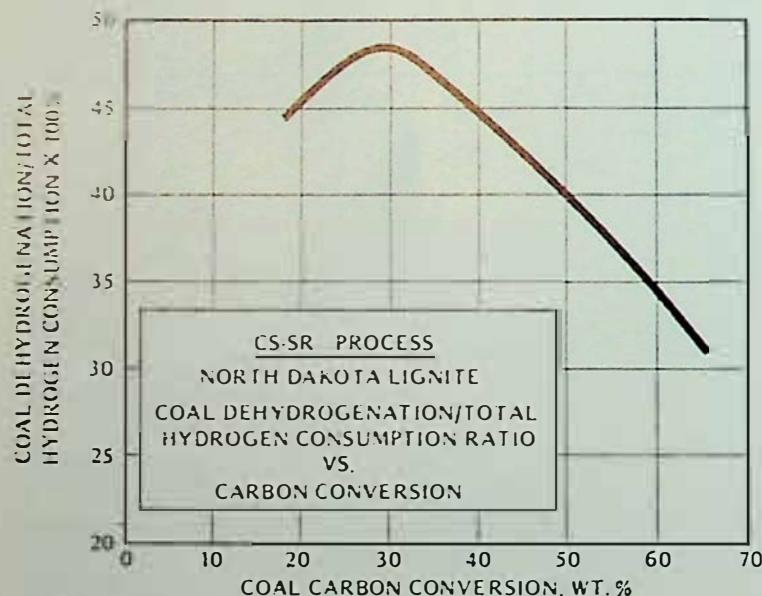


Fig. 53 :

Rapport déshydrogénéation du charbon/consommation totale d'hydrogène en fonction du taux de conversion du carbone (réf. 21)

(Reproduced from Greene M.I., Fuel Processing Technology, Vol. 1, 1977-1978, p. 178, by courtesy of Elsevier Scientific Publishing Company)

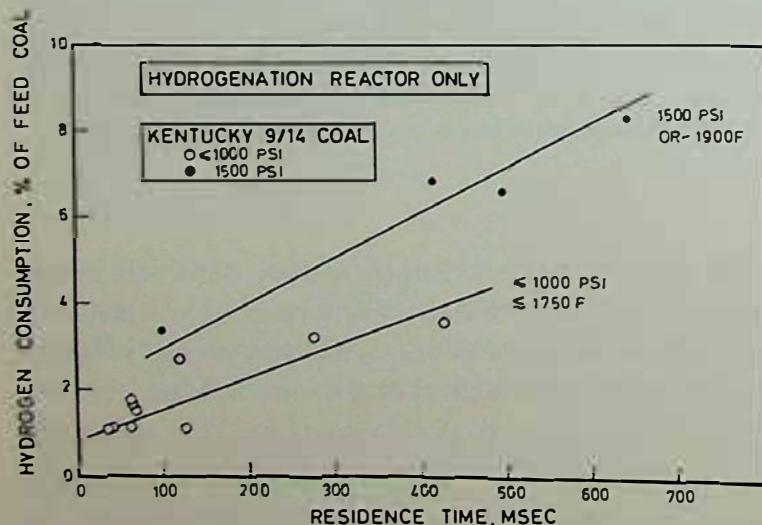


Fig. 54 :

Consommation d'hydrogène (réf. 33)

### 3.9. Elimination du soufre

La plupart des travaux examinés ne donnent pas d'analyses des chars produits. Le soufre du charbon est en partie converti en  $H_2S$  (et en  $COS$  dans une moindre mesure [74]), mais c'est surtout le soufre minéral (pyritique) qui est facilement éliminé [74].

Feldmann *et al.* [44] ont montré que l'élimination du soufre est liée au taux de conversion du carbone. La figure 55 montre que, dans le charbon étudié, le soufre est plus réactif à l'hydrogène que ne l'est le carbone. Dans une installation en lit fluidisé, ces auteurs prétendent avoir éliminé 85 % du soufre du charbon.

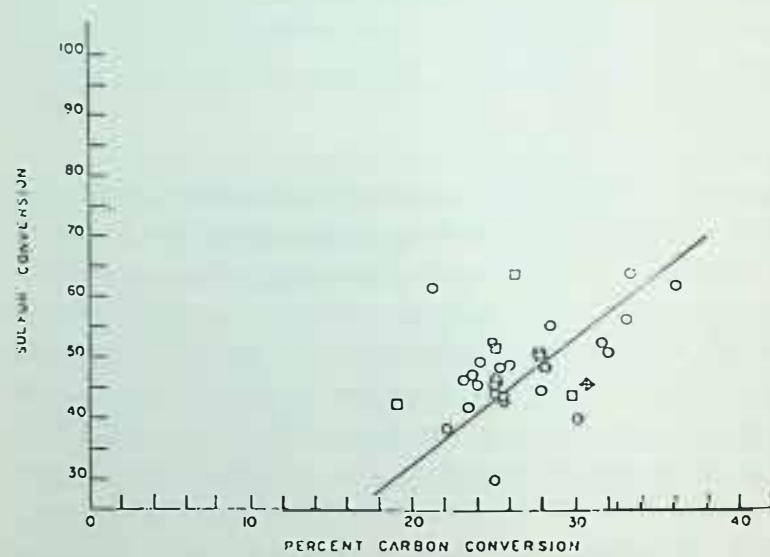


Fig. 55 :

« Coal Gasification »

Relation entre la conversion du soufre et la conversion du carbone. +, lignite; 0, charbon bitumineux de Pittsburgh; —, Illinois n° 6 (réf. 44)

(Feldmann H.F., Mima J.A., Yavorsky P.M. in « Coal Gasification », Massey L.G. Ed., Advances in Chemistry Series No. 131; American Chemical Society : Washington, DC, 1974, p. 121)

Graff *et al.* [55], traitant un charbon contenant 4,2 % de soufre, ont établi que 74 à 84 % du soufre sont éliminés dans les gaz. Ces auteurs estiment que tout le soufre organique et la moitié du soufre pyritique sont éliminés au cours de l'hydrogénopyrolyse; ceci est en contradiction avec les études de Attar [74]. De même, l'élimination du soufre n'est pas aussi bonne dans les expériences décrites par Suuberg *et al.* [58]. Le temps de séjour du solide serait trop court et le soufre serait lié plus fortement dans la structure du charbon, ce qui limiterait sa vitesse de réaction avec l'hydrogène.

Cochran [15] signale que la teneur en soufre du char diminue légèrement avec la température, alors que son pouvoir calorifique augmente; la quantité de  $SO_2$  formée par kcal diminue par hydrogénopyrolyse. Ceci est un avantage fondamental de l'HyPy.

Le Clean Coke Process [18] produit un bon coke métallurgique désulfuré. 15.080 tonnes de soufre sont récupérées pour une production de 750.000 tonnes de coke.

Fallon et al. [39] montrent que c'est surtout le soufre organique qui est le plus difficile à éliminer puisque, dans le lignite de départ et le char résultant, il y a respectivement 64 % et 90 % du soufre qui sont sous forme organique.

Certains auteurs [15, 36, 39] donnent la teneur en soufre du liquide produit : elle est toujours faible (< 0,1 à 0,3 %).

Avec un charbon riche en soufre, dont les matières minérales sont essentiellement  $\text{CaCO}_3$  et  $\text{MgCO}_3$ , Cyprès et Furfari [12, 13] n'obtiennent qu'une désulfuration partielle. Ils ont démontré que le taux de désulfuration dépend de la nature des matières minérales présentes dans le charbon. Avec le charbon étudié, l' $\text{H}_2\text{S}$  formé réagit avec les carbonates pour donner du  $\text{CaS}$  et du  $\text{MgS}$ .

La figure 56 montre que, pour une température croissante [75, 76], à pression constante, la teneur en soufre dans le char croît également, et dépasse à haute température la teneur en soufre du charbon de départ. Ceci s'explique par une plus grande réactivité entre  $\text{H}_2\text{S}$  et  $\text{CaCO}_3/\text{CaO}$ .

On a montré [13, 75, 76] que, malgré cette teneur croissante en soufre, le char du charbon de Sulcis pouvait être utilisé comme combustible non polluant : la combustion à l'air ne donne lieu qu'à une faible pollution. Le charbon non traité pollue à raison de 2,2 g de  $\text{SO}_2$ /MJ, alors que les chars ne libèrent que 0,6 g de  $\text{SO}_2$ /MJ (fig. 57).

On a proposé [13] le schéma réactionnel donné à la figure 58. Lors de l'HyPy, le soufre est essentiellement éliminé sous forme de  $\text{H}_2\text{S}$ , mais si les matières minérales du charbon sont riches en  $\text{CaCO}_3$  et ou  $\text{MgCO}_3$ , une partie de l' $\text{H}_2\text{S}$  réagit avec celles-ci et il y a formation de  $\text{CaS}$  et/ou  $\text{MgS}$ . Les composés soufrés primaires peuvent craquer et former de l' $\text{H}_2\text{S}$  et des composés soufrés secondaires plus stables

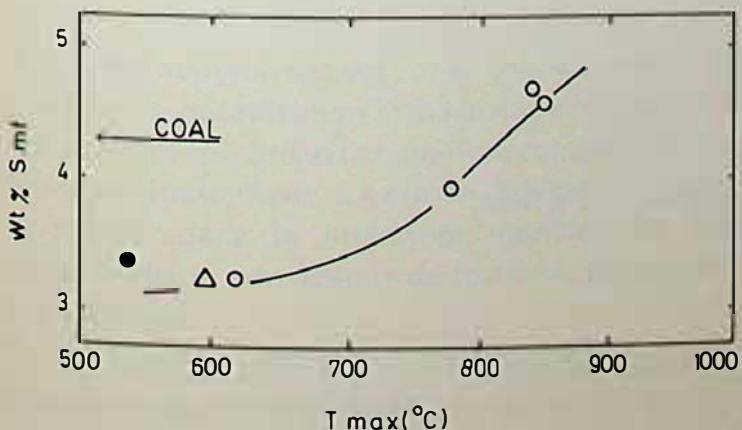


Fig. 56 :

Teneur en soufre des chars de Sulcis. O : 3 MPa  $\text{H}_2$ ; Δ : 1 MPa  $\text{H}_2$ ; ● : 3 MPa  $\text{H}_2$  (réf. 75)

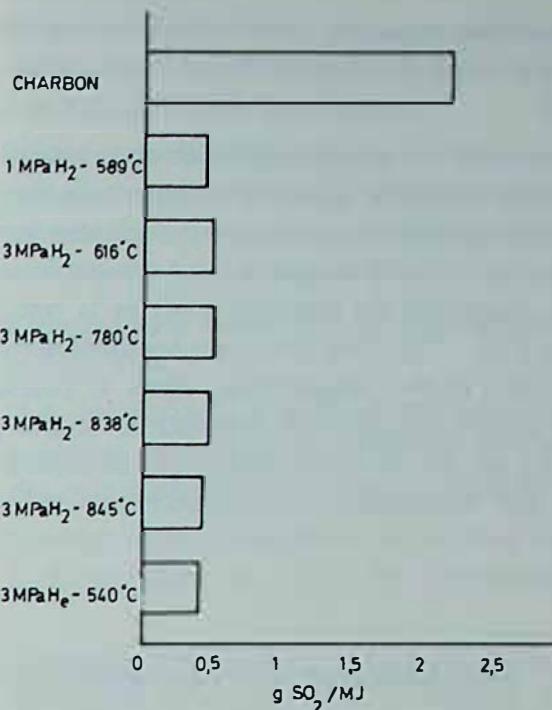


Fig. 57 :

$\text{SO}_2$  libéré par MJ lors de la combustion du charbon de Sulcis et des différents chars (réf. 75)

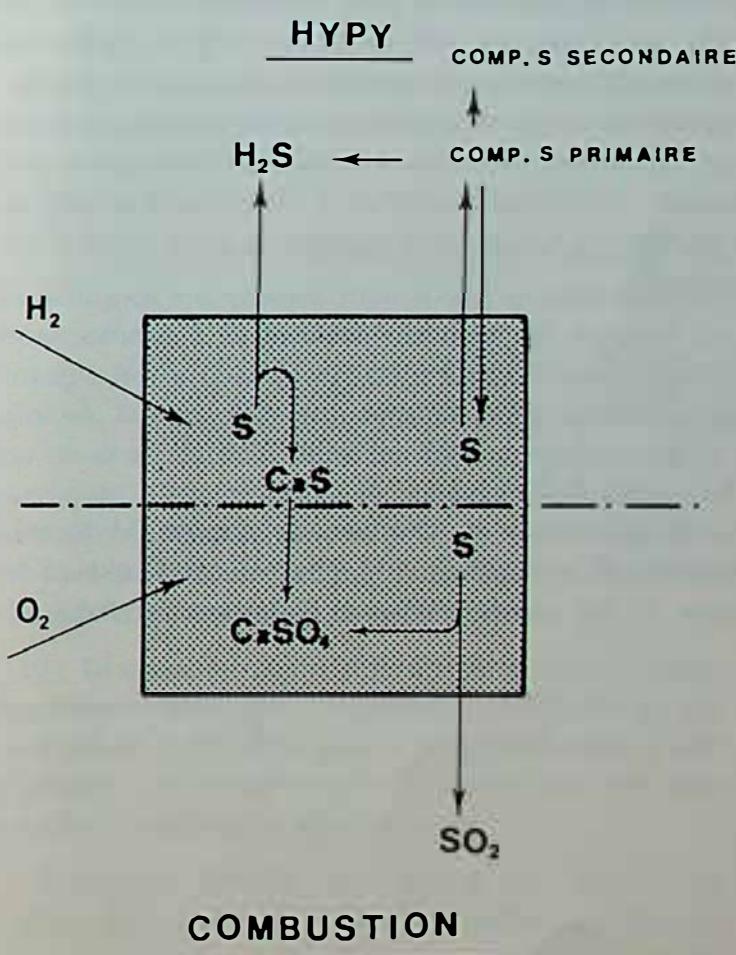


Fig. 58 :

Représentation schématique des réactions du soufre lors de l'HyPy et de la combustion (réf. 13)

comme les thiophènes. Lors de la combustion des ces chars, le soufre non éliminé lors de l'HyPy, donne du  $\text{SO}_2$ ; si du  $\text{CaO}$  est encore disponible, ce  $\text{SO}_2$  est fixé sous forme de  $\text{CaSO}_4$ . Le  $\text{CaS}$  s'oxyde directement en  $\text{CaSO}_4$ .

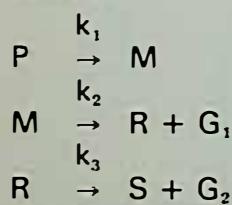
Wood et Wiser [41] obtiennent également un char plus riche en soufre que le charbon de départ, mais ils

n'en examinent pas la cause. On peut penser qu'il s'agit d'un cas semblable à celui que nous avons observé.

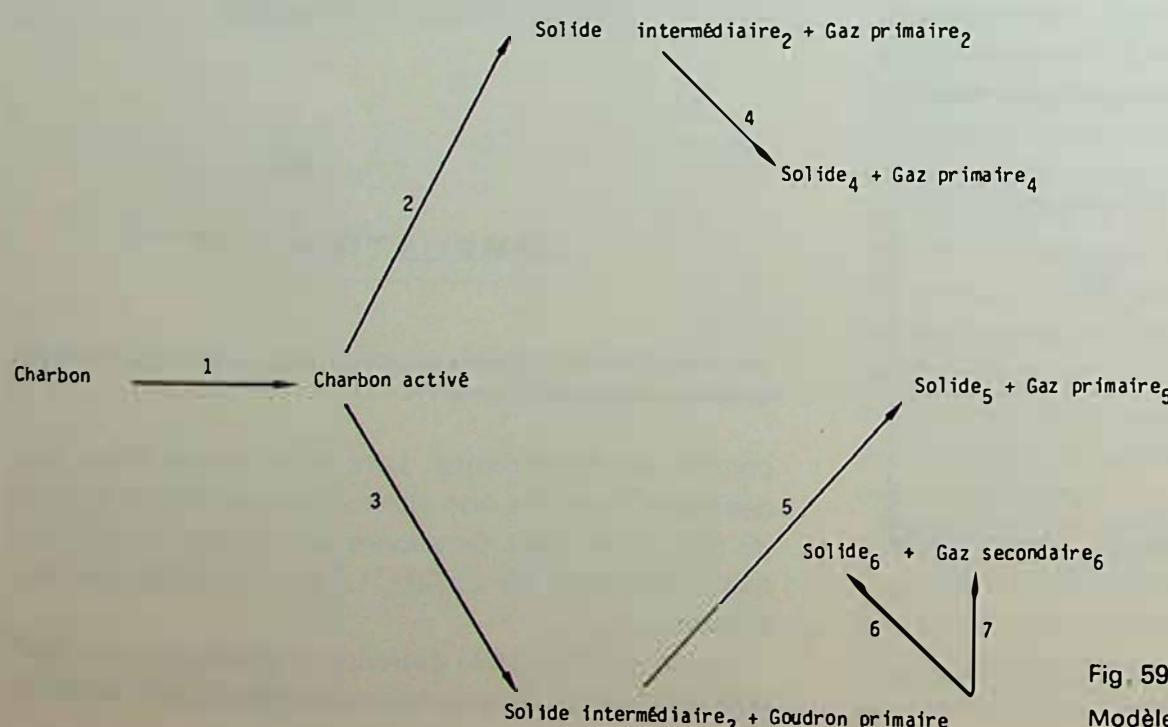
On voit que les résultats publiés sont assez contradictoires quant à la quantité et la nature du soufre éliminé. Nous pensons que ces différences sont plus causées par la manière dont le soufre organique est lié dans la molécule de charbon [74] et la nature des cendres [12, 13, 74] que par les différents paramètres de l'HyPy. Cependant, dans la plupart des cas, il y a bien réduction de la teneur en soufre dans le solide. Le soufre est essentiellement éliminé avec les gaz et est facilement récupérable par le procédé Claus.

### 3.10. Mécanismes de l'hydrogénopyrolyse

L'HyPy du charbon étant avant tout une décomposition thermique, ses mécanismes sont étroitement liés à ceux de la pyrolyse. Une des théories de la pyrolyse du charbon la plus couramment admise est celle proposée par van Krevelen [77] en 1956 : la fusion pâteuse du charbon est la cause de la dépolymérisation et de la rupture de certaines liaisons entre les molécules. Le produit de la dépolymérisation est appelé métaplaste (produit intermédiaire plastique métastable). Les auteurs donnent le schéma simplifié suivant :



où P représente le charbon de départ, M le métaplaste, R le résidu solide (char ou semi-coke), S le coke, G<sub>1</sub> les gaz primaires et G<sub>2</sub> les gaz secondaires.



Chermin et van Krevelen [78] ont développé un modèle mathématique basé sur ce schéma de réaction. L'énergie d'activation globale trouvée de la pyrolyse est de 50 kcal/mole.

Reidelbach et Summerfield [79] ont proposé un modèle plus élaboré en dix étapes (fig. 59). Le charbon est d'abord activé thermiquement et est décomposé ensuite en goudron et char ou gaz primaire et char. Pour chacun des chemins suivis, le char se décompose pour donner d'autres gaz. Le goudron peut donner un résidu solide et des gaz secondaires.

Les autres modèles proposés [80-82] ne sont que des variantes de celui de van Krevelen que l'on peut résumer ainsi : les produits de la pyrolyse du charbon, dans les conditions où ils sont fermés, sont soit des produits stables qui sont éliminés tels quels, soit des produits instables qui se polymérisent ou craquent ou réagissent entre eux.

Si l'on veut obtenir le maximum de matières volatiles, il faut éliminer rapidement les produits instables du milieu où ils se trouvent, d'où l'intérêt de travailler à faible temps de séjour des matières volatiles.

L'hydrogène, dans l'hydrogénopyrolyse, réagit avec ces produits instables et les stabilise. Ceci explique l'existence d'une réaction rapide entre le charbon et l'hydrogène. Le travail déjà cité de Johnson [61] confirme cette réaction rapide. Anthony et Howard [65] ont proposé la figure 60 : les conversions obtenues à différentes vitesses de chauffage ( $a > b > c$ ) sous une pression donnée d'hydrogène ( $d > e$ ) tendent vers une même valeur. La réaction rapide existe dans chaque cas, mais le moment où elle se produit dépend des conditions d'HyPy. Les parties plates des courbes de cette figure, ainsi que de la figure 44, correspondent à la réaction lente entre le résidu solide et l'hydrogène, pour donner essentiellement du méthane.

Fig. 59 :  
Modèle de Reidelbach et Summerfield (réf. 79)

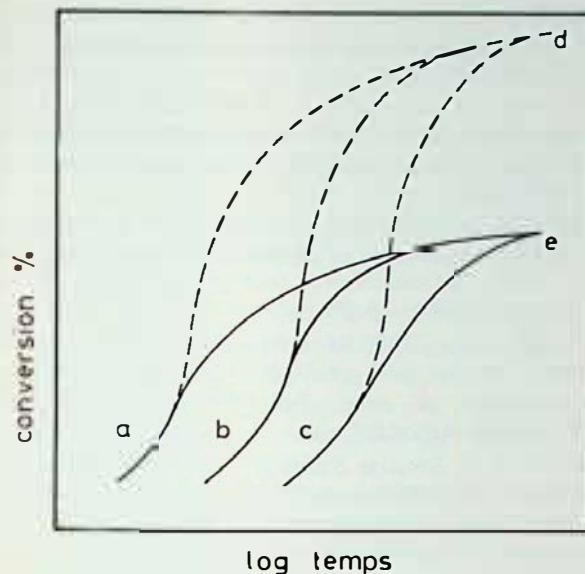


Fig. 60 :

Conversion en fonction du temps (réf. 65)

Plusieurs modèles cinétiques [83-85] ont été proposés pour expliquer le comportement du charbon pendant l'hydrogénopyrolyse et l'hydrogénogazéification. Ils donnent satisfaction dans une gamme limitée de conditions. Anthony et Howard [65] proposent un modèle plus développé où 9 paramètres doivent être déterminés expérimentalement pour chaque charbon et dont la principale caractéristique est que l'énergie d'activation a une distribution gaussienne. Ces auteurs se rapprochent plus de la vérité car, comme on l'a vu, l'HyPy consiste en une multitude de réactions chimiques ayant des énergies d'activation différentes.

On le voit, de nombreuses théories ont été développées pour établir les corrélations existantes entre le taux de conversion du carbone et la vitesse de cette conversion. Cependant, très peu de travaux permettent de déterminer la nature des produits formés. Quelques modèles sont développés pour la détermination du méthane ou de l'éthane, mais en ce qui concerne les liquides, et les BTX-PCX en particulier, tout le travail reste à faire.

#### 4. CONCLUSIONS

L'hydrogénopyrolyse est une solution intermédiaire entre la gazéification et la liquéfaction intégrale du charbon et son utilisation comme combustible solide sans prétraitement. L'examen critique des résultats publiés dans la littérature mondiale et nos propres travaux, permettent de formuler les conclusions suivantes :

1. La dévolatilisation sous pression d'hydrogène est rapide et peut être terminée en quelques minutes ou quelques secondes à très haute température.
2. Il y a réaction chimique entre l'hydrogène et les matières volatiles primaires.

3. Le taux de dévolatilisation qui est obtenu sous pression d'hydrogène est supérieur à celui qui est atteint sous atmosphère de gaz inerte.

4. L'élévation de la température favorise la conversion globale, modifie la nature des produits obtenus et conduit à la formation quasi exclusive de méthane aux hautes températures.

5. Les rendements maximaux en liquide sont obtenus vers 650-830 °C.

6. Il faut optimaliser, à chaque température, le temps de séjour des matières volatiles et cela en fonction des composés que l'on désire produire.

7. Si le temps de séjour du charbon est trop long, il y aura hydrogénéation du char et formation de méthane.

8. La pression d'hydrogène influence favorablement la formation de méthane et la nature des liquides formés, mais son rôle n'est pas évident quant à la quantité d'huile produite.

9. La pression partielle d'hydrogène ne doit pas être trop faible par rapport à la pression totale, sinon l'hydrogène ne joue plus son rôle.

10. Les vitesses de chauffage élevées favorisent la formation d'huile et donc, indirectement, de BTX, mais il n'est pas nécessaire d'atteindre des chauffages ultra rapides.

11. Les granulométries fines semblent donner des résultats plus intéressants mais il faut en examiner les conséquences à la lumière du prix de revient du broyage. Notre opinion est qu'il faut utiliser pour la pyrolyse, la granulométrie requise pour la combustion du char résiduel dans les foyers des centrales électriques. Ceci supprime le coût de la préparation du charbon, puisque celle-ci doit, de toute manière, être faite dans la combustion classique du charbon, telle qu'elle est pratiquée actuellement.

12. La consommation d'hydrogène est un paramètre économique très important. Il faut choisir les conditions d'HyPy telles que cette consommation soit minimale, c'est-à-dire éviter la formation de méthane et limiter la dégradation des phénols.

13. L'HyPy élimine une partie du soufre du charbon sous forme de H<sub>2</sub>S si le charbon est pauvre en constituants minéraux basiques. Ce facteur explique que les résultats de la désulfuration sont contradictoires dans la littérature.

14. Des études cinétiques et des modèles mathématiques sont développés. Ils donnent satisfaction dans des conditions particulières et uniquement pour les prévisions du taux de dévolatilisation et la conversion en méthane ou éthane.

15. Les recherches sur l'HyPy doivent être poursuivies et approfondies de manière à établir des corrélations plus rigoureuses entre les différents para-

mètres et les rendements. Les conclusions que l'on peut tirer ne sont pas suffisamment rigoureuses.

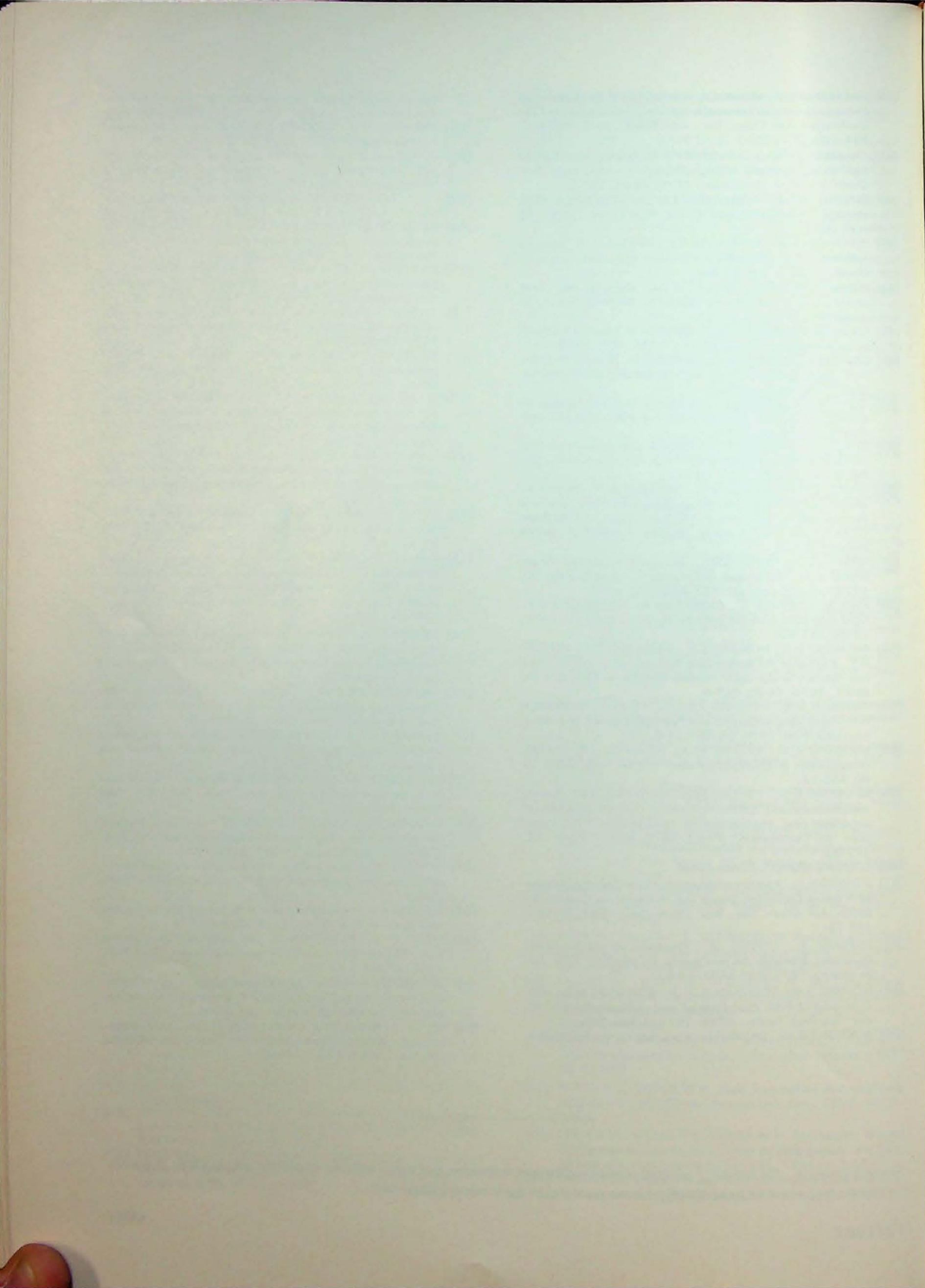
16. Le principal produit formé par l'HyPy est le char. Trop peu d'attention lui est consacrée, notamment du point de vue composition et propriétés (reactivité principalement). Ce travail est en cours dans notre laboratoire.

## 5. REFERENCES

- N.B. Les rapports du US DOE sont disponibles au NTIS, US Department of Commerce, Springfield, Virginia, 22161, USA.
- [1] NORMAN O.E. *The romance of the gas industry*. A.C. McClurg, Chicago, 1922.
  - [2] SERGIUS F., BILLWILLER J. Brevet allemand 301231, 26 nov 1919, application 8 août 1913.
  - [3] DENT F.J., BLACKBURN W.H., MILLETT H.C. *Synthesis of gaseous hydrocarbons at high pressure*. Inst. Gas. Eng.. Comm., 1937, 167, 47 pp.
  - [4] CYPRES R. *Perspectives actuelles de la carbochimie*. Techniques de Cokeries. Commission des Communautés Européennes, 6 et 7 mai 1975, Luxembourg.
  - [5] CYPRES R. *Preliminary hydropyrolysis of coal to be burned in power-plants*. Vth Intern. Conf. Coal Research, Düsseldorf, 1980, Vol. II, pp. 23-40.
  - [6] MIMA J.A., LEWIS P.S., FRIEDMAN S., HITESHUE R.W. *Hydrogenation of coal at extreme conditions*. Chem. Eng. Prog. Symposium series, 1967, 63 (76), 55-61.
  - [7] CHANNABASAPPA K.C., LINDEN H.R. *Hydrogenolysis of bituminous coal*. Ind. Eng. Chem.. Process. Des. Dev. 1956, 48 (5), 900-5.
  - [8] FLINN J.E., SACHSEL G.F. *Exploratory studies of a process for converting oil shale and coal to stable hydrocarbons*. Ind. Eng. Chem.. Process. Des. Dev., 1968, 7 (1), 143-9.
  - [9] GROWCOCK F.B., MacKENZIE D.R. *Rapid hydrogenation of a North Dakota lignite*. Fuel, 1976, 55 (10), 349-54.
  - [10] CYPRES R. et FURFARI S. *Low Temperature Coal Pyrolysis under Hydrogen Pressure*. Conference on « Industrial Conversion of Coal and Carbon to Gas, Liquid and High-Value Solid-Products », organisée par la Society Chemical Industry, Londres, Avril 1981, Fuel, 1981, 60 (9), 768-78.
  - [11] CYPRES R. et FURFARI S. *Hydrogénopyrolyse du charbon en lit fixe à faible vitesse de chauffage*. Conférence Internationale sur la science du charbon, Düsseldorf, 7-9 sep. 1981.
  - [12] CYPRES R. *Hydrogenopyrolysis of coal and coal derivatives*. 182th National ACS Meeting, New-York, August 23-28, 1981.
  - [13] FURFARI S., et CYPRES R., à paraître dans Fuel.
  - [14] CLARK E.L., PELIPETS M.G., STORCH H.H., WELLER S., SCHREIBER S. *Hydrogenation of coal in a fluidized bed*. Ind. Eng. Chem., 1950, 52 (5), 861-5.
  - [15] COCHRAN H.D. Jr. *Hydrocarbonization*. In Coal Conversion Technology, Am. Chem. Soc., Adv. Chem. Ser., 1979, n° 110, 37-54.
  - [16] YOUNGBLOOD E.F., COCHRAN H.D. Jr., WESTMORELAND P.R., BROWN C.H. Jr., OSWALD G.E., MILLER C.T. *Hydrocarbonization of coal in a fluidized bed*. Ind. Eng. Chem., Prod. Res. Dev. 1980, 19 (1), 29-34.
  - [17] COCHRAN H.D. Jr., HOLMES J.M. *Mild hydrocarbonization of western coal*. In Thermal Hydrocarbon Chemistry, Am. Chem. Soc., Adv. Chem. Ser., 1979, n° 183, 225-38.
  - [18] CLEAN COKE. *Process Description and Economic Study*. US Steel, february, 1980.
  - [19] LEWIS P.S., FRIEDMAN S., HITESHUE R.W. *High-BTU gas by the direct conversion of coal*. Prep. Am. Chem. Soc., Div. Fuel Chem., 1966, 10 (4), 186-97.
  - [20] PELOFSKY A.H., GREENE M.I., LADELFA C.J. *Direct production of methane and benzene from coal*. Energy communications, 3 (3), 1977, 253-72.
  - [21] GREENE M.I. *Engineering development of a short residence time coal hydropyrolysis process*. Fuel Processing Technol. 1 (1977-78), 169-85.
  - [22] HAMSCHAR J.A., BIVACCA S., GREENE M.I. *Reaction engineering of the CS/R flash hydropyrolysis technique for coal gasification*. 71st Annual AIChE Meeting, Miami Beach, Flo. nov. 13, 1978.
  - [23] GREENE M.I., LADELFA C.J., BIVACCA S.J. *A process concept for the production of benzene-ethylene-SNG from coal using flash hydropyrolysis technology*. Fuel Processing Technol., 3 (1980), 75-99.
  - [24] LADELFA C.J., GREENE M.I. *Economic evaluation of synthetic natural gas production by short residence time hydropyrolysis of coal*. Fuel Processing Technol., 1 (1977-1978), 187-208.
  - [25] SINGH S.P.N. *Scoping Study on Two Flash Hydropyrolysis Processes*. US DOE Report 1978, ORNL/TM-6265.
  - [26] FELDKIRCHNER H.L., LINDEN H.R. *Reactivity of coals in high-pressure gasification with hydrogen and steam*. Ind. Eng. Chem., Process. Des. Dev., 1963, 2, 153-62.
  - [27] DUNCAN D.A., BEESON J.L., OBERLE R.D. *Coal hydropyrolysis permits product yield variation*. US DOE Report 1978, CONF-780611-4.
  - [28] DUNCAN D.A., BEESON J.L., OBERLE R.D. *Gasoline from coal by the IGT riser cracking process*. IG LaScope, 1979, 46, 2-5, 8.
  - [29] DUNCAN D.A. *Process for hydrocracking carbonaceous material to provide fuels or chemical feed stock*. US Patent appl. dec. 10, 1980, 15258.
  - [30] DUNCAN D.A., BEESON J.L., OBERLE R.D. *Research and development of rapid hydrogenation for coal conversion to synthetic motor fuels (riser cracking of coal)*. Project 8076. Task report : task 3. Design of a process development unit. US DOE Report 1978, FE-2307-27.
  - [31] DUNCAN D.A., BEESON J.L., OBERLE R.D. *Coal conversion through riser cracking*. Advances in Coal Utilisation and Technology Symposium, Institute of Gas Technology, Louisville, Kentucky, May 14-18, 1978.
  - [32] DUNCAN D.A., PAGANESE J. *Liquid products from peat pyrolysis*. Proc. Intersoc. Energy Convers. Eng. Conf. 1980, 15th (2), 1579-85.
  - [33] OBERG C.L., COMBS L.P., SILVERMAN J. *Coal conversion by flash hydropyrolysis and hydrogasification*. Proc.-Intersoc. Energy Convers. Eng. Conf., 1978, 13, 402-8.
  - [34] OBERG C.L., FALKA Y., SILVERMAN J. *Flash hydropyrolysis for high-value products*. Coal Processing Technol., 1979, 5, 182-3.
  - [35] STEINBERG M., FALLON P. *Coal liquefaction by rapid gas phase hydrogenation*. 169th National ACS Meeting, Philadelphia, April 6-11, 1975.
  - [36] STEINBERG M., FALLON P., DANG V.D., BHATT B., ZIEGLER E., LEE Q. *Reaction, Process and cost engineering for the FHP of coal*. 71st Annual AIChE Meeting, Miami Beach, 1978, nov. 12-16.
  - [37] DANG V.D., STEINBERG M. *Coal conversion in flash hydropyrolysis reactors*. US DOE Report 1979, BNL-26209, CONF-790822-5.
  - [38] BHATT B., FALLON P.T., STEINBERG M. *Reaction modelling and correlation for flash hydropyrolysis of lignite*. Proc. Intersoc. Energy Convers. Eng. Conf., 1980, 15th (3), 1847-52.
  - [39] FALLON P.T., BHATT B., STEINBERG M. *The flash hydropyrolysis of lignite and subbituminous coals to both liquid and gaseous hydrocarbon products*. Fuel Processing Technol., 1980, 3, 155-168.
  - [40] QADER S.A., HADDADIN R.P., ANDERSON L.L., HILL G.R. *Coal can also yield liquid fuels*. Hydrocarbon Process, 1969, 48, 147-52.
  - [41] WOOD R.E., WISER W.H. *Coal liquefaction in coiled tube reactors*. Ind. Eng. Chem., Process Des. Dev., 1976, 15 (1), 144-9.
  - [42] LYTHE J.M., WOOD R.E., WISER W.H. *Mechanism of coal hydrogenation-liquefaction; effect of temperature and coal particle size*. Fuel Processing Technol., 1981, 4, 3-19.
  - [43] LANTZ P.M. *University of Utah's continuous coal hydrogenation process*. US DOE Report 1977, ORNL/TM-5737.

- [44] FELDMANN H.F., MIMA J.A., YAVORSKY P.M. *Pressurized hydrogassification of raw coal in a dilute-phase reactor*. In Coal Gasification, Am. Chem. Soc., Adv. Chem. Ser., 1974, n° 131, 108-25.
- [45] CHAMBERS H.F. Jr., YAVORSKY P.M. *Production of SNG by free-fall dilute-phase hydrogassification of coal*. Prep. Am. Chem. Soc., Div. Fuel Chem., 1978, 23 (3), 150-9.
- [46] HITESHUE R.W., ANDERSON R.B., SCHLESINGER M.D. *Hydrogenating coal at 800 °C*. Ind. Eng. Chem., 1957, 49 (12), 2008-10.
- [47] HITESHUE R.W., ANDERSON R.B., FRIEDMAN S. *Gaseous hydrocarbon by hydrogenation of coals and chars*. Ind. Eng. Chem., 1960, 52 (7), 577-9.
- [48] SQUIRES A.M. *The Coalplex : gas, gasoline and clean electricity from coal*. 65th Annual AIChE Meeting, New-York, November 26-30, 1972.
- [49] SQUIRES A.M., GRAFF R.A., DOBNER S. *Flash hydrogenation of a bituminous coal*. Science, 1975, 189, 793-5.
- [50] GRAFF R.A., DOBNER S., SQUIRES A.M. *Flash hydrogenation of coal. 1) Experimental methods and preliminary results*. Fuel, 1976, 55 (2), 109-12.
- [51] DOBNER S., GRAFF R.A., SQUIRES A.M. *Flash hydrogenation of coal 2) Yield structure for Illinois n° 6 coal at 100 atm*. Fuel, 1976, 55 (2), 113-5.
- [52] CHEN W.Y., GRAFF R.A., LA CAVA A. *Comparative study of US coals in flash hydrogenation*. Prep. Am. Chem. Soc., Div. Pet. Chem., 1978, 23 (4), 1316-21.
- [53] GRAFF R.A., YERUSHALMI J., SQUIRES A.M. *Studies toward improved techniques for gasifying coal*. Final Technical Report for the period June 1, 1972 to July 31, 1976. Grant GI-34286A-1 The National Science Foundation RANN Program, 1976.
- [54] GRAFF R.A., YERUSHALMI J. *Improved techniques for gasifying coal*. First annual report July 1, 1976 to June 30, 1977, US DOE Contract n° EX-76-5-S-01-2340.
- [55] FINN M.J., FYNES G., LADNER W.R., NEWMAN J.O.H. *Light aromatics from the hydropyrolysis of coal*. Fuel, 1980, 59 (6), 397-404.
- [56] ANTHONY D.B., HOWARD J.B., MEISSNER H.P., HOTTEL H.C. *Apparatus for determining high pressure coal-H<sub>2</sub> reaction kinetics under rapid heating conditions*. Rev. Sci. Instrum., 1974, 45 (8), 992-5.
- [57] ANTHONY D.B., HOWARD J.B., HOTTEL H.C., MEISSNER H.P. *Rapid devolatilization and hydrogazification of bituminous coal*. Fuel, 1976, 55 (2), 121-8.
- [58] SUUBERG E.M., PETERS W.A., HOWARD J.B. *Product compositions in rapid hydropyrolysis of coal*. Fuel, 1980, 59 (6), 405-12.
- [59] SUUBERG E.M., PETERS W.A., HOWARD J.B. *Product compositions and formation kinetics in rapid pyrolysis of pulverized coal. Implications for combustion*. XVII Symposium on Combustion; [Proc.] 1978 (pub. 1979), 17, 117-30.
- [60] SOUDAN-MOINET C., non publié.
- [61] JOHNSON J.L. *Kinetics of Bituminous Coal Char Gasification with Gases Containing Steam and Hydrogen*. In Coal Gasification, Am. Chem. Soc., Adv. Chem. Ser., 1974, N° 131, 145-78.
- [62] FURFARI S., CYPRES R., *Procédés de carbochimie. Nouveaux procédés de valorisation du charbon*, CCE, Luxembourg, 1979, EUR 6466. d.e.f.
- [63] HOLMES J.M., COCHRAN H.D. Jr., EDWARDS M.S., JOY D.S., LANTZ P.M. *Evaluation of coal carbonization processes*. Coal Proc. Techn., AIChE, 1977, 3, New-York.
- [64] ALBRIGHT C.W., DAVIS H.G. *A process for dry hydrogensa-*  
*tion of low rank coals with high yields of phenolics*. Prepr. Am. Chem. Soc., Div. Fuel Chem., 1970, 14 (4), part 1, 99.
- [65] ANTHONY D.B., HOWARD J.B. *Coal devolatilization and hydrogassification*. AIChE J., 1976, 22 (4), 625-56.
- [66] WARREN W.B. *Carbonization of coal. Evaluation of effects of rate of heating and of maximum temperature on pyrolysis of a coking coal*. Ind. Eng. Chem., 1935, 27 (1), 72-7.
- [67] PETERS W., BERTLING H. *Kinetics of the rapid degasification of coals*. Fuel, 1965, 44, 317-31.
- [68] BADZIOCH S., HAWKSLEY P.G.W. *Kinetics of thermal decomposition of pulverized coal particles*. Ind. Eng. Chem., Process Des. Dev., 1970, 9 (4), 521-30.
- [69] MENTSER M., O'DONNELL H.J., ERGUN S., FRIEDEL R.A. *Devolatilization of coal by rapid heating*. In Coal gasification, Am. Chem. Soc., Adv. Chem. Ser., 1974, n° 131, 1-8.
- [70] TYLER R.J. *Flash pyrolysis of coals. 1. Devolatilization of a Victorian brown coal in a small fluidized-bed reactor*. Fuel, 1979, 58 (9), 680-6.
- [71] SUUBERG E.M., PETERS W.A., HOWARD J.B. *Product composition and kinetics of lignite pyrolysis*. Ind. Eng. Chem., Process Des. Dev., 1978, 17, 37.
- [72] SUUBERG E.M., PETERS W.A., HOWARD J.B. *A comparison of the rapid pyrolysis of a lignite and bituminous coal*. In Thermal hydrocarbon Chemistry, Am. Chem. Soc., Adv. Chem. Ser., 1979, n° 183, 239-57.
- [73] SIMBECK D.R., DICKENSON R.L., MOLL A.J. *Coal liquefaction : Direct versus Indirect*. Coal Technology '80. 3rd International Coal Utilization Conference, Houston (1980), vol. V, p. 216-228.
- [74] ATTAR A. *Chemistry, thermodynamics and kinetics of reactions of sulfur in coal-gas reactions : a review*. Fuel, 1978, 57, 201-12.
- [75] FURFARI S., CYPRES R. *Importance of the mineral matters on the behaviour of sulphur in coal hydropyrolysis*. Presented at the 1981 Autumn Meeting, Royal Society of Chemistry, Faraday Div. & Ind. Phis. Chem. Group, Leeds, 22-24 sept. 1981.
- [76] CYPRES R. et FURFARI S. *Hydropyrolysis Desulfurisation of High Sulfur Coal*. 4th Miami International Conference on Alternative Energy Sources, 14-16 December 1981, Miami Beach, Florida, USA.
- [77] VAN KREVELEN D.W., HUNTJENS F.J., DORMANS H.N.M. *Chemical structure and properties of coal. XVI : Plastic behaviour on heating*. Fuel, 1956, 35, 462-75.
- [78] CHERMIN H.A.G., VAN KREVELEN D.W. *Chemical structure and properties of coal. XVII : A mathematical model of coal pyrolysis*. Fuel, 1957, 36, 85-104.
- [79] REIDELBACH H., SUMMERFIELD M. *Kinetic model for coal pyrolysis optimisation*. Prep. Am. Chem. Soc., Div. Fuel Chem., 1975, 20 (1), 161.
- [80] WISER W.H., HILL G.R., KERTAMUS N.J. *Kinetic study of the pyrolysis of a high-volatile bituminous coal*. Ind. Eng. Chem., Process Des. Dev., 1967, 6 (1), 133-8.
- [81] SITNAI O. *Kinetic modelling of a reactor for the flash pyrolysis of coal*. Natl. Conf. Publ. - Inst. Eng., Aust.; 1976, 76 (6), 22-30.
- [82] ZIELINSKY E. *The evolution of volatile matter from pulverized coal particles*. Fuel, 1967, 46 (5), 329-40.
- [83] MOSELEY F., PATERSON D. *The rapid high-temperature high-pressure hydrogenation of bituminous coal*. J. Inst. Fuel, 1967, 40 (nov.), 523-30.
- [84] JOHNSON J.L. *Kinetics of coal gasification in H<sub>2</sub> during initial reaction stages*. Joint US-USSR symposium on coal gasification / liquefaction, Moscow, oct. 1976.
- [85] WEN C.Y., HUEBLER J. *Kinetics study of coal char hydrogassification. Second-Phase reaction*. Ind. Eng. Chem., Process Des. Dev., 1965, 4 (2), 147-54.

*Remerciements.* Ce travail a pu être réalisé grâce aux subsides qui nous ont été accordés par la CCE, Division Charbon. Nous remercions cet organisme pour l'aide qu'il nous a apportée.



# L'activité des services de l'Administration des Mines en 1980

## Bedrijvigheid van de diensten van de Administratie van het Mijnwezen in 1980

J. MEDAET

Directeur général des mines  
Directeur-generaal der mijnen

### RESUME

Le présent rapport comporte trois parties.

Dans la première partie d'Administration des Mines rend compte de son activité dans le domaine de l'inspection du travail au cours de l'année 1980. Comme chaque année depuis 1960, elle répond ainsi à l'obligation de publication que lui impose l'article 20 de la Convention internationale n° 81 sur l'Inspection du Travail. Les matières traitées dans cette partie sont, dans l'ordre, celles que définit l'article 21 de la Convention.

La deuxième partie concerne les activités dans le domaine hydrologique de l'Administration des Mines en 1980.

La troisième partie traite des activités des services de surveillance des canalisations souterraines de cette administration au cours de la même année.

### SAMENVATTING

Dit verslag bestaat uit drie delen.

In het eerste deel brengt de Administratie van het Mijnwezen verslag uit over haar bedrijvigheid op het gebied van de arbeidsinspectie in de loop van het jaar 1980. Zoals ieder jaar sinds 1960, voldoet zij hierdoor aan artikel 20 van het Internationaal Verdrag nr 81 over de Arbeidsinspectie. De onderwerpen die in dit gedeelte besproken worden zijn die welke in dezelfde volgorde in artikel 21 van het Verdrag bepaald zijn.

Het tweede deel heeft betrekking op de bedrijvigheid van de Administratie van het Mijnwezen op het gebied van de hydrologie in 1980.

Het derde deel handelt over de bedrijvigheid van de met het toezicht op de ondergrondse leidingen belaste diensten van dezelfde administratie in de loop van hetzelfde jaar.

**SOMMAIRE****INHOUD**

<b>SOMMAIRE</b>	<b>INHOUD</b>	<b>Bladz.</b>
Page		
<i>Première partie. L'activité des services d'inspection de l'Administration des mines en 1980.</i>	<i>Eerste deel — Bedrijvigheid van de inspectiediensten van de Administratie van het Mijnwezen in 1980.</i>	
1. Lois et règlements relevant de la compétence de l'inspection du travail dans les établissements surveillés par l'Administration des mines . . . . .	1. Wetten en reglementen die tot de bevoegdheid van de arbeidsinspectie behoren in de instellingen waarop de Administratie van het Mijnwezen toezicht houdt . . . . .	1105
1.1. Lois . . . . .	1.1. Wetten . . . . .	1105
1.2. Règlements . . . . .	1.2. Reglementen . . . . .	1105
2. Personnel de l'Administration des mines chargé de l'inspection du travail	2. Personnel van de Administratie van het Mijnwezen belast met de arbeidsinspectie . . . . .	1107
3. Statistique des établissements assujettis au contrôle de l'inspection et nombre de travailleurs occupés dans ces établissements . . . . .	3. Statistiek van de inrichtingen onderworpen aan inspectie en aantal aldaar tewerkgestelde werknemers . . . . .	1108
3.1. Nombre d'entreprises et d'établissements. Personnel . . . . .	3.1. Aantal bedrijven en inrichtingen. Personeel . . . . .	1110
3.2. Visites, observations, sanctions . . . . .	3.2. Bezoeken, opmerkingen, straffen . . . . .	1110
3.3. Statistique des accidents du travail . . . . .	3.3. Statistiek van de arbeidsongevalen . . . . .	1112
3.4. Statistique des maladies professionnelles . . . . .	3.4. Statistiek van de beroepsziekten . . . . .	1119
<i>Deuxième partie — L'activité dans le domaine hydrologique de l'Administration des mines en 1980 . . . . .</i>	<i>Tweede deel — Bedrijvigheid van de Administratie van het Mijnwezen op het gebied van de hydrologie in 1980 . . . . .</i>	1120
<i>Troisième partie — L'activité des services de surveillance des canalisations souterraines de l'Administration des mines en 1980 . . . . .</i>	<i>Derde deel — Bedrijvigheid van de met het toezicht op de ondergrondse leidingen belaste diensten van de Administratie van het Mijnwezen in 1980 . . . . .</i>	1121

## Première partie

### L'ACTIVITE DES SERVICES D'INSPECTION DE L'ADMINISTRATION DES MINES EN 1980

(Rapport établi en application des articles 20 et 21 de la convention internationale n° 91 « Inspection du Travail » 1947).

Les attributions respectives des diverses administrations qui se partagent en Belgique les tâches de l'Inspection du Travail visées par la convention internationale n° 81 n'ont subi en 1980 aucune modification.

#### 1. LOIS ET REGLEMENTS RELEVANT DE LA COMPETENCE DE L'INSPECTION DU TRAVAIL DANS LES ETABLISSEMENTS SURVEILLÉS PAR L'ADMINISTRATION DES MINES

##### 11. Lois

Une loi du 21 novembre 1980 a prorogé jusqu'au 30 novembre 1981 la durée de validité de la loi du 28 juin 1976 portant réglementation provisoire du travail temporaire, du travail intérimaire et de la mise de travailleurs à la disposition d'utilisateurs.

##### 12. Règlements

###### 121. Applications particulières de règlements généraux aux travailleurs des établissements surveillés par l'Administration des Mines.

Un arrêté royal du 8 août 1980 a réglé la tenue et la conservation de deux documents sociaux : le registre du personnel et le compte individuel ; la date d'entrée en vigueur est fixée au 1er janvier 1981. Il s'agit de l'exécution des dispositions correspondantes de l'arrêté royal n° 5 du 23 octobre 1978 relatif à la tenue de documents sociaux (voir commentaires dans notre rapport relatif à l'année 1978).

Un arrêté royal du 30 septembre 1980 charge l'Administration des mines de la surveillance de l'exécution de l'arrêté royal précité n° 5 du 23 octobre 1978 relatif à la tenue de documents sociaux, mais uniquement dans les établissements surveillés par cette administration évidemment.

## Eerste deel

### BEDRIJVIGHEID VAN DE INSPECTIEDIENSTEN VAN DE ADMINISTRATIE VAN HET MIJNWEZEN IN 1980

(Opgesteld bij toepassing van de artikelen 20 en 21 van het internationaal verdrag nr 91 « Arbeidsinspectie » 1947).

De onderscheiden ambtsbevoegdheden van de verschillende administraties die in België de taken van de Arbeidsinspectie bedoeld in het internationaal verdrag nr. 81 uitoefenen, zijn in 1980 niet veranderd.

#### 1. WETTEN EN REGLEMENTEN DIE TOT DE BEVOEGDHEID VAN DE ARBEIDSINSPECTIE BEHOREN IN DE INSTELLINGEN WAAROP DE ADMINISTRATIE VAN HET MIJNWEZEN TOEZICHT HOUDT

##### 11. Wetten

Met een wet van 21 november 1980 werd de geldigheidsduur van de wet van 28 juni 1976 houdende voorlopige regeling van de tijdelijke arbeid, de uitzendarbeid en het ter beschikking stellen van werknemers ten behoeve van gebruikers, verlengd tot 30 november 1981.

##### 12. Reglementen

###### 121. Bijzondere toepassingen van algemene reglementen op de werknemers uit de instellingen waarop de Administratie van het Mijnwezen toezicht houdt.

Een koninklijk besluit van 8 augustus 1980 heeft het bijhouden en bewaren geregeld van twee sociale documenten : het personeelsregister en de individuele rekening ; de datum van inwerkingtreding werd vastgesteld op 1 januari 1981. Het gaat hier om de uitvoering van de desbetreffende beschikkingen van het koninklijk besluit nr 5 van 23 oktober 1978 betreffende het bijhouden van sociale documenten (zie toelichting in ons overzicht van het jaar 1978).

Een koninklijk besluit van 30 september 1980 verleent aan de Administratie van het Mijnwezen het toezicht op de uitvoering van voornoemd koninklijk besluit nr 5 van 23 oktober 1978 betreffende het bijhouden van sociale documenten, uiteraard uitsluitend in de inrichtingen waarop deze administratie toezicht houdt.

Un arrêté royal du 24 décembre 1980 a prorogé jusqu'au 31 décembre 1981 la durée de validité des régimes relatifs au stage des jeunes et à la prépension légale, instaurés jusqu'au 31 décembre 1977 par la loi du 30 mars 1976 relative aux mesures de redressement économique (voir notre rapport pour l'année 1977) et déjà prorogés entretemps jusqu'au 31 décembre 1980.

#### 122. Réglementation des conditions de travail. Conventions collectives de travail. Commissions paritaires.

Au cours de l'année 1980, 23 conventions collectives de travail ont été conclues par les commissions paritaires nationales et régionales, de l'industrie des briques et de l'industrie des carrières.

Ces conventions de travail concernent les conditions générales de travail (rémunérations, durée de travail, etc.), la sécurité d'existence, la sécurité d'emploi, la paix sociale, la formation des représentants des travailleurs et divers avantages sociaux complémentaires.

La Commission nationale mixte des mines n'a conclu qu'une seule convention collective de travail : la convention établissant la liste des fonctions du fond et de la surface à la S.A. Kempense Steenkolenmijnen. En application de la convention approuvée en 1979, portant fixation des salaires des ouvriers de cette société, la nouvelle convention groupe en catégories les diverses fonctions classées dans l'ordre croissant de leurs cotations.

La conclusion d'une seule convention de travail en 1980 s'explique par le fait que les conventions conclues en 1979 portaient sur la programmation sociale tant pour l'année 1979 que pour l'année 1980.

#### 123. Police des mines et règlements particuliers.

Une circulaire du Directeur général des Mines en date du 20 mars 1980 précise les inscriptions au registre d'ordres des teneurs en grisou constatées dans les travaux souterrains des mines de houille.

#### 124. Délégués-ouvriers à l'inspection.

En 1980, quatre arrêtés ministériels ont modifié successivement les barèmes de rémunérations pour les porter à 690.168 F/an au minimum et à 777.564 F/an au maximum pour les délégués à l'inspection des mines de houille d'une part, et à 636.312 F/an au minimum et à 706.008 F/an au maximum pour les délégués à l'inspection des minères et des carrières d'autre part.

De geldigheidsduur van de stelsels van de stage der jongeren en van het wettelijk brugpensioen die, in toepassing van de wet van 30 maart 1976 betreffende de economische herstelmaatregelen, tot 31 december 1977 waren ingesteld (zie toelichting in ons overzicht voor het jaar 1977) en sindsdien reeds waren verlengd tot 30 december 1980, werd nogmaals verlengd — ditmaal tot 31 december 1981 — bij een koninklijk besluit van 24 december 1980.

#### 122. Reglementering van de arbeidsvoorwaarden. Collectieve arbeidsovereenkomsten. Paritaire comités.

In 1980 werden 23 collectieve arbeidsovereenkomsten gesloten in de nationale en in de gewestelijke paritaire comités voor de steenkoolkerij en voor het groefbedrijf.

Deze arbeidsovereenkomsten hadden betrekking op de algemene arbeidsvoorwaarden (bezoldiging, arbeidsduur, enz...), de bestaanszekerheid, de werkzekerheid, de sociale vrede, de vorming van de werknemersvertegenwoordigers en allerlei aanvullende sociale voordeelen.

In de Nationale Gemengde Mijncommissie werd slechts één collectieve arbeidsovereenkomst gesloten : de overeenkomst tot vaststelling van de lijst der ondergrondse en bovengrondse beroepen in de N.V. Kempense Steenkolenmijnen. In deze overeenkomst worden, in uitvoering van de in 1979 gesloten overeenkomst tot vaststelling van het loon van de arbeiders van de N.V. Kempense Steenkolenmijnen, de beroepen, gerangschikt volgens de stijgende waarde van hun kwoteringen, in categorieën gegroepeerd.

Het sluiten van slechts één enkele collectieve arbeidsovereenkomst in 1980 kan worden verklaard door het feit dat de in 1979 gesloten overeenkomsten zowel de sociale programmatie van het jaar 1979 als die van het jaar 1980 regelden.

#### 123. Mijnpolitie en bijzondere reglementen.

Een circulaire van 20 maart 1980 van de Directeur-Generaal der mijnen bevat instructies voor de inschrijving van de in de ondergrondse werken van de kolenmijnen vastgestelde mijngasgehalten in het bevelenregister.

#### 124. Afgevaardigden-werklieden voor het toezicht.

In 1980 hebben vier ministeriële besluiten achtereen volgens de weddeschalen gewijzigd ; de jaarrweduwe van de afgevaardigden bij het toezicht in de steenkolenmijnen werden aldus op 690.168 F in de minimumschaal en op 777.564 F in de maximumschaal gebracht en die van de afgevaardigden bij het toezicht in de graverijen en groeven op 636.312 F in de minimumschaal en op 706.008 F in de maximumschaal.

## 125. Règlement général pour la protection du travail.

Au cours de l'année 1980, il y a eu plusieurs modifications au règlement pour la protection du travail en ce qui concerne les matières suivantes :

— les installations électriques :

- 1) les garanties de sécurité que doivent présenter certaines machines, appareils et canalisations électriques et notamment la liste des organismes habilités à établir des rapports certifiant que le matériel électrique présente la sécurité requise et/ou à délivrer les marques et certificats de conformité prévus ;
  - 2) les prolongateurs, les fiches et le raccordement des appareils électriques mobiles ;
- les appareils de levage ;
- les substances et préparations dangereuses ;
- la signalisation de sécurité ;
- le service médical du travail.

L'arrêté royal du 5 décembre 1980 modifie l'arrêté royal du 10 août 1978 déterminant la formation complémentaire imposée aux chefs des services de sécurité, d'hygiène et d'embellissement des lieux de travail et à leurs adjoints. Il remplace les conditions d'admission aux cours de formation complémentaire du premier niveau.

## 2. PERSONNEL DE L'ADMINISTRATION DES MINES CHARGE DE L'INSPECTION DU TRAVAIL

Le personnel technique chargé de l'inspection du travail compte un effectif de 108 personnes, composé d'ingénieurs civils des mines, d'ingénieurs civils d'autres disciplines, d'ingénieurs techniciens, de géomètres des mines, d'agents techniques, de délégués-ouvriers à l'inspection des mines de houille et de délégués à l'inspection des minières et des carrières. La répartition s'établit suivant le tableau ci-dessous.

Indépendamment du personnel technique, l'Administration des mines compte un personnel scientifique et un personnel de maîtrise affecté au Service géologique de Belgique et, pour l'ensemble de ses services, d'un personnel administratif de 92 unités.

Enfin, l'Administration des mines dispose d'un laboratoire à Pâturages, dépendant de l'Institut national des industries extractives (organisme d'in-

## 125. Algemeen reglement voor de arbeidsbescherming (A.R.A.B.).

In 1980 zijn verscheidene wijzigingen aangebracht aan het algemeen reglement voor de arbeidsbescherming. Deze hadden betrekking op :

— de elektrische installaties :

- 1) de veiligheidswaarborgen welke bepaalde elektrische machines, apparaten en leidingen moeten bieden en onder meer de lijst van de organismen die gemachtigd zijn om verslagen op te stellen waarbij bevestigd wordt dat het elektrisch materieel de vereiste veiligheid biedt en/of de voorziene merken en gelijkvormigheidsattesten af te leveren ;
  - 2) de verlengsnoeren, de contactstoppen en de aansluiting van beweegbare elektrische toestellen.
- de heftoestellen ;
- de gevaarlijke stoffen en bereidingen ;
- de veiligheidssignalisering ;
- de arbeidsgeneeskundige dienst.

Een koninklijk besluit van 5 december 1980 heeft wijzigingen aangebracht aan het koninklijk besluit van 10 augustus 1978 tot vaststelling van de aanvullende vorming opgelegd aan de diensthoofden voor veiligheid, gezondheid en verfraaiing van de werkplaatsen en aan hun adjuncten. De toelatingsvoorwaarden tot de cursussen van aanvullende vorming van het eerste niveau worden vervangen.

## 2. PERSONEEL VAN DE ADMINISTRATIE VAN HET MIJNWEZEN BELAST MET DE ARBEIDSINSPECTIE

De technische personeelsformatie die met de arbeidsinspectie is belast bestaat uit 108 personen samengesteld uit burgerlijke mijneningenieurs, burgerlijke ingenieurs van andere wetenschapstakken, technische ingenieurs, mijnmeters, technische beambten, afgevaardigden-werklieden bij het toezicht in de steenkolenmijnen en afgevaardigden-werklieden bij het toezicht in de graverijen en groeven. De verdeling ervan is in de hieronder staande tabel 1 aangeduid.

Buiten het technisch personeel beschikt de Administratie van het Mijnwezen over wetenschappelijk en over meesterpersoneel bij de Belgische Geologische Dienst en, voor het geheel van haar diensten, over 92 administratieve personeelsleden.

De Administratie van het Mijnwezen beschikt tenslotte eveneens over een laboratorium te Pâturages, dat van het Nationaal Instituut voor de

térêt public). Ce laboratoire — auquel trois ingénieurs du Corps des mines prêtent leur collaboration — a pour mission notamment d'entreprendre ou de patronner tous essais, recherches ou études susceptibles d'apporter une contribution directe ou indirecte à l'amélioration des conditions de sécurité et de salubrité du travail et de proposer à l'agrégation, après examen et essais, les appareils ou produits divers utilisés dans l'industrie.

Extractiebedrijven (instelling van openbaar nut) afhangt. Dit laboratorium — waaraan drie ingénieurs van het Mijnkorps hun medewerking verlenen — heeft o.m. als opdracht het op zich nemen of steunen van alle proeven, opzoeken of studies die rechtstreeks of onrechtstreeks kunnen bijdragen tot verbetering van de veiligheids- en salubriteitsvoorwaarden bij het werk en allerhande in de nijverheid gebruikte toestellen of produkten, na onderzoek en beproeving, ter aanneming voor te stellen.

TABLEAU I — TABEL I

GRADE	Emploi prévu au cadre organique In de personeels- formatie voor- komende betrekking	Emploi occupé Beklede betrekking	GRADE
Directeur général des mines	1	1	Directeur-generaal der mijnen
Inspecteur général des mines	2	2	Inspecteur-generaal der mijnen
Directeur divisionnaire des mines et ingénieur en chef-directeur des mines	16	15	Divisiedirecteur der mijnen en hoofdinge- nieur-directeur der mijnen
Ingénieur principal divisionnaire des mines	13	12	Eerstaanwezend divisiemijningenieur
Ingénieur principal des mines et ingénieur des mines	17	16	Eerstaanwezend mijningenieur en mijninge- nieur
Ingénieur civil d'autres disciplines	6	5	Burgerlijk ingenieur van een andere wetenschapstak
Ingénieur-technicien-chef, ingénieur tech- nicien principal et ingénieur technicien	10	10	Hoofd-technisch ingenieur, eerste tech- nisch ingenieur en technisch ingenieur
Géomètre-vérificateur, géomètre de 1ère classe et géomètre des mines	14	11	Mijnmeter-verificateur, mijnmeter 1e klasse en mijnmeter
Agent technique	1	—	Technisch beambte
Délégué-ouvrier à l'inspection des mines de houille	13	10	Afgevaardigde-werkman bij het toezicht in de steenkolenmijnen
Délégué-ouvrier à l'inspection des minières et des carrières	15	15	Afgevaardigde-werkman bij het toezicht in de graverijen en groeven
TOTAL	108	97	TOTAAL
Situation au 31.12.1980			Toestand op 31.12.1980

**3. STATISTIQUE DES ETABLISSEMENTS  
ASSUJETTIS AU CONTROLE DE L'INSPECTION  
ET NOMBRE DE TRAVAILLEURS OCCUPES  
DANS CES ETABLISSEMENTS**

(Situation au 31 décembre 1980 : tableau II)

**3. STATISTIEK VAN DE INRICHTINGEN  
ONDERWORPEN AAN INSPECTIE  
EN AANTAL ALDAAR  
TEWERKGESTELDE WERKNEMERS**

(Toestand op 31 december 1980 : tabel II)

INDUSTRIES	BEDRIJFSTAKKEN	Nombre de sièges d'entreprises	Personnel occupé (inscrits)					OBSERVATIONS	OPMERKINGEN
				Ouvriers	Fond	Surface	Employés		
				Aantal Onder-	Zetels in bedrijf	Onder-	Boven-	Tewerkgesteld personeel tijdelijk dienst	grond
<b>A. Extractives</b>									
1) Mines de houille	1) Steenkolenmijnen	3*	7*	16 379	—	4 076 <sup>(1)</sup>	720 <sup>(1)</sup>	21 175	* dont 1 à ciel ouvert
2) Mines métalliques	2) Metaalmijnen	—	—	—	—	—	—	—	* waarvan 1 in de open lucht
3) Minières avec leurs dépendances :	3) Graverijen en aanhorigheden :	26	37	—	1 652	447	2 099	—	
a) chaux et dolomie	a) kalk en dolomiet	99	108	—	4 199	545	4 744	—	
b) terres à briques et autres à ciel ouvert	b) baksteenaarde en andere in open lucht	—	—	—	—	—	—	—	
c) souterraines (terre plastique)	c) ondergrondse (plastische aarde)	—	—	—	—	—	—	—	
4) Carrières avec leurs dépendances :	4) Groeven en aanhorigheden :	4	5	25	41	7	73	—	
a) souterraines	a) ondergrondse	549	669	—	6 819	1 480	8 299	—	
b) à ciel ouvert	b) in open lucht	42	47	—	423	41	464	—	
5) Terrils de mines de houille	Totaal : 3) + 4) + 5)	720	866	25	13 134	2 520	15 679	—	
Total : 3) + 4) + 5)									
<b>B. De transformation primaire des produits des industries extractives</b>									
6) Cokeries et usines annexes	6) Cokesfabrieken en nevenbedrijven	9	10	—	2 766 <sup>(2)</sup>	316	3 082	non compris les employés des fabriques dépendant des mines de houille	de bedienden van de fabrieken van kolenmijnen niet inbegrepen
7) Fabriques d'agglomérés	7) Agglomeratenfabrieken	2	2	—	14	3	17	non compris le personnel des cokeries sidérurgiques	het personeel van de cokesfabrieken van staalbedrijven niet inbegrepen
<b>C. Métallurgiques</b>									
8) Hauts-fourneaux	8) Hoogovens	6	7	—	4 260	421	4 681		
9) Aciéries	9) Staalfabrieken	16	18	—	6 188	882	7 070		
10) Laminoirs	10) Walserijen	23	35	—	19 031	2 844	21 875		
11) Autres établissements de l'industrie sidérurgique	11) Andere inrichtingen v. d. ijzer- en staalnijverheid	12	22	—	12 366	5 686	18 052		
Total : 8) à 19)	Totaal : 8) tot 11)	57 <sup>(3)</sup>	82	—	41 845	9 833	51 678		
<b>D. Des explosifs</b>									
12) Fabriques	12) Fabrieken	12 <sup>(4)</sup>	18	—	2 450	197	2 647	Source : Service des Explosifs	Bron : Dienst der Springstoffen
13) Magasins de vente distincts des fabriques	13) Verkoopsmagazijnen niet behorend tot fabrieken	4	6	—	19	8	27		
Total général	Algemeen totaal	807	991	16 404	64 304	13 597	94 305		

(1) Non compris le personnel ouvrier des fabriques d'agglomérés des houillères ; y compris le personnel des autres dépendances de surface et les employés des fabriques d'agglomérés des houillères.

(2) Y compris les ouvriers de cokeries sidérurgiques et usines annexes.

(3) Parmi lesquelles 6 complexes sidérurgiques ayant à la fois hauts-fourneaux, cokeries, aciéries, laminoirs et établissements divers.

(4) Dont 6 manufactures de pyrotechnie.

(1) De werkliden van de agglomeratenfabrieken van kolenmijnen niet inbegrepen ; het personeel van de overige bovengrondse aanhorigheden en de bedienden van de agglomeratenfabrieken van kolenmijnen wel inbegrepen.

(2) De werkliden van de cokesfabrieken van staalbedrijven en nevenbedrijven inbegrepen.

(3) Waaronder 6 staalcomplexen met hoogovens, cokesfabrieken, staalfabrieken, walserijen en diverse inrichtingen.

(4) Waaronder 6 vuurwerksfabrieken.

### **31. Nombre d'entreprises et d'établissements.**

#### **Personnel**

Dans l'industrie charbonnière deux sièges d'extraction ont été fermés en 1980.

Le nombre d'ouvriers inscrits au fond a diminué de 460 unités ( $-2,7\%$ ).

Le nombre d'ouvriers inscrits à la surface a régressé de 342 unités ( $-7,7\%$ ), de sorte que la perte globale d'effectifs ouvriers a été en 1980 de 802 unités ( $-3,8\%$ ).

Pour l'ensemble du personnel occupé, ouvriers et employés, la chute d'effectifs a été de 846 unités ( $-4,0\%$ ).

Pour l'ensemble des minières et carrières, tant souterraines qu'à ciel ouvert, le nombre d'ouvriers a diminué de 267 unités, tandis que le nombre d'employés diminuait de 60 unités.

Fin 1980, les cokeries et leurs industries connexes occupaient 3.082 ouvriers et employés, soit une diminution de 185 unités par rapport à fin 1979 (3.267).

Le niveau d'activité de la sidérurgie a légèrement diminué en 1980 : la production de fonte et de lingots a diminué de 8,5 %.

Selon les données recueillies par les directeurs divisionnaires des mines, le niveau de l'emploi en sidérurgie (ouvriers et employés) a diminué en 1980 par rapport à 1979 ( $-4.337$  unités) (1).

En ce qui concerne le nombre des entreprises de la sidérurgie, il faut rappeler que les grands complexes rassemblent dans une même entreprise une ou plusieurs divisions de hauts-fourneaux et d'aciéries, souvent plusieurs divisions de lamoins et maintes autres divisions (cokeries, agglomération des minerais, divisions de constructions mécaniques, etc.). Chacun d'eux est repris pour une même unité à chacune des lignes 8 à 11 de la colonne « entreprises » du tableau II et dès lors ces nombres, en ce qui les concerne, ne se cumulent pas pour former le nombre total d'entreprises de la sidérurgie (total 8 à 11), ni le nombre total d'entreprises surveillées par l'Administration des mines (total général).

Dans les fabriques d'explosifs le niveau de l'emploi ouvrier a augmenté de 57 unités.

### **32. Visites, observations, sanctions**

#### **321. Statistique des visites d'inspection**

Le nombre de visites souterraines a diminué de 42 unités en 1980.

(1) La répartition du personnel tant ouvrier qu'employé entre les diverses branches d'activité (hauts-fourneaux, aciéries, lamoins, autres établissements) n'est donnée qu'à titre indicatif car il semble que, d'une année à l'autre, les déclarants des complexes sidérurgiques aient effectué cette répartition d'une manière différente.

### **31. Aantal bedrijven en inrichtingen.**

#### **Personnel**

In 1980 zijn in de kolennijverheid twee bedrijfszetels gesloten.

In de ondergrond is het aantal ingeschreven werkliden met 460 eenheden afgenoem ( $-2,7\%$ ).

Op de bovengrond is het aantal ingeschreven werkliden met 342 eenheden afgenoem ( $-7,7\%$ ), zodat er alles samen 802 arbeiders minder waren einde 1980 ( $-3,8\%$ ).

Het aantal werkliden en kantoorbedienden samen is met 846 verminderd ( $-4,0\%$ ).

Voor alle graverijen en groeven samen, zo ondergrondse als in de open lucht, is het aantal werkliden met 267 afgenoem. Het aantal kantoorbedienden is met 60 gedaald.

Einde 1980 waren 3.082 arbeiders en bedienden in de cokesfabrieken en hun zakenbedrijven ingeschreven, dit is 185 minder dan einde 1979 (3.267).

De bedrijvigheid in de staalindustrie is in 1980 afgenoem ; de produktie van gietijzer en staalblokken is met 8,5 % gedaald.

Volgens de door de divisiedirecteurs verzamelde gegevens is de tewerkstelling (arbeiders en bedienden) in de staal industrie in 1980 gedaald ( $-4.337$ ) (1).

Wat het aantal ondernemingen van de staalindustrie betreft, dient erop gewezen te worden dat de grote complexen in één en dezelfde onderneming één of verscheidene hoogovenafdelingen en staalfabrieken, dikwijls verscheidene walserijen en vele andere afdelingen (cokesfabrieken, agglomeratie van erts, constructiebedrijven, enz.) omvatten. Ieder van deze bedrijven wordt op de regels 8 tot 11 telkens opnieuw voor een eenheid aangerekend in de kolom « Ondernemingen » van tabel II, zodat deze getallen voor die ondernemingen niet mogen samengevoegd worden om het totaal aantal ondernemingen van de staalindustrie (Totaal 8 tot 11), noch het totaal aantal onder het toezicht van de Administratie van het Mijnwezen geplaatste ondernemingen (Algemeen totaal) te bekomen.

In de springstoffabrieken is het aantal werkliden met 57 toegenomen.

### **32. Bezoeken, opmerkingen, straffen**

#### **321. Statistiek van de inspectiebezoeken**

Het aantal ondergrondse inspecties is in 1980 met 42 afgenoem.

(1) De verdeling van het werkliden- en bediendenpersoneel over de verschillende afdelingen (hoogovens, staalfabrieken, walserijen en andere inrichtingen) wordt slechts als een aanwijzing gegeven, want de siderurgie-complexen schijnen die verdeling van jaar tot jaar op een andere manier gedaan te hebben in hun aangiften.

Le nombre de visites d'installations de surface des charbonnages par les ingénieurs et ingénieros techniciens des mines a diminué de 39 unités.

Le nombre de visites d'inspection dans les minières, les carrières et leurs dépendances a diminué de 142 unités. La fréquence des visites dans la sidérurgie et les cokeries a diminué de 39 unités.

1980

TABLEAU III — TABEL III

1980

INDUSTRIES	Nombre de visites d'inspection			BEDRIJFSTAKKEN
	Fond Ondergrond	Surface Bovengrond	Total Total	
A. Extractives				A. Extractieve mijverbeden
1. Mines et leurs dépendances :				1. Mijnen en aanhorigheden :
a) Ingénieurs	182	171	353	a) ingenieurs
b) Ingénieurs techniciens	4	4	8	b) technische ingenieurs
c) Techniciens techniques	—	—	—	c) technische techniciens
d) ouvriers	1 822	1 581	3 403	d) arbeiders - arbeidsters
2. Minières et leurs dépendances	—	1 460	1 460	2. Graverijen en zandwrikken
3. Carrières et leurs dépendances	72	3 719	3 791	3. Gesteenten en steenwrikken
4. Terrils de mines de houille	—	59	59	4. Steenbergen van steenkoolmijnen
B. C. Cokeries et fabriques d'agglomérés, divisions d'usines sidérurgiques	—	271	271	B. C. Cokes en agglomeratenfabrieken, deel bedrijven van ijzer- en staalindustrie
D. Explosifs				D. Springstoffen
11. Fabriques	—	67	67	11. Fabrieken
12. Magasins	—	310	310	12. Magazijnen
E. Excavations souterraines	4	23	33	E. Ondergrondse uitgravingen
F. Canalisations souterraines	—	251	251	F. Ondergrondse waterleidingen
G. Hydrologie	—	924	924	G. Hydrologie
Total	2 084	7 423	9 507	Total

1980

TABLEAU IV — TABEL IV

1980

INDUSTRIES	Observations faites par			BEDRIJFSTAKKEN	
	les délégués moyens (Inscr. au register)	les Ingénieurs			
		Inscr. au register	Autres obs. écrisées		
	Door de afgevaardigden weekliks	Door de ingenieurs		Door de ingenieurs	
		gemakke aanmerkingen		gemakke aanmerkingen	
	(Inschrijving in het register)	Inschrijv. in het register	Andere schriftelijke aanmerkingen	Opgetekende overstredingen	
A. 1. Mines et leurs dépendances	459	23	9	—	
2. Minières, carrières et leurs dépendances :				A. 1. Mijnen en aanhorigheden	
a) souterraines	4	—	—	2. Graverijen, groeven en aanhorigheden :	
b) à ciel ouvert	707	45	18	a) ondergrondse	
3. Terrils de mines de houille	—	—	11	b) in de open lucht	
B. C. Cokeries, fabriques d'agglomérés, sidérurgie	—	55	44	3. Steenbergen van steenkoolmijnen	
D. Explosifs - fabriques et magasins B	—	50	15	B. C. Cokes- en agglomeratenfabrieken, ijzer- en staalbedrijven	
magasins C	12	27	4	D. Springstoffen : fabrieken en magazijnen B	
E. Excavations souterraines	—	11	1	magazijnen C	
Total	1 182	211	102	E. Ondergrondse uitgravingen	
				Total	

Het aantal schouwingen van bovengrondse installaties van kolenmijnen door de mijneningenieurs en de technische ingenieurs is met 39 gedaald.

In de graverijen, de groeven en in de aanhorigheden van deze bedrijven is het aantal inspectiebezoeken met 142 afgerekend, in de staalindustrie en in de cokesfabrieken met 39.

Dans les fabriques et magasins d'explosifs les visites d'inspection ont été de 377.

### 322. Statistique des infractions commises et des sanctions imposées (tableau IV)

Le nombre d'observations relevées par les ingénieurs et les délégués-ouvriers a diminué en 1980 (- 111).

Sept contraventions ont été relevées par procès-verbal en 1980 dans les mines, carrières et minières à ciel ouvert et la sidérurgie.

### 33. Statistique des accidents du travail (Tableaux V à VIII)

#### 331. Mines de houille

La statistique des accidents de travail survenus dans les mines de houille en 1980 établie par l'Administration des mines, répartit les accidents, d'une part suivant leur cause matérielle en 12 grandes rubriques pour les accidents du fond, 10 grandes rubriques pour les accidents de surface, et d'autre part, suivant l'importance de l'incapacité de travail, qui comporte 4 classes de gravité « 1 à 3 jours », « 4 à 20 jours », « 21 à 56 jours » et « 56 jours et plus ».

Le tableau V ci-dessous est un tableau condensé qui distingue les grandes rubriques des causes matérielles et seulement deux classes de gravité « 1 à 3 jours », « plus de 3 jours ».

On observe en 1980 une diminution du nombre total des victimes dans les travaux souterrains (- 2,1 %), nonobstant l'augmentation du nombre de postes prestés au fond de 2,1 %.

Le nombre d'accidents mortels au fond a été de 10 unités. A la surface, aucun accident mortel n'a été enregistré. Le nombre des accidents à incapacité permanente au fond a diminué de 5 %. A la surface, le nombre total des victimes a diminué de 14 % en 1980.

La répartition des accidents entre les différentes rubriques n'a pas subi de variation notable en 1980. La proportion de victimes d'accidents par éboulements et chutes de pierres et de blocs de houille s'établit à 34,6 %, contre 36,3 % en 1979, du nombre total de victimes d'accidents du fond, celle des victimes d'accidents dus aux manipulations et chutes d'objets est de 42,2 %, contre 39,4 % l'année précédente. La proportion d'accidents dus aux chutes et mouvements des victimes a diminué de 1,0 % en 1980. Le nombre d'accidents dus à l'électricité a été de 10 au total, dont 1 accident mortel.

Aan de springstoffabrieken en -magazijnen zijn in totaal 377 inspectiebezoeken gebracht.

### 322. Statistiek van begane overtredingen en van opgelegde straffen (tabel IV)

Het aantal door de mijn ingenieurs en door de afgevaardigden-werklieden gemaakte opmerkingen is in 1980 met 111 verminderd.

In 1980 zijn 7 overtredingen bij proces-verbaal vastgesteld in mijnen, open groeven en graverijen en in staalbedrijven.

### 33. Statistieken van de arbeidsongevallen (Tabellen V tot VIII)

#### 331. Steenkolenmijnen

In de statistiek van de in 1980 in de kolenmijnen gebeurde arbeidsongevallen, opgemaakt door de Administratie van het Mijnwezen, worden de ongevallen naar hun materiële oorzaken in 12 hoofdrubrieken voor de ongevallen in de ondergrond en in 10 hoofdrubrieken voor de ongevallen op de bovengrond ingedeeld en, anderdeels, naar de belangrijkheid van de arbeidsongeschiktheid, in 4 klassen « 1 tot 3 dagen », « 4 tot 20 dagen », « 21 tot 56 dagen » en « 56 dagen en meer ».

De hieronder staande tabel V is een beknopte tabel die wel de hoofdrubrieken naar de materiële oorzaken laat uitschijnen doch slechts twee klassen wat de ernst van de ongevallen betreft : « 1 tot 3 dagen » en « meer dan 3 dagen ».

In 1980 is het totaal aantal slachtoffers van ongevallen in de ondergrondse werken met 2,1 % verminderd, maar het aantal verrichte diensten is met 2,1 % gestegen.

In de ondergrond zijn 10 dodelijke ongevallen gebeurd ; op de bovengrond zijn geen personen verongelukt. Het aantal ongevallen met blijvende ongeschiktheid is voor de ondergrond met 5 % gedaald in 1980. Op de bovengrond is het aantal slachtoffers in 1980 met 14 % verminderd.

De verdeling van de ongevallen onder de verschillende rubrieken heeft in 1980 geen opmerkelijke wijzigingen ondergaan. Het percentage slachtoffers van ongevallen door instortingen en vallende stenen of brokken steenkool veroorzaakt, bedraagt 34,6 % (tegen 36,3 % in 1979) van het totaal aantal slachtoffers van ongevallen in de ondergrond ; dat van de slachtoffers van ongevallen door het manipuleren van allerlei materialen en door het vallen van voorwerpen veroorzaakt, bedraagt 42,2 %, tegen 39,4 % het vorige jaar. Het percentage ongevallen veroorzaakt door het vallen of door bewegingen van de slachtoffers is in 1980 gedaald (- 1,0 %). Door elektriciteit zijn in totaal 10 ongevallen veroorzaakt, waarvan 1 dodelijk.

TABLEAU V — Statistique des accidents chômans survenus dans les mines de houille en 1980

TABEL V — Statistiek van de ongevallen met arbeidsverzuim in de kolenmijnen in 1980

CAUSES (1)	Nombre de victimes Aantal slachtoffers (2) = (3) + (4)	Nombre de victimes ayant subi une incapacité temporaire totale de 1 à 3 jours plus de 3 jours moins de 25 % ou plus la mort						OORZAKEN (1)	
		volledige tijdelijke ongeschiktheid van 1 tot 3 dagen meer dan 3 dagen		Aantal slachtoffers met blijvende ongeschiktheid van minder dan 25 % 25 % of meer		Doden (7) *			
		(3)	(4)	(5) *	(6) *				
<b>A. Au fond</b>									
1. Eboulements, chutes de pierres et de blocs de houille	3 545	690	2 853	75	2	2	<b>A. In de ondergrond</b> 1. Instortingen, vallen van stenen en brokken kool 2. Vervoer (met uitsluiting van ongevallen veroorzaakt door elektriciteit) 3. Vallen en verplaatsen van het slachtoffer 4. Machines, gereedschap en ondersteuning 5. Vallen van voorwerpen 6. Springstoffen 7. Ontvlamming en ontploffing van mijngas en kolenstof 8. Mijngasdoorbraken; zuurstoftekort, verstikking en vergiftiging door aardgas 9. Mijnvuur en branden 10. Waterdoorbraken 11. Elektrische stroom 12. Allerlei oorzaken (perslucht, op de bovengrond aan ondergrondse arbeiders overkomen ongevallen, andere oorzaken)		
2. Transports (à l'exclusion des accidents dus à l'électricité)	800	137	658	62	5	5			
3. Chute et mouvements de la victime	1 058	247	810	16	—	1			
4. Machines, outils et soutènements	2 087	440	1 646	47	1	1			
5. Chutes d'objets	2 236	476	1 760	45	—	—			
6. Explosifs	—	—	—	—	—	—			
7. Inflammations et explosions de grisou ou de poussières de charbon	—	—	—	—	—	—			
8. Dégagements instantanés, anoxies, asphyxies et intoxications par gaz naturels	—	—	—	—	—	—			
9. Feux de mine et incendies	—	—	—	—	—	—			
10. Coups d'eau	—	—	—	—	—	—			
11. Courant électrique	10	2	7	—	—	1			
12. Divers (air comprimé, accidents survenus à la surface aux ouvriers du fond, autres causes)	517	214	303	6	—	—			
<b>Total fond</b>	<b>10 253</b>	<b>2 206</b>	<b>8 037</b>	<b>251</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>Totaal ondergrond</b>		
<b>B. A la surface</b>									
1. Eboulements, chutes de pierres ou de blocs de houille	1	—	1	—	—	—	<b>B. Op de bovengrond</b> 1. Instortingen, vallen van stenen of brokken kool 2. Vervoer 3. Vallen van het slachtoffer 4. Hanteren en gebruik van gereedschap, machines en tuigen 5. Vallen en hanteren van voorwerpen 6. Springstoffen 7. Ontvlammingen, ontploffingen 8. Brand en vuur 9. Elektrische stroom 10. Allerlei oorzaken		
2. Transports	46	9	37	3	—	—			
3. Chute de la victime	105	13	92	3	1	—			
4. Maniement ou emploi d'outils, machines et mécanismes	104	20	84	2	—	—			
5. Chutes et manipulation d'objets	117	16	101	2	—	—			
6. Explosifs	—	—	—	—	—	—			
7. Inflammations, explosions	—	—	—	—	—	—			
8. Incendies et feux	11	—	11	—	—	—			
9. Courant électrique	1	—	1	—	—	—			
10. Divers	98	26	72	—	—	—			
<b>Total surface</b>	<b>483</b>	<b>84</b>	<b>399</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>—</b>	<b>Totaal bovengrond</b>		
<b>Total général : Fond + surface</b>	<b>10 736</b>	<b>2 290</b>	<b>8 436</b>	<b>261</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>Algemeen totaal : Ondergrond en bovengrond</b>		
<b>C. Accidents sur le chemin du travail (accidents de trajet)</b>									
	120	35	85	10	2	2	<b>C. Ongevallen op de weg naar of van het werk</b>		

\* compris dans (3) et (ou) (4)

\* in (3) en (of) (4) begrepen

La majeure partie des accidents mortels du fond ont pour cause le transport (5 sur 10). Les autres accidents mortels ont eu pour cause l'éboulement (2), la chute et les mouvements de la victime (1), les machines, outils et soutènements (également 1) et le courant électrique (1).

Rapportés au nombre moyen de présences pendant les jours ouvrés (11.730 au fond et 3.515 à la surface en 1980 et au nombre total de postes prestés dans l'année (1), (3.027.760 au fond et 960.793 à la surface), ces nombres d'accidents donnent une proportion de 8,5 tués pour 10.000 présents au fond et de 0,0 tués pour 10.000 présents à la surface, 3,0 tués par million de postes prestés au fond et 0,0 à la surface.

Le taux de fréquence de tous les accidents (nombre d'accidents par million d'heures d'exposition au risque) a été de 420 au fond — il était de 439 en 1979 — et 78 à la surface — comme en 1979.

### 332. Minières à ciel ouvert et carrières à ciel ouvert

Seule la statistique des accidents mortels des minières et carrières à ciel ouvert a été dressée jusqu'ici. La répartition en est faite suivant les mêmes grandes rubriques que pour les accidents des mines, comme indiqué au tableau VI.

Le nombre d'accidents mortels y est de 10.

TABLEAU VI  
Accidents mortels  
dans les minières et carrières à ciel ouvert

1980

Catégories d'accidents	Nombre de tués Aantal doden	Catégorieën van ongevallen
1. Eboulements, chutes de pierres ou de blocs	1	1. Instortingen, vallen van stenen en brokken
2. Transport	3	2. Vervoer
3. Emploi d'outils, machines et mécanismes	—	3. Gebruik van werktuigen, machines, enz.
4. Manipulations et chutes d'objets	2	4. Manipulaties, vallen van voorwerpen
5. Chute de la victime	2	5. Vallen van het slachtoffer
6. Asphyxies et intoxications	—	6. Verstikking en vergiftiging
7. Explosions, incendies, feux	1	7. Ontploffingen, brand, vuur
8. Emploi des explosifs	—	8. Gebruik van springstoffen
9. Electrocution	1	9. Elektrocutie
10. Divers	—	10. Allerlei
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>Totaal</b>

(1) Convertis en postes de 8 heures. Les postes réels sont de 8 heures dans le Sud et de 8 heures 15 minutes dans le Nord. Les chiffres cités comprennent les postes prestés, tant au fond qu'à la surface, pour les travaux de démantèlement dans les sièges où toute extraction a cessé. Ces postes ne sont pas repris dans les statistiques à caractère économique qui, sous ce rapport, peuvent donc présenter certaines discordances avec les chiffres cités ici.

De meeste dodelijke ongevallen in de ondergrond zijn te wijten aan het vervoer (5 op 10). De overige dodelijke ongevallen zijn veroorzaakt door een instorting (2), door het vallen en verplaatsen van het slachtoffer (1), eveneens 1 door machines, gereedschap en ondersteuning en ten slotte nog 1 door elektrische stroom.

Op het gemiddeld aantal aanwezigheden op de gewerkte dagen (11.730 in de ondergrond en 3.515 op de bovengrond in 1980) en op het totaal aantal in de loop van het jaar verrichte diensten (1), (3.027.760 in de ondergrond en 960.793 op de bovengrond) berekend, geven deze cijfers een verhouding van 8,5 doden per 10.000 aanwezigen in de ondergrond en 0,0 doden per 10.000 aanwezigen op de bovengrond, 3,0 doden per miljoen verrichte diensten in de ondergrond en 0,0 op de bovengrond.

De veelvuldigheidsvoet van al de ongevallen (aantal ongevallen per miljoenuren blootstelling aan het gevaar) bedroeg 420 in de ondergrond, tegenover 439 in 1979 en 78 op de bovengrond, zoals in 1979.

### 332. Graverijen in de open lucht en groeven in de open lucht

Tot dusver wordt alleen de statistiek van de dodelijke ongevallen in open graverijen en groeven opgemaakt. De hoofdrubrieken zijn dezelfde als voor de ongevallen in mijnen, zoals uit tabel VI blijkt.

Er waren 10 dodelijke ongevallen.

TABEL VI  
Dodelijke ongevallen  
in de graverijen en groeven in de open lucht

1980

(1) In diensten van 8 uren berekend. De werkelijke diensten duren 8 uren in het Zuiden en 8 uren 15 minuten in het Noorden. De diensten, ondergronds of bovengronds aan ontmantelingswerken in stilgelegde mijnen besteed, zijn in de cijfers begrepen. Deze diensten worden niet meegerekend in de economische statistieken, die, wat dit punt betreft, dus andere cijfers kunnen geven.

**333. Usines (Sidérurgie, cokeries et fabriques d'agglomérés, etc.) - Tableau VII**

Ici encore l'Administration des Mines ne dresse que la statistique des accidents mortels.

Dans l'ensemble de ces établissements on a relevé en 1980, 15 accidents mortels, qui ont frappé 9 ouvriers des établissements sidérurgiques affiliés au Groupement des hauts-fourneaux. Rapelons que certaines aciéries de moulage, surveillées par les ingénieurs des mines, ne font pas partie du groupement précité (1).

Dans l'ensemble des usines surveillées par les ingénieurs des mines, les accidents par la chute (6) et le transport (4) sont les plus nombreux.

TABLEAU VII

*Accidents mortels dans les usines  
(Sidérurgie,  
cokeries et fabriques d'agglomérés, etc.)*

1980

Catégories d'accidents	Nombre de tués Aantal doden	Categorieën van ongevallen	Totaal
			1980
1. Opérations de la fabrication	1	1. Verrichtingen van de fabricatie	
2. Transport	4	2. Vervoer	
3. Emploi d'outils, machines et mécanismes	1	3. Gebruik van werktuigen, machines, enz.	
4. Manipulations, chutes d'objets, éboulements	1	4. Manipulaties en vallen van voorwerpen	
5. Chute de la victime	6	5. Vallen van het slachtoffer	
6. Asphyxies et intoxications	1	6. Verstikking en vergiftiging	
7. Explosions, incendies, feux	—	7. Ontploffingen, brand, vuur	
8. Emploi des explosifs	—	8. Gebruik van springstoffen	
9. Electrocution	—	9. Elektrocutie	
10. Divers	1	10. Allerlei	
Total	15		

Le Comité de la sidérurgie belge, en accord avec la Commission des communautés européennes (C.C.E.), a poursuivi l'étude d'une statistique communautaire des accidents pour l'ensemble des entreprises qui lui sont affiliées.

Les renseignements disponibles sont donnés au tableau VIII.

Le nombre d'heures d'exposition au risque relatif aux accidents recensés par le « Comité de la sidérurgie belge » s'est élevé en 1979 à 69.594.316 pour les ouvriers et 16.336.480 pour les employés ;

**333. Fabrieken (IJzer- en staalfabrieken, cokes- en agglomeratenfabrieken, enz.) - Tabel VII**

Ook in deze sector maakt de Administratie van het Mijnwezen nog maar alleen de statistiek van de dodelijke ongevallen op.

In al deze inrichtingen samen hebben zich 15 dodelijke ongevallen voorgedaan in 1980. Onder de slachtoffers waren er 9 werkliden van de siderurgiebedrijven die bij de Groepering van de Belgische Hoogovens aangesloten zijn. Men weet dat sommige staalgieterijen, die onder het toezicht van de mijn ingenieurs vallen, niet tot genoemde groepering behoren (1).

In alle door de mijningenieurs geïnspecteerde fabrieken samen zijn de ongevallen door het vallen van het slachtoffer (6) en het vervoer (4) het talrijkst.

TABEL VII

*Dodelijke ongevallen in de fabrieken  
(IJzer- en staalfabrieken,  
cokes- en agglomeratenfabrieken, enz.)*

1980

Categorieën van ongevallen	Totaal	1980
1. Verrichtingen van de fabricatie		
2. Vervoer		
3. Gebruik van werktuigen, machines, enz.		
4. Manipulaties en vallen van voorwerpen		
5. Vallen van het slachtoffer		
6. Verstikking en vergiftiging		
7. Ontploffingen, brand, vuur		
8. Gebruik van springstoffen		
9. Elektrocutie		
10. Allerlei		
Total		

In overleg met de Commissie van de Europese Gemeenschappen (C.E.G.) heeft het Comité van de Belgische Siderurgie de studie voortgezet van een Europese statistiek van de ongevallen in haar aangesloten bedrijven.

De beschikbare gegevens zijn in tabel VIII aangeduid.

Voor de ongevallen door het Comité van de Belgische Siderurgie opgetekend, bedroeg de duur van de blootstelling aan het risico, in 1979 69.594.316 uren voor de werkliden en 16.336.480

(1) Tot de « Groepering der Belgische Hoogovens » behoren de siderurgiecomplexen en de geïntegreerde staalfabrieken die hun eigen walserijen hebben. Bij het « Comité van de Belgische Siderurgie » zijn bovendien ook nog de zelfstandige walserijen (herwalsers) aangesloten.

en 1980, ces chiffres étaient respectivement 64.241.316 et 15.259.440.

Le taux de fréquence, c'est-à-dire le nombre d'accidents chômants par million d'heures d'exposition au risque, est tombé à 119,9 en 1980 contre 131,3 en 1979.

1979-1980

TABLEAU VIII — TABEL VIII

1979-1980

USINES SIDERURGIQUES	Nombre d' ouvriers   employés		Nombre total d'accidents chômants		IJZER- EN STAAL- FABRIEKEN	
	Aantal werklieden   bedienden		Ouvriers   employés			
	Totaal aantal ongevallen met arbeidsverzuim		werklieden   bedienden			
1979	43 372	9 298	9 139	173	1979	
1980	39.820	8 790	7 702	142	1980	

TABLEAU VIIIbis — Accidents survenus dans les établissements de l'industrie sidérurgique au personnel de ces établissements

TABEL VIIIbis. — Ongevallen in ijzer- en staalbedrijven ontstaan aan het personeel van deze inrichtingen

1980

1980

CAUSES	Nombre de victimes	Nombre de victimes ayant subi une incapacité temporaire   permanente		Tues	OORZAKEN
		Aantal slachtoffers	Aantal slachtoffers met volledige tijdelijke onge- schiktheid		
— Machines	473	436	35	2	— Machines
— Machines motrices ou génératrices et pompes	36	31	5	—	— Aandrijfmachines, generatoren en pompen
— Ascenseurs et monte-charges	12	12	—	—	— Personen- en goederenliften
— Appareils de levage	416	382	33	1	— Heftoestellen
— Transporteurs-courroie, chaînes à godets etc...	65	56	9	—	— Transporteurs-banden, emmerladders, enz.
— Chaudières et autres récipients soumis à pression	20	19	1	—	— Stoomketels en andere vaten onder druk
— Véhicules	396	361	32	3	— Voertuigen
— Animaux	—	—	—	—	— Dieren
— Appareils de transmission d'énergie mécanique	75	71	4	—	— Transmissies van mechanische energie
— Appareillage électrique	74	72	2	—	— Elektrische apparatuur
— Outils à main	831	814	17	—	— Handgereedschap
— Substances chimiques	128	125	2	1	— Chemische stoffen
— Substances brûlantes ou très inflammables	—	—	—	—	— Brandende of licht ontvlambare stoffen
— Poussières	489	474	13	2	— Stof
— Radiations et substances radioactives	679	676	3	—	— Stralingen en radioactieve stoffen
— Surfaces de travail qui ne sont pas classées sous d'autres rubriques	89	89	—	—	— Niet onder een andere rubriek ingedeelde werkvlakken
— Agents matériels divers	1 599	1 491	108	—	— Verscheidene materiële agentia
— Agents non classés faute de données suffisantes	2 046	1 925	120	1	— Wegens onvoldoende gegevens niet ingedeelde agentia
<b>Total</b>	<b>8.446</b>	<b>8 034</b>	<b>401</b>	<b>11</b>	<b>Totaal</b>

uren voor de kantoorbedienden ; in 1980 was dat 64.241.316 en 15.259.440.

De veelvuldigheidsvoet, d.i. het aantal ongevallen met arbeidsverzuim per miljoen uren blootstelling aan het risico, is in 1980 gedaald tot 119,9 tegen 131,3 in 1979.

TABLEAU IX

*Accidents survenus dans les mines métalliques, les minières souterraines et les carrières souterraines*

TABEL IX

*Ongevallen overkomen in de metaalmijnen, de ondergrondse graverijen en de ondergrondse groeven*

1980

1980

A. FOND	Nombre de victimes ayant subi une incapacité temporaire totale					Tués	A. ONDERGROND
	1 à 3 j.	plus de 3 jours	total de victimes	< 25 %	≥ 25 %		
CAUSES TECHNIQUES	Aantal slachtoffers met volledige tijdelijke ongeschiktheid					Doden	TECHNISCHE OORZAKEN
	1 tot 3 dagen	meer dan 3 dagen	totaal aantal slachtoffers	< 25 %	≥ 25 %		
I. Éboulements et chutes de pierres	—	—	—	—	—	—	I. Instortingen en vallen van stenen
II. Moyens de transport	—	—	—	—	—	—	II. Vervoermiddelen
III. Chute et mouvement de la victime	—	—	—	—	—	—	III. Vallen en bewegen van het slachtoffer
IV. Maniement ou emploi de machines, outils, mécanismes et soutènements	1	—	1	—	—	—	IV. Hanteren of gebruiken van machines, gereedschap, tuigen en ondersteuningen
V. Chutes d'objets et manipulations diverses	—	3	3	—	—	—	V. Vallen van voorwerpen en allerlei manipulaties
VI. Explosifs	—	—	—	—	—	—	VI. Springstoffen
VII. Inflammations et explosions	—	—	—	—	—	—	VII. Ontbrandingen en ontstofingen
VIII. Anoxies, asphyxies et intoxications par gaz naturel et autres	—	—	—	—	—	—	VIII. Zuurstoftekort, verstikkingen door natuurlijke en andere gassen
IX. Feux et incendies	—	—	—	—	—	—	IX. Vuur en brand
X. Coups d'eau	—	—	—	—	—	—	X. Waterdoorbraken
XI. Electricité	—	—	—	—	—	—	XI. Elektriciteit
XII. Autres causes	—	—	—	—	—	—	XII. Andere oorzaken
Total pour le fond	1	3	4	—	—	—	Totaal ondergrond

Le taux de gravité (1) a été de 6,0 en 1980, contre 5,6 en 1979.

L'exploitation des rapports annuels des chefs de service de sécurité, d'hygiène et d'embellissement des lieux de travail des entreprises sidérurgiques pour dresser une statistique plus détaillée des

De rentevoet (1) is in 1980 tot 6,0 gestegen, tegenover 5,6 in 1979.

Een meer gedetailleerde statistiek van de ongevallen, naar de materiële oorzaken vermeld in artikel 835 octies van het Algemeen Reglement voor de Arbeidsbescherming ingedeeld, is in tabel

(1) Nombre de journées chômées des suites d'accidents par 1.000 heures d'exposition au risque, y compris les journées chômées conventionnellement attribuées aux accidents mortels (7.500) ou aux accidents entraînant une incapacité permanente de travail (7.500 pour 100 % d'invalidité).

(1) Aantal dagen met arbeidsverzuim ingevolge ongevallen per 1.000 uren blootstelling aan het risico, met inbegrip van het conventioneel aantal verloren dagen wegens dodelijke ongevallen (7.500) of wegens ongevallen die een blijvende arbeidsongeschiktheid veroorzaakt hebben (7.500 voor 100 % invaliditeit).

accidents suivant leurs causes matérielles énumérées à l'article 835 octies du Règlement général pour la Protection du Travail, a conduit au tableau VIIIbis ci-dessus qui couvre la totalité des entreprises sidérurgiques du Royaume, affiliées ou non au « Groupement des hauts-fourneaux ».

Le nombre total des victimes a diminué de 1383 unités, celui des victimes atteintes d'incapacité permanente a diminué de 34 unités.

TABLEAU IX (suite)

*Accidents survenus dans les mines métalliques, les minières souterraines et les carrières souterraines*

1980

B. SURFACE	Nombre de victimes ayant subi une incapacité temporaire totale				Tués	B. BOVENGROND
	1 à 3 j.	plus de 3 jours	nombre total de victimes	< 25 %		
CAUSES TECHNIQUES	Aantal slachtoffers met volledige tijdelijke ongeschiktheid				Doden	TECHNISCHE OORZAKEN
	1 tot 3 dagen	meer dan 3 dagen	totaal aantal slachtoffers	< 25 %		
I. Eboulements et chutes de pierres	—	—	—	—	—	I. Instortingen en vallen van stenen
II. Transports	—	—	—	—	—	II. Vervoer
III. Maniements ou emploi d'outils, machines et mécanismes	—	—	—	—	—	III. Hanteren of gebruiken van machines, gereedschap en tuigen
IV. Chutes d'objets et manipulations	—	—	—	—	—	IV. Vallen van voorwerpen en manipulaties
V. Chute et mouvement de la victime	4	—	4	—	—	V. Vallen en bewegen van het slachtoffer
VI. Inflammations, explosions, asphyxies et intoxications	—	—	—	—	—	VI. Ontbrandingen, ontploffingen, verstikking en vergiftigingen
VII. Feux et incendies	—	—	—	—	—	VII. Vuur en brand
VIII. Explosifs	—	—	—	—	—	VIII. Springstoffen
IX. Electricité	—	—	—	—	—	IX. Elektriciteit
X. Autres causes	—	—	—	—	—	X. Andere oorzaken
Total pour la surface	4	—	4	—	—	Totaal bovengrond
Total fond + surface	5	3	8	—	—	Totaal ondergrond en bovengrond
C. Accidents sur le chemin du travail	—	—	—	—	—	C. Ongevallen op de weg naar en van het werk

334. Mines métalliques, minières souterraines et carrières souterraines

Le recensement et la classification des accidents survenus dans les mines métalliques, les minières

VIIIbis opgenomen. Zij is opgesteld aan de hand van de jaarverslagen van de hoofden van de diensten voor veiligheid, gezondheid en verfraaiing der werkplaatsen van de siderurgiebedrijven. Die tabel heeft betrekking op al de siderurgiebedrijven van het Rijk, ongeacht of ze bij de Groepering van de Belgische Hoogovens aangesloten zijn of niet.

Het totaal aantal slachtoffers is met 1383 afgenoem ; het aantal slachtoffers met een blijvende ongeschiktheid is met 34 afgenoem.

TABEL IX (vervolg)

*In de metaalmijnen, ondergrondse groeven en graverijen gebeurde ongevallen*

1980

I. Instortingen en vallen van stenen	—	—	—	—	—
II. Vervoer	—	—	—	—	—
III. Hanteren of gebruiken van machines, gereedschap en tuigen	—	—	—	—	—
IV. Vallen van voorwerpen en manipulaties	—	—	—	—	—
V. Vallen en bewegen van het slachtoffer	—	—	—	—	—
VI. Ontbrandingen, ontploffingen, verstikking en vergiftigingen	—	—	—	—	—
VII. Vuur en brand	—	—	—	—	—
VIII. Springstoffen	—	—	—	—	—
IX. Elektriciteit	—	—	—	—	—
X. Andere oorzaken	—	—	—	—	—
Totaal bovengrond	—	—	—	—	—
Totaal ondergrond en bovengrond	—	—	—	—	—
C. Ongevallen op de weg naar en van het werk	—	—	—	—	—

334. Metaalmijnen, ondergrondse graverijen en ondergrondse groeven

De telling en de indeling van de ongevallen in de metaalmijnen, de ondergrondse graverijen en de

souterraines et les carrières souterraines est fait par l'Administration des Mines sur les mêmes bases que pour les mines de houille.

Les données du tableau IX relatives à l'année 1980 concernent les carrières souterraines (ardoisières, terres plastiques, marbre, tuffeau, etc.). Ces établissements n'ont occupé ensemble en 1980 que 66 ouvriers, dont 25 au fond et 41 à la surface.

Il n'y a pas eu d'accident mortel en 1980. Le nombre total d'accidents chômants a été de 18.

### 335. Fabriques d'explosifs

Il y a eu en 1980 dans les fabriques d'explosifs 192 accidents chômants, contre 177 en 1979, dont 2 accidents mortels.

### 34. Statistiques des maladies professionnelles

Le Fonds des Maladies Professionnelles nous a communiqué ses données statistiques afférentes aux maladies professionnelles.

Le tableau ci-dessous donne, dans la deuxième colonne, le nombre de requêtes introduites annuellement par des mineurs de charbon présumés atteints de pneumoconiose.

La troisième colonne donne le nombre de requêtes de travailleurs des mines acceptées par le Fonds pour la réparation de la silicose du mineur.

En 1980, le nombre de requêtes introduites a diminué de 2 unités par rapport à 1979 et le nombre de requêtes acceptées a dépassé de 25 % le chiffre de l'année 1979.

ondergrondse groeven worden door de Administratie van het Mijnwezen op dezelfde grondslagen verricht als die van de ongevallen in de steenkolenmijnen.

De gegevens van tabel IX over het jaar 1980 hebben betrekking op de ondergrondse groeven (leisteen, plastische aarde, marmer, tufsteen, enz.). Al deze inrichtingen samen hebben in 1980 maar 66 arbeiders meer tewerkgesteld, nl. 25 in de ondergrond en 41 op de bovengrond.

In 1980 is geen enkel dodelijk ongeval gebeurd. Het totaal aantal ongevallen met arbeidsverzuim bedroeg 18.

### 335. Springstoffabrieken

In 1980 zijn in de springstoffabrieken 192 ongevallen met arbeidsverzuim gebeurd, tegenover 177 in 1979, waaronder 2 dodelijke ongevallen.

### 34. Statistiek van de beroepsziekten

Het Fonds voor Beroepsziekten heeft ons zijn statistische gegevens over de beroepsziekten medegeleerd.

In de tweede kolom van de hieronder staande tabel is het aantal aanvragen aangeduid die ieder jaar ingediend zijn door mijnwerkers van kolenmijnen die vermoedelijk door stoflong aangetast waren.

In de derde kolom staat het aantal door het Fonds ingewilligde aanvragen van mijnwerkers (schadeloosstelling voor mijnwerkerrsilicosis).

In 1980 werden 2 aanvragen minder ingediend als in 1979. Het aantal ingewilligde aanvragen lag 25 % boven het cijfer van 1979.

Année Jaar	Nombre de requêtes introduites Aantal ingediende aanvragen	Nombre de requêtes acceptées (silicose du mineur)
		Ingewilligde aanvragen (mijnwerkerrsilicosis)
1970	17 069	6 949
1971	8 888	10 797
1972	8 148	9 565
1973	6 068	2 745
1974	5 938	3 088
1975	5 405	1 637
1976	5 653	2 233
1977	5 428	2 287
1978	5 126	1 636
1979	4 243	1 509
1980	4 241	1 889

On n'a plus signalé ces dernières années de cas de nystagmus ou d'ankylostomiase, autres maladies professionnelles des ouvriers mineurs.

De jongste jaren zijn geen gevallen meer bekend van nystagmus en ankylostomiase, twee andere beroepsziekten van mijnwerkers.

## Deuxième partie

### L'ACTIVITE DANS LE DOMAINE HYDROLOGIQUE DE L'ADMINISTRATION DES MINES EN 1980

L'Administration des mines publie également des renseignements relatifs à l'activité de ses services extérieurs dans le domaine de l'hydrologie des eaux souterraines.

Parmi les lois et règlements relevant de la compétence des ingénieurs des mines, il faut signaler :

l'arrêté-loi du 18 décembre 1946 instituant un recensement des réserves aquifères souterraines et établissant une réglementation de leur usage ;

l'arrêté royal du 21 avril 1976, modifié par l'arrêté royal du 5 juin 1978, relatif à la réglementation des nouvelles prises d'eau souterraine ;

la loi du 9 juillet 1976 relative à la réglementation de l'exploitation des prises d'eau souterraine établies avant le 15 juillet 1947 et l'arrêté royal d'application du 1<sup>er</sup> octobre 1976 ;

l'arrêté royal du 9 août 1976 relatif au recensement des prises d'eau souterraine mises en service avant le 15 juillet 1947.

Le tableau ci-dessous donne une idée de l'activité développée en 1980 dans le domaine hydrologique par les agents de l'Administration des mines.

#### Hydrologie 1980

	Sud Zuiden	Nord Noorden	Secteur Sector (*)	Royaume Het Rijk	
1. Dossiers de déclaration ou d'autorisation traités :					1. Behandelde aangifte- of vergunningsdossiers :
1.1. Rapports envoyés au Gouverneur (captages de la classe II)	39	46	—	85	1.1. Naar de Gouverneur gezonden verslagen (winningen van klasse II)
1.2. Actes de déclaration de captages de la classe I	32	73	4	109	1.2. Akten van aangiften voor winningen van klasse I
1.3. Actes de déclaration de captages d'eau antérieurs au 15-7-1947	33	2	2	37	1.3. Akten van aangiften voor waterwinningen van vóór 15-7-1947
2. Mises en usage de captages d'eau	45	25	3	73	2. Ingebruiknemingen van grondwaterwinningen
3. Contrôles de piézomètres	4 662	4 089	—	8 751	3. Controles op peilputten

(\*) Secteur prévu par l'article 1<sup>er</sup>, 4 de l'arrêté royal du 7 janvier 1966, modifié par l'arrêté royal du 22 avril 1966.

## Tweede deel

### BEDRIJVIGHEID VAN DE ADMINISTRATIE VAN HET MIJNWEZEN OP HET GEBIED VAN DE HYDROLOGIE IN 1980

De Administratie van het Mijnwezen publiceert eveneens inlichtingen over de activiteit van de buitendiensten op het gebied van de hydrologie van het grondwater.

Onder de wetten en reglementen die tot de bevoegdheid van de mijningenieurs behoren vermelden wij :

de besluitwet van 18 december 1946 waarbij tot het houden van een telling der grondwaterreserves en tot de invoering van een reglementering van hun gebruik besloten werd ;

het koninklijk besluit van 21 april 1976, gewijzigd door het koninklijk besluit van 5 juni 1978, tot reglementering van de nieuwe grondwaterwinningen ;

de wet van 9 juli 1976 betreffende de reglementering van de exploitatie van vóór 15 juli 1947 aangelegde grondwaterwinningen en het koninklijk besluit van 1 oktober 1976 tot uitvoering van deze wet ;

het koninklijk besluit van 9 augustus 1976 betreffende de telling van de vóór 15 juli 1947 in gebruik genomen grondwaterwinningen.

De hierna volgende tabel geeft een idee van de activiteit die de ambtenaren van de Administratie van het Mijnwezen in 1980 op het gebied van de hydrologie aan de dag gelegd hebben.

#### Hydrologie 1980

(\*) Sector voorzien bij artikel 1, 4 van het koninklijk besluit van 7 januari 1966, gewijzigd bij het koninklijk besluit van 22 april 1966.

### Troisième partie

## L'ACTIVITE DES SERVICES DE SURVEILLANCE DES CANALISATIONS SOUTERRAINES DE L'ADMINISTRATION DES MINES EN 1980

Le service de surveillance des canalisations souterraines a pour mission, en collaboration avec les services intéressés de l'Administration de l'Energie, de veiller à l'application des lois et arrêtés relatifs au transport des produits gazeux et autres par canalisations et à la distribution publique de gaz.

En cette matière, il a notamment, dans le but de garantir la sécurité publique :

- une mission de surveillance des installations, laquelle donne lieu à de nombreuses visites de travaux ;
- une compétence d'avis sur les demandes de concession ou de permission de transport de produits gazeux et autres par canalisations.

Ces avis doivent non seulement porter sur les difficultés qui pourraient être rencontrées par le tracé projeté pour les canalisations (dégâts miniers, exploitation du sol) mais sont assortis sur le plan technique, de conditions spéciales à insérer dans les arrêtés d'autorisation.

Les agents concernés du service sont en outre chargés, à l'intention du procureur du Roi, de dresser procès-verbal des accidents graves qui peuvent se produire lors du transport ou de la distribution des produits gazeux et autres par canalisations.

Les visites de travaux ainsi que les enquêtes menées — le tableau ci-après indique le nombre de ces dernières pour l'année 1980 — sont effectuées par les ingénieurs affectés dans les arrondissements miniers, sous la responsabilité de l'ingénieur en chef-directeur des mines, chef d'arrondissement, lequel est le fonctionnaire responsable dans les divisions minières pour la surveillance des canalisations souterraines.

Le rôle de l'ingénieur en chef-directeur des mines, chef du service de surveillance des canalisations souterraines, est de coordonner les activités des services extérieurs et en relation avec la Direction générale des mines et l'Administration de l'Energie, d'orienter la politique à suivre en matière de surveillance des canalisations souterraines.

Par ailleurs, en ce qui concerne le stockage de gaz, les attributions que les ingénieurs des mines exercent en ce qui concerne les mines en vertu des lois et arrêtés, sont étendues aux travaux de

### Derde deel

## BEDRIJVIGHEID VAN DE MET HET TOEZICHT OP DE ONDERGRONDSE LEIDINGEN BELASTE DIENSTEN VAN DE ADMINISTRATIE VAN HET MIJNWEZEN IN 1980

De dienst voor toezicht op de ondergrondse leidingen dient samen met de betrokken diensten van de Administratie voor Energie te waken over de toepassing van de wetten en besluiten betreffende het vervoer van gasachtige en andere produkten door middel van leidingen en betreffende de openbare gasdistributie.

Om de openbare veiligheid te waarborgen, dient hij op dat gebied onder meer :

- toezicht te houden op de installaties, wat aanleiding geeft tot een groot aantal schouwingen van werken ;
- advies te geven over vergunnings- en toelatings-aanvragen voor het vervoer van gasachtige en andere produkten door middel van leidingen.

Deze adviezen moeten niet alleen handelen over de moeilijkheden die zich op het voorgenomen tracé van de leidingen zouden kunnen voordoen (mijnschade, ontgrondingen) ; op het technisch vlak bevatten ze ook speciale voorwaarden die in de vergunningsbesluiten dienen te worden opgenomen.

Bovendien moeten de betrokken ambtenaren van de dienst voor de procureur des Konings procesverbaal opmaken van de zware ongevallen die zich tijdens het vervoer of de distributie van gasachtige en andere produkten voordoen.

De schouwingen van werken en de uitgevoerde onderzoeken — in de hierna volgende tabel zijn de cijfers voor 1980 aangeduid — worden verricht door de in de mijnarondissementen aangewezen ingenieurs, onder de verantwoordelijkheid van de hoofdingenieur-directeur der mijnen, hoofd van het arrondissement, d.i. de ambtenaar die in de mijnafdelingen voor het toezicht op de ondergrondse leidingen verantwoordelijk is.

De hoofdingenieur-directeur der mijnen, hoofd van de dienst voor toezicht op de ondergrondse leidingen, heeft tot taak de werkzaamheden van de buitendiensten te coördineren en samen met de Algemene Directie van het Mijnwezen en de Administratie voor Energie, het beleid inzake het toezicht op de ondergrondse leidingen te richten.

Wat het opslaan van gas betreft, zijn de bevoegdheden die de mijningenieurs krachtens de wetten en besluiten op het gebied van de mijnen uitoefenen, daarenboven uitgebreid tot de werken voor

recherche et d'exploitation de sites-réservoirs, ainsi qu'aux bâtiments et installations de la surface nécessaires à ces opérations.

*Activités du service de surveillance des canalisations souterraines en 1980*

het opsporen en exploiteren van ondergrondse berg-ruimten in situ en tot de bovengrondse gebouwen en installaties die hiervoor nodig zijn.

*Activiteit van de dienst voor toezicht op de ondergrondse leidingen in 1980*

	Nombre de visites — Aantal bezoeken				
	Sud Zuiden	Nord Noorden	Secteur Sector	Royaume Het Rijk	
1. Transport gaz naturel	12	37	—	49	1. Vervoer aardgas
2. Distribution gaz naturel	173	97	13	283	2. Distributie aardgas
3. Transports autres produits	1	12	—	13	3. Vervoer andere producten
4. Total 1 + 2 + 3	186	146	13	345	4. Totaal 1 + 2 + 3

# Selection of Coal Abstracts

By kind permission of the Technical Information Service of the International Energy Agency, we publish in each number a selection of summaries of articles and publications which have already appeared in « Coal Abstracts ». The intention is to provide regular information, classified by subject, on all the latest innovations.

Anyone wishing to take out a subscription for « Coal Abstracts » (which appears monthly), should write to : Mr. J.H. Figg, Head, Technical Information Service, IEA Coal Research, 14-15 Lower Grosvenor Place, London SW1W OEX, England.

## COAL INDUSTRY

### 6096

Federal government viewpoint on the deployment of a US synfuels industry. In Deploying a synfuels industry Davis R.M.; Hall G.M.H.

39. Annual meeting of members and of the board of trustees of the institute of gas technology, Chicago, IL, USA, 13 Nov 1980. CONF-801190 - Chicago, IL, Institute of Gas Technology, 9-15 pp (1980)

The most difficult part of the process between R and D and the final product is the transition from demonstration to production. The manner in which industry and government work together depends on whether the government is a consumer or it sets marketplace goals. With regard to the energy situation, the US should not look for a single answer. The substitution of industrialized for commercialize is suggested. The US DOE has made mine awards for feasibility studies for high-, medium-, and low-Btu gas production, and two awards for cooperative agreements for high-Btu gas. The Synthetic Fuel Corporation has been formed. (DLC)

### Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977-1980. Statusreport 1978. Geotechnik und Lagerstaetten. Band 2

Adler E.

Juelich, FRG, Projektleitung Energieforschung, KFA Juelich, Vol. 2, pp 843-854 (1979)

Investigates break and bending deformation in coal and rock with the help of structural-mechanical deformation analysis. This analysis allows deformations in rock and coal to be detected, which deviate from the general trend of local structures, thus indicating the approach of fault zones and tectonic deformations in the mine. Early detection of fault zones can be achieved by investigations employing proposed tectonic deformation index values and a catalogue of structural criteria. In addition, structural analysis of samples leads to conclusions on the distance, orientation, type, size, genetic function and mining relevance of geologic anomalies in mining fields. Various examples are demonstrated for calculating deformation values and for the description of geological conditions in six underground coal mines, based on the proposed structural analysis. (15 refs.) (In German)

## RESERVES & EXPLORATION

### 6156

Development of a practice-orientated method for the exploration of tectonic faults in black coal mining. In

### 6159

Explosion proof television equipment for televising coal seams and rock as well as tectonic structures from within boreholes in underground mines. In Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977-

## **1980. Statusreport 1980. Geotechnik und Lagerstaetten. Band 2**

**Wagener B.**

Juelich, FRG. Projektleitung Energieforschung, KFA Juelich, Vol. 2, pp 479-490 (1981)

Describes the performance of a newly developed pressure and explosion proof television borehole sonde in boreholes to a depth of 600 m and secondly measures of improving the visibility within water-filled exploration boreholes. Various technical improvements of sonde and cable had to be made. Due to frequent obstacles and instrument downtime. Visibility within the boreholes was poor due to the presence of bentonite in the drilling fluid. Efforts at boreholes flushing with clear water to improve the visibility failed at greater borehole depths. Laboratory tests were therefore conducted in order to replace bentonite as borehole flushing fluid by chemical additives. Two drilling additives which enable clear visibility for borehole televising were found : Stockopol D2624 and C4055, produced by the Stockhausen company in Krefeld. Three exploratory boreholes have already been drilled with these additives but without testing of the television. Problems associated with the application of television equipment in boreholes with diameters up to 1,400 mm and in raise boreholes are enumerated. (5 refs.) (In German)

## **MINING**

### **6204**

#### **Dewatering for opencast mines in unconsolidated sediments by means of large tube wells and submersible pumps**

**Blank R.**

*Pumps; (174); 115-119 (Mar 1981)*

An account of experience in Rheinbraun's lignite mines is given. In the dewatering operation , 855 wells having depths as great as 500 m discharge  $1.15 \times 10^6$  m<sup>3</sup> of groundwater annually. The area over which the groundwater table has been lowered is some 2130 km<sup>2</sup>. So far there have been no adverse environmental effects resulting from the groundwater withdrawal. Long-term planning envisages the creation of a new lake in the last remaining open pit, which it is anticipated will be filled with treated water from the River Rhine. This lake will also recharge the surrounding depleted aquifers.

### **6220**

#### **Automated mining in the 1980's**

**Barham D.K.**

*Colliery Guardian; 229 (4); Coal Int.; 229 (2); 49-50, 52-54 (Apr 1981)*

MINOS systems provide information about the state of face operations. It is expected that the data ob-

tained will show which operations most need automatic control. Guidance systems have been developed for shearer-loaders. Systems for horizontal guidance of the face, roof support control and for automatic control of transport, tunnelling, and the mine environment are discussed. (5 ref.)

### **6221**

#### **Mining in a deposit subject to carbon dioxide outbursts at Dauphine Collieries. Automation of top coal drawing-off using a television circuit**

**Poyol E.; Desenne G.**

*Ind. Miner., Techn.; (4); 311-322 (Apr 1981)*

An inclined seam, 6-10 m thick, is extracted by breaking the top coal with explosives and drawing it through inclined chutes. It was found necessary to automate the drawing-off operations. A remote controlled gathering arm loader maintains a constant flow of coal to the conveyors. Dust is neutralized by remote controlled or automatic sprays. Infusion of the seam is not possible because of the heterogeneity and hardness of the seam. A station several hundred yards from the drawing-off point controls the loaders, conveyors and sprays. The station has television screens for monitoring the drawing-off operation, transfer to the conveyor, loading of mine cars, CO<sub>2</sub> analyzers, and seismographs. For breaking up large blocks at the end of the drawing-off operation, a workman is placed at an advance station which is monitored by television. (In French)

### **6231**

#### **Precast concrete liners for blind-drilled shafts**

**Skonberg E.R.**

*CIM Bull; 74 (830); 46-51 (Jun 1981)*

Technology exists today to blind drill a mine shaft 20 feet in diameter over 3,000 feet deep. A new technique of stocking precast concrete cylindrical sections in the unlined shaft has been developed to yield a dry and hydrostatically lined shaft. Using high-strength concrete, wall thicknesses may be kept at 2 feet. The outside diameter of the sections has been chosen to be 18 feet to allow for some annular space between the liner and shaft wall. During drilling operations, the concrete sections are cast and cured. After drilling operations are complete, a head frame is situated over the shaft. The unlined shaft remains full of fluid. A special liner running tool is mated with the section, the section and running tool are lowered into the hole, and the tool is disconnected and returned to the surface. Grout is placed behind the liner to result in a dry shaft.

6233

### Development drivage and tunnelling

Harris L.

*Glueckauf*; 117 (9); 504 (7 May 1981) Available in English in *Glueckauf + translation*; 117 (9); 232-233 (7 May 1981)

Some of the mining techniques and mining technology that are being used by the United Kingdom National Coal Board in its new mines are described. In particular, face heading techniques and drivage equipment being used to make roadways in both coal and stone are discussed. (In German)

6235

### Feasibility and limits of automation in coalmining

Pfandlensmitl. P.-K.

*Glueckauf*; 117 (10); 558-562 (28 May 1981) Available in English in *Glueckauf + translation*; 117 (10); 253-256 (28 May 1981)

The author points out the many advantages of automation. There is still a lack of transducers, measurement methods, transmission techniques and actuating components. Also, many of the systems which are to be automated are not yet sufficiently reliable. (In German)

6237

### Viability and risk assessment problems with increasing winning concentration

Bassier F-K.

*Glueckauf*; 117 (11); 613-620 (11 Jun 1981) Available in English in *Glueckauf + translation*; 117 (11); 277-281 (11 Jun 1981)

Specific costs in DM/t show a marked drop when face output is raised to 3000 t/d of saleable coal or more. Experience at Walsum Colliery suggests that the best way of providing reserve production capacity, for use when unforeseen geological changes, equipment failure, or other operating problems occur, is early installation of faces in successor panels. These, together with reserve capacity on some existing production faces, will maintain colliery output under most circumstances. (In German)

6238

### Mechanization of back ripping at Osterfeld Colliery

Kugler U.; Pinta J.

*Glueckauf*; 117 (11); 642-647 (11 Jun 1981) Available in English in *Glueckauf + translation*; 117 (11); 294-297 (11 Jun 1981)

Equipment for back ripping all types of road, even lengths of less than 100 m, was developed. In a 17 months test, development phase ripping performance was twice that of the conventional method. A second ripping station was fitted with a thicker gauge of steel

sheeting for the forepoling shield, to avoid the cracks and dents which were observed in the first prototype. (In German)

6239

### Shaft sinking in the Federal Republic of Germany

Micke H.

*Glueckauf*; 117 (11); 655-657 (11 Jun 1981) Available in English in *Glueckauf + translation*; 117 (11); 302-303 (11 Jun 1981)

Details are given of recent, present and planned shaft sinking. Usually, water-bearing strata are worked through using cementation or freezing, and the shaft is lined from bottom to top. Special techniques have been used in dry, unstable ground. Usually, concrete lining with yielding, horizontal joints is placed, after sinking is complete, in dry, stable ground and in the Coal Measures. (In German)

6240

### Calculating the mechanical strength of frost wall in shaft sinking with freezing

Klein J.

*Glueckauf-Forschungsh.*; 41 (5); 187-192 (Oct 1980)

The frozen wall is considered as a thick-walled tube, the strength of the frozen material determining the thickness of the tube. Examples of calculations are given. (In German)

6242

### The working of steep seams in the Lorraine Coalfield

Benhaim V.

*Ind. Miner. (St-Etienne, Fr.)*; 62 (11); 695-705 (Nov 1980)

Seams inclined at 25 to 45 degrees are worked by rise headings using the Sagem Ravageur machine with forward-rotating heads. There are also longwall faces worked to the rise, with hydraulic stowing. Seams inclined at more than 45 degrees are worked by the ANF machine if 3 to 5 m thick, or by the SSCM Dressmatic if 1.75 to 3.5 m thick. Coal is sometimes removed by gravity through tubing. (In French)

6260

### Overview of acoustic emission monitoring of rock structures

Koerner R.M. and others

*Rock Mech.*; 14 (1); 27-35 (May 1981)

The acoustic emission technique for monitoring the stability of rock masses in mines was initiated in the late 1930s. The technique, called microseismic monitoring, is currently being extended into a wide variety of civil-engineering orientated problems. The authors describe the acoustic emission monitoring method as it pertains to rock monitoring and some of the directions that equipment manufacturers are currently

pursuing. The applications of the method in connection with the monitoring of rock structures are briefly described.

6263

#### The effect of roadway section on convergence

Skutta E.

*Glueckauf*; 117 (9); 496-499 (7 May 1981) Available in English in *Glueckauf + translation*; 117 (9); 228-229 (7 May 1981)

A comparison of the residual cross sections of 64 roads originally 10 m<sup>2</sup>, 13 m<sup>2</sup> and 16 m<sup>2</sup> in section shows that an increase in the original sections of Emil Mayrisch Colliery led to very little increase in the final roadway section. Roadways of large section converged by a larger percentage than did small roadways. (In German)

6264

#### Improved roof control in the face

Irresberger H.

*Glueckauf*; 117 (11); 620-624 (11 Jun 1981) Available in English in *Glueckauf + translation*; 117 (11); 281-284 (11 Jun 1981)

Present shield supports have the nominal resistance needed for the deeper mines which are being planned. Ways of reducing the prop-free front width are known, but are expensive and must be especially adapted to a particular application. Contact between the canopy and the roof is unsatisfactory at present because of dirt on top of the bar. The situation can be improved by using power-set bars, but dirt build-up still remains a problem area. Ways of using support resistance to the full are pointed out. (In German)

6274

#### Effect of porosity on phenomenon of rock bursts

Litwiniszyn J.

*Arch. Gorn.*; 26 (1); 3-15 (1981)

Rock burst phenomenon is regarded as a detonation process caused by shock wave propagation in a porous rock and gas medium. Impact of rock porosity coefficient on rock burst intensity (measured by determining mass of displaced rocks and gas) is analyzed. Outbursts of rock and gas are considered as one-dimensional phenomena. Investigations show that for a given mass stream of burst intensity the stress behind the shock wave decreases with increasing porosity coefficient. For a given level of stress behind the shock wave intensity of so-called mass stream increases with increasing porosity coefficient. Dependence of rock burst hazard on increased porosity of coal or rock medium (known from mining experience) has thus been verified in the assumed model. The model also explains why water injections reduce rock burst hazard. Water injections fill coal pores with a medium of low compression strength. When a shock wave pro-

pagates in wet coal seam the seam behaves like a medium with porosity coefficient close to 1, i.e. a medium of little porosity. (13 refs.) (In English)

6294

#### Reliability testing of underground belt conveyors

Lutynski A.; Brozinski S.

*Colliery Guardian*; 229 (4); *Coal Int.*; 229 (2); 10, 13, 16 (Apr 1981)

The authors describe two types of belt conveyor used predominantly in Polish collieries. The results of reliability testing of these conveyors (i.e. analysis of failures and reliability indices) are presented.

6297

#### New method of installing windlass ropes in staple pits

Wagener J.; Karlowski R.

*Glueckauf*; 117 (11); 657-659 (11 Jun 1981) Available in English in *Glueckauf + translation*; 117 (11); 303-304 (11 Jun 1981)

A new rope installation winch, which can cope with heavy staple pit ropes, is described. (In German)

6311

#### Improving mine ventilation by the double-stopping method

Park D.-W. and others

*Min. Congr. J.*; 67 (3); 53-57 (Mar 1981)

The authors compared the effects and the costs of single and double ventilation stoppings used to prevent air flow through a crosscut. Double stoppings reduce shock loss and leakage, and have a greater roof-supporting capacity. Tests were carried out on a model of part of a room and pillar mine.

6313

#### Planning the climate of separately ventilated workings

Voss J.

*Glueckauf-Forschungsh.*; 41 (6); 233-237 (Dec 1980)

Temperatures in headings driven by shotsfiring can be controlled without the use of refrigeration if large diameter ventilation ducting and suitable fans are used. The quantity of air needed can be predicted using a new program. In machine headings at great depths large quantities of air are needed, not only because of climatic conditions, but also for dust control. Where point attack machines are used, the effective temperature can often be kept below 32 °C without refrigeration, but with full-face machines in rock or in high strata temperatures, refrigeration is needed to compensate for the heat released by the machine. A computer program can be used to predict climatic parameters in machine headings with or without refrigeration. (In German)

**6316**

**Carbon monoxide detectors revolutionize fire detection**

Holzberg J.T.

*Coal Min. Process.*; 18 (4); 118-120 (Apr 1981)

The author points out the advantages of electrochemical CO sensors for early detection of fires underground or in coal storage or processing areas. They can also be used to monitor the integrity of seals behind which there is spontaneous combustion. The disadvantages of infrared or metal oxide CO sensors are mentioned. Intrinsically safe versions of the electrochemical monitor are available.

**6319**

**Methane drainage with horizontal boreholes in advance of longwall mining : an analysis. Final report**

Gabello D.P.; Felts L.L.; Hayoz F.P. TRW Energy Engineering Div., McLean, VA (USA)

*DOE/MC/16444 - T1* 70 pp (May 1981)

The US Department of Energy (DOE) Morgantown Energy Technology Center has implemented a comprehensive program to demonstrate the technical and economic viability of coalbed methane as an energy resource. The program is directed toward solution of technical and institutional problems impeding the recovery and use of large quantities of methane contained in the nation's minable and unminable coalbeds. Conducted in direct support of the DOE Methane Recovery from Coalbeds Project, this study analyzes the economic aspects of a horizontal borehole methane recovery system integrated as part of a longwall mine operation. It establishes relationships between methane selling price and annual mine production, methane production rate, and the methane drainage system capital investment. Results are encouraging indicating that an annual coal production increase of approximately eight percent would offset all associated drainage costs over the range of methane production rates and capital investments considered.

**6335**

**Investigation into the reduction of energy expenditure by tunnelling machines by means of water jet assisted disc roller cutters**

Baumann L.; Henneke J.

*Glueckauf-Forschungsh.*; 41 (6); 238-241 (Dec 1980)

Energy use can be improved significantly by selective use of high pressure jets in certain regions of the machine head and by increasing the speed of rotation. The addition of a high molecular weight liquid polymer, which increases the viscosity of the water even at low concentrations, greatly increases the depth of cut, or greatly reduces the water pressure necessary for a given depth of cut. Wear of the cutting tools has been studied. (In German)

**6336**

**Telephone and remote control in mines**

Kempf M.

*Ind. Miner.; Tech.*; (3); 193-198 (Mar 1981)

The telephone can operate between a winding cage and two stations on the surface. Also acoustic signals can be sent from the cage to the engine, to transmit an emergency stop signal, a start signal, or to check that the cage doors are closed. The system has been used at a French mine for two months in an air intake shaft. Further installations are planned, including some in return air shafts, for which approval of the equipment will be necessary. (In French)

**6337**

**Radio at the face**

Ulrych C.

*Ind. Miner., Tech.*; (3); 205-209 (Mar 1981)

In the Lorraine Coalfield, FM radio is used to control three types of shearer. It is planned to extend remote control for use in inclined seams and thin seams, and to double-drum shearers. Radio is also used for communication between packers and the person controlling the stowing machine in the tail gate. For this, X-Y phones and a wave guide are used. (In French)

**6349**

**Mechanical drilling of large-diameter underground openings using rodless drilling machines and a new method of raise boring**

Wollers K.

*Erzmetall*; 34 (3); 123-129 (Mar 1981)

Vertical tunnelling is being undertaken increasingly by mechanical means. The rod-less drilling method, combined with the raise-boring technique, has proved to be the most efficient both in terms of performance as well as economy. Modifications introduced by Thyssen-Schachtbau have made it possible to counteract the drawbacks and inadequacies of the well-known raise-boring technique. The article presents a description of the new process. (In German)

**PREPARATION**

**6358**

**Dewatering coal and refuse**

Green P.

*Coal Age*; 86 (5); 145-147, 149, 151, 153, 155, 157 (May 1981)

The author briefly describes the modes of operation of centrifuge, vacuum filters and thermal dryers used in coal preparation, and lists the types of each available in the US.

**6369**

### **Resistant materials retrofit overcomes abrasion and corrosion**

*Cool. Min. Process.*; 18 (4); 110-112 (Apr 1981)

Severe abrasion and corrosion problems at a coal preparation plant in Nova Scotia were solved by installing cast basalt lined pipe and basalt, kalceram or ceramic (alumina) tiles. Corrosion was caused mainly by chloride in water, and mild steel erosion was caused both by particle sliding and impact, and increased greatly with the magnetite concentration in the slurry.

## **TRANSPORT & HANDLING**

**6402**

### **On predicting spontaneous combustion**

Baum MM

*Combust. Flame*; 41 (2); 187-200 (May 1981)

This paper introduces a method for estimating the critical conditions for the occurrence of spontaneous combustion in beds of finely divided fuel. The basis is a mathematical hypothesis, and the efficacy of the solution is compared with computer models and with classical theory. It is shown that an adequate estimate for the critical ambient temperature may be readily obtained by simple computational methods. Furthermore it is demonstrated that the hypothesis may be used to derive a key item of data from laboratory estimates. We can thus extrapolate the results of laboratory experiments to « plan-size » conditions using mathematical techniques that are adequately served by a hand calculator.

**6405**

### **Coal-oil-mixture technology : a status report**

Lecky J.A. Argonne National Lab., IL (USA)

*ANL/ECT-TM - 354 pp* (Oct 1980)

Papers and discussions presented at the Second International Symposium on Coal-Oil-Mixture Combustion (November 27 to 29, 1979) are reviewed to assess the state of technology in this field. Environmental problems receive little attention; most appear soluble by current methods used to control emissions from coal burning. Economic studies indicate that converting oil-burning plants to COM burning would be profitable, even with retrofit costs. Experience with coal-oil mixtures (COM) has been encouraging in bench-scale tests, small boilers, and short-term plant tests, but extended, large-scale tests are needed prior to commercialization of COM. Major problems needing more investigation or plant experience are : lack of a definition of COM stability and a quick way to measure it; uncertainties as to COM structure and the mechanisms of how additives promote stability; heterogeneity of coals and oils; inadequate experience in

COM storage and transportation; uncertainty about long-term effects of corrosion and erosion of components by COM, and existence of other possible operating problems. The US Department of Energy announced an expanded program for COM demonstration plants, and industrial firms are selling COM and offering to build plants to prepare it.

## **PROPERTIES**

**6421**

### **Biomass : an unlimited resource**

Hollander H.L.; Sanders W.A. II

*Consult. Eng. (Barrington, Ill.)*; 15 (5); 101-102 (Nov 1980)

A comparison is made between some fuel and different types of coal with respect to thermal and physical properties. A comparison is also made between different types of biomass materials and industrial wastes, such as rubber and plastics, with respect to thermal and physical properties.

## **PROCESSING**

**6529**

### **Evaluation of the sulfur sorption properties of chemically improved limestones during fluidized-bed combustion**

Grimm, U. Department of Energy, Morgantown, WV (USA). Morgantown Energy Technology Center

*DOE/METC/RI - 128 84 pp* (Mar 1981)

A program was initiated in early 1980 at the Morgantown Energy Technology Center, Department of Energy, to evaluate the sulfur retention capability of a number of chemically improved limestones. These synthetic sorbents were developed by the University of Tennessee under an agreement with the Tennessee Valley Authority. Fredonia limestone and Shawnee hopper ash, in combination with a binder, are the main ingredients of the artificial sorbents. The manufacturing process of these pellets is described elsewhere. The effectiveness of the sorbents in sulfur emission controls and their calcium utilization potential were originally controlled by a rapid TG method displayed by the University of Tennessee. Performance data in real fluidizing combustion processes were missing. In a cooperative effort between the Morgantown Energy Technology Center and the Energy Research Division of TVA, an agreement was reached to test four new sorbents, a power station fly ash, and Fredonia limestone at the Morgantown 6-Inch Diameter AFBC Facility. The results generated in the fluidized-combustion test confirmed the findings by the University of Tennessee and the test program was determined to be highly successful. De-

tails of the program as well as the results are presented in this report.

#### 6543

##### The use of non-fossil derived hydrogen in coal conversion processes. In *Hydrogen as an energy vector - proceedings of the international seminar*

Merrick D.; Smith M.; Rasmussen G.; (NCB Coal Research Establishment)

*Int. seminar on hydrogen as an energy vector, Brussels, Belgium, 12-14 Feb 1980. EUR-6783 Dordrecht Netherlands. D. Reidel Publishing Co., 531-546 pp (1980) Strub, A.A.; Imarisio G. (eds.)*

Describes a technical and economic evaluation of the use of non-fossil derived hydrogen on three coal conversion processes. These are methanol synthesis, solid phase hydrogenation (hydrogasification) for substitute natural gas production, and liquid phase hydrogenation (liquefaction) for the manufacture of liquid fuels. The introduction of non-fossil derived hydrogen generally resulted in an increase in the conversion efficiency and carbon utilisation, and a reduction in the number of component stages of the process. Economic evaluations were carried out to determine the price at which non-fossil derived hydrogen would have to be available for its use in coal conversion processes to be preferable to the conventional (self-contained) route. The manufacture of synthetic fuels from non-fossil derived hydrogen was also compared with the direct use of hydrogen. It was concluded that market conditions could exist in which the use of non-fossil derived hydrogen in coal conversion would be preferable to both conventional coal conversion and the direct use of the hydrogen, irrespective of the coal price. At present the study is being extended to include two further coal conversion processes. These are substitute natural gas production from synthesis gas (methanation) and the production of liquid fuels from synthesis gas by a Fischer-Tropsch synthesis route. The results of the technical and economic evaluations reinforce those of the first study. In addition there are available preliminary results of a comparison of the economics of overall systems of hydrogen production from nuclear power and electrolysis and utilisation in coal conversion processes with conventional coal conversion technology. (2 refs.)

#### 6667

##### Hoe Creek II revisited : boundaries of the gasification zone

Aiman W.R. and others

*Combust. Sci. Technol.*; 23 (3/4); 125-130 (1980)

A series of exploratory borings at the Hoe Creek II in situ coal-gasification experiment site in Wyoming has further defined the boundaries of the gasification zone : 39 to 52 ft wide and extending at least 25 ft behind the injection well and 59 ft toward the pro-

duction well. Despite an override condition that existed almost from the start of forward-combustion gasification, all the coal within 9.5 ft of the injection well was gasified. These results suggest that some previously unrecognized cavity-spreading mechanisms, possibly driven by natural convection, do not depend on the product flow paths' being at the bottom of the seam; however, for these mechanisms to function, the oxygen (or air) injection point must be at the bottom of the coal seam.

## COMBUSTION

#### 6677

##### Fluidized-bed combustion : research and scientific design

Davidson J.F.

*Processing (South Africa)*; 1 (8); 15, 17, 20, 22-23, 25-26, 28 (Apr 1981)

The author shows how scientific understanding of fluidised combustion can help the designer. There is evidence that lower pressure drops across the distributor would suffice. Heat transfer, and sulphur absorption, are reasonably well understood, and bed expansion can be predicted for low velocities, though there are conflicting reports as to the effect of immersed tubes. The combustion of carbon and volatiles, and the elutriation of fine particles from the bed, are also discussed.

#### 6712

##### Performance comparison of coal gasification combined cycles with pressurized boiler/combustors of heat recovery steam generators

Lahman S.J.

*Am. Soc. Mech. Eng., [Pap.]*; (80-JPGC-GT-2); 1-4 (1980)

The improvements in power plant efficiency offered by combined cycles have made them an attractive alternative to conventional gas or oil-fired steam stations. These systems fired by fuel derived from coal, rather than gas oil, could form the basis of a whole new generation of power plants. The only existing coal gasification combined cycle (GCC) power plant is the 170-MW unit in operation since 1973 on the STEAG system in Lünen, West Germany. This paper discusses the performance of the STEAG cycle and the conventionally combined cycle systems and defines the areas where each offers the better performance potential. (4 refs.)

## WASTE MANAGEMENT

6722

### Fly ash sulfur concrete

Head W.J.; Liao M.F.

*Transp. Eng. J.*; 107 (TE3); 345-363 (May 1981)

Fly ash and elemental sulphur can be combined with a modifying agent to produce a potentially useful construction material, fly ash sulphur concrete (FASC). Compared with a conventional crushed stone aggregate FASC is a viable highway pavement base material with respect to predict theoretical pavement performance. Utility of FASC awaits reliable test and durability data and construction experience.

## ENVIRONMENTAL ASPECTS

6761

### Instrumentation plan for characterization of subsidence over longwall mining panels at Allen Mine, Weston, Colorado

O'Rourke J. Woodward-Clyde Consultants, San Francisco, CA (USA)

DOE/PC/30117 - T2 42 pp (1980)

The program includes surface, subsurface, and mine-level instrumentation to monitor subsidence characteristics over two adjacent longwall mining panels, situated in mountainous topography in southern Colorado. An installation plan has been detailed to show numbers and arrangements of instruments in and over the panels, and includes pertinent installation details. The appendix contains technical descriptions of features of some of the instrument systems, though in certain cases standard instruments will be modified by Woodward-Clyde Consultants (WCC) or the manufacturer to suit site specific installation requirements detailed on attached drawings. Technical discussions on the application of the instrument ar-

rangements and data monitored to subsidence modeling are given in the report.

## PRODUCTS

6817

### Coal : diesel fuel of the future ?

Dunlay J.

*Power*; 125 (3); 43-44 (Mar 1981)

Coal slurries could be burned in slow-speed, two-stroke diesel engines for marine propulsion or as a stationary power source. Tests have been carried out on a coal/oil slurry containing 32 % coal, and a coal/water slurry containing 34 % coal. More research on engine modifications is necessary.

6831

### Understanding raw materials

Jackson G.; Riley O.

*Euroclay*; (3); 18-20 (May 1981)

The authors describe the properties of the clays in the UK used in the ceramics industry. These include the shales and clays forming Coal Measures Clays.

## HEALTH & SAFETY

6842

### Analysis of accident statistics in the underground sector of the West German coal industry

Rauch K.-H.

*Glueckauf*; 117 (10); 562-567 (28 May 1981) Available in English in *Glueckauf + translation*; 117 (10); 256-260 (28 May 1981)

The main cause is falling and sliding objects, but haulage equipment is also a significant cause. (In German)

## Bibliographie

COMMUNAUTES EUROPEENNES — COMMISSIONS EUR 5977 — LUTTE TECHNIQUE CONTRE LES POLLUTIONS EN SIDERURGIE. ETAT DES TRAVAUX DE RECHERCHES AU 1er JANVIER 1980. Luxembourg : Office des publications officielles des Communautés européennes. 1981 — VIII, 166 p. — 14,8 × 21,0 cm. Série « Hygiène et sécurité du travail ». DE, EN, FR, IT, NL. ISBN 92-825-2660-7. N° de catalogue : CD-NQ-81-004-FR-C. Prix publics au Luxembourg, TVA exclue : Ecu 9,73, BF 400.

Le présent rapport est le quatrième à être publié depuis que la CECA a étendu ses activités à la recherche dans le domaine de la lutte contre les polluants de l'industrie sidérurgique.

La CEE désire fournir aux lecteurs intéressés un aperçu général résumé des activités de recherche menées ces derniers temps et leur permettre de s'informer sur l'état d'avancement de ces travaux en consultant les références indiquées.

Cet ouvrage comporte des rapports concernant en tout 68 projets de recherche.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. ENERGY RESEARCH, DEVELOPMENT AND DEMONSTRATION IN THE IEA COUNTRIES. OCDE, Paris 1981, 169 pages, ISBN 92-64-12251-6.

« Unless Research, Development and Demonstration (RD & D) continues to be conducted with a sense of urgency, a full range of technology choices will not be proven in the 1980's to deliver energy in the 1990's », according to a report published today by the 21-nation International Energy Agency (IEA).

The report is « The Energy Research, Development and Demonstration in IEA Countries : 1980 Review of national programmes ».

Vulnerability of national economies to oil price increases, supply cutoffs, strains in balance of payments, unsteady foreign exchange rates, inflation, unemployment and higher interest rates are having their impact on energy Research and Development investment in IEA countries the Report concludes.

In all IEA countries urgent attention must be given to a potential shortage of skilled manpower to design,

construct, and supervise large complex RD & D projects.

The report contains in-depth reviews of national energy RD & D programmes for Australia, Austria, Germany, Ireland, Japan and Norway with recommendations for programme improvements.

Twelve IEA countries received limited reviews. They are : Belgium, Canada, Denmark, Greece, Italy, Netherlands, New Zealand, Spain, Sweden, Switzerland, United Kingdom, United States.

UNTERSUCHUNG UND BEWERTUNG VON LAGERSTÄTTEN DER ERZE, NUTZBARER MINERALE UND GESTEINE (Vademecum 1). 2. neubearbeitete Auflage, 236 S, 3 Abb., 14 Tab., 15 Anl. Preis DM 22. Vertrieb : Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, De-Greiff-Straße 195, D-4150 Krefeld.

Der Bedarf an mineralischen Rohstoffen ist mit der stürmischen industriellen Entwicklung der letzten 30 Jahre ständig gewachsen und wird wohl auch weiter steigen. Das Ergebnis dieser Entwicklung war und ist eine weltweite und intensive Suche nach neuen Lagerstätten, in deren Verlauf die Erkundungs- und Untersuchungsmethoden ständig verbessert, verfeinert und neu entwickelt werden.

Seit Erscheinen der 1. Auflage, die 1972 in Clausthal-Zellerfeld als Heft 23 der Schriften der Gesellschaft Deutscher Metallhütten- und Bergleute e.V. (GDMB) herausgegeben wurde, sind fast zehn Jahre vergangen. Die Lage auf den Rohstoffmärkten hat sich seitdem nachhaltig gewandelt. Verbesserte und neue Technologien haben die Bewertungsmaßstäbe für mineralische Rohstoffe und ihre Lagerstätten verändert. Sie haben das wirtschaftliche Interesse an manchen Rohstoffen verstärkt, während andere Rohstoffe in ihrer Bedeutung zurückgefallen sind.

Die nunmehr erschienene, neubearbeitete 2. Auflage des Vademeccums 1 ist ein moderner Wegweiser für die Auf- und Untersuchung von Lagerstätten der Erze, Industriemineralen und nutzbaren Gesteine sowie für ihre bergwirtschaftliche Beurteilung. Vademeccum 1 ist außerdem ein wertvolles Hilfsmittel für Forschung und Lehre.

## Announcement

ENGINEERING ROCK MECHANICS FOR UNDERGROUND EXCAVATION DESIGN. Brighton, 4-7 June 1982.

The Institution of Mining and Metallurgy - Royal School of Mines residential course, presented by Dr. E. Hoek and Professor E.T. Brown, is designed to provide practising civil and mining engineers with instruction in the application of modern rock mechanics methods to the design of underground excavations in rocks.

Further details are available from the Secretary, The Institution of Mining and Metallurgy, 44 Portland Place, London W1N 4 BR, England.

INTERNATIONAL SYMPOSIUM « ROCK MECHANICS RELATED TO CAVERNS AND PRESSURE SHAFTS », Aachen, 26-28 May 1982.

This Symposium is organized by the German Geotechnical Society (Deutsche Gesellschaft für Erd-

und Grundbau e.V.) with the sponsorship of the International Society for Rock Mechanics (ISRM). The main topics are as follows:

1. Rock mechanical investigation programs for large caverns in rock masses
2. Underground caverns with large span
3. Load sharing capacity of the rock mass for pressure tunnels and shafts
4. Limitation of the applicability of tunnel boring machines as seen from the rock mechanical point of view
5. Rock mechanical problems in association with underground storage.

For further information, please apply to  
Institut für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Verkehrswasserbau, RWTH Aachen - ISRM-Symposium, Aachen 1982, Mies-van-der-Rohe-Strasse 1, D—5100 Aachen.

---

**Table alphabétique des auteurs**  
**Alfabetische tafel van de auteurs**

---

	<b>Nº</b>	<b>Pages</b>
	<b>Nº.</b>	<b>Bladzijde</b>
<b>ADMINISTRATION DES MINES</b>		
<i>Situation du personnel du Corps des Mines au 1<sup>er</sup> janvier 1981 .....</i>	5	441
<i>Erapartition du personnel et du service des mines .....</i>	5	457
<i>Conseils, Conseils d'Administration, Comités et Commissions .....</i>	5	463
<b>A. AIRUNI</b>		
<i>Nouvelles méthodes de prévision et mesures de prévention concernant les dégagements normaux et instantanés de méthane dans les mines d'URSS.</i>		
<i>Nieuwe voorberekeningsmethodes en preventieve maatregelen bij gewone mijngasontwikkelingen en bij gasdoorbraken in de mijnen van de USSR (en collaboration avec - in samenwerking met M. BOLCHINSKY)</i>	6	503
<b>H. ARESU de SEUI</b>		
<i>Nouvelles normes de protection incendies concernant les bâtiments de plus de 10 mètres de hauteur.</i>		
<i>Nieuwe brandbeveiligingsnormen voor gebouwen hoger dan 10 m .....</i>	10	821
<b>B. BARCHANSKI</b>		
<i>Nouvelles méthodes de fonçage de puits par congélation en Pologne.</i>		
<i>Nieuwe methoden voor het schachtboren met bevriezing in Polen .....</i>	1	51
<b>C. BECKERVORDERSANDFORTH</b>		
<i>Voir - Zie P. LEIDENT</i>		
<b>S.C. Belgian Mining Engineers</b>	4	361
<b>BESTUUR VAN HET MIJNWEZEN</b>		
<i>Toestand van het personeel van het Mijnkorps op 1 januari 1981 .....</i>	5	449
<i>Verdeling van het personeel en van de dienst van het Mijnwezen .....</i>	5	457
<i>Raden, Beheerraden, Comités en Commissies .....</i>	5	463
<b>B. BETTENS</b>		
<i>Voir - Zie R. CYPRES</i>		
<b>M. BOLCHINSKY</b>		
<i>Voir - Zie A. AIRUNI</i>		
<b>J. BRACKE</b>		
<i>Les tests d'agrération de courroies. Essai d'interprétation statistique.</i>		
<i>Aannemingstesten voor transportbanden. Proef voor statistische interpretatie (en collaboration avec - in samenwerking met P. BROWAEYS, M. TAILLET)</i>	3	277
<i>L'homogénéité de fabrication d'une courroie transporteuse a-t-elle une influence sur son comportement au feu ?</i>		
<i>Heeft de homogene fabricatie van een transportband een invloed op zijn gedrag bij vuur ? .....</i>	7-8	589
<i>(en collaboration avec - in samenwerking met P. BROWAEYS, R. DERIE, M. TAILLET)</i>		
<i>Considérations sur les méthodes d'échantillonnage pour la détermination du taux de neutralisation des poussières.</i>		

<i>Beschouwingen over de bemonsteringsmethodes voor de bepaling van het neutralisatiegehalte van stof .....</i>	12	1051
<i>(en collaboration avec - in samenwerking met R. DERIE, D. GILBERT, M. TAILLET)</i>		
<b>W. BRAND</b>		
<i>Development trends in mining techniques .....</i>	1	13
<b>J. BRICTEUX</b>		
<i>Réalisations dans le domaine du bâtiment.</i>		
<i>Verzienlijkingen op gebied van de bouw .....</i>	10	847
<b>A. BRINCK</b>		
<i>Coal gasification and liquefaction .....</i>	1	31
<b>P. BROWAEYS</b>		
<i>Voir - Zie J. BRACKE</i>		
<b>V. CHANDELLE</b>		
<i>Voir - Zie P. LEDENT</i>		
<b>R. CYPRES</b>		
<i>Traitement pyrolytique des déchets de caoutchouc .....</i>	10	873
<i>(en collaboration avec - in samenwerking met B. BETTENS)</i>		
<b>A. D. DAINTON</b>		
<i>Coal utilisation .....</i>	1	43
<b>R. DERIE</b>		
<i>Voir - Zie J. BRACKE</i>		
<b>A. W. DEURBROUCK</b>		
<i>Coal preparation .....</i>	1	35
<b>M. DUSAR</b>		
<i>De steenkool verkenningsboring van Neerglabbeek (Boring 146 van het Kempens bekken) .....</i>	11	913
<i>(en collaboration avec - in samenwerking met E. HOULLEBERGHS)</i>		
<b>W. FIERENS</b>		
<i>Voir - Zie J. MEDAETS</i>		
<b>S. FURFARI</b>		
<i>Hydrogénopyrolyse des charbons - Etude bibliographique .....</i>	12	1069
<b>D. GILBERT</b>		
<i>Voir - Zie J. BRACKE</i>		
<b>A. GIUST</b>		
<i>Circuit détecteur de seuil en CH<sub>4</sub> incorporable à une lampe chapeau.</i>		
<i>Detectiekring van CH<sub>4</sub>-drempel monterbaar in een helmlamp .....</i>	5	433
<b>A. HAUSMAN</b>		
<i>Astreintes et contraintes thermiques.</i>		
<i>Thermische externe en fysiologische belasting .....</i>	5	405
<b>E. HOULLEBERGHS</b>		
<i>Voir - Zie M. DUSAR</i>		
<b>INSTITUT NATIONAL DES INDUSTRIES EXTRACTIVES</b>		
<i>Appareils agréés pour les mines au cours de l'année 1979 .....</i>	2	127
<i>Rapport 1980 .....</i>	4	301
<i>Réalisations et perspectives d'utilisation des bétons de résine dans la construction. Journée d'information organisée à Liège le 6 octobre 1980. Exposés de MM. R. LIEGEOIS, C. MICHAUX, H. ARESU de SEUI, J.P. ROLAND, C. ROCMANS, J. BRICTEUX .....</i>	10	799
<b>P. LEDENT</b>		
<i>Etude du linking à grande profondeur.</i>		
<i>Studie van de linking op grote diepte .....</i>	5	389
<i>(en collaboration avec - in samenwerking met C. BECKERVORDERSANDFORTH, V. CHANDELLE)</i>		
<i>De l'exploitation minière conventionnelle à la gazéification souterraine du charbon.</i>		
<i>Van de conventionele mijnbouw naar de ondergrondse vergassing van steenkolen</i>	12	1021

<b>R. LEGRAND</b>			
<i>Présentation des cartes situant la base des différentes formations géologiques recouvrant le socle dans le Tournaisis ..... (en collaboration avec - in samenwerking met H. NEYBERGH)</i>	6	493	
<b>A. LESSUISE</b>			
<i>Le coticule. Situation géographique et géologique des gisements. Exploitation et préparation des pierres abrasives. Valorisation des déchets d'exploitation Colloque sur les ressources naturelles wallonnes .....</i>	2	101	
	6	563	
<b>J. MAYNE</b>			
<i>Coördinatiecentrum Reddingswezen, Instituut voor Veiligheid en Redding, Hasselt.</i>			
<i>Année 1980. Rapport d'activité.</i>	6	533	
<i>Dienstjaar 1980. Aktiviteitsverslag ..... (en collaboration avec - in samenwerking met M. PAREDIS, A. SIKIVIE)</i>			
<b>J. MEDAETS</b>			
<i>Statistique des accidents survenus au cours de 1979 dans les mines de houille et dans les autres établissements surveillés par l'Administration des Mines.</i>			
<i>Statistiek van de ongevallen in de kolenmijnen en in de andere inrichtingen onder het toezicht van de Administratie van het Mijnwezen in 1979 .....</i>	1	59	
<i>Les lois minières et la consultation du Conseil d'Etat.</i>			
<i>De mijnwetten en de raadpleging van de Raad van State ..... (en collaboration avec - in samenwerking met W. FIERENS)</i>	7-8	625	
<i>Statistique sommaire de l'exploitation charbonnière, des cokeries, des fabriques d'agglomérés et aperçu du marché des combustibles solides en 1980.</i>			
<i>Beknopte statistiek van de kolenwinning, de cokes- en de agglomeratenfabrieken en overzicht van de markt van de vaste brandstoffen in 1980 .....</i>	7-8	633	
<i>Activité des services de l'Administration des Mines en 1980.</i>			
<i>Bedrijvigheid van de diensten van de Administratie van het Mijnwezen in 1980</i>	12	1103	
<b>C. MICHAUX</b>			
<i>Caractérisation, propriétés et avantages des bétons de résine.</i>			
<i>Karakterisering, eigenschappen en voordelen van harsbeton .....</i>	10	801	
<b>A. MINETTE</b>			
<i>Bedrijvigheid van het Instituut voor Mijnhygiëne gedurende het jaar 1980 .....</i>	9	759	
<i>L'activité de l'Institut d'Hygiène des Mines en 1980 .....</i>	10	853	
<b>NATIONAAL INSTITUUT VOOR DE EXTRACTIEBEDRIJVEN</b>			
<i>Materieel aangenomen voor de mijnen tijdens 1979 .....</i>	2	127	
<i>- Jaarverslag 1980 .....</i>	3	221	
<i>Verwezenlijkingen en vooruitzichten voor het gebruik van harsbeton in de bouwnijverheid. Informatiedag georganiseerd te Luik op 6 oktober 1980. Verslagen door de HH. R. LIEGEOIS, C. MICHAUX, H. ARESU de SEUI, J.P. ROLAND, C. ROCMANS, J. BRICTEUX .....</i>	10	799	
<b>H. NEYBERGH</b>			
<i>Voir - Zie R. LEGRAND</i>			
<b>M. PAREDIS</b>			
<i>Voir - Zie J. MAYNE</i>			
<b>C. ROCMANS</b>			
<i>Récupération du verre et bétons de résine.</i>			
<i>Het terugwinnen van glas en harsbeton .....</i>	10	841	
<b>J.P. ROLAND</b>			
<i>Cahier des charges type 110 - Critères de performance.</i>			
<i>Bestek type 110 - Prestatiecriteria .....</i>	10	829	
<b>A. SCHAUSS</b>			
<i>L'exploitation charbonnière en Sarre. Combinaison soutènement bouclier-remblayage pneumatique.</i>			
<i>Kolenontginning in het Saarland. Combinatie schildondersteuning-blaasvulling</i>	7-8.	605	
<b>A. SIKIVIE</b>			
<i>Voir - Zie J. MAYNE</i>			

J.J. STASSEN		
<i>Les dangers des poussières inflammables dans les mines de houille et les moyens         de les combattre.</i>		
<i>Het gevaar van ontvlambaar stof in de steenkolenmijnen en de middelen om het         te bestrijden . . . . .</i>	9	681
M. TAILLET		
<i>Voir - Zie J. BRACKE</i>		
J.J. YANCIK		
<i>Results obtained from the application of new coal mining techniques . . . . .</i>	1	23

---