

SOMMAIRE
Juin 1982

INHOUD
Juni 1982

Le forage à grande profondeur

Journée d'étude organisée par l'Association belge des Techniques et de l'Urbanisme souterrains à Bruxelles, le 24 septembre 1981

Het boren op grote diepte

Studiedag georganiseerd door de Belgische Vereniging voor ondergrondse Technieken en Stedebouw te Brussel, op 24 september 1981

Ph. Maystadt	Allocution d'ouverture Welkomstwoord	519
J. Bouckaert	Etat des recherches d'énergie géothermique en Belgique Staat van opzoekingen naar geothermische energie in België	523
J.M. Graulich	Le sondage d'Havelange (Champs du Bois) De boring van Havelange (Champs du Bois)	545
A. Leblond	Initiation au forage pétrolier Initiatie in de petroleumboring	563
P. Hiroux	Quelques informations sur le forage profond Enkele inlichtingen over diepe boringen	589
G. Piron	Evolution de l'exploitation en Mer du Nord Evolutie van de petroleumontginning in de Noordzee	599
P. Armessen	Le forage dirigé De gerichte boring	627
A. Lefoll	Les diagraphies différées De uitgestelde diagrafieën	639

Selection of Coal Abstracts

665

INHOUD
1912

SOMMERS
1912

1	De Staat van België	1
2	De Staat van België	2
3	De Staat van België	3
4	De Staat van België	4
5	De Staat van België	5
6	De Staat van België	6
7	De Staat van België	7
8	De Staat van België	8
9	De Staat van België	9
10	De Staat van België	10
11	De Staat van België	11
12	De Staat van België	12
13	De Staat van België	13
14	De Staat van België	14
15	De Staat van België	15
16	De Staat van België	16
17	De Staat van België	17
18	De Staat van België	18
19	De Staat van België	19
20	De Staat van België	20
21	De Staat van België	21
22	De Staat van België	22
23	De Staat van België	23
24	De Staat van België	24
25	De Staat van België	25
26	De Staat van België	26
27	De Staat van België	27
28	De Staat van België	28
29	De Staat van België	29
30	De Staat van België	30
31	De Staat van België	31
32	De Staat van België	32
33	De Staat van België	33
34	De Staat van België	34
35	De Staat van België	35
36	De Staat van België	36
37	De Staat van België	37
38	De Staat van België	38
39	De Staat van België	39
40	De Staat van België	40
41	De Staat van België	41
42	De Staat van België	42
43	De Staat van België	43
44	De Staat van België	44
45	De Staat van België	45
46	De Staat van België	46
47	De Staat van België	47
48	De Staat van België	48
49	De Staat van België	49
50	De Staat van België	50
51	De Staat van België	51
52	De Staat van België	52
53	De Staat van België	53
54	De Staat van België	54
55	De Staat van België	55
56	De Staat van België	56
57	De Staat van België	57
58	De Staat van België	58
59	De Staat van België	59
60	De Staat van België	60
61	De Staat van België	61
62	De Staat van België	62
63	De Staat van België	63
64	De Staat van België	64
65	De Staat van België	65
66	De Staat van België	66
67	De Staat van België	67
68	De Staat van België	68
69	De Staat van België	69
70	De Staat van België	70
71	De Staat van België	71
72	De Staat van België	72
73	De Staat van België	73
74	De Staat van België	74
75	De Staat van België	75
76	De Staat van België	76
77	De Staat van België	77
78	De Staat van België	78
79	De Staat van België	79
80	De Staat van België	80
81	De Staat van België	81
82	De Staat van België	82
83	De Staat van België	83
84	De Staat van België	84
85	De Staat van België	85
86	De Staat van België	86
87	De Staat van België	87
88	De Staat van België	88
89	De Staat van België	89
90	De Staat van België	90
91	De Staat van België	91
92	De Staat van België	92
93	De Staat van België	93
94	De Staat van België	94
95	De Staat van België	95
96	De Staat van België	96
97	De Staat van België	97
98	De Staat van België	98
99	De Staat van België	99
100	De Staat van België	100

Le forage à grande profondeur

Journée d'étude organisée par l'Association belge des Techniques et de l'Urbanisme souterrains à Bruxelles, le 24 septembre 1981

Het boren op grote diepte

Studiedag georganiseerd door de Belgische Vereniging voor ondergrondse Technieken en Stedebouwe te Brussel, op 24 september 1981

Allocution de Ph. Maystadt, Ministre de la Politique Scientifique

prononcée par J. DIEZ, Chef de Cabinet

Avant d'ouvrir cette Journée d'Etude que j'espère fructueuse, je m'adresserai tout d'abord aux organisateurs de celle-ci pour les remercier de l'invitation qu'ils ont adressée au Ministre de la Politique Scientifique, Ph. Maystadt. C'est lui, en effet, qui devait être parmi nous, aujourd'hui, pour ouvrir les débats. Malheureusement, et il le regrette, les aléas de la vie politique de notre Pays le retiennent ailleurs. Je suis sûr que vous ne lui en tiendrez pas rigueur. Il m'a chargé de vous dire tout l'intérêt qu'il porte à vos travaux qui traitent d'une technique particulièrement importante pour l'avenir économique de notre Pays et de l'Europe toute entière.

En effet, les deux dernières décennies de ce XX^e siècle et le début du XXI^e verront très certainement une augmentation accrue de l'exploration du sous-sol dans le monde entier, à l'aide de techniques diversifiées et sans cesse améliorées. Les domaines d'intérêt sont, en effet, multiples.

Toespraak van Ph. Maystadt, Minister van Wetenschapsbeleid

gehouden door J. DIEZ, Kabinetschef

Alvorens deze Studiedag, die naar ik hoop vruchtbaar zal zijn, te openen, richt ik mij vooreerst tot de organisators ervan om hen te danken voor de uitnodiging die zij gestuurd hebben aan de Minister van Wetenschapsbeleid, Ph. Maystadt. Inderdaad, hij had vandaag persoonlijk moeten aanwezig zijn om de debatten te openen. Tot zijn spijt is hij elders weerhouden wegens de onvoorziene omstandigheden die het politiek leven in ons land inhoudt. Ik ben ervan overtuigd dat u het hem niet kwalijk neemt. Hij heeft me gelast u mede te delen dat hij vol belangstelling is voor uw werkzaamheden die handelen over een techniek die bijzonder belangrijk is voor de economische toekomst van ons land en van geheel Europa.

Inderdaad, de twee laatste decennia van deze XX^e eeuw en het begin van de XXI^e eeuw zullen waarschijnlijk een verhoogde toename kennen van de bodemexploratie over de ganse wereld met behulp van gediversifieerde en steeds verbeterde technieken. De belangwekkende gebieden zijn immers zeer talrijk.

Il y a bien sûr la course aux *hydrocarbures* liquides et gazeux, qui n'est pas très près de se ralentir. Il en est de même de la recherche et de l'exploitation de nouveaux gisements charbonniers, le *charbon* étant appelé, on le sait, à jouer un rôle très important dans la satisfaction de nos besoins énergétiques dans les 30 à 50 années à venir. Plus particulièrement, la gazéification souterraine du charbon est une voie de mise en valeur de certains gisements que la Belgique explore activement.

Toujours dans une perspective énergétique, et pour évoquer encore un domaine où la Belgique s'est livrée à quelques essais alors que d'autres pays, plus favorisés par la nature, y ont acquis une solide expérience, il faut citer la *géothermie*, à haute et à basse enthalpie, où les techniques de forage employées couvrent une large gamme.

La récupération de chaleur dans les roches est une nouvelle possibilité qui est étudiée et qui pose des problèmes particuliers.

Le *stockage* de produits divers, qu'il s'agisse de pétrole, de gaz, d'eau chaude, de déchets radioactifs ou d'autres choses encore, est un autre domaine qui présente des aspects très variés, en ce qui concerne le forage lui-même et bien sûr aussi en ce qui concerne la nécessité d'assurer de bonnes conditions de stabilité du stockage.

Enfin, il est à peine nécessaire de rappeler l'intérêt de la prospection géologique à la recherche de divers *minerais* dont l'importance pour notre économie rejoint celle de la sécurité de nos approvisionnements énergétiques.

Pour toutes ces applications, la faisabilité technique et la viabilité économique des procédés de reconnaissance et d'exploitation dépendent fortement du savoir-faire acquis en matière de forage et notamment de forage profond à petit et à grand diamètre.

En effet, en ces domaines où les moyens techniques et financiers mis en œuvre prennent souvent des proportions gigantesques, toute amélioration de l'outillage et des procédés, permettant d'accroître les vitesses et les durées de vie, pourra conduire à des économies substantielles.

Une réelle connaissance des sous-sols est donc une des clés qui permettra au monde de sortir de la crise. Cette crise dont vous connaissez bien les effets sur la rentabilité des entreprises, sur l'emploi et sur chacun d'entre nous.

En outre, il nous faut constater un élément neuf qui est devenu sensible à la faveur de la crise, c'est l'entrée du Tiers Monde sur la scène internationale.

Pourquoi parler du Tiers Monde aujourd'hui ? Parce qu'il est dramatique de constater :

Er bestaat natuurlijk de wedloop naar de vloeibare en gasachtige koolwaterstoffen die blijkbaar niet snel zal afnemen. Dit is eveneens zo voor het onderzoek en de ontginning van nieuwe steenkoolvelden. Men weet namelijk dat verwacht wordt dat de *steenkool* een voorname rol zal spelen om te voldoen aan onze energiebehoeften gedurende de 30 à 50 komende jaren. De ondergrondse vergassing is meer in het bijzonder een middel om bepaalde afzettingen die actief geëxploreerd worden in België, te exploiteren.

Steeds in het vooruitzicht op het vlak van de energie, en om nog een domein aan te halen waarin België enkele proeven heeft uitgevoerd terwijl andere, door de natuur meer bevoorrechte landen er reeds een stevige ervaring hebben verworven, dient de *geothermie* op hoge en lage enthalpie te worden vermeld waar de aangewende *boortechnieken* een groot gebied beslaan.

De terugwinning van warmte uit de gesteenten is een nieuwe mogelijkheid die bestudeerd wordt en die bijzondere problemen stelt.

De *opslag* van diverse produkten, of het nu aardolie, gas, warm water, radioactieve afval of nog andere zaken betreft, is een ander domein met zeer verschillende aspecten wat de eigenlijke boring betreft en natuurlijk eveneens wat de noodzaak betreft om goede stabiliteitsvoorwaarden te verzekeren voor de opslag.

Ten slotte is het nauwelijks nodig aan het belang te herinneren van de geologische prospectie op zoek naar diverse *ertsen* waarvan het belang voor onze economie aansluit bij dit van de veiligheid van onze energiebevoorrading.

Voor al deze toepassingen is de mogelijkheid om de techniek uit te voeren en de economische leefbaarheid van de verkennings- en ontginningsprocedures sterk afhankelijk van de verworven know-how op het gebied van boringen en inzonderheid van diepe boringen met kleine en grote diameter.

Op deze gebieden, waar de aangewende technische en financiële middelen inderdaad reusachtige proporties aannemen, zal elke verbetering van de werktuigen en de procedures die de snelheden en de duurzaamheid kunnen doen toenemen, kunnen leiden tot substantiële besparingen.

Een werkelijke kennis van de ondergrond is dus één van de sleutels die de wereld de mogelijkheid zal bieden de crisis te boven te komen waarvan u goed de invloed kent op de rentabiliteit van de ondernemingen, de werkgelegenheid en op ieder van ons.

Bovendien dienen wij een nieuw element vast te stellen dat duidelijk is geworden door de crisis, namelijk het intreden van de Derde Wereld op de internationale scène.

Waarom vandaag spreken over de Derde Wereld ? Omdat het aangrijpend is vast te stellen dat :

1°) que les dépenses d'exploration minière dans le Tiers Monde ont crû à une vitesse infiniment moins grande que dans les pays industrialisés;

2°) que les investissements de production minière dans le Tiers Monde ont décliné dans les dernières années, alors qu'elles étaient multipliées par près de deux dans les pays industrialisés.

Or, nous avons besoin de préparer la mise en exploitation des ressources du sous-sol puisque nous prétendons vouloir sortir de la crise.

Plus particulièrement dans les domaines des matières premières et de l'énergie, le Tiers Monde aura un rôle majeur à jouer dans l'avenir. De même que les chercheurs qui s'attachent à la connaissance du sous-sol et aux technologies qui permettent son exploitation. Leurs recherches devraient notamment déboucher à terme sur une coopération industrielle avec des pays du Tiers Monde. Nous pensons qu'il y a place pour un dialogue, une construction commune, contractuelle avec d'autres pays dans le respect mutuel des besoins spécifiques à chaque partenaire.

Voilà l'idée sur laquelle le Ministre de la Politique Scientifique voulait attirer votre attention. Les recherches des ressources du sous-sol et la mise au point des technologies pour les mettre en exploitation sont à l'amont d'une possible coopération technologique avec des pays tiers. Vous êtes à la genèse de ces formes de coopération. Mais ce sont finalement les opérateurs, qu'ils soient entrepreneurs, banquiers, industriels, commerçants, qui en sont le centre. Ce sont eux qui prendront les risques dans l'investissement en recherche, dans les investissements à l'extérieur et dans la contractualisation commerciale.

Ce sont eux qui connaissent les marchés, qui possèdent la technologie et ce n'est certes pas le Ministre de la Politique Scientifique qui pourrait la transférer puisqu'il ne la possède pas.

Il est bien conscient que la Belgique doit poursuivre et, si possible, amplifier les recherches en ce domaine, et j'imagine que les orateurs qui vont se succéder à cette tribune ne manqueront pas de renforcer cette opinion.

Mais si la puissance publique est appelée à intervenir, il importe qu'elle soit correctement informée des intentions et stratégies industrielles qu'elle est appelée à soutenir.

Voilà, Mesdames, Messieurs, ce dont le Ministre de la Politique Scientifique voulait vous entretenir ce matin. Il vous souhaite un excellent travail et remercie encore les organisateurs de cette journée qui lui ont permis de s'adresser à vous aujourd'hui.

Pour ma part, je me réjouis de les écouter nous présenter l'état d'avancement de tous ces travaux visant à une connaissance plus complète et une meilleure exploitation de notre sous-sol.

1°) de uitgaven voor mijnexploratie in de Derde Wereld veel minder snel toenamen dan in de geïndustrialiseerde landen;

2°) de investeringen voor mijnproductie de laatste jaren verminderden in de Derde Wereld terwijl ze praktisch verdubbeld werden in de geïndustrialiseerde landen.

Wij dienen echter de ontginning voor te bereiden van de voorraden in de ondergrond aangezien wij de crisis willen te boven komen.

Voor de Derde Wereld zal in de toekomst een hoofdrol moeten spelen op het vlak van de grondstoffen en de energie, evenals de onderzoekers die zich toeleggen op de verkenning van de ondergrond en de technologieën die de ontginning mogelijk maken. Hun onderzoekingen zouden onder meer na verloop van tijd moeten uitlopen op een industriële samenwerking met landen van de Derde Wereld. Wij denken dat een gesprek, een contractuele, gemeenschappelijke opbouw mogelijk is met andere landen terwijl het wederzijds respect van de behoeften eigen aan iedere partner, geëerbiedigd wordt.

Dit is de idee waarop de Minister van Wetenschapsbeleid uw aandacht wilde vestigen. De onderzoekingen van de voorraden in de ondergrond en de uitwerking van technologieën om deze voorraden te ontginnen gaan vooraf aan een mogelijke technologische samenwerking met andere landen. U ligt aan de basis van deze vorm van samenwerking. Maar uiteindelijk vormen de operators, zowel de aannemers als de bankiers, de industriëlen en de handelaars het centrum ervan. Zij nemen de risico's inzake onderzoeksinvestering, de externe investeringen en de opstelling van commerciële contracten.

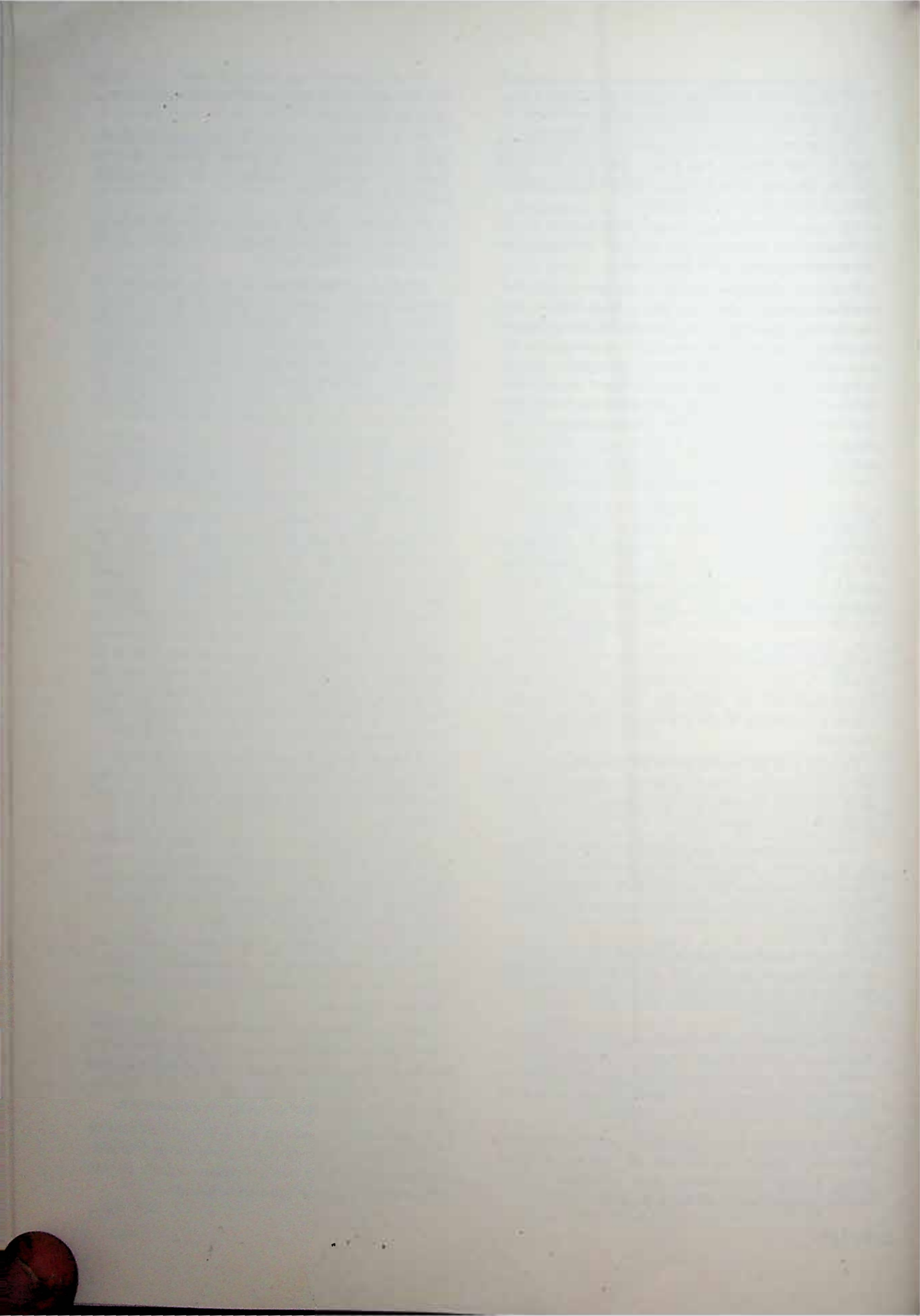
Zij kennen de markt en bezitten de technologie, en het is zeker niet de Minister van Wetenschapsbeleid die ze zou kunnen overdragen aangezien hij ze niet bezit.

Hij is er zich van bewust dat België zijn onderzoekingen op dat gebied moet voortzetten en, zo mogelijk, moet uitbreiden. Ik veronderstel dat de redenaars die elkaar aan deze tribune gaan opvolgen, niet zullen nalaten deze opinie te versterken.

Maar als de openbare macht dient tussen te komen, is het van belang dat zij nauwkeurig wordt ingelicht over de industriële plannen en strategieën die zij dient te steunen.

Ziedaar, Dames en Heren, waarover de Minister van Wetenschapsbeleid u vandaag wilde spreken. Hij wenst u een vruchtbaar werk toe en dankt nogmaals de organisatoren van deze dag die hem de gelegenheid schonken zich vandaag tot u te wenden.

Wat mij betreft verheug ik mij te luisteren naar de uiteenzettingen over de vooruitgang van al deze werken met het oog op een vollediger kennis en een betere ontginning van onze ondergrond.



Etat des recherches d'énergie géothermique en Belgique

Staat van opzoekingen naar geothermische energie in België

J. BOUCKAERT *

« Les investissements nécessaires à la mise en œuvre de l'énergie géothermique sont énormes. Par contre, les frais d'exploitation n'existent pas. »

A. Delmer - 1980.

RESUME

Après avoir constaté que des possibilités d'utilisation d'énergie géothermique existent dans notre pays, on procède à une analyse des différentes formations permettant la production de cette énergie.

Il est fait rapport sur l'état des recherches et des premiers résultats obtenus tant au nord qu'au sud du pays.

ZUSAMMENFASSUNG

Nach der Feststellung, daß in unserem Land Möglichkeiten für die Verwendung von geothermischer Energie bestehen, wird eine Analyse der verschiedenen Gesteinsformationen gemacht, aus denen diese Energie gewonnen werden kann.

Es wird über den Stand der Untersuchungen und die ersten, sowohl im Norden, als auch im Süden des Landes erzielten Ergebnisse berichtet.

SAMENVATTING

Na vast te hebben gesteld dat mogelijkheden tot gebruik van geothermische energie in ons land bestaan, wordt een analyse gemaakt van de verschillende gesteenteformaties waaruit deze energie kan worden gewonnen.

Er wordt verslag uitgebracht over de staat van onderzoek en eerste resultaten die zowel in het noorden als in het zuiden van het land werden geboekt.

SUMMARY

Having established that possibilities for the use of geothermal energy exist in our country, we analyse several rock formations where this energy is found.

The search operation and its first results are described for both the Northern and Southern parts of Belgium.

* Géologue en Chef-Directeur, Dép. Flandre, Service Géologique de Belgique, rue Jenner 13, B-1040 Bruxelles.

* Hoofdgeoloog-Directeur, Dept. Vlaanderen, Belgische Geologische Dienst, Jennerstraat 13, B-1040 Brussel.

1. INTRODUCTION

1.1. L'existence d'un flux géothermique

On a pu déduire d'observations directes et indirectes que l'intérieur de notre terre fournit une contribution positive au bilan thermique de la surface terrestre.

Une des indications les plus évidentes que de hautes températures règnent à l'intérieur de la terre, est l'activité volcanique. Celle-ci est répartie selon un schéma partiellement définissable sur la surface terrestre, ainsi que de façon irrégulière dans le temps; dès lors, il est difficile de déterminer avec précision l'apport énergétique volcanogène (10^{18} à 10^{19} cal/an).

D'autre part, on observe également dans des régions situées en dehors de la zone d'influence d'activité volcanique relativement récente, une augmentation de la température avec la profondeur, lors de mesures de la température dans des trous de forage profonds et dans des exploitations minières de grande profondeur.

Cette augmentation est assez régulière et un gradient normal dans ce cas est de 3 à 4 °C/100 m.

L'origine du flux thermique venant de la terre est à attribuer, pour 80 à 90 %, à la désintégration naturelle de radio-isotopes présents en éléments-pilotes dans les roches dont la terre est constituée.

A côté de cette chaleur radioactive de désintégration, qui représente environ $2 \cdot 10^{20}$ cal/an, et la production de chaleur volcanique, d'autres sources de chaleur sont actives à l'intérieur de la terre; les marées terrestres sont à mentionner à ce propos car elles constituent 2 % du flux géothermique ($5 \cdot 10^{18}$ cal/an).

1.2. L'utilisation du flux géothermique comme source d'énergie

1.2.1. Energie géothermique « hot-dry-rock »

Aux profondeurs où les températures des roches sont suffisamment élevées pour être économiquement intéressantes, mais où il n'y a pas d'eau naturellement disponible que ce soit liquide ou sous forme de vapeur pour monter ainsi l'énergie à la surface, on peut en principe tâcher d'injecter de l'eau par un trou de forage pour la faire circuler ensuite par des fissures artificielles (par exemple fracturation hydraulique) vers un deuxième ou plusieurs trous de forage afin de remonter de cette façon de l'eau chauffée. Il est également possible de faire circuler de l'eau dans des

1. INLEIDING

1.1. Het bestaan van een geothermische flux

Uit directe en indirecte observaties heeft men kunnen leren dat het inwendige van onze aarde een positieve bijdrage levert tot het totale warmtebilan van het aardoppervlak.

Een van de meest duidelijke aanwijzingen dat binnenin de aarde hoge temperaturen heersen is de vulkanische activiteit. Deze is volgens een in zekere mate definieerbaar patroon verdeeld over het aardoppervlak alsook onregelmatig in de tijd en vandaar is de juiste vulkanogene energietoename moeilijk precies te bepalen (10^{18} tot 10^{19} cal/jaar).

Anderzijds, in gebieden die buiten de invloedssfeer van relatief recente vulkanische activiteit gelegen zijn, stelt men eveneens een temperatuurtoename met de diepte vast bij temperatuurmetingen in diepere boorgaten en bij diepe mijnbouwactiviteiten.

Deze toename gebeurt vrij regelmatig en een normale gradiënt daarbij is 3 tot 4 °C/100 m.

De oorzaak van de warmteflux vanuit de aarde is voor 80 tot 90 % toe te wijzen aan de natuurlijke desintegratie van aanwezige radioactieve isotopen naar dochterelementen in de gesteenten waaruit de aarde opgebouwd is.

Naast deze radioactieve desintegratiewarmte, goed voor een $2 \cdot 10^{20}$ cal/jaar, en de vulkanische warmteproductie zijn nog andere warmtebronnen inwendig de aarde actief; daarvan zijn de jaargetijden vermeldenswaard omdat ze een 2 % van de warmteflux vanuit de aarde uitmaken ($5 \cdot 10^{18}$ cal/jaar).

1.2. De aanwending van de geothermische flux als energiebron

1.2.1. « Hot-dry-rock » geothermische energie

Op dieptes waar de gesteentetemperaturen voldoende hoog zijn om economisch interessant te zijn, doch waar geen water, vloeibaar of als stoom, natuurlijkerwijze voorhanden is om aldus de energie naar boven te halen, kan in principe gepoogd worden om water langs één boorgat te injecteren en dan via artificieel gemaakte spleten (b.v. hydraulische fracturatie) naar een tweede, of meerdere boorgaten te doen circuleren om op die manier dan opgewarmd water terug naar boven te kunnen halen. Het is ook mogelijk in droge poreuse hete gesteenten water te

roches chaudes, sèches et poreuses et de la remonter ensuite, mais la principale difficulté est le contrôle de la diffusion afin de perdre un minimum de fluide.

Ces principes de production d'énergie géothermique sont encore au stade expérimental. Les expériences les plus connues sont celles faites dans les granits du Plateau Jemez au nord du Nouveau-Mexique aux Etats-Unis (Los Alamos), et celles réalisées par Preussag et Prakla dans le Massif Schisto-Rhénan en Allemagne.

1.2.2. « Haute énergie, énergie géothermique »

De très hautes températures à des profondeurs relativement faibles, de telle sorte que l'on puisse produire de l'électricité dans des conditions économiques avec la vapeur, c'est-à-dire 160°-200° minimum, ne se trouvent que dans des régions influencées par de l'activité volcanique active ou prolongée. La vapeur est captée dans ces formations par des trous de forage et est conduite dans des turbines. Ces régions volcaniques ne sont pas éparpillées mais, comme des régions à activité sismique, elles sont situées selon des dessins géologiques bien déterminés, qui correspondent aux zones de contact entre les différentes plaques entourant notre terre.

1.2.3. « Basse énergie, énergie géothermique »

A des températures en dessous de 150 °C, le fluide ne peut plus être utilisé pour l'entraînement direct de turbines pour la production d'électricité.

Quand la température de l'eau de formation se situe entre 80 °C et 150 °C, il est encore possible de produire de l'électricité mais par un échange thermique entre le fluide de formation aspiré et un fluide volatil (fréon, ammoniaque, isobutane) qui entraîne les turbines. De telles installations sont encore rares, mais elles fonctionnent déjà dans certains pays.

Lorsque des formations contenant de l'eau ont des températures de plus de 60 °C, l'eau peut être pompée et utilisée pour le chauffage de complexes de bâtiments, de serres, etc. La chaleur est transmise, par un échangeur, sur un circuit de chauffage en raison du caractère le plus souvent corrosif et la tendance à la précipitation d'eau souterraine aux profondeurs fournissant les températures adéquates (1.000-3.000 m). Une telle composition de cette eau souterraine rend aussi nécessaire sa réinjection.

La réinjection se fait dans la même formation, afin d'aider ainsi à maintenir constante la pression dans cette formation (incidence sur le débit de production). Le système comprenant un forage de production et un forage de réinjection est appelé « doublet géothermique ».

La réinjection provoque la création d'un front de refroidissement qui coupera avec le temps le lieu de

laten circuleren en terug boven te halen, doch de controle van het stromingspatroon, om zo weinig mogelijk geïnjecteerd fluïdum te verliezen, is daarbij de voornaamste moeilijkheid.

Deze principes van geothermische energiewinning zijn nog in een experimenteel stadium. De meest gekende experimenten zijn deze in de granieten van het Jemez Plateau in het noorden van New Mexico in de U.S.A. (Los Alamos), en deze in het Rijnse Schiefergebirge door Preussag en Prakla in Duitsland.

1.2.2. « Hoge energie, geothermische energie »

Bijzonder hoge temperaturen op relatief geringe dieptes, van die aard dat in economische omstandigheden elektriciteit kan gewonnen worden met de stoom, d.w.z. minimaal 160°-200°, komen enkel voor in gebieden die beïnvloed worden door actieve of nog nawerkende vulkanische activiteit. De stoom wordt uit deze formaties gecapteerd via boorgaten en door turbines geleid. Deze vulkanische gebieden liggen niet willekeurig verspreid doch liggen evenals seismische actieve gebieden volgens wel bepaalde geologische patronen, overeenkomend met de contactzones tussen de verschillende platen die onze aardbol omhullen.

1.2.3. « Lage energie, geothermische energie »

Bij temperaturen beneden de 150 °C kan het fluïdum niet meer gebruikt worden om rechtstreeks turbines aan te drijven voor elektriciteitsproductie.

Indien de temperatuur van het formatiewater tussen de 80 °C en 150 °C is, is het nog wel mogelijk elektriciteit te produceren doch via een warmte-uitwisseling tussen het opgepompte formatiefluïdum en een vluchtig fluïdum (freon, ammoniak, isobutaan) dat de turbines aandrijft. Dergelijke installaties zijn nog zeldzaam doch werken reeds in enkele landen.

Wanneer watervoerende formaties temperaturen hebben van meer dan 60 °C kan het water opgepompt worden en gebruikt worden voor de verwarming van gebouwcomplexen, serres en dergelijke. De warmte wordt via een wisselaar overgedragen op een verwarmingscircuit omwille van het meestal corrosieve karakter en de precipitatieneiging van grondwater op de dieptes die geschikte temperaturen leveren (1.000-3.000 m). Dergelijke samenstelling van dat grondwater maakt ook de reinjectie van dat water nodig.

De reinjectie gebeurt in dezelfde formatie, om aldus de druk in die watervoerende formatie te helpen constant houden (weerslag op het produktiedebiet). Dit systeem met een produktie- en reinjectieboring wordt een geothermisch doublet genoemd.

Het reinjecteren veroorzaakt het ontstaan van een afkoelingsfront dat na verloop van tijd de produk-

production et donne lieu à une température réduite de l'exploitation. C'est pour cette raison que les zones de production et de réinjection doivent être éloignées l'une de l'autre, d'une distance minimale dans la couche thermique (ordre de grandeur 1 à 2 km).

Les profondeurs où se trouvent ces couches d'eau à basse énergie exigent un coût de forage relativement élevé; le transport isolé de la chaleur est également très coûteux. De là, la nécessité d'une consommation d'énergie concentrée à proximité du lieu d'exploitation pour la réalisation d'une application économique.

1.2.4. « Très basse énergie, énergie géothermique »

L'extraction d'eau souterraine plus profonde, d'une température de moins de 60 °C, exige moins de forages profonds et n'est donc pas aussi coûteuse, mais la valeur énergétique est également sensiblement moindre. Plus basse est la température, plus fréquemment trouve-t-on de tels aquifères dans la structure géologique d'une région.

Leur utilisation concerne entre autres : le chauffage de piscine, l'hydroculture, éventuellement l'hydrothérapie, etc.

Bien que l'on ne puisse pas exagérer la contribution de l'énergie géothermique dans le bilan énergétique total de la communauté européenne à court terme, cette forme d'énergie peut à plus long terme prendre une place importante. Surtout si les recherches sur l'exploitation de roches chaudes à l'échelle industrielle peuvent être appliquées, cela devient important. Bien que la géothermie ne puisse donc pas fournir une solution pour tous les problèmes de la communauté en matière d'énergie, elle mènera quand même à des économies au niveau de l'importation d'hydrocarbures et en ce qui concerne une utilisation plus rationnelle de l'énergie.

Au niveau régional, l'exploitation de l'énergie géothermique est sans doute intéressante, parce que les pays avec les perspectives les plus favorables dans ce domaine sont aussi les plus dépendants de l'importation d'énergie.

D'autre part, la promotion du développement d'une « industrie géothermique » en Belgique peut entraîner des conséquences positives pour l'industrie et la balance des paiements, vu le volume du marché potentiel en dehors de la Belgique et de l'Europe.

Dans le cadre du Programme national RD-Energie, on a examiné dans le groupe « Energie géothermique » la possibilité d'exploitation de l'énergie géothermique. Les projets consistent essentiellement en l'extraction d'eau chaude souterraine par un puits de forage profond, cette eau étant utilisée pour divers objectifs par un échange de chaleur. On s'attend à

tieplaats zal snijden en aldus een verlaagde temperatuur in de winning zal veroorzaken. Daarom moeten produktie- en reinjectiezone ook een minimale afstand van elkaar verwijderd zijn in de warmwatervoerende laag (grootte-orde 1 à 2 km).

De dieptes waarop deze laag energie-waterlagen voorkomen maken de boorkostprijs ook relatief hoog; zeer duur is eveneens het geïsoleerd transporteren van de warmte. Vandaar dat voor een economische toepassing een geconcentreerd energieverbruik nabij de winningsplaats een noodzaak is.

1.2.4. « Zeer lage energie, geothermische energie »

Het onttrekken van dieper water met een temperatuur lager dan 60 °C vereist diepe boringen en is dus niet zo duur. Ook de energetische waarde is duidelijk lager de temperatuur, hoe frequenter de aquifers voorkomen in de geologische opbouw van een gebied.

Gebruiken ervan betreffen onder andere : verwarming van zwembaden, aquacultuur, eventueel hydrotherapie, en dergelijke.

Hoewel men de bijdrage van de geothermische energie in de totale energiebalans van de Europese Gemeenschap op korte termijn, d.w.z. tegen 1980-1985, niet mag overdrijven, kan deze energievorm op langere termijn een belangrijke plaats innemen. Vooral indien het onderzoek betreffende de exploitatie van hete gesteenten op industriële schaal kan worden toegepast, wordt het belangrijk. Hoewel de geothermie dus geen oplossing voor alle moeilijkheden van de Gemeenschap op energiegebied zal kunnen leveren, zal zij toch leiden tot besparingen bij de invoer van koolwaterstoffen en tot een rationeler energiegebruik.

Op regionaal niveau is de exploitatie van de geothermische energie zonder twijfel interessant, doordat de landen met de gunstigste vooruitzichten inzake de concrete toepassing ervan ook het meest van de energie-invoer afhankelijk zijn.

Anderzijds kan het bevorderen van de ontwikkeling van een « geothermische industrie » in België positieve gevolgen voor de industrie en de betalingsbalans meebrengen, gezien de omvang van de potentiële markt buiten België en Europa.

In het kader van het Nationale R-D programma Energie, werd in de werkgroep « Geothermische Energie » de mogelijkheid onderzocht om de geothermische energie te exploiteren. In essentie bestaan de projecten uit het onttrekken van warm water aan de ondergrond d.m.v. een diepe boorput, die via een warmteuitwisseling gebruikt wordt voor diverse

une arrivée quasiment permanente d'énergie par ce procédé.

Il apparaît des expériences (France, Hongrie) que l'énergie géothermique doit être considérée comme une des formes d'énergie les moins polluantes.

Cependant, étant donné que cette énergie souterraine ne peut être utilisée qu'à certains endroits dans notre pays et que, d'autre part, le coût du réseau de distribution est très élevé, on est en fait limité dans l'application.

1.3. Possibilités géologiques en Belgique pour l'utilisation d'énergie géothermique. *Un aperçu*

Nous avons déjà signalé que l'extraction de haute énergie géothermique est liée à la présence d'une zone volcanique. Étant donné que tel n'est pas le cas en Belgique, l'extraction de haute énergie géothermique est exclue.

Une analyse de toutes les mesures de températures disponibles (R. Legrand, 1975) a abouti à l'établissement de cartes de répartition de températures à différentes profondeurs. On retrouve systématiquement des températures au-delà de 50 °C à partir de 1.500 m de profondeur environ; vers les 2.000 m, les températures connues varient de ± 20 °C autour des 73 °C, et à 1.500 m de ± 15 °C autour des 55 °C (fig. 1).

Des cartes de températures à — 1.000 et — 1.500 m montrent deux régions où l'accroissement de la chaleur avec la profondeur est plus important que dans les zones environnantes. Ces deux régions correspondent à la situation des gisements houillers dont le charbon contient encore jusqu'à 40 % de matières volatiles (R. Legrand).

Les profondeurs ayant des températures de 60 °C et plus sont bien sûr utilisables pour la basse énergie géothermique, pour autant que des aquifères ayant des caractéristiques hydrologiques favorables soient présents. Un aquifère connu correspondant à ces critères est le Karst Viséen qui se trouve tant au nord qu'au sud du Massif du Brabant. Au nord du Massif du Brabant, cette formation calcaire plonge brusquement vers le nord-est où elle atteint des profondeurs de plus ou moins 4.000 m à la frontière néerlandaise. Au sud du Massif du Brabant, le calcaire Viséen plonge sous la Faille du Midi, et, dans le nord de la France, le sommet de ce calcaire se situe à un peu plus de 3.000 m de profondeur (A. Delmer 1977). Le grès de Neeroeteren entre probablement en ligne de compte aussi dans le nord-est du Limbourg. D'autres possibilités restent encore ouvertes, pour lesquelles beaucoup de travail de recherches est cependant encore nécessaire avant de pouvoir se prononcer dé-

doeleinden. Hierdoor verwacht men een nagenoeg permanente energietoevering.

Uit ervaringen (Frankrijk, Hongarije) blijkt dat de geothermische energie als een van de minst verontreinigde energievormen moet worden beschouwd.

Gezien echter slechts op bepaalde plaatsen in ons land gebruik kan gemaakt worden van deze energie uit de ondergrond en anderzijds de kosten voor het distributienet zeer duur uitvallen, is men in feite beperkt in de toepassing.

1.3. Geologische mogelijkheden in België voor de aanwending van geothermische energie - Een overzicht

Er werd reeds vermeld dat de winning van hoge geothermische energie gebonden is aan de aanwezigheid van een vulkanische zone. Daar dit in België niet het geval is, is de winning van hoge geothermische energie dan ook uitgesloten.

Een analyse van alle beschikbare temperatuurmetingen (R. Legrand, 1975) resulteerde in temperatuurverdelingskaarten op verschillende dieptes. Temperaturen hoger dan 50 °C worden vanaf ongeveer 1.500 m diepte systematisch teruggevonden, op 2.000 m diepte variëren de gekende temperaturen om de $73^\circ \pm 20$ °C en op 1.500 m om de $55^\circ \pm 15$ °C (fig. 1).

Temperatuurkaarten op — 1.000 m en — 1.500 m laten twee gebieden zien die een grotere warmte-toename met de diepte hebben dan de omgevende gebieden. Die twee gebieden komen overeen met de ligging van de steenkoolterreinen waarvan de steenkool nog tot 40 % vluchtige bestanddelen bevat (R. Legrand).

De dieptes met temperaturen van 60 °C of meer, zijn natuurlijk voor lage geothermische energie bruikbaar voor zover er watervoerende formaties aanwezig zijn met gunstige hydrologische karakteristieken. Een gekende watervoerende laag beantwoordend aan deze criteria is de Viséaan-karst die zowel ten noorden als ten zuiden van het massief van Brabant voorkomt. Ten noorden van het Brabants massief duikt deze kalksteenformatie sterk naar het noordoosten waar ze dieptes van om en bij de 4.000 m bereikt bij de grens met Nederland. Ten zuiden van het Brabants massief duikt de Viséaan-kalksteen onder de Midi-overschuiving en in het noorden van Frankrijk situeert de top van die kalksteen zich op iets dieper dan 3.000 m (A. Delmer, 1977). Waarschijnlijk komen ook de zandstenen van Neeroeteren in aanmerking in het noordoosten van Limburg. Verder blijven nog andere mogelijkheden open waarvoor echter nog heel wat studiewerk dient te gebeuren vooraleer over de bruikbaarheid ervan iets definitiefs

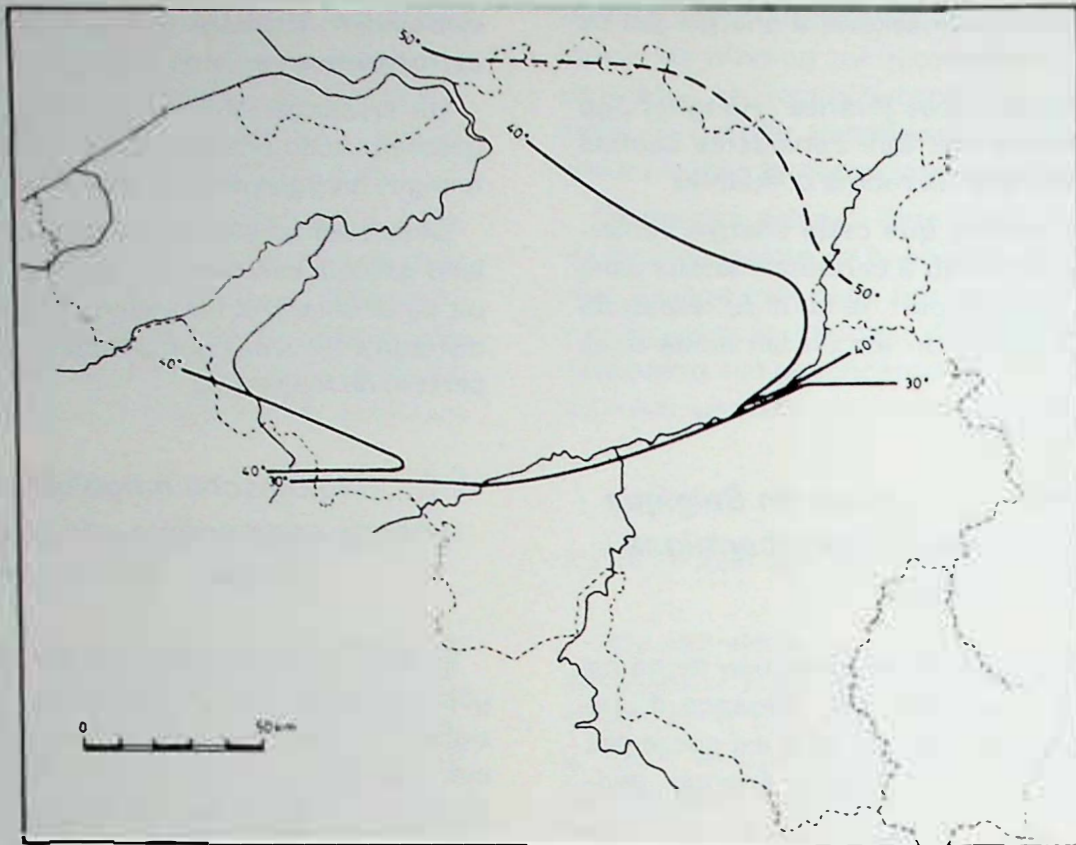


Fig. 1a
 Température à — 1.000 m.
 Temperatuur op — 1.000 m.

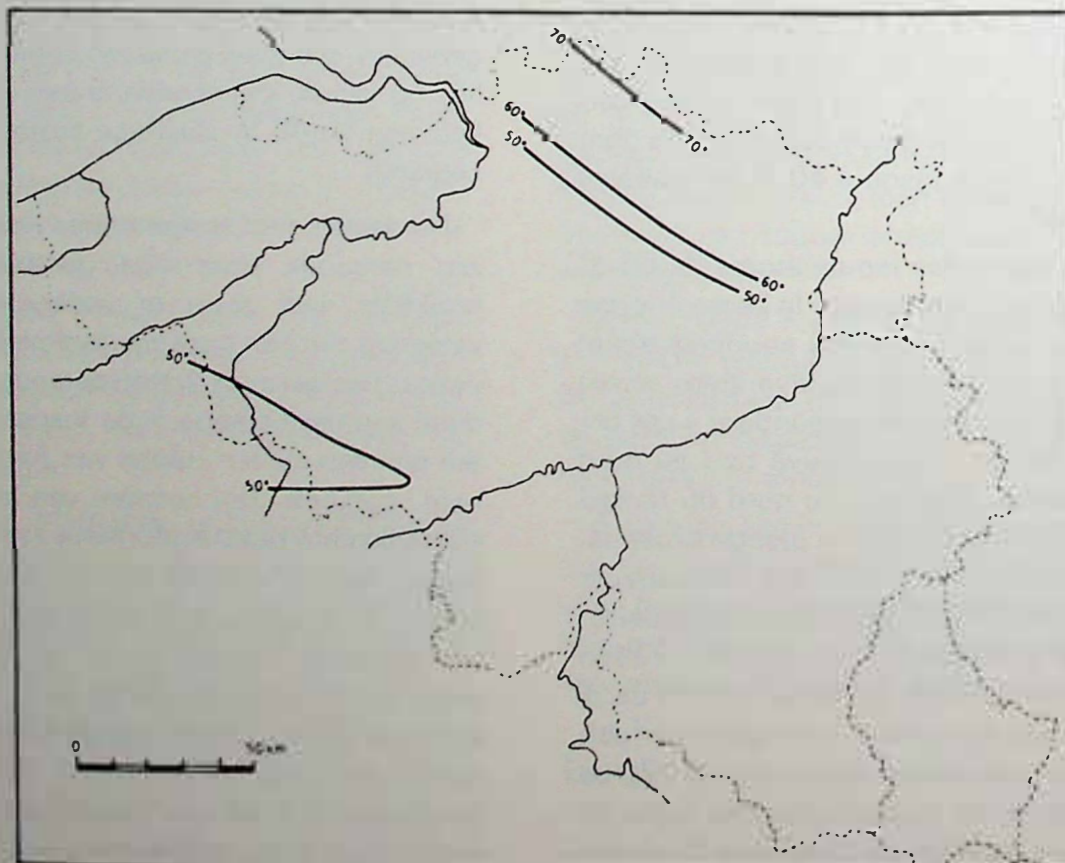


Fig. 1b
 Température à — 1.500 m.
 Temperatuur op — 1.500 m.

finitivement sur les possibilités d'utilisation comme, par exemple, les dolomies et calcaires Tournaisiens profonds dans le nord et le sud de la Belgique, des calcaires dans le synclinal de Namur, les « Roches rouges » dans le nord-est du Limbourg.

Pour l'application de très basse énergie géothermique, l'aquifère du sommet Maastrichtien peut être pris en considération. Des couches moins profondes peuvent éventuellement être prises en considération au fur et à mesure que progresse la technologie de l'extraction thermique, comme c'est déjà le cas pour l'extraction de chaleur d'eau souterraine peu profonde avec des pompes de chaleur. De telles possibilités existent sans doute aussi dans d'autres parties du pays.

2. LE KARST VISEEN DANS LA REGION AU NORD DU MASSIF DU BRABANT

Une coupe géologique sur laquelle est indiqué le Karst Viséen entre le Massif du Brabant et la frontière des Pays-Bas est représentée dans la figure 2.

En effet, là où l'on atteint le Viséen en dessous du Carbonifère Supérieur, on trouve un Karst aquifère à Loenhout-Heibaart (trois forages dont deux trouvent du Karst dans le sommet du Viséen et un trou de Karst important dans le Viséen moyen et inférieur) et à Turnhout (Viséen supérieur karstifié sur une cinquantaine de mètres), tandis que le calcaire était

kan gezegd worden, zoals b.v. diepere Tournaisiaan kalk- of dolomietgesteenten in Zuid- en Noord-België, kalkgesteenten in de syncline van Namen, Rode lagen in het noordoosten van Limburg.

Voor de toepassing van zeer lage geothermische energie komt in het noorden van het land de top-Maastrichtiaan aquifer in aanmerking. Minder diep gelegen lagen kunnen eventueel in aanmerking komen naargelang de technologie van warmtewinning voortschrijdt, zoals dit reeds nu het geval is voor de warmtewinning uit ondiep grondwater m.b.v. warmtepompen. In andere gedeelten van het land zijn ongetwijfeld ook dergelijke mogelijkheden aanwezig.

2. DE VISEAAN-KARST IN HET GEBIED TEN NOORDEN VAN HET MASSIEF VAN BRABANT

Een geologische doorsnede waarop de Viséaan-karst aangeduid is tussen het massief van Brabant en de Nederlandse grens is weergegeven in figuur 2.

Inderdaad waar het Viséaan aangeboord wordt onder Boven-Carboon-lagen wordt een watervoeerende karst erin aangetroffen te Loenhout-Heibaart (3 boringen waarvan 2 karst aantreffen in de top van het Viséaan en 1 belangrijke karst aantreft in het Midden- en Onder-Viséaan) en te Turnhout (top-Viséaan over

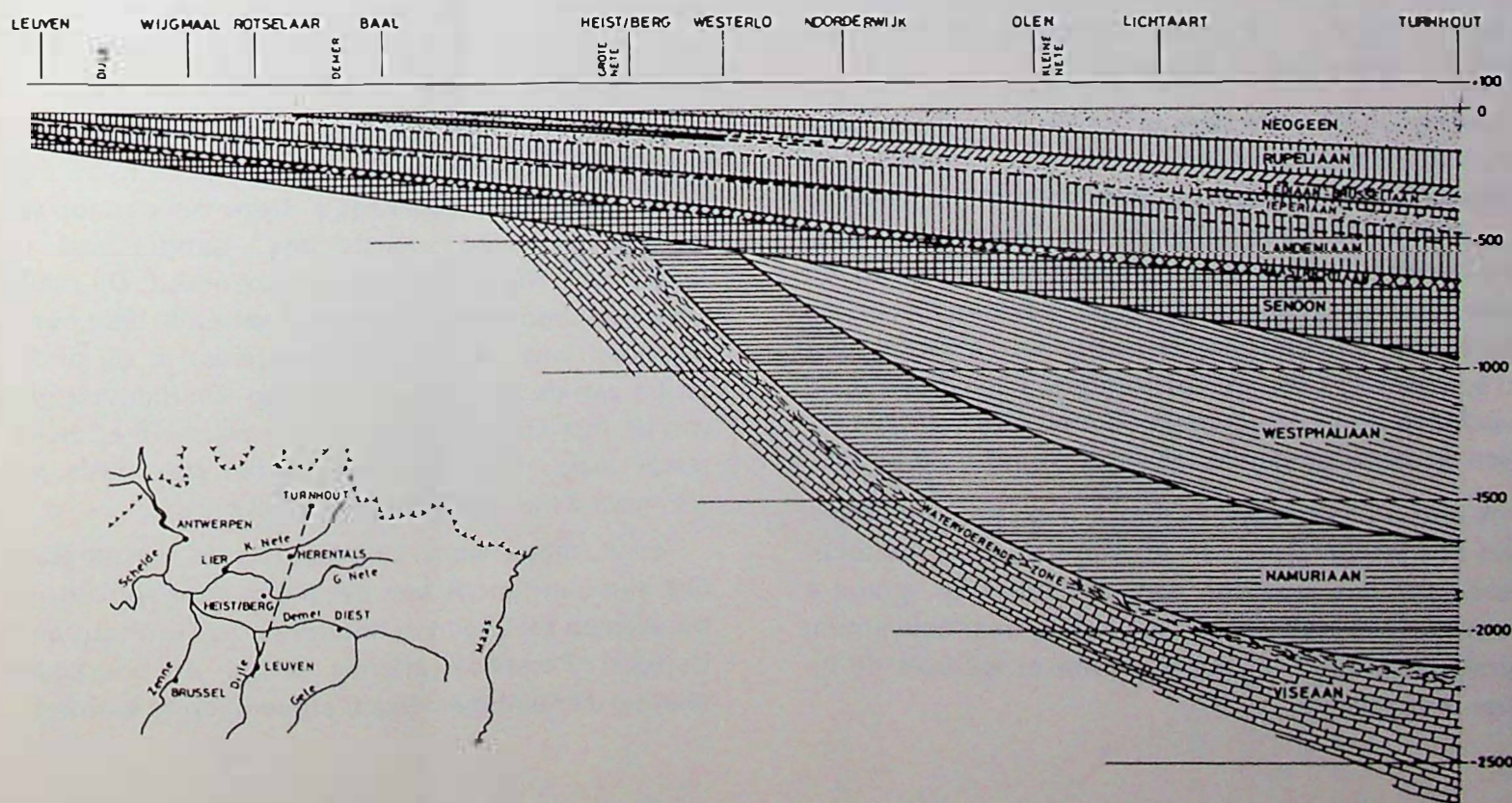


Fig. 2
Coupe géologique entre Louvain et Turnhout.
Geologische doorsnede tussen Louvain en Turnhout.

compact à Woensdrecht (Pays-Bas), Halen et Wijvenheide; ces trois localités ont en commun le fait qu'elles se situent près du subcrop Viséen-Carbonifère supérieur au sud-sud-ouest. Les forages cités de Loenhout et de Turnhout, en même temps que les indications sur la présence de karsts dans le sommet du Viséen au sud du Massif du Brabant, indiquent que l'on peut affirmer que, là où le Viséen se trouve en dessous du Carbonifère supérieur, la présence de Karst aquifère est très probable.

Pour évaluer la signification énergétique de ce Karst, il faut connaître le volume du réservoir, la température de l'eau, les débits réalisables et la composition de l'eau.

Lors du forage exécuté sur le territoire de Turnhout dans les années 1953-1955, on a trouvé la situation géologique suivante: au-dessus, quelque mille mètres de couches cénozoïques, comprenant quelques couches aquifères; en dessous, un paquet de presque 1.200 m de schistes du Carbonifère supérieur, imperméables; en dessous on trouve, à partir de 2.170 m, du calcaire (Viséen) du Carbonifère inférieur. Cette formation de calcaire reste présente jusqu'à la profondeur où le forage a été arrêté (2.705). Le sommet de cette formation de calcaire est dolomitisé et silicifié. Il est très important de noter que ce sommet est affecté par du Karst. Cela signifie que, sur une épaisseur d'un peu moins de 50 m, le calcaire est localement totalement dissous, ce qui a provoqué des fissures et des vides. Cette zone karstique est aquifère et a les caractéristiques suivantes: température 103 °C (en surface 94 °C), une densité (20 °C) de 1,09; teneur en sel 135 g/litre (par litre 42 g Na/ 2,1 g K/ 7,3 g Ca/ 0,9 g Mg/ 0,29 g Fe/ 80,3 Cl/ 0,6 g SO₄/ 1,2 g HCO₃).

Les essais de pompage effectués à Turnhout laissent supposer qu'un débit de 200 m³/h est aisément réalisable. Cette couche aquifère du sommet Viséen a également été forée à Booischoot, Rillaar, Loksbergen-Loenhout. Ceci rend probable la présence de cette couche aquifère partout où le calcaire Viséen est présent dans le sous-sol de Campine. La profondeur du sommet du Calcaire Carbonifère, c'est-à-dire de la couche contenant l'eau chaude, doit être explorée sur base de mesures sismiques et de données de forage.

A titre d'illustration, la figure 3 donne la distribution des températures en fonction de la profondeur, basée sur des mesures dans les trous de forage à Turnhout et à Heibaart. Il faut évaluer respectivement l'énergie potentielle (température) et les frais de forage (profondeur).

een 50-tal meter gekarstifieerd), terwijl te Woensdrecht (Nederland), Halen en Wijvenheide de kalksteen compact was; deze drie lokaliteiten hebben in gemeen dat zij vrij dicht bij de zuid-zuidwest Viséaan-Boven-Carboon subcrop gelegen zijn. De aangehaalde boringen van Loenhout en Turnhout samen met de indicaties voor het voorkomen van karsten in de top van het Viséaan ten zuiden van het Massief van Brabant, wijzen erop dat men kan stellen dat waar het Viséaan onder het Boven-Carboon voorkomt, de kans op het aantreffen van watervoerende karst zeer groot is.

Om de energetische betekenis van die karst te evalueren dienen het volume van het reservoir, de watertemperatuur, de haalbare debieten en de samenstelling van het water gekend te zijn.

Bij de boring uitgevoerd op het grondgebied Turnhout in de jaren 1953-1955 werd de volgende geologische situatie aangetroffen: bovenaan een duizendtal meter cenozoïsche afzettingen met enkele watervoerende lagen in; daaronder een pakket van bijna 1.200 m ondoordringbare Boven-Carboon-schiefers; daaronder treft men vanaf 2.170 m Onder-Carboon (Viséaan)-kalkstenen aan. Deze kalksteenformatie blijft aanwezig tot op de diepte waarop de boring werd stilgelegd (2.705). De top van deze kalksteenformatie is gedolomitiseerd en gesiliciefied. Zeer belangrijk is dat deze top door karst is aangetast. Dit betekent dat over een dikte van een kleine 50 meter de kalksteen lokaal volledig is opgelost waardoor spleten en holten zijn ontstaan. Deze karstzone is watervoerend en heeft de volgende karakteristieken: temperatuur 103 °C (aan de oppervlakte 94°C), een densiteit van (20 °C) van 1,09; zoutgehalte 135 g/l (per liter 42 g Na/ 2,1 g K/ 7,3 g Ca/ 0,9 g Mg/ 0,29 g Fe/ 80,3 Cl/ 0,6 g SO₄/ 1,2 g HCO₃).

De pompproeven die te Turnhout werden uitgevoerd laten veronderstellen dat een debiet van 200 m³/u. gemakkelijk haalbaar is. Deze Viséaan-top watervoerende laag werd ook aangeboord te Booischoot, Rillaar, Loksbergen-Loenhout. Dit maakt het waarschijnlijk dat deze watervoerende laag overal voorkomt waar de Viséaan-kalkstenen in de ondergrond van de Kempen voorkomen. De diepteligging van de top van kolenkalk, d.i. de warmwatertoevoerende laag, moet verkend worden op basis van seismische metingen en boorgegevens.

Ter illustratie wordt op figuur 3 de temperatuur-distributie in functie van de diepte aangegeven, gebaseerd op metingen in boorgaten te Turnhout en te Heibaart. Potentiële energie (temp.) en boorkosten (diepte) dienen tegen elkaar afgewogen te worden.

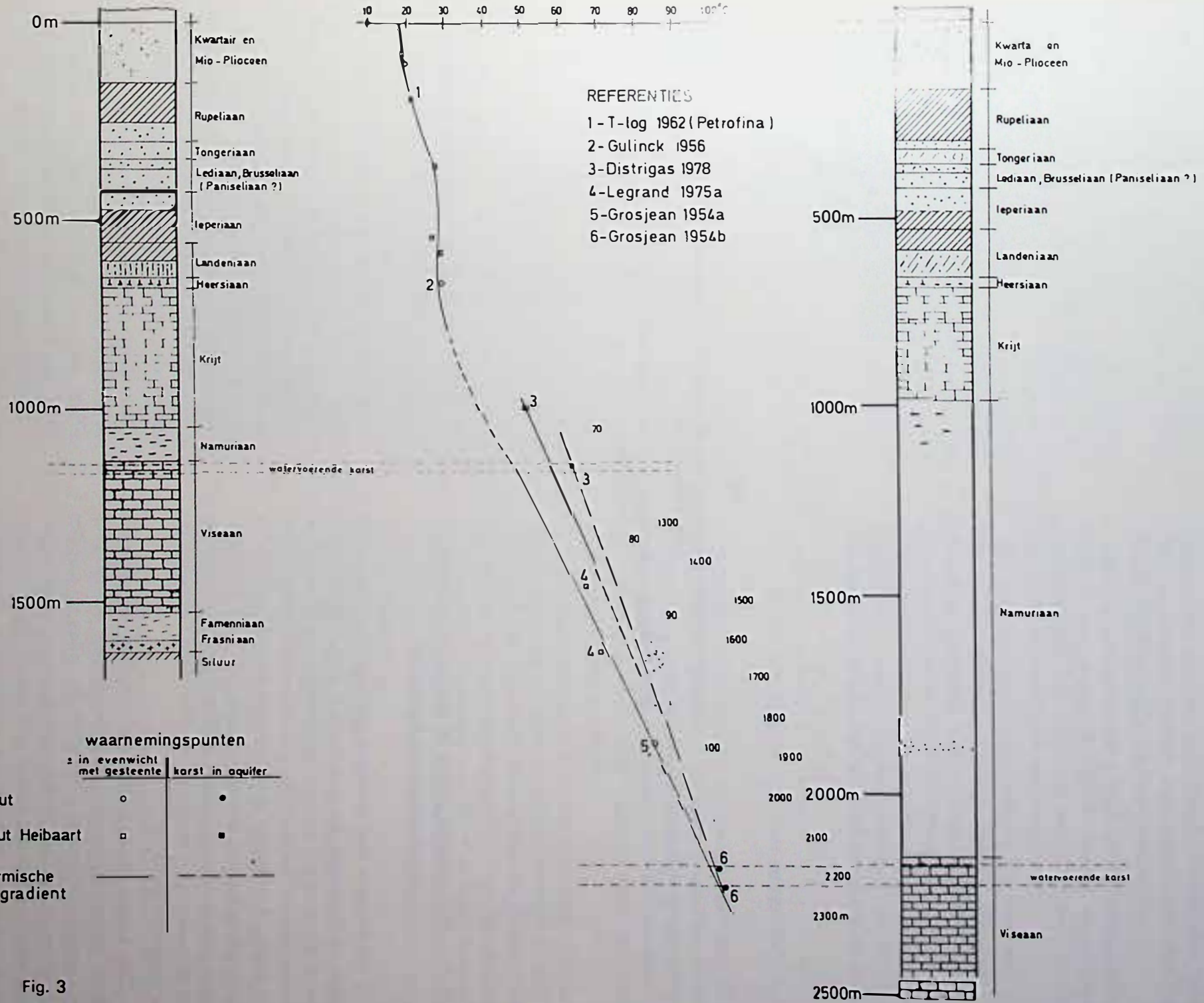


Fig. 3
 Changement de température.
 Temperatuursverandering.

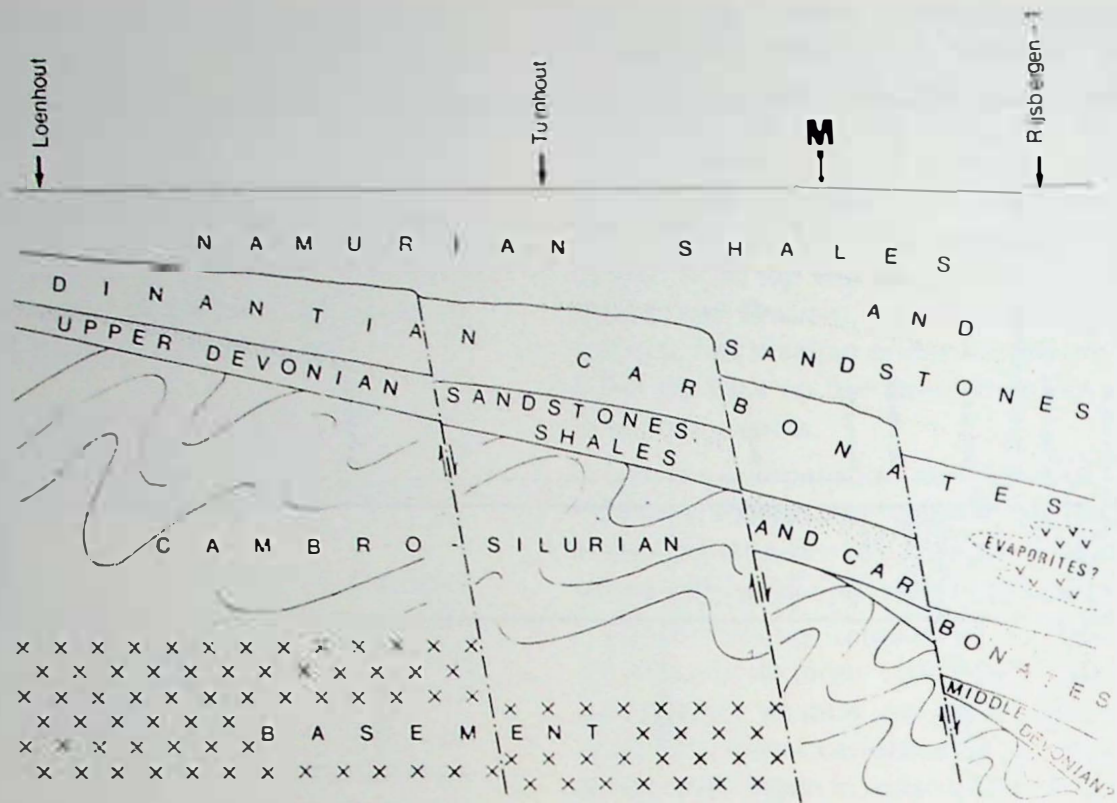


Fig. 4

Coupe vers le graben de Rijsbergen. « M » signifie l'emplacement du sondage de Meer.

Doorsnede naar de Rijsbergen trog. « M » is de lokatie van de boring Meer.

2.1. Différence entre le calcaire compact et le calcaire karstifié

Il est évident que le risque géologique d'un projet dans un réservoir karstique peut être considérablement diminué si l'on peut déterminer au préalable si le calcaire est compact sur une épaisseur déterminée, ou bien s'il présente des vides de dissolution. Sur la base de la théorie sismique, une méthode de travail peut être imaginée où des différences de fréquences de réflexion sont mises en relation avec l'absence ou la présence de karst.

Ces karsts, avec l'éventuel matériel de remplissage, présenteront des caractéristiques acoustiques qui seront nettement différentes de celles du calcaire compact en soi. Les ondes sismiques qui tombent sur ces inhomogénéités seront diffusées et laisseront une zone d'énergie diffuse. Ce phénomène deviendra, bien sûr, plus important au fur et à mesure que les karsts occuperont proportionnellement un volume plus important de la formation du Calcaire.

L'amplitude des ondes diffusées à des distances importantes en comparaison avec les longueurs des on-

2.1. Onderscheid tussen compacte en gekarstifieerde kalksteen

Het is duidelijk dat het geologisch risico van een project in een karstreservoir in belangrijke mate kan verminderd worden indien vooraf op indirecte wijze kan vastgesteld worden of de kalksteen over een bepaalde dikte compact is ofwel oplossingsruimten vertoont. Gebaseerd op seismische theorie kan een werkmethode uitgedacht worden waarbij verschillen in reflectiefrequenties in verband kunnen gebracht worden met de aan- of afwezigheid van karsten.

Deze karsten met het eventuele invulmateriaal zullen akoestische eigenschappen vertonen die duidelijk verschillen van deze van de kalksteen zelf. De seismische golven die invallen op deze inhomogeniteiten zullen verstrooid worden en een zone nalaten van diffuse energie. Dit fenomeen zal uiteraard belangrijker worden naarmate de karsten proportioneel een groter volume van de kalksteenformatie innemen.

De amplitudo van de verstrooide golven op afstanden die groot zijn in vergelijking met de golflengten

des qui se propagent, est inversement proportionnelle à la distance de la source de diffusion à son volume, et inversement proportionnelle au carré de la fréquence; de ce fait, l'énergie résultante est un phénomène de sélection de fréquence et les karsts doivent donc aller de pair avec un affaiblissement de la réflexion dans les hautes fréquences.

Selon une formule de Lord Rayleigh, il est possible de trouver une relation entre les dimensions verticales des karsts, la vitesse de propagation, la fréquence et l'angle d'incidence des ondes.

Les conditions de terrain les plus aptes à faire ressortir ces homogénéités karstiques en profils sismiques peuvent être déterminées avec des simulations d'ordinateur et des modèles. Il est prévu de tester sous peu cette théorie dans la province d'Anvers, lorsque les données du forage à exécuter à Merksplas seront à notre disposition.

2.2. La profondeur du réservoir

Vu qu'un nombre relativement important de forages exécutés dans le Calcaire Carbonifère ont mené à la découverte de karsts aquifères, on peut supposer dans une première approche que la répartition du Karst correspond à celle du Viséen là où celui-ci se présente sous des couches du Namurien.

Une condition supplémentaire pour que la production d'énergie géothermique puisse être considérée, est que le Karst Viséen doit se trouver au-delà d'une certaine profondeur pour avoir encore une température suffisamment élevée; par exemple, pour pouvoir contenir de l'eau à 60 °C ou plus, il faut que le Karst se trouve à une profondeur de plus de 1.100 m. Les lignes isobathes du sommet du Viséen sont basées sur :

- la recherche sismique;
- des forages qui atteignent le sommet du Viséen (ces forages sont décrits dans M.J.M. Bless e.a. 1976);
- des forages qui atteignent le sommet du Carbonifère Supérieur, combinés avec une connaissance des épaisseurs du Carbonifère Supérieur (cfr. Vandenberghe et Bouckaert, 1980).

Il n'y a aucune raison connue de supposer que, dans la région en question, le Westphalien varierait fortement en épaisseur (1.000 m pour le Westphalien A, 630 m pour le Westphalien B, 600 m pour le Westphalien C et 200 m connus pour le Westphalien D).

Ce n'est que dans le forage de Rijsbergen-I que l'on a pu constater une diminution de l'épaisseur. L'épaisseur du Namurien en Campine et dans le sud du Limbourg (Pays-Bas) est plutôt constante (de 600 à 800 m). En revanche, on a pu observer dans le forage de Rijsbergen-I une augmentation considéra-

van de zich voortplantende golven is omgekeerd evenredig met de afstand van de verstrooibron tot het volume van de verstrooibron en omgekeerd evenredig met het vierkant van de frequentie; aldus is de resulterende energie een frequentieselectief fenomeen en karsten moeten dus samengaan met een reflectieverzwakking in de hoge frequenties.

Volgens een formulering door Lord Rayleigh is het mogelijk een relatie te vinden tussen de verticale karstdimensies, de voortplantingssnelheid, de frequentie en de invalshoek van de golven.

De experimentele veldcondities die het best die karsthomogeniteiten kunnen laten uitkomen in seismische profielen kunnen bepaald worden a.h.v. computersimulaties en modelleringen. Het is de bedoeling binnenkort in de provincie Antwerpen deze theorie uit te testen als de gegevens uit de uit te voeren boring Merksplas tot onze beschikking zijn.

2.2. De diepte van het reservoir

Aangezien een relatief groot aantal boringen die in de Kolenkalk gebeurd zijn watervóerende karsten aangetroffen hebben mag de verbreiding van de karst in eerste benadering gelijk verondersteld worden met de verbreiding van het Viséaan waar dit onder Namuriaan-lagen voorkomt.

Een bijkomende beperking om voor geothermische energiewinning in aanmerking te komen is dat de Viséaan-karst beneden een bepaalde diepte moet voorkomen om nog een voldoende hoge temperatuur te hebben, b.v. om water van 60 °C of meer te kunnen voeren moet de karst zich dieper dan ongeveer 1.100 m bevinden. De isobathen van de top van het Viséaan zijn gebaseerd op :

- seismisch onderzoek
- boringen die de top van het Viséaan bereiken (deze boringen zijn beschreven in M.J.M. Bless et al., 1976)
- boringen die de top van het Boven-Carboon bereiken, gecombineerd met een kennis van de diktes van het Boven-Carboon (zie Vandenberghe en Bouckaert, 1980).

Er bestaat geen enkele gekende reden om te veronderstellen dat in het betreffende gebied de dikte van het Westfaliaan sterk zou variëren (1.000 m voor het Westfaliaan A, 630 m voor het Westfaliaan B, 600 m voor het Westfaliaan C en 200 m gekend voor het Westfaliaan D).

Slechts in de boring Rijsbergen-I heeft men een vermindering van dikte kunnen vaststellen. De dikte van het Namuriaan in de Kempen en Zuid-Limburg (NL) is eerder constant (van 600 tot 800 m). Daarentegen heeft men in de Rijsbergen-I-boring een omvangrijke toename van Namuriaan-sedimenten kun-

ble de sédiments du Namurien : plus de 1.800 m. Rijsbergen est situé à 30 km seulement au nord de Turnhout et à 30 km à l'est de Woensdrecht (fig. 4).

Cette augmentation d'épaisseur à petite distance indique l'existence de fosses profondes créées par des mouvements verticaux. On peut dès lors supposer qu'en d'autres endroits, plus particulièrement dans la région à l'est de la fracture de Corspel, il existe des fosses, de sorte que le Dinantien se trouve là à très grande profondeur.

Le forage récemment exécuté à Meer l'a confirmé à présent. On se demande maintenant s'il y a encore du calcaire au bord de ces fosses, et non un « Culm Facies » sans Karst !

Cette nouvelle vision jette un nouveau regard sur la composition et le développement du Paléozoïque supérieur autour du Massif du Brabant (Bless, Bouckaert, Paproth, 1980).

nen waarnemen : meer dan 1.800 m. Rijsbergen is slechts 30 km ten noorden van Turnhout gelegen en 30 km ten oosten van Woensdrecht (fig. 4).

Deze diktoename op korte afstand wijst op het bestaan van diepe troggen ontstaan door verticale bewegingen. Men mag dan ook veronderstellen dat op andere plaatsen, meer bepaald in het gebied ten oosten van de breuk van Corspel, troggen voorkomen zodat het Dinantiaan daar op zeer grote diepte komt te liggen.

De recent uitgevoerde boring te Meer heeft dit nu bevestigd. Men stelt zich nu de vraag of aan de rand van die troggen nog kalksteen zou aanwezig zijn en geen « Culm Facies », zonder karst !

Deze nieuwe visie werpt een ander licht op de samenstelling en de ontwikkeling van het jong-Paléozoïcum rond het Brabants Massief (Bless, Bouckaert, Paproth, 1980).

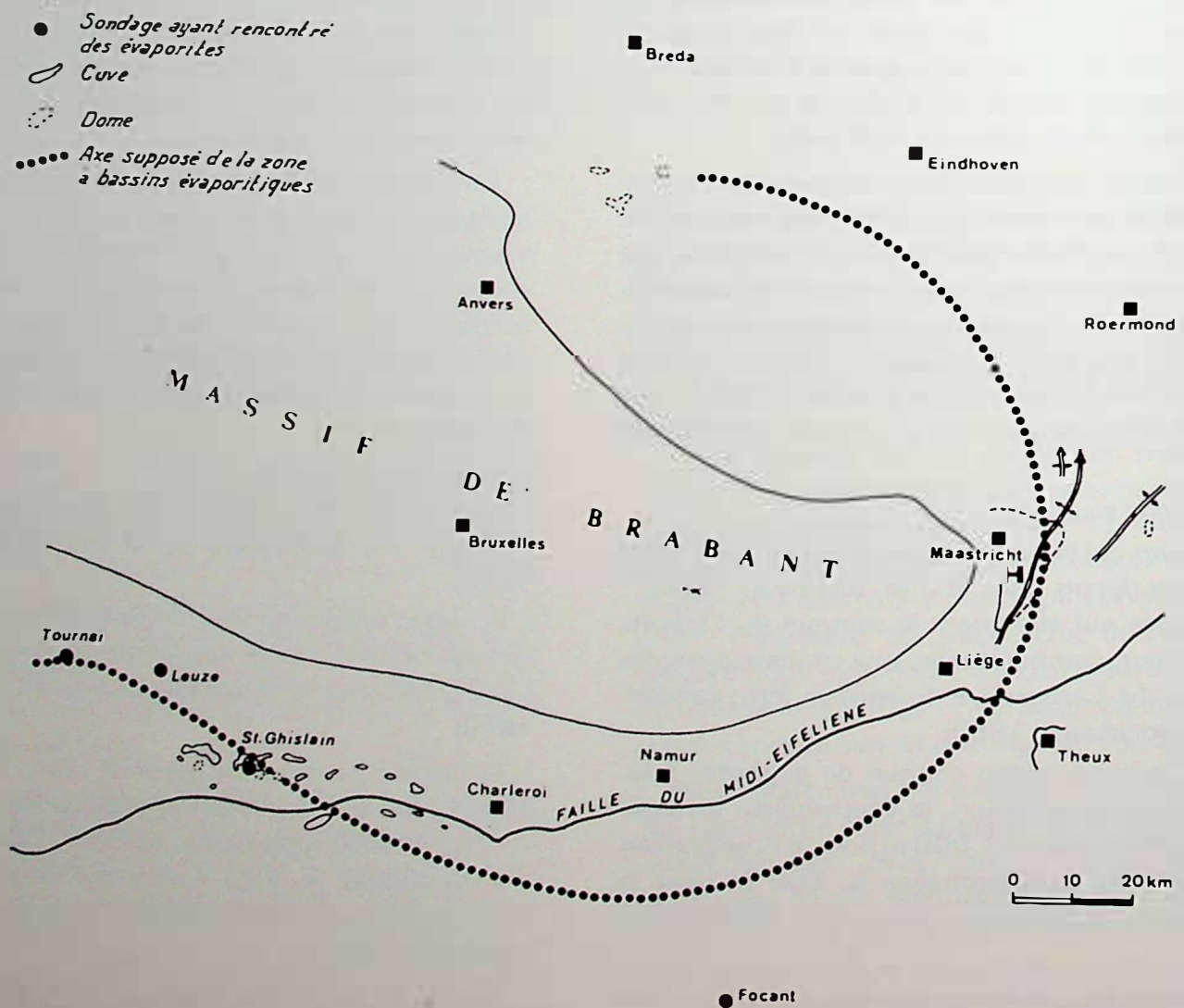


Fig. 5

Carte avec tracé hypothétique de la zone à bassins évaporitiques.

En « H » l'emplacement du sondage de Heugem.

Kaart met vermoedelijk verloop van de evaporiet-gordel rond het massief van Brabant. In « H » lokatie van de boring « Heugem ».

3. LE KARST DINANTIEN DANS LA REGION AU SUD ET A L'EST DU MASSIF DU BRABANT

Dans le sud de notre pays, la situation et les connaissances de couches aquifères du Dinantien sont quelque peu différentes de celles du nord. Depuis l'époque romaine, on connaît l'existence de sources d'eau chaude exploitées comme thermes.

Depuis longtemps, les mineurs du Borinage savaient que la température de l'eau dans les mines de houille était beaucoup plus élevée que la normale. Ils avaient souvent affaire à un afflux d'eau chaude des grès de la partie inférieure du terrain houiller.

On connaît également l'échec du creusement d'une galerie à Baudour pour atteindre le charbon par un brancard incliné. La température était tellement élevée qu'on a dû abandonner les travaux. Les forages effectués après-guerre dans le but d'utiliser industriellement l'eau du sous-sol, furent réalisés à Goselies, Flawinne et Jemeppe-sur-Sambre. Ils ont clairement illustré le fait qu'il y a de l'eau au sommet du Dinantien, et que cette eau peut être aspirée en de grandes quantités.

Le cas de Jemeppe-sur-Sambre a démontré que, lorsque le débit se fait trop important, la température baisse vite : l'eau qui vient à la surface avec un débit de 300 m³/h et une température de 36 °C se refroidit après quelques mois à 20 °C.

Une importante découverte géothermique pour le sud de notre pays est le forage de Saint-Ghislain dans le Hainaut. En 1974 ce forage atteignait, à ± 2.400 m de profondeur, une zone karstifiée très perméable qui était la conséquence de la dissolution de roches d'évaporation. Cette zone karstifiée s'étend sur une hauteur de 150 m. A ce moment, l'eau vient à la surface à une température de 70 °C, artésienne, avec un débit de ± 100 m³/h (A. Delmer, 1980).

... « Tout récemment, cette même couche aquifère fut atteinte au forage de Douvrain à une profondeur de 1.335 m. Celui-ci se situe à 3.500 m au nord-est du forage de Saint-Ghislain.

A une profondeur de 2.400 m dans le forage de Saint-Ghislain, la température de 74 °C n'est pas anormale. Ce qui est anormal, en revanche, c'est l'existence de cette couche aquifère artésienne, car la pression en surface est de 4 bar.

Lorsqu'on construit un modèle hydrodynamique de cette couche aquifère du calcaire à intercalations charbonneuses, il est possible de résumer toutes les données.

3. DE DINANTIAAN-KARST IN HET GEBIED TEN ZUIDEN EN TEN OOSTEN VAN HET MASSIEF VAN BRABANT

In het zuiden van ons land is de toestand en de kennis van watervoerende lagen uit het Dinantiaan enigszins verschillend van het noorden.

Sinds de Romeinse Tijd kent men het bestaan van warmwaterbronnen die als thermen werden ontgonnen.

Sinds lange tijd wisten de mijnwerkers uit de Borinage dat de temperatuur van het grondwater in de koolmijnen veel hoger was dan normaal. Zij hadden dikwijls af te rekenen met een warmwatertoevoer uit zandstenen uit het onderste gedeelte van het steenkoolterrein.

Gekend is ook de mislukking in het graven van een galerij in Baudour om langs een hellende steengang de steenkool te bereiken. De temperatuur was zo hoog dat men het werken heeft moeten opgeven. De naorlogse uitgevoerde boringen met doel industrieel grondwater te gebruiken werden uitgevoerd te Goselies, Flawinne en te Jemeppe-sur-Sambre. Zij hebben duidelijk geïllustreerd dat er water aan de top van het Dinantiaan aanwezig is en dat dit water in grote hoeveelheden kan worden opgepompt.

Het geval van Jemeppe-sur-Sambre heeft aangetoond dat wanneer het debiet te hoog wordt, de temperatuur vlug daalt : het water dat aan de oppervlakte komt met een debiet van 300 m³/u. en een temperatuur van 36 °C verkoelt na enkele maanden tot 20 °C.

Een belangrijke geothermische ontdekking voor het zuiden van ons land is de boring van St-Ghislain in Henegouwen. In 1974 bereikte deze boring, ± 2.400 m diep, een gekarstifieerde zone zeer waterdoorlatend, die het gevolg was van de oplossing van uitdampingsgesteenten. Deze gekarstifieerde zone strekt zich uit over een hoogte van 150 m. Op dat ogenblik kwam het water aan de oppervlakte op een temperatuur van 70 °C, artesisch, met een debiet van ± 100 m³/u. (A. Delmer, 1980).

Heel recent werd diezelfde watervoerende laag bereikt in de boring van Douvrain op een diepte van 1.335 m. Deze is 3.500 m ten noordoosten van de boring van St-Ghislain gelegen.

Op een diepte van 2.400 m in de boring van St-Ghislain is de temperatuur van 74 °C niet anormaal. Wat daarentegen wel anormaal is, is het bestaan van deze watervoerende laag die artesisch is want de druk aan de oppervlakte bedraagt 4 bar.

Wanneer men een hydrodynamisch model bouwt van deze watervoerende laag uit de kolenkalk is het mogelijk alle gegevens samen te vatten.

Ce modèle peut se comparer à un thermosiphon volumineux dont la différence de hauteur entre les zones en amont et en aval serait d'environ 100 m. L'ensemble est probablement très étendu, vu que la zone de déchargement est d'environ 30 à 40 km. Cette circulation se caractérise par un passage jusqu'à une très grande profondeur dans un Karst à haute perméabilité. En revanche, la montée de l'eau est freinée et même tout à fait arrêtée à cause de la calcitisation.

On doit supposer ici que l'afflux d'eau douce réduit à l'extrême le contenu en minéraux dissous dans l'eau chaude. Ceci a été confirmé par des observations. La réinjection de l'eau dans la même couche souterraine apparaît ainsi comme superflue; et l'alimentation naturelle de la couche d'eau, ainsi que la pression hydrostatique, sont conservées.

Il est donc bien entendu que, si on retirait trop d'eau des puits, non seulement on ne diminuerait pas la température, mais on augmenterait d'autre part la dissolution de roches d'évaporation, dans le cas présent, l'anhydrite. On contribuerait ainsi à des pseudo-tremblements de terre. Ceux-ci ont sévi dans le passé à plusieurs reprises dans la région de la vallée de la Haine.

Fin 1980, on connaissait avec certitude trois sources d'eau chaude dans le Hainaut : le bouveau de Baudour, le forage de Saint-Ghislain et le forage de Douvrain.

Ceux-ci se situent à peu près sur le même méridien, 3 km à l'ouest de Mons. Il était donc important de savoir si cette situation connue était également présente vers l'est, par exemple dans les environs immédiats de Mons. C'est pour cette raison que, début 1981, un forage fut réalisé à Ghlin à 6 km à l'est des autres puits.

Ce forage a été délibérément implanté à un endroit où le socle est le plus profond. Cet endroit est connu sous le nom de « Cuve de Mons » et est une des profondeurs les plus importantes du socle et, par la même occasion, de la craie dans le bassin de la Haine.

On s'est dès lors demandé ce qui se passe avec les anhydrites lorsqu'on les suit dans la « Cuve de Mons ».

Si ces anhydrites sont dissous et remplacés par une brèche calcaire, le relief du socle paléozoïque est donc dû à la dissolution de ces roches d'évaporation.

Le forage de Ghlin a été entraîné au milieu d'une « faille circulaire » d'un diamètre de 550 m à 600 m où, comme on le sait, grâce à l'exploitation antérieure de charbon, le terrain de charbon est plus bas de ± 120 m.

Par un heureux hasard, le forage passa par un « puits naturel », un phénomène bien connu propre

Dit model is te vergelijken met een omvangrijke thermosiphon waarvan het hoogteverschil tussen de stroomopwaartse en de stroomafwaartse zones ongeveer 100 m zou bedragen. Het geheel is waarschijnlijk zeer uitgebreid vermits de ontlastingszone ongeveer 30 à 40 km bedraagt.

Deze watercirculatie kenmerkt zich door een doorgang tot op zeer grote diepte in een karst met grote doordringbaarheid. Daarentegen wordt het opstijgen van het water geremd en zelfs volledig gestremd vanwege calcitisation.

Men moet hierbij veronderstellen dat de zoetwater toevoer de inhoud aan opgeloste mineralen in het warme water ten zeerste vermindert. Dit werd door waarnemingen bevestigd. Reïnjectie van het water in dezelfde grondlaag blijkt aldus niet nodig; en de natuurlijke voeding van de waterlaag en de hydrostatische druk worden in stand gehouden.

Het is dus wel te verstaan wanneer men te veel grondwater uit de putten zou onttrekken, dat men niet alleen de temperatuur zou verlagen, maar anderzijds de oplossing van uitdampingsgesteenten zou vergroten. In dit geval de anhydriet. Men zou aldusdanig meewerken aan pseudo-aardbevingen. Deze hebben in het verleden verschillende keren het gebied van de Haine-vallei geteisterd.

Eind 1980 kende men met zekerheid 3 warmwaterbronnen in Henegouwen : de steengang van Baudour, de boring van St-Ghislain en de boring van Douvrain.

Deze bevinden zich ongeveer op eenzelfde meridiaan, 3 km ten westen van Mons. Het was dus belangrijk te weten of die gekende toestand ook nog aanwezig was naar het oosten toe, b.v. in de onmiddellijke omgeving van Mons. Daarom werd in het begin van 1981 een boring te Ghlin uitgevoerd, 6 km ten oosten van de andere putten. Deze boring werd vrijwillig ingeplant op een plaats waar het sokkel het diepst voorkomt : deze plaats is gekend onder de benaming « Cuve de Mons » en is één van de grootste verdiepingen van het sokkel en daarbij ook van het krijt in het bekken van de Haine.

Men stelde zich dan ook de vraag wat er met de anhydrieten gebeurt wanneer men deze gaat volgen in de « Cuve de Mons ». Indien deze anhydrieten opgelost zijn en vervangen worden door een kalkbreksie is het reliëf van het Paleozoïsch sokkel dus te wijten aan de oplossing van die uitdampingsgesteenten.

De boring van Ghlin werd ingezet midden in een zogenaamde « Faille circulaire » met een diameter van 550 m à 600 m waar, zoals men weet uit vroegere steenkoolontginning, het steenkoolterrein ± 120 m dieper ligt.

Door een gelukkig toeval ging de boring door een « Puits Naturel », een alom bekend fenomeen eigen

au bassin de la Haine et dont l'exploitation antérieure a donné tant d'exemples. Des « cuttings », on a pu déduire qu'on se trouvait à partir de 1.452 m dans le calcaire à intercalations charbonneuses. Après la perte du rinçage et après le nettoyage du puits à l'eau claire, de l'eau artésienne s'est mise à couler du puits à partir de 1.573 m.

En juillet 1981, on a mesuré en surface une température de 68 °C et un débit de 153 m³/h.

Comme on le voit, la recherche de Ghlin est devenue un véritable succès.

Elle assure ici au Hainaut un avenir très positif. On pourrait réaliser dans cette région à peu près une douzaine de puits géothermiques à grand débit. » (A. Delmer, *op. cit.*)

La découverte d'anhydrite dans le forage de Saint-Ghislain est très certainement l'une des plus importantes des dernières décennies.

L'apparition de roches d'évaporation donne une nouvelle perspective pour la présence éventuelle d'hydrocarbures dans le Paléozoïque, et donne en même temps une nouvelle image de la paléogéographie de ces périodes.

Bouckaert, Delmer, Graulich, 1977, avaient dès lors formulé l'hypothèse que ces roches d'évaporation pourraient éventuellement s'étendre sous la « Faille du Midi » vers l'est et éventuellement aussi autour du Massif du Brabant vers le nord (fig. 5).

Cette hypothèse a maintenant été confirmée par la découverte d'anhydrite dans des roches du Calcaire Carbonifère de la même période que celle de Saint-Ghislain, à savoir dans le forage récemment exécuté à Heugem dans le Limbourg néerlandais (fig. 6). On y a, non seulement trouvé de l'anhydrite, mais également des roches du Viséen supérieur d'une très haute perméabilité : cela signifie, non seulement de nouvelles perspectives pour la présence d'hydrocarbures, mais aussi des perspectives géothermiques pour des formations sous la « Faille du Midi ».

En outre, il faut mentionner qu'à plus grandes profondeurs, il y a des cavernes dans le Calcaire Carbonifère, ainsi qu'il est mentionné par Stainier et Graulich dans le forage de Wépion (1921, 1961).

L'eau tiède de Wépion pouvait, en fait, être valorisée, au lieu de la laisser s'écouler en dessous de la Meuse. Selon des calculs exécutés par R. Legrand, on pourrait utiliser 1.200 m³ d'eau chaude à 40 °C. Ceci correspondrait à 5 tonnes de charbon. De son calcul, on peut déduire que plusieurs hectares de serres pourraient être chauffés. Cette eau pourrait non seulement être utilisée pour le chauffage des serres mais aussi, après refroidissement, pour des besoins domestiques ou comme arrosage dans les serres.

aan het bekken van de Haine, en waarvan de vroegere ontginning zoveel voorbeelden heeft aangetoond. Uit de cuttings heeft men kunnen afleiden dat men vanaf 1.452 m in de kolenkalk terecht kwam. Na het verliezen van de spoeling en na het reinigen van de put met zuiver water begon vanaf 1.573 m artesisch water uit de boring te stromen.

In juli 1981 heeft men aan de oppervlakte een temperatuur van 68 °C gemeten en een debiet van 153 m³/u.

Zoals men merkt is het onderzoek te Ghlin een werkelijk succes geworden. Zij verzekert hier voor Henegouwen een zeer positieve toekomst. Men zou in dat gebied ongeveer een dozijn geothermische putten met groot debiet kunnen verwezenlijken.

De ontdekking van anhydriet in de boring van St-Ghislain is zeker en vast één van de belangrijkste van de laatste decaden.

Het voorkomen van uitdampingsgesteenten werpt een nieuw perspectief voor de eventuele aanwezigheid van koolwaterstoffen in het Paleozoïcum en geeft gelijktijdig een nieuw beeld van de paleogeografie uit deze perioden.

Bouckaert, Delmer, Graulich (1977) hadden dan ook de hypothese geformuleerd dat deze uitdampingsgesteenten zich eventueel konden uitstrekken onder de « Faille de Midi » naar het oosten toe en eventueel ook rond het Brabants massief naar het noorden (fig. 5).

Deze hypothese werd nu bevestigd door de ontdekking van anhydriet in gesteenten uit de kolenkalk van dezelfde ouderdom als deze te St-Ghislain nl. in de recent uitgevoerde boring te Heugem in Nederlands Limburg (fig. 6). Daar werd niet alleen anhydriet aangetroffen maar ook gesteenten uit het Boven-Viséaan met een zeer hoge permeabiliteit. Dit betekent niet alleen nieuwe perspectieven voor het voorkomen van koolwaterstoffen maar ook geothermische perspectieven voor formaties onder de « Faille de Midi ».

Daarenboven is het vermeldenswaard dat ook op grotere diepten kavernen in de kolenkalk aanwezig zijn zoals vermeld door Stainier en Graulich in de boring van Wépion.

Het lauwe water van Wépion zou eigenlijk kunnen gevaloriseerd worden i.p.v. het onder de Maas te laten wegvloeien. Volgens berekeningen die door R. Legrand werden uitgevoerd, zou men 1.200 m³ warm water op 40 °C kunnen gebruiken. Dit zou overeenkomen met 5 ton steenkool. Uit zijn berekening kan men afleiden dat verschillende hectaren serres kunnen verwarmd worden. Ook zou dat water niet alleen kunnen gebruikt worden voor de verwarming van de serres maar eveneens, na afkoeling, voor huishoudelijk gebruik of als besproeiing in de serres.

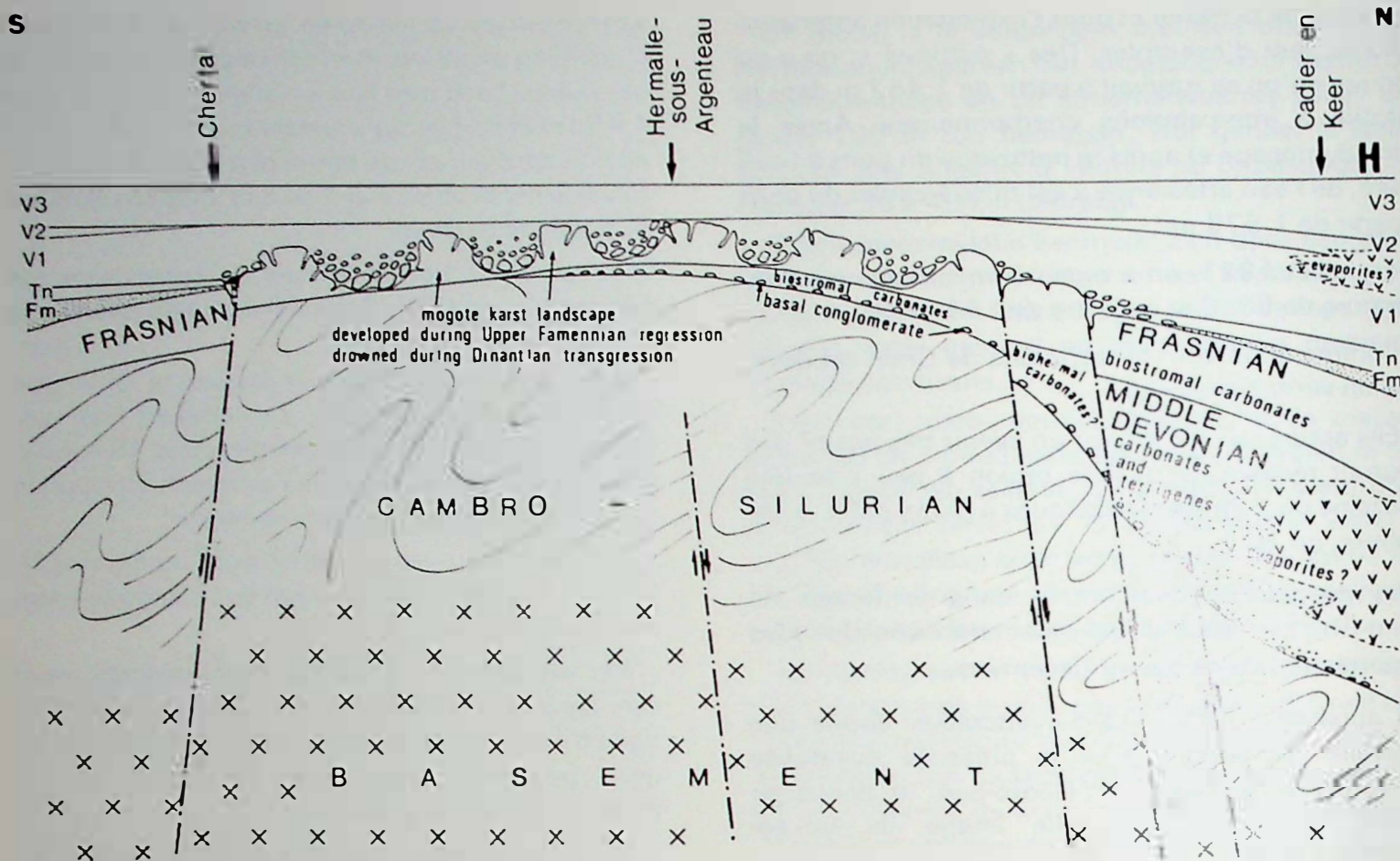


Fig. 6

Coupe à l'est du massif du Brabant. Le point « H » est situé à l'emplacement du sondage de « Heugem » où des évaporites furent reconnues.

Doorsnede ten oosten van het Brabants massief. « H » geeft de plaats aan van de boring « Heugem » waar uitdampingsgesteenten werden aangetroffen.

N'oublions pas, enfin, les eaux thermales de Chaudfontaine qui ont reçu une application hydrothérapeutique.

4. KARST DANS DES CALCAIRES DU DEVONIEN

On ignore presque tout de l'énergie géothermique possible de ces formations. Sans doute, ces calcaires sont ou peuvent être karstifiés : les nombreuses grottes existant dans les Ardennes l'indiquent.

La présence d'« eau tiède » artésienne dans des calcaires du Frasnien supérieur, ainsi qu'elle est apparue à Gochenée, est prometteuse (Bouckaert, 1968).

Une formation rocheuse plus récente, qui pourrait être aquifère, est le grès de Neeroeteren. Ce grès appartient à la partie la plus ancienne du Westphalien D. Il fut rencontré pour la première fois à Neeroeteren dans les sondages 113 et 117.

Laten we tot slot de thermale waters van Chaudfontaine niet vergeten die een hydrotherapeutische toepassing hebben gekregen.

4. KARST IN KALKSTENEN VAN DEVOON-OUERDOM

Men weet weinig of niets van mogelijke geothermische energie uit deze formaties. Ongetwijfeld zijn of kunnen deze kalkstenen verkarst zijn : daarop wijzen de talrijke bestaande grotten in de Ardennen.

Hoopvol is de aanwezigheid van artesisch « lauw water » in kalkstenen van het Boven-Frasniaan zoals gebleken is in Gochenée (Bouckaert, 1968).

Een jongere gesteenteformatie die mogelijk warmwatervoerend is, is de Zandsteen van Neeroeteren. Deze zandstenen behoren tot het oudste gedeelte van het Westfaliaan D. Ze werden voor het eerst aangetroffen te Neeroeteren in de steenkoolboringen 113 en 117.

5. GRES DE NEEROETEREN (WESTPHALIEN D)
(fig. 7)

5. ZANDSTENEN VAN NEEROETEREN
(WESTFALIAAN D) (fig. 7)

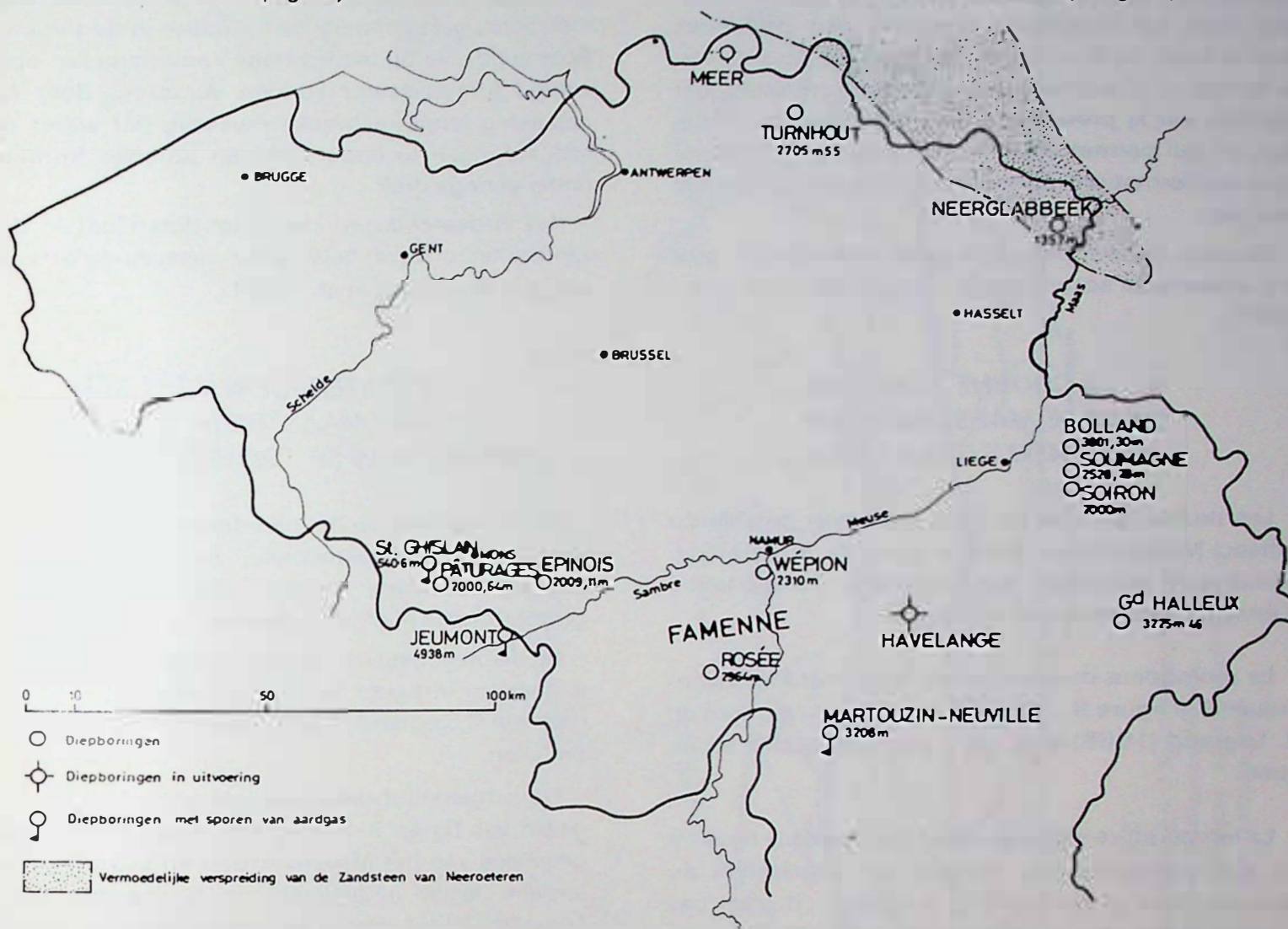


Fig. 7
Carte avec emplacement des grès de Neeroeteren, ainsi que les sondage profonds.
Kaart met verspreiding van de zandsteen van Neeroeteren, eveneens met de diepboringen

En 1980, il fut retrouvé dans le sondage 146 à Neerglabbeek.

Dans notre pays, son étendue est limitée à la partie extrême-nord et nord-est. L'épaisseur est de 150 m à Neeroeteren et de 300 m à Neerglabbeek, mais peut varier vers plus de 1.000 m dans le Bassin Campinois du Brabant (+ 350 m furent recoupés à Rijsbergen, cfr. D.H. Van Wijhe e.a., 1974).

Lithologiquement, il consiste en grès pâles, contenant du feldspath, avec un liant kaolinitique; certains niveaux sont formés de cailloux et de gravier, composé de quartz, schistes, sidérite et de morceaux de charbon.

La haute porosité et la haute perméabilité de ces grès sont importantes.

On peut s'attendre à une augmentation normale de la température selon la profondeur, mais il faut éga-

In 1980 werden ze aangetroffen door de boring 146 te Neerglabbeek.

In ons land is de verbreiding ervan beperkt tot het uiterste noordelijk en noord-oostelijk gedeelte. Hun dikte bedraagt in Neeroeteren 150 m en te Neerglabbeek 300 m, maar kan variëren naar meer dan 1.000 m in het Kempens Brabant Bekken (+ 350 m werden doorboord te Rijsbergen, zie D.H. Van Wijhe et al., 1974).

Lithologisch bestaan zij uit bleke zandstenen, ze zijn veldspathhoudend, met een kaolinitisch bindmiddel; sommige niveaus bestaan uit rolkeien en grind samengesteld uit kwarts, schiefer, sideriet en steenkoolbrokken.

Belangrijk is de hoge porositeit en permeabiliteit van deze zandstenen.

Men kan zich aan een normale temperatuurverhoging met de diepte verwachten maar men moet

lement tenir compte de la possibilité que le grès de Neeroeteren soit en contact, par des failles de dilatation, avec les formations poreuses plus profondes dans le fossé de Roermond, qui peuvent perdre l'eau de formation chauffée par compactage croissant, par exemple par la pression le long des failles de dilatation, ce qui permet alors à cette eau de s'introduire dans des formations poreuses supérieures sous faible pression.

De plus, il n'est pas exclu qu'il y ait dans ce grès une importante accumulation de gaz (Bouckaert e.a., 1981).

6. LA COUCHE AQUIFERE DANS LE MAESTRICHTIEN AU SOMMET DE LA CRAIE

Les profondeurs où se situe l'eau non potable du tuffeau Maestrichtien dans le nord de la Belgique, permettent seulement de considérer l'exploitation d'énergie géothermique très basse.

La profondeur du sommet du Maestrichtien est indiquée à la figure 8. Ces profondeurs sont reprises de R. Legrand (1968) ainsi qu'à partir de profils sismiques.

La température y afférente est déduite de la figure 9 où sont indiquées des données de température du Maestrichtien et du Tertiaire Supérieur. Il n'est pas exclu que les valeurs de température pour l'eau du Maestrichtien soient relativement plus basses en raison du refroidissement causé par la circulation de l'eau potable méridionale du Maestrichtien dans la nappe aquifère qui s'étend au nord jusqu'à Beringen-Heusden. Le gradient thermique utilisé est celui tiré exclusivement pour l'aquifère Maestrichtien : de cette manière, il n'y a certainement pas eu de surestimation de la température.

La composition globale de l'eau est indiquée à la figure 8. Il s'agit aussi d'une eau de pores du type NaCl avec, entre autres, des sulfates et du fer réduit. Le pH de l'eau, mesuré à Loenhout et à Turnhout, est compris entre 6,5 et 7,3. La nappe aquifère a une épaisseur de 50 à 80 m. Dans les forages de Loenhout et de Turnhout, cet aquifère était artésien.

Au sud-est, où l'eau du Maestrichtien est utilisée comme eau potable, un rendement de 1 à 10 m³/h peut être obtenu (M. Gulinck, 1956). A Loenhout, on a mesuré les caractéristiques du réservoir (rapport Distrigaz) qui, bien qu'elles ne soient pas encore uniformes, indiquent un rendement maximal de 0,1 m³/h. A Turnhout, l'eau du Maestrichtien (8 à 9 g/litre 29,5 °C) a été utilisée pendant une vingtaine d'années pour le chauffage de la piscine communale.

er ook rekening mee houden dat de zandstenen van Neeroeteren via rekbreuken in contact kunnen staan met dieper gelegen poreuse formaties in de slenk van Roermond, die bij toenemende compactie het opgewarmd formatiewater kunnen verliezen, door b.v. oppersing langs rekbreuken waarbij dat water dan kan indringen in hoger gelegen poreuse formaties onder geringe druk.

Het is daarenboven niet uitgesloten dat in deze zandstenen ook een belangrijke gasaccumulatie aanwezig is (Bouckaert et al., 1981).

6. DE WATERVOERENDE LAAG IN HET MAESTRICHTIAAN TUFKRIJT AAN DE TOP VAN HET KRIJT

De dieptes waarop het niet-drinkbare water uit het tufkrijt van het Maestrichtiaan zich in Noord-België bevindt laten enkel toe aan winning van zeer lage geothermische energie te denken.

De diepteligging van de top van het Maestrichtiaan is gegeven in figuur 8. Deze dieptes zijn overgenomen van R. Legrand (1968) alsmede van seismische profielen.

De temperatuur die er aan gekoppeld wordt is afgeleid van figuur 9 waarop een aantal temperatuurgegevens van het Maestrichtiaan en bovenliggende tertiaire lagen ingetekend zijn (gegevens uit R. Legrand, 1975). Het is niet uitgesloten dat de temperatuurwaarden voor het Maestrichtiaanwater relatief lager liggen omwille van de afkoeling veroorzaakt door de circulatie van het zuidelijke drinkbare Maestrichtiaan-water tussen het intrekgebied dat zich in het noorden uitstrekt tot Beringen-Heusden. De gebruikte geothermische gradiënt is deze getrokken enkel voor de Maestrichtiaan-aquifer : op deze manier is er zeker geen overschatting van de temperatuur gebeurd.

De globale samenstelling van het water is ingetekend op figuur 8. Het betreft ook een NaCl type poriënwater met o.a. ook sulfaten en gereduceerd ijzer. De pH van het water gemeten te Loenhout en te Turnhout is begrepen tussen 6,5 en 7,3. Het watervoerend pakket is 50 m tot 80 m dik. In de boringen te Loenhout en te Turnhout was deze aquifer artesisch.

In het zuidoostelijk gebied waar het Maestrichtiaan-water als drinkwater gebruikt wordt kan een rendement bekomen worden dat ligt tussen 1 en 10 m³/m/u. (M. Gulinck, 1956). Te Loenhout zijn reservoir-karakteristieken gemeten (rapport Distrigaz) die, alhoewel niet zeer eenduidig, een rendement aangeven dat hooguit 0,1 m³/m/u. bereikt. Te Turnhout werd gedurende een 20 jaar het Maestrichtiaan-water (8 tot 9 gr/liter 29,5 °C) gebruikt

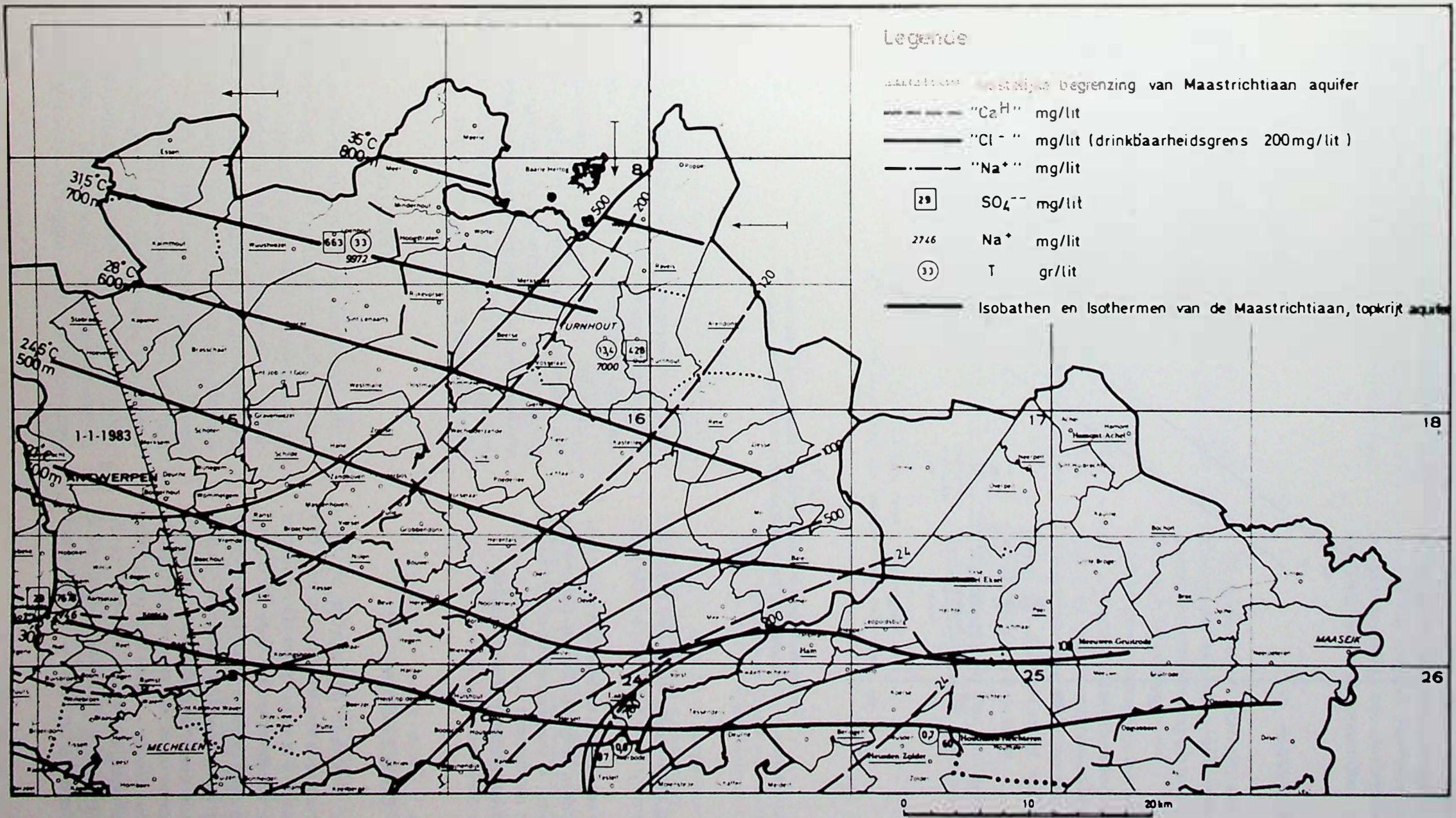


Fig. 8

Isobathes et isothermes de l'aquifère d'âge Maastrichtien, ainsi que quelques caractéristiques chimiques.
 Isobathen, isothermen en chemische karakteristieken van de Maastrichtiaan, topkrijt aquifer.

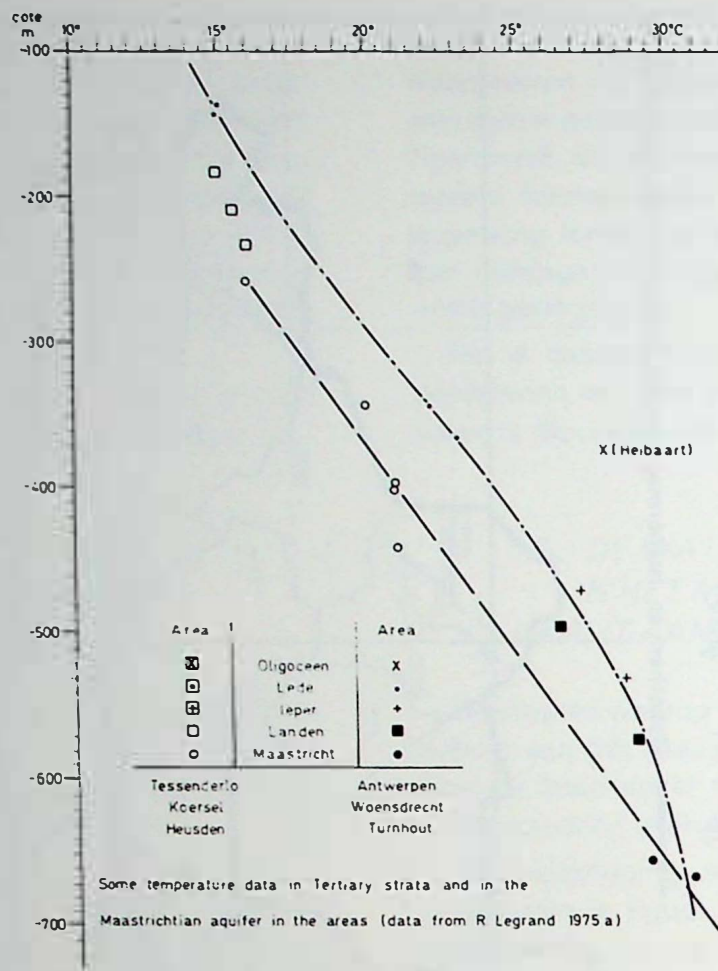


Fig. 9

Température dans le tertiaire et dans l'aquifère du Maastrichtien.
Temperatuur in het tertiair en in het Maastrichtiaan aquifer.

Lors de pompages d'essai au moment de l'exécution du forage, un rendement de $0,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{h}$ a été constaté.

Juste à l'ouest de la zone du tuffeau Maestrichtien, on a signalé un aquifère artésien dans le sommet du Senonien (Hemiksem), d'une composition chimique comparable et d'un rendement comparable à l'aquifère Maestrichtien à Loenhout (F. Halet, 1939).

7. CONCLUSION

La découverte en Belgique de sources de géothermie du type enthalpique élevé est exclue pour des raisons géologiques. Il y a cependant des couches aquifères ayant une température de plus de $60 \text{ }^\circ\text{C}$, une température qui est à présent considérée comme une température minimale pour l'utilisation d'énergie géothermique pour le chauffage domestique ou de serres, de façon économique. En raison des frais de forage de plus en plus élevés — il ne faut pas perdre de vue que la technologie de l'exploration et de l'exploitation géothermiques concerne largement la technologie de l'industrie pétrolière — on doit à pré-

voir de la température de l'aquifère artésien. Pendant les essais de pompage au moment de l'exécution du forage, un rendement de $0,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{h}$ a été constaté.

Juste ten westen van het voorkomingsgebied van het Maastrichtiaan-tufkrijt is in de top van het Senonkrijt een artesische aquifer gesignaleerd (Hemiksem) met een vergelijkbare chemische samenstelling en een vergelijkbaar rendement als de Maastrichtiaan-aquifer te Loenhout (F. Halet, 1939).

7. CONCLUSIES

Het vinden van geothermie-bronnen van het hoge enthalpische type in België is om geologische redenen uitgesloten. Wel zijn er watervoerende lagen aanwezig die een temperatuur hebben boven $60 \text{ }^\circ\text{C}$, een temperatuur die momenteel aanzien wordt als een minimumtemperatuur om geothermische energie voor huis- of serreverwarming op een economische manier te kunnen aanwenden. Omwille van de steeds verhogende boorkosten — men mag niet uit het oog verliezen dat de geothermische exploratie- en exploitatietechnologie grotendeels olie-industrie-technologie betreft — moet men voor lage enthalpie

sent imposer des limites de profondeur de 3.000 à 4.000 m pour la géothermie à basse enthalpie. A ces profondeurs, règnent des températures suffisamment élevées pour réaliser la production d'électricité avec un fluide volatil.

8. POSTFACE

L'auteur a tenté de créer une image résumant les possibilités géothermiques en Belgique et de rendre compte de l'état actuel des recherches.

Il a essentiellement fait appel au travail plus qu'excellent et novateur de ses collègues et proches collaborateurs au Service Géologique au cours des années écoulées, mis à sa disposition sous forme de publications ou de rapports internes.

Il se doit dès lors mentionner ici les noms de A. Delmer, R. Legrand et N. Vandenberghe.

geothermie momenteel een beperking aan de diepte opleggen die schommelt tussen de 3.000 en 4.000 m. Op die dieptes heersen temperaturen die voldoende hoog zijn om elektriciteitsproductie met een werkfluidum te verwezenlijken.

8. NAWOORD

De auteur heeft getracht een samenvattend beeld te scheppen over de geothermische mogelijkheden in België alsmede verslag uit te brengen over de huidige staat van de opzoekingen.

Hij heeft hoofdzakelijk beroep gedaan op het meer dan uitstekend, baanbrekend werk dat door zijn collega's en naaste medewerkers van de Geologische Dienst in de loop der jaren werd uitgevoerd en onder vorm van publikaties of interne verslagen tot zijn beschikking werd gesteld.

Hij wenst hier dan ook gewag te maken van de namen A. Delmer, R. Legrand en N. Vandenberghe.

BIBLIOGRAPHIE

BLESS M.J.M. et al, 1976. Dinantian rocks in the subsurface North of the Brabant and Ardenno-Rhenisch Massifs in Belgium, the Netherlands and the Federal Republic of Germany. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst*. Nieuwe serie vol. 27 nr. 3, Nederland.

BLESS M.J.M., BOUCKAERT J., PATROTH E., 1980. Pre-Permian around the Brabant Massif. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst*. N.S. 32 - 1, 1-4.

BOUCKAERT J., 1968. Etude géologique du site de l'Hermeton. *Service Géologique Belgique, Prof. Paper* 1968/11.

BOUCKAERT J., DUSAR M., VANDEVELDE E., 1981. Exploration for coal in the Neeroeteren-Rotem Area. *Ann. Soc. Géologique Belgique* (in Press).

BOUCKAERT J., DELMER A., GRAULICH J.M., 1977. La structure varisque de l'Ardenne. *Mededeling Rijks Geologische Dienst*, N.S. 28-5, 133-135.

DELMER A., 1977. Le bassin du Hainaut et le sondage de St.-Ghislain. *Service Géologique de Belgique, Prof. Paper* 1977/6 nr. 143.

DELMER A., 1980. La géothermie en Belgique. Perspective d'avenir. In : *Advances in European geothermal Research*, Second International Seminar on the Results of EC geothermal Energy Research, Strasbourg.

GRAULICH J.M., 1961, Le sondage de Wépion. *Mém. Cartes Géol. Minières* nr. 2 Bruxelles.

GULINCK M., 1956. Caractéristiques hydrogéologiques du sondage de Turnhout. *Communications de l'Observatoire Royal de Belgique* nr. 108, Série géophysique nr. 37.

HALET F., 1939, Sur la composition et les ressources hydrologiques du Crétacé dans le sous-sol des environs de la ville d'Anvers. *Bull. Soc. Belge de Géol.* Bruxelles t. 49, fasc. 1 et 2 pp 51-55.

LEGRAND R., 1968, Le massif du Brabant. *Toelichtende Verhandelingen voor de Geologische kaart en Mijnskaart van België* nr. 9.

LEGRAND R., 1975. Jalons géothermiques. *Toelichtende Verhandelingen voor de Geologische kaart en Mijnskaart van België* nr. 16.

LEGRAND R., 1980 in HAENEL R. Atlas of subsurface temperatures in the European Community EEC, TH. Schäfer Hannover.

LECLERCQ V., 1980, Le sondage de Douvrain. *Serv. Géol. Belgique* 1980/3 nr. 170.

STAINIER X., 1921, Cavités dans le calcaire Carbonifère sous la faille du Midi. *Bull. Soc. Belge de Géol.* TxxxI, 9-18.

VANDEBERGHE N, BOUCKAERT J., 1980. Geologische aspecten van de mogelijkheid tot de aanwending van geothermische energie in Noord-België. *Belgische Geologische Dienst, Prof. Paper* 1980/1 nr. 168.

VAN WIJHE D.H. et BLESS M.J.M., 1974. The Westfalian of the Netherlands with special references to miospore assemblages. *Geologie en Mijnbouw* 53 pp 295-326.

Faint, illegible text at the top left of the page.

Faint, illegible text at the top right of the page.

5-POSTAGE

Faint, illegible text in the middle left section.

Faint, illegible text in the middle right section.

Faint, illegible text in the lower middle left section.

Faint, illegible text in the lower middle right section.

Faint, illegible text in the lower left section.

Faint, illegible text in the lower right section.

Faint, illegible text in the bottom left section.

Faint, illegible text in the bottom right section.

Faint, illegible text in the bottom left section.

Faint, illegible text in the bottom right section.

Faint, illegible text in the bottom left section.

Faint, illegible text in the bottom right section.

Faint, illegible text in the bottom left section.

Faint, illegible text in the bottom right section.

Faint, illegible text in the bottom left section.

Faint, illegible text in the bottom right section.

Faint, illegible text in the bottom left section.

Faint, illegible text in the bottom right section.

Faint, illegible text in the bottom left section.

Faint, illegible text in the bottom right section.

Faint, illegible text in the bottom left section.

Faint, illegible text in the bottom right section.

Faint, illegible text in the bottom left section.

Faint, illegible text in the bottom right section.

Faint, illegible text in the bottom left section.

Faint, illegible text in the bottom right section.



Le sondage d'Havelange (Champs du Bois)

De boring van Havelange (Champs du Bois)

Jean-Marie GRAULICH*

RESUME

L'auteur divise son exposé en deux parties.

La première traite du pourquoi du sondage d'Havelange dont l'origine remonte au sondage dit « de Focant », qui a décelé du méthane occlus dans la boue de forage et cela, en permanence à partir de 1.500 m jusqu'à sa base. Ce sondage n'ayant recoupé aucune roche magasin, ce phénomène a été interprété comme des fuites d'un réservoir profond. Pour le localiser, deux campagnes sismiques ont été réalisées et ont révélé que le sous-sol ardennais se compose de deux zones bien distinctes, la supérieure étant constituée par un ensemble très plissé et faillé et l'inférieure par des couches régulières et tranquilles. La surface entre ces deux domaines a été assimilée à la Faille du Midi qui n'a pas une inclinaison constante, mais dessine des dômes; c'est sur l'un d'eux que fut implanté le sondage pour reconnaître cette structure qui peut constituer un réservoir profond.

La seconde partie traite de l'interprétation du sondage, basée sur des analyses chimiques au manocalcimètre et sur des enregistrements Schlumberger (radiation gamma, vitesse du son, porosité, densité et géométrie des couches). Débutant dans les psammietes d'Esneux, le sondage a traversé une série relativement tranquille, découpée par quelques failles et comprenant les schistes de la Famenne, les calcaires du Frasnien et du Givetien et le sommet du Couvinien. Il a atteint à ce jour la profondeur de 1.700 m, ce qui

* Ir., Inspecteur Général ff., Chef du Service Géologique de Belgique, rue Jenner 13, B-1040 Bruxelles.

SAMENVATTING

De auteur verdeelt zijn uiteenzetting in twee delen.

Het eerste deel handelt over de reden van de boring van Havelange met als oorsprong de zogenaamde « Focant-boring » die, permanent vanaf 1.500 m tot aan zijn basis, de aanwezigheid van mijngas in de boorsuspensie deed ontdekken. Daar deze boring geen enkel reservoirgesteente heeft aangesneden werd dit verschijnsel verklaard door ontsnappingen uit een diepgelegen reservoir. Om dit te lokaliseren werden twee seismische campagnes verwezenlijkt en deze hebben onthuld dat de Ardense ondergrond uit twee zeer verschillende zones bestaat; de bovenste is gevormd door een zeer geplooid en gebroken geheel en de onderste bestaat uit regelmatige en rustige lagen. Het vlak tussen deze twee gebieden werd in verband gebracht met de « Faille du Midi » die geen constante helling vertoont maar de vorm van koepels aanneemt; op een van deze koepels werd een boring uitgevoerd om deze structuur, die een diep reservoir kan vormen, te verkennen.

Het tweede deel handelt over de interpretatie van de boring, steunend op chemische analyses met de manocalcimeter en op Schlumbergerregistraties (gammastraling, geluidssnelheid, porositeit, dichtheid en geometrie van de lagen). De boring die in de psammieten van Esneux begon, heeft een vrijwel ongestoorde serie doorstoken, die versneden was door enkele breuken en die schiefers bevat uit het Famenniaan, kalksteen van het Frasniaan, van het Givetiaan en van de top van het Couviniaan. De boring heeft

* Ir., Wnd. Inspecteur-generaal, Hoofd van de Belgische Geologische Dienst, Jennerstraat 13, B-1040 Brussel.

correspond à 0,62 s en temps double et il doit arriver à 1,7 s pour traverser la grande surface de discontinuité décelée par la sismique.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Autor unterteilt seinen Bericht in zwei Teile.

Der erste Teil handelt von dem Grund für die Bohrung von Havelange, deren Ursprung bis zu der sogenannten « Focant-Bohrung » zurückgeht, bei der in der Spülung eingeschlossenes Methan entdeckt wurde, und zwar dauernd ab 1.500 m bis zur Sohle. Da bei dieser Bohrung kein Speichergestein durchfahren wurde, wurde dieses Phänomen als Lecks eines tiefen Reservoirs interpretiert. Um dieses tiefe Reservoir zu lokalisieren, wurden zwei seismische Untersuchungen durchgeführt, die erkennen ließen, daß der Untergrund in den Ardennen aus zwei deutlich verschiedenen Zonen besteht, nämlich einer oberen Zone aus stark gefaltetem und verworfenem Gebirge, und einer unteren Zone aus gleichmäßigen und ruhigen Schichten. Die Fläche zwischen diesen zwei Gebieten ist mit der « Faille du Midi » Verwerfung verglichen worden, die keine konstante Neigung hat, sondern Kuppeln bildet, und auf einer dieser Kuppeln wurde die Bohrung vorgenommen, um diese Struktur zu erkunden, die ein tiefes Reservoir darstellen kann.

Der zweite Teil handelt von der Interpretation der Bohrung auf der Grundlage von chemischen Analysen mit dem Manocalcimeter und von Schlumberger-Messungen (Gammastrahlung, Schallgeschwindigkeit, Porosität, Dichte und Geometrie der Schichten). Die Bohrung begann in den « Psammiten von Esneux » und hat dann eine relativ ruhige Reihe durchfahren, die von einigen Verwerfungen durchschnitten wird und die Schiefer der Famenne, die Kalksteine des Frasnien und des Givetien und den obersten Teil des Couvinien umfaßt. Sie hat bis heute die Teufe von 1.700 m erreicht, was 0,62 s in doppelter Zeit entspricht, und sie muß bei 1,7 s ankommen, um die große Diskontinuitätsfläche zu durchqueren, die bei der seismischen Untersuchung gefunden wurde.

momenteel een diepte van 1.700 m bereikt wat overeenstemt met 0,62 s in dubbele tijd en zij moet 1,7s bereiken om het groot discontinuïteitsoppervlak te doorsteken dat onthuld werd door de seismiek.

SUMMARY

The author divides his paper into two parts.

The first part deals with the reasons for the Havelange borehole. The original hole is known as « Focant-borehole », where methane gas appeared in the drilling mud, on a continuous flow from a depth of 1500 metres down to the base. As the borehole didn't intersect any host rock, this gas appearance was interpreted as a methane loss of a deep reservoir. Two seismic campaigns were carried out to explore this. They revealed that the deep-subcrop of the Ardennes consists of two distinct zones : the upper zone is formed by a strong folded and faulted sequence, the lower zone is a sequence of regular, undisturbed strata. The inter-surface between the two zones was associated with the « Faille du Midi » which hasn't an irregularly fashioned dip so that dome structures occur; the borehole was located on the top of one of these in order to explore whether this structure could hold a deep reservoir.

The second part deals with the borehole interpretation, based on chemical analyses with a manocalcimeter and on Schlumberger-loggings (gamma rays, sonics, porosity, density and geometry of the strata). Starting in the « Esneux psammites » the hole intersected a relatively undisturbed sequence, cut up by a few faults containing the Famenne shales, the Frasnian and Givetian limestones and the top of the Couvinian. Up to now, the borehole reached the depth of 1700 metres; this corresponds to 0.62 s double time and it will have to reach 1.7 s to pierce the main discontinuity revealed by the seismic surveys.

Cet exposé se divise en deux parties, la première traite des raisons qui ont amené le Service Géologique de l'Administration des Mines à proposer à Monsieur le Ministre des Affaires économiques de faire exécuter un sondage de 6.000 m dans la Famenne et plus précisément sur la commune d'Havelange, au lieu dit Champs du Bois à Porcheresse.

La deuxième partie traite de l'interprétation du sondage basée sur des mesures chimiques et physiques jusque 1.700 m de profondeur.

N° du sondage : 168 W/314.

Coordonnées Lambert II :

X = 212.583,18; Y = 110.294,20; Z = 286,05.

POURQUOI DU SONDAGE

J'ai pu en détail les raisons qui ont amené à effectuer le sondage dans un article intitulé « Les structures profondes en Famenne constituent-elles des réservoirs de gaz ? » (Revue Générale du Gaz - N° 4, 1980, pp. 165-172). Cet article peut se résumer comme suit :

Grâce au levé de la carte géologique de la Belgique au 1/40.000 réalisé au début du siècle, notre pays a été un des premiers au monde à connaître en détail sa constitution géologique suivant deux dimensions, la longitude et la latitude.

Ces levés géologiques superficiels en Ardenne ont révélé et précisé une structure géologique fort complexe, constituant le front de la chaîne hercynienne; ils ont amené des géologues aussi célèbres les uns que les autres à imaginer diverses solutions inconciliables pour prolonger en profondeur les allures tectoniques observables en surface. Pour dépasser ce stade des hypothèses, il était indispensable de faire, par sondages, des observations suivant la troisième dimension.

C'est en 1953 que le Service Géologique a entrepris ce vaste programme d'étude de la troisième dimension : d'abord timidement (Wépion, 2.310 m de profondeur), et puis de plus en plus hardiment pour atteindre à cette date 31.355 m répartis sur 11 sondages profonds, avec le record actuel : St-Ghislain (5.403 m).

Alors que les sondages sont répartis un peu partout en Belgique, pourquoi avoir choisi la Famenne pour réaliser un sondage test de 6.000 m ? La réponse à cette question trouve son origine dans le sondage de Martouzin-Neuville planté dans la plaine de Focant. Ce sondage de 3.208 m de profondeur a recoupé presque exclusivement des schistes du Famennien et du Frasnien découpés par de nombreuses failles de redoublement, révélant ainsi une complication tecto-

Deze uiteenzetting is onderverdeeld in twee delen, het eerste handelt over de redenen die de Geologische Dienst van de Administratie der Mijnen er toe gebracht hebben aan de Heer Minister van Economische Zaken voor te stellen een boring van 6.000 m te laten uitvoeren in de Famennestreek en meer bepaald op het grondgebied van de gemeente Havelange, in de buurt Champs du Bois te Porcheresse. Het tweede deel gaat over de interpretatie van de boring op grond van chemische en fysische opmetingen tot 1.700 m diepte.

Nr. van de boring : 168 W/314.

Lambert II coördinaten : X = 212.583,18; Y = 110.294,20; Z = 286,05.

1. DE REDENEN VAN DE BORING

Ik heb in het bijzonder de redenen gepubliceerd die geleid hebben tot de uitvoering van de boring, en wel in een artikel getiteld « Les structures profondes en Famenne constituent-elles des réservoirs de gaz ? » (Revue Générale du Gaz - N° 4, 1980, blz. 165-172). Dit artikel kan als volgt worden samengevat :

Dank zij de opname van de geologische kaart van België op 1/40.000 gerealiseerd in het begin van de eeuw, was ons land een der eerste ter wereld die uitvoerig zijn geologische samenstelling kende volgens twee dimensies, de lengte en de breedte.

Deze oppervlakte-geologische opnamen in de Ardennen hebben gewezen op een zeer ingewikkelde geologische structuur en hebben deze bevestigd; deze structuur vormt het front van de hercynische keten. De opnamen waarvan sprake hebben zeer beroemde geologen er toe gebracht verschillende onverzoenbare oplossingen uit te denken om de aan de oppervlakte waarneembare tectonische verschijnselen naar de diepte toe te verlengen. Om dit hypothesestadium te overschrijden was het noodzakelijk om door boringen waarnemingen in de derde dimensie uit te voeren.

In 1953 heeft de Geologische Dienst dit veelomvattende studieprogramma van de derde dimensie ondernomen : eerst bescheiden (Wépion, 2.310 m diepte), en dan steeds verdergaand om vandaag 31.355 m te bereiken, verdeeld over 11 diepboringen, met het huidige rekord : St-Ghislain (5.403 m).

De boringen zijn over zowat geheel België verspreid; waarom de Famennestreek kiezen om een testboring van 6.000 m te verwezenlijken ? Het antwoord op deze vraag ligt oorspronkelijk in de boring van Martouzin-Neuville, ingeplant in de vlakte van Focant. Deze boring van 3.208 m diepte heeft vrijwel uitsluitend schiefers van het Famenniaan en het Frasniaan aangeboord, verdeeld door talrijke verdubbelingsbreuken, waardoor een ongehoorde en op

nique inouïe et insoupçonnable d'après la géologie de surface. Mais, un fait très important a mobilisé toute notre attention; à partir de 1.500 m et ce, jusqu'au fond du sondage, quelques pourcents de méthane étaient enregistrés en permanence dans le gaz occlus dans la boue de forage. En l'absence de roche tant soit peu perméable, ces traces plus importantes que s'il s'agissait de gaz dispersé, ont été interprétées comme des fuites à travers des failles communiquant, on ne sait dans quelle direction, avec un piège ou roche-réservoir.

Les venues de gaz au sondage de Martouzin-Neuville ont orienté nos recherches vers la localisation de pièges structuraux par la méthode sismique.

La première campagne réalisée en 1976 dans les environs du sondage (49 km de profils sismiques) avait pour but de repérer des structures favorables, comme des anticlinaux de calcaire du Dévonien supérieur et moyen dans cette masse très faillée des schistes du Famennien et du Frasnien. Nous avons programmé cette recherche par esprit de continuité et non par conviction, car ces structures éventuelles ne pouvaient être que de très faible volume et surtout que les roches connues en surface ne présentent pas des coefficients de porosité suffisants pour constituer une bonne roche-magasin.

La révélation de l'existence d'un miroir profond et continu lors de cette première campagne a orienté nos recherches dans une autre direction qui exigeait l'extension de la zone à prospecter, ce qui fut réalisé lors d'une deuxième campagne en 1978 (182 km de profils sismiques).

Les 13 profils sismiques réalisés dans la région de 685 km² comprise entre Assesse, Beauraing, Marche et Bois-et-Borsu ont mis en évidence une surface de discontinuité majeure que la géologie de surface ne permettait pas d'envisager. Cette découverte a vraiment une grande importance pour la compréhension du massif ardennais et de ses possibilités en pièges à gaz éventuels de beaucoup plus grande ampleur.

Suivant les 13 profils, il est possible de différencier, dans la série sédimentaire de l'Ardenne, deux grands domaines séparés par cette surface de discontinuité majeure.

Le *domaine supérieur* que l'on peut qualifier de sismiquement opaque, car il est le siège de perturbations nombreuses et intenses dues à l'entrelacement de réflexions et de diffracties. Dans un domaine aussi complexe constitué de couches passant par toutes les positions, de la verticale à l'horizontale, et en plus perturbées par des failles, il est très difficile de faire la distinction entre les réflexions dues à des ni-

basis van de oppervlaktegeologie niet te vermoeden tectonische complexiteit aan het licht werd gebracht. Maar een belangrijk feit heeft al onze aandacht weerhouden: vanaf 1.500 m en dit tot op de einddiepte van de boring, werden voortdurend enkele procenten methaan waargenomen in het gas vevat in het boorslib. In afwezigheid van een enigszins door-dringbaar gesteente, werden deze sporen (die belangrijker zijn dan in het geval van verspreid gas) geïnterpreteerd als lekken die via breuken in een onbekende richting in verbinding zouden staan met een val of een reservoirgesteente.

De aanwezigheid van gas in de boring van Martouzin-Neuville hebben onze onderzoeken georiënteerd naar de lokalisatie van structurele vallen door de seismische methode.

De eerste campagne, verwezenlijkt in 1976 in de omgeving van de boring (49 km seismische profielen) had als doel gunstige structuren op te sporen, zoals kalkanticlinalen van het Boven- of Midden-Devoon in deze sterk gebroken schiefers van het Famenniaan en het Frasniaan. We hebben dit onderzoek geprogrammeerd in een geest van continuïteit en niet uit overtuiging, want deze eventuele structuren konden slechts van zeer kleine afmetingen zijn, en vooral daar de gekende gesteenten aan de oppervlakte geen voldoende porositeitscoëfficiënten vertonen om een goed reservoirgesteente te vormen.

De onthulling van het bestaan van een diepe en doorgaande spiegel tijdens deze eerste campagne, heeft onze onderzoeken georiënteerd in een andere richting, die de uitbreiding noodzakelijk maakte van de te onderzoeken zone; dit werd verwezenlijkt tijdens een tweede campagne in 1978 (182 km seismische profielen).

De 13 seismische profielen die verwezenlijkt werden in de streek van 685 km² begrepen tussen Assesse, Beauraing, Marche en Bois-et-Borsu hebben een oppervlak van uiterste discontinuïteit aan het licht gebracht die door de oppervlaktegeologie niet kon vermoed worden. Deze ontdekking is werkelijk van groot belang voor het begrijpen van het Ardens massief en van diens mogelijkheden voor eventuele gasvallen van veel grotere omvang.

Volgens de 13 profielen is het mogelijk in de afzettingsserie van de Ardennen twee grote gebieden te onderkennen, gescheiden door dit oppervlak van belangrijke discontinuïteit.

Het *bovenste domein* dat seismisch ondoorgrondelijk kan genoemd worden, want het is de zetel van talrijke en intense storingen die te wijten zijn aan de ineensstringeling van reflecties en diffracties. In een zo ingewikkeld domein dat gevormd wordt door lagen in alle mogelijke posities, van vertikaal tot horizontaal, en die bovendien verstoord worden door breuken, is het erg moeilijk een onderscheid te maken

veaux géologiques repères (les seuls à prendre en considération) et les diffracties qui sont des réflexions parasites. En d'autres termes, les plissements et les failles y sont tellement nombreux que les ondes sonores subissent de multiples réflexions et l'on obtient les mêmes résultats qu'avec un kaléidoscope en optique.

Le *domaine inférieur* dans lequel on observe des réflexions d'allure régulière et tranquille dues à des couches de terrain, de nature lithologique et d'âge indéterminé dessinant de larges ondulations qui peuvent constituer des pièges à gaz de grande ampleur.

A la figure 1, nous donnons une réduction du profil sismique est-ouest n° 13, avec une accentuation des différentes réflexions. Dans les temps compris entre 1,6 et 2 s, nous repérons la grande surface de discontinuité qui sépare les deux domaines, le supérieur avec ses miroirs limités et positionnés dans tous les sens et l'inférieur avec ses réflexions très continues et d'allure régulière et tranquille.

A la figure 2, nous avons tracé la carte des isochrones de la surface de discontinuité majeure, obtenue par la réunion des points de même temps double suivant chacun des profils. Cette surface se situe à des profondeurs variables, entre 1,58 s et 2,65 s.

Les isochrones sont des courbes joignant les points de même profondeur non en unité métrique mais en unité « temps double ». Ne voulant pas préjuger de la vitesse du son dans le substratum rocheux, valeur qui dépend du degré d'évolution et de la nature lithologique de celui-ci, les géophysiciens mesurent les profondeurs en secondes qui égalent le temps que met l'onde à parcourir le trajet aller et retour de la surface au miroir de réflexion.

On peut, en première approximation, calculer les profondeurs en se basant sur la vitesse du son mesurée dans les sondages par la méthode du « Log sonic » de Schlumberger. Au sondage de Rosée, de 2.964 m de profondeur, exécuté par la Shell Company, l'intégration du log sonic donne une vitesse de 5.300 m/s. Au sondage de Martouzin-Neuville, l'intégration du logsonic donne une vitesse de 5.200 m/s. Si cette vitesse moyenne de 5.250 m/s reste la même sous 3.000 m, on peut calculer la profondeur des miroirs révélés par sismique.

Si nous adoptons cette vitesse moyenne, la grande surface de discontinuité majeure se situe, dans la région prospectée, entre 4.150 et 7.000 m de profondeur.

Au sud-ouest, la surface de discontinuité, ou niveau Y, se situe à la plus grande profondeur (2.650 ms). En se dirigeant vers le nord-est, ce niveau Y se

tussen de reflecties te wijten aan geologische gidsniveaus (de enige die in aanmerking mogen worden genomen), en de diffracties die parasietreflecties zijn. Met andere woorden, de plooiingen en de breuken zijn er zo talrijk dat de geluidsgolven talrijke reflecties ondergaan, en men bekomt dezelfde resultaten als met een caleidoscoop in de optica.

Het *onderste domein* waarin men reflecties met een regelmatig en kalm uitzicht vindt die te wijten zijn aan terreinlagen, van lithologische aard en onbepaalde leeftijd, in brede welvingen die gasvallen van grote omvang kunnen vormen.

In figuur 1 geven we een verkleining van het seismisch profiel oost-west nr. 13, met een accentuering van de verschillende reflecties. In de tijden begrepen tussen 1,6 en 2 s herkennen we het grote discontinuïteitsoppervlak dat de twee domeinen scheidt, het hoogste met zijn beperkte spiegels die in alle richtingen geplaatst zijn, en het laagste met zijn zeer continue reflecties met regelmatig en kalm uitzicht.

In figuur 2 hebben we de kaart getekend van de isochronen van het oppervlak van uiterste discontinuïteit, verkregen door het verbinden van de punten met dezelfde dubbele tijd volgens elk profiel. Dit oppervlak bevindt zich op veranderlijke dieptes, tussen 1,58 s en 2,65 s.

De isochronen zijn de krommen die de punten van gelijke diepte verbinden, niet in metrische eenheden maar in de eenheid « dubbele tijd ». Omdat de geofysici geen oordeel vooraf willen vellen over de snelheid van het geluid in het gesteentesubstraat, waarde die afhankelijk is van de evolutiegraad en van de lithologische aard van dit substraat, meten ze de diepte in seconden waarvan het aantal overeenstemt met de tijd die de golf nodig heeft om de weg heen en terug af te leggen tussen de oppervlakte en de reflectiespiegel.

Bij een eerste benadering kan men de dieptes berekenen op basis van de geluidssnelheid gemeten in de boringen door de « Sonic log » methode van Schlumberger. In de boring van Rosée, 2.964 m diep, uitgevoerd door de Shell Company, geeft de integratie van de sonic log een snelheid van 5.300 m/s. In de boring van Martouzin-Neuville geeft de integratie van de sonic log een snelheid van 5.200 m/s. Als deze gemiddelde snelheid van 5.250 m/s gelijk blijft onder de 3.000 m, kan de diepte van de seismisch aangetoonde spiegels berekend worden.

Zo we deze gemiddelde snelheid aannemen, bevindt het grote oppervlak van uiterste discontinuïteit zich, in het onderzochte gebied, tussen 4.150 en 7.000 m diepte.

In het zuidoosten bevindt het discontinuïteitsoppervlak of niveau Y zich op de grootste diepte (2.650 ms). In de richting van het noordoosten komt

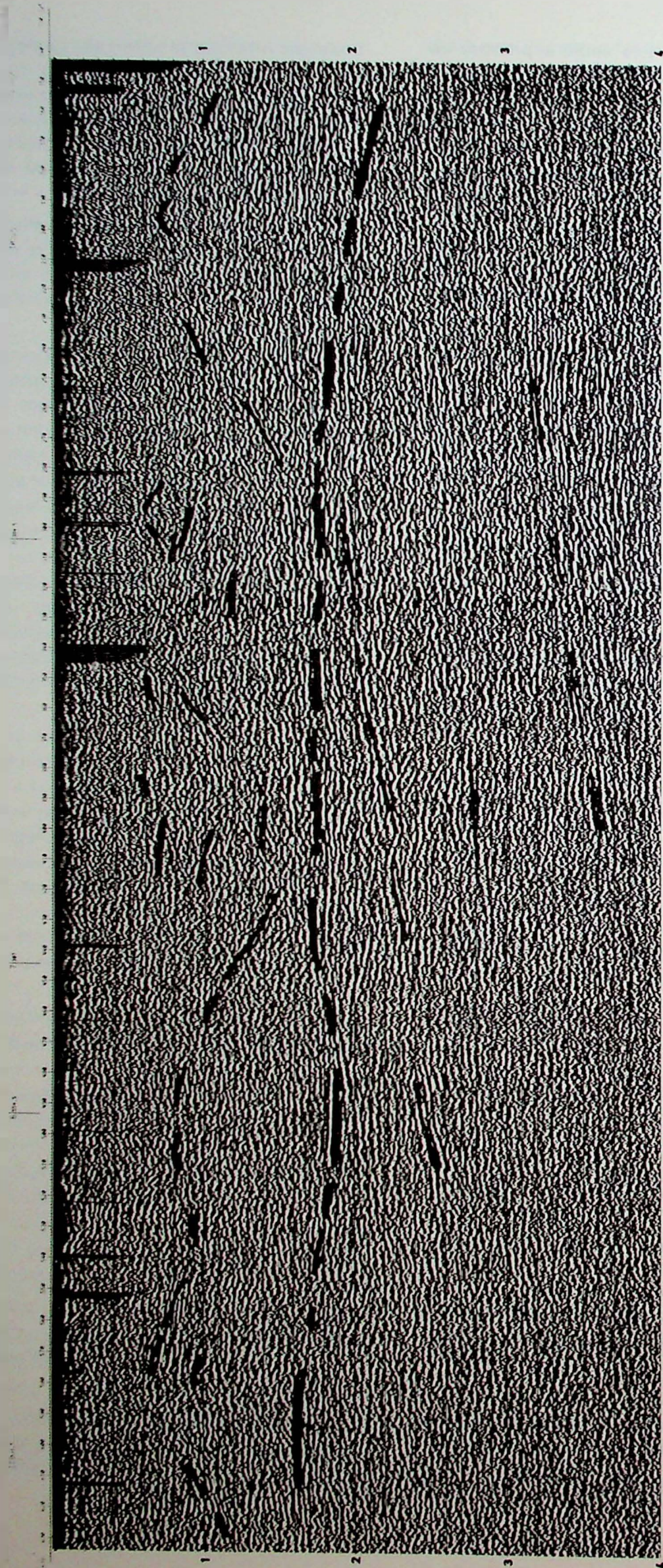


Fig. 1 — Profil sismique est-ouest n° 13
Seismisch profiel oost-west nr. 13

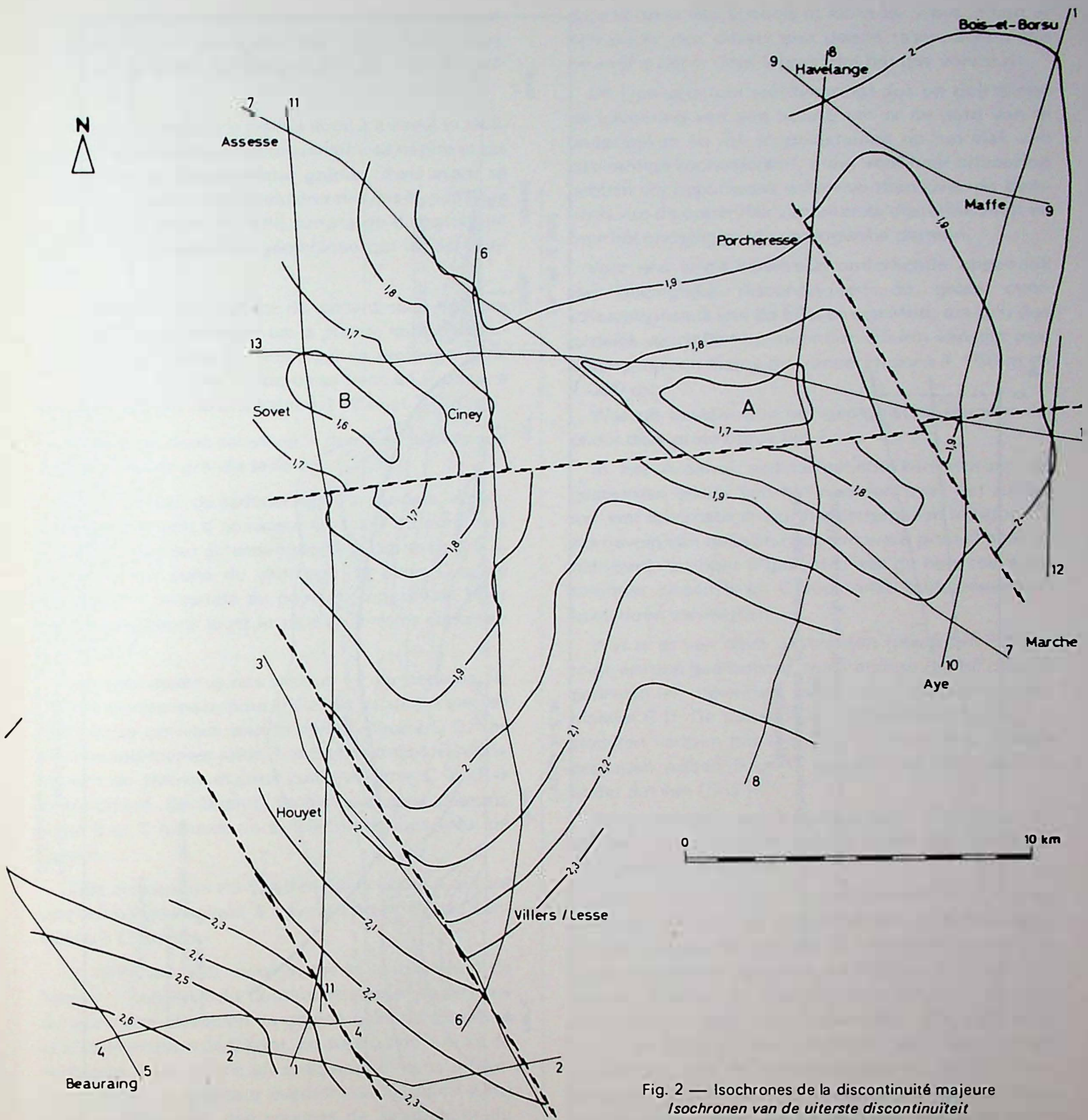


Fig. 2 — Isochrones de la discontinuité majeure
 Isochronen van de uiterste discontinuïteit

rapproche de la surface pour arriver à un minimum et ensuite replonger vers le nord. Le long de cette zone culminante, cette discontinuité dessine deux dômes transversaux, un en A, à la limite des communes de Nettine et de Porcheresse, et un en B, sur la commune de Sovet.

Sans même en connaître la signification, les prospecteurs d'hydrocarbure ont toujours été attirés

dit niveau Y dichter bij de oppervlakte om een minimum te bereiken en daarna naar het noorden toe weer onder te duiken. Langs deze culminerende zone vormt deze discontinuïteit twee dwarse koepels, één in A, aan de grens van de gemeenten Nettine en Porcheresse, en één in B, op het grondgebied van de gemeente Sovet.

Zelfs zonder er de betekenis van te kennen, werden de koolwaterstofprospectors altijd aangetrokken door

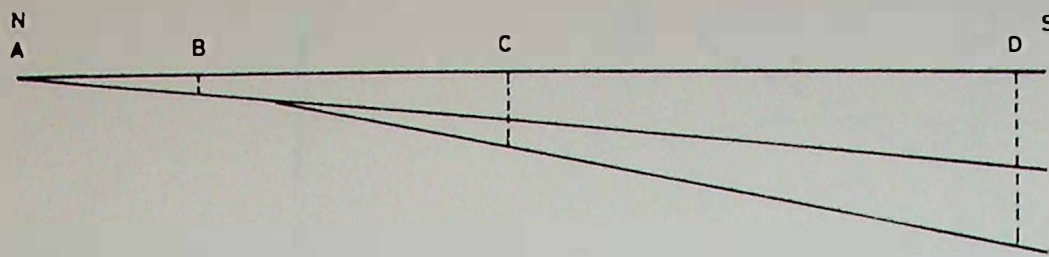


Fig. 3 — Schéma du bassin de sédimentation en Ardenne pendant le Paléozoïque
 Schema van het sedimentatiebekken in 'e Ardennen tijdens het Paleozoicum

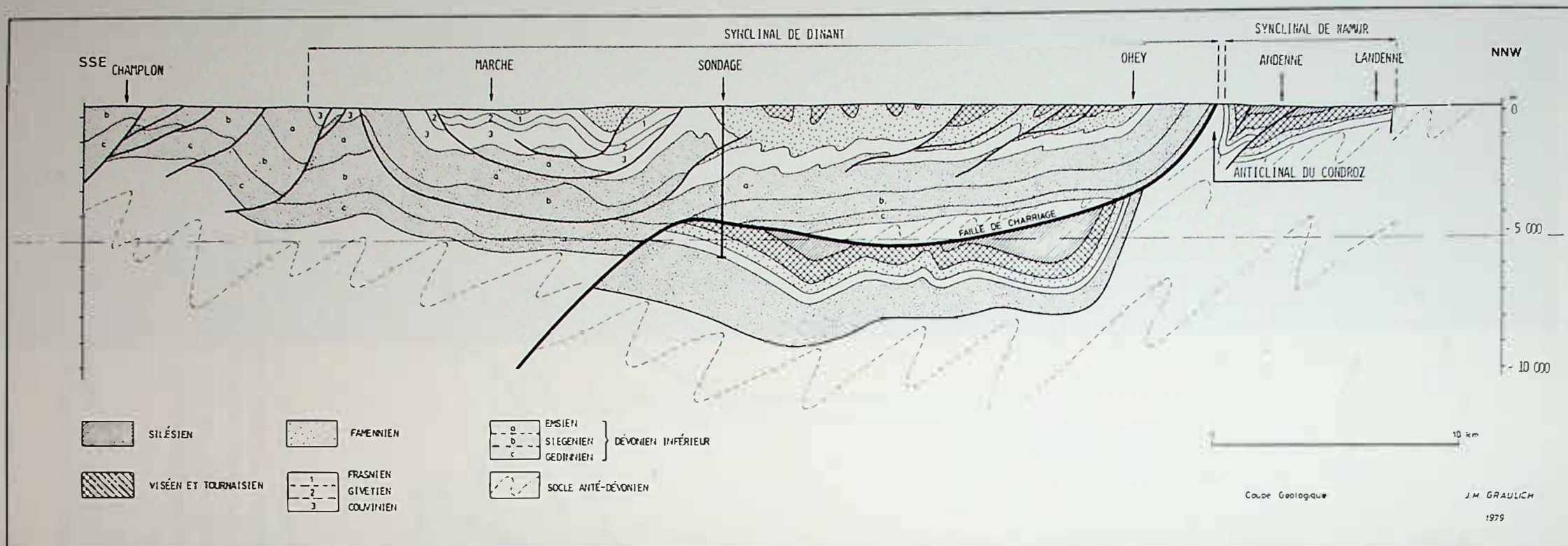


Fig. 4 — Coupe géologique de l'Ardenne
 Geologische doorsnede van de Ardennen

par ces allures en dôme ou en cloche, car s'il existe, en dessous d'un couvercle, une bonne roche-magasin, c'est dans ces sommets que le gaz s'est fait piéger.

Ce type de structure justifie donc à lui seul la réalisation d'un sondage pour reconnaître sa nature et ses possibilités en hydrocarbure gazeux, mais avant sa réalisation nous avons voulu émettre des hypothèses sur la signification de cette surface de discontinuité majeure et du domaine géologique qui lui est inférieur.

Pour nous, cette surface de discontinuité majeure reconnue par la sismique est la grande faille de charriage, eifelienne ou du Midi, qui se prolonge donc vers le sud à plus de 35 km de sa trace en surface, à des profondeurs variant entre 4.150 m et 7.000 m.

De quoi est donc constitué le domaine géologique inférieur à cette grande faille ?

Dans le bassin de sédimentation ardennais, les terrains augmentent d'épaisseur en allant du nord vers le sud, ce qui est schématiquement représenté à la figure 3. Par suite du charriage, le point C a été transporté à proximité du point B, supprimant pour nos investigations toute la série de terrains comprise entre B et C.

Que sont devenus ces terrains ? Pour certains, ils ont été érodés mais, pour d'autres, ils sont restés en place et se trouvent sous le massif charrié C D. Les terrains sédimentés entre A et B constituent le synclinorium de Namur et ceux compris entre C et D le synclinorium de Dinant, tandis que ceux compris entre B et C forment un synclinorium sous celui de Dinant.

Cette conception est illustrée par la figure 4 qui est une coupe géologique à travers l'Ardenne, de Landenne à Champlon.

Du NNW au SSE, nous avons le synclinorium de Namur, l'anticlinal du Condroz constitué de terrains du socle anté-dévonien, la grande faille de charriage et le synclinorium de Dinant. En dessous de la faille de charriage, nous avons un synclinorium avec du terrain houiller, producteur éventuel de méthane (CH_4) suite au dégazage des couches de charbon et du Carbonifère dont les horizons dolomitiques peuvent être une bonne roche-magasin et les horizons évaporitiques, un couvercle hermétique.

Pour l'implantation du forage, nous avons préféré le dôme A (fig. 2) au dôme B, car, en dessous de la surface de discontinuité, nous avons un très bon miroir (calcaire carbonifère ?) qui se termine en biseau près du dôme A et plonge en profondeur vers l'ouest (voir profil sismique de la fig. 1). Ce miroir se situe en A à 5.120 m de profondeur, alors qu'il faudrait atteindre 6.825 m pour le recouper en B.

deze vormen van koepels of klokken, want indien er zich onder een deksel een goede reservoirformatie bevindt is het in deze toppen dat het gas vervat zit.

Dit type structuur rechtvaardigt dus op zich alleen de uitvoering van een boring om er de aard van te onderzoeken en zijn mogelijkheden op het vlak van gasvormige koolwaterstof, maar voor haar uitvoering hebben wij hypothesen willen vormen over de betekenis van dit oppervlak van uiterste discontinuïteit en over het onderliggende geologische domein.

Voor ons is dit seismisch onderkende oppervlak van belangrijke discontinuïteit de grote overschuivingsbreuk van de Eifel of van Midi, die zich dus zuidelijk voortplant op meer dan 35 km van zijn ontsluiting, op een diepte die varieert tussen 4.150 m en 7.000 m.

Waaruit bestaat dus het geologische domein dat onder deze grote breuk ligt ?

In het Ardense sedimentatiebekken worden de gesteenten dikker van het noorden naar het zuiden toe, wat schematisch wordt weergegeven in figuur 3. Als gevolg van de overschuiving werd punt C naar de nabijheid van punt B gevoerd, wat de hele reeks gesteenten tussen B en C voor onze onderzoeken heeft doen verdwijnen.

Wat is er van deze gesteenten geworden ? Sommige werden geërodeerd, maar andere zijn ter plaatse gebleven en bevinden zich onder het verschoven massief C D. De tussen A en B gesedimenteerde gesteenten vormen het synclinorium van Dinant; deze begrepen tussen B en C vormen een synclinorium onder dat van Dinant.

Deze opvatting wordt geïllustreerd door figuur 4, die een geologische doorsnede is van de Ardennen, van Landenne tot Champlon.

Van het NNW tot het ZZO hebben we het synclinorium van Namen, de anticliene van de Condroz gevormd door gesteenten van de pre-devoon sokkel, de grote overschuivingsbreuk en het synclinorium van Dinant. Onder de overschuiving hebben we een synclinorium met steenkoolvelden, die gebeurlijk methaan (CH_4) kunnen voortbrengen ingevolge de ontgassing van de steenkoollagen en het Carboon waarvan de dolomitische horizons een goede reservoirformatie kunnen zijn en de evaporiethorizonten een hermetische afsluiting.

Voor de inplanting van de boring hebben wij de voorkeur gegeven aan koepel A (fig. 2) eerder dan aan koepel B omdat we onder het discontinuïteitsoppervlak een zeer goede spiegel hebben (kolenkalk ?) die eindigt op een afkanting in de nabijheid van koepel A en dieper gaat naar het oosten toe (zie seismisch profiel van fig. 1). Deze spiegel bevindt zich in A op een diepte van 5.120 m, daar waar er 6.825 m zouden nodig zijn om hem in B te ontmoeten.

Avant d'être une recherche de gaz, le sondage est avant tout une recherche de structures qui peut nous apporter d'heureuses conclusions au point de vue énergétique.

2. INTERPRETATION DU SONDAGE

Préambules

A ce jour (24.9.81), le sondage a atteint la profondeur de 1.706 m. Comme il est réalisé « en destructif », l'interprétation ne peut être basée que sur les analyses chimiques et sur l'étude des enregistrements Schlumberger.

2.1. Analyses chimiques

De 400 m (1) à la profondeur atteinte à ce jour, un échantillon de 0,98 g (2) de débris de forage a été analysé tous les 5 m au moyen d'un manocalcimètre. Cet appareil enregistre, en fonction du temps, l'augmentation de la pression des gaz dégagés par l'action sur les carbonates d'un acide en ampoules d'un volume standard. Une augmentation rapide de la pression fixe la teneur en CaCO_3 (calcaire), une augmentation très lente fixe la teneur en $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (dolomie) et ce qui reste constitue l'insoluble (minéraux argileux et siliceux). Ces analyses chimiques en pourcents cumulés sont représentées à la colonne 3 de la planche 1 avec, à gauche, la teneur en CaCO_3 , au milieu, la teneur en $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ et, à droite, la teneur en insoluble.

2.2. Enregistrements Schlumberger

Les techniques de mesure dans le trou de forage font l'objet d'un exposé de M. A. Lefoll, directeur des opérations de la Société Schlumberger-Hollande. Je n'entre donc pas dans ces aspects techniques et ne vous expose que les applications à l'interprétation lithologique du sondage. De 0 à 1.706 m, nous avons fait enregistrer les diagraphies suivantes :

(1) Les analyses chimiques ont commencé à cette profondeur car, avant la réalisation du grand sondage, la firme Foraky a exécuté à proximité un sondage carotté de 400 m. Ce sondage stratigraphique avait pour but de fixer par extrapolation la base des calcaires du Givetien et ainsi la cote du premier tubage qu'il ne fallait surtout pas placer à proximité de zones karstiques avec les pertes d'injection qui en résultent. A la suite de cette étude, la base du premier tubage a été fixée à 1.500 m.

(2) Le manocalcimètre du type employé est théoriquement conçu pour 1 g, mais cette valeur est corrigée après tarage.

Vóór een onderzoek naar gas, is deze boring een onderzoek naar structuren dat ons tot gelukkige ervaringen kan leiden op het gebied van de energie.

2. INTERPRETATIE VAN DE BORING

Vooraf

Heden (24.09.81) heeft de boring een diepte van 1.706 m bereikt. Vermits ze « destructief » verwezenlijkt werd, kan de interpretatie slechts gebaseerd zijn op de scheikundige analyses en op de studie van de Schlumbergermetingen.

2.1. Scheikundige analyses

Vanaf 400 m (1) tot op de van nu bereikte diepte, werd een staal van 0,98 g (2) boorgruis geanalyseerd om de 5 m d.m.v. een manocalcimeter. Dit toestel registreert, in functie van de tijd, de toename van de druk der gassen vrijgekomen door de werking op de carbonaten van een zuur in een blaas van standaardvolume. Een snelle drukstijging fixeert het gehalte aan CaCO_3 (kalksteen), een zeer lage stijging fixeert het gehalte aan $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (dolomiet), en wat overblijft vormt het niet oplosbare (klei- en kiezelachtige mineralen). Deze scheikundige ontleding in gecumuleerde procenten worden weergegeven in kolom 3 van plaat 1 met links het gehalte aan CaCO_3 , in het midden het gehalte aan $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ en, rechts, het gehalte aan onoplosbare stof.

2.2. Schlumberger-metingen

De meettechnieken in het boorgat zijn het onderwerp van een uiteenzetting van de Hr. A. Lefoll, directeur van de operaties van de Firma Schlumberger-Nederland. Ik ga dus niet in op de technische aspecten en zet slechts de toepassingen uiteen op de lithologische interpretatie van de boring. Van 0 tot 1.706 m hebben we de volgende diagrafiën laten optekenen :

(1) De scheikundige analyses zijn op deze diepte begonnen want vóór de realisatie van de grote boring heeft de firma Foraky in de nabijheid een kernboring van 400 m uitgevoerd. Deze stratigrafische boring had tot doel door extrapolering de basis van het Givetiaan te bepalen en zo de diepte van de eerste casing die in geen geval in de nabijheid mocht geplaatst worden van Karstzones met de spoelingsverliezen die er het gevolg van zijn. Als gevolg van deze studie werd de basis van de eerste verbuizing vastgesteld op 1.500 m.

(2) De manocalcimeter van het gebruikte type is theoretisch bedoeld voor 1 g, maar deze waarde werd gecorrigeerd na ijking.

Gamma Ray (G.R.) qui enregistre la radioactivité des rayons gamma émis par les roches. En abscisse, cette radioactivité est graduée en norme API de 0 à 150. La valeur de 100 API correspond à $6 \mu\text{g eq Ra/T}$. Nous donnons ce diagramme en valeur moyenne (3) à la colonne 1 de la planche 1. Les roches argileuses ont une radioactivité plus élevée que les calcaires et les grès.

Chaque niveau lithologique peut donc être figuré par un point dans un diagramme avec G.R. (API) en abscisse et le pourcentage d'insoluble en ordonnée (fig. 5).

La courbe la plus probable qui unit ces deux valeurs est $y = 0,04 \times 1,62$ avec un coefficient de détermination de 0,85.

Sonic log qui enregistre le temps en μs que met le son pour parcourir un pied. Nous donnons ce diagramme en valeur moyenne à la colonne 2 de la planche 1. Avec, en abscisse, les vitesses calculées en m/s. En dessous de la zone altérée, soit 50 m, les vitesses sont entre 4.700 et 6.600 m/s. A gauche du diagramme Schlumberger, sur l'axe des ordonnées (profondeurs), un trait est marqué à chaque distance correspondant à 1 milliseconde. Pour parcourir 1.699,5 m, il faut 308,7 ms, donc la vitesse moyenne est de 5.500 m/s. Cette vitesse est supérieure à celle obtenue au sondage de Martouzin-Neuville (Focant) (5.200 m/s), mais il faut noter que le sondage d'Havelange a recoupé une stampe constituée de 62 % de calcaire et dolomie, alors que le sondage de la plaine de Focant n'a recoupé presque uniquement que des schistes. Chaque niveau lithologique peut donc être figuré par un point dans un diagramme avec la vitesse en m/s en abscisse et le pourcentage de carbonate en ordonnée (fig. 6). La courbe la plus probable qui unit ces deux valeurs est

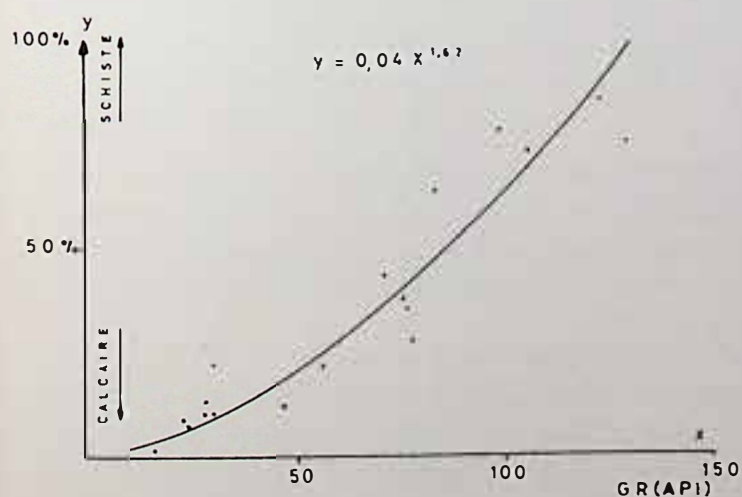


Fig. 5 — Relation entre G.R. (API) et le pourcentage d'insoluble
Verhouding tussen G.R. (API) en het percentage « onoplosbaar »

(3) Les diagraphies enregistrées montrent une suite de petites variations autour d'une valeur moyenne. Dans nos diagrammes simplifiés, nous ne donnons que cette valeur moyenne obtenue par la moyenne des extrêmes.

Gamma Ray (G.R.) die de radioactiviteit optekent van de gammastralen verspreid door de gesteenten. In abscis is deze radioactiviteit gegradeerd in API norm van 0 tot 150. De waarde 100 API stemt overeen met $6 \mu\text{g eq Ra/T}$. We geven dit diagram in gemiddelde waarde (1) in kolom 1 van plaat 1.

De kleiachtige gesteenten hebben een hogere radioactiviteit dan kalk- en zandsteensoorten.

Elk lithologisch niveau kan dus weergegeven worden door een diagram met G.R. (API) in abscis en het percentage onoplosbaar in ordinaat (fig. 5).

De meest waarschijnlijke curve die deze beide waarden verenigt is $y = 0,04 \times 1,62$ met een determinatiecoëfficiënt van 0,85.

Sonic log, die de tijd in μs meet die het geluid nodig heeft om één voet af te leggen. We geven dit diagram in gemiddelde waarde in kolom 2 van plaat 1 met, in abscis, de snelheden berekend in m/s. Onder de gewijzigde zone, d.w.z. 50 m, variëren de snelheden tussen 4.700 en 6.600 m/s. Links op het Schlumbergerdiagram, op de ordinaatas (dieptes), is een streepje aangebracht op elke afstand die overeenstemt met 1 milliseconde. Om 1.699,5 m af te leggen, zijn 308,7 ms nodig; de gemiddelde snelheid bedraagt dus 5.500 m/s. Deze snelheid ligt hoger dan die bekomen in de boring van Martouzin-Neuville (Focant) (5.200 m/s), maar er dient op gewezen te worden dat de boring van Havelange een zone heeft geraakt met 62 % kalksteen en dolomiet, daar waar de boring in de vlakte van Focant vrijwel uitsluitend schiefer heeft aangeboord. Elk lithologisch niveau kan dus voorgesteld worden door een punt in het diagram met de snelheid in m/s in abscis en het percentage carbonaat in ordinaat (fig. 6). De meest waarschijnlijke kromme die deze twee waarden ver-

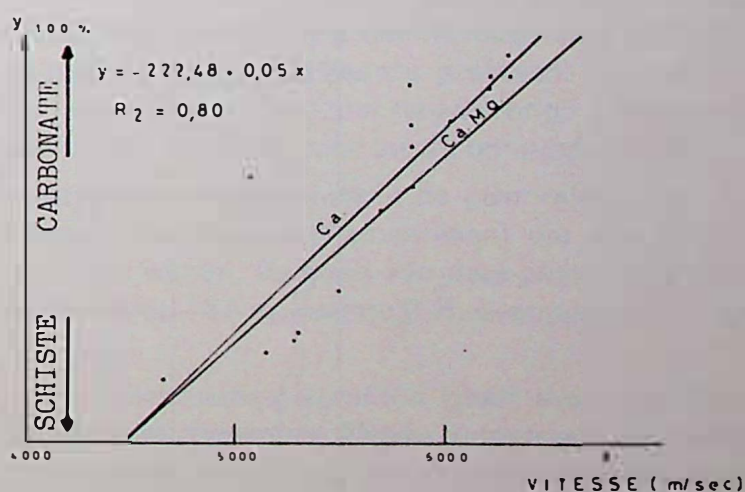


Fig. 6 — Relation entre la vitesse en m/s et le pourcentage en carbonate (calcaire ou dolomie)
Verhouding tussen de snelheid in m/s en het percentage carbonaat (kalk of dolomiet)

(1) De opgetekende diagrafieën tonen een reeks kleine variaties rond een gemiddelde waarde. In onze vereenvoudigde diagrammen geven we slechts deze gemiddelde waarde bekomen door het gemiddelde van de uitersten.

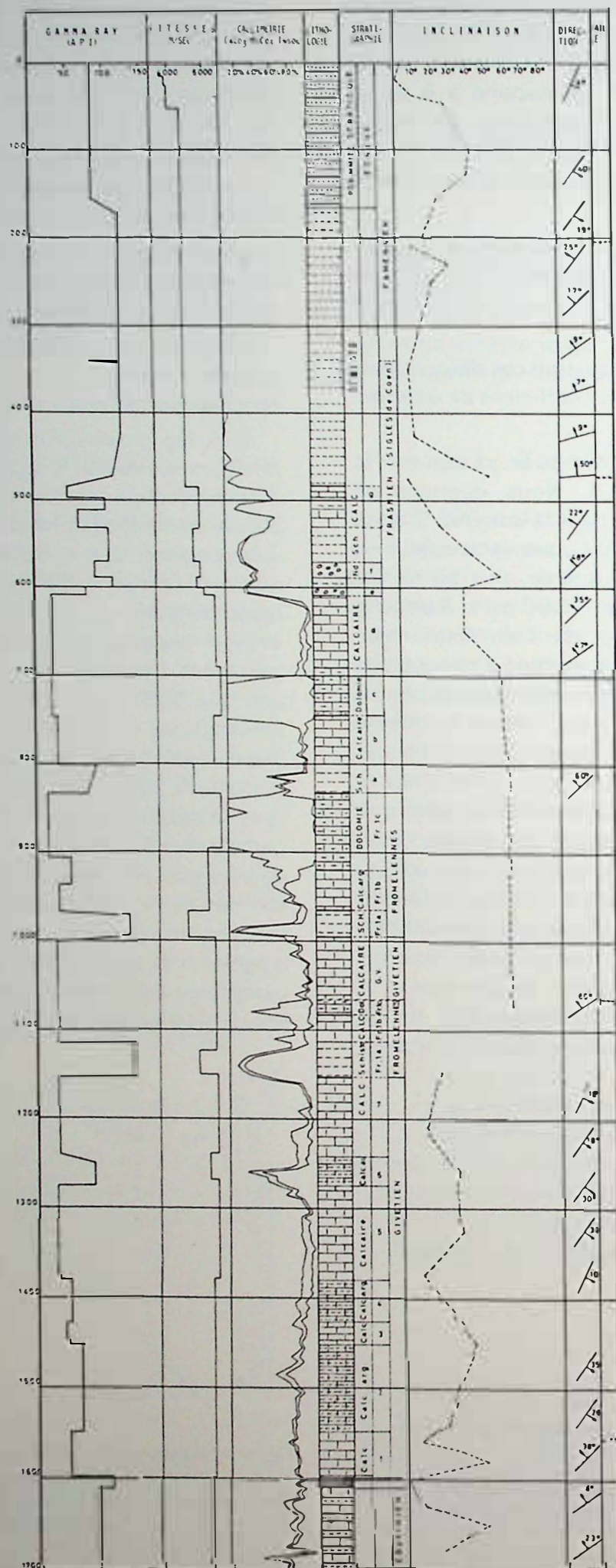


Planche 1 : Schlumberger simplifié - Calcimétrie - Lithologie
 Interprétation stratigraphie de 0 à 1.700 m
 Vereenvoudigde Schlumberger - Calcimetrie - Lithologie
 Stratigrafische interpretatie van 0 tot 1.700 m

$y = - 222,5 + 0,05 \times$ avec un coefficient de détermination de 0,80.

Nous donnons une autre courbe suivant le pourcentage en dolomie (CaMg).

Il est évident que ce diagramme ne vaut que pour le degré d'induration atteint par les roches dans cette région.

Pendagemétrie (continuous dipmeter). L'interprétation de la conductibilité électrique des roches enregistrée suivant quatre directions déterminées permet de calculer l'inclinaison et la direction des couches. Ces deux valeurs sont représentées dans les colonnes 6 et 7 de la planche 1.

Cette diagraphie permet en plus de se faire une idée sur la fréquence des joints de stratification qui sont plus espacés dans les calcaires et les dolomies que dans les schistes. Sur le même diagramme, la déviation du sondage est mesurée en degré et en azimut.

Les enregistrements suivants ont été réalisés : Caliper (calibrage du trou de sondage), Compensated Neutron (porosité) et Formation Density. En moyenne, nous avons les densités (g/cm^3) : 2,65 dans les schistes, 2,70 dans les calcaires et 2,75 dans les dolomies. La diagraphie de la porosité donne très bien les limites entre les calcaires et les schistes (calcaire aux environs de 0 et schistes en moyenne 0,25).

Interprétation du sondage de 0 à 1.700 m

De ces diagraphies, nous allons essayer d'interpréter le sondage, ce qui n'est possible qu'en se basant sur des stampes détaillées, relevées en surface par de minutieux stratigraphes dans la même zone isopique que les formations du sondage.

Le sondage a débuté dans les psammites stratoides de la formation d'Esneux (Famennien) qui affleurent en surface. La base de ces psammites se situe à 164 m où le GR passe de 82 à 117 API.

La diagraphie « densité » donne également cette profondeur, car au-dessus de cette cote, nous avons une suite très serrée de variation de densité qui correspond à l'alternance schiste-grès de la formation d'Esneux et, en dessous, une densité qui varie faiblement autour de $2,65 \text{ g}/\text{cm}^3$.

Sous 164 m, le sondage entre dans les schistes du Famennien et du Frasnien. La limite entre ces deux étages, basée par définition sur la biostratigraphie, ne peut se fixer en partant de mesures physiques. Pourtant, dans la coupe de la Route Nationale n° 4, M.

enigt is $y = 222,5 + 0,05 \times$ met een determinatiecoëfficiënt van 0,80.

We geven een andere curve volgens het percentage dolomiet (CaMg).

Het spreekt vanzelf dat dit diagram slechts geldig is voor de verhardingsgraad bereikt door de gesteenten in deze streek.

Hellingsmeting (Continuous dipmeter). De interpretatie van de elektrische geleidbaarheid van de gesteenten, opgemeten volgens vier bepaalde richtingen, maakt de berekening mogelijk van de helling en van de richting der lagen. Deze beide waarden worden weergegeven in de kolommen 6 en 7 van plaat 1. Deze diagrafie laat bovendien toe zich een idee te vormen over de frequentie van de laagheidsvlakken die verder uit mekaar liggen in de kalksteen en dolomieten dan in de schiefers. In hetzelfde diagram wordt de afwijking van de boring gemeten in graad en in azimut.

Volgende opmetingen werden verwezenlijkt : Caliper (kalibrering van het boorgat), Compensated Neutron (porositeit) en Formation Density. Gemiddeld hebben wij een dichtheid van (g/cm^3) : 2,65 in de schiefers, 2,70 in de kalksteen en 2,75 in de dolomieten. De diagrafie van de porositeit geeft zeer duidelijk de limieten tussen de kalksteen en de schiefer (kalksteen circa 0 en schiefer gemiddeld 0,25).

Interpretatie van de boring van 0 tot 1.700 m

Vanuit deze diagrafieën zullen we trachten de boring te interpreteren, wat slechts mogelijk is door zich te baseren op gedetailleerde profielen, aan de oppervlakte opgenomen door nauwkeurige stratigrafen in dezelfde isopische zone als de boringsformaties.

De boring is begonnen in de psammieten van de formatie van Esneux (Famenniaan) die aan de oppervlakte komen. De basis van deze psammieten bevindt zich op 164 m waar de G.R. overgaat van 82 tot 117 API.

De « dichtheids-diagrafie » geeft eveneens deze diepte, want boven dit niveau vinden we een reeks zeer dicht op mekaar volgende dichtheidsvariëaties die overeenstemmen met de afwisseling schiefer-zandsteen van de formatie van Esneux en, eronder, een dichtheid die zwak varieert om de $2,65 \text{ g}/\text{cm}^3$.

Onder de 164 m dringt de boring in de schiefers van het Famenniaan en het Frasniaan. De begrenzing tussen deze beide verdiepingen, per definitie gebaseerd op de biostratigraphie, kan niet bepaald worden op basis van fysische opmetingen. Nochtans heeft de

Coen a repéré cette limite à un banc de calcaire qui pourrait correspondre à la diminution brusque et très locale du GR à 341 m. En dessous de cette cote, le sondage entre donc dans le Frasnien.

Le Frasnien de cette région a été étudié en détail par M. Coen (*Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. 97, pp. 68-103, 1974) et nous allons comparer les diagraphies à la stampe relevée par lui dans la région de Heure-Sinsin, proche du sondage en reprenant les sigles de son texte et de sa colonne 1 de sa planche 1.

Le GR (117 API) reste constant et puis diminue assez brusquement pour atteindre 45 à 483 m et ensuite 94,59 et 98 à 530 m. Les valeurs 45 et 59 correspondent au double banc de calcaire argileux (g) marqué également par deux pointes dans le diagramme calcimétrie. De 570 à 588 m et de 600 à 608 m, une diminution du GR fixe les niveaux de calcaire noduleux f et e.

De 608 à 745 m, le GR reste constant (23), le sondage a donc traversé les calcaires (d) et les dolomies (c). Ces dernières sont bien mises en évidence par la calcimétrie et la diagraphie « densité ». De 745 à 800 m, nous avons les calcaires (b) avec GR = 28 API. A 800 m, le GR augmente brusquement (75 API), ce sont les schistes (a) de la base du Frasnien dont la base se situe à 832 m.

En résumé, les principaux niveaux repères du Frasnien relevés par M. Coen sont recoupés dans le sondage à :

Niveaux	j	g	f	e	d	c	b	a
Profondeurs								
Sommet	341	483	570	600	608	690	745	800
Base		530	588	608	690	745	800	832

N.B. : Le niveau h est très argileux et le niveau i est une lumachelle. Ils ne pourraient être repérés par les diagraphies.

Au point de vue tectonique, d'après la pendage-métrie, les roches du Frasnien ont une direction variant de N 35° E à N 75° E et une inclinaison de 25° vers le NW qui diminue pour atteindre 9° à 425 m. Puis l'inclinaison augmente pour atteindre 50° vers le NW à 470 m (direction N 85° E) pour tomber brusquement à 5° à 475 m. Il doit y avoir une faille de faible rejet à 472 m. Sous cette faille, l'inclinaison augmente pour atteindre 55° à 60° à partir de 690 m (direction N 45° à 55° E).

Sous les schistes « a » du Frasnien, nous avons la formation de Fromelennes, que nous traitons à part car les stratigraphes ne sont pas encore d'accord s'il faut la ranger à la base du Frasnien ou au sommet du

Hr. Coen in de ontsluitingen aan de Rijksweg nr. 4 deze begrenzing vastgesteld aan een kalksteenbank, die zou kunnen overeenstemmen met de bruuske en zeer plaatselijke vermindering van de GR op 341 m. Onder dit niveau komt de boring dus in het Frasniaan.

Het Frasniaan in deze streek werd in detail bestudeerd door de Hr. Coen (*Ann. Soc. Géol. Belg.* t. 97, blz. 67-103, 1974) en we zullen de vergelijking maken tussen de diagrafiën en het profiel dat door hem werd aangeduid in de regio Heure-Sinsin, in de nabijheid van de boring; we hernemen de tekens van zijn tekst en van kolom 1 van zijn plaat 1.

De GR (117 API) blijft constant en vermindert dan vrij bruusk om 45 te bereiken op 483 m en vervolgens 94,59 en 98 op 530 m. De waarden 45 en 59 stemmen overeen met de dubbele kleiachtige kalksteenbank (g) die eveneens door twee punten wordt aangeduid in het calcimetrie. Van 570 tot 588 m en van 600 tot 608 m wordt een vermindering van de GR de niveaus van noduleux kalk f en e.

Van 608 tot 745 m blijft de GR constant (23), de boring heeft dus de kalksteen (d) en de dolomieten (c) doorboord. Deze laatste wordt zeer duidelijk aangegevoeld door de calcimetrie en de « dichtheids »-diagrafie. Van 745 tot 800 m vinden we de kalksteen (b) met GR = 28 API. Op 800 m stijgt de GR plotseling (75 API), het zijn de schiefers (a) van de basis van het Frasniaan waarvan de basis zich op 832 m bevindt.

Samenvattend werden de voornaamste herkenningsslagen van het Frasniaan opgetekend door de Hr. Coen in de boring aangegevoerd op :

Niveaus	j	g	f	e	d	c	b	a
Diepte								
— top	341	483	570	600	608	690	745	800
— basis		530	588	608	690	745	800	832

N.B. : Niveau h is zeer kleiachtig en niveau i is schelpenkalk. Ze kunnen niet aangetoond worden door diagrafiën.

Tectonisch gezien, volgens de hellingsmeting, hebben de gesteenten van het Frasniaan een richting die varieert van N 35° E tot N 75° E en een helling van 25° naar het NW die op 425 m afneemt tot 9°. Dan stijgt de helling om op 470 m, 50° naar het NW te bereiken (richting N 85° E) en valt bruusk tot 5° op 475 m. Er moet een breuk met zwakke dislocatie zijn op 472 m. Onder deze breuk neemt de helling toe om 55° tot 60° te bereiken vanaf 690 m (richting N 45° tot 55° E).

Onder de « a » schiefers van het Frasniaan hebben we de formatie van Fromelennes, die we apart behandelen want de stratigrafen zijn het er nog niet over eens of ze dient ingedeeld te worden bij de basis van

Givetien. Cette formation a été étudiée par Coen, M. et Coen-Aubert, M. (Ann. Soc. Géol. Belg., t. 94, pp. 5-20, 1971).

Les schistes de base de Fromelennes (Fr1a) sont bien repérés par la calcimétrie et ses limites de 965 à 995 m sont fixées par le GR passant au sommet de 30 à 122 API; à la base, on enregistre une diminution nette (28 API). Au-dessus de ces schistes, la formation carbonatée peut se diviser en deux avec au sommet des dolomies (Fr1c) de 832 à 920 m (voir la calcimétrie et la vitesse qui est de 6.640 m/s) et à la base des calcaires argileux (Fr1b) de 920 à 965 m.

Sous la formation de Fromelennes, nous avons les calcaires du Givetien, mais un peu plus bas nous nous heurtons à un problème stratigraphique, car le GR nous indique la présence d'un banc de schiste de 1.075 à 1.152 m qui n'existe pas dans le Givetien. La solution à ce problème se trouve dans l'examen de la pendage et de la calcimétrie qui nous montre qu'entre 1.075 et 1.125 m, zone à peu de valeurs pendagemétriques variables, les couches passent d'une inclinaison de 60° vers le NW à une de 15° vers l'est. La direction des couches change également et passe de N 55° E à N 25° E. Nous en déduisons l'existence d'une faille à 1.066 m qui redouble une partie de la formation de Fromelennes, avec la dolomie (Fr1c) de 1.066 à 1.083 m, les calcaires argileux (Fr1b) de 1.083 à 1.113 m et les schistes de base (Fr1a) de 1.113 à 1.152 m.

Sous les schistes de la base de la formation de Fromelennes, à 1.152 m, le sondage entre dans les calcaires du Givetien. Le Givetien a été étudié en détail dans la région d'Hotton-Hampteau par J. Pel (Ann. Soc. Géol. Belg., t. 88, pp. B 471, 1965).

En me basant sur les diagraphies « Gamma Ray » et « Continuous Dipmeter », cette dernière nous donnant une idée sur l'épaisseur des bancs mettant ainsi en évidence les biostromes (zone C), j'ai essayé de retrouver dans le sondage les 20 séquences de J. Pel, mais je ne suis pas parvenu à un résultat satisfaisant. Un faciès plus septentrional a été étudié en détail dans la vallée de l'Aisne par A. Montjoie (Ann. Soc. Géol. Belg., t. 88, p. B 125, 1965). Ce dernier a divisé le Givetien en 7 périodes ou stampes qui sont numérotées de 1 à 7 en partant de la base et qui se différencient sur la base d'apports de matériaux terrigènes dans les stampes à numéro pair.

La calcimétrie semble moins précise pour fixer les limites lithologiques à partir d'environ 1.400 m. Mais il faut bien se rendre compte que, plus le sondage

het Frasniaan of bij de top van het Givetiaan. Deze formatie werd bestudeerd door Coen, M. en Coen-Aubert, M. (Ann. Soc. Géol. Belg., t. 94, blz. 5-20, 1971).

De schiefers van de basis van Fromelennes (Fr1a) worden goed aangeduid door de calcimetrie en zijn begrenzingen van 965 tot 995 m worden bepaald door de GR die overgaat, aan de top, van 30 naar 122 API; aan de basis tekent men een uitgesproken daling op (28 API). Boven deze schiefers kan de kalkhoudende formatie in twee gedeeld worden met de top van de dolomieten (Fr1c) van 832 tot 920 m (cf. de calcimetrie en de snelheid die 6.640 m/s bedraagt) en de basis van de kleiachtige kalksteen (Fr1b) van 920 tot 965 m.

Onder de formatie van Fromelennes hebben we de kalksteen van het Givetiaan, maar een beetje lager stoten we op een stratigrafisch probleem, want de GR wijst ons op de aanwezigheid van een schieferbank van 1.113 tot 1.152 m die niet bestaat in het Givetiaan. De oplossing van deze moeilijkheid ligt in het onderzoek van de « hellingsmeting » die aantoonde dat de lagen tussen 1.075 en 1.125 m, zone met weinig veranderlijke waarden van hellingsmeting, van een helling van 60° naar het NW overgaan naar 15° in oostelijke richting. De richting der lagen verandert eveneens en wordt van N 55° E, N 25° E. Wij besluiten hieruit tot het bestaan van een breuk op 1.066 m die een gedeelte van de formatie van Fromelennes dubbelt, met het dolomiet (Fr1c) van 1.066 tot 1.083 m, de kleiachtige kalk (Fr1b) van 1.083 tot 1.113 m en de basisschiefers (Fr1a) van 1.113 tot 1.152 m.

Onder de schiefers van de basis van de formatie van Fromelennes, op 1.152 m, komt de boring in de Givetiaankalksteen. Het Givetiaan werd in detail bestudeerd in de streek van Hotton-Hampteau door J. Pel (Ann. Soc. Géol. Belg., t. 88, blz. B 471, 1965).

Op basis van de diagrafieën « Gamma Ray » en « Continuous Dipmeter », waarbij deze laatste ons een idee geeft van de dikte der banken waardoor de biostromen (zone C) goed uitkomen, heb ik getracht in de boring de 20 cycli van J. Pel terug te vinden, maar ik heb geen voldoening gevend resultaat bereikt. Een noordelijker vormencombinatie werd in detail bestudeerd in de vallei van de Aisne door A. Montjoie (Ann. Soc. Géol. Belg., t. 88, blz. B 125, 1965). Deze laatste heeft het Givetiaan ingedeeld in 7 periodes of profielen genummerd van 1 tot 7 vanaf de basis, en die gedifferentieerd worden op basis van de inbreng van terrigeen materiaal in de profielen met een even nummer.

De calcimetrie lijkt minder precies om de lithologische grenzen te bepalen vanaf ongeveer 1.400 m. Maar men dient er zich wel rekenschap van te geven dat hoe dieper de boring gaat, hoe homogener de

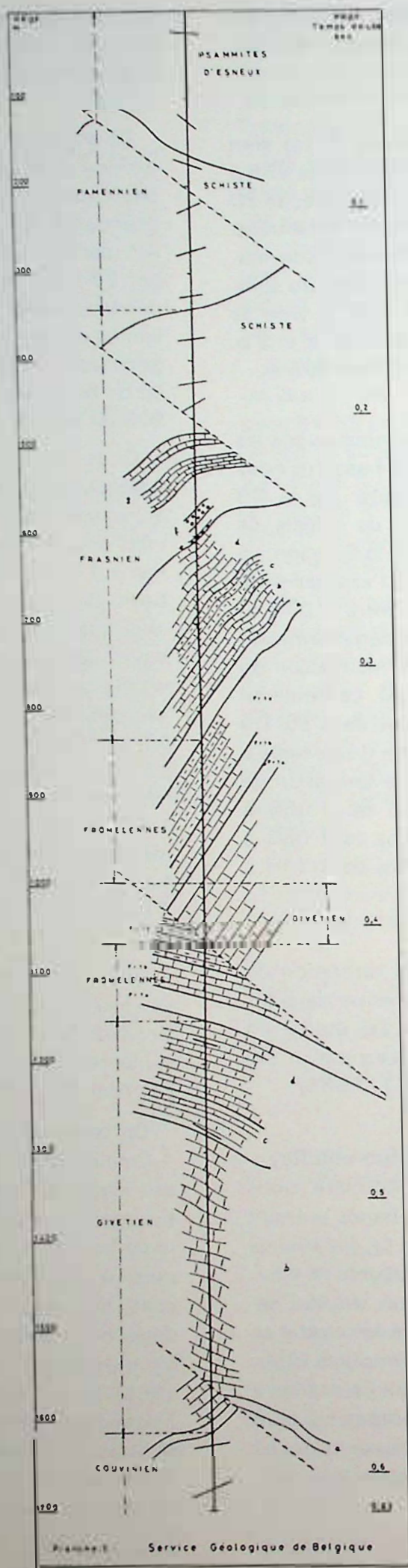


Planche 2 : Coupe géologique de 0 à 1.700m
 Geologische doorsnede van 0 tot 1.700 m

s'approfondit, plus le mélange des débris s'homogénéise et qu'il y a un apport plus grand de calcaire par les rechutes, le sondage n'étant pas tubé.

La diagraphie « Gamma Ray » permet de retrouver les sept stampes de A. Montjoie.

Gamma Ray (API)	Apports terrigènes	sommet (m)	Stampes n°.
28		1.152	7
75	oui	1.242	6
26		1.275	5
44	oui	1.380	4
37		1.427	3
58	oui	1.452	2
44		1.548	1
97	oui	1.596	Schiste de base du Givetien
		à 1.609	

Au point de vue tectonique, d'après la pendagemétrie, les couches du Givetien ont une inclinaison de 10° à 35° vers le SE avec une direction de N 25° E à N 35° E.

Sous 1.609 jusqu'à la base du sondage (1.705 m), nous avons un GR moyen de 77 API, ce qui correspond à un calcaire schisteux qui peut se ranger dans le Couvinien mais la stampe traversée est encore trop courte pour en avoir la certitude; en effet, d'après la pendagemétrie il y a, à 1.559 m, un changement entre l'inclinaison des terrains, qui passe de 26° vers le SE à 38° vers le NW, qui peut être le résultat d'un pli ou d'une faille, ce qui remettrait en question l'attribution à la base du Givetien et au Couvinien les roches en dessous de cette faille si elle a un rejet important.

3. CONCLUSIONS

L'interprétation des diagraphies permet de tracer la coupe géologique très probable du sondage que nous reproduisons à la planche 2. A la droite de cette coupe, nous donnons les profondeurs en temps double des géophysiciens, où 0,62 s correspond à 1.700 m, et nous devons arriver à 1,7 s pour atteindre le premier but du sondage, la grande surface de discontinuité décelée par la sismique.

mengeling van het gruis wordt, en dat er een grotere kalkinbreng is door het neervallen van kalkgruis vermits de boring daar niet verbuisd is.

Door diagrafie « Gamma Ray » kunnen de zeven profielen van A. Montjoie teruggevonden worden.

Gamma Ray (API)	Terrigene inbreng	Top (m)	Stampes nr.
28		1.152	7
75	ja	1.242	6
26		1.275	5
44	ja	1.380	4
37		1.427	3
58	ja	1.452	2
44		1.548	1
97	ja	1.596	Basisschiefer van het Givetiaan
		tot 1.609	

Tectonisch gezien, volgens de hellingsmeting, hebben de lagen van het Givetiaan een helling van 10° tot 35° naar het SE, met een richting van N 25° E tot N 35° E.

Onder de 1.609 m tot aan de basis van de boring (1.705 m), hebben we een gemiddelde GR van 77 API, wat overeenkomt met een schieferige kalk die in het Couviniaan kan geklasseerd worden, maar het doorboorde profiel is nog te kort om er zeker van te zijn; volgens de hellingsmeting is er inderdaad op 1.559 m, een verandering tussen de helling van de terreinen, die van 26° naar het SE overgaat in 38° naar het NW. Dit kan het gevolg zijn van een plooi of breuk, wat de indeling in vraag stelt van de basis bij het Givetiaan en van de gesteenten onder deze breuk bij het Couviniaan zo deze breuk een belangrijk bedrag heeft.

3. CONCLUSIES

Door de interpretatie van de diagrafieën kunnen we de zeer waarschijnlijke geologische doorsnede van de boring maken, die we in plaat nr. 2 geven. Rechts van deze doorsnede geven we de dieptes aan in dubbele tijd der geofysici, waar 0,62 s overeenkomt met 1.700 m, en wij moeten 1,7 s bereiken om tot het eerste doel van de boring te komen, het grote oppervlak van discontinuïteit dat seismisch werd aangetoond.

The following table shows the results of the experiment for the different values of the parameter α . The values of the function $f(x)$ are given in the first column, the values of the function $g(x)$ are given in the second column, and the values of the function $h(x)$ are given in the third column. The values of the parameter α are given in the fourth column.

$f(x)$	$g(x)$	$h(x)$	α
0.0	0.0	0.0	0.0
1.0	1.0	1.0	0.1
2.0	2.0	2.0	0.2
3.0	3.0	3.0	0.3
4.0	4.0	4.0	0.4
5.0	5.0	5.0	0.5
6.0	6.0	6.0	0.6
7.0	7.0	7.0	0.7
8.0	8.0	8.0	0.8
9.0	9.0	9.0	0.9
10.0	10.0	10.0	1.0

The results of the experiment show that the function $f(x)$ is a linear function of x , the function $g(x)$ is a quadratic function of x , and the function $h(x)$ is a cubic function of x . The values of the parameter α are given in the fourth column of the table. The values of the parameter α are given in the fourth column of the table.

CONCLUSIONS

The results of the experiment show that the function $f(x)$ is a linear function of x , the function $g(x)$ is a quadratic function of x , and the function $h(x)$ is a cubic function of x . The values of the parameter α are given in the fourth column of the table.

Initiation au forage pétrolier

Alexandre LEBLOND *

RESUME

Les forages pétroliers ont pour objectif les roches poreuses et perméables du sous-sol susceptibles de contenir des hydrocarbures.

L'architecture d'un sondage dépend de la profondeur et des caractéristiques des roches traversées. Elle est résumée dans le programme de forage et de tubage. Ce programme permet de calculer et de prévoir la durée des différentes opérations, le prix de revient du sondage et le choix de l'appareil de forage.

Depuis l'époque du « Colonel Drake », la technique de forage a évolué et les forages modernes utilisent celle de forage rotary qui consiste à faire tourner un trépan à molettes dentées soumis à un poids important fourni par des masses-tiges.

Le fluide de forage injecté à l'intérieur de la garniture de forage joue plusieurs rôles importants :

- remontée des déblais
- maintien des parois du trou
- contrôle des fluides contenus dans les roches.

Les caractéristiques de ce fluide appelé boue de forage sont adaptées pour résoudre les problèmes qui peuvent être posés par les roches traversées.

Les matériels de forage permettent de réaliser la fonction levage (remontée de la garniture pour les changements d'outils), la fonction pompage (injection du fluide de forage) et la fonction rotation.

La puissance motrice installée pour réaliser ces fonctions est de l'ordre de 300 chevaux par 1000 mètres de profondeur.

Initiatie in de petroleumboring

SAMENVATTING

Het doel van de petroleumboringen zijn de poreuse en doordringbare gesteenten van de ondergrond die koolwaterstoffen zouden kunnen bevatten.

De architectuur van een boring hangt af van de diepte en de kenmerken van de doorboorde gesteenten. Ze wordt samengevat in het boor- en pijpwerkprogramma. Door dit programma kan de duur van de verschillende operaties berekend en voorzien worden, evenals de kostprijs van de boring en de keuze van het boortoestel.

Sinds de tijd van de « Colonel Drake » is de boortechniek geëvolueerd en de moderne boringen maken gebruik van de rotary-boortechniek die bestaat in het doen draaien van een boorkop met getande kartelwielletjes, onder druk van een belangrijk gewicht geleverd door de zwaarstangen.

De boorvloeistof, geïnjecteerd binnen in de boorbekleding, speelt verschillende belangrijke rollen :

- opstuwning van de afval
- steun aan de wanden van de put
- controle van de vloeistoffen in de gesteenten.

De kenmerken van deze vloeistof, die boorslib wordt genoemd, zijn aangepast om de problemen op te lossen die de doorboorde gesteenten kunnen stellen.

Het boormateriaal laat de verwezenlijking toe van de hijsfunctie (ophalen van de uitrusting voor de verandering van werktuigen), de pompfunctie (injection van de boorvloeistof), en de rotatiefunctie.

Het motorvermogen geïnstalleerd voor de verwezenlijking van deze functies belooft 300 pk per 1000 meter diepte.

* Ingénieur I.F.P., Directeur, Ecole Nationale Supérieure du Pétrole et des Moteurs, Centre d'études supérieures de forage et d'exploitation des gisements, 4, avenue de Bois-Préau, Boîte Postale 311, F-92506 Rueil-Malmaison.

Pour forer en mer, les engins utilisés dépendent :

- de la profondeur d'eau
- des conditions météorologiques et océanographiques
- du type de puits.

La réalisation d'un puits, en dehors du forage proprement dit, nécessite l'utilisation de techniques particulières telles que :

- les opérations de cimentation
- les forages dirigés.

Certains incidents peuvent intervenir tels que :

- les instrumentations
- les venues de fluide.

Normalement, les foreurs disposent d'une panoplie de matériels et de méthodes permettant de résoudre ces différents problèmes.

Enfin, le but d'un forage étant la mise en évidence des gisements d'hydrocarbures, les méthodes de carottages, les mesures électriques, soniques ou nucléaires, les essais permettent de se faire une idée des formations traversées et de confirmer ou non les hypothèses des géologues.

Le coût des forages pétroliers représente une part importante de la recherche pétrolière et de nombreux efforts sont réalisés tant au point de vue méthode que matériel pour réduire ces coûts.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Erdölbohrungen haben die porösen und durchlässigen Gesteinsschichten des Untergrundes zum Ziel, bei denen angenommen werden kann, daß sie Kohlenwasserstoffe enthalten.

Die Planung einer Bohrung hängt von der Teufe und den Eigenschaften der durchfahrenen Gesteinsschichten ab. Sie ist in dem Bohr- und Verrohrungsprogramm zusammengefaßt. Dieses Programm gestattet, die Dauer der verschiedenen Arbeiten, den Selbstkostenpreis der Bohrung und die Bohrausrüstung zu berechnen.

Seit der Epoche des « Colonel Drake » hat die Bohrtechnik Fortschritte gemacht, und bei den modernen Bohrungen wird das Rotarybohren verwendet. Bei dieser Technik läßt man einen Zahnrollen-Bohrkopf rotieren, auf dem das große Gewicht der Schwerstangen lastet.

Die in das Bohrgestänge injizierte Bohrflüssigkeit spielt mehrere wichtige Rollen :

- Abführung des Bohrkleins
- Stützung der Wände des Bohrlochs

Voor boringen ter zee zijn de gebruikte tuigen afhankelijk van :

- de diepte van het water
- de meteorologische en oceanografische omstandigheden
- het type van de put.

De verwezenlijking van de put, buiten de eigenlijke boring, maakt de aanwending noodzakelijk van bijzondere boortechnieken zoals :

- de cementeringsoperaties
- de geleide boringen.

Er kunnen zich bepaalde incidenten voordoen zoals :

- het opvissen van gevallen voorwerpen die de operatie storen
- de aanbreng van vloeistof.

Normaal beschikken de boorers over een heel gamma materiaal en methodes die de oplossing van deze verschillende problemen mogelijk maken.

Tenslotte is het doel van een boring, het zichtbaar maken van koolwaterstoflagen, de logmethodes, de elektrische, sonische of nucleaire metingen en de proeven laten toe zich een idee te vormen over de doorboorde formaties en de hypothesen der geologen al dan niet te bevestigen.

De prijs van de petroleumboringen vertegenwoordigt een belangrijk deel van de petroleumresearch, en talrijke inspanningen worden geleverd om deze kosten te drukken zowel voor wat de methode als het materiaal betreft.

SUMMARY

Drilling for oil consists of sinking borings into the porous and permeable rock strata which seem likely to contain hydrocarbons.

The character of a well depends on the depth and the characteristics of the rock it penetrates. It is set out in the drilling / casing plan. This is a programme which makes it possible to calculate and forecast the time needed for the various operations, the cost of the well and the choice of drilling rig.

Since the time of « Colonel Drake », drilling techniques have evolved; modern borings are made using rotary drilling, which consists of rotating a toothed roller bit which is under heavy load applied by the heavy drill collars.

The drilling mud which is injected inside the drill string performs several important tasks :

- lifting the cuttings to the surface,
- protecting the walls of the borehole,

- Kontrolle der Flüssigkeiten in dem Gestein.

Die Eigenschaften dieser Bohrflüssigkeit, die Bohrschlamm genannt wird, werden an die durchfahrenen Gesteinsschichten angepaßt, um eventuell auftretende Probleme zu lösen.

Die Bohrmaterialien gestatten, die Funktion Heben (Herausziehen des Bohrgestänges zum Wechseln der Werkzeuge), die Funktion Pumpen (Injizieren der Bohrflüssigkeit), und die Funktion Rotieren zu verwirklichen.

Die zur Verwirklichung dieser Funktionen installierte Antriebsleistung beträgt ungefähr 300 PS pro 1000 m Teufe.

Bei Bohrungen im Meer hängen die verwendeten Ausrüstungen von folgenden Faktoren ab :

- der Wassertiefe
- den meteorologischen und ozeanographischen Bedingungen
- der Art des Bohrschachtes.

Die Verwirklichung eines Bohrschachtes erfordert außer der eigentlichen Bohrung die Verwendung besonderer Techniken, wie zum Beispiel :

- der Zementierung
- der gerichteten Bohrung.

Dabei können gewisse Zwischenfälle auftreten, betreffend :

- die Fangarbeiten
- das Eindringen von Flüssigkeiten.

Die Bohrfirmen verfügen gewöhnlich über ein ganzes Arsenal an Materialien und Methoden, um diese verschiedenen Problemen zu lösen.

Da das Ziel einer Bohrung der Nachweis von Kohlenwasserstoffe-Vorkommen ist, gestatten die Bohrkerngewinnungsmethoden, die elektrischen Messungen, die Schallmessungen, die radiaktiven Messungen und die Versuche schließlich, sich eine Vorstellung von den durchfahrenen Formationen zu machen und die Hypothesen der Geologen zu bestätigen oder nicht zu bestätigen.

Die Kosten der Erdölbohrungen stellen einen bedeutenden Anteil an den Aufwendungen für die Erdölsuche dar, und sowohl hinsichtlich der Methode, als auch hinsichtlich des Materials werden zahlreiche Anstrengungen unternommen, um diese Kosten zu senken.

- maintaining control over the fluids contained in the rock strata.

The characteristics of the drilling mud are varied to cope with the problems resulting from the rock strata traversed by the borehole.

The drilling equipment is used to perform the following functions :

- lifting the drill string for changing the bit,
- pumping (injection of the drilling mud),
- rotating the drill bit.

The installed power needed for these functions is of the order of 300 (metric) hp per 1000 metres of depth.

For undersea drilling, the equipment is chosen in the light of :

- the depth of water,
- the meteorological and oceanographic conditions,
- the type of well.

Apart from the drilling proper, drilling a well calls for the use of special techniques such as

- cementation work,
- directional drilling.

Certain troubles may be encountered : it may be necessary to carry out a fishing job, there may be inrushes of water or liquids.

Usually the drilling team has a whole series of equipment and method which enable them to solve these different problems.

Ultimately, since the aim of a drilling operation is to detect the presence of deposits of hydrocarbons, the method of coring, the measurements, made by electrical, sonic or radioactive means, and the test make it possible to build up a picture of the strata penetrated and to decide whether the hypotheses of the geologists are correct or not.

The cost of drilling constitutes a large part of the expenditure on the search for oil, and a great deal of work is being done on both equipment and methods with a view to reducing.

1. Architecture d'un sondage
2. Historique
3. Principe du forage rotary et turboforage
4. Les trépan
5. Le fluide de forage
6. Matériel de forage
7. Engins de forage
8. Tubage et cimentation
9. Instrumentations
10. Forages dirigés
11. Contrôle des éruptions
12. Carottage, diagraphies, tests
13. Prix de revient des forages

On appelle « Forage pétrolier » l'ensemble des opérations permettant d'atteindre les roches poreuses et perméables du sous-sol, susceptibles de contenir des hydrocarbures liquides ou gazeux.

L'implantation d'un forage pétrolier est décidée à la suite des études géologiques et géophysiques effectuées sur un bassin sédimentaire. Ces études permettent de se faire une idée de la constitution du sous-sol et des possibilités de gisements, mais elles ne peuvent préciser ou non la présence d'hydrocarbures. Seuls les forages pourront confirmer les hypothèses faites et mettre en évidence la nature des fluides contenus dans les roches.

L'incertitude quant à la nature des fluides piégés dans le sous-sol et la complexité des dépôts sédimentaires expliquent le nombre encore élevé de forages d'exploration négatifs (un sondage d'exploration productif pour douze négatifs) et la part importante du coût des forages dans le coût de la recherche.

1. ARCHITECTURE D'UN SONDAGE

Le profil d'un forage pétrolier dépend de sa profondeur (de quelques centaines de mètres à 8.000 m) et de l'objectif.

Ce profil est résumé dans le programme de forage et tubage (fig. 1) du puits qui précise les caractéristiques des différentes phases de forage successives entre lesquelles le trou est « tubé », c'est-à-dire cuvelé par une colonne de tubes en acier.

1. Architectuur van een boring
2. Historiek
3. Principe van de rotary- en turboboring
4. Boren
5. Boorvloeistof
6. Boormateriaal
7. Boortoestellen
8. Pijpwerk en cementering
9. Instrumentatie
10. Geleide boringen
11. Eruptiebeheersing
12. Loggen - diagrafieën - tests
13. Kostprijs van de boringen

« Petroleum boring » is de benaming voor het geheel der operaties waardoor men de poreuse en doordringbare gesteenten van de ondergrond kan bereiken die mogelijkwijs vloeibare of gasvormige koolwaterstoffen bevatten.

Tot de inplanting van een petroleum boring wordt besloten na de uitvoering van geologische en geofysische studies op een afzettingsbekken. Door deze studies kan men zich een voorstelling vormen van de samenstelling van de ondergrond en de kansen op een afzetting, maar ze kunnen de aan- of afwezigheid van koolwaterstoffen niet aantonen. Alleen de boringen kunnen de gemaakte hypothesen bevestigen en de aard van de in de gesteentes vervatte fluidums aantonen.

De onzekerheid wat de aard van de in de ondergrond vervatte fluidums betreft en de complexiteit van de sedimentatie-afzettingen, verklaren het nog steeds hoge aantal negatieve exploratieboringen (één produktieve exploratieboring voor twaalf negatieve), en het belangrijke aandeel van de boorkosten in de research-kosten.

1. ARCHITECTUUR VAN EEN BORING

Het profiel van een petroleum boring hangt af van haar diepte (van enkele honderden meter tot 8.000 m), en van de doelstelling.

Dit profiel wordt samengevat in het boor- en verbuizingsprogramma (fig. 1) van de schacht dat de kenmerken preciseerd van de onderscheiden opeenvolgende boorfases waartussen het gat met buizen wordt voorzien, d.w.z. beschoeid door een reeks stalen buizen.

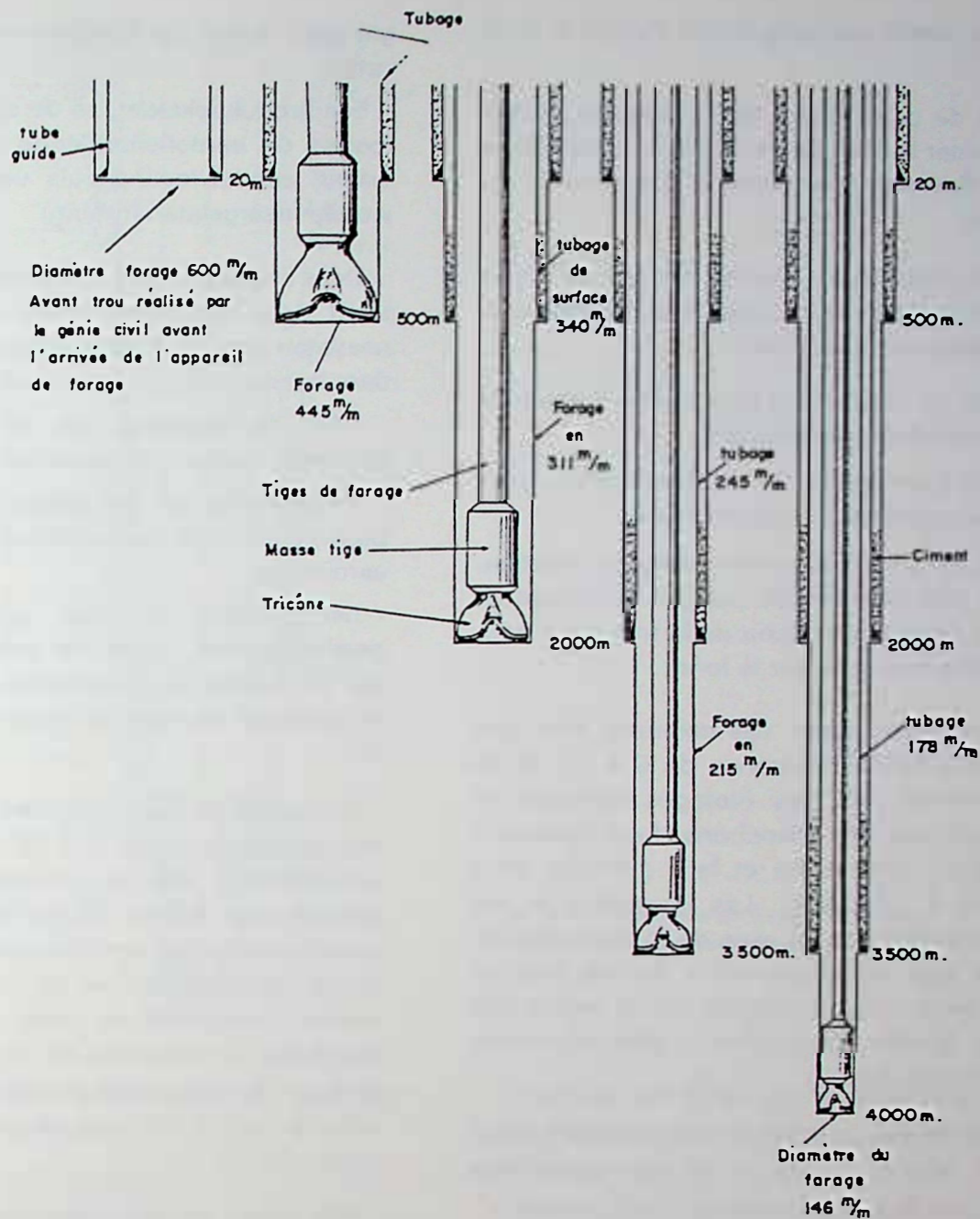


Fig. 1 — Programme de forage et tubage
 Programma van boring en pijpwerk

Tube guide : geleidebuis

Diamètre forage : doorsnedeboring

Avant trou réalisé par le génie civil : vóórboring uitgevoerd door de burgerlijke engineering

Forage : boring

Tiges de forage : boorpennen

Masse tige : Massa pen

Tricône : driekegel

Ciment : cement

Dans la plupart des cas, les sondages pétroliers comportent deux ou trois phases de forage qui permettent de mettre en place :

- une colonne de surface destinée à retenir les terrains de surface peu consolidés. Sa longueur est comprise entre 100 et 1.000 m. Cette colonne sert en outre de support à la tête de puits

- une colonne technique si nécessaire, pour éliminer les couches ou fluides susceptibles d'empêcher la poursuite du forage; par exemple des terrains

In de meeste gevallen omvatten de olieboringen twee of drie boorfases waardoor volgende onderdelen kunnen geplaatst worden :

- Een oppervlaktekolom bestemd voor het vasthouden van de weinig verstevigde oppervlaktegronden. De lengte ervan varieert van 100 tot 1.000 m. Deze kolom doet bovendien dienst als steun voor de schachtkop.

- Zo nodig een technische kolom, om de lagen of fluidums te verwijderen die het voortzetten van de boring zouden kunnen hinderen; b.v. instortende

éboulants, des zones contenant des fluides à forte pression

- une colonne de production, si le puits est positif, qui permet d'isoler la zone pétrolière et à l'intérieur de laquelle sera descendu un tube d'écoulement du pétrole (tubing).

Ces diverses colonnes sont cimentées par un lait de ciment placé entre la paroi du trou et la colonne aussitôt après la descente de celle-ci.

Avant la mise en place de la colonne de surface, le démarrage du sondage consiste en :

- la pose d'un tube guide par le Génie Civil avant l'arrivée de l'appareil de forage terrestre,
- le battage d'un tube conducteur, avec un marteau pneumatique, dès l'arrivée de l'engin de forage en mer sur le site, pour s'affranchir de la tranche d'eau, quand les engins reposent sur le fond.

Les tubes qui constituent ces colonnes sont des tubes en acier à haute résistance de 9 à 12 m de longueur, terminés par des filetages spéciaux et réunis entre eux par des manchons. Leur épaisseur est de l'ordre du centimètre et leur diamètre peut varier de 500 à 114 mm. Les longueurs et les diamètres des différentes phases de forage sont décidés à partir des renseignements fournis par les géologues et les sondages voisins, sur la nature des terrains et des fluides susceptibles d'être rencontrés au cours du forage. (fig. 2)

Par exemple, le programme de forage et de tubage d'un puits à 5.000 m réalisé sur les gisements de la région de Pau est le suivant :

- forage en 445 mm de la surface à 1.000 m;
- colonne de surface de 340 mm placée entre 0 et 1.000 m;
- forage en 311 mm de 1.000 m à 3.500 m;
- colonne technique de 245 mm placée entre 0 et 3.500 m;
- forage en 216 mm de 3.500 à 5.000 m;
- colonne de production de 178 mm placée entre 0 et 5.000 m;
- forage de la zone productrice en 146 mm de 5.000 m à 5.500 m.

Par contre, un sondage à 550 m, réalisé sur le gisement d'Edjeleh au Sahara, comportera :

- forage en 311 mm et tubage en 245 mm vers 40 m.
- forage en 200 mm et tubage en 140 mm vers 550 m.

gronden, zones die fluidums onder sterke druk bevatten.

- Een produktiekolom, zo de schacht positief is, die toelaat de aardoliehoudende zone te isoleren en waarin een afvloeiingsbuis voor de petroleum zal worden neergelaten (tubing).

Deze onderscheiden kolommen worden gecementeerd door een cementmelk die dadelijk na het neerlaten van de kolom aangebracht wordt tussen deze laatste en de schachtwand.

Vóór de plaatsing van de kolom aan de oppervlakte, bestaat het opstarten van de boring in :

- de plaatsing van een gidsbuis door de burgerlijke bouwkunde vóór de aankomst van het toestel voor aardboring;
- het inheien van een geledebuis, met een persluchthamer, zodra het toestel voor boringen in zee ter plaatse is aangekomen, om de waterlaag te lenspompen wanneer de toestellen op de bodem rusten.

De buizen die deze kolommen vormen zijn in staal met hoge weerstand, 9 à 12 m lang, met speciale schroefdraden aan de uiteinden en onderling verbonden door moffen. Ze zijn een centimeter dik en hun doormeter kan variëren van 500 tot 114 mm. De lengte en doormeter van de verschillende boorfases worden vastgesteld op basis van de gegevens verstrekt door de geologen en de boringen in de omgeving, i.v.m. de aard van de gesteenten en de fluidums waarop men in de loop van de boring zou kunnen stoten (fig. 2).

Het boor- en buizingsprogramma, bijvoorbeeld, van een schacht op 5.000 m verwezenlijkt op afzettingen in de streek van Pau, ziet er als volgt uit :

- Boring van 445 mm van het oppervlak op 1.000 m.
- Oppervlaktekolom van 340 mm, geplaatst tussen 0 en 1.000 m.
- Boring van 311 mm, van 1.000 tot 3.500 m.
- Technische kolom van 245 mm, geplaatst tussen 0 en 3.500 m.
- Boring van 216 mm, van 3.500 tot 5.000 m.
- Produktiekolom van 178 mm, geplaatst tussen 0 en 5.000 m.
- Boring van de produktiezone op 146 mm, van 5.000 tot 5.500 m.

Daarentegen zal een boring van 550 m, verwezenlijkt op de afzetting van Edjeleh in de Sahara, het volgende omvatten :

- Boring van 311 mm en pijpwerk van 245 mm tegen de 40 m.
- Boring van 200 mm en pijpwerk van 140 mm tegen de 550 m.

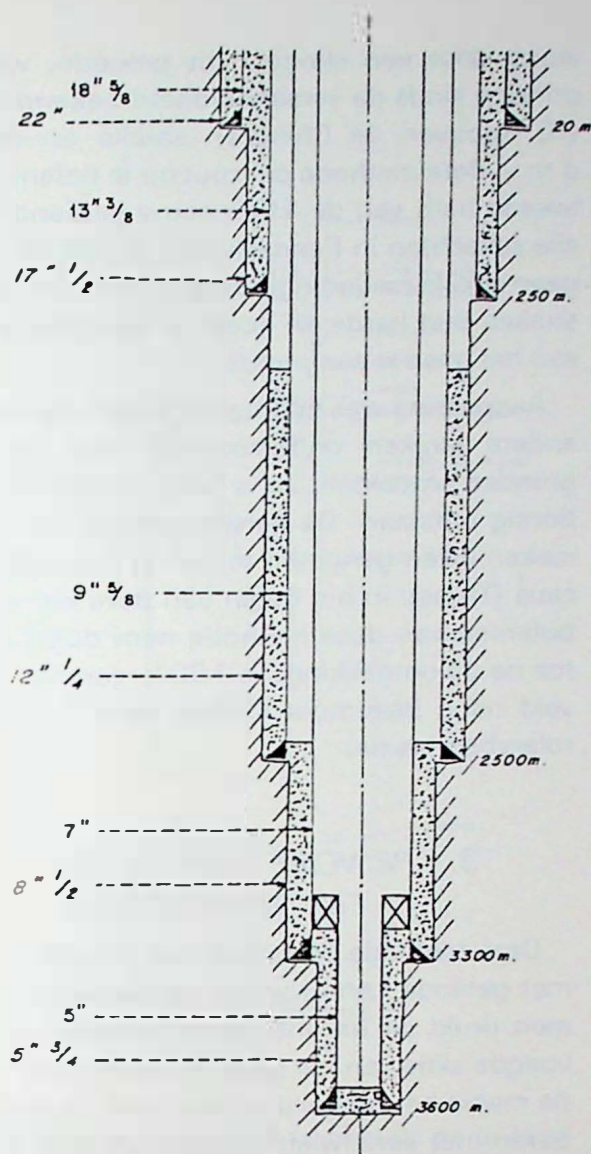


Fig. 2 — Programme de forage et tubage
Programma van de boring en pijpwerk

La connaissance de l'architecture du sondage permet de calculer et de prévoir :

- le choix de l'appareil de forage;
 - la durée des diverses opérations;
 - les approvisionnements nécessaires;
 - les consommations de produits et de matériel,
- et finalement la durée totale et le prix de revient du sondage.

En 1972, le puits le plus profond du monde a atteint la profondeur de 8.100 m.

En 1982, le puits le plus profond foré aux USA atteignait 9.583 m.

2. HISTORIQUE

Lorsque le « colonel » Drake forsa son premier puits de pétrole en août 1859, à 23 m de profondeur près de Titusville en Pennsylvanie (USA), il employa tout naturellement le système de forage par battage au câble qui utilise, pour attaquer le terrain, l'impact d'un lourd trépan suspendu au bout d'un câble qui lui transmet, depuis la surface, un mouvement alternatif créé par un balancier. Ce procédé, dont le principe est

Door de kennis van de architectuur van de boring kunnen volgende elementen berekend en voorzien worden :

- de keuze van het boormateriaal,
- de duur van de onderscheiden operaties,
- de noodzakelijke bevoorrading,
- het verbruik van produkten en materiaal,

en, tenslotte, de totale duur en de kostprijs van de boring.

In 1972 bereikte de diepste schacht ter wereld een diepte van 8.100 m.

In 1982 bereikte de diepste schacht die in USA geboord werd, 9.583 m.

2. HISTORIEK

Toen « kolonel » Drake zijn eerste petroleumput boorde in augustus 1859, op 23 m diepte nabij Titusville in Pennsylvanie (V.S.A.), gebruikte hij als vanzelfsprekend het boorsysteem door inheien met kabel dat om op het terrein in te slaan gebruik maakt van de impact van een zware beitel opgehangen aan het uiteinde van een kabel die van aan de oppervlakte een alternatieve beweging overbrengt die gecreëerd

connu depuis la plus haute antiquité (3.000 ans avant J.C., les Chinois creusaient des trous étroits et profonds par cette méthode pour extraire du sel) a servi, pendant la deuxième moitié du XIX^{me} siècle, à forer la quasi totalité des puits de Pennsylvanie. Il est resté sans rival tant que l'on s'est cantonné dans ces régions aux terrains durs et bien consolidés auxquels il est bien adapté.

Il fallut s'adapter lorsque les prospecteurs s'attaquèrent à d'autres régions où ils découvrirent des terrains plus difficiles. C'est ainsi que germa le procédé de forage rotary. Les premiers essais de cette technique semblent avoir été faits sur le champ de Corsicana (Texas), au début de ce siècle, et la nouvelle méthode vit sa popularité se développer d'une manière fulgurante à la suite de la découverte, en 1901, par un certain J.F. Lucas, du champ de Spindletop près de Beaumont (Texas) au moyen d'un appareil de forage rotary.

3. PRINCIPE DU FORAGE ROTARY ET TURBOFORAGE

Cette méthode consiste à utiliser des trépan à molettes dentées ou des trépan diamantés sur lesquels on appuie et que l'on fait tourner. L'action combinée du poids sur le trépan et de sa rotation permet, soit aux dents des trépan à molettes d'écailler la roche soit aux trépan diamantés de strier et de détruire celle-ci.

La rotation du trépan est obtenue en faisant tourner l'ensemble des tiges de forage (tubes d'acier de 9 m de longueur raccordés par des joints filetés) qui relient le trépan à la surface. Grâce à la tige supérieure de section carrée ou hexagonale qui s'engage dans un logement de même forme, solidaire d'une table de rotation, entraînée par un moteur, il est possible de faire tourner l'ensemble des tiges et du trépan.

Le poids sur le trépan est obtenu par 100 à 200 m de tubes très épais appelés « masse-tiges » pesant 100 à 300 daN/m et placés juste au-dessus du trépan; ces masses-tiges, ayant un diamètre voisin de celui du trépan, tendent à maintenir la verticalité du trou.

Pour éliminer les débris de roches détachés du fond par le trépan, on emploie la technique de la circulation de fluides inventés par un ingénieur français, M. Fauvelle, en 1845. Elle consiste à injecter à l'intérieur des tiges de forage une boue de forage (mélange d'eau et d'argile) qui, passant par les orifices du trépan, remonte dans l'espace annulaire entre le trou et les tiges de forage et entraîne avec elle, au cours de sa remontée, les déblais jusqu'à la surface. Il suffit,

wordt door een slinger. Dit procédé, waarvan het principe sinds de verste Oudheid bekend is (in 3000 v.C. groeven de Chinezen smalle en diepe gaten d.m.v. deze methode om zout op te halen), heeft in de tweede helft van de 19de eeuw gediend om vrijwel alle schachten in Pennsylvanie te graven. Het kende geen enkele mededinger zolang men zich beperkte tot streken met harde en goed versterkte grond waaraan het goed is aangepast.

Aanpassing was noodzakelijk toen de prospectoren andere streken onderzochten waar ze moeilijker gronden ontdekten. Zo is het procédé van de rotary-boring ontstaan. De eerste proeven met deze technieken lijken genomen te zijn in het veld van Corsicana (Texas), in het begin van dit eeuw, en de populariteit van deze methode nam toen langzaam toe na de ontdekking, in 1901, van het Spindletop-veld nabij Beaumont (Texas) met behulp van een rotaryboortoestel.

3. PRINCIPE VAN DE ROTARY-EN TURBOBORING

Deze methode bestaat in het gebruiken van boren met getande kartelwielletjes of diamantboren waarop men drukt en die men doet draaien. De samengevoegde actie van het gewicht op de boor en zijn rotatie maakt het mogelijk ofwel, voor de tanden van de boren met kartelwielletjes het gesteente af te schilferen, ofwel voor de diamantboren, het gesteente te groeven en te vernietigen.

De draaibeweging van de boor wordt verkregen door het draaien van het geheel der boorpennen (9 m lange stalen buizen verbonden door voegen met schroefdraad) die de boor met de oppervlakte verbinden. Dank zij de bovenste pen met vierkante of zeshoekige doorsnede die in een omhulsel van dezelfde vorm overgaat, dat solidair verbonden is met een draaitafel, aangedreven door een motor, is het mogelijk het geheel van de pennen en de boor te doen draaien.

Het gewicht op de boor wordt verkregen door 100 à 200 m zeer dikke buizen, « massapennen » genoemd die 100 à 300 daN/m wegen en net boven de boor worden geplaatst; deze massapennen met een doormeter die die van de boor benadert, strekken tot het behoud van de vertikaliteit van het gat.

Om de gesteente-afval te verwijderen die ondergronds door de boor wordt losgemaakt, gebruikt men de techniek van fluïdumcirculatie die werd uitgevonden door een Frans ingenieur, M. Fauvelle, in 1845. Ze bestaat erin binnen in de boorpennen boorslijck te spuiten (mengsel van water en klei), dat, na zijn doorgang door de openingen van de boor, terug opstijgt in de ringvormige ruimte tussen het gat en de boorpennen en in zijn stijging de afval naar de op-

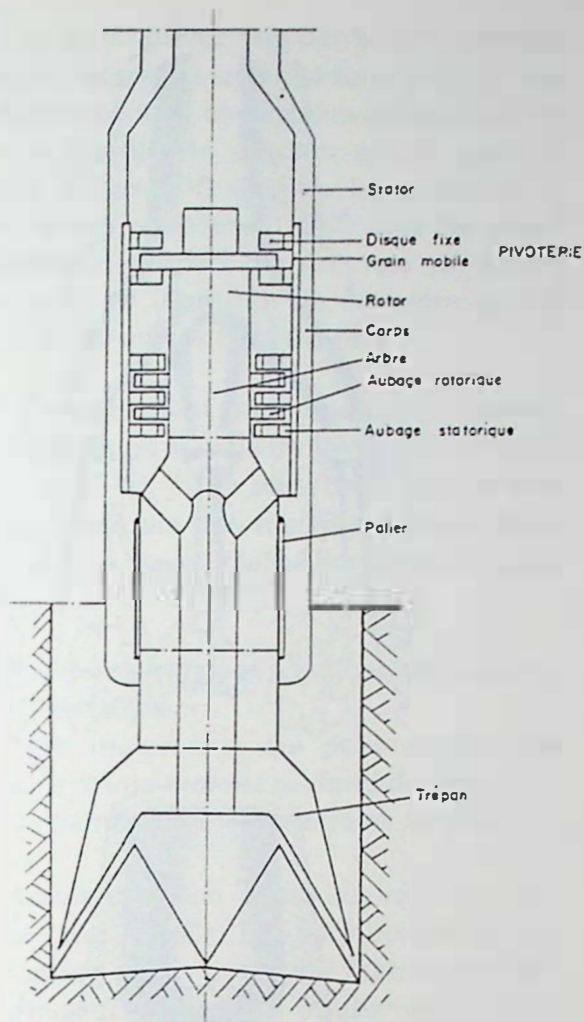


Fig. 3 — Turbine de forage

Boorturbine

Disque fixe : *vaste schijf*

Grain mobile : *bewegelijke toetschijf*

Pivoterie : *draai-eenheid*

Arbre : *stang*

Aubage rotorique : *rotorschoep*

Aubage statorique : *statorschoep*

Palier : *lager*

Trépan : *boorkop*

avant de renvoyer la boue dans le circuit, de la faire passer sur un tamis vibrant afin d'éliminer les déblais et d'en récupérer une partie pour les géologues, qui peuvent ainsi connaître la nature des terrains traversés.

Une variante de cette technique consiste à assurer la rotation du trépan par une turbine de forage placée juste au-dessus de celui-ci et mise en rotation par le fluide de forage. Dans ce cas, les tiges de forage ne tournent pas et la puissance est directement fournie au trépan. Ces turbines (fig. 3) comportent 100 à 250 étages, chacun d'eux constitué d'un élément mobile et d'un ensemble fixe. Elles ont des puissances de l'ordre de 150 CV et peuvent fournir des vitesses de rotation variant entre 700 et 1.000 tr/min pour des chutes de pression de quelque 60 bar à 100 bar.

4. TREPANS

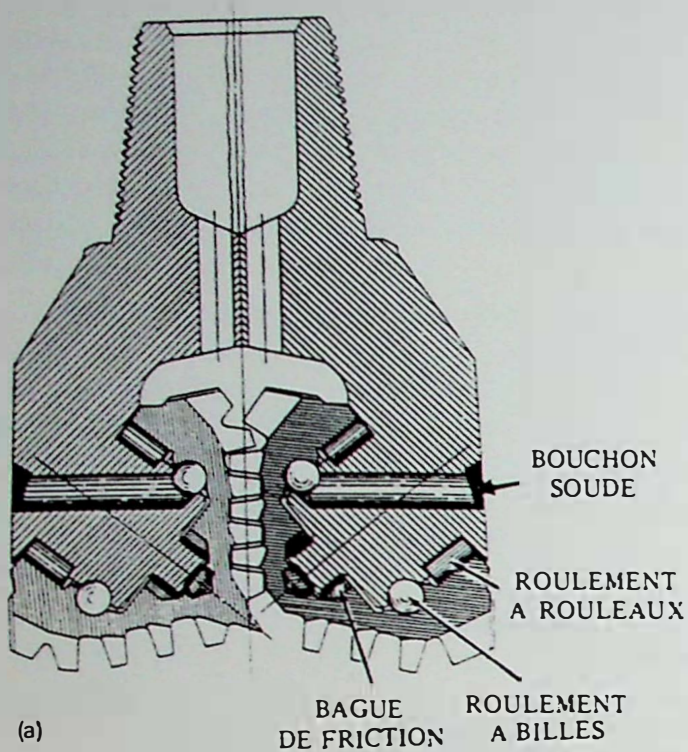
Les trépan à molettes ou tricônes sont constitués de trois molettes dentées, montées par l'intermédiaire de roulements sur les axes de trois bras réunis entre eux par soudure. Un filetage permet de visser l'outil aux masses-tiges.

pervlakte meeslept. Het volstaat, vóór het terug in circuit brengen van het slijk, dit laatste langs een trillende zeef te leiden om het puin te verwijderen en er een gedeelte van te recupereren voor de geologen, die op deze manier de aard van de doorboorde lagen kunnen kennen.

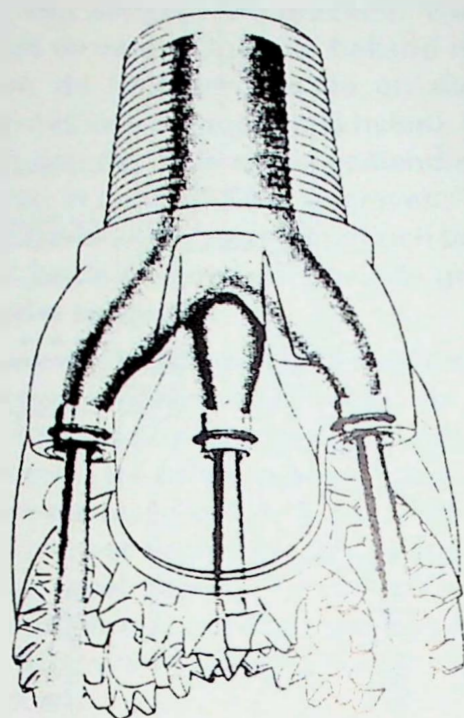
Een variante op deze techniek bestaat in het verzekeren van de draaibeweging van de boor door een boorturbine die net boven de boor wordt geplaatst en in rotatie gebracht door de boorvloeistof. In dit geval draaien de boorpennen niet, en het vermogen wordt rechtstreeks aan de boor geleverd. Deze turbines (fig. 3) omvatten 100 tot 250 verdiepingen, die elk bestaan uit een beweeglijk element en een vast geheel. Ze hebben een vermogen ter grootte van 150 pk en kunnen rotatiesnelheden leveren die variëren van 700 tot 1.000 omw./min voor drukdalingen van ongeveer 60 bar tot 100 bar.

4. DE BOREN

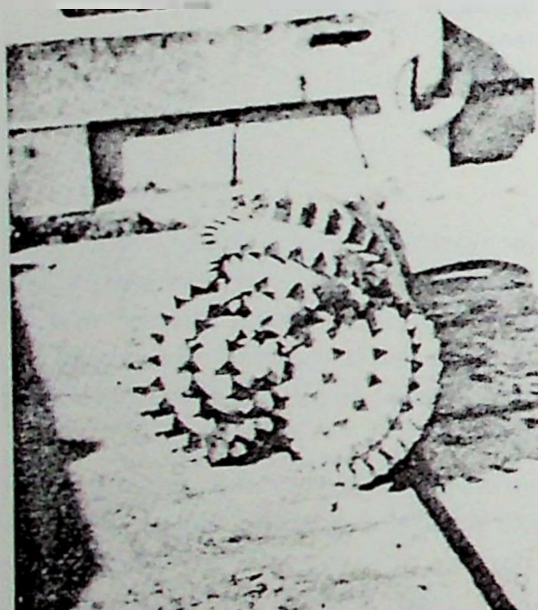
De boren met kartelwielletjes of driekegels bestaan uit drie getande kartelwielletjes, d.m.v. lagers gemonteerd op de assen van de drie armen die onderling verenigd zijn door een lasverbinding. Een schroefdraad laat toe het instrument aan de massapennen te schroeven.



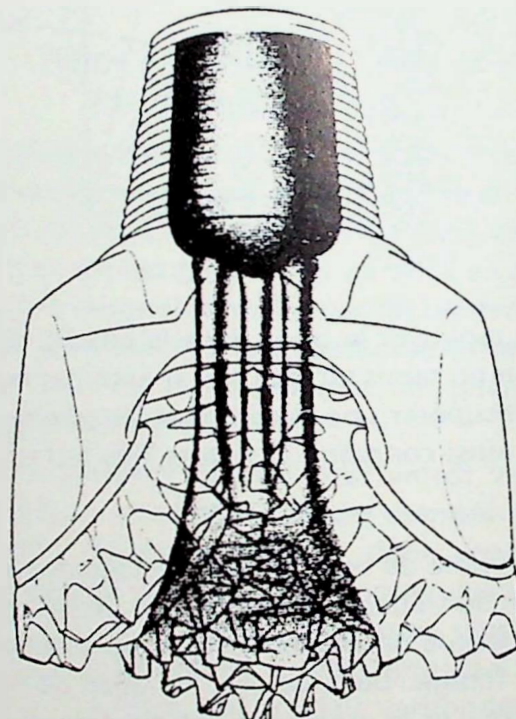
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4 — Trépan à molettes — Boorkop met kabelschijf

- a) Bouchon soudé : gelaste stop
- Roulement à rouleaux : rollager
- Roulement à billes : kogellager
- Bague de friction : wrijfring

- b) Trépan neuf
- c) Canaux à eau sur les trépan à duses
- d) Canaux à eau sur les trépan conventionnels

- b) Nieuwe boorkop
- c) Waterkanalen op de boorkoppen met openingen
- d) Waterkanalen op de conventionele boorkoppen

Les orifices de passage de la boue se trouvent dans l'axe du tricône dans ceux dits conventionnels. Ils sont sur les côtés du trépan dans les outils à jets et, dans ce cas, sont équipés d'orifices calibrés de petit diamètre qui permettent d'augmenter la vitesse du fluide de forage et de réaliser ainsi un nettoyage du fond du trou plus efficace.

De doorgangopeningen voor het slijk bevinden zich in de as van de drie kegels in de zgn. conventionele modellen. Ze bevinden zich aan de zijkanten van de boor in de straalwerktuigen en zijn, in dit geval, uitgerust met gekalibreerde openingen met kleine doormeter waardoor de snelheid van de boorvloeistof kan verhoogd worden en zo kan een meer afdoende reiniging van de put verwezenlijkt worden.

Le nombre et la longueur des dents des molettes dépendent de la nature du terrain à forer (fig. 4). Les paramètres de forage sont choisis suivant les terrains traversés, et la vitesse de rotation est en général comprise entre 50 et 300 tr/min. Le poids sur le trépan est de l'ordre de 250 à 1.000 daN par centimètre de diamètre de trépan; par exemple, un trépan pour terrains durs de 311 mm de diamètre pourra être utilisé à 100 tr/min et 30.000 daN.

La vitesse d'avancement des trépan est fonction de la nature des terrains et varie de 1 à 2 m/h dans les terrains durs, à 30 m/h et plus dans les terrains tendres. La durée de vie des tricônes dépasse rarement 24 heures et le travail réalisé par celui-ci a pour conséquences :

- une usure des dents qui peut aller jusqu'à la disparition complète de celles-ci;
- une usure des roulements qui peut quelquefois entraîner la perte d'une molette au fond du trou;
- une perte de diamètre dans les terrains abrasifs.

Dans les terrains durs, on utilise souvent des trépan diamantés (fig. 5). Ceux-ci sont constitués de diamants industriels sertis dans une matrice très résistante. La grosseur, le nombre de diamants, ainsi que la forme de l'outil, dépendent des terrains à forer. La durée de vie et le métrage réalisés par ces trépan sont importants et peuvent atteindre 700 à 800 m forés en 100 heures. Le prix de ces trépan est très élevé et est de l'ordre de quinze à vingt fois celui des tricônes.

La conduite du forage, c'est-à-dire le choix du trépan et des paramètres de forage (en particulier poids et vitesse de rotation) qui donneront le prix de revient minimum du mètre foré, est une opération délicate. En effet, les roches rencontrées dans le sous-sol sont extrêmement hétérogènes et les moyens, qui

Het aantal en de lengte van de tanden der kartelwielletjes hangen af van de aard van het aan te boren terrein (fig. 4). De boorparameters worden gekozen in functie van de doorboorde gesteentelagen, en de draaisnelheid is over het algemeen begrepen tussen 50 en 300 omw./min. Het gewicht op de boor is ter grootte van 250 à 1.000 daN per centimeter van de doormeter van de boor; een boor voor harde gesteenten van 311 mm doormeter bijvoorbeeld zal kunnen gebruikt worden aan 100 omw./min en 30.000 daN.

De vooruitgangssnelheid van de boren hangt af van de aard der gesteenten en varieert van 1 tot 2 m/u. in harde gesteenten, tot 30 m/u. en meer in zachte lagen. De leefduur van de drie kegelboren overschrijdt zelden de 24 uur en het erdoor uitgevoerde werk heeft voor gevolg :

- een slijtage van de tanden, die kan gaan tot het volledig verdwijnen ervan;
- een slijtage van de lagers die soms het verlies van een kartelwiel op de bodem van de put kan meebrengen;
- een doormeterverlies in schurende gesteenten.

In harde terreinen gebruikt men vaak diamantboren (fig. 5). Deze bestaan uit industriële diamanten die gevat zijn in een matrix met zeer hoge weerstand. De dikte en het aantal van de diamanten, evenals de vorm van het werktuig, hangen af van de aan te boren lagen. De leefduur en het door deze boren verwezenlijkte aantal meter zijn belangrijk en kunnen gaan tot 700 à 800 geboorde meter in 100 uur. De prijs ervan ligt zeer hoog en bedraagt vijftien tot twintig maal die van de drie kegelboren.

De leiding van de boring, d.w.z. de keuze van de boor en van de boorparameters (in het bijzonder het gewicht en de draaisnelheid) die de minimum kostprijs per geboorde meter zullen opleveren, is een delicate onderneming. De ondergronds ontmoete gesteenten zijn inderdaad uiterst heterogeen, en de



Fig. 5 — Trépan diamanté
Diamantboorkop

permettent de connaître à l'avance les roches qui doivent être forées, sont encore très limités. Enfin, malgré les progrès réalisés depuis quelques années, le foreur est encore très mal renseigné sur ce qui se passe au fond du trou.

De nombreux appareils sont actuellement à l'étude. Ceux-ci devraient mesurer les paramètres de forage au fond du trou et les transmettre directement en surface au foreur. Il est probable que, bientôt, des calculateurs permettront de définir à chaque instant les paramètres optimaux.

5. FLUIDE DE FORAGE

En même temps qu'il remonte les déblais de forage, le fluide de forage joue les rôles suivants :

- il refroidit le tricone;
- il maintient les parois du trou et l'empêche de s'ébouler grâce aux pressions hydrostatiques qu'il exerce latéralement;
- il retient les fluides sous pression qui peuvent être contenus dans les roches, empêchant ainsi une éruption subite de gaz ou de pétrole ou même d'eau.

Le débit du fluide de forage doit empêcher les déblais de retomber au fond du trou. Pour cela, il faut que la vitesse de remontée de la boue dans l'espace annulaire soit de l'ordre de 25 à 50 m/min, ce qui entraîne des débits d'environ 2.400 litres/min lorsque l'on fore en 311 mm, et de 1.000 litres/min lorsque l'on fore en 216 mm.

La boue de forage est généralement constituée d'eau à laquelle est ajoutée 5 à 10 % d'une argile spéciale. Divers produits permettent d'ajuster ses caractéristiques aux valeurs désirées; ce sont par exemple :

- des tanins ou des polyphosphates pour réduire la viscosité; des amidons pour diminuer le filtrat, c'est-à-dire la quantité d'eau susceptible de filtrer à travers les parois du trou;
- de la barytine (SO_4Ba) pour ajuster le poids volumique de la boue, de façon que la pression hydrostatique au fond du trou, au cours du forage, reste supérieure à la pression des fluides contenus dans les roches (par exemple, 10.000 daN de barytine par m^3 de boue de poids volumique 1,2 daN/litre permettent de faire passer celui-ci à 1,8 daN/litre et d'exercer ainsi une pression de 720 bar à 4.000 m).

La boue fait l'objet d'un contrôle constant et d'une préparation minutieuse suivant les terrains. Divers types de boue peuvent être utilisés pour forer des roches particulières, comme par exemple les boues salées saturées pour forer du sel.

middelen waardoor men vooraf de aan te boren gesteenten kan kennen zijn nog sterk beperkt. Tenslotte is de boorder, niettegenstaande de sinds enkele jaren geboekte vooruitgang, nog slecht ingelicht over wat er op de bodem van de put gebeurt.

Talrijke toestellen worden thans bestudeerd. Deze zouden de boorparameters moeten meten op de bodem van de put, en ze rechtstreeks overbrengen aan de boorder aan de oppervlakte. Het is waarschijnlijk dat binnenkort rekenmachines op elk moment de optimale parameters zullen kunnen bepalen.

5. DE BOORVLOEISTOF

Tegelijk met het aan de oppervlakte brengen van de boorafval, speelt de boorvloeistof de volgende rollen :

- ze koelt de driekegelboor af;
- ze steunt de wanden van de put en doet dat deze instort dank zij de zijdelings uitgeoefende hydrostatische druk;
- ze houdt de vloeistoffen onder druk die in de gesteenten zouden kunnen vervat zijn, waardoor een plotse eruptie van gas, olie of zelfs water vermeden wordt.

Het debiet van de boorvloeistof moet voorkomen dat de afval weer op de bodem van de put valt. Hier voor dient de opstijgingssnelheid van het slijk in de ringvormige ruimte ter grootte van 25 à 50 m/min te zijn, wat debieten met zich brengt van ongeveer 2.400 liter/min als men in 311 mm boort, en van 1.000 liter/min als men in 216 mm boort.

Het boorslib bestaat over het algemeen uit water waaraan 5 à 10 % speciale klei is toegevoegd. Verschillende produkten maken een aanpassing van de kenmerken aan de gewenste waarden mogelijk;

zo bijvoorbeeld :

- looizuur of polyfosfaten om de viscositeit te verlagen; stijfsels om de filterrest te verminderen, d.w.z. de hoeveelheid water die doorheen de putwanden zou kunnen filteren;
- barytine (SO_4Ba) om het volumegewicht van het slib aan te passen, zodat de hydrostatische druk op de bodem van de put, in de loop van de boring, hoger blijft dan de druk van de in de rotsen vervatte vloeistoffen (b.v. 10.000 daN barytine per m^3 slib met een volumegewicht van 1,2 daN/liter laten toe dit te brengen op 1,8 daN/liter en zo een druk uit te oefenen van 720 bar op 4.000 m).

Het slib wordt constant gecontroleerd en nauwkeurig voorbereid volgens de terreinen. Verschillende types slijk kunnen gebruikt worden voor het boren van bijzondere gesteentes, zoals bijvoorbeeld de verzadigde gezoute slijksoorten om zout aan te boren.

Lorsque les formations ne contiennent pas d'eau et sont bien consolidées, il est parfois possible de forer à l'air. Dans ce cas, on utilise une batterie de compresseurs qui fournit environ 40 m³/min à 20 bar.

Le volume de boue utilisé en permanence est de l'ordre de 150 à 200 m³.

La boue de forage est aussi un paramètre de forage, non seulement par sa densité, sa viscosité, son filtrat, qui ont une influence sur la vitesse d'avancement, mais surtout par la puissance hydraulique qu'elle permet de fournir aux duses des tricônes, et qui participent ainsi au nettoyage du fond du trou.

Als de formaties geen water bevatten en goed verstevigd zijn, is het soms mogelijk met lucht te boren. In dit geval gebruikt men een compressorenbatterij die ongeveer 40 m³/min aan 20 bar levert.

Het slibvolume dat permanent wordt gebruikt bedraagt 150 à 200 m³.

Het boorslib is ook een boorparameter, niet alleen door zijn dichtheid, zijn viscositeit, zijn filterrest, die invloed uitoefenen op de vooruitgangssnelheid, maar vooral door het hydraulisch vermogen dat erdoor kan geleverd worden aan de openingen in de driekegelboor, die zo deelnemen aan de reiniging op de bodem van de put.

5. MATERIEL DE FORAGE (fig. 6)

Le matériel de forage est conçu pour permettre la manœuvre de la garniture de forage pour le changement de trépan, la rotation de la garniture et l'injection du fluide de forage au cours du forage.

6. BOORMATERIAAL (fig. 6)

Het boormateriaal is ontworpen om het manoeuvreren toe te laten van de boorbekleding voor het vervangen van de boren, de rotatie van de bekleding en de injectie van de boorvloeistof in de loop van de boring.

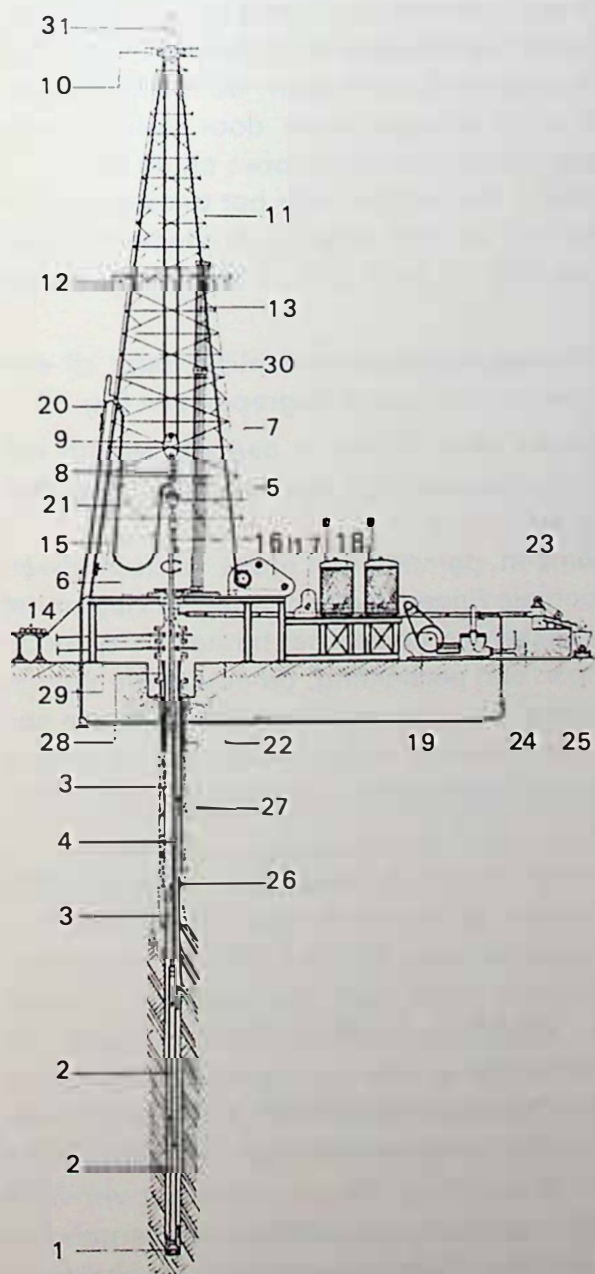


Fig. 6 — Ensemble de forage

1. Trépan
2. Drill collar ou maîtresse tige
3. Drill pipe ou tige de forage
4. Tool joint
5. Tige carrée
6. Table de rotation
7. Tête d'injection
8. Crochet
9. Moufle mobile
10. Crown block (moufle fixe)
11. Derrick
12. Passerelle d'accrochage
13. Stockage des tiges
14. Pipe rack
15. Martin Decker
16. Treuil
17. Réducteur
18. Moteur
19. Pompe à boue
20. Colonne montante
21. Flexible d'injection
22. Goulotte de sortie
23. Vibreur
24. Bassin de décatation
25. Evacuation des cuttings
26. Colonne de surface
27. Tube guide
28. Spool
29. Obturateurs
30. Câble de forage
31. Gin pole

Boringsgeheel

1. Boorkop
2. Drill collar of hoofdpen
3. Drill pipe of boorpen
4. Tool joint
5. Vierkante pen
6. Draaitafel
7. Injectiekop
8. Haak
9. Beweeglijk hijsblok
10. Crown block (vast hijsblok)
11. Derrick
12. Aanhangbrug
13. Opslaan van de pennen
14. Pipe rack
15. Martin Decker
16. Lier
17. Reductor
18. Motor
19. Slijkpomp
20. Opgaande kolom
21. Injectieslang
22. Uitgangsgoot
23. Vibrator
24. Decanteringbak
25. Verwijdering van de cuttings
26. Oppervlaktekolom
27. Geleidebuis
28. Spool
29. Afsluiters
30. Boorkabel
31. Gin pole

La fonction levage est réalisée grâce à un ensemble d'éléments comprenant :

- une tour (derrick) ou un mât de forage de 45 m de hauteur, destiné à permettre la manœuvre et le stockage vertical des tiges de forage, en général par tronçons de trois éléments de 9 m;
- un treuil, comportant un tambour principal équipé d'un frein mécanique à bandes et d'un frein auxiliaire électromagnétique, qui est relié à une boîte de vitesses à 2, 4 ou 6 rapports. Il permet la manœuvre de la garniture, pesant environ 30.000 daN/1.000 m, à une vitesse moyenne de 1.000 m en une heure, grâce à un mouflage (à 8, 10 ou 12 brins) constitué par un câble de forage qui s'enroule sur le tambour du treuil, passe par un moufle fixe au sommet de la tour et sur un moufle mobile auquel est fixé un crochet de levage. Le câble s'arrête sur un point fixe au pied du derrick. La mesure de la tension du câble permet de connaître constamment le poids suspendu au crochet. La puissance motrice fournie à cet ensemble est obtenue, soit par des moteurs diesels ayant des puissances unitaires de l'ordre de 400 à 1.000 CV et réunis entre eux par une transmission mécanique, soit par un ensemble diesel-électrique réalisé par des moteurs diesels entraînant des génératrices à courant continu; l'énergie électrique qu'elles fournissent est véhiculée par des câbles jusqu'aux moteurs électriques situés près du treuil.

La puissance nécessaire pour la manœuvre de la garniture varie avec la profondeur et passe de quelque 500 CV à 2.000 m à 2.000 CV à 6.000 m.

La fonction pompage est réalisée grâce à un ensemble d'éléments comprenant (fig. 7) :

- les bacs à boue (au nombre de trois ou quatre), dans lesquels est stockée la boue, d'une capacité unitaire de 20 à 40 m³;
- les pompes à boue, pompes à pistons horizontaux (deux ou trois) à simple ou double effet; elles aspirent la boue des bacs et la refoulent à l'intérieur des tiges de forage par l'intermédiaire d'une conduite de refoulement, de la colonne montante, du flexible d'injection et finalement, de la tête d'injection qui comporte une butée à rouleaux coniques et permet la rotation des tiges de forage, le reste étant fixe.

Ces pompes sont capables de fournir des débits de 1.000 à 3.000 litres/min à des pressions de 100 à 250 bar. Leur puissance est de l'ordre de 700 à 1.600 CV et elles sont entraînées, soit par les moteurs prévus pour le treuil, soit par des moteurs indépendants. Sur les appareils lourds, il y a en général deux pompes. La fabrication, l'entretien, le mixage de la boue, sont réalisés par une pompe auxiliaire à pistons ou centrifuge qui permet également l'élimination des solides, après passage au tamis vibrant par envoi dans les hydrocyclones.

De ophaalfunctie wordt verwezenlijkt dank zij een geheel van elementen, o.m. :

- een boortoren (derrick) of mast met een hoogte van 45 m, bestemd voor het manoeuvreren en vertikaal opslaan van de boorpennen, over het algemeen per stukken van drie elementen van 9 m;
- een lier, met een hoofdtrommel uitgerust met een mechanische handrem en een electromagnetische hulprem, die verbonden is aan een versnellingsbak met 2,4 of 6 verhoudingen. Deze laat het bewegen van de bekleding toe, die ongeveer 30.000 daN/1.000 m weegt, aan een gemiddelde snelheid van 1.000 m in een uur, dank zij een takel (met 8, 10 of 12 strengen) gevormd door een boorkabel die zich rond de trommel van de lier windt, over een vaste takel aan de top van de toren gaat en op een mobiele katrol waaraan een hijshaak is bevestigd. De kabel eindigt op een vast punt aan de voet van de boortoren. De meting van de spanning van de kabel laat toe voortdurend het gewicht te kennen dat aan de haak is opgehangen. Het aandrijvingsvermogen dat aan dit geheel wordt geleverd, wordt verkregen door hetzij dieselmotoren met een vermogen per eenheid van 4.00 à 1.000 pk die onderling verbonden zijn door een mechanische transmissie, hetzij door een diesel-elektrisch geheel gerealiseerd door dieselmotoren die gelijkstroomgenerators aandrijven; de hierdoor geleverde elektrische energie wordt door kabels overgebracht naar de elektrische motoren bij de lier.

Het vermogen dat nodig is voor het manoeuvreren van de bekleding varieert volgens de diepte en gaat van ongeveer 500 pk op 2.000 m tot 2.000 pk op 6.000 m.

De pompfunctie wordt verwezenlijkt dank zij een geheel van elementen waarin begrepen zijn (fig. 7) :

- de slijkbakken (drie of vier in aantal), waarin het slijk wordt opgeslagen, met een eenheidscapaciteit van 20 à 40 m³;
- de slijkpompen, pompen met enkel- of dubbelwerkende horizontale zuigers (twee of drie); ze zuigen het slijk uit de bakken en persen het binnen in de boorpennen d.m.v. een persleiding, de opgaande kolom, de injectieslang en, tenslotte, de injectiekop die een druklager met conische rollen omvat en de rotatie toelaat van de boorpennen, waarbij de rest onbeweeglijk is.

Deze pompen kunnen debieten van 1.000 à 3.000 liter/min leveren bij een druk van 100 à 250 bar. Hun vermogen bedraagt 700 à 1.600 pk en ze worden aangedreven hetzij door de motoren voorzien voor de lier, hetzij door onafhankelijke motoren. Op zware toestellen zijn er over het algemeen twee pompen. De fabricage, het onderhoud, het mengen van het slib, worden verwezenlijkt door een hulppomp met zuigers of centrifuge die eveneens het verwijderen mogelijk maakt van vaste stoffen, na overgang via de trilzeef door het zenden naar de hydrocyclonen.

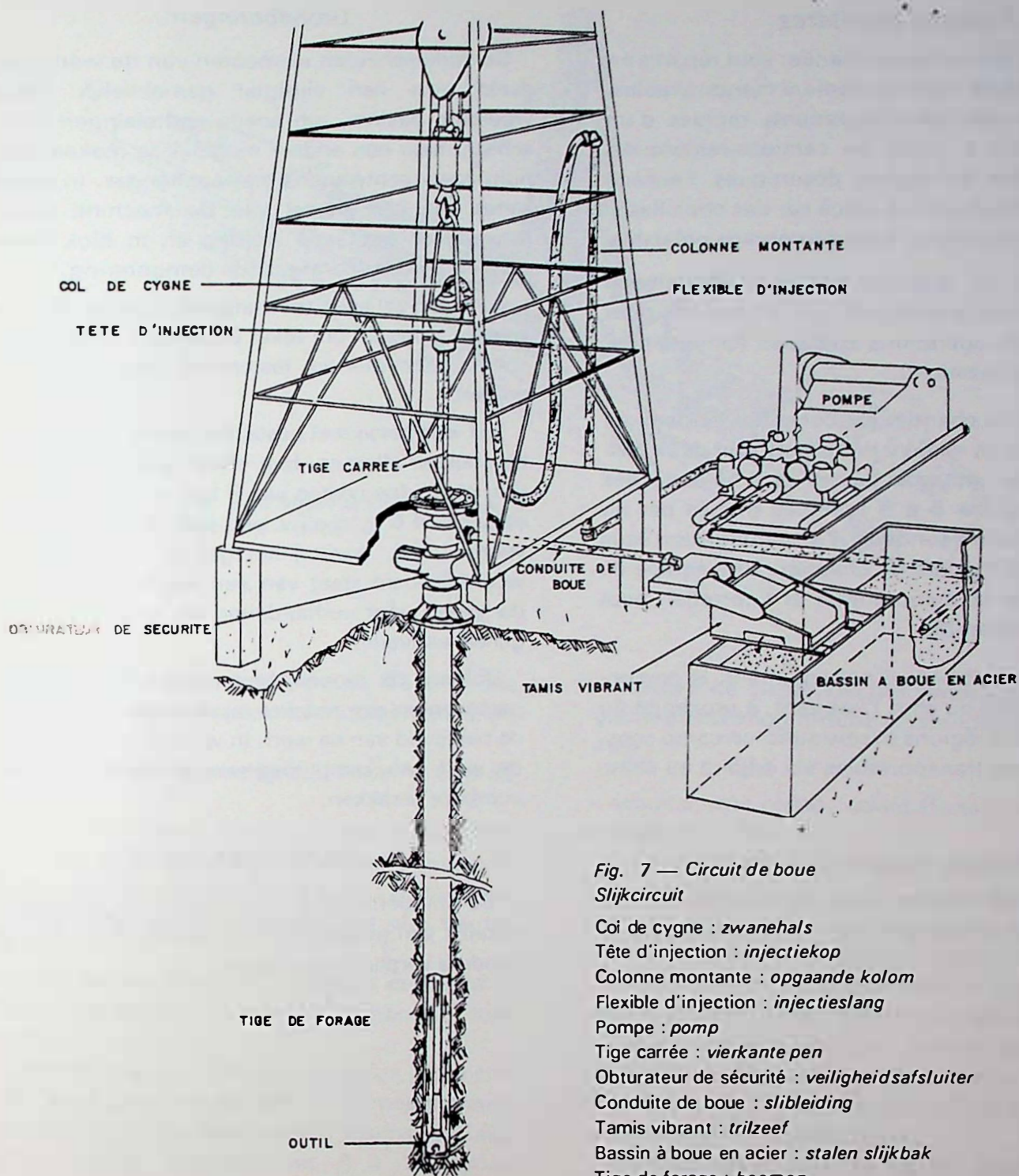


Fig. 7 — Circuit de boue
Slijkcircuit

Col de cygne : zwanehals
 Tête d'injection : injectiekop
 Colonne montante : opgaande kolom
 Flexible d'injection : injectieslang
 Pompe : pomp
 Tige carrée : vierkante pen
 Obturateur de sécurité : veiligheidsafsluiter
 Conduite de boue : slijbleiding
 Tamis vibrant : trilzeef
 Bassin à boue en acier : stalen slijkbak
 Tige de forage : boorpen
 Outil : werktuig

A cet ensemble, il faut ajouter divers matériels tels que groupe électrogène, réserve d'eau et de gas-oil, baraques, etc.

Bij dit geheel moet divers materieel gevoegd worden, zoals een elektrische generator, water- en stookoliereserve, barakken, enz.

7. ENGINES DE FORAGE

L'ensemble du matériel de forage prévu pour forer à 4.500-5.000 m représente environ 1.000 t de matériel.

Suivant l'emplacement du sondage, ce matériel est groupé d'une manière particulière.

7. BOORTOESTELLEN

Het geheel van het boormaterieel voorzien voor boringen op 4.500 - 5.000 m weegt ongeveer 1.000 t.

Volgens de plaats van de boring, wordt dit materieel op een bijzondere manier gegroepeerd.

Forages terrestres

Les différents éléments du chantier sont répartis en une cinquantaine de colis, facilement manœuvrables, pour permettre des déménagements rapides d'un puits à un autre à l'aide de camions-remorques. Quelquefois, dans les régions désertiques, l'ensemble de la machine peut être placé sur des chenilles et transporté en un seul bloc sans démontage préalable.

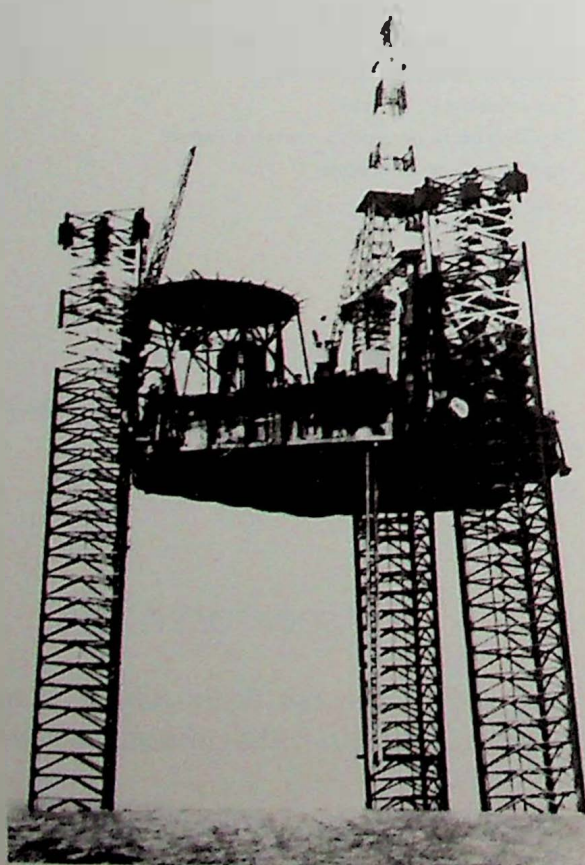
Si nécessaire, un matériel spécialisé sera amené momentanément à la demande, sur le chantier, pour réaliser certaines opérations spéciales (cimentation, essais des puits, mesures).

Le personnel de chantier est constitué de deux ou trois équipes qui se relaient en faisant, soit deux postes de 12 heures, soit trois postes de 8 heures. Elles comportent chacune 5 à 6 hommes dirigés par un chef de poste (maître-sondeur), l'ensemble étant sous la responsabilité du chef de chantier. Une équipe de manœuvre pour la manutention et l'entretien peut compléter cet ensemble.

Suivant les possibilités d'hébergement, le personnel logera en hôtel ou chez l'habitant, à proximité du chantier. Dans les régions désertiques, un camp constitué de baraques transportables est adjoint au chantier.

Forages marins (fig. 8)

L'environnement marin nécessite d'utiliser un matériel spécialisé et entraîne des servitudes particulières.



Grondboringen

De onderscheiden elementen van de werf zijn verdeeld over een vijftigtal gemakkelijk manoeuvreerbare pakken, om snelle verhuizingen van een schacht naar een andere mogelijk te maken met behulp van vrachtwagens met aanhanger. In woestijnzones kan het geheel van de machine soms op rupsbanden geplaatst worden en in blok vervoerd worden zonder voorafgaande demontering.

Zo nodig zal speciaal materieel tijdelijk op de werf worden gebracht om zeker bijzondere operaties uit te voeren (cementering, testen van de schachten, metingen).

Het werfpersoneel bestaat uit twee of drie ploegen die mekaar aflossen door ofwel twee posten van 12 uur, ofwel drie posten van 8 uur. Ze bestaan elk uit 5 of 6 man o.l.v. een ploegvoorman (ploegvoorman), waarbij het gehele werk onder de verantwoordelijkheid staat van een ploegvoorman. Een arbeidersploeg voor verhandeling en onderhoud kan dit geheel aanvullen.

Volgens de mogelijkheden tot onderdak, zal het personeel in een hotel of bij de inwoners logeren, in de nabijheid van de werf. In woestijnzones wordt aan de werf een kamp toegevoegd bestaande uit vervoerbare barakken.

Zeeboringen (fig. 8)

De maritieme omgeving maakt het gebruik noodzakelijk van gespecialiseerd materieel en brengt bijzondere verplichtingen mee.

Fig. 8 — Plateforme auto-élevatrice
« Neptune-Gascogne »
Zelfrijzend platform
« Neptune-Gascogne »

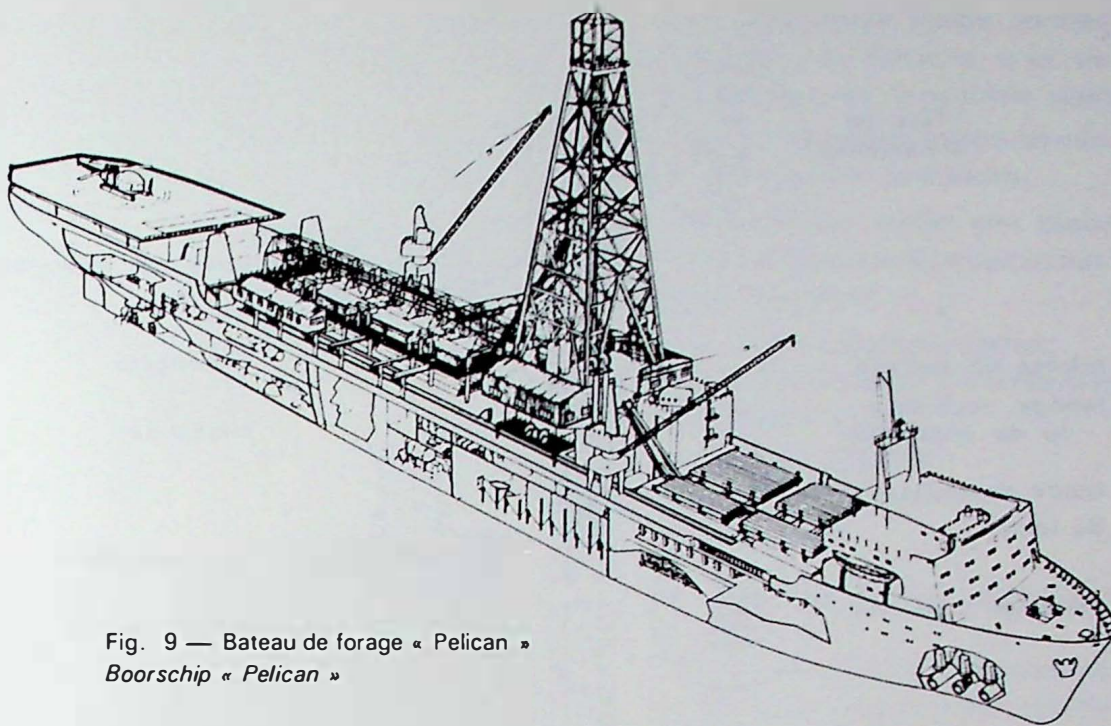


Fig. 9 — Bateau de forage « Pelican »
Boorschip « Pelican »

Suivant la profondeur de la tranche d'eau et des conditions météorologiques et océanographiques, on utilise :

- des barges à fond plat (marigot du Texas, marais du Nigéria);
- des barges auto-élevatrices (tranches d'eau de 20 à 80 m) munies de piles qui peuvent prendre appui sur le fond de la mer et permettre de placer la plate-forme à une dizaine de mètres au-dessus des plus hautes vagues;
- des plates-formes fixes sur lesquelles est placé le treuil de forage assisté d'un tender comportant tout l'équipement;
- des plates-formes semi-submersibles (tranche d'eau 80 m et plus) comportant d'énormes flotteurs leur permettant d'être relativement insensibles aux houles et vagues, ancrées avec 8 à 10 lignes d'ancres;
- des bateaux de forage au-delà de 80 m, ancrés soit avec des ancres, soit dynamiquement, c'est-à-dire avec des hélices auxiliaires qui maintiennent le bateau en place (fig 9).

Outre l'appareil de forage proprement dit, ces installations comportent divers services qui en font de véritables usines flottantes. On y trouve en particulier le quartier d'habitation pour une soixantaine de personnes, un héliport pour le transport du personnel, un ensemble diesel électrique capable de fournir, d'une part, du courant continu pour l'appareil de forage, d'autre part, du courant alternatif pour les différents services, en particulier :

- ballastage;
- treuil d'ancrage ou de manoeuvre des piles;
- des grues pour le déchargement des bateaux de service et la manutention du matériel de forage;

Volgens de diepte van het water en de meteorologische en oceanografische omstandigheden, gebruikt men :

- schuiten met platte bodem (Texaanse draslanden, moerassen in Nigeria);
- zelfrijdende schuiten (waterdieptes van 20 à 80 m) voorzien van pijlers die op de zeebodem kunnen steunen en het mogelijk maken het platform op een tiental meter boven de hoogste golven te plaatsen;
- vaste platforms waarop de boorlier geplaatst wordt, samen met een tender die de hele uitrusting bevat;
- half-verzinkbare platforms (waterdiepte van 80 m en meer) met enorme vlotters, waardoor ze betrekkelijk ongevoelig zijn aan de deining en de golven, verankerd met 8 à 10 ankerlijnen;
- boorschepen, boven de 80 m, ofwel met ankers ofwel dynamisch vastgelegd, d.w.z. met hulpschroeven die het schip ter plaatse houden (fig. 9).

Buiten de eigenlijke booruitrusting omvatten deze installaties verschillende diensten die er werkelijke drijvende fabrieken van maken. Men vindt er in het bijzonder het woonkwartier voor een zestigtal personen, een helihaven voor het vervoer van het personeel, een diesel-elektrisch geheel dat enerzijds gelijkstroom kan leveren voor het boorapparaat en anderzijds wisselstroom voor de onderscheiden diensten, meer bepaald :

- ballasting;
- lier voor verankering of manoeuvreren van de pijlers;
- kranen voor het lossen van de dienstschepen en de verlading van het boormaterieel;

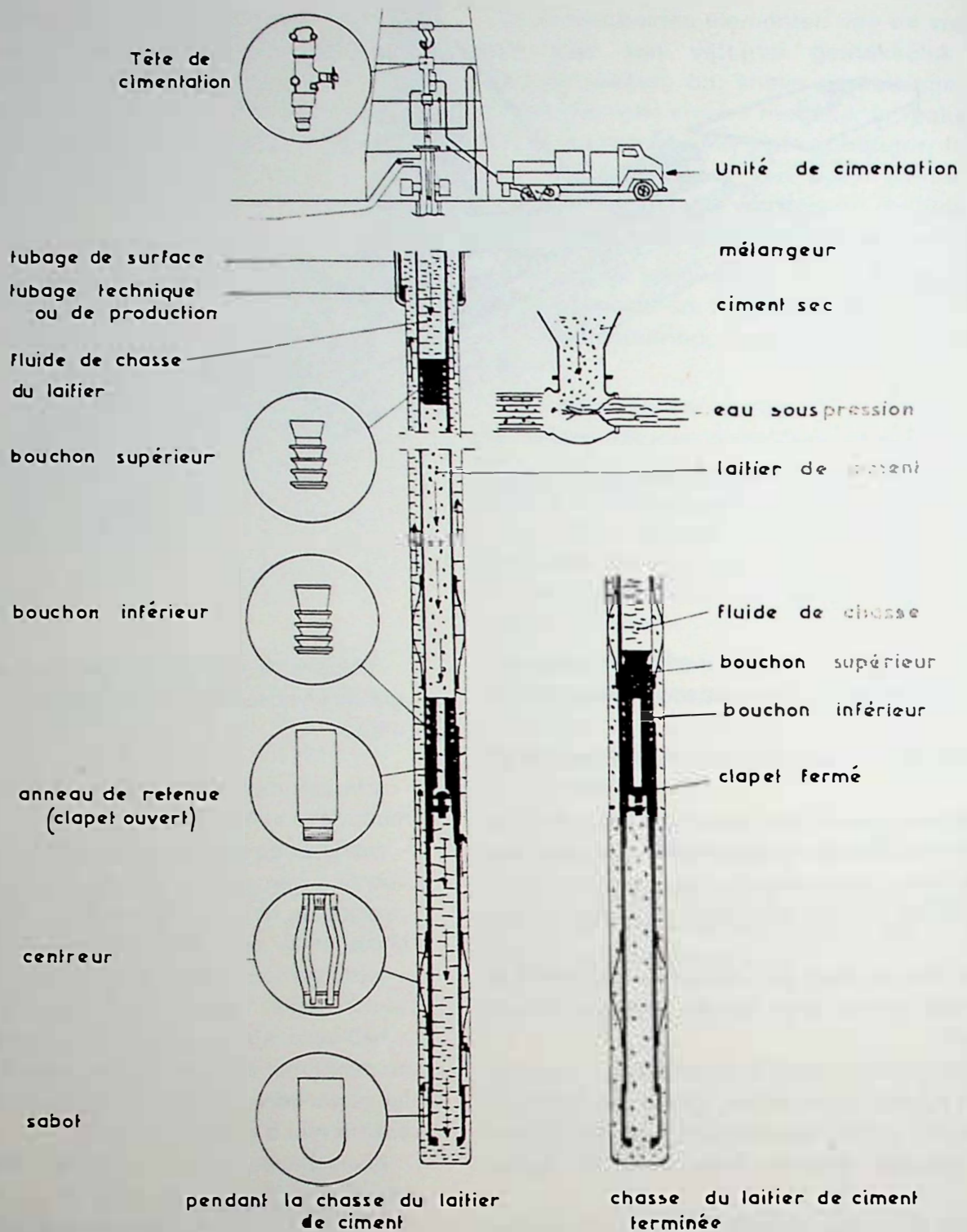


Fig. 10 — Principe d'une cimentation primaire
Principe van een primaire cementering

Tête de cimentation : *cementeringskop*
 Unité de cimentation : *cementeringseenheid*
 Tubage de surface : *oppervlaktepijpwerk*
 Mélangeur : *menger*
 Tubage technique ou de production :
Technische of produktiepijpwerk
 Ciment sec : *droog cement*
 Fluide de chasse du laitier : *aandrijfloeistof van de slakkesteen*
 Eau sous pression : *water onder druk*
 Bouchon supérieur : *bovenste stop*

Laitier de ciment : *cementslak*
 Bouchon inférieur : *onderste stop*
 Fluide de chasse : *aandrijfloeistof*
 Clapet fermé : *gesloten klep*
 Anneau de retenue (clapet ouvert) : *houderring (open klep)*
 Centreur : *centreerder*
 Sabot : *blok*
 Pendant la chasse du laitier de ciment : *tijdens het aandrijven van de cementslak*
 Chasse du laitier de ciment terminée : *aandrijving van de cementslak beëindigd*

- des petites unités spécialisées pour les opérations de mesure dans le puits, pour les pompages particuliers et pour les opérations spéciales;
- un caisson de recompression et une tourelle de plongée et les réserves de gaz pour les plongeurs.

En outre, le forage en mer nécessite une infrastructure importante comportant en particulier :

- un service météorologique;
- un système de communication et de repérage en mer;
- un bateau de surveillance;
- un bateau de relève;
- une base à terre, etc.

8. TUBAGES ET CIMENTATION (fig. 10)

Le programme d'un forage prévoit la mise en place de tubes qui doivent cuveler le sondage. Du ciment doit être placé entre ces tubes et les parois du trou pour réaliser l'étanchéité de cet espace annulaire.

Les tubes sont vissés les uns aux autres et descendus dans le sondage plein de boue.

Un mélange ciment-eau (400 à 500 litres d'eau pour 1 tonne de ciment), ayant un volume correspondant à tout ou partie de l'espace annulaire trou-tubage, est envoyé dans les tubes, puis refoulé par de la boue dans l'espace annulaire, par des pompes dites de cimentation.

Un équipement particulier permet de s'assurer de la mise en place du laitier dans l'espace annulaire. Des bouchons en caoutchouc permettent de séparer le mélange ciment-eau de la boue de refoulement.

Après 12 à 24 h d'attente, le mélange ciment-eau a durci et il est alors possible de poursuivre le forage, après reforage des quelques dizaines de mètres de ciment qui ont été laissés au fond du tubage.

Suivant la profondeur de mise en place du ciment, des produits particuliers peuvent être ajoutés au ciment pour ajuster ses caractéristiques hydrauliques et mécaniques, qui sont affectées par la température et les pressions régnant aux différentes profondeurs.

Cette opération particulière, qui met en jeu des quantités parfois importantes de ciment (50 à 150 t), est réalisée à l'aide d'un matériel spécifique, amené sur le chantier au moment de l'opération à terre, ou stocké et loué en permanence sur les engins de forage en mer.

9. INSTRUMENTATIONS

La réalisation d'un sondage pétrolier s'accompagne quelquefois d'incidents appelés « instru-

- gespecialiseerde kleine eenheden voor de meetoperaties in de schacht, voor de bijzondere pompoperaties en voor de speciale operaties;

- een recompressiecaisson en een duiktorentje, en de gasreserves voor de duikers.

Daarenboven vereist een zeeboring een omvangrijke infrastructuur die meer in het bijzonder volgende elementen omvat :

- een meteorologische dienst;
- een communicatie- en herkenningssysteem ter zee;
- een toezichtschip;
- een aflossingsschip;
- een basis aan land, enz.

8. PIJPWERK EN CEMENTERING (fig. 10)

Het boorprogramma voorziet het plaatsen van buizen die de boring moeten beschoeien. Tussen deze buizen en de wanden van het gat moet cement worden aangebracht om de dichtheid van deze ringvormige ruimte te verwezenlijken.

De buizen worden aan elkaar geschroefd en neergelaten in de boring vol modder.

Een cement-watermengsel (400 à 500 liter water voor 1 ton cement), met een volume dat overeenstemt met het geheel of een gedeelte van de ringvormige ruimte gat-pijpwerk, wordt in de buizen gespoten, vervolgens door slik in de ringvormige ruimte geperst, door zgn. cementeringspompen.

Een bijzondere uitrusting laat toe de plaatsing van de slak in de ringvormige ruimte te verzekeren. Rubberen stoppen laten de scheiding toe van het mengsel cement-water en het persslib.

Na een wachttijd van 12 à 24 u. is het cement-watermengsel verhard en dan is het mogelijk het boren verder te zetten, na het herboren van de enkele tientallen meter cement die op de bodem van het pijpwerk werden gelaten.

Volgens de plaatsingsdiepte van de cement kunnen bijzondere produkten aan de cement worden toegevoegd om zijn hydraulische en mechanische eigenschappen aan te passen; deze worden beïnvloed door de temperatuur en de druk die op de verschillende dieptes heerst.

Deze bijzondere operatie, die soms belangrijke hoeveelheden cement meebrengt (50 à 150 t), wordt verwezenlijkt m.b.v. specifiek materieel, op de werf gebracht op het ogenblik van de operatie op het vasteland, of opgeslagen en permanent gehuurd voor de boortoestellen op zee.

9. INSTRUMENTATIES

De verwezenlijking van een petroleumboring gaat soms gepaard met moeilijkheden die men « instru-

mentations » : bris de tricône, chute d'objets métalliques dans le trou, rupture des tiges de forage ou des filetages des masses-tiges, coincement des tiges de forage à la suite d'un éboulement, etc.

Il existe toute une gamme d'outils spéciaux et de techniques particulières permettant de repêcher les « poissons » restés dans le trou ou de résoudre les différents incidents.

Citons, par exemple, d'une part l'overshot (fig. 11), qui permet de repêcher et de récupérer des tiges ou des masses-tiges par resserrement de coins à portée conique sur la tête du poisson, d'autre part, le dévissage à l'explosif, qui permet la récupération de la partie libre d'une garniture coincée. Cette technique consiste à descendre à l'intérieur des tiges un câble électrique au bout duquel se trouve un détonateur, suivi d'un cordon de poudre. Celui-ci étant placé au niveau du raccord que l'on désire dévisser, il suffit de mettre la garniture de forage en torsion à gauche pour que le dévissage ait lieu à l'endroit prévu lorsque l'on fait exploser la charge.

Parfois, lorsque l'instrumentation s'avère trop longue et trop onéreuse, il faut se résigner à boucher le trou avec du ciment et reprendre le forage en déviation au-dessus du poisson.

mentaties » noemt : breken van een driekegel, val van metalen voorwerpen in het boorgat, breken van de boorpennen of van de schroefdraad van de penmassa's, blokkering van de boorpennen ten gevolge van een instorting, enz.

Er bestaat een volledige gamma van bijzondere werktuigen en speciale technieken waardoor de « vissen » die in het gat zijn gebleven kunnen onderkend worden of de onderscheiden incidenten opgelost.

We halen als voorbeeld aan : enerzijds de « overshot » (fig. 11), die toelaat de pennen of penmassa's op te halen en te recupereren door aanwijken van hoeken met conisch bereik aan de kop van de « vis », en anderzijds, het losschroeven met springstof, waardoor de recuperatie mogelijk is van het vrije gedeelte van een klem geraakte verbinding. Deze techniek omvat het neerlaten, binnen het gat, van een elektrische kabel met aan de uiteinde een detonator, gevolgd door een kruitloos explosief dat geplaatst is ter hoogte van de aansluiting. Men wenst los te schroeven, volstaat het de boortekening een torsie naar links te geven opdat het losschroeven zou plaatshebben op de voorziene plaats als men de lading tot ontploffing brengt.

Soms, als de instrumentatie te lang en te duur blijkt, moet men er zich bij neerleggen het gat met cement te stoppen en de boring in afleiding te herne- men boven de « vis ».

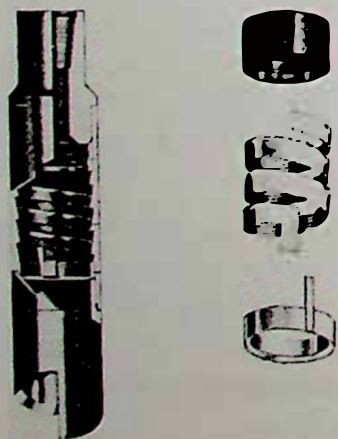


Fig. 11 — Overshot à spirales
Overshot met spiralen

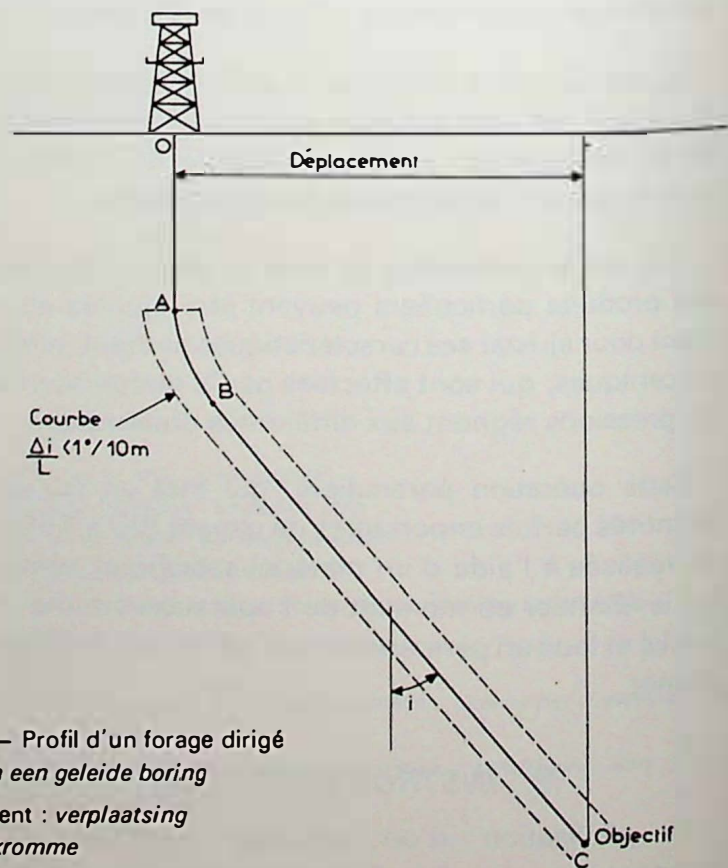


Fig. 12 — Profil d'un forage dirigé
Profiel van een geleide boring
Déplacement : verplaatsing
Courbe : kromme
Objectif : doelwit

10. FORAGES DIRIGES (fig. 12)

Il n'est pas toujours possible d'implanter l'appareil de forage sur la verticale de l'objectif. C'est le cas en particulier lorsqu'un gisement se trouve : sous un lac, un relief ardu. En mer, le développement des gisements est réalisé grâce à des plates-formes à partir desquelles les puits sont forés en déviation. Parfois aussi, des forages commencés verticalement doivent être déviés, l'objectif étant décalé par rapport à l'emplacement.

Dans ce cas, on a recours à la technique du forage dirigé. Le profil d'un forage dirigé comporte trois phases :

- une partie verticale réalisée suivant les techniques de forage classiques;
- une partie courbe au cours de laquelle la déviation est obtenue à l'aide d'outils déviateurs, puis augmentée régulièrement que possible, de 0,5 à 1 degré par mètres, en modifiant les paramètres de forage jusqu'à une valeur comprise entre 25 et 40°;
- une partie inclinée, mais droite, en direction de l'objectif, l'inclinaison étant maintenue constante par l'utilisation de stabilisateurs placés entre les masses-tiges.

Les outils déviateurs les plus courants (fig. 13) sont :

- le sifflet déviateur, biseau d'acier placé au fond du trou et sur lequel le trépan vient s'appuyer pour attaquer la paroi du trou;
- le raccord coudé de 1 à 2°, placé au-dessus d'une turbine de forage, qui oblige celle-ci à se décaler par rapport à la verticale;
- dans les terrains très tendres, on utilise des trépans à un seul orifice (Jetting).

Le contrôle de l'orientation du trou est réalisé à l'aide d'un photoclinomètre qui permet la photographie, au fond du trou, d'un pendule et d'une boussole qui fournissent directement l'inclinaison et l'azimut.

L'orientation des outils déviateurs au fond du trou, nécessaire pour se diriger vers l'objectif, s'effectue à l'aide de ce même photoclinomètre qui permet de repérer la position d'un raccord d'orientation, placé juste au-dessus de l'outil déviateur et préalablement calé par rapport à celui-ci.

Divers appareils plus perfectionnés permettent d'enregistrer en continu, une fois le puits terminé, l'inclinaison et l'azimut.

La technique actuelle du forage dirigé permet d'atteindre, par exemple, avec une précision de l'ordre de quelques mètres, un objectif situé à 3.500 m et décalé de 1.200 m par rapport à l'emplacement. Il est probable que, lorsque les foreurs disposeront d'ap-

10. GELEIDE BORINGEN (fig. 12)

Het is niet altijd mogelijk de booruitrusting verticaal in te planten t.o.v. het doelwit. Dit is meer bijzonder het geval als een afzetting zich bevindt : onder een meer, een lastig reliëf. In zee wordt de ontwikkeling der afzettingen verwezenlijkt dank zij platforms, van waar de schachten in afleiding worden gegraven. Soms ook moeten vertikaal aangevangen boringen afgeleid worden, als het doelwit verschoven is t.o.v. de standplaats.

In dit geval maakt men gebruik van de techniek van de geleide boring. Het profiel van een geleide boring houdt drie fases in :

- een vertikaal deel gerealiseerd volgens de klassieke boortechnieken;
- een gebogen deel : tijdens dit onderdeel wordt de afwijking aangevat met behulp van afwijkingswerktuigen, en dan verhoogd, zo regelmatig mogelijk, met 0,5 tot 1 graad per 10 meter, met wijziging van de boorparameters, tot een waarde tussen 25 en 40°;
- een schuin lopend, maar recht deel, in de richting van het doelwit, waarbij de helling constant wordt gehouden door het gebruik van stabilisators die tussen de massapennen worden geplaatst.

De meest gebruikelijke afleidingswerktuigen (fig. 13) zijn :

- de afwijkingsschuining, stalen steekbeitel die op de bodem van het gat wordt geplaatst en waarop de boor komt te rusten om de wand van het gat aan te vallen;
- de hoekse aansluiting van 1 of 2°, boven een boorturbine geplaatst, die deze verplicht te verschuiven t.o.v. de verticale;
- in zeer zachte grond gebruikt men boren met één enkele opening (zetting).

De oriënteringscontrole van het gat wordt verwezenlijkt m.b.v. een fotohellingmeter die het fotograferen toelaat, op de bodem van het gat, van een slinger en een kompas die rechtstreeks de helling en het azimut leveren.

De oriëntering van de afleidingswerktuigen op de bodem van het gat, noodzakelijk om zich naar het doelwit te richten, gebeurt m.b.v. deze zelfde fotohellingmeter waardoor de positie kan onderkend worden van een oriënteringsaansluiting, die net boven het afleidingswerktuig geplaatst wordt en voorafgaand werd vastgezet ten opzichte daarvan.

Verschillende meer geperfectioneerde toestellen laten de voortdurende opmeting toe van de helling en het azimut, eens de schacht beëindigd is.

De huidige techniek van geleide boring laat bijvoorbeeld toe met een precisie van enkele meter, een doelwit te bereiken dat zich op 3.500 m bevindt en 1.200 m verschoven is t.o.v. de standplaats. Het is waarschijnlijk dat, als de boorders zullen beschikken

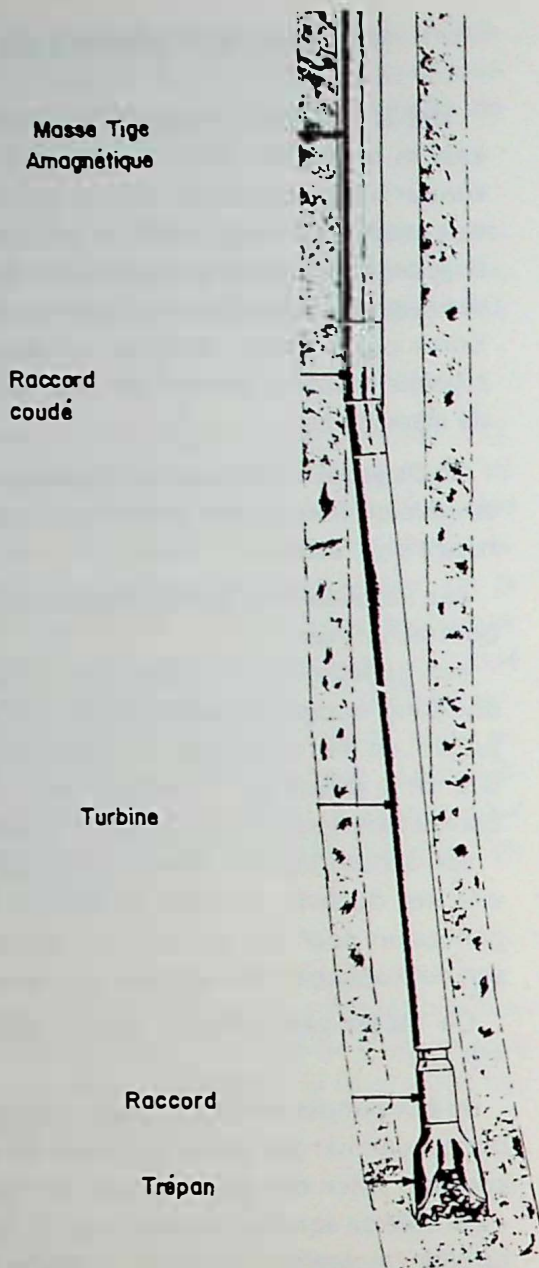


Fig. 13 — Outil déviateur

Afleidingsuitrusting

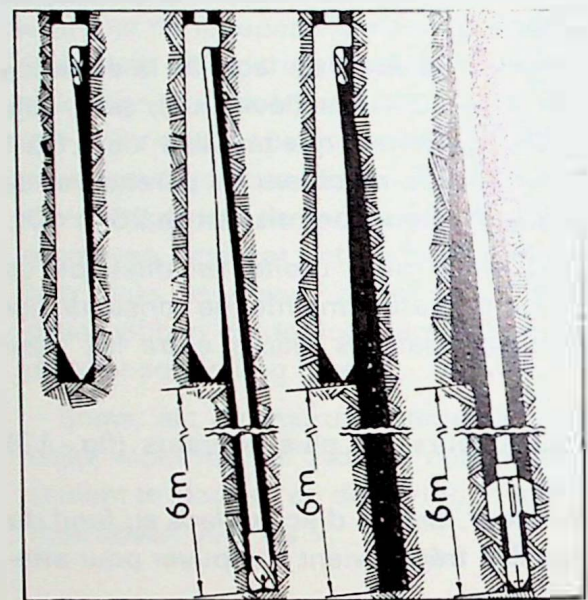
Masse tige anmagnétique : *niet-magnetische massa pen*

Raccord coudé : *elleboogaansluiting*

Raccord : *aansluiting*

Trépan : *boorkop*

Sifflet déviateur : *afleidingsschuining*



Sifflet déviateur

pareils permettant de connaître constamment l'inclinaison et l'azimuth au cours du forage même du puits, précision et durée des forages dirigés seront nettement améliorées.

over toestellen die toelaten voortdurend de helling en het azimuth te kennen in de loop van de schachtboring zelf, de precisie en de duur van de geleide boringen aanzienlijk zullen verbeterd worden.

11. CONTROLE DES ERUPTIONS

Quelquefois, la pression hydrostatique exercée par le fluide de forage est insuffisante pour maintenir les fluides sous pression contenus dans les roches perméables rencontrées. Il y a alors un début d'éruption qui peut se manifester, d'abord par une augmentation du volume de fluide dans les bacs à boue, puis par une augmentation de la pression en tête de puits, cet incident étant normalement contrôlé grâce aux obturateurs de sécurité placés en tête de puits et fixés sur la colonne de surface (fig. 14).

11. CONTROLE VAN DE ERUPTIES

Soms is de hydrostatische druk uitgeoefend door de boorvloeistof onvoldoende om de vloeistoffen onder druk te houden die in de aangeboorde doorlaatbare gesteenten vervat zijn. Er doet zich dan een begin van eruptie voor dat zich kan uiten, eerst door een verhoging van het vloeistofvolume in de slibbakken, daarna door een verhoging van de druk bij de schachtkop, waarbij dit incident normaal gecontroleerd wordt dank zij de veiligheidsafsluiters die aan de schachtkop zijn geplaatst en vastgehecht zijn op de oppervlaktekolom (fig. 14).

Ce sont des vannes particulières qui permettent d'obturer l'espace annulaire en surface et, si le poids

Het zijn speciale kleppen die toelaten de ringvormige ruimte aan de oppervlakte af te sluiten en, zo

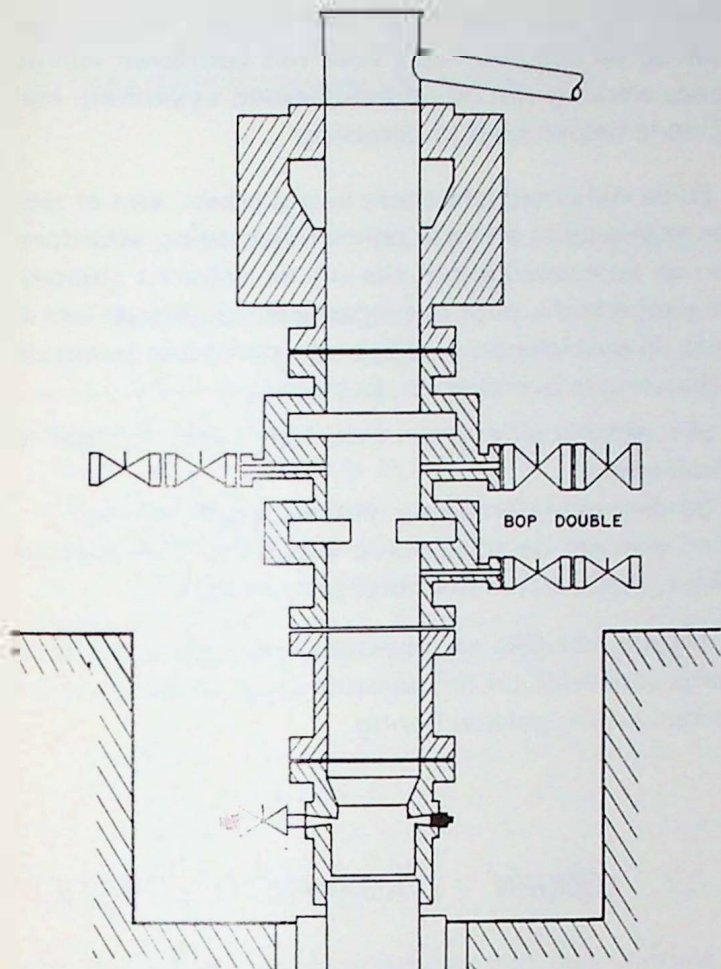


Fig. 14 — Tête de puits
Schachtkop

volumique du fluide de forage est insuffisant, de remplacer celui-ci par un fluide plus lourd en réalisant une circulation sous pression. L'excès de pression est absorbé par le passage du fluide dans des duses placées à la sortie du puits, sous les obturateurs. En général, le puits est équipé d'un jeu de deux ou trois obturateurs dont la fermeture est commandée hydrauliquement et qui peuvent supporter des pressions de 210, 350 ou 700 bar.

En mer, à partir d'engins flottants, l'ensemble des obturateurs de sécurité réunis dans un ensemble appelé « stack » (fig. 15) est placé au fond de l'eau et fixé sur une plaque de base reliée au tubage de surface. La liaison entre le fond de l'eau et la surface est réalisée par un tube appelé riser, équipé d'une rotule à sa base et d'un joint coulissant en surface, qui permet de s'affranchir du pilonnement de l'engin flottant de forage.

La mise en place des obturateurs et du riser est réalisée grâce à des connecteurs hydrauliques, et la manœuvre des obturateurs et des vannes de fond est commandée de la surface par un système de commande hydraulique.

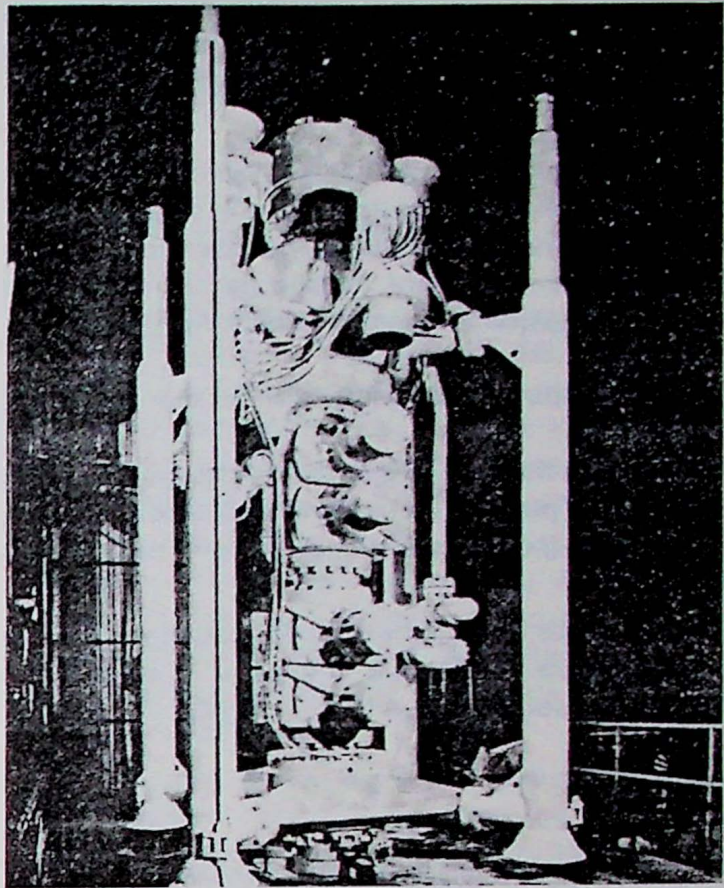


Fig. 15 — Stack B.O.P.

het volumegewicht van de boorvloeistof te laag is, dit te vervangen door een zwaardere vloeistof door een doorstroming onder druk te verwezenlijken. Het teveel aan druk wordt opgenomen door het doorgaan van de vloeistof in de openingen aan de schachttuitgang, onder de afsluitkleppen. Over het algemeen is de schacht uitgerust met een geheel van twee of drie afsluitkleppen waarvan de sluiting hydraulisch bediend wordt en die een druk van 210, 350 of 700 bar kunnen verdragen.

Op zee, van op drijvende toestellen, wordt het geheel van veiligheidsafsluiters samengebracht in een geheel dat « stack » wordt genoemd (fig. 15) op de bodem van het water geplaatst en vastgehecht op een bodemplaat die met het oppervlaktepipwerk is verbonden. De verbinding tussen de zeebodem en de oppervlakte wordt verwezenlijkt d.m.v. een slang, een zgn. « riser », voorzien van een kogelscharnier aan zijn basis en van een glijdende scharnier aan de oppervlakte, waardoor men onafhankelijk wordt t.o.v. het stampen van het drijvende boortoestel.

De plaatsing van de afsluitkleppen en van de riser wordt verwezenlijkt dank zij hydraulische connectors, en de beweging van de afsluiters en van de bodemkleppen wordt geleid van aan de oppervlakte door een hydraulisch bedieningssysteem.

Il est en général nécessaire de faire appel aux plongeurs, soit pour vérifier le bon fonctionnement des différents systèmes, soit pour aider à leur mise en place.

Si les obturateurs de sécurité sont défailants, il peut y avoir alors une éruption libre et souvent inflammation des hydrocarbures qui jaillissent du puits. La méthode, généralement utilisée par les spécialistes « pompiers volants » pour vaincre l'éruption, consiste à :

- éliminer toute la ferraille calcinée aux abords du trou;
- souffler la flamme à l'aide d'une charge d'explosif;
- mettre en place, sur ce qui reste de la tête de puits, une vanne spéciale pour obturer définitivement celui-ci.

Ce sont des opérations difficiles et dangereuses, et il est parfois préférable d'essayer d'atteindre la couche qui débite par un forage dirigé.

12. CAROTTAGE - DIAGRAPHIES - TESTS

Un forage pétrolier ayant pour objectif la recherche d'horizons productifs, il est indispensable d'obtenir le maximum de renseignements sur les formations traversées et les fluides qu'elles contiennent.

Les déblais, remontés du fond du puits par le fluide de forage, font l'objet d'examen systématiques qui permettent de définir leur nature et, dans la plupart des cas, de les dater grâce aux microfossiles qu'ils contiennent. Pour préciser ces renseignements, on procède quelquefois à un carottage mécanique qui consiste à forer les formations à l'aide d'une couronne diamantée surmontée d'un tube carottier destiné à recevoir la « carotte » : cylindre de roche de 50 à 100 mm de diamètre et de 9 à 27 m de longueur suivant la longueur du tube carottier. Les mesures des caractéristiques pétrophysiques des roches, en particulier de la perméabilité et de la porosité, sont effectuées sur ces carottes et servent ensuite, si l'on a constaté la présence d'hydrocarbures dans les roches, à calculer les réserves du gisement.

La présence d'hydrocarbures ne se manifeste pas toujours de façon spectaculaire, aussi dispose-t-on de moyens capables de détecter par exemple des traces de gaz dans les boues de forage, provenant des roches qui ont été forées par chromatographie. Enfin, lorsque le sondage est terminé, la mesure des caractéristiques électriques, nucléaires et soniques des roches traversées, qui dépendent de leur nature et des fluides qu'elles contiennent (eau douce, eau sa-

Over het algemeen moet een beroep worden gedaan op de duikers, hetzij voor het verifiëren van de goede werking van de onderscheiden systemen, hetzij om te helpen bij hun plaatsing.

Zo de veiligheidsafsluiters niet werken, kan er zich een vrije eruptie en vaak een ontvlaming voordoen van de koolwaterstoffen die uit de schacht spuiten. De methode die over het algemeen toegepast wordt door de specialisten « vliegende pompiers » om de uitbarsting te overwinnen, bestaat in :

- alle verschroeide ijzer in de buurt van het gat te elimineren;
- de vlam te blazen d.m.v. een springstoflading;
- op wat van de schachtkop overblijft, een speciale klep te plaatsen om definitief af te sluiten.

Dit zijn moeilijke en gevaarlijke operaties, en het is soms verkieslijk de debiterende laag te bereiken via een geleide boring.

12. LOGGEN - DIAGRAFIEEN - TESTS

Vermits een petroleumboring als doel heeft productieve horizonten te zoeken, is het onontbeerlijk zoveel mogelijk inlichtingen te verkrijgen over de doorboorde formaties en de vloeistoffen die ze bevatten.

Het afval dat van de schachtbodem wordt opgehaald door de boorvloeistof, wordt systematisch onderzocht waardoor de aard ervan kan bepaald worden en waardoor het in de meeste gevallen, kan gedateerd worden dank zij de microfossielen die het bevat. Om deze gegevens te preciseren, gaat men soms over tot mechanisch loggen : dit bestaat in het aanboren van de formaties m.b.v. een diamantkroon waarop een loggingspijp gehecht is bestemd voor het ontvangen van de « log » : gesteentecylinder van 50 à 100 mm doorsnede en 9 à 27 m lang naargelang de lengte van de loggingspijp. De opmetingen van de petrofysische eigenschappen van de gesteenten, in het bijzonder de doordringbaarheid en de porositeit, worden uitgevoerd op deze stalen en doen achteraf dienst, als de aanwezigheid van koolwaterstoffen in de gesteenten is vastgesteld, voor de berekening van de afzettingsreserves.

De aanwezigheid van koolwaterstoffen uit zich niet altijd op een spectaculaire wijze; men beschikt dan ook over middelen waardoor bijvoorbeeld sporen van gas kunnen onderkend worden in het boorslib, afkomstig van door chromatografie aangeboorde gesteenten. Als de boring tenslotte beëindigd is, laten de metingen van de elektrische, nucleaire en sonische kenmerken van de doorboorde rotsen (kenmerken die afhangen van hun aard en de vloeistoffen die ze be-

lée, hydrocarbures), permet de préciser les horizons susceptibles d'être productifs et de calculer certaines de leurs caractéristiques pétrophysiques.

13. PRIX DE REVIENT DES FORAGES

La spécialisation du travail, la complexité des techniques et le prix élevé des divers matériels ont entraîné la création de sociétés de services capables de réaliser les différentes opérations spéciales qui se présentent au cours du forage. C'est ainsi qu'à côté de la société de forage qui réalise le sondage, il est fait appel à une société de service pour le contrôle géologique de la sonde, pour le contrôle et l'entretien des boues de forage, pour la conduite des opérations d'instrumentation et de forage dirigé, pour les injections de ciment, etc.

La durée d'un sondage dépend naturellement de sa profondeur, de la nature des terrains rencontrés et des incidences du forage; par exemple, des sondages de développement, à 3.500 m au Sahara dans la région d'Hassi-Messaoud, sont terminés en 35 à 40 jours; par contre, dans la région de Pau, il faut compter 150 jours pour atteindre la profondeur de 5.500 m.

Le coût des forages pétroliers représente encore une part importante de l'ensemble des investissements de la recherche pétrolière (environ 60 %). Le prix des forages terrestres est de l'ordre de 50 FF/m (sondage à 500 m) à 1.000 FF/m (sondage à 6.000 m) et correspond aux frais de fonctionnement de l'appareil de forage (amortissement, main-d'œuvre, entretien), aux prix des consommables (trépan, tubage, produit à boues), aux prix des services réalisés par les sociétés spécialisées.

De nombreux efforts sont actuellement réalisés par les grandes sociétés pétrolières pour diminuer le prix de revient des forages et moderniser la technique du forage.

vatten), toe de horizonten te preciseren die productief zouden kunnen zijn, en bepaalde petrofysische eigenschappen ervan te berekenen.

13. KOSTPRIJS VAN DE BORINGEN

De specialisering van het werk, de ingewikkeldheid van de technieken en de hoge prijs der verschillende materialen, hebben de oprichting meegebracht van dienstenmaatschappijen die in staat zijn de onderscheiden bijzondere operaties te verrichten die in de loop van de boring nodig zijn. Zo wordt er, buiten de boorfirma die de proefboring uitvoert, een beroep gedaan op een dienstenmaatschappij voor de geologische controle van de sonde, de controle en het onderhoud van het boorslib, de leiding van de instrumenteringsoperaties en de geleide boring, voor de cementinjecties enz.

De duur van een boring hangt vanzelfsprekend af van haar diepte, de aard der gesteenten waarop men stoot, en de boorincidenten, de ontwikkelingsboringen op 3.500 m in de Sahara in de streek van Hassi-Messaoud b.v., zijn beëindigd op 35 à 40 dagen; in de streek van Pau daarentegen moet men op 150 dagen rekenen om de diepte van 5.500 m te bereiken.

De prijs van de petroleumboringen vormt nog een belangrijk deel van het geheel der investeringen van de petroleumresearch (ongeveer 60 %). De prijs der grondboringen bedraagt tussen 50 FF/m (boring op 500 m) en 1.000 FF/m (boring op 6.000 m), en stemt overeen met de werkingskosten van de booruitrusting (afschrijving, arbeidsloon, onderhoud), met de prijs van de verbruiksgoederen (boorkop, pijpwerk, slibprodukt), met de prijs van de diensten geleverd door de gespecialiseerde firma's.

Er worden thans talrijke inspanningen gedaan door de grote petroleummaatschappijen om de kostprijs der boringen te verlagen en om de boortechniek te moderniseren.



Quelques informations sur le forage profond

Enkele inlichtingen over diepe boringen

Pierre HIRoux *

RESUME

Cet article a pour objet de donner réponse aux interrogations suivantes :

Qui ? Qui décide d'entreprendre un forage, qui étudie le projet, qui réalise le travail ?

Comment se répartissent les responsabilités suivant les différents types de contrat ?

Comment ? Quelles sont les étapes à suivre lorsqu'on entreprend un forage profond depuis l'élaboration du programme, l'exécution des travaux jusqu'à l'exploitation de l'ouvrage ?

Où ? Quels sont les domaines d'applications des forages profonds ?

Combien ? Que coûtent ces ouvrages profonds et comment se répartissent les coûts entre les différents postes ?

ZUSAMMENFASSUNG

Dieser Beitrag hat zum Ziel, eine Antwort auf folgende Fragen zu geben :

Wer ? Wer beschliesst, eine Bohrung durchzuführen, wer untersucht das Projekt, wer führt die Arbeiten aus ?

Wie teilen sich die Haftpflichten bei den verschiedenen Vertragsarten auf ?

Wie ? Welche Phasen sind zu durchlaufen, wenn eine tiefe Bohrung durchgeführt wird, von der

(*) Directeur du Département « Forages et Sondages » Foraky, Place des Barricades 13, B-1000 Bruxelles.

SAMENVATTING

Deze uiteenzetting wil antwoorden op volgende vragen :

Wie ? Wie beslist een boring te ondernemen, wie bestudeert het project, wie verwezenlijkt het werk ?

Hoe worden de verantwoordelijkheden verdeeld volgens de verschillende types van contract ?

Hoe ? Welke etappes moeten er gevolgd worden als men een diepe boring onderneemt, vanaf de uitwerking van het programma, de uitvoering van de werken tot de exploitatie van het werk.

Waar ? Welke toepassingsgebieden hebben de diepe boringen ?

Hoeveel ? Wat kosten deze diepe werken en hoe is de verdeling van de kosten over de onderscheiden posten ?

SUMMARY

The aim of this paper is to answer the following questions:

Who ? Who decides to drill a borehole, who makes the study, who does the job ?

How does the division of responsibility differ from one type of contract to another ?

How ? What stages are there in carrying out a deep drilling-from drawing up the programme, through the

* Directeur van het Departement « Boringen en sonderingen » Foraky, Barrikadenplein 13, B-1000 Brussel.

Ausarbeitung des Programms und der Ausführung der Arbeiten bis zu der Nutzung der Anlage ?

Wo ? Welches sind die Anwendungsgebiete der tiefen Bohrungen ?

Wieviel ? Was kosten diese tiefen Anlagen, und wie teilen sich die Kosten auf die verschiedenen Posten auf ?

execution of the work, up to the exploitation of the borehole ?

Where ? What are the fields of application for deep boreholes ?

How much ? What do deep drilling operations cost and what is the cost breakdown ?

1. RESPONSABILITES D'UN FORAGE ET TYPES DE CONTRAT

Avant d'établir comment se répartissent les responsabilités, définissons d'abord qui sont le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre, le contractant; et quelles sont les relations qui existent entre eux.

Le maître d'ouvrage est le bailleur de fonds : l'Etat, des sociétés privées, parfois même des collectivités communales,... Il sera propriétaire total ou partiel de la découverte, généralement le futur exploitant de la source. Il confiera souvent l'étude du projet à des techniciens, à des bureaux d'études.

Ce bureau d'études devient alors *maître d'œuvre*; il élabore le programme de forage d'exploitation et est chargé d'en contrôler l'exécution.

Le maître d'œuvre est donc en relation constante avec l'entrepreneur.

L'entrepreneur de forage ou *contracteur* fournit l'appareil de forage et met son personnel au service de la société contractante.

Le maître d'œuvre peut faire appel à des *Sociétés de Service* qui fournissent un matériel spécifique, des techniciens et ingénieurs spécialisés qui interviennent :

- soit tout au long du forage, par exemple dans :
 - l'étude du programme de « boue » et le suivi permanent des fluides de forages;
 - la supervision géologique;
- soit ponctuellement pour :
 - les diagraphies différées avant chaque tubage (exemple Schlumberger, Dresser Atlas, Flopétrol);
 - les instrumentations (par exemple Servco, Top Services);
 - les tubages et cimentations (exemple Schlumberger, Halliburton,...);
 - le transport de matériel.

Le maître d'œuvre ou l'entrepreneur se mettent en contact avec *les fournisseurs* pour l'approvisionnement en outils de forage, fuel, ciment, casing,...

1. VERANTWOORDELIJKHEID VOOR EEN BORING EN TYPES VAN CONTRACT

Vooraleer de verdeling van de verantwoordelijkheden op te stellen, bepalen we eerst de bouwheer, bouwmeester en contracterende partij; en welke relaties er tussen hen bestaan.

De bouwheer is de geldschieter: de staat, privé-ondernemingen, soms zelfs gemeentelijke collectiviteiten,... Hij zal volledig of gedeeltelijk eigenaar zijn van de ontdekking, over het algemeen de toekomstige uitbater van de bron. Hij zal de studie van het project vaak toevertrouwen aan technici, aan studiebureaus.

Dit studiebureau wordt dan *bouwmeester*; het werkt het exploitatieboringsprogramma uit en wordt belast met de controle op de uitvoering ervan.

De bouwmeester staat dus in voortdurend contact met de ondernemer.

De boringsondernemer of *contracteur* levert de booruitrusting en plaats zijn personeel ten dienste van de contracterende firma.

De bouwmeester kan een beroep doen op *Dienstvennootschappen* die specifiek materiaal leveren, gespecialiseerde technici en ingenieurs die tussenkomen :

- ofwel tijdens heel de boring, zoals bijvoorbeeld bij :
 - de studie van het « slib »-programma en de permanente opvolging van de boorvloeistoffen;
 - de geologische supervisie;
- ofwel voor een bepaald onderdeel :
 - de uitgestelde diagrafieën vóór elke verbuizing (bvb. Schlumberger, Dresser Atlas, Flopétrol);
 - de instrumenteringen (bvb. Servco, Top Service);
 - de verbuizingen en cementeringen (bvb. Schlumberger, Halliburton,...);
 - het vervoer van materieel.

De bouwmeester of de ondernemer nemen contact op met *de toeleverars* voor het voorzien in boorwerktuigen, brandstof, cement, casing,...

1.1. Contrat régie

a. *L'entrepreneur* est maître de son appareil et fournit le personnel.

Il est payé à l'heure à un tarif qui varie suivant l'activité du chantier. On définit ainsi les différents taux de rémunération :

T.1. Travaux de forage et opérations annexes : colmatage des pertes; traitement de la boue; cimentations; descente et remontée de la garniture, trains de test, tubage; gerbage et dégerbage du train de sonde; montage des obturateurs; mesures d'inclinaison du trou,...

T.2. Arrêt inhérent au maître d'ouvrage à l'exception des interruptions du programme, c'est-à-dire :

- les arrêts effectués sur le chantier, tous moteurs arrêtés;
- les arrêts pendant et après cimentation;
- les arrêts pour opérations d'enregistrement de diagramme;
- les arrêts d'ordre du maître d'ouvrage ou du maître d'œuvre.

T.3. Arrêt inhérent à l'entrepreneur, c'est-à-dire :

- les attentes de produits, matériel, personnel;
- les attentes causées par les réparations à la charge de l'entrepreneur.

T.4. Arrêt pour cas de force majeure, imputable ni au maître d'ouvrage ni à l'entrepreneur (incendies, conditions atmosphériques exceptionnelles,...).

T.5. Arrêt pour congé de la totalité du personnel de l'entrepreneur ou interruption de longue durée du programme.

b. *Le maître d'œuvre* est maître du trou; il est responsable du programme de forage; c'est lui qui donne les ordres.

Son représentant auprès de l'entrepreneur et du maître d'ouvrage est responsable :

- de la conduite du forage;
- de la coordination des différents services;
- de la logistique;
- de la gestion des contrats, de l'administration;
- de la gestion des approvisionnements et stocks;
- des relations avec les autorités locales;
- de l'application des règles de sécurité et de l'hygiène du chantier, etc.

1.2. Contrat métré

a. L'entrepreneur est payé au mètre foré. Dans ce cas, l'entrepreneur non seulement fournit l'appareil

1.1. Regiecontract

a. *De ondernemer* is meester over zijn apparaat en levert het personeel.

Hij wordt per uur vergoed volgens een tarief dat schommelt volgens de activiteit van de werf. Zo worden de onderscheiden vergoedingstarieven bepaald :

T.1. Boorwerken en aanverwante operaties : dempen van de verliezen; behandeling van het slib; cementeringen; neerlaten en ophalen van de bekleding, testtreinen, verbuizing; het op- en afstapelen van de steekproeftrein, het monteren van de afsluiters; hellingmeting van het gat,...

T.2. Onderbreking die inherent is aan de bouwheer met uitzondering van de programma-onderbrekingen, dit wil zeggen :

- de op de werf uitgevoerde werken, met stilleggen van alle motoren;
- de wachttijden tijdens en na cementering;
- de wachttijden voor diagrafie-opmetingsoperaties;
- de wachttijden op bevel van de bouwheer of van de bouwmeester.

T.3. Onderbreking inherent aan de ondernemer, dit wil zeggen :

- het wachten op produkten, materieel, personeel;
- de wachttijden veroorzaakt door de herstellingen ten laste van de ondernemer.

T.4. Stillegging door overmacht, waarvoor noch de bouwheer noch de ondernemer verantwoordelijk is (brand, buitengewone weersomstandigheden,...).

T.5. Onderbreking wegens vakantie van het voltallig personeel van het bedrijf of programma-onderbreking van lange duur.

b. *De bouwmeester* is meester over het gat; hij is verantwoordelijk voor het boorprogramma; hij is degene die de bevelen geeft.

Zijn vertegenwoordiger bij de ondernemer en de bouwheer is verantwoordelijk voor :

- het leiden van de boring;
- de coördinatie van de onderscheiden diensten;
- de logistiek;
- het beheer van de contracten, de administratie;
- het beheer van de bevoorradings- en stocks;
- de betrekkingen met de plaatselijke overheden;
- de toepassing van de veiligheids- en gezondheidsregels van de werf, enz.

1.2. Metercontract

a. De aannemer wordt betaald per geboorde meter. In dit geval levert de ondernemer niet alleen de

de forage et le personnel mais assume la responsabilité du programme technique; il est à la fois entrepreneur et maître d'œuvre.

b. Le maître d'ouvrage veille à ce que les moyens utilisés permettent d'atteindre l'objectif.

Domaines d'application de ces deux types de contrat

Le contrat métré est surtout apprécié du maître d'ouvrage, car il réduit sa responsabilité directe dans l'exécution du travail, mais surtout parce que le coût réel du forage respecte au mieux le budget prévu pour l'objectif (sauf imprévus non imputables à l'entrepreneur).

L'entrepreneur accepte de travailler au métré quand le forage prévu traverse des terrains bien connus où aucune surprise désagréable inhérente à la nature ou à la tenue des formations n'est à craindre.

Cependant, ce type de contrat est de moins en moins fréquent, car trop de risques sont à supporter par l'entrepreneur :

- augmentation trop rapide des prix du matériel de forage;
- accidents géologiques,...

C'est pourquoi le *contrat régie* est préféré au contrat métré, et est actuellement le plus fréquent. Cependant, les habitudes des maîtres d'ouvrages, les taux très variables des risques financiers expliquent l'existence des *contrats métrés*.

1.3. *Contrat régie intéressée*

Ce troisième type de contrat est un contrat mixte où l'entrepreneur est payé en régie avec un bonus ou un malus qui est fonction du nombre de mètres forés par jour.

Cette formule est la plus susceptible de contenter à la fois la société contractante et l'entrepreneur.

2. ANALYSE D'UN CHANTIER DE FORAGE PROFOND

1°) *Au stade de projet*, le maître d'ouvrage doit se préoccuper :

- du choix de l'emplacement du chantier en tenant compte (outre les impératifs imposés par l'objectif même du forage) de l'accessibilité pour des véhicules lourds, de la proximité d'approvisionnement en eau,

booruitrusting en het personeel, maar draagt ook de verantwoordelijkheid voor het technisch programma; hij is tegelijkertijd ondernemer en bouwmeester.

b. De bouwheer ziet erop toe, dat door de aangevonden middelen het gestelde doel kan bereikt worden.

Toepassingsgebieden van deze twee types van contract

Het metercontract wordt vooral op prijs gesteld door de bouwheer, want hij vermindert zijn rechtstreekse verantwoordelijkheid in de uitvoering van de werken, maar vooral omdat de werkelijke kostprijs van de boring het best de voor het doel voorziene begroting eerbiedigt (behalve de onvoorziene gebeurtenissen waarvoor de ondernemer aansprakelijk kan worden gesteld).

De ondernemer aanvaardt het risico van werken als de voorziene boring doorheen onvoorziene lagen gaat waar niet moet gevreesd worden voor onaangename verrassingen inherent aan de aard of ligging van de formaties.

Dit type van contract wordt echter steeds zeldzamer, daar de ondernemer te veel risico's moet lopen :

- te snelle prijsstijging van het boormaterieel;
- geologische onregelmatigheden,...

Daarom wordt de voorkeur gegeven aan *regiecontracten*, die thans het meest voorkomen. De gewoonten der bouwheren, de zeer veranderlijke financiële risico's verklaren echter het bestaan van *metercontracten*.

1.3. *Betrokken regiecontract*

Dit derde type van contract is een gemengd contract waarbij de ondernemer in regie betaald wordt met een bonus of malus die afhangt van het aantal per dag geboorde meter.

Deze formule biedt de meeste kansen om zowel de contracterende firma als de ondernemer tevreden te stellen.

2. ANALYSE VAN EEN WERF VOOR DIEPE BORING

1°) *In het ontwerp stadium*, moet de bouwheer zich bezig houden met :

- de keuze van de plaats van de werf, rekening houdend (buiten de imperatieven opgelegd door de doelstelling zelf van de boring) met de toegankelijkheid voor zware voertuigen, de nabijheid van wa-

en électricité, des nuisances éventuelles (bruit, pollution) ...;

- d'obtenir les permis et autorisations nécessaires : permis de recherche, permis d'exploitation, autorisations communales, ...;
- de confier éventuellement l'étude du projet à un bureau d'études qui devient alors maître d'œuvre;
- de lancer un appel d'offres aux diverses entreprises de forage, d'établir un contrat et de choisir l'entrepreneur qui exécutera les travaux.

2°) *Pour l'exécution du forage*, le maître d'œuvre et/ou l'entrepreneur (suivant le type de contrat) devront s'attacher à des tâches multiples :

- génie civil : chemins d'accès, nivellement, mise en place d'une plate-forme en béton ...;
- logistique : gestion des moyens de transports et télécommunications; entretien du chantier et des voies d'accès;
- approvisionnement : en produits boue, casings, outils de forage et de carottage, tête de puits, équipements spéciaux...;
- appel aux sociétés de service :
 - pour les loggings, tubages, cimentations,
 - en cas d'instrumentation,
 - pour les boues et le suivi géologique;
- conduite du forage conformément au programme établi;
- veiller au bon fonctionnement des équipements de sécurité et à l'observation des règles de sécurité;
- gestion administrative;
- relation avec les autorités locales.

3°) *L'exploitation de l'ouvrage* consiste en sa mise en production qui peut être confiée à un autre bureau d'études, à un autre entrepreneur.

3. DOMAINES D'APPLICATION DU FORAGE ROTARY-TECHNIQUE DE BASE DU FORAGE PETROLIER

Les techniques de forage propres au forage pétrolier et gazier (essentiellement la technique de forage rotary) trouvent également leurs applications, après certaines adaptations, dans les domaines suivants :

3.1. Géothermie

a) *Basse température* : captage d'eau chaude, par la technique des doublets, pour les besoins de chauffage urbain essentiellement.

Problèmes particuliers :

ter- en elektriciteitsbevoorrading, gebeurlijke overlast (lawaaï, vervuiling) ...;

- het verkrijgen van de nodige vergunningen en toelatingen : opzoekingsvergunning, uitbatingsvergunning, gemeentelijke toelatingen, ...;
- het gebeurlijk toevertrouwen van de studie van het project aan een studiebureau, dat dan bouwmeester wordt;
- het organiseren van een offerte-aanvraag voor de diverse boorondernemingen, het opstellen van een contract en de keuze van de ondernemer die de werken zal uitvoeren.

2°) *Voor de uitvoering van de boring*, moet de bouwmeester en/of de ondernemer (naargelang van het type van contract) zich wijden aan talrijke taken :

- burgerlijke engineering : toegangswegen, gelijkmaking, plaatsing van een betonnen platform, ...;
- logistiek : beheer van de vervoermiddelen en van de telecommunicatie; onderhoud van de werf en van de toegangswegen;
- bevoorrading : van produkten voor slib, casings, boor- en loggingswerktuigen, schachtkoppen, speciale uitrustingen, ...;
- beroep doen op dienstverlenende firma's :
 - voor de loggings, verbuizingen, cementeringen,
 - in geval van opvissen van gevallen werktuigen;
 - voor het slib en de geologische opvolging;
- leiding van de boring volgens het opgestelde programma;
- toezien op de goede werking van de veiligheidsuitrustingen en het naleven van de veiligheidsvoorschriften;
- administratief beheer;
- betrekkingen met de plaatselijke overheden.

3°) *De exploitatie van het werk* bestaat uit het in productie nemen ervan, die toevertrouwd kan worden aan een studiebureau, aan een andere ondernemer.

3. TOEPASSINGSGBIEDEN VAN DE ROTARY-BORING.

BASISTECHNIEK VAN DE PETROLEUMBORING

De boortechnieken eigen aan de petroleum- en gasboringen (essentieel de rotary-boortechniek) hebben eveneens hun toepassingen, na bepaalde aanpassingen, in de volgende gebieden :

3.1. Geothermie

a) *Lage temperatuur* : afzuigen van warm water, door de doublet-techniek, voornamelijk voor de noden van stadsverwarming. Bijzondere moeilijkheden :

- l'obligation de situer ces forages à proximité des zones d'habitation conduit :
 - à l'isolation phonique totale de l'appareil;
 - au traitement particulier des boues car la place manque pour faire un grand bournier;
 - à rendre l'appareil le plus compact possible (cherté du terrain);
- les réservoirs à atteindre sont généralement fragiles et à une pression quasi en équilibre avec la pression hydrostatique, ce qui impose :
 - l'utilisation de boue spéciale (au polymère par exemple);
 - le traitement mécanique des solides;
 - la mise en place d'un BOP (Blow out Preventer).

b) *Haute température* : captage de vapeur pour la transformer en énergie électrique.

Problèmes particuliers :

- les formations volcaniques traversées sont généralement très hétérogènes, d'où grandes difficultés dans le choix des outils, et pour réaliser un forage vertical;
- la température de la roche peut atteindre 300 °C et plus, d'où problème de tenue de la boue de forage;
- les forages sont presque toujours réalisés en perte de circulation dans le réservoir d'où problèmes de corrosion du matériel liés au dégagement de H₂S;
- lors des essais, la température de la vapeur liée à des débits importants pouvant atteindre 140 t/h de vapeur, pose des problèmes quant à la durée de vie du matériel constituant les BOP.

3.2. Reconnaissance minière et géologique profonde

L'objectif essentiel est de réaliser des prises d'échantillons ou carottes à des niveaux donnés au prix le plus économique possible.

Selon la profondeur à réaliser, deux techniques sont utilisées :

Le carottier conventionnel. Une fois la longueur du carottier forée (9 à 18 m), il faut faire une manœuvre complète, c'est-à-dire remonter tout le train de tiges, vider le carottier et redescendre le carottier et toute la garniture de forage.

Cette méthode est la seule possible dans le cas de forages profonds et de grand diamètre, ainsi que pour le carottage ponctuel.

Le carottier au câble. Une fois la longueur du carottier forée (6 m), on récupère la partie intérieure

- de la vérification van deze boringen in de nabijheid van woonzones te situeren leidt tot :
 - totale geluidsisolatie van het apparaat;
 - bijzondere behandeling van het slib, daar plaats ontbreekt voor een grote slibput;
 - het zo compact mogelijk maken van het apparaat (zuiverheid van het terrein);
- de te bereiken reservoirs zijn over het algemeen kwetsbaar en hebben een druk die vrijwel in evenwicht is met de hydrostatische druk, wat het volgende opdringt :
 - het gebruik van speciaal slib (met polymeer bijvoorbeeld);
 - het mechanisch behandelen van de vaste stoffen;
 - het plaatsen van een BOP (Blow out Preventer).

b) *Hoge temperatuur* : afzet van stoom om deze om te vormen tot elektrische energie. Bijzondere moeilijkheden :

- de doorboorde vulkanische formaties zijn over het algemeen zeer heterogeen, wat grote moeilijkheden oplevert voor de keuze der werktuigen en voor het verwezenlijken van een verticale boring;
- de temperatuur van het gesteente kan tot 300 °C en meer stijgen, wat een probleem meebrengt voor de vastheid van het boorslib;
- de boringen worden vrijwel altijd verwezenlijkt met omloopverlies in het reservoir, wat corrosieproblemen meebrengt voor het materieel in verband met het vrijkomen van H₂S;
- bij de proeven worden problemen gesteld door de temperatuur van de stoom in verband met de belangrijke debieten, die 140 t/u. kunnen bereiken; de levensduur van het materieel dat de BOP vormt komt in het gedrang.

3.2. Diepe mijn- en geologische exploratie

De essentiële doelstelling is de verwezenlijking van monsternemingen of logging op bepaalde niveaus voor een zo laag mogelijke prijs.

Volgens de te verwezenlijken diepte, worden twee technieken aangewend :

De conventionele logger. Eens de lengte van de logger geboord is (9 à 18 m), moet een volledig manöver uitgevoerd worden, dit wil zeggen het hele stangensysteem weer ophalen, de logger leeg maken en hem weer neerlaten evenals de hele boorbekleding.

Dit is de enig mogelijke methode in het geval van diepe boringen met grote diameter, evenals voor het loggen van bepaalde elementen.

De kabellogger. Eens de lengte van de logger geboord is (6 m), wordt door middel van een kabel het

contenant la carotte au moyen d'un câble et on la remonte à l'intérieur de la garniture de forage laissée en place, on sort la carotte en surface, et on laisse redescendre en chute libre, par le même chemin, le carottier intérieur qui va se réenclencher dans le carottier extérieur laissé au fond.

Cette technique est d'application pour des carottes de petit diamètre en continu, et des trous allant jusqu'à 1.200 m environ.

Elle offre une économie de temps de manœuvre considérable par rapport au carottier conventionnel.

L'architecture du forage de reconnaissance est alors bâtie en partant du diamètre ultime admissible.

Exemples :

- St-Ghislain - carottier conventionnel - $\phi = 4''$ à 5.400 m
- K.S. - carottier au câble - $\phi = 3'' \frac{3}{8}$ à 1.300 m.

3.3. Stockage de gaz ou d'hydrocarbures liquides

Des stockages sont réalisés dans des structures ou formations naturelles telles que :

- des formations salifères après lessivage de celles-ci,
- des karsts,
- certaines formations gréseuses,

et aussi dans des structures artificielles telles d'anciennes galeries de mines.

Le diamètre de ces forages sera fonction des capacités de stockage et d'extraction souhaitées, généralement 1,5 fois le diamètre d'un forage pétrolier à la même profondeur.

3.4. Forage dirigé

Dans certaines applications plus particulières, dont voici quelques exemples, le forage dirigé prend une importance capitale :

- *la gazéification souterraine*, où la distance entre les pieds des forages dans la couche de charbon doit être respectée à tout prix, de manière à pouvoir contrôler ultérieurement le front de combustion;
- *le stockage* d'eau chaude ou de gaz dans d'anciennes exploitations charbonnières où il s'agit d'atteindre d'anciens boueaux ou travaux;
- les trous de contrôle pour pose d'appareils de mesure au droit d'exploitations souterraines, etc.

binnenste gedeelte gerecupereerd dat de log bevat, en dit wordt opgehaald binnen de boorbekleding die ter plaatse wordt gelaten, aan de oppervlakte wordt de log vrij gemaakt en men laat in vrije val, langs dezelfde weg, de binnenlogger weer naar beneden; deze zal zich weer aansluiten op de buitenlogger die op de bodem gelaten werd.

Deze techniek is toepasselijk op loggings met kleine diameter in continu, en voor gaten die tot op ongeveer 1.200 m gaan.

Hij biedt een aanzienlijke tijdsbesparing voor de manoeuvres in vergelijking met de conventionele logger.

De architectuur van de exploratieboring wordt dan opgebouwd op basis van de uiterst toelaatbare diameter.

Voorbeelden :

- St-Ghislain - conventionele logger - $\phi = 4''$ op 5.400 m
- K.S. - kabellogger - $\phi = 3'' \frac{3}{8}$ op 1.300 m.

3.3. Opslag van vloeibaar gas of vloeibare koolwaterstoffen

Er wordt aan opslag gedaan in natuurlijke formaties of structuren, zoals :

- zouthoudende formaties nadat deze gewassen zijn,
 - karsten,
 - bepaalde zandsteenachtige formaties,
- en ook in kunstmatige structuren zoals oude mijngalerijen.

De diameter van deze boringen zal afhangen van de gewenste opslag- en extractiecapaciteiten, over het algemeen 1,5 maal de diameter van een petroleum-boring op dezelfde diepte.

3.4. Geleide boring

In bepaalde meer bijzondere toepassingen, waarvan enkele voorbeelden volgen, krijgt de geleide boring een zeer groot belang :

- *de ondergrondse vergassing*, waar de afstand tussen de voet van de boringen in de steenkoollaag tot elke prijs moet geëerbiedigd worden, om later het verbrandingsfront te kunnen controleren;
- *het opslaan* van warm water of gas in oude steenkoolontginningen waar het erop aankomt oude steengangen of werken te bereiken;
- de controlegaten voor het plaatsen van meetapparaten loodrecht boven ondergrondse ontginningen, enz.

3.5. Dérivés du forage rotary

Nous ne ferons que citer les techniques de forage qui sont des dérivés plus lointains du forage rotary :

- le forage gros diamètre (raise boring ou box drilling) jusqu'à 3,5 m;
- les forages de *puits de mines* : 4,5 à 6,5 m;
- le flexo-forage, où les tiges ont été remplacées par des flexibles et la table de rotation, par une turbine;
- le turbo-forage, où seul l'outil de forage tourne entraîné par de très gros débits de boue, tandis que l'arbre de forage reste immobile;
- le forage à l'air.

4. COUT DU FORAGE

Le tableau I donne la répartition par poste du coût d'après une décomposition statique dans le cas d'un forage pétrolier avec un contrat en régie (Drilling Revue, octobre 1980, U.S.A.).

Le tableau II donne le coût journalier suivant le type d'appareil et le site de forage.

TABLEAU I. — Décomposition statistique

Forage pétrolier - Régie (Drilling Revue, octobre 1980, U.S.A.)	
1. <i>Génie civil - Préparation</i>	3,4 %
Transport - Déménagement	2,9 %
	6,3 %
2. <i>Forage proprement dit</i>	
a) Contracteur - Entrepreneur	43,6 %
b) Fuel	1,5 %
c) Boues de forage	7,2 %
d) Forage dirigé	0,5 %
e) Trépans et aléseurs	1,5 %
f) Divers	1,9 %
	56,2 %
3. <i>Équipement du forage</i>	
a) Tubages	3,7 %
b) Pose des tubages	14,3 %
c) Cimentation	0,6 %
d) Divers	1,9 %
	20,5 %
4. <i>Contrôle et test-production</i>	
a) Contrôle géologique	1,8 %
b) Diagraphies	3,3 %
c) Perforations	0,4 %
d) Traitement des formations	2,6 %
e) Outils spécifiques	2,8 %
f) Tête de puits	2,0 %
g) Bouchage	0,4 %
	13,3 %
5. <i>Supervision et frais généraux</i>	3,7 %
	100,0 %

3.5. Afleiden van de rotary-boring

We zullen de boortechnieken die verdere afleidingen van de rotary-boring zijn, slechts aanhalen :

- de boring met grote diameter (raise boring of box drilling) tot 3,5 m;
- het boren van *mijnschachten* : 4,5 à 6,5 m;
- de buigboring, waar de stangen vervangen zijn door slangen en de rotatietafel door een turbine;
- de turbo-boring, waar alleen het boorwerktuig draait, aangedreven door zeer grote slibdebieten, terwijl de boorarm onbeweeglijk blijft;
- de luchtboring.

4. KOSTPRIJS VAN DE BORING

Tabel I geeft de onderverdeling per post van de kostprijs volgens een statistische ontleding in het geval van een petroleumboring met een regiecontract (Drilling Revue, oktober 1980, U.S.A.).

Tabel II geeft de dagprijs volgens het type apparaat en de plaats van boring.

TABEL I. — Statistische ontleding

Petroleumboring - Régie (Drilling Revue, oktober 1980, U.S.A.)	
1. <i>Burgerlijk engineering - Voorbereiding</i>	3,4 %
Vervoer - Verhuis	2,9 %
	6,3 %
2. <i>Eigenlijke boring</i>	
a) Contracteur - Ondernemer	43,6 %
b) Brandstof	1,5 %
c) Boorslib	7,2 %
d) Geleide boring	0,5 %
e) Grondboren en uitboorders	1,5 %
f) Varia	1,9 %
	56,2 %
3. <i>Booruitrusting</i>	
a) Verbuizingen	3,7 %
b) Plaatsen van de verbuizingen	14,3 %
c) Cementering	0,6 %
d) Varia	1,9 %
	20,5 %
4. <i>Controle en testproductie</i>	
a) Geologische controle	1,8 %
b) Diagrafieën	3,3 %
c) Perforaties	0,4 %
d) Behandeling der formaties	2,6 %
e) Specifieke werktuigen	2,8 %
f) Schachtkop	2,0 %
g) Afsluiting	0,4 %
	13,3 %
5. <i>Toezicht en algemene onkosten</i>	3,7 %
	100 %

TABLEAU II. — *Coût du contracteur*

(janvier 1981)	FB/jour
1. Terre-Europe : Pétrolier - Régie	
Appareil léger (80 - 120 t)	200.000
Appareil moyen (120 - 180 t)	250.000
Appareil lourd (180 t et plus)	300.000
2. Mer du Nord	
Semi Sub	2.200.000
Jack Up	1.000.000
Golfe de Guinée	
Semi Sub	1.800.000
Jack Up	1.100.000

Tabel II. — *Kostprijs van de contracteur*

(januari 1981)	BF/dag
1. Aarde-Europa : Petroleum - Regie	
Licht apparaat (80-120 t)	200.000
Gemiddeld apparaat (120-180 t)	250.000
Zwaar apparaat (180 t en meer)	300.000
2. Noordzee	
Semi Sub	2.200.000
Jack Up	1.000.000
Golf van Guinea	
Semi Sub	1.800.000
Jack Up	1.100.000



Evolution de l'exploitation pétrolière en Mer du Nord

Evolutie van de petroleumontginning in de Noordzee

Guy PIRON *

RESUME

Les pétroliers n'ont commencé à s'intéresser à la Mer du Nord qu'après la découverte du gisement de gaz de Slochteren aux Pays-Bas en 1959. La première découverte de gaz commercial fut Westsole (Mer du Nord au Sud du Royaume-Uni) en 1965, et le premier champ de pétrole fut Ekofisk, dans le secteur norvégien, découvert en 1969.

Les profondeurs d'eau en Mer du Nord varient entre 30 et 200 m ou plus et les conditions météorologiques furent beaucoup plus sévères que celles auxquelles on s'attendait au départ. Ces facteurs ont influencé la technologie de forage utilisée en cette région.

Forage d'exploration : le but principal est d'effectuer l'opération le plus rapidement possible afin de minimiser le coût. Les puits d'exploration sont généralement abandonnés après que l'on ait obtenu les informations sur le puits.

Selon les profondeurs d'eau, différents types de plates-formes sont employés : les plates-formes auto-élevatrices (jusqu'à 100 m d'eau), les plates-formes flottantes (jusqu'à 300 m), les bateaux de forage (au-delà de 70 m d'eau). Chaque type a ses propres avantages et inconvénients dans les différentes conditions de travail, qui influencent la conception de l'équipement de sécurité, de la tête de puits et d'autres équipements annexes, ainsi que la procédure d'utilisation de ces équipements. En Mer du Nord, les plates-formes flottantes ou auto-élevatrices sont généralement celles qui conviennent le mieux.

* Directeur au Département « Exploration et Production », Petrofina SA, rue de la Loi 30, B-1040 Bruxelles.

SAMENVATTING

Er kwam belangstelling voor de Noordzee in de petroleumindustrie na de ontdekking van de gasbel van Slochteren in Nederland in 1959. De eerste commerciële ontdekking van gas gebeurde in Westsole (Zuiden van het Verenigd Koninkrijk - Noordzeegebied) in 1965 en het eerste olieveld was Ekofisk in de Noorse sector, ontdekt in 1969.

De waterdiepte van de Noordzee varieert van 30 tot over 200 m en de weersomstandigheden werden slechter bevonden dan aanvankelijk verwacht. De volgende typen boortechnologie bestaan in het Noordzeegebied.

Exploratieboringen : het hoofddoel is zo vlug mogelijk economisch winbare olie- of gasvelden te ontdekken. Exploratieputten worden over het algemeen verlaten nadat gegevens over de put zijn verzameld.

Naargelang van de waterdiepten worden verschillende typen van platforms gebruikt : zelfhijzende boorplatforms (tot 100 m water), drijvende boorplatforms (tot 300 m water) en boorschepen (meer dan 70 m water). Elk type heeft zijn eigen voor- en nadelen die bepaald worden door de manier waarop de put geboord wordt en de veiligheidsuitrusting wordt geplaatst. In de Noordzee worden drijvende en zelfhijzende platforms het meest gebruikt.

* Directeur bij het Departement « Exploratie en Productie », Petrofina N.V., Wetstraat 30, B-1040 Brussel.

Les forages d'exploitation : sont destinés à la récupération des hydrocarbures et les acheminent vers les plates-formes de traitement, situées au-dessus du réservoir. A partir de chaque plate-forme, plusieurs forages déviés atteignent de nombreux points de ce réservoir.

Afin d'obtenir un démarrage plus rapide de la production, des puits peuvent à présent être préforés à partir de plates-formes de forage mobiles pendant que la plate-forme est en construction et, plus tard, la liaison avec la plate-forme installée est réalisée. Ceci raccourcit de quelques années le temps nécessaire au développement d'un champ.

Les plates-formes d'exploitation : de nombreux paramètres influencent le type, les dimensions, la conception, le nombre et la technique de lancement de ces plates-formes. Les principaux types sont actuellement des structures fixes ancrées à pieux battus, des structures gravitaires en béton (considérées aujourd'hui comme moins adaptées aux conditions en Mer du Nord), et des structures gravitaires métalliques (comme la plate-forme Maureen).

Des plates-formes souples sont à présent étudiées ou développées telles la tour haubannée, la plate-forme à ancrages tendus et la tour gravitaire articulée.

L'industrie tache à présent de développer des solutions moins coûteuses permettant l'exploitation de champs plus petits et, d'autre part, de développer des solutions pour les eaux plus profondes dans un environnement sévère comme celui de la Mer du Nord.

ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Erdölsuche erwachte das Interesse für die Nordsee nach der Entdeckung des Ölfeldes bei Slochteren in den Niederlanden im Jahre 1959. Die erste kommerzielle Gas-Entdeckung war Westsole (Nordsee vor der südenglischen Küste) im Jahre 1965, und das erste Ölfeld war Ekofisk auf norwegischem Gebiet, das im Jahre 1969 entdeckt wurde.

Die Wassertiefe in der Nordsee liegt zwischen 30 m und 200 m oder mehr, und es erwies sich, daß die meteorologischen Bedingungen ungünstiger waren als man ursprünglich erwartet hatte. Diese Faktoren beeinflussten die in diesem Gebiet verwendete Bohrtechnologie.

Erkundungsbohrungen : Das Hauptziel ist die Ausführung der Bohrungen in möglichst kurzer Zeit, um die Kosten so niedrig wie möglich zu halten. Im allgemeinen werden die Erkundungsbohrungen aufgegeben, wenn alle Informationen aus der Bohrung gewonnen wurden.

Entsprechend der Wassertiefe werden verschiedene Bohrausrüstungen verwendet : Hubinseln (bis zu

Exploitatieboringen : worden ondernomen om koolwaterstoffen te produceren en deze naar de produktieplatformen te vervoeren, die zich boven het reservoir bevinden.

Van elk platform bereiken vele schuingeboorde putten verschillende punten van dit reservoir. Om een vluggere produktiestart te verwezenlijken, kunnen putten ook voorgeboord worden vanaf drijvende booreilanden terwijl het produktieplatform vervaardigd wordt en, later, verbonden met het geïnstalleerde platform. Dit verkort met een paar jaar de tijd die nodig is om een veld in produktie te brengen.

Produktieplatforms : vele parameters beïnvloeden het type, de afmetingen, het ontwerp, het aantal putten en de tewaterlatingstechniek van deze platforms. De voornaamste types zijn thans vaste structuren verankerd met heipalen, betonnen gravitaire structuren (nu beschouwd als minder aangewezen voor de Noordzeeomstandigheden) en stalen zwaartekrachtstructuren (zoals het Maureen-platform).

Thans worden lichtgewicht platforms bestudeerd of ontwikkeld, zoals de tuitoren, het platform met gespannen kabels en de geartikuleerde zwaartekrachtstoren.

De industrie probeert nu goedkopere oplossingen te ontwikkelen die de ontwikkeling van kleinere velden mogelijk zouden maken en, anderzijds, oplossingen te ontwikkelen voor diepe waters in ruwe omgeving zoals de Noordzee.

SUMMARY

The oil industry's interest in the North Sea started after the discovery of the gas field of Slochteren, in the Netherlands, in 1959. The first commercial gas discovery was Westhole (Southern North Sea; UK) in 1965; the first oil field was Ekofisk, in the Norwegian sector, discovered in 1969.

The depth of water in the North Sea varies from 30 m to 200 m or more; the meteorological turned out to be more rigorous than initially expected. These factors influenced the drilling technology used in the area.

Exploration drilling : the main goal is to complete the operation in the shortest possible time, in order to minimize costs. Generally, exploration wells are abandoned after the information from the well has been collected.

According to the depth of water various types of platform are used : jack-up rigs (in depths of as much

100 m Wassertiefe), Halbtaucher (bis zu 300 m Wassertiefe), oder Bohrschiffe (oberhalb von 70 m Wassertiefe). Jede Bohrausrüstung hat bei den verschiedenen Arbeitsbedingungen ihre Vorteile und Nachteile, und sie bestimmt die Auslegung der Sicherheitsvorrichtungen, des Bohrlochkopfes und anderer, damit zusammenhängender Ausrüstungen, sowie das Arbeitsverfahren für diese Ausrüstungen. Für die Nordsee eignen sich Halbtaucher oder Hubinseln gewöhnlich am besten.

Förderbohrungen werden gemacht, um Kohlenwasserstoffe zu fördern und zu den Treating-Plattformen zu bringen, die über der Lagerstätte angeordnet sind. Von jeder Plattform erreichen viele Abweichungsbohrungen verschiedene Punkte dieser Lagerstätte.

Um einen früheren Beginn der Förderung zu erhalten, können nun während des Baus der Plattform Bohrungen von mobilen Bohrausrüstungen aus niedergebracht werden, wobei diese Bohrungen später an die installierte Plattform angeschlossen werden. Die für den Aufschluß eines Feldes erforderliche Zeit kann auf diese Weise um einige Jahre verkürzt werden.

Förderplattformen : Die Type, die Größe, die Auslegung, die Anzahl und die Stapellauf-Technik dieser Plattformen werden von vielen Parametern bestimmt. Als hauptsächliche Typen werden gegenwärtig stationäre, durch Pfähle verankerte Konstruktionen, Beton-Schwerkraft-Konstruktionen (jetzt als weniger geeignet für die Bedingungen der Nordsee angesehen), und Stahl-Schwerkraft-Konstruktionen (wie die Maureen-Plattform) verwendet.

Jetzt werden nachgiebige Plattformen untersucht und entwickelt, wie zum Beispiel der abgespannte Turm, die Spannbein-Plattform, und der Gelenk-Schwerkraft-Turm.

Die Industrie versucht jetzt, einerseits billigere Lösungen für den Aufschluß von kleinen Feldern, und andererseits Lösungen für größere Wassertiefen in rauher Umgebung, wie der Nordsee, zu entwickeln.

as 100 m of water), semi-submersible rigs (depths of as much as 300 m), drill-ships (more than 70 m of water). Each type has its own advantages and disadvantages in different working conditions; all these factors influence the design of the safety equipment, the well head and ancillary gear, and also the operational procedure. Semi-submersible or jack-up rigs are usually the most suitable in the North Sea.

Development drilling : is carried out to initiate production of the hydrocarbons and bring them to the processing platforms, situated above the reservoir. Each platform is fed by numerous deviated wells which have penetrated various points of the reservoir.

To start production earlier, wells can now be pre-drilled from mobile drilling rigs, while the platform is being fabricated; later, these wells are connected up to the installed platform. This shortens the time required to develop a field by a few years.

Production platforms : many parameters influence the type, size, design, number of these platforms and the techniques used for launching them. The major types in current use are fixed structures anchored by piles, concrete gravity structures (now considered less suitable for North Sea conditions), steel gravity structures (such as the Maureen platform).

Compliant platforms are now being studied or developed e.g. the guyed tower, the tension-leg platform and the articulated gravity tower.

The industry is now trying to develop cheaper solutions which would make it possible to develop smaller fields and also to develop solutions for deeper waters in a rough environment such as that of the North Sea.

O. INTRODUCTION

La recherche pétrolière en milieu marin a commencé aux Etats-Unis dans le Golfe du Mexique dès 1947. A cette époque, les profondeurs intéressées étaient de l'ordre d'une dizaine de mètres, dans un environnement très calme, les forages étant effectués au départ de pontons préalablement coulés et reposant sur le fond.

Dans les années 50, les techniques d'exploration des zones marines firent d'énormes progrès, particulièrement dans le Golfe du Mexique, et des engins de forage furent mis au point permettant de travailler

O. INLEIDING

In 1947 werd begonnen met exploratieboringen in zee in de Golf van Mexico van de Verenigde Staten. Toen bedroegen de betrokken waterdiepten ongeveer 10 meter in een zeer kalme zee; de boringen werden uitgevoerd vanaf boorplatforms die op de zeebodem rustten.

In de jaren 50 maakten de exploratietechnieken in zee een enorme vooruitgang, bijzonder in de Golf van Mexico, en er werden boorplatforms ontwikkeld om



Fig. 1
 Hauteurs de vague maximales (m) en mer du Nord et aux environs pour le cycle de 50 ans
Maximumhoogte der golven (m) in de Noordzee en omgevende gebieden voor een cyclus van 50 jaar
 — Limite 200 m, profondeur d'eau : *limiet 200 m waterdiepte*

dans des profondeurs d'eau plus importantes et dans des conditions météo-océanographiques plus dures.

Les pétroliers n'ont commencé à s'interroger sur l'intérêt de la Mer du Nord qu'après la découverte en 1959 du gisement de gaz de Slochteren dans la province de Groningen aux Pays-Bas.

Cette découverte fut une sorte de révélation. Le vaste bassin maritime de la Mer du Nord totalement inexploré et pourtant si connu de tous devenait le point de mire du monde pétrolier (fig. 1).

Mais il fallait d'abord régler les droits de souveraineté des différents pays limitrophes et organiser le découpage du territoire sous-marin. C'est pourquoi le grand rush n'a pu commencer qu'en 1965, après l'octroi de concessions dans la zone anglaise.

La première découverte commerciale de gaz eut lieu dans les eaux anglaises méridionales, à Westsole en 1965, et fut suivie entre 1965 et 1969 par une série de découvertes de champs de gaz dans la même région, dans des profondeurs d'eau de 30 à 40 m.

Dès 1967, la découverte d'indices d'huile dans un forage au large des côtes danoises avait intensifié le processus d'exploration qui débouchera en 1969 sur la découverte du premier champ de pétrole en Norvège, Ekofisk par 70 m d'eau, et un an plus tard par celui de Forties en Angleterre (100 m d'eau).

te werken op grotere waterdiepten en tijdens slechte weersomstandigheden.

De petroleumprospectors begonnen zich slechts te interesseren voor het belang van de Noordzee nadat in 1959 een gasveld ontdekt werd te Slochteren in de provincie Groningen in Nederland.

Deze ontdekking was een soort onthulling. Het uitgestrekte zeebekken van de Noordzee dat geheel niet onderzocht was en nochtans zo goed gekend door allen, werd het doelwit van de petroleumwereld (fig. 1).

Maar eerst dienden de soevereiniteitsrechten van de verschillende grensgebieden geregeld en de indeling van het onderzees gebied georganiseerd te worden. Daarom kon de grote rush slechts in 1965 beginnen na de toekenning van de concessies in de Engelse zone.

De eerste commerciële ontdekking van gas vond plaats in 1965 in de zuidelijke Engelse waters te Westsole. Deze werd tussen 1965 en 1969 gevolgd door een reeks ontdekkingen van gasvelden in ditzelfde gebied op 30 tot 40 m waterdiepte.

Vanaf 1967 werden de exploratieboringen geïntensifieerd naar aanleiding van de ontdekking van olieaanduidingen in een boring ter hoogte van de Deense kust; dit zal in 1969 uitlopen op de ontdekking van het eerste petroleumveld in Noorwegen, Ekofisk op 70 m diepte, en een jaar later Forties in Engeland (100 m diepte).

La Mer du Nord occupe un vaste bassin maritime de forme polygonale d'une superficie d'environ 550.000 km². Au nord, elle s'ouvre sur la Mer de Norvège, prolongement septentrional de l'Atlantique Nord. Sa plus grande longueur entre le Pas-de-Calais et l'extrémité des Shetlands est de 1.300 km et sa largeur entre le Danemark et l'Ecosse atteint 780 km. Ses eaux baignent les rives des pays les plus industrialisés d'Europe et donc les plus gros consommateurs d'énergie. La topographie sous-marine est assez plate, mais les conditions des fonds marins sont très variables et peuvent être constituées de sables, boues, argile ou roches. Sauf dans le fossé Norvégien, les fonds dépassent rarement les 200 m. La moitié sud du bassin est peu profonde avec des fonds ne dépassant pas 100 m et, au sud d'une ligne partant de Scarborough sur la côte méridionale anglaise jusqu'à la pointe du Danemark, on reste en deçà des 50 m.

En Norvège, dans la partie norvégienne on passe progressivement au-delà des 200 m en direction de la « Fosse Norvégienne ».

De l'industrie pétrolière confond généralement sous le terme, Mer du Nord, non seulement le bassin correspondant au cadre géographique de cette dernière sensu lato, mais également son extension au nord, la bordure du bassin Atlantique situé à l'Ouest de l'Angleterre et de l'Irlande où les profondeurs s'accroissent très rapidement, pouvant dépasser les 1.000 m.

L'environnement météo-océanographique de la Mer du Nord est particulièrement sévère et a été considéré de tout temps avec respect par les marins. Bien que les tempêtes y atteignent rarement la force des ouragans, elles sont fréquentes et de longue durée surtout d'octobre à avril, avec des vitesses de vents de plus de 150 km/h et des vagues dépassant 20 m. Les observations effectuées à partir des plates-formes de forage ont montré que les conditions météorologiques externes étaient beaucoup plus sévères que celles auxquelles on aurait pu s'attendre d'après les observations publiées par les services compétents des pays riverains.

Le décor étant ainsi esquissé

- profondeur variant de quelques dizaines de mètres à 200 m et plus
 - environnement externe extrêmement hostile,
- voyons quelles sont les différentes techniques de forage mises en œuvre pour explorer et exploiter les richesses de ce bassin.

On peut dire que la technique du forage en mer est similaire à celle utilisée à terre en ce qui concerne la manière de traverser les différents horizons géologiques, mais que l'on a dû adapter les équipements et la technique pour tenir compte de deux variables supplémentaires : la profondeur d'eau et l'environnement marin.

De Noordzee beslaat een uitgebreid zeebekken met een polygonale vorm en een oppervlakte van ongeveer 550.000 km². Ten noorden loopt zij uit in de Noorse Zee die het noordelijk verlengde is van de Noordatlantische Oceaan. Haar grootste lengte, tussen Pas-de-Calais en het uiteinde van de Shetlands, bedraagt 1.300 km en haar breedte tussen Denemarken en Schotland bereikt 780 km. Zij begrenst de meest geïndustrialiseerde landen van Europa en dus de grootste energieverbruikers. De onderzee topografie is tamelijk vlak, maar de gesteldheid van de zeebodem is zeer veranderlijk en deze kan bestaan uit zand, slib, klei of rotsen. Behalve in het Noorse bekken bevindt de bodem zich zelden op meer dan 200 m diepte. De zuidelijke helft van het bekken is niet zo diep; de bodemdpte overschrijdt geen 100 m, en ten zuiden van een lijn tussen Scarborough op de Engelse zuidkust tot aan de punt van Denemarken bereikt men geen 50 m.

Daarentegen gaat men in het Noorse gedeelte geleidelijk over tot meer dan 200 m in de richting van het « Noorse bekken ».

Bovendien rekent de petroleumindustrie over het algemeen tot de Noordzee niet enkel het bekken dat strikt genomen overeenstemt met het geografisch kader ervan, maar eveneens het gebied dat zich uitstrekt naar het noorden, de rand van het Atlantisch bekken ten westen van Engeland en Ierland waar de diepten zeer snel toenemen en de 1.000 m kunnen overschrijden.

Het meteo-oceanografisch milieu van de Noordzee is bijzonder hard en werd altijd met vrees beschouwd door de zeelui. Alhoewel de stormen zelden orkaankracht bereiken, zijn ze zeer frequent en langdurig, vooral van oktober tot april, en ze bereiken windsnelheden van 150 km/u. en golven van meer dan 20 m. De waarnemingen uitgevoerd vanaf de booreilanden hebben aangetoond dat de weersomstandigheden veel slechter waren dan die welke men zou kunnen verwachten afgaande op de waarnemingen gepubliceerd door de officiële diensten van de omliggende landen.

Samenvattend zijn de omstandigheden als volgt :

- diepte schommelend tussen enkele tientallen meters en meer dan 200 m,
 - zeer zware weersomstandigheden,
- en daarom zullen we nagaan welke de verschillende boortechnieken zijn die aangewend worden om de rijkdommen van dit bekken te exploreren en te ontginnen.

Er mag gezegd worden dat de boortechnieken in zee gelijk zijn aan deze aangewend op het vaste land betreffende de wijze om de verschillende geologische horizonten te doorboren, maar dat de uitrustingen en de techniek dienden aangepast te worden om rekening te houden met twee bijkomende factoren : de diepte van het water en het zeemilieu.

1. FORAGES D'EXPLORATION

Le but principal du forage d'exploration est de vérifier une série d'hypothèses résultant d'études préalables faites en géologie et en géophysique.

Les moyens mis en œuvre devront permettre l'amenée de l'appareil de forage, l'ensemble des opérations de forage et de test des réservoirs potentiels, l'abandon du puits et de toute construction au-dessus des fonds marins en fin d'opérations et le déménagement vers un nouvel emplacement. Cette séquence d'opérations devra toujours être conduite en un temps minimum quelles que soient les conditions météorologiques de manière à en minimiser les coûts.

A la différence de ce qui se passe à terre, les puits d'exploration en mer sont généralement abandonnés et ne sont pas utilisés plus tard pour la production d'hydrocarbures.

En effet, en exploration, les appareils de forage étant placés sur des engins mobiles, la liaison entre le fond marin et les équipements placés sur ces engins doit être supprimée après chaque forage. Bien qu'il soit possible d'abandonner temporairement un puits en vue d'un raccordement ultérieur à un ensemble d'exploitation situé à proximité, le coût de cette opération ainsi que ses aléas sont tels que les compagnies opératrices n'ont recours à cette solution que pour des puits dont le forage ne peut être fait au départ de plates-formes de production.

Suivant les profondeurs d'eau, plusieurs types d'engins mobiles sont considérés comme support de l'appareil de forage (fig. 2) :

- les plates-formes auto-élevatrices jusqu'à un maximum de 100 m d'eau,
- les plates-formes flottantes jusqu'à 300 m d'eau,
- les bateaux de forage pour des profondeurs supérieures à 70 m.

1.1. Les plates-formes auto-élevatrices

Les installations de forage et les installations annexes, y compris les quartiers d'habitation, sont montées sur une coque flottante, laquelle est traversée par un certain nombre de piles verticales ou inclinables.

Le mécanisme d'élévation qui permet de changer la position en hauteur des piles par rapport à la coque est, soit à crémaillère et moteurs électriques, soit à vérins.

Les plates-formes à piles inclinables permettent d'améliorer la profondeur d'eau sans agrandir la coque en proportion. Mais la contrepartie est une mauvaise stabilité de la plate-forme en position flottante à piles relevées.

1. EXPLORATIEBORINGEN

Het voornaamste doel van de exploratieboring bestaat erin een reeks hypothesen omtrent de mogelijke aanwezigheid van koolwaterstoffen te controleren voortvloeiend uit voorafgaande geologische en geofysische studies.

De aangewende middelen zullen het mogelijk moeten maken het boorplatform te plaatsen, het geheel van de booroperaties uit te voeren evenals de proef op potentiële reservoirs, het verlaten van de put en het verwijderen van elke constructie op de zeebodem na de operaties en de verhuizing naar een nieuwe plaats. Dit operatiegedeelte zal altijd in een minimum van tijd moeten gebeuren, welke ook de weersomstandigheden zijn, om de kosten tot een minimum te beperken.

In tegenstelling met wat op het vaste land gebeurt, worden de exploratieputten in zee over het algemeen verlaten en daarna niet meer gebruikt voor de produktie van koolwaterstoffen.

Tijdens de exploratie is het boorplatform immers tijdelijk geplaatst en de verbinding tussen de zeebodem en het boorplatform dient verwijderd te worden na iedere boring. Alhoewel het mogelijk is een put tijdelijk te verlaten om een latere aansluiting tot stand te brengen op een geheel van ontginningen in de nabijheid, zijn de kosten van deze operatie evenals de risico's ervan zo groot dat de werkmaatschappijen slechts hun toevlucht nemen tot deze oplossing voor putten die niet kunnen geboord worden vanaf produktieplatforms.

Volgens de diepte van het water komen verscheidene types van booreilanden in aanmerking als onderstel van het boortoestel (fig. 2) :

- de zelfhijzende platformen tot een maximum van 100 m water;
- de drijvende platformen tot 300 m water;
- de boorschepen voor dieptes van meer dan 70 m.

1.1. De zelfhijzende platformen

De boorinstallaties en neveninstallaties, met inbegrip van de woonruimtes, zijn geïnstalleerd op een drijvende romp die verbonden is met een bepaald aantal verticale of hellende pijlers.

Het hijsmechanisme dat de stand van de pijlers t.o.v. de romp in hoogte kan doen veranderen, werkt hetzij d.m.v. tandstangen en elektrische motors, hetzij d.m.v. vijzels.

De platformen met hellende pijlers maken het mogelijk het platform op een grotere oppervlakte te laten rusten zonder de romp in verhouding daarmee te vergroten. Maar daartegenover heeft het platform een slechte stabiliteit wanneer het drijft met opgeheven pijlers.

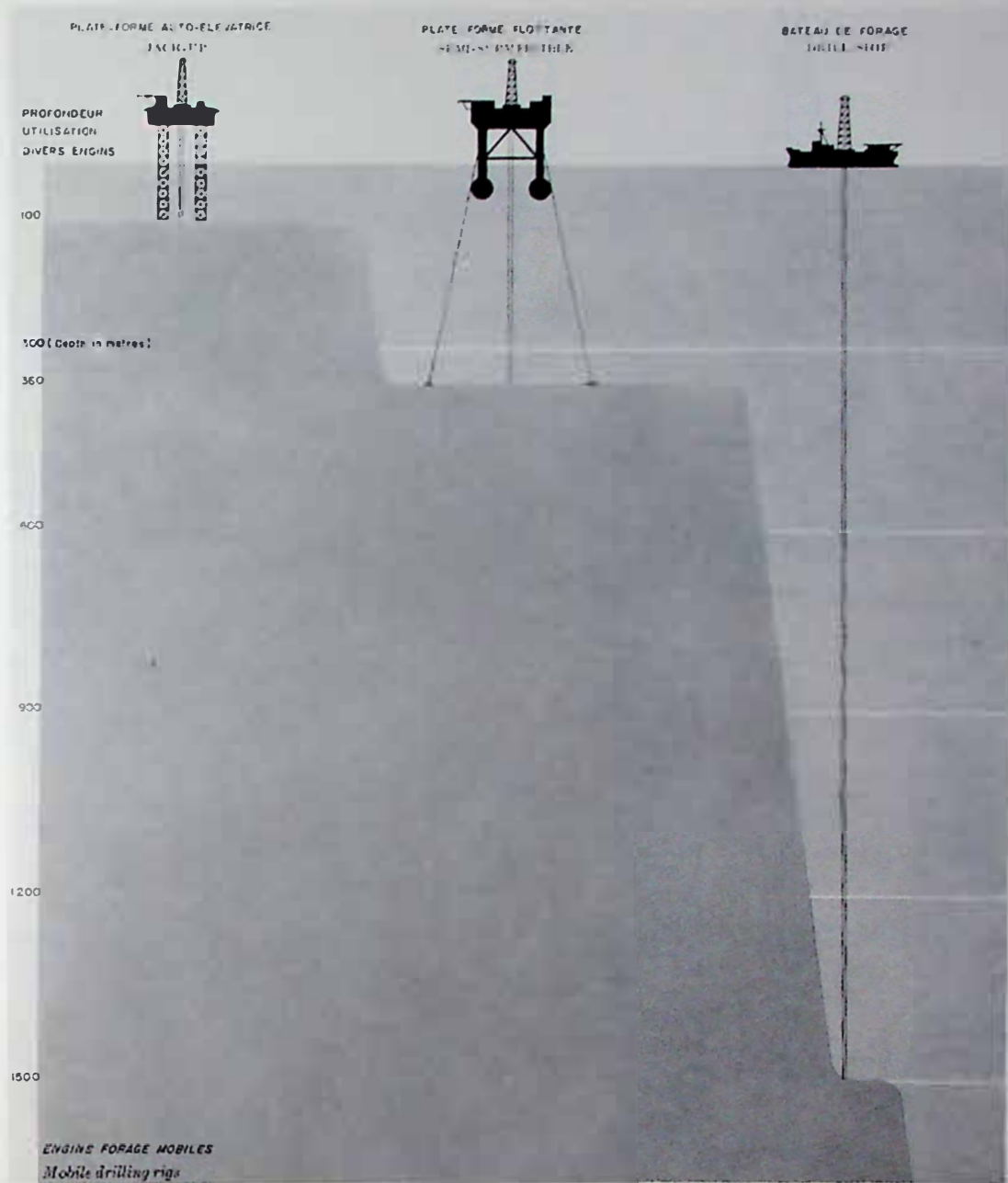


Fig. 2

Engins forage mobiles
Mobile boortuigen

Plate-forme auto-élevatrice : *zelfhijsend platform*

Plate-forme flottante : *drijvend platform*

Bateau de forage : *boorschip*

Profondeur : *diepte*

Utilisation : *gebruik*

Divers engins : *verschillende tuigen*

Les piles sont laissées en position haute pendant le remorquage. L'emplacement de forage atteint, les piles sont descendues jusqu'à toucher le fond marin. La base des piles ayant pris appui sur le fond, la coque est soulevée hors de l'eau à une hauteur telle qu'elle échappe à la vague centenaire (fig. 3).

Une fois en station, le coefficient de sécurité de ce type d'appareil est élevé et il permet d'utiliser les techniques traditionnelles de forage.

Ce système présente néanmoins certains désavantages.

Tijdens het slepen worden de pijlers in opgeheven stand gehouden. Wanneer de boorplaats bereikt wordt, worden de pijlers naar beneden gelaten tot ze de zeebodem raken. Als de pijlers op de bodem steunen, wordt de romp opgeheven uit het water zodat ze uitkomt boven de hoogste golf die in een eeuw kan voorkomen (fig. 3).

Enmaal ter plaatse, heeft dit soort toestel een hoge veiligheidscoëfficiënt en kunnen de traditionele boortechnieken aangewend worden.

Dit systeem heeft echter bepaalde nadelen.

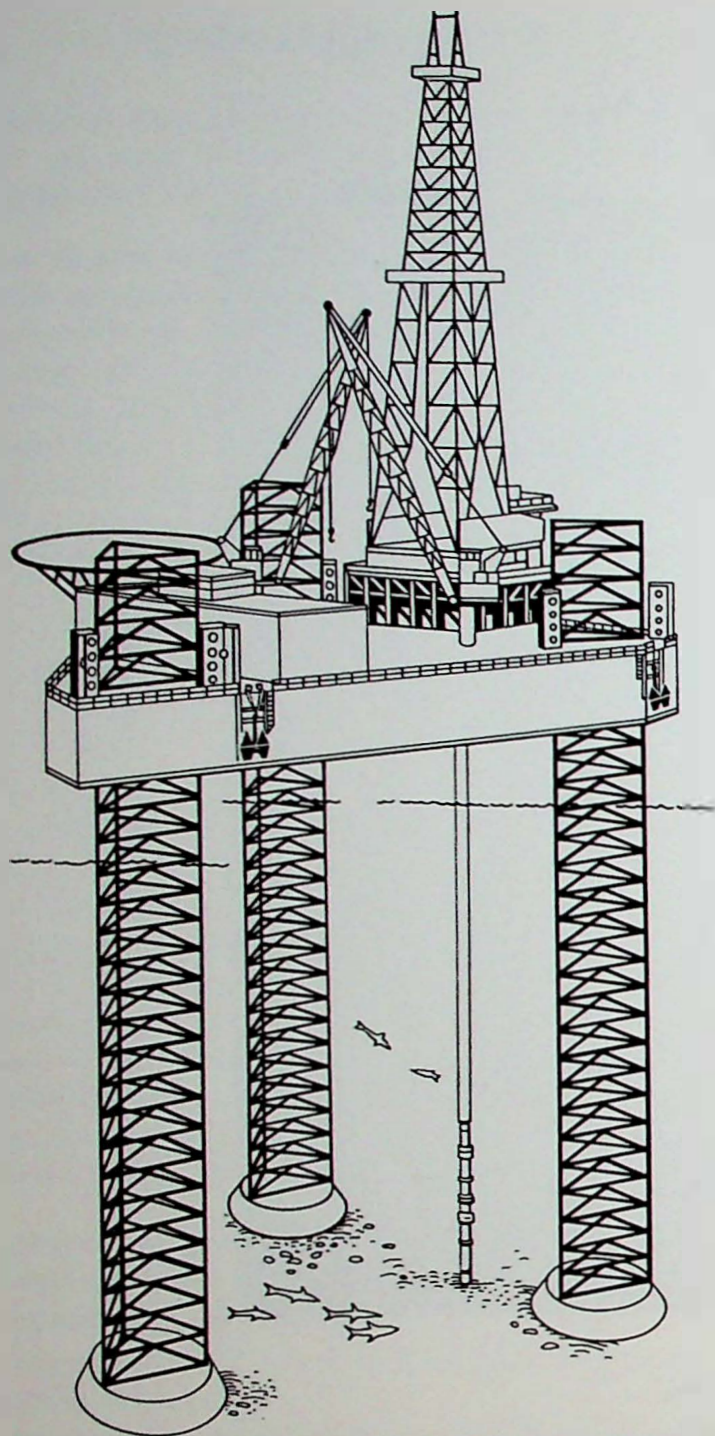


Fig. 3
Plate-forme auto-élevatrice de forage
Zelfhijsend boorplatform

La longueur des piles en limite l'emploi à une certaine profondeur d'eau, les conditions des fonds marins sont importantes pour éviter la pénétration excessive ou différentielle des piles. De plus, l'opération de pose est assez critique et ne peut s'effectuer que par mer calme.

Enfin, la vitesse de remorquage est relativement lente et la stabilité de l'engin durant le remorquage est critique dans les mers agitées.

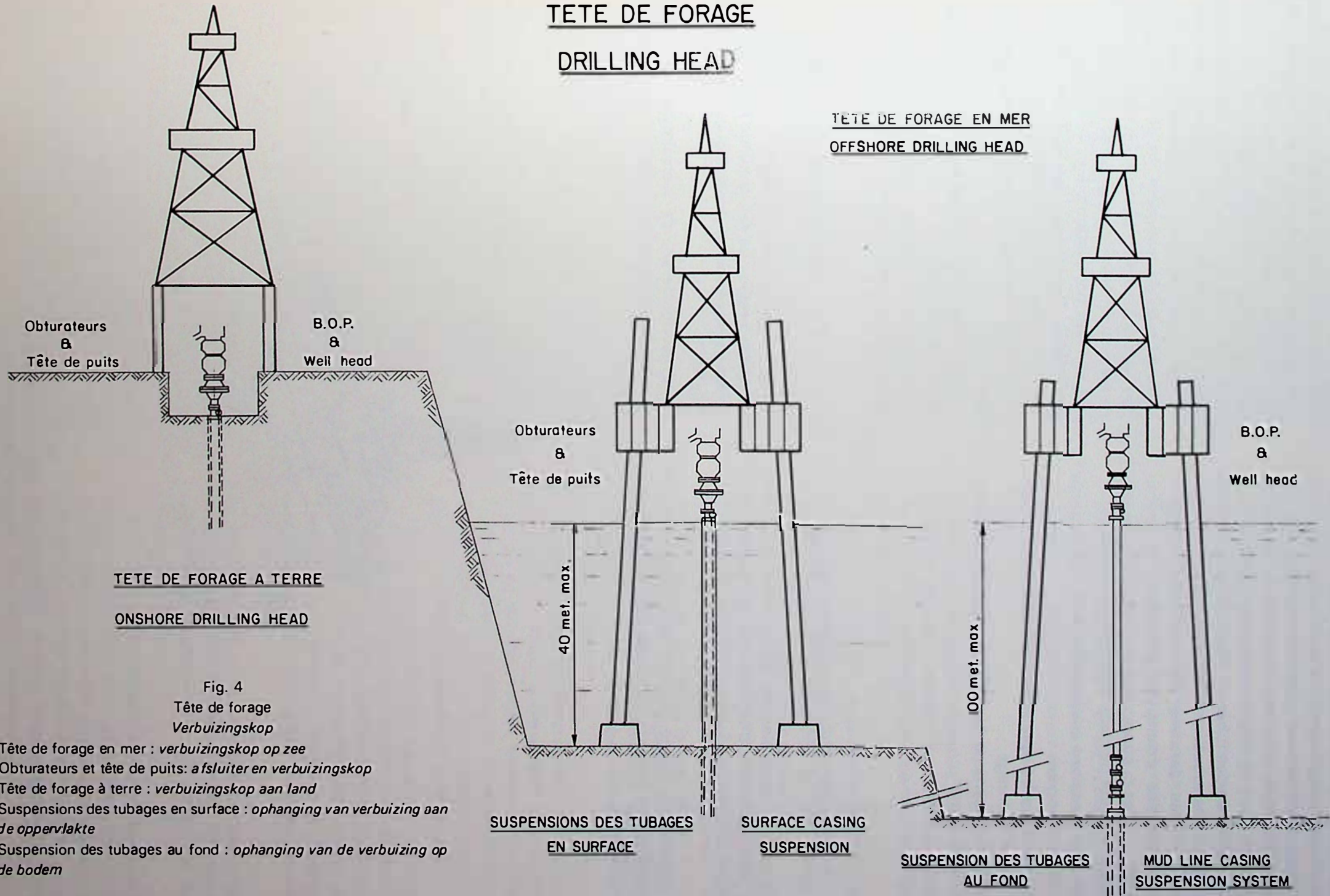
Le forage se conduit traditionnellement au départ de la plate-forme, les têtes de puits utilisées et les équipements de sécurité ne diffèrent pas de ceux mis en œuvre à terre. Elles reposent, par l'intermédiaire de brides, sur le sommet du tube conducteur qui émerge de l'eau. Toutefois pour des profondeurs su-

De lengte van de pijlers beperkt het gebruik ervan tot een bepaalde diepte van het water, de toestand van de zeebodem is belangrijk om overmatige verzakking van de pijlers in de bodem te vermijden. Bovendien is de operatie voor het plaatsen tamelijk kritisch en kan zij enkel uitgevoerd worden wanneer de zee kalm is.

Tenslotte is de sleepsnelheid betrekkelijk laag en de stabiliteit van het platform tijdens het slepen bij woelige zee is kritiek.

Het boren wordt gewoonlijk geleid vanaf het platform, de verbuizingskop en de eruptie-afsluiter verschillen niet van die welke op het vasteland gebruikt worden. Zij rusten d.m.v. flenzen op het uiteinde van de verbuizing die loodrecht uit het water opsteekt.

TETE DE FORAGE
DRILLING HEAD



périeures à 40 m (cette limite étant fonction des conditions océanographiques), le tube conducteur n'est plus assez résistant pour supporter seul la charge des tubages, ou dans certaines situations le puits n'est abandonné que temporairement en démontant la partie immergée des tubages. Dans ces conditions, la suspension des tubages se fait au niveau du fond de la mer, et ces derniers sont prolongés jusqu'en surface par des extensions amovibles de même diamètre. Celles-ci supportent en tête uniquement la charge d'une tête de puits conventionnelle (fig. 4).

Les deux fonctions essentielles de la tête de puits sont donc dissociées :

- fonction *sécurité* assurée par les obturateurs situés sur l'engin de forage,
- fonction *suspension* des tubages assurée au niveau du fond de la mer.

1.2. Les plates-formes flottantes

Ces engins, généralement appelés semi-submersibles, sont constitués d'un pont caréné dont la flottabilité est assurée par une série de piles-caissons.

L'appareil de forage, les quartiers d'habitation et les installations annexes sont fixés définitivement sur le pont (fig. 5).

Bij diepten van meer dan 40 m (deze limiet is afhankelijk van oceanografische voorwaarden) heeft de verbuizing onvoldoende weerstand om alleen de last van de eruptie-afsluiter te dragen, en wordt in dat geval afgehangen op de zeebodem en dan verlengd naar het platform. In bepaalde omstandigheden wordt de put slechts tijdelijk verlaten door het demonteren van het verlengde gedeelte van de verbuizing boven de zeebodem. In deze omstandigheden bevindt de verbuizingkop zich op het niveau van de zeebodem, de verbuizing wordt verlengd naar het dek van dat boorplatform d.m.v. afneembare verlengstukken. Deze dragen dan uitsluitend de last van een conventionele eruptie-afsluiter (fig. 4).

De beide essentiële functies worden dus gescheiden :

- veiligheidsfunctie, verzekerd door de eruptie-afsluiter op het platform;
- ophangfunctie van het pijpwerk verzekerd op het niveau van de zeebodem door de verbuizingkop.

1.2. De drijvende platforms

Deze platforms, over het algemeen half-verzinkbaar genoemd, bestaan uit een gekielde brug waarvan de drijfbaarheid verzekerd wordt door een reeks gesloten pijlers.

De boortoestellen, de leefruimten en de bijkomende installaties zijn definitief op het dek bevestigd (fig. 5).

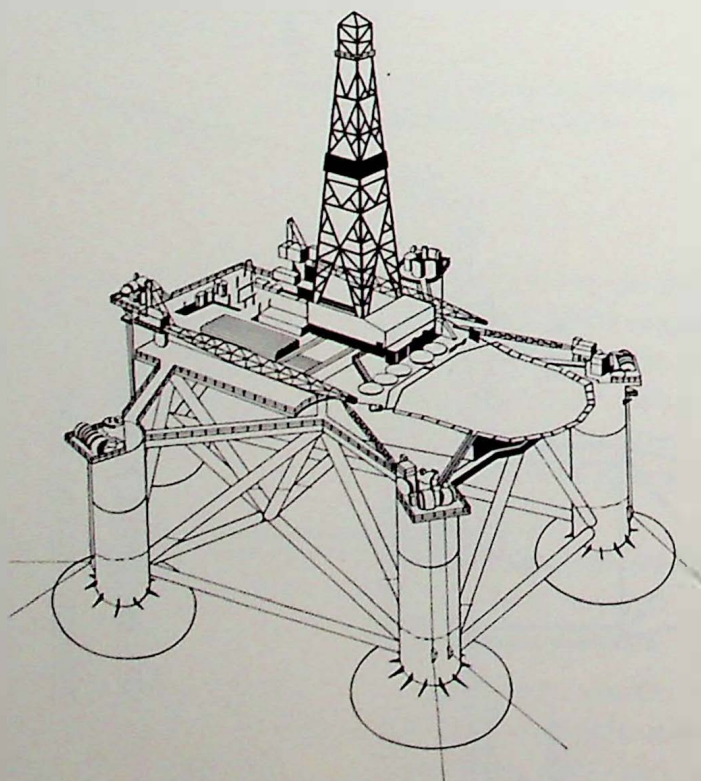


Fig. 5
Engin de forage semi-submersible
Half-verzinkbaar booreiland

Pendant le remorquage, la plate-forme est allégée par vidange des ballasts et flotte sur les caissons. Ces derniers sur certains appareils sont prévus allongés tous dans la même direction et hydrodynamiques pour réduire la résistance à l'avancement. Le compartimentage de la plate-forme est crucial, l'engin risquant des collisions d'objets à la dérive ou des bateaux ravitailleurs.

Arrivée au-dessus de l'emplacement de forage, la plate-forme est enfoncée par ballastage des colonnes et ancrée avec des systèmes puissants de câbles qui, par leur élasticité, permettent d'encaisser plus facilement les efforts brusques dus au vent.

Des dispositifs regroupés dans une salle de contrôle permettent à tout moment de corriger la position de la plate-forme en ajustant la tension et de rectifier l'assiette par les ballasts.

L'ancrage funiculaire est remplacé, sur des engins destinés à forer dans des profondeurs d'eau importantes, par un positionnement dynamique similaire à celui utilisé sur les bateaux de forage les plus récents.

Les engins flottants présentent certains avantages non négligeables. Ils peuvent se déplacer plus rapidement que les plates-formes auto-élévatrices et leur stabilité en transit est excellente. En déplacement, on peut les considérer à la limite comme des navires. Ils peuvent également transporter sur le pont des charges importantes.

Mais ils présentent un désavantage important pour les opérations de forage.

L'appareil de forage, solidaire d'un engin flottant, est comme ce dernier soumis aux mouvements de la mer.

En d'autres termes, il bouge. Et, bien que ces engins soient construits de manière à minimiser cet inconvénient, il faut interrompre les opérations de forage lorsque la mer devient trop forte.

Vu qu'il s'agit d'un engin flottant, le forage doit se conduire avec les têtes de puits et obturateurs situés sur le fond de la mer. Les têtes de puits et obturateurs de forage sous-marins ne diffèrent pas fondamentalement des têtes de forage à terre. Leur réalisation traduit surtout une adaptation aux conditions de fonctionnement au fond de l'eau.

Le forage par tête de puits sous-marine comporte les séquences suivantes (fig. 6), la plate-forme de forage ayant été ancrée et positionnée à la verticale du puits à forer.

- Pose d'une plaque de base temporaire à l'extrémité du train de tiges. Cette plaque sert de point de départ à huit lignes de guidage qui vont permettre l'introduction du premier outil dans le centre de la plaque, cette opération étant contrôlée par télévision sous-marine.

Tijdens het slepen wordt het platform lichter gemaakt door het verpompen van de ballast uit de pijlers. Op bepaalde platforms zijn deze pijlers in twee rijen achter elkaar geplaatst om het hydrodynamisch aspect te verbeteren en daardoor de weerstand tijdens het transport te verminderen. Het compartimenteren van het platform is van zeer groot belang, daar het vaartuig botsingen zou kunnen hebben met drijvende voorwerpen of bevoorradingschepen.

Op de boorplaats aangekomen wordt het platform verzaamd door ballast in de zuilen te pompen en verankerd met krachtige ankerlijnen die door hun soepelheid, het inkasseren vergemakkelijken van plotse bewegingen veroorzaakt door de wind en de golven.

Dank zij instrumenten samengebracht in de controlekamer kan op elk ogenblik de positie van het platform verbeterd worden door het aanpassen van de spanning in de ankerlijnen en het verbeteren van de ballastverdeling.

De ankerlijnen zijn op platforms bestemd voor het boren van grote diepte vervangen door een dynamische verankering gelijkend op die, welke op de moderne boorschepen gebruikt wordt.

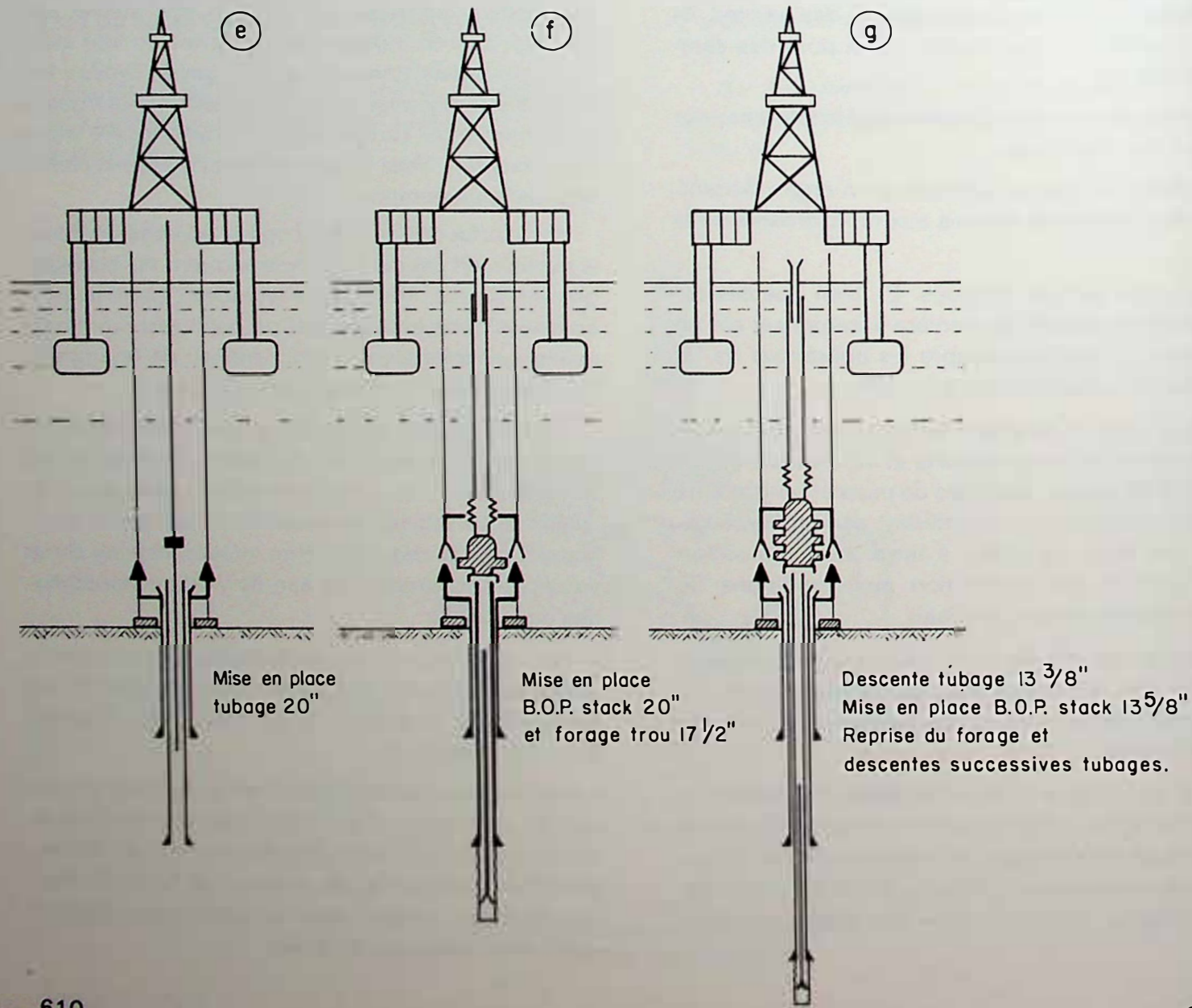
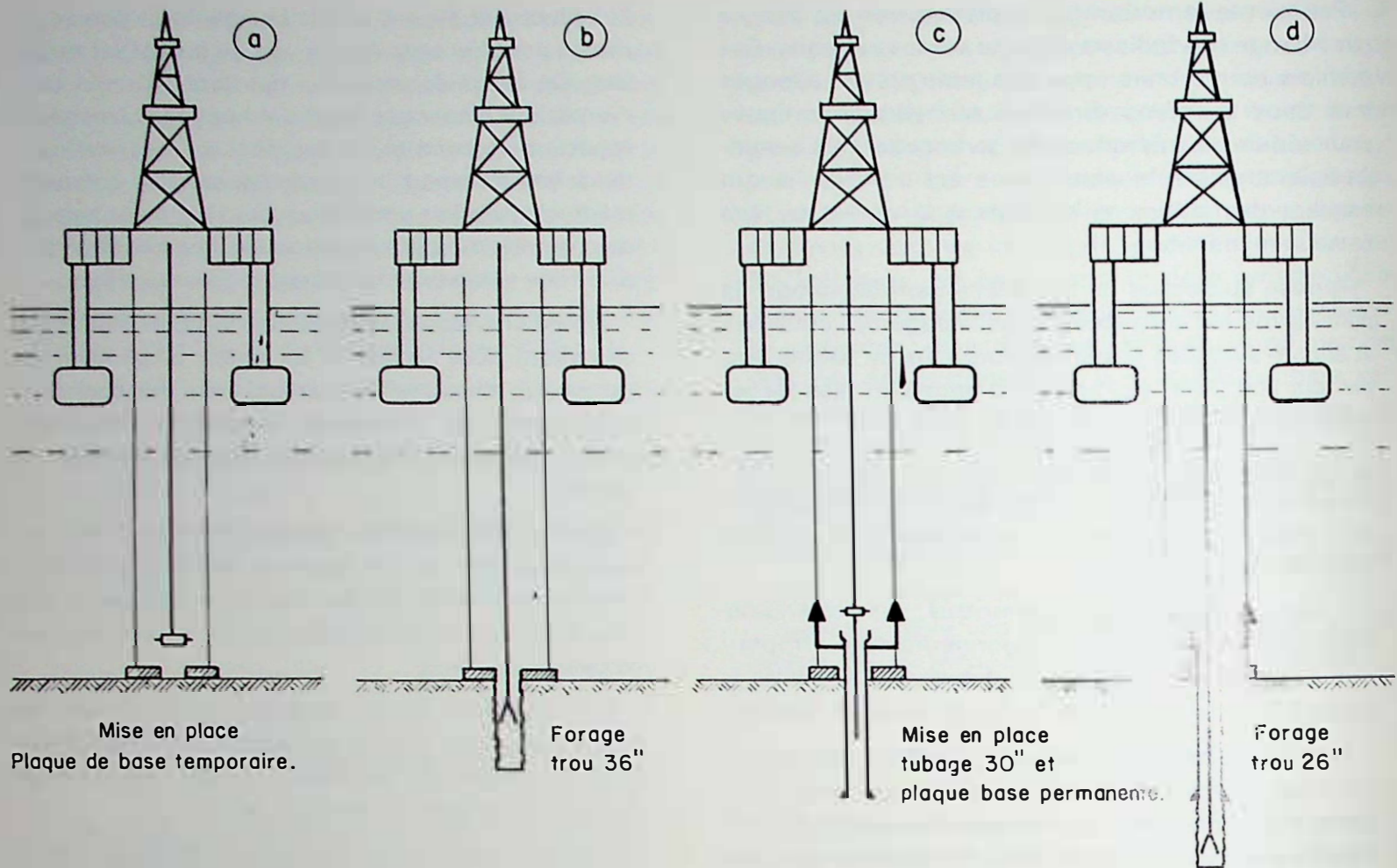
De drijvende booreilanden bieden bepaalde niet te versmaden voordelen. Ze kunnen zich sneller verplaatsen dan de zelfhijsende platforms en hun stabiliteit gedurende transport is zeer goed. Tijdens een verplaatsing kan men ze eigenlijk zelfs als vaartuigen beschouwen. Ze kunnen eveneens belangrijke vrachten vervoeren. Maar ze hebben een belangrijk nadeel voor de booroperaties.

Het boortoestel, geplaatst op het drijvend platform, is evenals dit laatste onderworpen aan de bewegingen van de zee. Met andere woorden: het beweegt. En hoewel deze booreilanden zo gebouwd zijn dat dit nadeel geminimiseerd wordt, moeten de booroperaties onderbroken worden bij te woelige zee.

Daar het om een drijvend tuig gaat, dient het boren te gebeuren met de verbuizingskop en de afsluiters op de zeebodem. De onderzee-verbuizingskoppen en -afsluiters verschillen fundamenteel niet van de boorkoppen op het vasteland. Hun verwezenlijking duidt vooral op een aanpassing aan de werkomstandigheden onder water.

Het boren d.m.v. een onderzeese verbuizingskop omvat de volgende onderdelen (fig. 6), waarbij het boorplatform verankerd is zo direct als mogelijk boven de te boren put:

- plaatsing van een tijdelijke bodemplaat met behulp van de boorpijpen. Deze plaat doet dienst als aanhechtingspunt voor acht geleidelijnen die het inbrengen zullen geleiden van de eerste beitel in het midden van de plaat, waarbij deze operatie gecontroleerd wordt door onderwatertelevisie;



- Introduction d'un premier tubage (30'') à l'extrémité d'un train de tiges de manœuvre. Ce tubage comporte en tête la structure de guidage permanente, laquelle permettra de guider avec un maximum de précision l'assemblage des éléments successifs de la tête de puits. Ce tubage est cimenté par des méthodes conventionnelles et les opérations de forage reprennent comme précédemment.

- Un tubage 20'' est mis en place comme le précédent sur lequel il repose en tête.

- L'ensemble des obturateurs de sécurité, assemblés et essayés précédemment en surface, est ensuite descendu et mis en place sur les premiers éléments de la tête de puits. Cet ensemble est actionnable depuis la surface par un système de commandes hydrauliques.

De plus, la liaison entre la tête de puits sous-marine et l'appareil est assurée à l'aide d'un tube prolongateur dont la fonction essentielle est de permettre le retour des tiges de forage en surface.

Les commandes de commande hydraulique de la tête de puits se trouvent à l'extérieur du tube, et leur mise en place se fait simultanément à celle du tube.

La jonction entre la tête de puits et le tube prolongateur s'opère au moyen d'un raccord hydraulique, verrouillé à partir de la surface. Afin d'absorber les mouvements horizontaux du tube lié à l'engin flottant, on incorpore au-dessus du raccord hydraulique un joint à rotule.

Les mouvements verticaux sont eux compensés par un joint coulissant étanche. Le tubage suivant (13 3/8'') peut être réalisé d'une façon conventionnelle, en étant simplement posé dans le tubage précédent (20'').

La reprise du forage nécessite néanmoins un nouvel ensemble de sécurité d'un niveau de pression plus élevé, pour la pose duquel il faut au préalable remonter le tube prolongateur (fig. 7).

- inbrenging van een eerste verbuizing (30'') aan het einde van een boorpijp. Deze verbuizing bevat aan de kop de permanente geleidingsstructuur, die het mogelijk zal maken met een maximum aan precisie de opeenvolgende elementen van de verbuizing samen te stellen. De verbuizing wordt volgens conventionele methode gecementeerd, en de booroperaties worden hernomen als voorheen;

- een verbuizing 20'' wordt geplaatst zoals de 30'' verbuizing en rust op de permanente geleidingsstructuur;

- het geheel van de veiligheidsafsluiters, vooraf aan de oppervlakte geassembleerd en getest, wordt dan afgedaald en op de eerste verbuizingkop geplaatst. Dit geheel kan in werking worden gesteld vanaf het platform door een hydraulisch bedieningssysteem.

Bovendien wordt de verbinding tussen de onderzeese verbuizingkop en het platform verzekerd m.b.v. een pijp waarvan de essentiële functie is, de terugkeer van de boringsvloeistof aan de oppervlakte mogelijk te maken. Het buizenstelsel voor de hydraulische bediening van de eruptie-afsluiter bevindt zich buiten deze pijpen, en de plaatsing ervan gebeurt tegelijkertijd met die van deze pijp.

De verbinding tussen de eruptie-afsluiter en de verlengpijp gebeurt d.m.v. een hydraulische koppeling, gecontroleerd vanaf het platform.

Teneinde de horizontale bewegingen van de pijp, verbonden aan het drijvende booreiland, te absorberen, sluit men boven de hydraulische koppeling een beweeglijke koppeling in.

De verticale bewegingen worden gecompenseerd door een waterdichte glijdende sluiting. De volgende verbuizing (13 3/8'') kan op conventionele wijze gerealiseerd worden daar het eenvoudig op het vorige geplaatst wordt (20'').

Het hernemen van de boringen vereist evenwel een nieuwe eruptie-afsluiter van een hoger drukniveau, voor de plaatsing waarvan vooraf de verbindingspijp moet opgehaald worden (fig. 7).

- a. Plaatsing tijdelijke bodemplaat
- b. Boren van gat 36''
- c. Plaatsing verbuizing 30'' en permanente bodemplaat
- d. Boren van gat 26''
- e. Plaatsing verbuizing 20''

Fig. 6

- f. Plaatsing B.O.P. stack 20'' en boren van gat 17 1/2''
- g. Neerlaten verbuizing 13 3/8''
- Plaatsing B.O.P. stack 13 5/8''
- Herneming van het boren en neerlaten van opeenvolgende verbuizingen

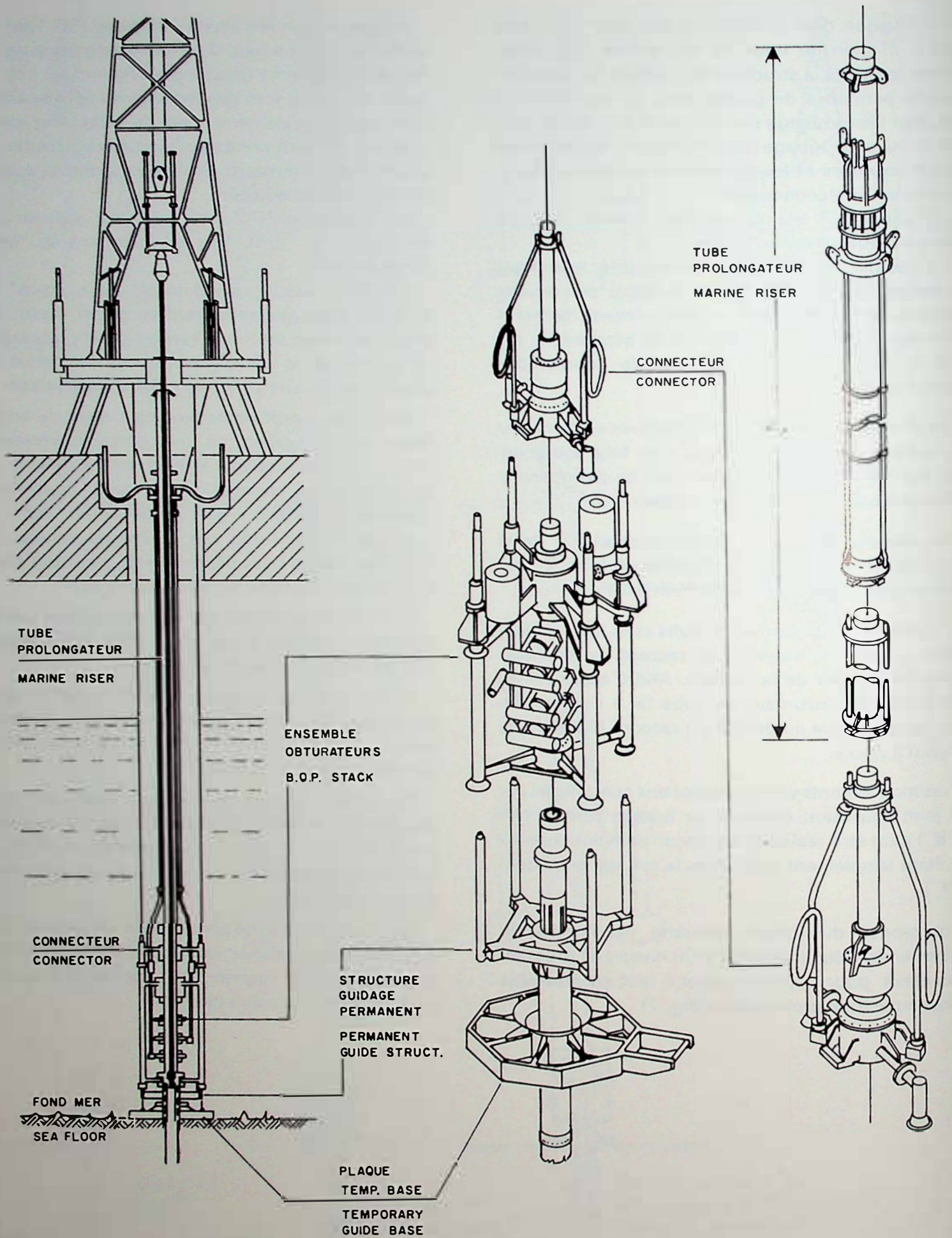


Fig. 7

Tête de forage sous-marine
Onderzeese verbuizingskop

Tube prolongateur : *verlengpijp*
Connecteur : *verbindingsstuk*
Ensemble obturateurs - B.O.P. stack : *geheel van afsluiters - B.O.P. stack*

Structure guidage permanent : *permanente geleidingsstructuur*
Fond mer : *zeebodem*
Plaque temp. base : *tijdelijke bodemplaat*

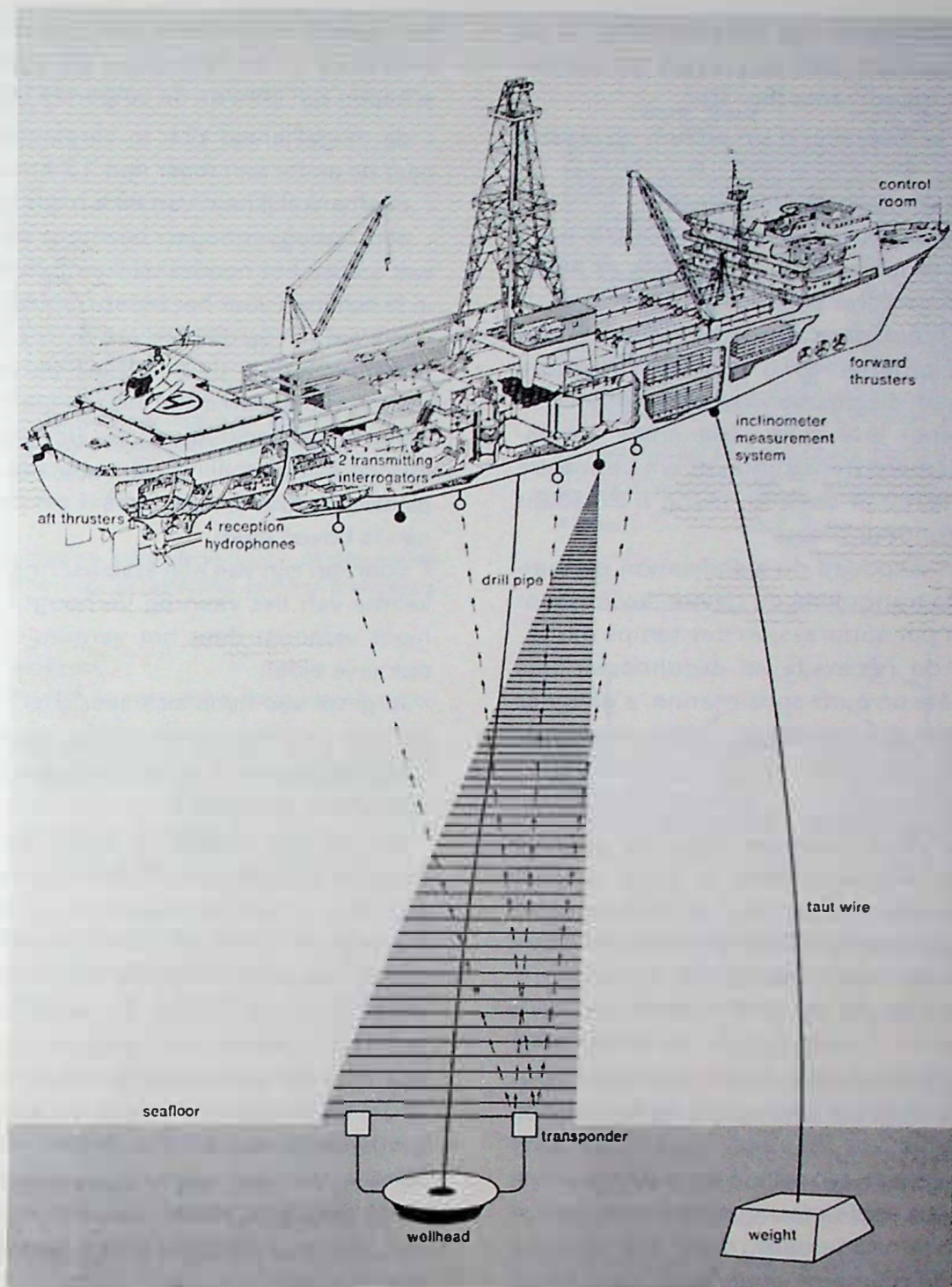


Fig. 8

Bateau de forage à positionnement dynamique
Boorschip met dynamische standbepaling

Aft thrusters = Propulseurs arrière : *achteraandrijvers*
 4 reception hydrophones = 4 récepteurs : *4 ontvangers*
 Drill pipe = Train de tiges : *boorpijp*
 Incliner measurement system = Inclinomètre : *hellingmeter*
 Forward thrusters = Propulseurs avant : *vooraandrijvers*

Wellhead = Tête de puits : *verbuizingskop*
 Transponder = Transpondeurs : *zenders*
 Taut wire = Fil tendu : *gespannen kabel*
 Weight = Lest : *gewicht*

1.3. Les bateaux de forage

Les bateaux de forage à positionnement dynamique n'ont été que peu utilisés en Mer du Nord. Tout au plus, y a-t-on fait appel récemment pour quelques forages d'exploration à l'ouest de l'Irlande ou des îles Shetland. Leur peu de succès apparent est dû au fait que les options de base retenues pour ce type d'engin

1.3. De boorvaartuigen

De boorvaartuigen met dynamische standbepaling worden slechts weinig gebruikt in de Noordzee. Men heeft er echter onlangs een beroep op gedaan voor enkele exploratieboringen ten westen van Ierland en van de Shetlandeilanden. Hun schijnbaar weinig gebruik is te wijten aan het feit dat hun karakteristie-

sont peu compatibles avec les nécessités de la recherche en Mer du Nord. Les avantages de ces bateaux sont en effet les suivants (fig. 8) :

- La possibilité de se déplacer d'un point à un autre à plus de 12 nœuds.
- Etre indépendant de toute base terrestre.
- Posséder une capacité de stockage, 6000 t environ, permettant d'embarquer les matériels et matériaux nécessaires pour forer un puits profond.
- Etre capable de forer dans des profondeurs d'eau de 60 à 300 m et supérieures, d'où nécessité d'être muni d'un dispositif de positionnement dynamique permettant d'éliminer le système d'ancrage funiculaire. Ce positionnement dynamique devra permettre au bateau de se maintenir dans un rayon n'excédant pas 6 % de la profondeur d'eau.
- Etre équipé d'un dispositif de stabilisation permettant d'augmenter la tranquillité du navire, accroissant ainsi le rendement par suppression des temps morts.
- Pouvoir en cas de nécessité se déconnecter très rapidement de la tête de puits sous-marine, s'éloigner du lieu de forage et y revenir une fois tout danger écarté.

Avec ce type d'engin, aucune ligne de guidage n'est utilisée pour intervenir dans le puits, pour la mise en place des obturateurs, pour la mise en place des tubes prolongateurs. Le navire se maintient par le seul jeu de propulseurs commandés par ordinateurs, contre l'action des vagues, du vent et des courants, à la verticale d'un point donné du fond de la mer avec une précision et pendant une durée suffisante pour que puissent s'effectuer les opérations de forage. Les opérations de retour sur le puits constituent une prouesse technique par laquelle l'acoustique sous-marine associée aux ordinateurs permet de guider automatiquement et rapidement, dans une cible de quelques mètres de diamètre seulement, l'extrémité d'un tube prolongateur de plusieurs centaines de mètres soumis aux mouvements de la mer et assurant la liaison au travers de la tranche d'eau entre la tête de puits située sur le fond marin et le navire porteur de l'appareil de forage en surface.

Ces engins sont donc utilisés essentiellement, soit pour de l'exploration à grande profondeur, soit dans des régions hostiles telles que les régions arctiques et subarctiques où leur ancrage dynamique leur facilitera le travail dans les zones infectées d'icebergs.

2. FORAGES D'EXPLOITATION

Ces forages sont destinés à assurer la récupération des hydrocarbures et constituent la liaison entre le réservoir pétrolier situé à plusieurs milliers de mètres

ken weinig verenigbaar zijn met de eisen voor het onderzoek in de Noordzee. De voordelen van deze schepen zijn immers de volgende (fig. 8) :

- de mogelijkheid zich te verplaatsen van een punt naar de ander aan meer dan 12 knopen;
- onafhankelijkheid van elke basis op het land;
- een opslagvermogen bezitten, ongeveer 6.000 t, wat toelaat het noodzakelijke materiaal en produkten in te schepen voor het boren van een diepe put;
- in staat zijn op dieptes van 60 tot 300 m en meer te boren, waardoor de noodzaak ontstaat voor een uitrusting van dynamische standbepaling dat toelaat het systeem van ankerlijnen te elimineren. Deze dynamische standbepaling zal het schip moeten toelaten plaats te houden in een straal van 6 % van de diepte niet te boven gaat;
- voorzien zijn van een stabilisatie- en trillingstruiking die de kalmte van het vaartuig verbetert en zo het rendement verhoogt door het verminderen van niet produktieve tijden;
- in geval van nood zich zeer snel kunnen loskoppelen van de onderzeese verbuizingskop, zich van de boorplaats kunnen verwijderen om er terugkomen als alle gevaar geweken is.

Bij dit type boorschip wordt geen enkele geleidingslijn gebruikt om te helpen bij het plaatsen van de afsluiters, of voor het neerlaten van de verlengpijpen. Het vaartuig houdt uitsluitend stand door de werking van de stuwmotoren geleid door computers, tegen de werking van de golven, de wind en de stromingen, vertikaal tegenover een gegeven punt op de zeebodem met een precisie en een duur die voldoende zijn opdat de booroperaties zouden kunnen worden uitgevoerd. De operaties voor de terugkeer op de put vormen een technische hoogstand, waarbij onderzeese akoestiek samen met de computers een automatisch en snel geleiden mogelijk maakt van het uiteinde van een verlengpijp naar een doel met slechts enkele meter diameter. De verlengpijp van verschillende honderden meter lengte, die onderworpen is aan de bewegingen van de zee en die de verbinding door het water verzekert tussen de verbuizingskop op de zeebodem en het vaartuig dat het boortoestel aan de zeeoppervlakte draagt.

Deze boorschepen worden dus essentieel gebruikt voor ofwel exploratie op grote diepte, ofwel in zeer moeilijke gebieden zoals de arctische en subarctische zeeën waar hun dynamische verankering hen het werk vergemakkelijken in zones die door ijsbergen geteisterd worden.

2. EXPLOITATIEBORINGEN

Deze boringen zijn bestemd voor het produceren van koolwaterstoffen en vormen de verbinding tussen het petroleumreservoir op enkele duizenden meter

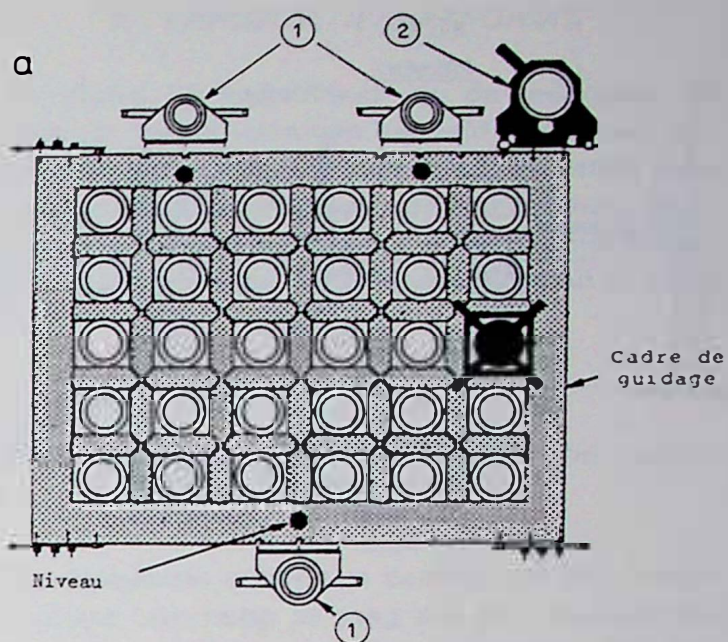


Fig. 9

Cadre de guidage pour pré-forage de 30 puits
Geleidingslijnen voor voorboring van 30 putten

a) vue en plan : bovenaanzicht

1. Guide de pilier de mise à niveau : pijlgeleider voor horizontaalstelling

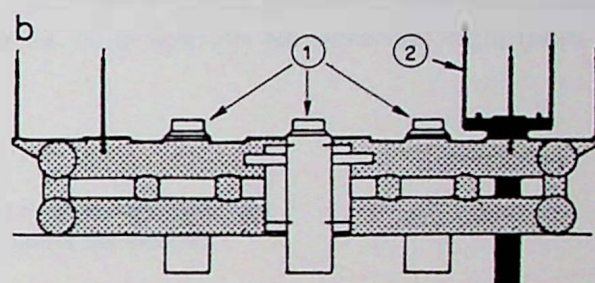
2. Guide de roue de mise en place de la future plate-forme de production : rolgeleider voor de plaatsing van het toekomstig productieplatform

Niveau : aanduiding

b) vue de coupe : vooraanzicht

1. Guide de pilier de mise à niveau : pijlgeleider voor horizontaalstelling

2. Structure de guidage permanente équipée de 4 colonnes guides pour le montage des éléments successifs de tête de puits et obturateurs de sécurité : permanente geleidingsbasis compleet met de 4 geleidingskolommen voor de samenstelling van de opeenvolgende elementen van de verbuizingskop en eruptie-afsluiters



sous terre et les facilités de traitement du brut qui, en Mer du Nord, sont situées actuellement sur des plates-formes fixes, ancrées à l'aplomb du réservoir pétrolier.

La technique classique consiste donc à effectuer l'ensemble des forages d'exploitation au départ d'une ou de plusieurs plates-formes fixes. Les forages sont déviés de manière à drainer la surface maximum possible au départ d'une plate-forme donnée.

La technique de forage est conventionnelle avec les têtes de puits sur la plate-forme, l'appareil de forage étant déplacé de quelques mètres sur la plate-forme après chaque puits.

Cette technique présente un inconvénient économique majeur.

Plusieurs années (de 3 à 6 ans) se passent entre le moment où la décision de développer un champ est prise et celui où démarre la production. Ceci est dû à l'enchaînement séquentiel des opérations, à savoir construction de la plate-forme, remorquage et installation sur le site, installation du pont supportant les équipements de forage et de production et, en bout de chaîne, le forage des puits de production.

De plus, pour des raisons de sécurité, les organismes compétents sont de plus en plus réticents à accorder l'autorisation de forages et production simultanés, ce qui revient à dire que l'on ne peut pas mettre en production une plate-forme avant d'en avoir foré l'ensemble des puits.

onder de aarde en de installaties voor de behandeling van de ruwe olie; in de Noordzee bevinden ze zich thans op vaste platformen geplaatst direct boven het oliereservoir.

De klassieke techniek bestaat in het boren van het geheel van de exploitatieboringen vanaf een of meer vaste platformen. De boringen worden zo geleid, dat een zo groot mogelijke oppervlakte geproduceerd wordt vanaf een gegeven platform.

De boringstechniek is conventioneel met de verbuizingskoppen op het platform, waarbij het boorapparaat over enkele meter op het platform wordt verplaatst na elke put.

Deze techniek heeft een belangrijk economisch nadeel. Verschillende jaren (van 3 tot 6 jaar) verlopen tussen het ogenblik waarop beslist wordt een veld te ontwikkelen, en dat waarop de productie van start gaat. Dit is te wijten aan het aaneenschakelen in sequenties van de operaties, d.w.z. de bouw van het platform, het slepen en installeren ter plaatse, het installeren van het dek dat de boor- en productieuitrustingen draagt en, aan het einde van de keten, het boren van de productieputten.

Bovendien zijn de bevoegde autoriteiten om veiligheidsredenen steeds terughoudender wat betreft het toekennen van toelatingen voor simultaan boren en produceren, wat er op neerkomt dat men een platform niet in productie kan brengen vooraleer het geheel der productieputten te hebben geboord.

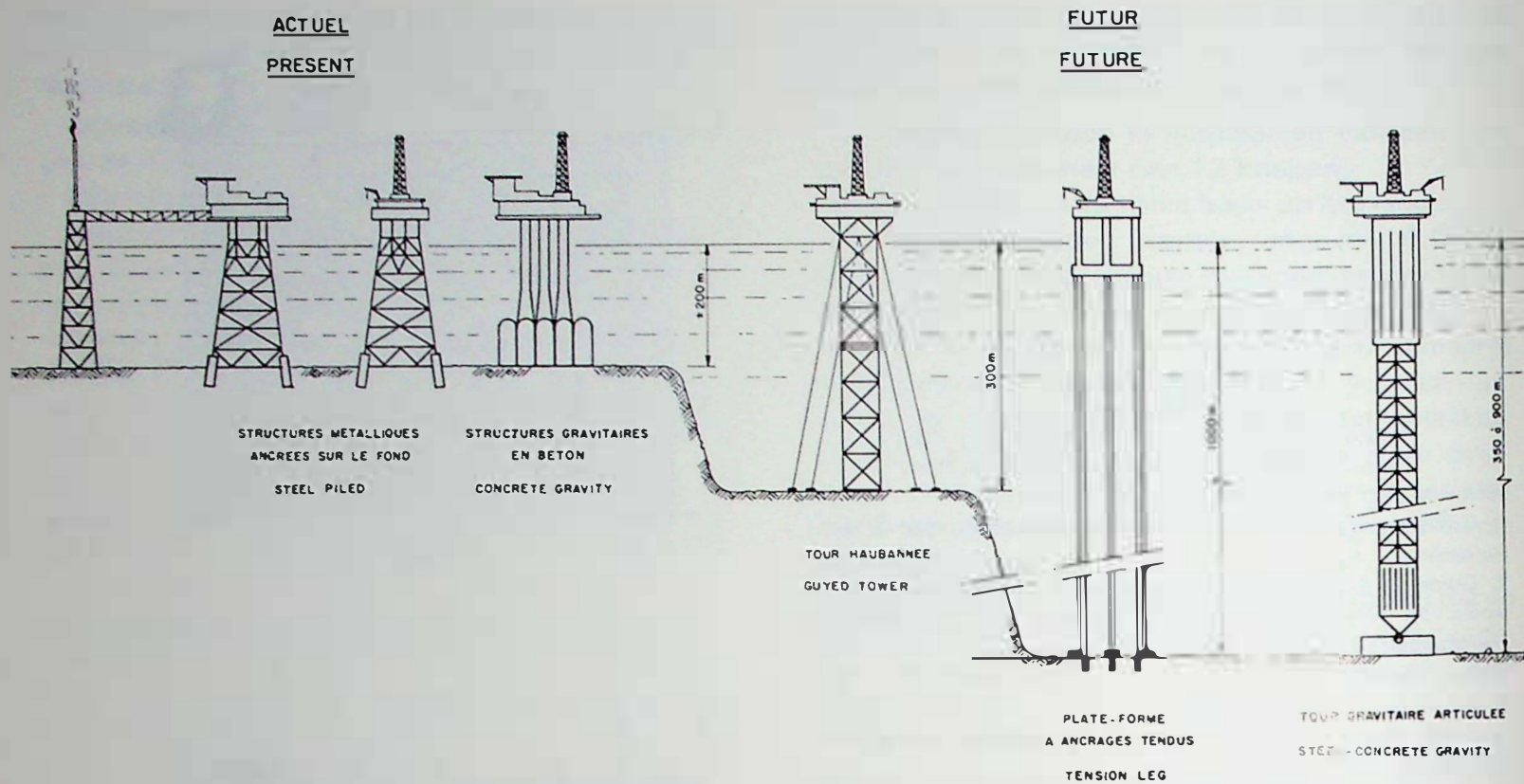


Fig. 10
Evolution des systèmes de production en mers profondes
Evolutie van produktiesystemen in diepe zeeën

Actuel : *heden*

Futur : *toekomst*

Structures métalliques ancrées sur le fond : *in de bodem verankerde metalen structuren*

Structures gravitaires en béton : *gravitaire structuren in beton*

Tour haubanée : *tuitoren*

Plate-forme à ancrages tendus : *platform met gespannen ankerlijnen*

Tour gravitaire articulée : *gearticuleerde gravitaire toren*

C'est pour éviter ce problème que l'on effectue actuellement sur certains champs en Mer du Nord le préforage des puits de production pendant que se construit la plate-forme.

Les forages se font alors au départ d'un cadre de guidage que l'on a placé au fond de la mer, ce qu'en jargon de métier on appelle le template (fig. 9). Chacune des ouvertures correspond au départ d'un puits directionnel destiné, soit à la production, soit à l'injection d'eau en vue d'améliorer la récupération finale. Ces puits sont forés au moyen d'un engin flottant type semi-submersible avec la technique des têtes de forage sous-marine. Une fois forés ils sont temporairement abandonnés, les horizons productifs n'étant pas encore mis en communication avec les puits pour des raisons évidentes de sécurité. Quand la plate-forme est terminée, elle est, soit basculée, soit ballastée au droit du « template ». En d'autres termes, la plate-forme est ancrée sur le fond de la mer en coiffant le « template ». A ce moment, on raccorde les puits à la partie supérieure de la plate-forme. Les têtes des puits se trouvent ainsi sur le pont. La production peut alors commencer.

Cette technique devrait permettre de gagner plusieurs années sur le développement d'un champ.

Om dit probleem te vermijden voert men thans in sommige velden in de Noordzee voorboringen van produktieputten uit terwijl het platform gebouwd wordt.

De boringen gebeuren dan vanaf een geleidingsplaat die op de zeebodem werd geplaatst, wat men in vaktaal de « template » noemt (fig. 9). Elke opening stemt overeen met het begin van een gerichte put bestemd of voor de produktie of voor de waterinjectie om de eindrecuperatie te verbeteren. Deze putten worden geboord door een vlottend tuig van het halfverzinkbare type met de techniek van de onderzeese boorkoppen. Eens geboord worden ze tijdelijk verlaten, daar de produktiehorizonten nog niet in verbinding staan met de putten om evidente veiligheidsredenen. Als het platform af is, wordt het óf omgekanteld óf geballast boven de « template ». M.a.w. : het platform wordt verankerd op de zeebodem waarbij de « template » bekroond wordt. Na de voorboring verbindt men de put met het dek van het platform. De verbuizingskoppen bevinden zich aldus op de brug. De produktie kan dan een aanvang nemen.

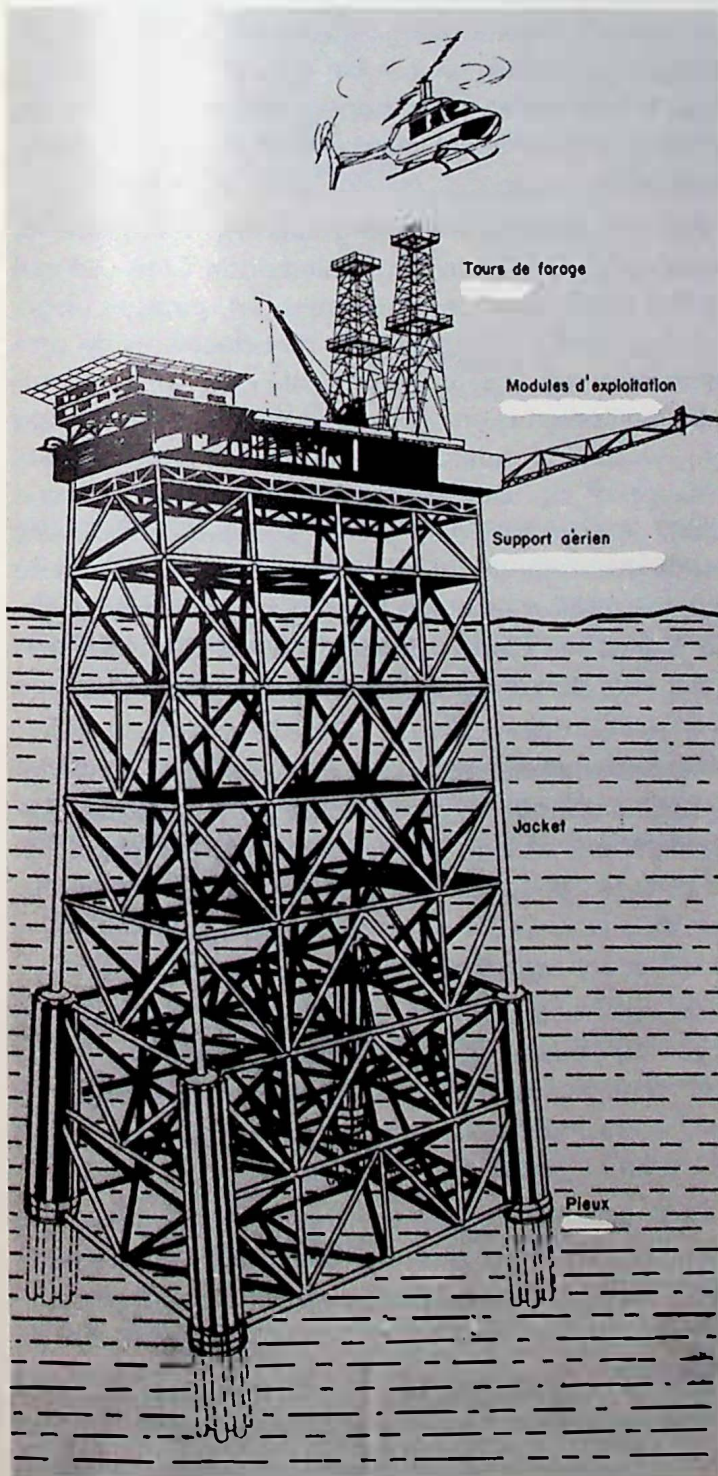
Deze techniek zou een tijdwinst van verschillende jaren moeten mogelijk maken op de ontwikkeling van een veld.

3. PLATES-FORMES D'EXPLOITATION

La profondeur d'eau, les conditions des fonds marins, les dimensions et la forme du champ, le nombre de puits de production et éventuellement d'injection, la récupération totale d'hydrocarbures sont autant de facteurs à prendre en considération pour définir le type et le nombre de plates-formes d'exploitation (fig. 10).

3.1. Structures fixes à pieux battus, ancrées sur les fonds marins

Les structures ancrées sont constituées de quatre éléments principaux, à savoir de haut en bas : les équipements d'exploitation groupés en modules, le support aérien de ces modules, la sous-structure métallique ou jacket et les piles d'ancrage (fig. 11).



3. EXPLOITATIEPLATFORMS

De diepte, de gesteldheid van de zeebodem, de afmetingen en de vorm van het veld, het aantal productie- en gebeurlijke injectieputten, de totale recuperatie van koolwaterstoffen : dit zijn allemaal factoren die in beschouwing moeten worden genomen om het type en het aantal exploitatieplatformen te bepalen.

3.1. Vaste structuren met ingeheide palen, verankerd in de zeebodem

De verankerde structuren bestaan uit vier hoofdelementen; van hoog tot laag zijn dit : de exploitatie-uitrustingen gegroepeerd in modules; het dek waarop de modules geplaatst zijn; de metalen onderbouw of jacket, en de verankeringspijlers (fig. 11).

Fig. 11

Plate-forme d'exploitation à structure fixe à pieux battus
Exploitatie-platform met vaste structuren en ingeheide heipalen
Tours de forage : boortorens
Modules d'exploitation : produktimodules
Support aérien : luchtsteun
Pieux : heipalen

Le support aérien reposant directement sur la « jacket » transfère les charges des équipements de production sur la structure métallique. Cette dernière ancrée sur le fond marin par des pieux, est un treillis constitué d'une série de tubes de différents diamètres et d'épaisseurs variables, soudés ensemble de manière à provoquer un transfert des charges au fond par l'intermédiaire des pieux. En effet, ces derniers sont battus à l'intérieur de tubes de grand diamètre faisant partie de la « jacket » et dont ils sont rendus solidaires en fin d'opération par remplissage de l'annulaire, pieux-tubes guides, par un laitier de ciment.

En plus des quatre éléments principaux de la plate-forme ci-dessus, il y a lieu de mentionner une armature de lancement qui peut, soit faire partie intégrale de la « jacket », soit constituer un appendice temporaire permettant à la sous-structure métallique de flotter ou d'être chargée à bord d'une barge spéciale de lancement, ainsi que des réservoirs requis pour assurer la flottabilité de la sous-structure en position horizontale une fois cette dernière larguée, son redressement vertical et son ballastage progressif.

Une fois l'ingénierie détaillée terminée, la fabrication de la sous-structure métallique et des armatures supportant les modules est menée en parallèle dans divers chantiers avec celle des modules de production. Lorsque la construction de ladite sous-structure est terminée et après avoir fixé les réservoirs de flottabilité, cette dernière est remorquée vers le site, ou bien placée sur une barge de lancement utilisant, soit une série de treuils, soit des vérins hydrauliques, soit les deux. La sous-structure est ensuite amarrée à la barge de manière à la solidariser de cette dernière pendant le remorquage.

Il faut compter entre 18 et 30 mois pour fabriquer une plate-forme en Mer du Nord.

Lorsque la sous-structure arrive au droit de son emplacement et après avoir enlevé les attaches, la barge de transport est ballastée et la « jacket » est lancée à la mer.

Après avoir été tirée, poussée ou ballastée initialement, la « jacket » se met à un moment X à basculer, accroissant son mouvement de redressement.

La sous-structure est ensuite remorquée jusqu'à l'aplomb de son emplacement et, par ballastage, est posée sur le fond marin.

A chaque coin, un pieu est immédiatement battu jusqu'à la profondeur désirée de manière à stabiliser la structure.

Les autres piles sont ensuite battues à refus et l'annulaire entre pieux et tubes guide-pieux est rempli de laitier pour assurer une liaison entre pieux et sous-structure.

Dès que ces opérations sont terminées, le support aérien métallique des modules est soudé à la sous-

Het dek, dat rechtstreeks op de « jacket » rust, geeft de last van de produktie-uitrustingen door aan de metalen structuur. Deze laatste, in de zeebodem verankerd door heipalen, is een rasterwerk bestaande uit een reeks buizen van verschillende diameters en veranderlijke diktes, zo aaneengelast dat een verdeling van de belasting wordt overgebracht naar de bodem d.m.v. de heipalen. Deze laatste zijn inderdaad geheel binnenin de buizen met grote diameter die deel uitmaken van de « jacket » en waarmee ze een worden gemaakt bij het einde van de operatie door opvulling van de ruimten tussen heipaal en de onderbouw met cement.

Buiten de vier bovengenoemde hoofdelementen van het platform, dient nog een armatuur voor tewaterlating vermeld te worden die ofwel deel kan uitmaken van de jacket, ofwel een afzonderlijk aanhangsel kan vormen dat het de metalen structuur mogelijk maakt te drijven of aan boord te worden geladen van een speciale tewaterlatingsschuit. Daarnaast zijn ook de reservoirs, noodzakelijk om het vervoer van de onderbouw te verzekeren in horizontale positie na de tewaterlating, zijn vertikaal rechtkomend en zijn progressieve ballasting.

Eens de gedetailleerde engineering beëindigd is, wordt de fabricage van de metalen onderbouw en van het dek die de modules ondersteunen, parallel uitgevoerd op verschillende werven met deze van de produktiemodules. Als de constructie van deze onderbouw beëindigd is en als de drijfreservoirs bevestigd zijn, wordt de substructuur naar de boorplaats gesleept of op een tewaterlatingsschuit geplaatst waarbij een reeks lieren en/of hydraulische vijzels worden gebruikt. De onderbouw wordt daarna aan de schuit vastgelast teneinde hem hiermee te solidariseren tijdens het slepen. Er zijn 18 tot 30 maanden nodig voor de vervaardiging van een platform in de Noordzee.

Als de onderbouw aankomt op zijn plaats, en nadat de tuilijnen zijn verwijderd, wordt de transportschuit geballasteerd en wordt de « jacket » in zee gegooid. Na eerst te zijn getrokken, geduwd of geballasteerd, gaat de « jacket » op een bepaald ogenblik kantelen, waardoor zijn oprichtingsbeweging versterkt wordt.

De onderbouw wordt dan gesleept tot loodrecht boven zijn plaats en wordt, door ballasting, op de zeebodem geplaatst. Op elke hoek wordt onmiddellijk een heipaal ingeheid tot op de gewenste diepte, zodat de structuur gestabiliseerd wordt.

De andere heipalen worden vervolgens ingeheid op stuit en de ring tussen heipalen en heipaalgeleidbuizen wordt opgevuld met cementslak om een verbinding te verzekeren tussen de heipalen en de onderbouw.

Zodra deze operaties beëindigd zijn, wordt het metalen dek van de modules aan de onderbouw gelast,

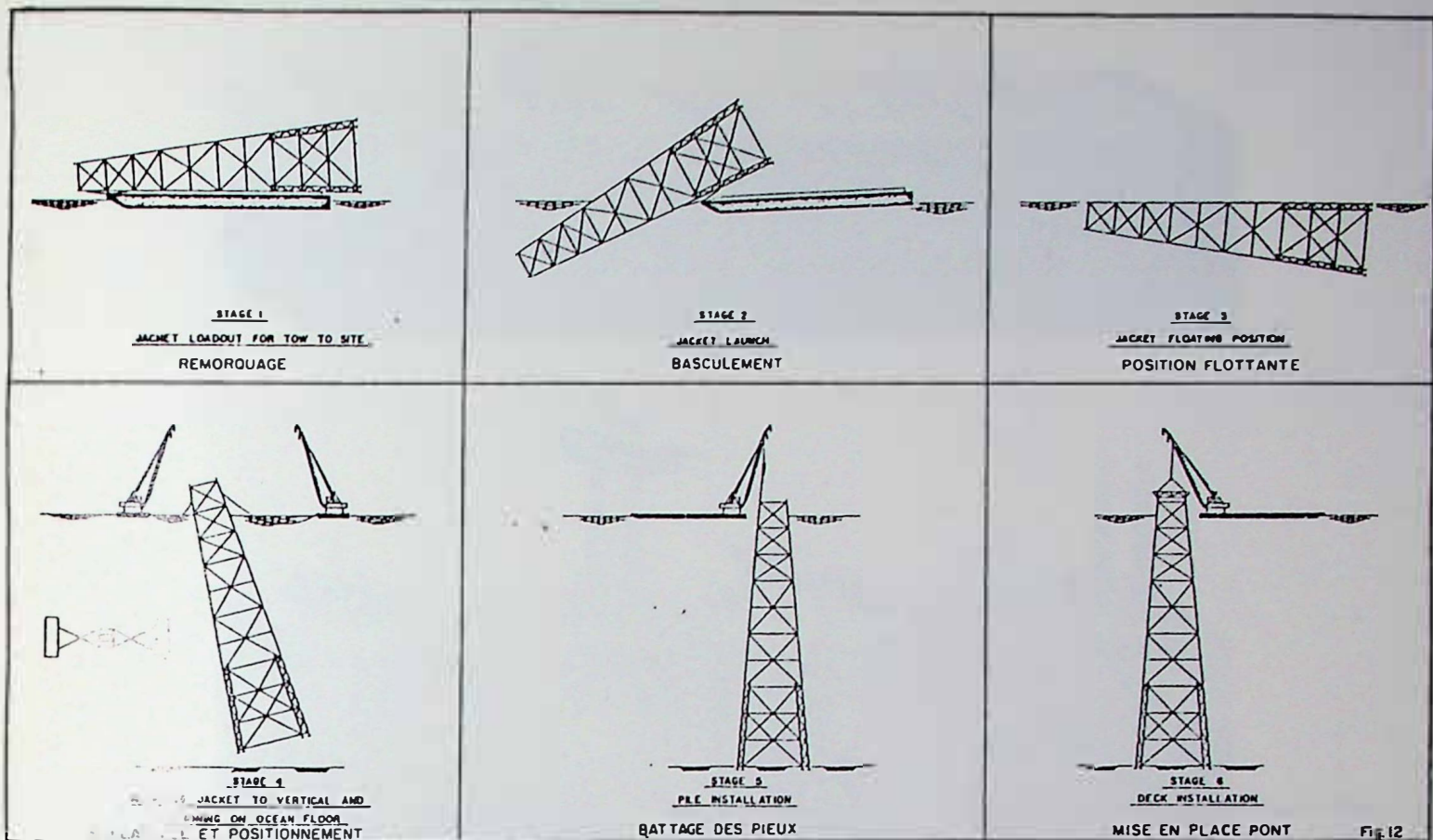


Fig. 12

Mise en place de la « Jacket » au départ d'une barge

Plaatsing van de « Jacket » vanaf een schuit

- | | |
|-----------------------|---|
| 1. Slepen | 4. Ballast aanbrengen en op de plaats stellen |
| 2. Omwerpen | 5. Inheien der heipalen |
| 3. Drijvende toestand | 6. Plaatsen van het dek |

structure qui est ainsi prête à recevoir les modules d'exploitation, lesquels seront amenés près de la structure sur des barges et mis en place sur cette dernière au moyen de puissantes grues (fig. 12).

Il faut compter au minimum 4 à 6 mois de « bonne saison » pour installer la « jacket », battre les pieux, installer le support des modules et hisser ces derniers. Les opérations de montage et de commissionnement prendront environ un an, les opérations de forage pouvant démarrer pendant cette période.

L'expérience a prouvé que les coûts de fabrication et d'installation de ces plates-formes s'accroissent quasi exponentiellement avec la profondeur d'eau. On peut actuellement estimer que 200 m d'eau constituent une limite économique pour ce type de structures.

3.2. Structures gravitaires

3.2.1. Structures gravitaires en béton

L'idée première qui a donné naissance à ce type d'ouvrages était de disposer, une fois échouée, d'une plate-forme stable grâce à son propre poids, éliminant

die zo dan klaar is voor het ontvangen van de exploitatiemodules die met dekschepen bij de structuur worden gebracht en erop worden geplaatst d.m.v. zware kranen (fig. 12).

Men moet minstens 4 tot 6 maand « gunstig seizoen » rekenen om de « jacket » te installeren, de heipalen in te heien, het dek en de modules te plaatsen. De montage- en commissioneringsoperaties zullen ongeveer een jaar in beslag nemen, de boringswerken kunnen tijdens deze periode een aanvang nemen.

De ervaring heeft uitgewezen, dat de fabricage- en installatiekosten van deze platforms evenredig stijgen met de diepte van het water. Men schat thans dat 200 m water een economische begrenzing vormt voor dit soort structuren.

3.2. Gravitaire structuren

3.2.1. Gravitaire structuren in beton

Het idee dat aan de basis ligt van dit soort werken, was, eens geplaatst, over een stabiel platform te beschikken dank zij zijn eigen gewicht, om zo de

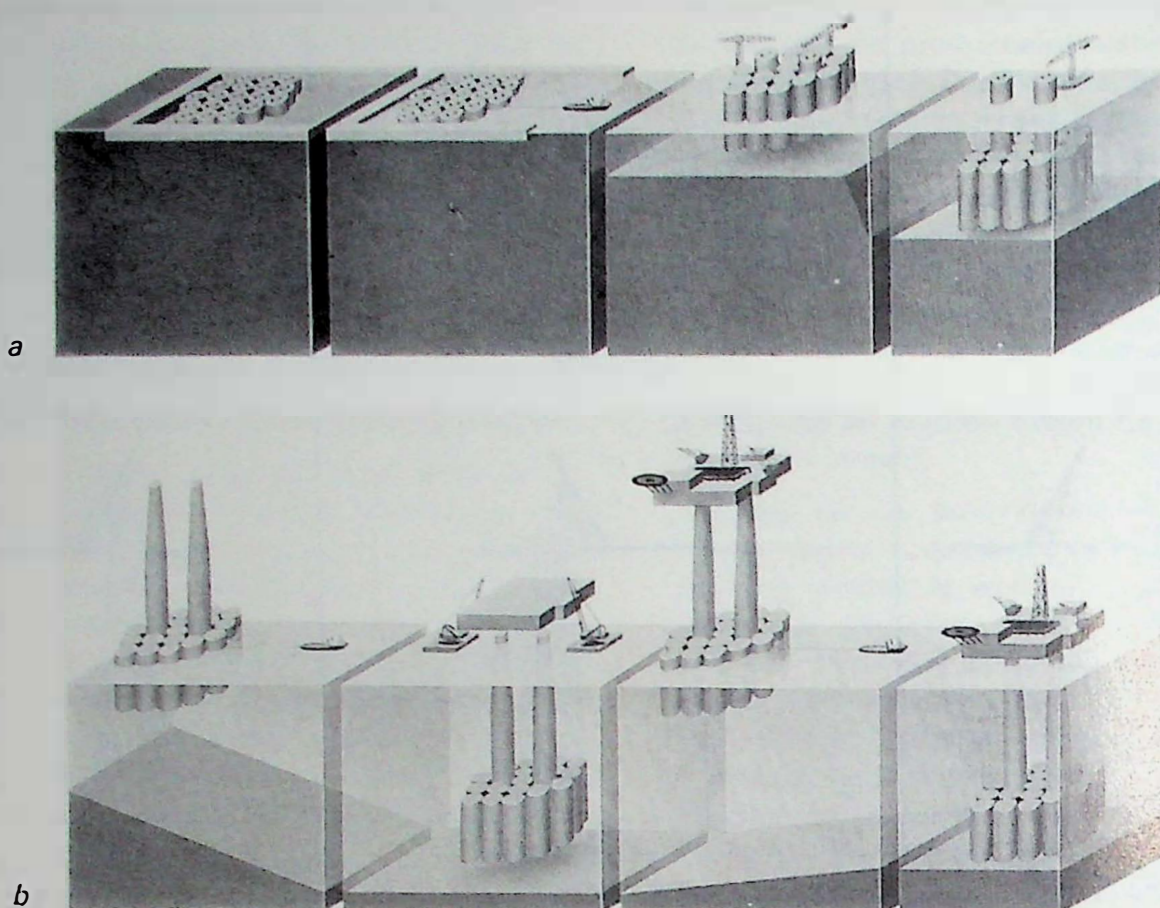


Fig. 13

Fabrication, transport et installation d'une plate-forme gravitaire en béton

Fabrikage, vervoer en installering van een gravitair platform in beton

ainsi les piles d'ancrage, et d'une flottabilité propre suffisante autorisant le remorquage par un tirant d'eau acceptable, en ayant sur le pont un maximum d'équipements de production installés.

Les flotteurs nécessaires pour la phase de remorquage pourraient servir, l'ouvrage une fois en service, de réservoirs de stockage du pétrole extrait (fig. 13).

A l'origine, on croyait que ce genre de structure serait moins sujet à la corrosion ou nécessiterait moins d'entretien qu'une structure entièrement métallique.

Le béton semblait également offrir un avantage de coût à la construction et à l'installation par rapport aux structures métalliques, dans des profondeurs d'eau comparables.

Actuellement, ce dernier facteur ne convainc plus les opérateurs et il est peu probable que les structures gravitaires en béton aient un futur prometteur en Mer du Nord.

3.2.2. Structures gravitaires métalliques

Bien que quelques structures de ce type aient été installées offshore Congo, on peut dire que la structure du champ de Maureen actuellement en cons-

verankeringspijlers te elimineren, en met een voldoende eigen drijfkracht die het slepen bij een aanvaardbare watergang zou toelaten met op het dek een maximum aan geïnstalleerde productie-uitrusting.

De vloten, noodzakelijk voor de sleepfase, zouden dienst kunnen doen als opslagreservoirs voor geproduceerde olie eens de structuur geplaatst is (fig. 13).

Aanvankelijk meende men dat dit soort structuur minder onderhevig zou zijn aan corrosie of minder onderhoud zou vergen dan een geheel metalen structuur.

Het beton leek ook een voordeliger prijs te hebben bij de constructie en de installering in verhouding tot de metalen structuren, in vergelijkbare waterdiepten.

Thans overtuigt deze laatste faktor niet meer, en het is weinig waarschijnlijk dat de gravitaire structuren in beton een veelbelovende toekomst in de Noordzee hebben.

3.2.2. Metalen gravitaire structuren

Hoewel enkele structuren van dit type geïnstalleerd werden offshore Congo, kan men zeggen dat de structuur van het Maureenveld, thans in opbouw in

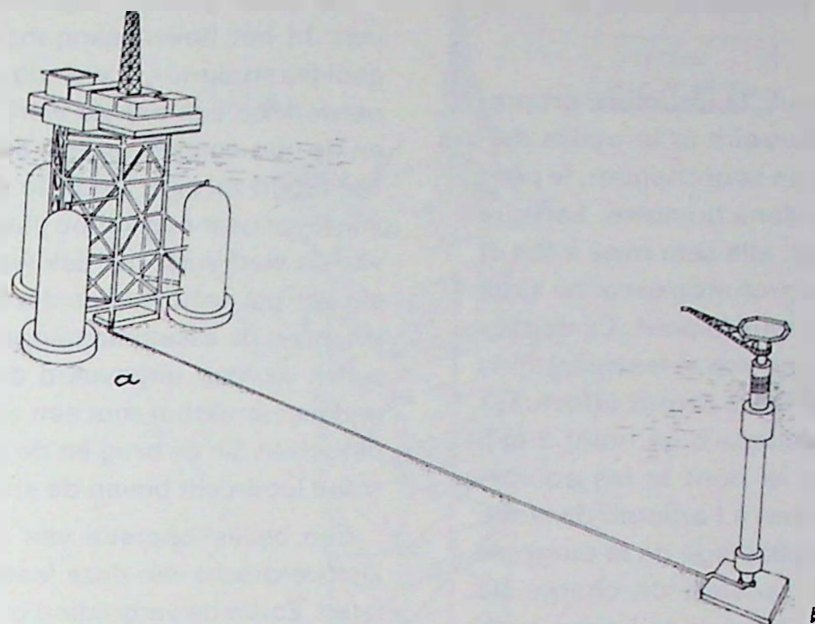


Fig. 14

- a) Plate-forme gravitaire métallique : *metalen gravitair platform*
 b) Tour de chargement articulée : *gearticuleerde laadtoren*

truction en Écosse est une première en ce qui concerne la Mer du Nord. A la différence des structures ancrées, pour lesquelles l'assemblage des composants majeurs est fait offshore, la structure gravitaire métallique est parachevée au maximum à terre ou dans des eaux abritées et remorquée ensuite vers son site. Il y a donc de substantielles économies de temps et d'argent, la plupart des opérations de construction et d'assemblage étant indépendantes des conditions météo-océanographiques. Comme les structures gravitaires en béton, une telle structure comporte également une série de réservoirs lesquels, après avoir assuré la flottabilité pendant le remorquage, peuvent — une fois la plate-forme en place — servir de stockage d'hydrocarbures (fig. 14).

Les éléments principaux sont les suivants : les équipements de production groupés ou non en modules, le support métallique de ces éléments parfois appelé pont, 3 à 4 réservoirs importants assurant la flottabilité de l'ensemble et munis à leur base d'une semelle dimensionnée en fonction de la nature du fond marin, d'un treillis métallique liant, d'une part, le pont et les modules, d'autre part, les réservoirs. Les dimensions de ces derniers sont évidemment fonction de la charge utile et les points les plus critiques sont constitués par les nœuds soudés reliant ces réservoirs au treillis métallique.

A titre d'information, pour le champ de Maureen qui se trouve dans environ 100 m d'eau, le poids de l'équipement est d'environ 14.000 t, les 3 réservoirs ont 87 m de hauteur et plus de 25 m de diamètre et les épaisseurs d'acier à souder atteignent 120 mm sur les nœuds les plus épais.

Schotland, een première is voor de Noordzee. In tegenstelling tot verankerde structuren, waar de installatie van de voornaamste samenstellende delen offshore gebeuren, wordt de metalen gravitaire structuur zoveel mogelijk aan wal of in beschermde wateren afgewerkt, en vervolgens naar zijn plaats gesleept. Er zijn dus belangrijke besparingen van tijd en geld, daar de meeste constructie- en assemblageoperaties onafhankelijk zijn van de meteorologische omstandigheden. Zoals de gravitaire structuren in beton, heeft zulke structuur eveneens een reeks reservoirs die, nadat ze het drijven tijdens het slepen hebben verzekerd, dienst doen als opslagplaats voor ruwe olie eens het platform ter plaatse is (fig. 14).

De voornaamste elementen zijn de volgende : de productie-uitrustingen, al dan niet in modules gegroepeerd; de metalen steunen van deze elementen, soms « dek » genoemd; 3 of 4 belangrijke reservoirs die het drijven van het geheel verzekeren aan hun basis voorzien van een voet waarvan de afmetingen aangepast zijn aan de zeebodem; een metalen netwerk dat enerzijds het dek en de modules en anderzijds de reservoirs verbindt.

De afmetingen van deze laatste zijn vanzelfsprekend in functie van de nuttige last en de meest kritieke punten worden gevormd door de gelaste knopen die deze reservoirs aan het metalen netwerk verbinden.

Ter informatie : voor het Maureenveld dat zich in ongeveer 100 m water bevindt, bedraagt het gewicht van de uitrusting ongeveer 14.000 t, de 3 reservoirs zijn 87 m hoog en hebben een diameter van meer dan 25 m; de diktes van het te lassen staal bereiken 120 mm op de dikste knopen.

La construction s'effectue simultanément en 2 ou plusieurs chantiers.

Dans l'exemple cité plus haut, la structure proprement dite, c'est-à-dire les réservoirs et le treillis métallique, sont assemblés dans un seul chantier, le pont et les équipements de forage dans un autre. Lorsque la sous-structure sera terminée, elle sera mise à flot et remorquée vers un site en eau profonde et calme situé non loin du chantier ayant fabriqué le pont. Ce dernier sera transporté par barge vers ce site et les opérations d'assemblage des deux ensembles seront effectuées en ballastant la structure métallique à un tirant d'eau tel que la barge transportant le pont et les équipements puisse venir se positionner à l'aplomb de ladite structure. Une opération de ballastage de la barge de transport permettra alors le transfert de charge de cette dernière à la structure. Dès que la liaison treillis-pont est achevée, l'ensemble terminé sera remorqué en mer sur son site et ballasté sur ce dernier.

De même que pour les structures ancrées, on pense généralement que la profondeur limite d'application de ce type de structure est de 200 m.

3.3. Nouvelle technologie

Malgré de véritables prouesses techniques, il semble bien que l'on ait atteint les limites techniques et économiques du type de solution constitué par les plates-formes dites fixes.

En effet, les efforts dynamiques engendrés par l'action des vagues augmentent sensiblement avec la profondeur. Il faut donc accroître la rigidité de la structure et en élargir la base, ce qui se traduit par des poids et volumes extrêmement importants, donc par des difficultés accrues de construction, de transport et d'implantation, sans parler de l'accroissement exponentiel des coûts.

Une nouvelle génération de plates-formes, du type dit souple, a vu le jour pour prendre le relais des plates-formes fixes au-delà de 200 m de profondeur d'eau (fig. 10).

Le principe adopté pour une structure consiste à ne pas s'opposer rigidement à l'action des vagues mais, au contraire, à y céder dans des limites compatibles avec les spécifications de matériel d'exploitation pétrolière.

Trois concepts originaux ont fait l'objet d'études approfondies depuis quelques années :

La tour haubannée (guyed tower)

Il s'agit d'une tour en treillis métallique, de construction relativement simple, supportée par une fon-

De bouw gebeurt tegelijkertijd op 2 of meer werfven. In het boven aangehaalde voorbeeld is de eigenlijke structuur, d.w.z. de reservoirs en het metalen netwerk op een enkele werf geassembleerd, het dek en de uitrustingen op een andere. Als de onderbouw beëindigd zal zijn, zal zij te water worden gelaten en versleept naar een kalme plaats in diep water, niet ver van de werf waar het dek werd vervaardigd. Dit laatste zal per schuit naar dezelfde plaats worden versleept en de assemblage-operaties van beide gehelen zullen worden uitgevoerd door het ballasten van de metalen structuur met een zodanige diepgang dat de dekschuit die de brug en de uitrustingen vervoert een stand loodrecht boven de structuur kan innemen.

Een ballast-operatie van de dekschuit zal dan de lastoverdracht van deze laatste naar de structuur toelaten. Zodra de verbinding onder water tot stand is gebracht, wordt het afgewerkte geheel naar zee gesleept tot op zijn definitieve plaats om daar verzonken te worden.

Evenals voor de verankerde structuren, meent men over het algemeen dat de grensprofte voor de toepassing van dit type van structuur 200 m bedraagt.

3.3. Nieuwe technologie

Niettegenstaande werkelijk technisch vernuft, lijken wel degelijk de technische en economische grenzen bereikt van de oplossing gevormd door de zgn. vaste platformen.

De dynamische spanningen veroorzaakt door de werking van de golven verhogen inderdaad gevoelig met de diepte. De onbuigzaamheid van de structuur moet dus verhoogd worden en de basis ervan verbreed, wat neerkomt op een zeer belangrijk gewicht en een zeer groot volume, dus : moeilijker bouw, vervoer en plaatsing, zonder te spreken over de evenredige toename van de kosten.

Een nieuwe generatie platformen, van het zgn. « soepele type », is ontworpen om de plaats in te nemen van de vaste platformen in meer dan 200 m diepte (fig. 10).

Het principe dat werd aangenomen voor een structuur, bestaat erin zich niet strak te verzetten tegen de werking van de golven maar er in tegendeel aan toe te geven binnen grenzen die verenigbaar zijn met de bepalingen betreffende het olie-exploitiemateriaal.

Drie oorspronkelijke ontwerpen hebben het onderwerp uitgemaakt van diepgaande studies sinds enkele jaren :

De getuide toren (guyed tower)

Het gaat om een toren vervaardigd in een metalen netwerk, van betrekkelijk eenvoudige constructie,

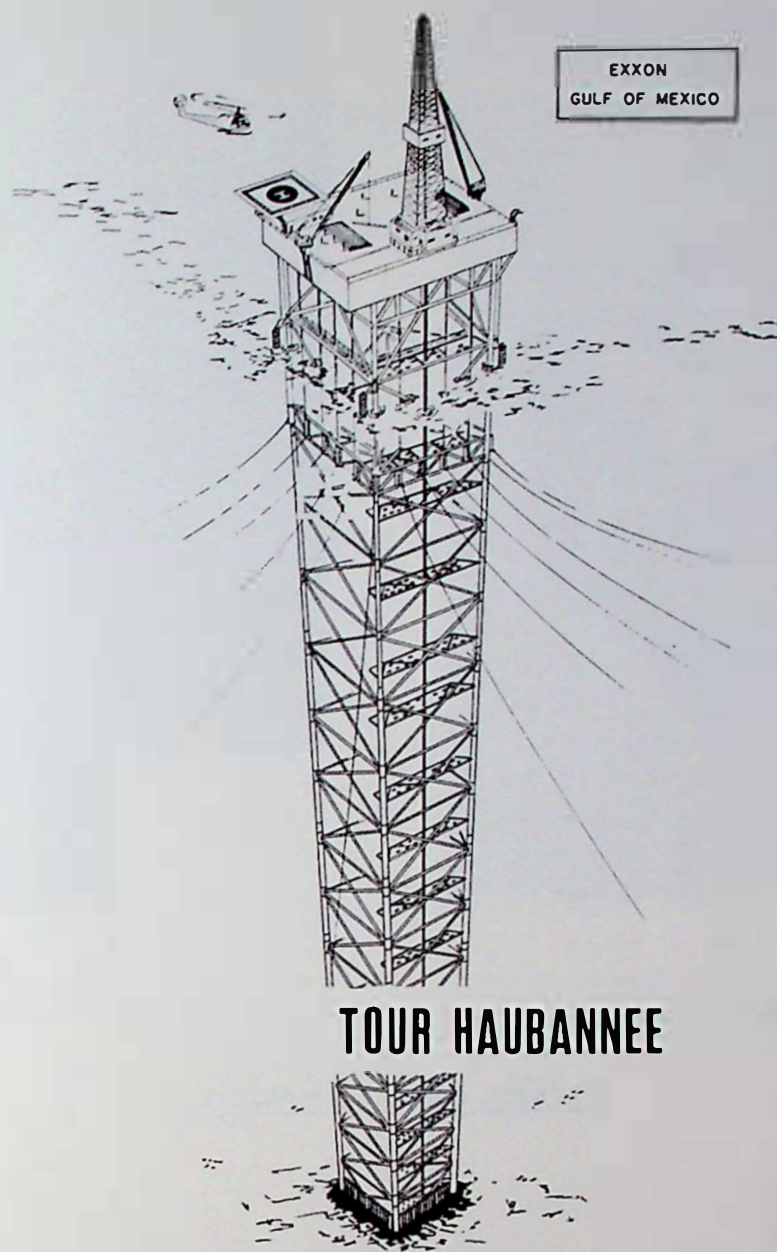


Fig. 15
Tour haubannée — Tuitoren

dation ancrée au fond de la mer. La stabilité de la tour est assurée à l'aide de haubans, constitués de câbles en acier de 125 mm de diamètre, ancrés à l'aide de pieux forés ou battus.

Des poids morts (ou ballasts) sont attachés aux câbles afin d'empêcher la plate-forme d'osciller de façon exagérée.

Une telle tour serait placée au-dessus d'une plaque de base (template) avec les puits pré-forés.

A profondeur d'eau égale, le coût d'une structure pareille serait nettement moindre que celui d'une plate-forme fixe conventionnelle. Un inconvénient réside dans le sectionnement éventuel des câbles par des bateaux.

La mise en place d'une telle structure est envisagée par Exxon dans le Golfe du Mexique par 305 m d'eau. Son extrapolation aux conditions de la Mer du Nord n'est pas exclue (fig. 15).

gedragen door een fundament dat op de zeebodem verankerd is. De stabiliteit van de toren wordt verzekerd m.b.v. boorpalen of ingeheide palen.

Dode gewichten (of ballasten) worden aan de kabels gehecht teneinde te beletten, dat het platform overdreven zou schommelen. Zulke toren zou boven een bodemplaat (template) geplaatst worden, met de voorgeboorde putten.

Bij gelijke waterdiepte zou de kostprijs van zulke structuur aanzienlijk lager liggen dan die van een conventioneel vast platform. Er schuilt een nadeel in het gebeurlijk doorsnijden van de kabels door schepen.

Het plaatsen van zulke structuur wordt overwogen door Exxon in de Golf van Mexico in 305 m water. De extrapolatie ervan naar de voorwaarden in de Noordzee is niet uitgesloten (fig. 15).

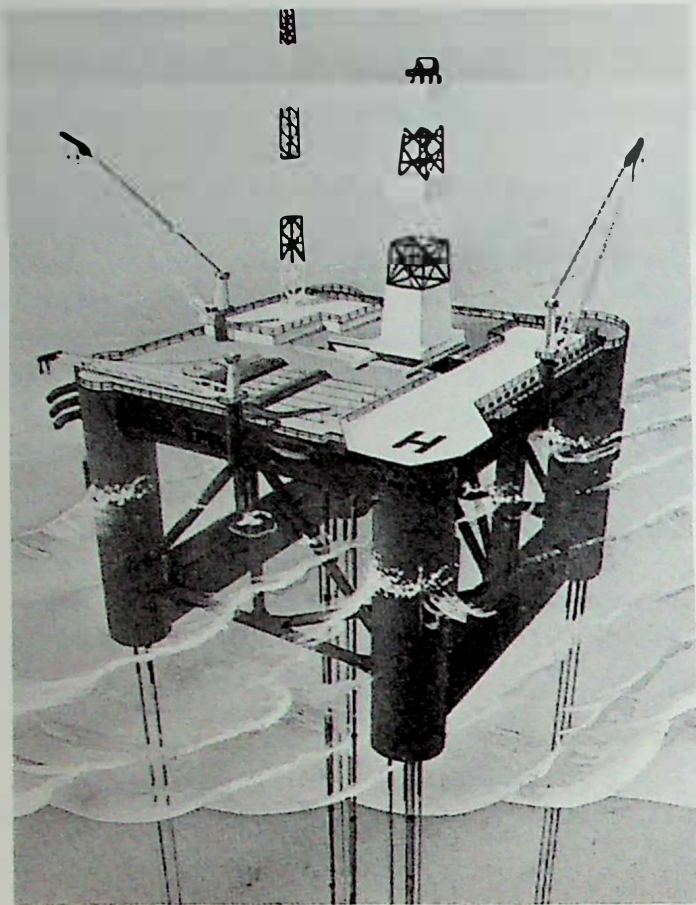
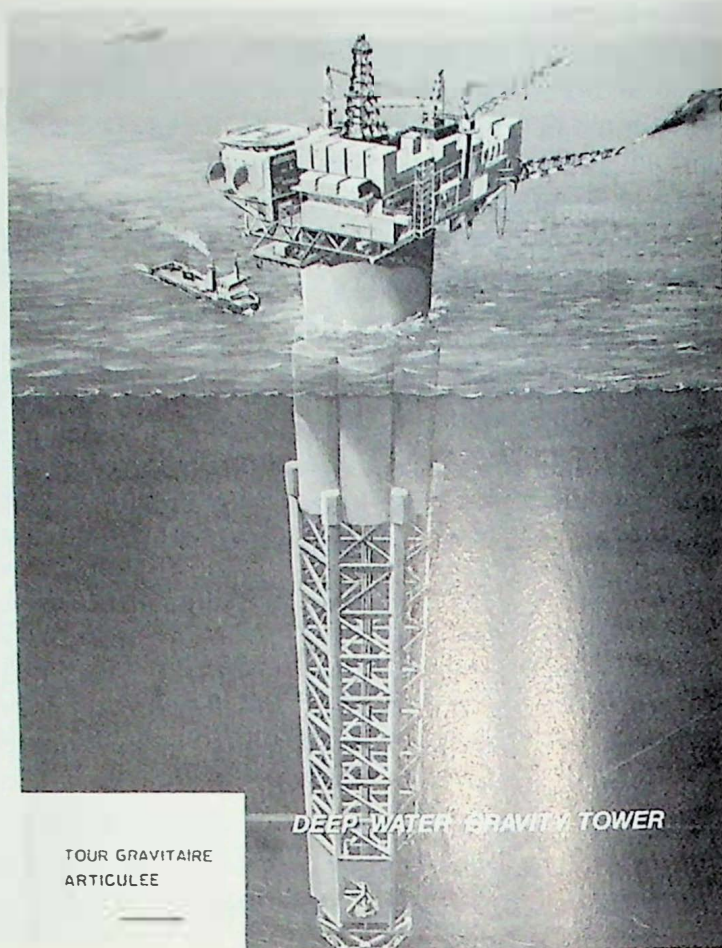


Fig. 16

Plate-forme à ancrage tendus : *platform met gespannen ankerlijnen*

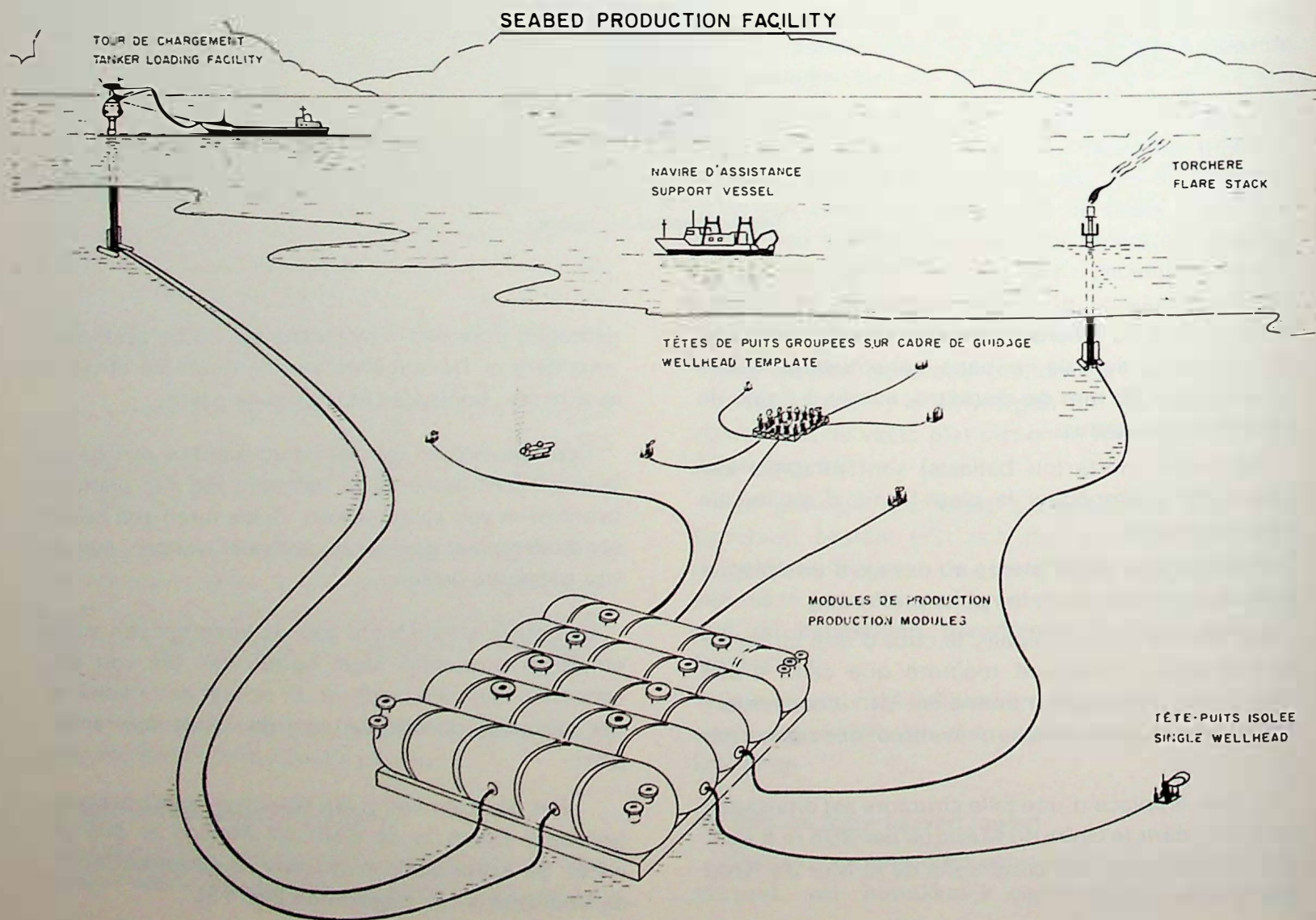


TOUR GRAVITAIRE
ARTICULEE

DEEP WATER GRAVITY TOWER

Fig. 17

Tour gravitaire articulée
Gearticuleerde gravitaire toren



La plate-forme à ancrages tendus
(tension leg platform)

Elle est composée essentiellement d'une grande plate-forme semi-submersible, l'immobilisation étant assurée par un ancrage vertical (fig. 16). La production se fait dans ce cas au moyen de têtes de puits sous-marines.

L'avantage de ce genre de plate-forme est triple :

- 1°) le coût est peu sensible à l'augmentation de la profondeur d'eau;
- 2°) la plate-forme peut être réutilisée après épuisement du gisement, l'investissement étant réparti sur plusieurs champs;
- 3°) la mise en œuvre opérationnelle est plus rapide que pour une plate-forme fixe, étant donné que la totalité des équipements de production peut être montée avant le remorquage de la plate-forme en mer.

Par contre, l'ancrage ainsi que la liaison particulière surface-fond avec les têtes de puits sous-marines, sont des opérations plus complexes entraînant des dépenses importantes.

La première plate-forme à ancrage tendu sera installée par Conoco en Mer du Nord sur le champ de Hutton, en secteur anglais, dans seulement 148 m d'eau, ceci afin de vérifier la viabilité du concept avant de le mettre en pratique dans des eaux plus profondes.

La tour gravitaire articulée
(steel-concrete gravity tower)

Ce nouveau concept a été introduit par une société française pour des profondeurs d'eau allant de 350 à 900 m.

Une structure métallique en treillis supporte des chambres de flottaison en béton. Celles-ci forment le tiers supérieur de la tour qui est reliée à une plaque de base reposant sur le sol marin par l'intermédiaire d'un joint articulé universel (fig. 17).

Le concept est à l'étude mais n'a pas encore d'application envisagée.

Het platform met gespannen verankering
(tension leg platform)

Dit bestaat voornamelijk uit een groot drijvend platform, waarvan de onbeweeglijkheid verzekerd wordt door een verticale verankering (fig. 16). De productie gebeurt in dit geval d.m.v. onderzeese verbuizingskoppen.

Er is een drievoudig voordeel verbonden aan dit soort platform :

- 1°) de kostprijs wordt weinig beïnvloed door de diepte van het water;
- 2°) het platform kan opnieuw worden gebruikt na uitputting van het veld, waarbij de investering verdeeld kan worden over verschillende velden;
- 3°) de operationele inwerkingstelling is sneller dan voor een vast platform, aangezien het geheel der productie-uitrustingen gemonteerd kan worden voor het platform naar zee wordt gesleept.

Daarentegen zijn de verankering evenals de bijzondere verbinding oppervlakte-bodem met onderzeese verbuizingskoppen, ingewikkelde bewerkingen die belangrijke kosten meebrengen.

Het eerste platform met verticale verankering zal door Conoco in de Noordzee worden geïnstalleerd boven het Huttonveld, in de Engelse sector, in slechts 148 m water, om de bruikbaarheid van het ontwerp na te gaan alvorens het in diepere wateren in praktijk te brengen.

De geartikuleerde gravitaire toren

Dit nieuwe ontwerp werd voorgesteld door een Franse onderneming voor diepten gaande van 350 tot 900 m.

Een metalen structuur in netwerkvorm schraagt betonnen drijfkamers. Deze vormen het hoogste derde van de toren die verbonden is aan een bodemplaat die op de zeebodem rust d.m.v. een geartikuleerde koppeling (fig. 17).

Het ontwerp is ter studie maar er wordt nog geen toepassing van overwogen.

Fig. 18

Installations de production « Tout au fond de la mer »
Productie-installaties « op de zeebodem »

Tour de chargement : *laadtoren*
Navire d'assistance : *hulpvaartuig*
Torchère : *toorts*

Têtes de puits groupées sur cadre de guidage : *putten gegroepeerd op geleide plaat*
Modules de production : *produktiemodules*
Têtes-puits isolées : *geïsoleerde putten*

4. EXPLOITATION SOUS-MARINE

Actuellement, cette dernière se limite à l'emploi de têtes de puits sous-marines, les fluides produits étant ramenés à des installations fixes ou mobiles situées en surface.

Des projets prévoyant l'installation de l'ensemble des équipements de production au fond de la mer, éliminant ainsi la nécessité d'installations de surface, sont actuellement à l'étude pour des profondeurs d'eau supérieures à 300 m. Il n'y a donc pas d'application prévue en Mer du Nord.

Un exemple type de ce genre d'exploitation est représenté à la figure 18.

5. CONCLUSIONS

En Mer du Nord, la technologie conventionnelle, parfaitement au point mais très chère, limite le développement des champs à ceux dont les réserves récupérables sont supérieures à 125 millions de barils dans un maximum de 200 m d'eau.

L'industrie pétrolière met actuellement au point, d'une part, une technologie moins onéreuse pour permettre de développer des champs plus petits, d'autre part, étudie divers concepts qui permettront le développement de champs dans des profondeurs d'eau de 200 à 700 m dans les conditions météoro-océanographiques de la Mer du Nord.

Ces technologies nouvelles devraient déboucher sur des applications pratiques dans les cinq prochaines années.

4. ONDERZEESE EXPLOITATIE

Deze laatste is thans beperkt tot het gebruik van onderzeese verbuizingskoppen, waarbij de geproduceerde vloeistoffen naar vaste of mobiele installaties aan de oppervlakte worden gebracht.

Thans zijn er projecten ter studie die de installering voorzien van het geheel der produktie-uitrustingen op de zeebodem, voor dieptes van meer dan 300 m, waardoor de noodzaak van installaties aan de oppervlakte weggewerkt zou worden. Er is dus geen toepassing voorzien in de Noordzee.

Een typevoorbeeld van dit soort exploitatie wordt weergegeven op figuur 18.

5. BESLUIT

In de Noordzee beperkt de bestaande technologie, die zeer compleet maar zeer duur is, de ontwikkeling van de velden tot diepte velden waarvan de recupererbare reserves hoger liggen dan 125 miljoen barril tot ten hoogste 200 m diepte.

De petroleumindustrie stelt thans enerzijds een minder dure technologie op punt om de ontwikkeling van kleinere velden mogelijk te maken, en bestudeert anderzijds verschillende ontwerpen die de ontwikkeling mogelijk maken van velden in diepten van 200 tot 700 m in de meteo-oceanografische omstandigheden van de Noordzee.

Deze nieuwe technologieën zouden moeten resulteren in praktische toepassingen in de volgende vijf jaar.

Le forage dirigé

Pierre ARMESSEN *

RESUME

HISTORIQUE

Connue depuis 1920, cette technique était surtout utilisée pour contrôler des puits en éruption.

APPLICATIONS PRINCIPALES

Le forage dirigé permettant de forer jusqu'à 30 trous à partir d'un même emplacement est de plus en plus utilisé pour des raisons d'économie et de protection de l'environnement. Il permet également d'atteindre des cibles situées à la verticale d'un lieu inaccessible.

TECHNIQUE D'APPLICATION

1°) Sans outil directionnel

Pour monter l'inclinaison, on exploite l'effet de levier en localisant un stabilisateur au-dessus de l'outil.

Pour stabiliser, on rigidifie la garniture en utilisant plusieurs stabilisateurs rapprochés.

Pour faire chuter l'inclinaison, on favorise la tendance naturelle due à la gravité.

Le poids sur l'outil favorise la montée de l'inclinaison. La vitesse de rotation favorise la chute.

Contrairement à l'inclinaison, l'azimut est très difficilement contrôlable sans outils directionnels.

2°) Avec outil directionnel

Cette technique permet de contrôler aussi bien l'azimut que l'inclinaison.

* Directeur à la Société Topservices, Zone Induspal, Cidex 66, Lons, F-64140 Billère.

De gerichte boring

SAMENVATTING

HISTORISCH OVERZICHT

Deze techniek die sedert 1920 gekend is, werd vooral aangewend om spuitende putten te controleren.

VOORNAAMSTE TOEPASSINGEN

De gerichte boring, die het mogelijk maakt tot 30 gaten te boren vanaf eenzelfde plaats, wordt steeds meer aangewend wegens economische redenen en met het oog op de milieubescherming. Zij biedt eveneens de mogelijkheid doelpunten te bereiken die zich loodrecht t.o.v. een ontoegankelijke plaats bevinden.

TOEPASSINGSTECHNIEKEN

1°) Zonder gericht werktuig

Om de helling te vergroten maakt men gebruik van het hefboomeffect door een stabilisator te plaatsen boven het werktuig.

Om te stabiliseren maakt men de bekleding onbuigzaam d.m.v. verschillende bij elkaar geplaatste stabilisatoren.

Om de helling te doen dalen begunstigt men de natuurlijke richting te wijten aan de zwaartekracht.

Het gewicht op het werktuig heeft een gunstige invloed op de vergroting van de helling. De rotatiesnelheid begunstigt de werktuigval.

In tegenstelling met de helling kan het azimut zeer moeilijk gecontroleerd worden zonder gerichte werktuigen.

2°) Met gericht werktuig

Door deze techniek kan zowel het azimut als de helling gecontroleerd worden.

PRINCIPAUX OUTILS DIRECTIONNELS

Il existe de très nombreux outils tels que sifflets, genouillères, whipstock, mais ils sont de moins en moins utilisés. Nous ne retiendrons que les deux techniques modernes qui sont le « jet bit » et la turbine.

a) Le « jet bit »

C'est un outil de forage comportant une seule duse ou jet. Après orientation du jet, il s'agit de réaliser un avant-trou grâce à l'action combinée de la circulation à travers la duse et le poids sur l'outil. Cet avant-trou crée une impulsion qui est aussitôt exploitée en rotary.

Cette technique ne peut être retenue que pour les terrains très tendres qui se laissent désagréger par l'action de jetting.

b) La turbine avec raccord coudé

La rotation de l'outil étant assurée par le rotor, il suffit de localiser un raccord coudé au-dessus du stator et d'immobiliser cet ensemble pour turboforer dans la direction choisie.

TENDANCE NATURELLE DE L'AZIMUT

En forage rotary, 70 à 80 % des puits tournent naturellement à droite. En turboforage, cette tendance est beaucoup plus faible, elle s'inverse même assez fréquemment.

CAUSES PRINCIPALES DE DEVIATIONS INVOLONTAIRES

- le pendage,
- les failles,
- les incidents divers (outils usés ou bourrés).

INSTRUMENTS DE MESURE

- Inclinomètre (inclinaison).
- Single Shot ou Multishot (inclinaison et azimut) : ces instruments comportent un compas sensible aux perturbations magnétiques.
- Gyro compas (inclinaison et azimut) : ces instruments sont insensibles aux influences magnétiques.
- Les systèmes MWD : un ensemble intégré à la garniture de forage permet d'afficher les mesures en continu.

VOORNAAMSTE GERICHTE WERKTUIGEN

Er bestaan talrijke werktuigen zoals richtkeggen, draaiende wartels, whipstock, maar ze worden steeds minder gebruikt. Wij nemen slechts de twee moderne technieken in aanmerking, namelijk de « jet bit » en de turbine.

a) De « jet bit »

Dit is een boorwerktuig met een enkel knijpstuk of straal. Na de oriëntatie van de straal dient een voorgat verwezenlijkt te worden dank zij de gecombineerde werking van de circulatie doorheen het knijpstuk en van het gewicht op het werktuig. Dit voorgat veroorzaakt een impuls die dadelijk wordt gebruikt met rotary.

Deze techniek kan enkel weerhouden worden voor de zeer zachte gesteenten die uiteenvallen onder invloed van de jetting.

b) De turbine met kniekoppeling

Daar de rotatie van het werktuig verzekerd wordt door de rotor, volstaat het een kniekoppeling te lokaliseren boven de stator en dit geheel vast te leggen om te turboboren in de gekozen richting.

NATUURLIJKE RICHTING VAN HET AZIMUT

Bij het rotaryboren draaien 70 à 80 % van de putten natuurlijk naar rechts. Bij het turboboren is deze neiging geringer; zij keert zich zelfs tamelijk dikwijls om.

VOORNAAMSTE OORZAKEN VAN ONVRIJWILLIGE AFWIJKINGEN

- de helling,
- de verschuivingen,
- de diverse incidenten (versleten of verstopte werktuigen).

MEETINSTRUMENTEN

- De hellingmeter (helling).
- Single shot of Multishot (helling en azimut) : deze instrumenten bevatten een kompas dat gevoelig is voor de magnetische storingen.
- Gyroscopisch kompas (helling en azimut) : deze instrumenten ondergaan geen magnetische invloeden.
- De MWD-systemen : een in de boorbekleding geïntegreerd geheel maakt het mogelijk de metingen voortdurend op te geven.

ZUSAMMENFASSUNG

HISTORISCHES

Die seit 1920 bekannte Technik des gerichteten Bohrens wurde vor allem zur Kontrolle von Bohrungen mit plötzlichem Ausbruch verwendet.

HAUPTSÄCHLICHE ANWENDUNGEN

Das gerichtete Bohren, mit dem bis zu 30 Bohrungen von derselben Stelle aus niedergebracht werden können, wird aus Ersparnis- und Umweltschutzgründen in zunehmendem Maße verwendet. Mit ihm können ebenfalls Zielobjekte erreicht werden, die in der Vertikalen eines unzugänglichen Ortes gelegen sind.

ANWENDUNGSTECHNIK

1) Ohne Richtungswerkzeug

Um die Neigung zu erhöhen nutzt man den Hebel-effekt aus, wobei ein Stabilisator über dem Werkzeug angebracht wird.

Um zu stabilisieren, versteift man das Bohrgestell, wozu mehrere benachbarte Stabilisatoren verwendet werden.

Um die Neigung zu reduzieren begünstigt man die natürliche Tendenz infolge der Schwerkraft.

Mehr Gewicht auf dem Werkzeug begünstigt die Erhöhung der Neigung. Die Rotationsgeschwindigkeit begünstigt das Absinken des Werkzeugs.

Im Gegensatz zu der Neigung ist das Azimut ohne Richtungswerkzeuge nur sehr schwierig kontrollierbar.

2) Mit Richtungswerkzeug

Mit dieser Technik kann sowohl das Azimut, als auch die Neigung kontrolliert werden.

HAUPTSÄCHLICHE RICHTUNGSWERKZEUGE

Es gibt sehr viele Werkzeuge, wie zum Beispiel Pfeifen, Kniegelenke, Ablenkkeile, aber diese werden immer weniger verwendet. Wir werden uns nur mit den zwei modernen Techniken befassen, nämlich dem « jet bit » und der Turbine.

a) Der « jet bit »

Dies ist ein Bohrwerkzeug, das eine einzige Düse bzw. einen einzigen Strahl umfaßt. Nach Ausrichtung des Strahls ist es erforderlich, aufgrund der kombinierten Wirkung der Strömung durch die Düse und des Gewichts auf das Werkzeug ein Vorbohrloch zu verwirklichen. Dieses Vorbohrloch erzeugt einen Impuls, der sofort zum Rotarybohren ausgenutzt wird.

Diese Technik kann nur für sehr weiche Böden verwendet werden, die sich infolge der Wirkung des Strahlbohrens auflockern lassen.

SUMMARY

HISTORY

The technique of directional drilling has been known since 1920; it was mostly used for bringing wild blow-outs under control.

MAIN APPLICATIONS

Directional drilling allows boring up to thirty holes without moving the rig; it is increasingly used because it is economical, and for environmental protection reasons. It also makes it possible to reach points located under inaccessible sites.

METHOD OF APPLICATION

1) Without a directional drilling tool

To increase the inclination, use is made of the lever effect, setting a stabilizer above the tool.

To stabilize, the casing is stiffened by using several stabilizers close together.

To reduce the inclination, the natural trend due to gravity is encouraged.

More weight on the tool favours the increase of inclination. The rate of rotation favours the downward movement of the tool.

Unlike the inclination, the azimuth is much more difficult to control without directional tools.

2) With a directional tool

This technique is used to control both azimuth and inclination.

THE PRINCIPAL DIRECTIONAL TOOLS

There are numerous tools such as whipstocks, knuckle joints etc. - but they are all used with decreasing frequency. We shall here mention only the two most modern - the jet bit and the turbine.

a) The jet bit

This is a drilling tool comprising a single nozzle, or jet. Once the jet is orientated, a pilot hole is drilled by the combined action of the flow through the jet and the weight acting on the tool; this pilot hole gives rise to a thrust which is immediately used in rotary drilling.

This technique is suitable only for very soft ground which can be broken down by the action of the jet.

b) Die Turbine mit Rohrkrümmer

Da die Rotation des Werkzeugs über den Rotor erfolgt, genügt es, einen Rohrkrümmer oberhalb des Stators anzubringen und diese Einheit festzustellen, um in der gewählten Richtung die Turbobohrung auszuführen.

NATÜRLICHE TENDENZ DES AZIMUTS

Beim Rotarybohren weichen 70 bis 80 % der Bohrlöcher auf natürliche Weise nach rechts ab. Beim Turbobohren ist die Tendenz viel schwächer, sie kehrt sich sogar ziemlich häufig um.

HAUPTSÄCHLICHE URSACHEN VON UNBEABSICHTIGTEN ABWEICHUNGEN

- das Einfallen
- die Verwerfungen
- die verschiedenen Zwischenfälle (abgenutzte oder vollgestopfte Werkzeuge)

MESSINSTRUMENTE

- Neigungskompaß (Neigung).
- Single shot oder Multishot (Neigung und Azimut) : Diese Instrumente enthalten einen Kompaß, der auf magnetische Störungen anspricht.
- Kreiselkompaß (Neigung und Azimut) : Diese Instrumente sind unempfindlich gegenüber magnetischen Einflüssen.
- Die MWD-Systeme : Eine in das Bohrgestell eingebaute Einheit ermöglicht eine kontinuierliche Anzeige der Meßwerte.

b) Turbine with elbow connection

This device is rotated by the rotor; an elbow connection is simply attached above the stator which is then blocked in place, so turbo-drilling is carried out in the required direction.

THE NATURAL TREND OF THE AZIMUTH

In rotary drilling, 70 % to 80 % of wells naturally turn right-handed; this tendency is much less marked in turbo-drilling, and can even become reversed fairly often.

THE PRINCIPAL CAUSES OF UNWANTED DEVIATION

- the dip
- the presence of faults
- various factors (worn or jammed)

MEASURING INSTRUMENTS

- Inclinometer : measures inclination.
- Single-shot, or multi-shot, giving inclination and azimuth : these instruments include a compass sensitive to magnetic disturbances.
- Gyrocompass : measures inclination and azimuth; not sensitive to magnetic effects.
- M.W.D. systems : a system built into the drill stem to allow of continuous monitoring of the measurements.

Le temps imparti nous contraint à limiter cette étude aux principes généraux. Après un bref historique et un résumé des applications principales, nous définirons quelques termes techniques indispensables à une bonne compréhension du sujet dont nous ne retiendrons que les idées maîtresses.

1. HISTORIQUE

Au début du siècle, une tentative de forages déviés à partir d'îlots artificiels construits dans un port américain a tourné court à la suite de difficultés avec les autorités portuaires.

Quelques années plus tard, cette technique a été expérimentée avec succès pour contrôler un puits en éruption dans la ville de Conroe au Texas. Cette

De toebedeelde tijd noopt ons ertoe deze studie te beperken tot de algemene principes. Na een bondig historisch overzicht en een samenvatting over de voornaamste toepassingen, zullen wij enkele technische termen omschrijven die onontbeerlijk zijn om zich een goed begrip te vormen van het onderwerp waarvan wij slechts de grondgedachten zullen overwegen.

1. HISTORISCH OVERZICHT

In het begin van de eeuw werd plotseling een einde gesteld aan een poging tot afgeweken boringen vanaf kunstmatige eilandjes in een Amerikaanse haven in-gevolge moeilijkheden met de havenautoriteit.

Enkele jaren later werd deze techniek met succes beproefd om een spuitende put te controleren in de stad Conroe in Texas. Sedertdien werd deze techniek

technique n'a cessé de se développer depuis; elle est actuellement couramment appliquée, plus particulièrement sur les chantiers de développement marins, pour des raisons d'économie et d'environnement.

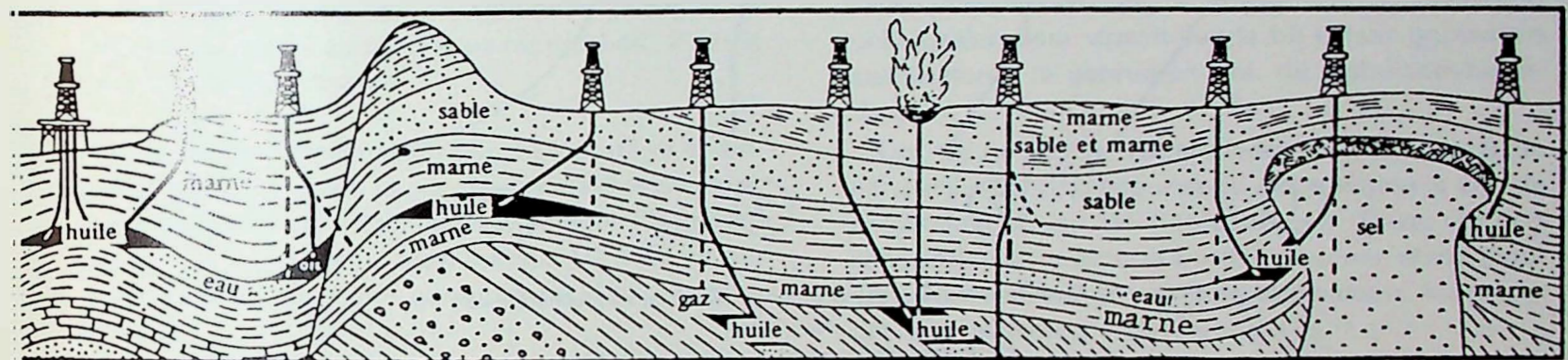
steeds verder ontwikkeld; zij wordt momenteel algemeen toegepast, meer in het bijzonder op de zee-ontwikkelingsterreinen, met het oog op economische belangen en milieubescherming.

2. APPLICATIONS PRINCIPALES (fig. 1) ET DEFINITIONS

- Drainage d'une couche productrice à partir d'un même emplacement
- Cible à la verticale d'un lieu inaccessible (ville, montagne)
- Contrôle d'un puits en éruption
- Reprise de puits verticaux à la suite de surprises géologiques
- Forage sous la mer à partir du rivage
- Déviation au-dessus d'un poisson, etc.

2. VOORNAAMSTE TOEPASSINGEN (fig. 1) EN BEPALINGEN

- Drainering van een producerende laag vanaf eenzelfde plaats.
- Doelpunt loodrecht tgo. een ontoegankelijke plaats (stad, gebergte).
- Controle van een spuitende put.
- Hervatting van verticale putten ingevolge geologische verrassingen.
- Boren onder zee vanaf de oever.
- Afwijking boven een vis, enz.



Applications du forage dirigé

Fig. 1

Toepassingen van de gerichte boring

Quelques termes techniques

Kick off	amorce de déviation
Build up	montée de l'inclinaison et mise en direction
Dog leg	changement d'inclinaison et/ou de direction sur une longueur donnée (longueur API = 30 m)
Key seat	gouttière qui peut se développer au niveau des « Dog leg »
Drop off	chute d'inclinaison contrôlée
Stabilisation	phase inclinée rectiligne
Roll off	décalage angulaire de l'ensemble orienté.

Enkele technische termen

- Kick off	: afwijkingsklep
- Build up	: het stijgen van de helling en aangeven van de richting.
- Dog leg	: wijziging van de helling en/of van de richting over een bepaalde lengte (lengte API = 30 m).
- Key seat	: goot die zich kan vormen ter hoogte van de « Dog leg ».
- Drop off	: gecontroleerde hellingstoename.
- Stabilisation	: rechtlijnige hellende fase.
- Roll off	: hoekverschuiving van het gerichte geheel.

Définition du forage dirigé

C'est le contrôle de la direction et de l'inclinaison d'un forage afin d'atteindre une cible définie par :

- une profondeur verticale (à la verticale du Rig);
- un déplacement donné dans une direction donnée;
- une cible de dimensions variables.

Bepaling van de gerichte boring

Dit omvat de controle van de richting en de helling van een boring om een bepaald doelpunt te bereiken door :

- een verticale diepte (vertikaal van de Rig);
- een bepaalde verplaatsing in een bepaalde richting;
- een doelpunt van veranderlijke afmetingen.

- Le profil d'un puits se caractérise par :
- la côte de Kick off point (K.O.P.);
 - le gradient et la longueur du Build up;
 - l'angle et la longueur de la stabilisation;
 - le gradient et la longueur d'un Drop off éventuel.

- Het profiel van een put wordt gekenmerkt door :
- de helling van Kick off point (K.O.P.);
 - de gradiënt en de lengte van de Build Up;
 - de hoek en de lengte van de Stabilisation;
 - de gradiënt en de lengte van een eventuele Drop off.

Profils types (fig. 2)

Type-profielen (fig. 2)

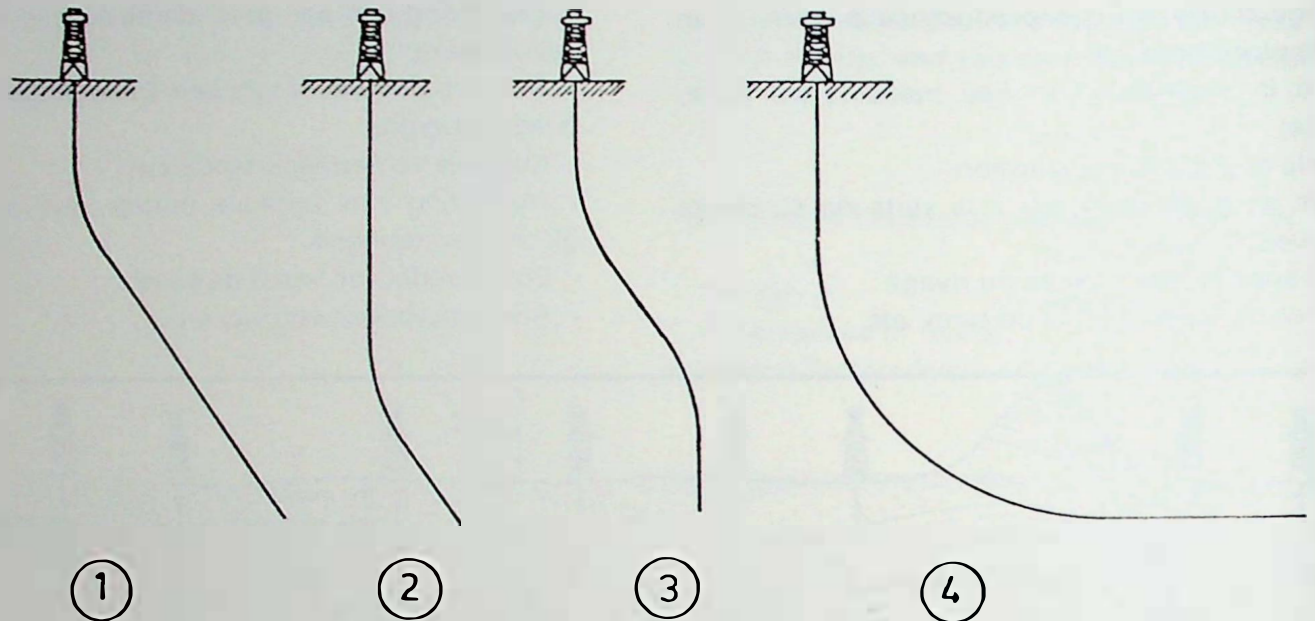


Fig. 2

- 1) Grands et moyens déplacements - Grote en middelmatige verplaatsingen
- 2) Faible déplacement - Geringe verplaatsing
- 3) Profil avec Drop off - Profiel met Drop off
- 4) Forage horizontal - Horizontale boring

3. TECHNIQUES D'APPLICATION

Pour simplifier, nous admettrons que nous étudions les réactions d'un puits déjà incliné et foré en terrain neutre.

3.1. Sans outil directionnel

L'inclinaison

Elle peut être très facilement contrôlée en positionnant judicieusement les points d'appui de la garniture de fond sur le côté bas du trou.

Pratiquement, ceci est réalisé en intercalant un ou plusieurs stabilisateurs et en jouant sur les paramètres.

Pour monter l'inclinaison (fig. 3), on exploite l'effet de levier en localisant un stabilisateur au-dessus de l'outil : c'est la garniture de « Build up ».

3. TOEPASSINGSTECHNIEK

Ter vereenvoudiging zullen we veronderstellen dat we de reacties bestuderen van een reeds hellende en geboorde put in neutraal gesteente.

3.1. Zonder gericht werktuig

De helling

Zij kan zeer gemakkelijk gecontroleerd worden door de steunpunten van de bodembekleding oordeelkundig op de onderste zijde van het gat te plaatsen.

In de praktijk wordt dit verwezenlijkt door één of meerdere stabilisatoren tussen te voegen en door rekening te houden met de parameters.

Om de helling te vergroten (fig. 3), wordt gebruik gemaakt van het hefboomeffect door een stabilisator boven het werktuig te plaatsen : nl. de « Build up »-bekleding.



Fig. 3
Build up



Fig. 4
Stabilisation
Stabilisatie

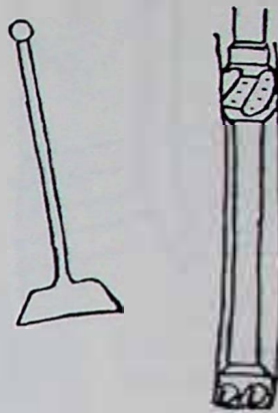


Fig. 5
Chute (garniture pendulaire)
Daling van de helling (slingerende bekleding)

Pour stabiliser (fig. 4), on rigidifie la garniture en utilisant plusieurs stabilisateurs rapprochés : c'est la garniture de stabilisation.

Pour réduire l'inclinaison (fig. 5), on utilise la tendance naturelle due à la gravité des maîtresses tiges. Cette tendance peut être considérablement augmentée en positionnant un stabilisateur 10 à 15 m au-dessus de l'outil. Cette garniture est dite « pendulaire ».

L'azimut

Sans outils directionnels, le contrôle de l'azimut est très limité.

Influence des paramètres

Le poids sur l'outil favorise la montée d'inclinaison.
La vitesse de rotation favorise la chute.

Om te stabiliseren (fig. 4) maakt men de bekleding onbuigzaam door verschillende bij elkaar geplaatste stabilisatoren te gebruiken : nl. de stabilisatiebekleding.

Om de helling te verminderen (fig. 5) wordt de natuurlijke richting begunstigd die te wijten is aan de zwaartekracht van de hoofdstangen. Deze richting kan aanzienlijk verhoogd worden door een stabilisator 10 à 15 m boven het werktuig te plaatsen. Men zegt dat deze bekleding « slingerend » is.

Het azimut

Zonder gerichte werktuigen wordt de controle van het azimut zeer beperkt.

Invloed van de parameters

Het gewicht op het werktuig begunstigt de verhoging van de helling.

De rotatiesnelheid begunstigt de daling van de helling.

3.2. Avec outils directionnels

Ces outils permettent de contrôler aussi bien l'azimut que l'inclinaison.

Il existe de très nombreux outils tels que sifflets, genouillères, whipstock, spud bit, etc. mais ils sont très peu utilisés. Nous ne retiendrons que deux techniques : le jetting et la turbine.

3.2.1. Le jetting (fig. 6)

Il s'agit de faire un avant-trou orienté au moyen d'un outil comportant une seule duse. Cet outil est assemblé sous une garniture de Build up rotary.

3.2. Met gerichte werktuigen

Deze werktuigen maken het mogelijk het azimut evenals de helling te controleren.

Er bestaan talrijke werktuigen zoals richtkeggen, draaiende wartels, whipstock, spud bit, enz. maar ze worden zeer weinig gebruikt. Wij nemen slechts twee technieken in aanmerking : de jetting en de turbine.

3.2.1. De jetting (fig. 6)

Er dient een voorgat te worden gemaakt, gericht d.m.v. een werktuig met een enkel knijpstuk.

Dit werktuig wordt geassembleerd onder een Build up rotary-bekleding.

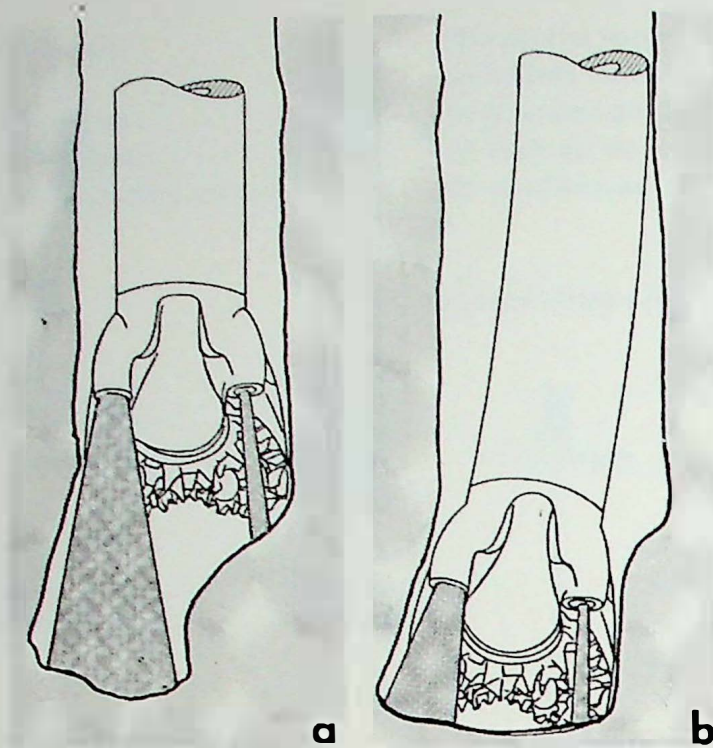


Fig. 6
Jetting

Après orientation du jet, la table est immobilisée et l'avant-trou est réalisé grâce à l'action combinée du « jet » et du poids de l'outil.

Cet avant-trou crée une impulsion qui est aussitôt exploitée en rotary.

La fréquence des passes de jetting est fonction du terrain et du gradient désiré.

Cette technique ne peut être retenue que pour les terrains très tendres, mais c'est de loin la plus simple et la plus économique.

3.2.2. Turbine avec raccord coudé (fig. 7)

La rotation de l'outil étant assurée par le rotor, il suffit d'immobiliser l'ensemble train raccord coudé stator dans la direction choisie et de poursuivre ainsi le turboforage.

Lors de l'orientation, il faut tenir compte du couple réactif ou « Roll off » de la turbine qui se traduit par un décalage à gauche de l'ensemble orienté.

4. LES DEVIATIONS

4.1. Tendances naturelle de l'azimut

En forage rotary, 70 à 80 % des puits tournent naturellement à droite. En turboforage, la tendance à droite est beaucoup plus faible et s'inverse même assez fréquemment.

Na oriëntatie van de straal wordt de tafel geblokkeerd en het voorgat verwezenlijkt dank zij de gecombineerde werking van de « jet » en het gewicht van het werktuig.

Dit voorgat veroorzaakt een impuls die dadelijk met rotary wordt gebruikt.

De frequentie van de jetting-doorslagen is afhankelijk van het gesteente en de gewenste gradiënt.

Deze techniek kan enkel in aanmerking genomen worden voor zeer zachte gesteenten, maar is verreweg de eenvoudigste en meest economische.

3.2.2. Turbine met knie koppeling (fig. 7)

Daar de rotatie van het werktuig verzekerd wordt door de rotor, volstaat het, het geheel van het stel knie koppeling-stator in de gekozen richting te immobiliseren en zo de turboboring voort te zetten.

Tijdens de oriëntatie dient rekening gehouden te worden met de reactieve koppel of « Roll off » van de turbine, die zich uit door een verschuiving naar links van het georiënteerd geheel.

4. DE AFWIJKINGEN

4.1. Natuurlijke richting van het azimut

Bij rotary-boren draaien 70 à 80 % van de putten natuurlijk naar rechts. Bij turboboren is de tendens naar rechts veel geringer en keert zich tamelijk dikwijls om.

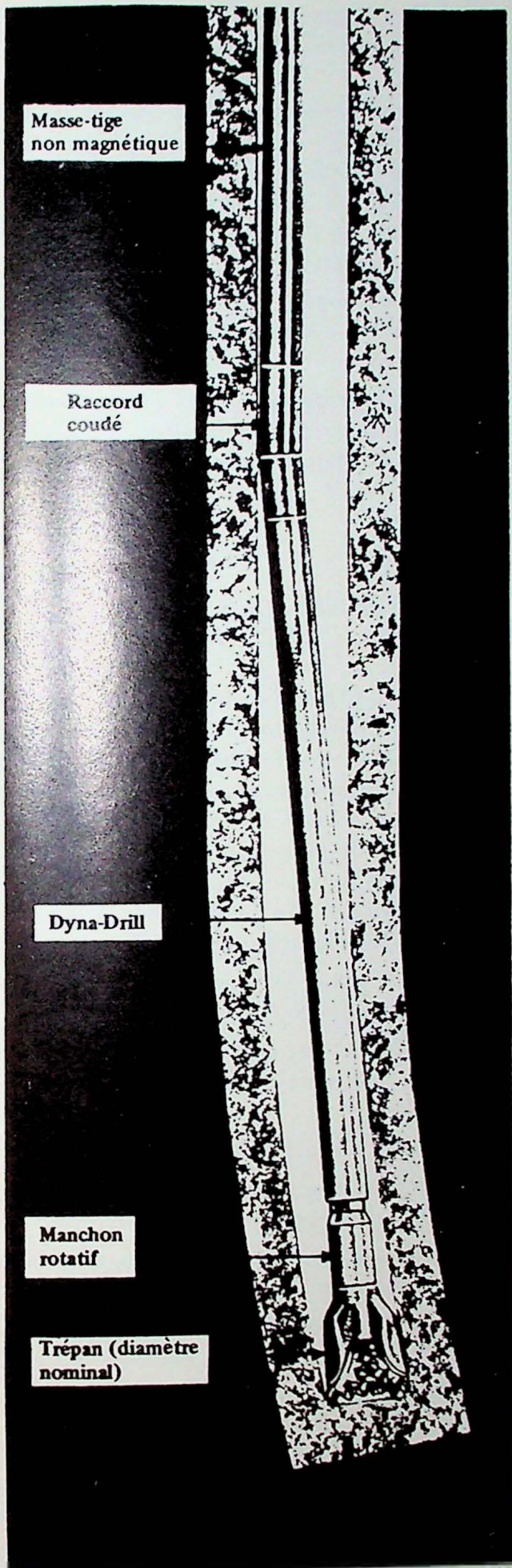


Fig. 7
Raccord coudé - Turbine
Kniekoppeling - Turbine

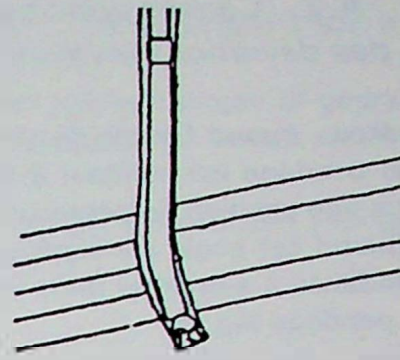


Fig. 8
Amont-pendage
Opgaande helling

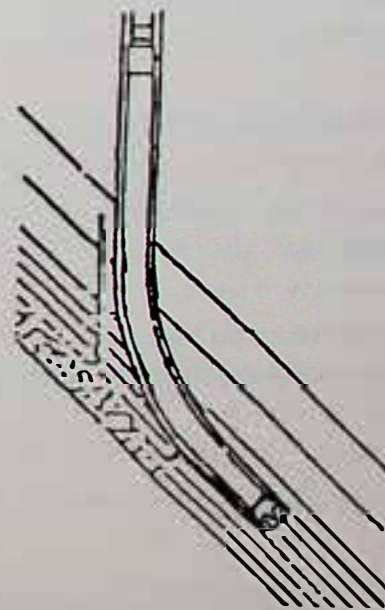


Fig. 9
Aval-pendage
Neergaande helling

4.2. Causes principales des déviations involontaires

Le pendage : quand l'angle de l'axe du puits par rapport au pendage est inférieur à 60-70°, le profil évolue vers une position perpendiculaire au pendage (fig. 8). Quand cet angle est supérieur à 60-70°, le puits a tendance à s'orienter dans une direction parallèle au pendage (fig. 9).

Les failles : elles sont à l'origine de déviations violentes souvent incontrôlables.

Les incidents divers : tels qu'outils bourrés ou très usés qui se comportent comme des forets émoussés lors du perçage d'une barre d'acier.

5. PARTICULARITES DES FORAGES DIRIGES

- Le « drift » ou alésage des puits déviés est généralement meilleur que la plupart des forages verticaux. Ceci est dû au fait que ces puits sont très contrôlés et toujours forés avec des stabilisateurs. L'expérience a fréquemment prouvé que la mise en place des tubages est plus facile dans les forages dirigés que dans les forages subverticaux. Ceci est vrai même pour des déviations extrêmes (forage horizontal).

- La présence d'un point bas facilite souvent les manœuvres de repêchage.

- Les chutes du train après rupture sont beaucoup moins dangereuses. La chute est d'autant plus ralentie que le puits est plus incliné.

- Les frottements sont généralement nettement plus élevés.

- La pression hydrostatique est fonction de la profondeur verticale et non pas de la profondeur forée.

- Le danger de « collage » par pression différentielle est d'autant plus fort que le puits est plus incliné.

- Les protecteurs de tiges sont indispensables pour prévenir une usure prématurée du casing et des tiges.

6. INSTRUMENTS DE MESURE

6.1. Les inclinomètres

Ces outils ne mesurent que l'inclinaison. Le plus courant est le Totco.

4.2. Voornaamste oorzaken van de onvrijwillige afwijkingen

De helling : wanneer de hoek van de as van de put kleiner is dan 60° - 70° t.o.v. de helling, evolueert het profiel naar een stand die loodrecht t.o.v. de helling is (fig. 8). Wanneer deze hoek groter is dan 60° - 70°, heeft de put de neiging om zich parallel t.o.v. de helling te oriënteren (fig. 9).

De verschuivingen : ze zijn de oorzaak van hevige afwijkingen die dikwijls niet meer kunnen gecontroleerd worden.

De diverse incidenten : zoals verstopte of zeer versleten werktuigen die zich gedragen als botte boren tijdens het doorboren van een stalen staaf.

5. BIJZONDERHEDEN VAN DE GERICHTE BORINGEN

- De « drift » of het ruimen van de afgeweken putten is over het algemeen beter dan de meeste verticale boringen. Dit is te wijten aan het feit dat deze putten zeer goed gecontroleerd worden en altijd geboord worden met stabilisatoren. De ervaring heeft dikwijls bewezen dat de plaatsing van de verbuizingen gemakkelijker is in de gerichte boringen dan in de subverticale boringen. Dit geldt eveneens voor de uiterste afwijkingen (horizontale boringen).

- De aanwezigheid van een laag punt vergemakkelijkt dikwijls de opvangmanoeuvres.

- Het vallen van het stel na breken is veel minder gevaarlijk. Hoe meer de put helt, hoe meer de val vertraagd wordt.

- De wrijvingen zijn over het algemeen heviger.

- De hydrostatische druk is afhankelijk van de verticale diepte en niet van de geboorde diepte.

- Het gevaar voor « het lijmen » door differentiële druk is groter naarmate de put helt.

- De beschermers voor stangen zijn onontbeerlijk om een voorbarig verslijten te voorkomen van de casing en de stangen.

6. MEETINSTRUMENTEN

6.1. De hellingmeters

Deze toestellen meten enkel de helling. De meest gebruikte is de Totco.

6.2. Les « Single Shot »

Principe : photo d'un pendule ou balourd gradué (inclinaison) superposé à la photo d'un compas (azimut).

Prévus pour des mesures ponctuelles, ces instruments donnent :

- l'inclinaison;
- l'azimut;
- l'orientation de l'outil de déflexion.

6.3. Les « Multiple Shot »

C'est en fait, un Single Shot muni d'une caméra qui permet de multiplier les photos.

Ils permettent d'établir un profil complet en une seule passe.

Les compas des Multishot et Single Shot étant sensibles à l'influence magnétique de l'acier, ces instruments ne peuvent être utilisés que dans du matériel tubulaire approprié, tel que maîtresses tiges en acier amagnétique.

6.4. Les Gyro compas

Ces instruments donnent les mêmes informations que les Single Shot et Multishot, mais ils sont libérés des influences magnétiques et peuvent être utilisés dans le matériel tubulaire standard. Cet avantage est considérable, mais leur utilisation est limitée car ils sont onéreux et délicats à mettre en œuvre.

6.5. Le système MWD

MWD (Measurement While Drilling).

Un ensemble intégré à la garniture de forage permet d'afficher les mesures en continu.

C'est un avantage considérable par rapport aux instruments classiques qui impliquent l'arrêt du forage pour descendre les appareils de mesure.

Deux types de MWD sont actuellement commercialisés :

- Les systèmes à transmission par câble tels que Azintac et Steering tool. La présence du câble interdit la rotation et limite leur utilisation au turboforage.
- Les systèmes à transmission par la boue (pulsion) tels que le Téléco qui a été récemment commercialisé. Ce dernier système libéré des contraintes dues au

6.2. De « Single shot »

Principe : foto van een slinger of gegradueerd valgewicht (helling) geplaatst boven de foto van een kompas (azimut).

Deze instrumenten zijn voorzien voor preciese metingen en geven :

- de helling
- het azimut
- de oriëntatie van het afwijkingstoestel.

6.3. De « Multiple Shot »

Dit is eigenlijk een Single Shot uitgerust met een camera waardoor de foto's kunnen vermenigvuldigd worden.

Zij maken het mogelijk een volledig profiel op te stellen in een enkele doorgang.

Daar de kompassen van de Multi Shot en Single Shot gevoelig zijn voor de magnetische invloed van het staal, kunnen deze instrumenten enkel gebruikt worden in aangepast buisvormig materieel, zoals hoofdstangen van niet-magnetisch staal.

6.4. De gyrokompassen

Deze instrumenten geven dezelfde informatie als de Single Shot en de Multi Shot, maar zij ondergaan geen magnetische invloed en kunnen gebruikt worden in buisvormig standaardmaterieel. Dit is een aanzienlijk voordeel maar hun gebruik wordt beperkt omdat ze duur zijn en zeer delicaat zijn bij de aanwending ervan.

6.5. Het MWD-systeem

MWD (Measurement While Drilling).

Een geïntegreerd geheel in de boorbekleding maakt het mogelijk de metingen voortdurend op te geven.

Dit biedt een aanzienlijk voordeel t.o.v. de klassieke instrumenten waarbij het boren moet onderbroken worden om de meettoestellen neer te laten.

Twee types van MWD zijn op dit ogenblik in de handel :

- De systemen met transmissie per kabel, zoals Azintac en Steering tool. De aanwezigheid van de kabel belemmert de rotatie en beperkt hun gebruik bij turboboringen.
- De systemen met transmissie door het slik (impuls) zoals de Téléco die onlangs in de handel werd gebracht. Dit laatste systeem, dat niet gehinderd

câble, peut être utilisé aussi bien en rotary qu'en turboforage.

7. FIABILITE DES MESURES

Plusieurs facteurs affectent la précision des mesures :

1°) *La précision des appareils*

Les fourchettes suivantes sont généralement admises :

- inclinaison : $\pm 1/4^\circ$
- azimut : $\pm 1^\circ$.

2°) *Les perturbations magnétiques*

Des perturbations sporadiques d'origine mal déterminée apparaissent souvent, mais elles sont généralement faibles et disparaissent au cours du forage.

La comparaison de très nombreuses mesures effectuées au Gyro compas et au Multiple Shot a mis en évidence une distorsion des mesures magnétiques qui correspond grossièrement aux lois suivantes :

- L'écart est d'autant plus fort que l'inclinaison est plus élevée et que la direction du puits est plus éloignée de l'axe nord-sud.
- La distorsion magnétique est nord dans l'hémisphère nord et semble s'inverser dans l'hémisphère sud.

wordt door de kabel, kan zowel bij rotary als bij turboboringen gebruikt worden.

7. BETROUWBAARHEID VAN DE METINGEN

Verschillende factoren beïnvloeden de nauwkeurigheid van de metingen.

1) *De nauwkeurigheid van de toestellen*

De volgende vorken worden over het algemeen aangenomen :

- Helling : $\pm 1/4^\circ$
- Azimut : $\pm 1^\circ$

2) *De magnetische storingen*

Sporadische storingen van soms onbekende oorsprong, komen dikwijls voor maar zijn over het algemeen gering en verdwijnen tijdens het boren.

Uit de vergelijking van talrijke metingen met het gyrokompas en met de Multiple Shot blijkt dat er een distorsie bestaat van de magnetische metingen. Deze distorsie stemt grosso modo overeen met de volgende wetten :

- Het verschil is groter naarmate de helling groter is en de richting van de put verder verwijderd is van de as noord-zuid.
- De magnetische distorsie neemt de noordelijke richting aan in het noordelijk halfrond en blijkt omgekeerd te zijn in het zuidelijk halfrond.

Les diagraphies différées (*)

A. LEFOLL (**)

RESUME

L'ouvrage qui permet d'effectuer des diagraphies différées dans les sondages n'a cessé de se perfectionner au cours de ce dernier demi-siècle.

L'instrumentation conçue et mise en œuvre donne actuellement aux prospecteurs de nouveaux champs d'hydrocarbures, la possibilité d'acquérir un ensemble de données fondamentales pour définir les paramètres géophysiques des structures traversées par les sondages de reconnaissance.

Dans cette note, l'auteur définit le but et le principe des principales diagraphies généralement demandées par le maître d'œuvre d'un sondage profond. Il passe en revue les outils nécessaires à l'établissement des diagraphies électriques, nucléaires, soniques, ainsi qu'à la pendagemétrie et le matériel utilisé pour échantillonner les roches et les fluides.

En possession des résultats des mesures fournies par ces appareils, il est possible d'évaluer les paramètres des réservoirs contenant des hydrocarbures.

Pour terminer, l'auteur donne quelques détails sur le camion laboratoire, le câble de transmission des informations et le système d'analyse des données reçues.

(*) Textes extraits partiellement d'un ouvrage de J.E. GARTNER - Schlumberger et adaptés en fonction des notes reçues.

(**) Operational Director - S.A. Schlumberger Nederland.

De uitgestelde diagrafieën (*)

SAMENVATTING

De uitrustingen waardoor uitgestelde diagrafieën kunnen verwezenlijkt worden in de boringen, werden voortdurend verbeterd in de loop van de laatste halve eeuw.

De ontworpen en in praktijk gebrachte instrumenten geven thans aan de prospectoren van nieuwe koolwaterstofvelden de mogelijkheid een geheel van fundamentele gegevens te verkrijgen om de geofysische parameters te bepalen van de structuren die door de verkenningsboringen werden doorboord.

In deze nota definieert de auteur de doelstelling en het principe der voornaamste diagrafieën die over het algemeen gevraagd worden door de opdrachtgever van een diepe boring. Hij overloopt de werktuigen nodig voor het opstellen van elektrische, nucleaire en geluidsdiagrafieën evenals voor de hellingmeting, en het materiaal dat gebruikt wordt om gesteenten en vloeistoffen te bemonsteren.

Door het beschikken over de meetresultaten bezorgd door deze apparaten, is het mogelijk de parameters van de koolwaterstofhoudende reservoirs te evalueren.

Tenslotte geeft de auteur enkele bijzonderheden over de laboratoriumvrachtwagen, de transmissiekabel der informatie en het analysesysteem van de verkregen gegevens.

(*) Teksten gedeeltelijk uit een werk van J.E. Gartner, Schlumberger, aangepast in functie van de ontvangen nota's.

(**) Operational Director, N.V. Schlumberger Nederland.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Ausrüstung für die Durchführung von Diagraphien mit Aufzeichnung in den Bohrungen ist während des letzten halben Jahrhunderts ständig verbessert worden.

Die entwickelte und eingesetzte Fangausrüstung bietet gegenwärtig bei der Suche nach neuen Kohlenwasserstoff-Feldern die Möglichkeit, eine Gesamtheit von grundlegenden Daten zu gewinnen, um die geologischen Parameter der von den Erkundungsbohrungen durchfahrenen Strukturen zu bestimmen.

In diesem Beitrag erläutert der Autor das Ziel und das Prinzip der hauptsächlichsten Diagraphien, die im allgemeinen von dem Bauherrn einer tiefen Bohrung gewünscht werden. Er gibt einen Überblick über die Ausrüstungen, die für die Durchführung der elektrischen, nuklearen und akustischen Diagraphien, sowie für die Einfallmessung erforderlich sind, und über das Material, das für die Probenentnahme bei dem Gestein und den Fluida verwendet wird.

Mit Hilfe der von diesen Apparaten gelieferten Meßergebnisse ist es möglich, die Parameter der Reservoirs zu bestimmen, die Kohlenwasserstoffe enthalten.

Abschließend teilt der Autor einige Einzelheiten mit über das fahrbare Laboratorium, das Kabel für die Übertragung der Informationen, und das System zur Analyse der erhaltenen Daten.

SUMMARY

The equipment which makes it possible to produce drill logs has undergone continuous improvement over the last half century.

The instruments currently designed and used for the purpose provide prospecting teams working in new oilfields with a collection of basic data enabling them to define the geophysical characteristics of the structures traversed by the exploratory boreholes.

In this article the author describes the purpose and basic principle of the main types of drill log required by a firm commissioning a deep borehole. He lists the apparatus required for preparing electrical, radioactive and sonic logs, for dipmeter charts, and for sampling the rock strata and fluids encountered.

With these measurement data available, the operator can estimate the various features of the oil reservoirs located.

Finally, the author gives a few details concerning the recording truck, the telemetry cable and the data analysis equipment.

L'activité de la Société Schlumberger est concentrée autour des techniques visant à :

- acquérir
- transmettre
- calculer
- analyser
- interpréter

des données permettant de définir les *paramètres géophysiques* des couches de terrain rencontrées par les forages.

0. INTRODUCTION

Parmi les caractéristiques physiques mesurées au cours d'enregistrements des diagraphies différées, on peut distinguer celles qui dérivent de phénomènes naturels :

- La polarisation spontanée, qui permet d'obtenir la salinité de l'eau contenue dans les roches poreuses.

De activiteit van de Maatschappij Schlumberger is geconcentreerd rond technieken voor het

- verkrijgen
- overmaken
- berekenen
- analyseren
- interpreteren

van gegevens waardoor de *geofysische parameters* kunnen bepaald worden van de terreinlagen ontmoet door de boringen.

0. INLEIDING

In de fysische kenmerken gemeten tijdens opmetingen van de uitgestelde diagrafieën, kunnen deze onderscheiden worden die afgeleid zijn van natuurlijke kenmerken :

- de spontane polarisering, waardoor het zoutgehalte kan verkregen worden van het water in de poreuze gesteenten;

- Le rayonnement gamma naturel, principalement lié à la présence d'argile.

Et celles, plus nombreuses, obtenues de manière provoquée :

- Les mesures de résistivité (celle des hydrocarbures étant infinie), le carottage électrique, périmé, a été remplacé par le latéolog et l'inductolog, mesures focalisées à meilleure définition verticale.
- Les microdispositifs de résistivité (microlog, micro-latéolog...) dont la profondeur d'investigation est limitée essentiellement à la zone envahie par la boue.
- Les mesures de détermination indirecte de la porosité, soit par les variations de la vitesse de propagation d'une onde acoustique, soit par la réponse à un bombardement par neutrons, soit par la mesure de la densité à l'aide d'un bombardement par rayons gamma.

La combinaison appropriée de plusieurs de ces mesures, en général :

- polarisation spontanée,
- deux mesures de résistivité,
- deux ou trois mesures de porosité,
- une mesure de microrésistivité,

permet habituellement :

- de reconnaître l'effet des phénomènes perturbateurs : présence et nature de la boue de forage, profondeur de la zone envahie, argilosité des roches poreuses,
- de détecter la présence et la nature des hydrocarbures,
- et d'en tenir compte pour déterminer la lithologie et calculer les données économiques essentielles : épaisseur des zones perméables, saturation en eau et en hydrocarbures et porosité.

Les efforts actuels sont orientés vers :

- une plus grande précision des mesures, par la juxtaposition et l'enregistrement simultané de plusieurs dispositifs ayant des profondeurs d'investigation différentes;
- une économie de temps, et une meilleure correspondance entre les mesures de nature différente, par la combinaison d'outils — superposés ou entrelacés — donnant des informations complémentaires;
- l'acquisition d'un plus grand nombre de données brutes grâce à l'utilisation généralisée d'enregistreurs à ruban magnétique;
- la mise en œuvre de formules d'interprétation plus compliquées et plus précises, par l'emploi systématique d'ordinateurs.

L'application des diagraphies différées à l'hydrogéologie ou à la recherche d'autres minéraux est fa-

- de naturelle gamma-straling, voornamelijk verbonden aan de aanwezigheid van klei.

En degene, groter in aantal, die verkregen worden door provocatie :

- de metingen van de soortelijke weerstand (deze van koolwaterstoffen is oneindig), het elektrisch loggen, verouderd, werd vervangen door de laterolog en de inductolog, gefocaliseerde metingen met betere verticale definitie;
- de micromechanismen van soortelijke weerstand (microlog, microlaterolog,...) waarvan de onderzoeksdiepte essentieel beperkt is tot de zone waar slib is doorgedrongen;
- de indirecte determineringsmetingen van de porositeit, ofwel door de variaties van de voortplantingssnelheid van een geluidsgolf, ofwel door het antwoord op een neutronenbombardement, of nog door de dichtheidsmeting m.b.v. een bombardement van gammastralen.

De gepaste combinatie van verschillende van deze metingen, over het algemeen :

- spontane polarisatie,
- twee metingen van soortelijke weerstand,
- twee of drie porositeitsmetingen,
- een micro-soortelijke weerstandsmeting,

laat gewoonlijk toe :

- de weerslag te herkennen van de storende verschijnselen : aanwezigheid en aard van boorslib, diepte van de binnengedrongen zone, kleiachtigheid van de poreuse gesteenten,
- de aanwezigheid en de aard van de koolwaterstoffen op te sporen,
- en er rekening mee te houden voor de steenkundige bepaling en de essentiële economische gegevens te berekenen : dikte der doordringbare zones, verzadiging in water en koolwaterstoffen en porositeit.

De huidige inspanningen zijn gericht op :

- een grotere precisie van de metingen, door het naast elkaar plaatsen en het simultaan optekenen van verschillende mechanismen met verschillende onderzoeksdieptes;
- een tijdsbesparing en een betere overeenkomst tussen de metingen van verschillende aard, door de combinatie van werktuigen — opeengestapeld of ineengestengeld — die aanvullende informatie geven;
- de verwerving van een groter aantal brute gegevens dank zij het veralgemeend gebruik van opnemers met magneetband;
- de toepassing van ingewikkelder en precieser interpretatieformules, door het systematisch gebruik van computers.

De toepassing van de uitgestelde diagrafieën op de hydrogeologie of op het zoeken naar andere minera-

cilitée par l'absence d'hydrocarbures, mais compliquée en général par les particularités des formations traversées par les sondages peu profonds.

Les principes et formules sur lesquels sont basées la dissémination des formations de nature différente et l'évaluation de la porosité et de la teneur en fluides font l'objet de nombreux ouvrages et articles, parmi lesquels nous nous contenterons de citer les publications Schlumberger suivantes (en anglais) : Essentials of Log Interpretation Practice, Log Interpretation Charts, Log Interpretation Principles, Vol. I et Vol. II.

1. PRINCIPAUX SYMBOLES UTILISES DANS L'INTERPRETATION DES LOGS (fig. 1)

- La résistivité d'une zone est indiquée dans un carré.
- La résistivité de l'eau de la zone est indiquée dans un cercle.
- La saturation en eau d'une zone est indiquée par un triangle.
- Le symbole de la porosité d'une zone est indiqué par un cercle barré.

2. DIAGRAPHIES ELECTRIQUES

Une diagraphie électrique est un enregistrement continu de certaines propriétés électriques des formations traversées par le trou. Ces propriétés sont mesurées à l'aide de différents jeux d'électrodes qui sont descendus dans le trou par un câble muni de conducteurs.

A de très rares exceptions près, les roches sédimentaires sèches sont non conductrices. Les marnes sont souvent considérées comme conductrices mais ce caractère est dû à leur contenu important en eau interstitielle.

L'huile et le gaz ont des résistivités extrêmement élevées. La résistivité de l'eau dépend de sa salinité et de sa température.

La connaissance de la résistivité de la boue contenue dans le sondage est essentielle pour l'interprétation des diagraphies électriques, aussi est-elle mesurée lors de chaque enregistrement d'une diagraphie électrique.

La résistivité de la boue est supérieure à celle du filtrat par suite de la présence des particules non conductrices d'argile. La résistivité du filtrat est à peu près égale aux 3/4 de celle de la boue et celle du mud-cake à 1 1/2 fois celle-ci.

len, wordt vergemakkelijkt door de afwezigheid van koolwaterstoffen, maar over het algemeen bemoeilijkt door de eigenaardigheden van de formaties die doorboord worden door de ondiepe boringen.

De principes en formules die de basis vormen voor de uitzaaiing van de formaties van verschillende aard en van de evaluatie der porositeit en het gehalte aan vloeistoffen, zijn het onderwerp van talrijke werken en artikels, waarvan wij slechts de volgende Schlumbergerpublicaties citeren (in het Engels) : Essentials of Log Interpretation Practice, Log Interpretation Charts, Log Interpretation Principles, Vol. I en Vol. II.

1. VOORNAAMSTE SYMBOLEN AANGEWEND IN DE INTERPRETATIE VAN DE LOGS (fig. 1)

- De soortelijke weerstand van een zone wordt aangeduid in een vierkant;
- de soortelijke weerstand van het water van een zone wordt aangeduid in een cirkel;
- de verzadiging aan water van een zone wordt aangeduid door een driehoek;
- het symbool voor de porositeit van een zone wordt aangeduid door een doorstreepte cirkel.

2. ELEKTRISCHE DIAGRAFIEEN

Een elektrische diagrafie is een doorlopende optekening van bepaalde elektrische eigenschappen van de door het gat doorboorde formaties. Deze eigenschappen worden gemeten m.b.v. verschillende elektroden-gehelen die in het gat worden neergelaten door een van geleiders voorziene kabel.

Op enkele zeldzame uitzonderingen na zijn de droge afzettingsgesteenten niet geleidend. Mergels worden vaak beschouwd als geleiders, maar dit kenmerk is te wijten aan hun hoog gehalte aan poriewater.

Olie en gas hebben een uiterst hoge soortelijke weerstand. De soortelijke weerstand van het water hangt af van zijn zoutgehalte en van zijn temperatuur.

De kennis van de soortelijke weerstand van het slib in de boring is essentieel voor de interpretatie van de elektrische diagrafieën; hij wordt dan ook gemeten bij elke optekening van een elektrische diagrafie.

De soortelijke weerstand van het slib ligt hoger dan die van de filterrest, ingevolge de aanwezigheid van niet-geleidende kleideeltjes. De soortelijke weerstand van de filterrest is ongeveer gelijk aan de 3/4 van die van het slib, en die van de mudcake aan 1,5 keer deze waarde.

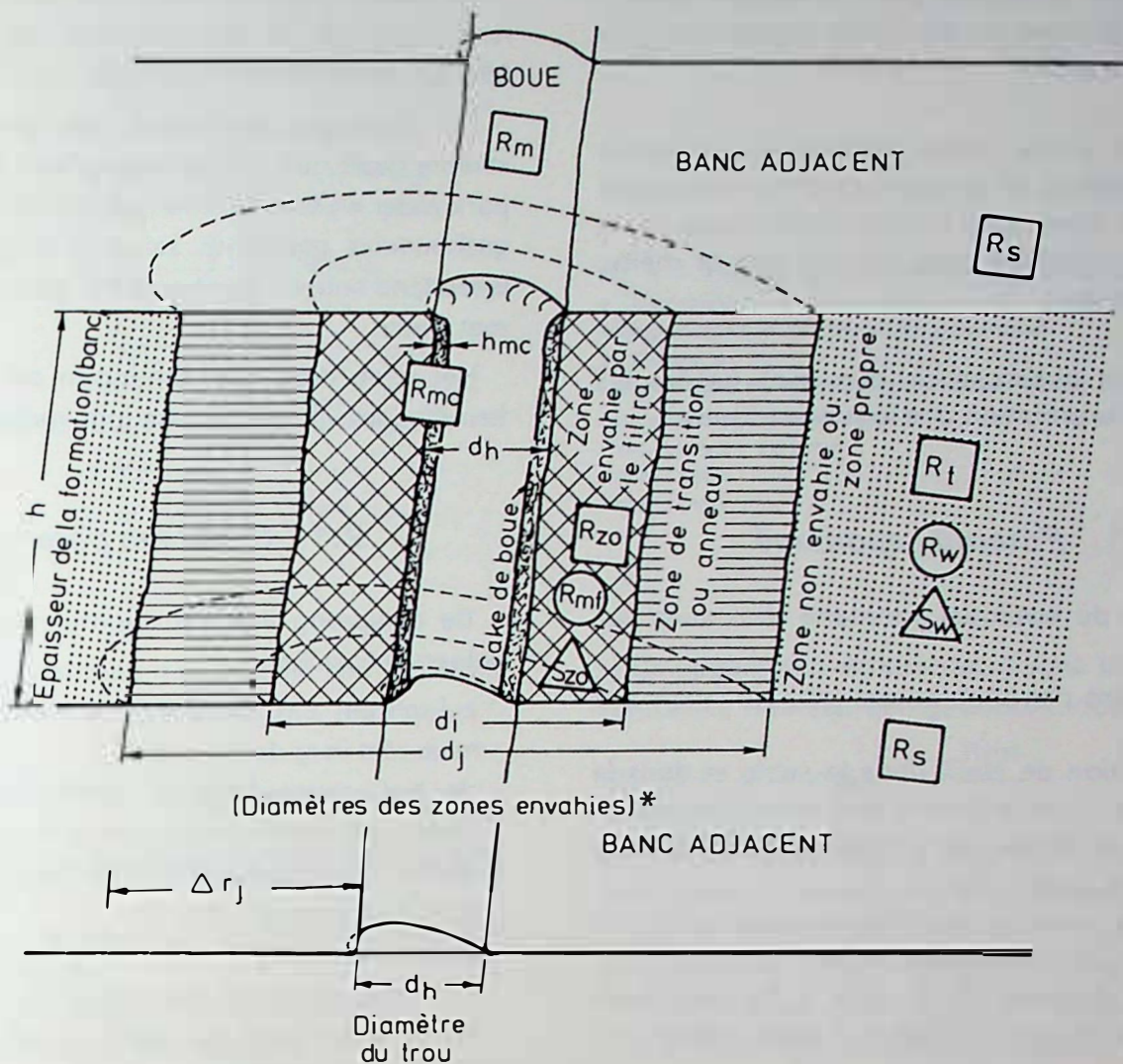


Fig. 1 — Symboles utilisés dans l'interprétation des logs

Symbolen gebruikt in de interpretatie van de logs

d_h = diamètre du trou
 h_{mc} = épaisseur du cake de boue
 d_i = diamètre de la zone envahie
 d_j = diamètre de la zone de transition
 h = hauteur de la formation
 R_m = résistivité de la boue
 R_{mc} = résistivité du cake de boue
 R_{zo} = résistivité de la zone envahie
 R_{mf} = résistivité du filtrat de la boue
 R_t = résistivité de la formation
 R_w = résistivité de l'eau de formation
 R_s = résistivité des bancs encadrant la formation
 R_o = résistivité de la formation saturée à 100 % d'eau de formation
 S_{zo} = saturation en filtrat de la zone envahie
 S_w = saturation en eau de la formation

d_h = diameter van het gat
 h_{mc} = dikte van de slibkoek
 d_i = diameter van de binnengedrongen zone
 d_j = diameter van de binnengedrongen overgangszone
 h = hoogte van de formatie
 R_m = soortelijke weerstand van het slib
 R_{mc} = soortelijke weerstand van de slibkoek
 R_{zo} = soortelijke weerstand van de binnengedrongen zone
 R_{mf} = soortelijke weerstand van de slibfiltrat
 R_t = soortelijke weerstand van de formatie
 R_w = soortelijke weerstand van het formatiewater
 R_s = soortelijke weerstand van de banken rond de formatie
 R_o = soortelijke weerstand van de 100 % met formatiewater verzadigde formatie
 S_{zo} = verzadiging aan filtraat van de binnengedrongen zone
 S_w = verzadiging aan formatiewater

Woordenschat

boue : slib
 cake de boue : slibkoek
 banc adjacent : aanliggende bank
 épaisseur de la formation (du banc) : dikte van de formatie (van de bank)

zone envahie par le filtrat : gespoelde zone
 zone de transition ou anneau : overgangszone, spoelzone
 zone non envahie ou zone propre : zuivere zone
 diamètres des zones envahies : diameters van de gespoelde zones
 diamètre du trou : diameter van het gat

La conductivité présentée par une roche sédimentaire est due à la présence de fluides interstitiels à de rares exceptions près.

La résistivité d'une roche sédimentaire diminue avec l'augmentation de la quantité d'eau interstitielle et de sa salinité. Une roche contenant de l'huile ou du gaz aura une résistivité plus grande que la même roche saturée d'eau.

C'est sur ces observations que sont basées les méthodes d'interprétation des logs électriques.

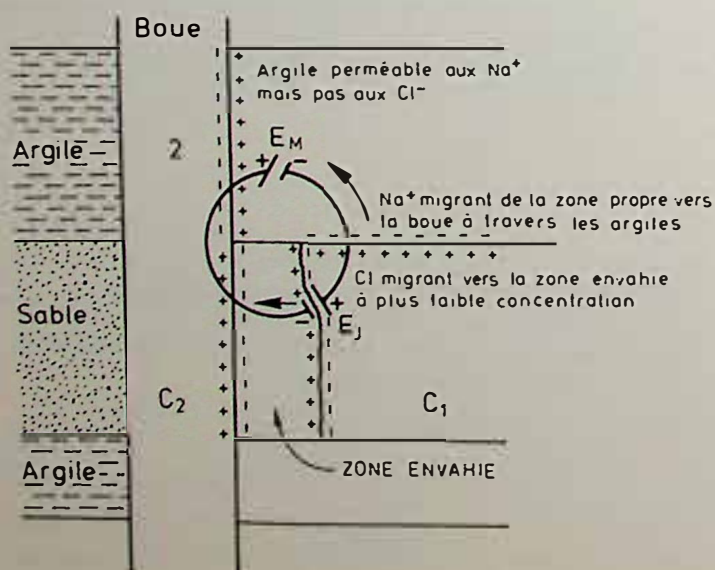
2.1. Potentiel spontané

Les origines du potentiel spontané sont dues aux faits suivants :

- les argiles sont perméables aux ions Na^+ mais pas aux ions Cl^- ;
- la concentration de NaCl dans le sable et dans la zone envahie est plus grande que dans la boue;
- les ions Na^+ se déplacent à travers les argiles de la zone 1 vers la zone 2 (fig. 2);
- dans la zone envahie, la mobilité des ions Cl^- est plus grande que celles des ions Na^+ ;
- les ions Cl^- migrent de la zone 1 (formation sableuse) vers la zone envahie à plus faible concentration.

Pour mesurer le potentiel spontané, on descend une électrode dans le trou. On enregistre les différences de potentiel qui naissent naturellement entre une électrode fixe de surface mise à la terre et l'électrode mobile qui se déplace dans le sondage non tubé (fig. 3). On mesure un effet de pile.

Dans la figure 2, C_1 figure la concentration de NaCl dans la zone envahie, C_2 figure la concentration de NaCl dans la boue.



De geleiding geboden door een afzettingsgesteente is te wijten aan de aanwezigheid van porievloeistoffen, op zeldzame uitzonderingen na.

De soortelijke weerstand van een afzettingsgesteente daalt met de verhoging van de hoeveelheid poriewater en met het zoutgehalte ervan. Een olie- of gashoudend gesteente zal een hogere soortelijke weerstand hebben dan hetzelfde gesteente verzadigd met water.

Het is op deze waarnemingen dat de interpretatiemethodes van elektrische logs gebaseerd zijn.

2.1. Spontaan potentiaal

De oorsprong van het spontaan potentiaal heeft volgende oorzaken :

- kleisoorten zijn doordringbaar voor de Na^+ -ionen maar niet voor de Cl^- -ionen;
- de NaCl-concentratie in het zand en in de ingedrongen zone is hoger dan in het slib;
- de Na^+ -ionen verplaatsen zich doorheen de klei van zone 1 naar zone 2 (fig. 2);
- in de ingedrongen zone is de mobiliteit van de Cl^- -ionen groter dan die van de Na^+ -ionen;
- de Cl^- -ionen gaan van zone 1 (zandachtige formatie) naar de ingedrongen zone met zwakkere concentratie.

Om het spontane potentiaal te meten, wordt een elektrode neergelaten in het gat. Men tekent de potentiaalverschillen op die natuurlijk ontstaan tussen een vaste gearde oppervlakte-elektrode en de mobiele elektrode die zich in de niet-beklede boring verplaatst (fig. 3). Men meet een *batterij-effect*.

In figuur 2 geeft C_1 de NaCl-concentratie weer in de binnengedrongen zone, en C_2 de NaCl-concentratie in het slib.

Fig. 2 — Origines du potentiel spontané

Oorsprong van het spontaan potentiaal

Boue : slib

Argile : klei

Sable : zand

Argile perméable aux Na^+ mais pas aux Cl^- : Klei doordringbaar voor Na^+ maar niet voor Cl^-

Na^+ migrant de la zone propre vers la boue à travers les argiles : Na^+ die zich verplaatsen van de zuivere zone naar het slib via de klei

Cl^- migrant vers la zone envahie à plus faible concentration : Cl^- die zich verplaatst naar de gespoelde zone met lagere concentratie

Zone envahie : gespoelde zone

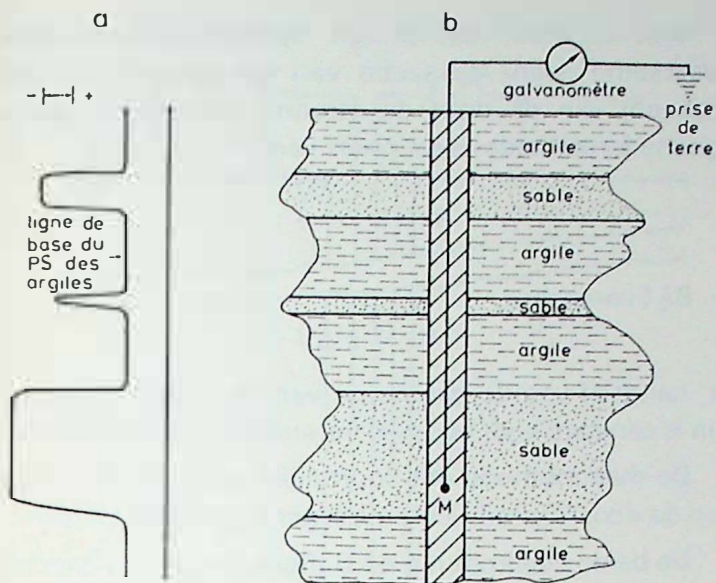


Fig. 3 — Principe de la mesure du potentiel spontané
 a : Diagraphie
 b : Principe de la mesure
Meetprincipe van het spontaan potentiaal
 b : Diagrafie
 b : *Meetprincipe*
Ligne de base du PS des argiles : basislijn van de PS van de klei
Galvanomètre : galvanometer
Prise de terre : aarding
Argile : klei
Sable : zand

La force électromotrice mesurée est liée aux résistivités par la formule

$$\text{SSP ou } E_c = -K \log \frac{R_{mf}}{R_w}$$

où R_{mf} représente la résistivité du filtrat dans la zone envahie par la boue

R_w représente la résistivité de l'eau de formation dans la zone vierge

K est un facteur, fonction de la température

SSP = potentiel spontané statique.

Le potentiel spontané lu sur un log est fortement influencé par l'épaisseur de la formation et il n'atteindra la valeur maximale ou statique que si la formation est épaisse.

L'examen du potentiel spontané permet de :

- délimiter les formations perméables propres de celles qui sont marneuses et/ou imperméables,
- déterminer l'épaisseur des bancs,
- calculer, par application de la formule ci-dessus, la résistivité de l'eau de formation en l'absence de mesures physiques,
- corrélérer les couches pour l'établissement des cartes de subsurface.

2.2. Résistivité

But : Déterminer la résistivité du milieu géologique environnant.

Principe : Créer une différence de potentiel V et mesurer la résistance R_T du milieu, à laisser passer le courant d'intensité I .

Ce principe n'est applicable que dans le cas de boues de forage conductives (boues salées).

De opgemeten elektromotorische kracht is aan de soortelijke weerstanden gebonden door de formule

$$\text{SSP of } E_c = -K \log \frac{R_{mf}}{R_w}$$

waar R_{mf} de soortelijke weerstand voorstelt van de filter rest in de door het slib binnengedrongen zone

R_w de soortelijke weerstand voorstelt van het formatiewater in de onaangetaste zone;

K een factor is, functie van de temperatuur en

SSP = statisch spontaan potentiaal.

Het spontaan potentiaal gelezen op een log is sterk beïnvloed door de dikte van de formatie en het zal zijn maximum of statische waarde slechts bereiken als de formatie dik is.

Door het onderzoek van het spontaan potentiaal kan men :

- de eigenlijke doordringbare formaties afgrenzen van degene die mergelhoudend en/of ondoordringbaar zijn;
- de dikte van de banken bepalen;
- de soortelijke weerstand berekenen van het formatiewater, zonder fysische opmetingen, door toepassing van de bovenstaande formule;
- de lagen in onderlinge betrekking stellen voor de opstelling van de onder-oppervlaktekaarten.

2.2. Soortelijke weerstand

Doelstelling : De soortelijke weerstand bepalen van het omgevende geologische milieu.

Principe : Een potentiaal-verschil V scheppen en de weerstand R_T van het milieu meten, om de stroom met intensiteit I te laten doorgaan.

Dit principe is slechts van toepassing in het geval van geleidend boorslib (zouthoudende slibsoorten).

On démontre que la résistivité dite apparente (car la section du conducteur n'est pas connue) de la formation géologique traversée par le courant est de la forme :

$$R = k \frac{\Delta V}{I}$$

En maintenant I constant :

$$R_T = k' \Delta V$$

k' dépend de la géométrie du dispositif de mesure, et est constant pour un dispositif invariable.

La méthode de mesure des résistivités repose sur le quadripôle imaginé par Conrad Schlumberger.

Les deux électrodes A et B servent à l'envoi d'un courant d'intensité I et les deux électrodes M et N mesurent une différence de potentiel ΔV (fig. 4).

Cette astuce permet de ne pas tenir compte des résistances de contact, très variables, des électrodes d'envoi de courant et de la chute de potentiel qui en résulte.

La profondeur d'investigation de l'appareillage est fonction de la distance entre électrodes de mesure et d'enregistrement. La distance entre électrodes pour la petite normale est de 40 cm (16'') et pour la grande normale 1,60 m (64'').

On peut aussi utiliser une sonde où les 2 électrodes de courant A et B sont descendues dans le trou mais, dans ce cas, B doit être suffisamment distant pour que son influence soit négligeable par rapport à celle de A (fig. 5).

Microlog

La localisation d'une zone poreuse et perméable peu épaisse, située dans un banc épais d'une formation très résistante comme un calcaire, est parfois impossible avec l'appareillage normal décrit ci-dessus.

Le microlog est un dispositif comprenant 1 électrode d'envoi de courant et 2 électrodes de mesure, distantes respectivement de 1'' et de 2'' de l'électrode d'envoi de courant.

Ces électrodes sont noyées dans un patin qui est appliqué par un système de ressort contre la paroi du trou, ce qui élimine l'influence de la boue du trou (fig. 6).

2.3. Induction

But : Le but de cette diagraphie est de déterminer la conductivité du milieu géologique environnant dans la zone propre. L'induction ne requiert pas, comme les logs décrits précédemment, la présence dans le trou d'un fluide conducteur. Le log d'induction peut donc être enregistré dans des trous forés avec de la boue à l'huile, ou à l'air.

Men toont aan dat de zgn. schijnbare soortelijke weerstand (want de sectie van de geleider is niet bekend) van de door de stroom doorlopen geologische formatie de vorm heeft van :

$$R = k \frac{\Delta V}{I}$$

Bij I constant :

$$R_T = k' \Delta V$$

k' hangt af van de geometrie van de meetinrichting, en is constant voor een niet veranderlijk mechanisme.

De meetmethode der soortelijke weerstanden rust op de door Conrad Schlumberger bedachte vierpool.

De beide elektroden A en B dienen voor het zenden van een stroom met intensiteit I en de beide elektroden M en N meten een potentiaalverschil ΔV (fig. 4).

Door deze kneep moet men geen rekening houden met de zeer variabele contactweerstand van de stroomzende elektroden en met de uit volgende potentiaal-daling.

De onderzoeksdiepte van de uitrusting is afhankelijk van de afstand tussen de meet- en opteken-elektrodes. De afstand tussen elektroden voor de kleine normale bedraagt 40 cm (16'') en voor de grote 1,60m (64'').

Men kan ook een sonde gebruiken waar beide stroomelektroden A en B in het gat worden neergelaten, maar in dit geval moet B voldoende verwijderd zijn opdat haar invloed te verwaarlozen zou zijn tgo. die van A (fig. 5).

Microlog

De lokalisering van een weinig brede poreuze en doordringbare zone, gesitueerd in een brede bank van een zeer sterke formatie zoals kalksteen, is soms onmogelijk met de hoger beschreven normale uitrusting.

De microlog is een mechanisme met 1 stroomzendingselektrode en 2 meetelektrodes, respectievelijk op 1'' en 2'' van de stroomzendingselektrode.

Deze elektrodes zijn verzonken in een schoen die d.m.v. een veersysteem tegen de wand van de put wordt aangebracht, wat de invloed van het slib van de put uitsluit (fig. 6).

2.3. Inductie

Doelstelling : Het doel van deze diagrafie is de bepaling van de geleidendheid van het geologisch milieu rond de eigenlijke zone. De inductie, in tegenstelling tot de voorheen beschreven logs, vereist niet de aanwezigheid van een geleidende vloeistof in het gat. De inductielog kan dus opgetekend worden in gaten die geboord zijn met olieslib of lucht.

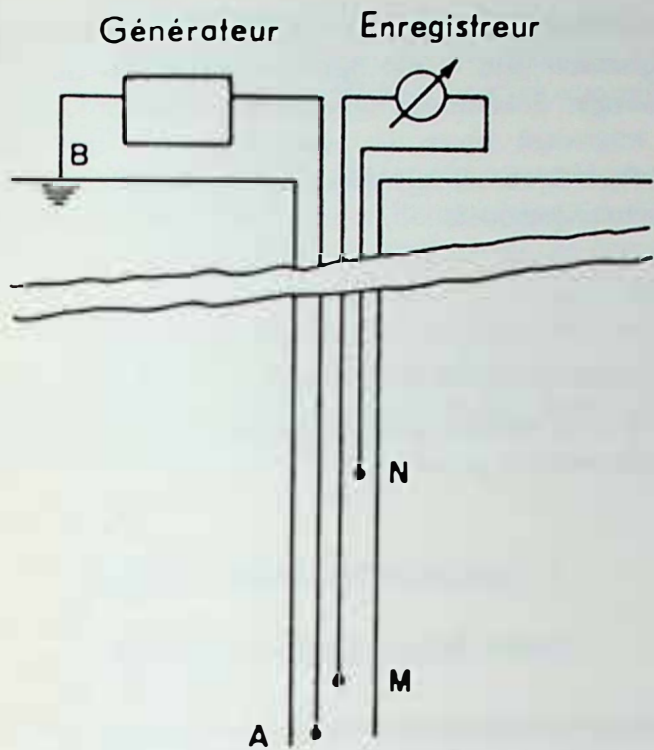


Fig. 4 — Méthode de mesure de la résistivité à l'aide du quadripôle
 Conrad Schlumberger
 Meetmethode van de soortelijke weerstand m.b.v. een Conrad
 Schlumberger vierpool
 Générateur : generator
 Enregistreur : registrator

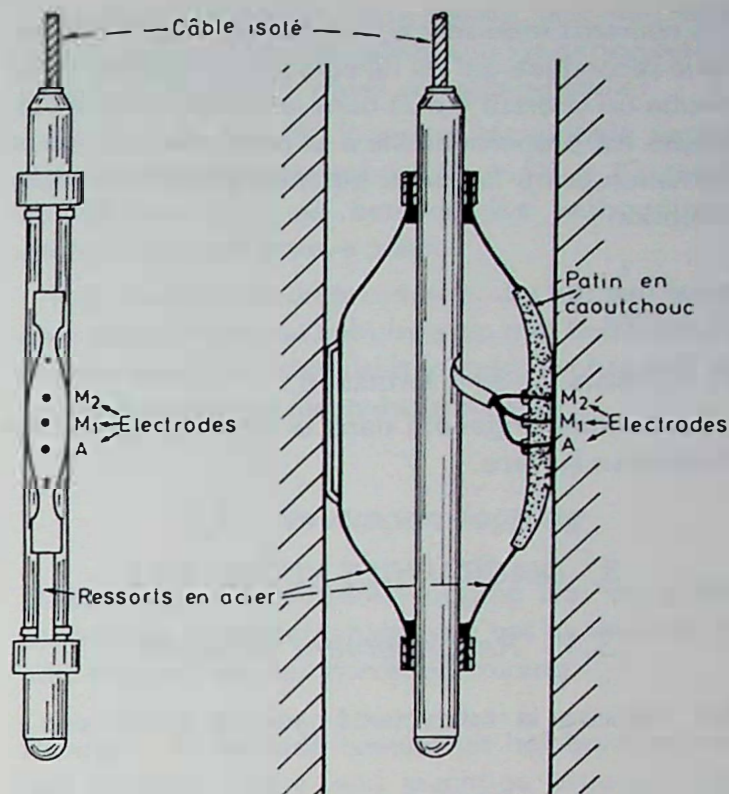


Fig. 6 — Sonde microlog (Conrad Schlumberger Well Surveying Corporation)
 Microlog-sonde (Conrad Schlumberger Well Surveying Corporation)
 Câble isolé : geïsoleerde kabel
 Patin en caoutchouc : rubberen voet
 Electrodes : elektroden
 Ressorts en acier : stalen veren

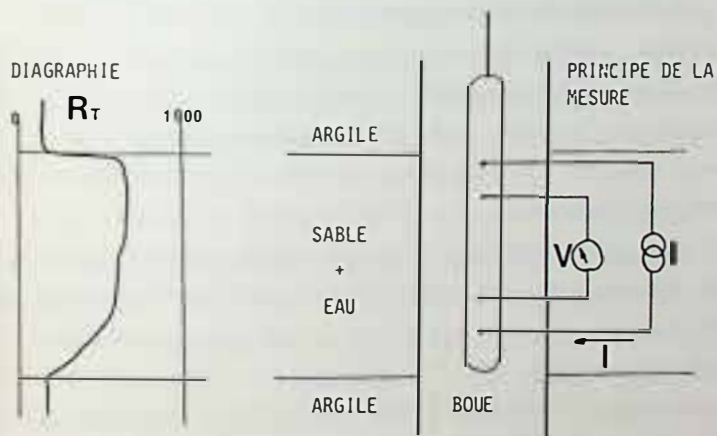


Fig. 5 — Mesure de la résistivité avec les 4 électrodes dans le trou
 Meting van de soortelijke weerstand met de 4 elektroden in het gat
 Diagraphie : diagrafie
 Argile : klei
 Sable + eau : zand + water
 Boue : slib

Principe : Un émetteur placé dans la sonde et parcouru par un courant alternatif, induit dans la formation un champ magnétique. Ce champ magnétique crée des courants de Foucault dans la formation dont l'intensité est fonction de la conductivité du milieu dans lequel ils circulent (fig. 7).

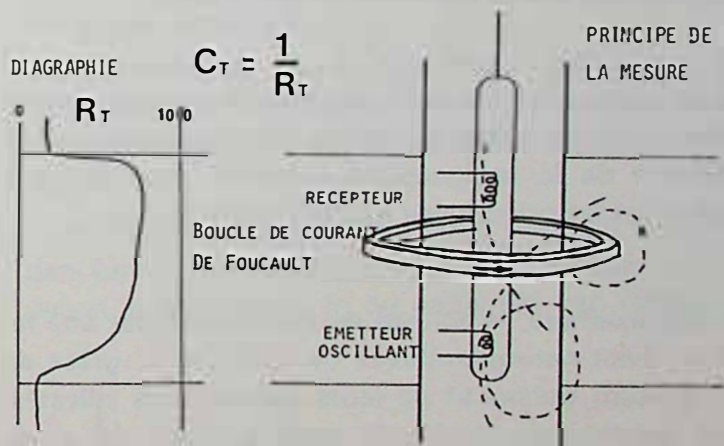


Fig. 7 — Appareil pour la mesure de l'induction
 Inductie-meetapparaat
 Diagraphie : diagrafie
 Principe de la mesure : meetprincipe
 Récepteur : ontvanger
 Boucle de courant de Foucault : stroomlus van Foucault
 Emetteur oscillant : oscillerende zender

Principe : Een zender, in de sonde geplaatst en doorstroomd door een wisselstroom, brengt in de formatie een magnetisch veld. Dit magnetisch veld schiept Foucault-stromen in de formatie; hun intensiteit hangt af van de soortelijke geleidendheid van het milieu waarin ze omgaan.

Ces courants induisent à leur tour un champ magnétique secondaire qui est détecté par le récepteur. Il en résulte un courant induit dans le récepteur dont l'intensité est proportionnelle à la conductivité C_T de la formation entre les deux bobines d'induction et de réception

$$C_T = \frac{1}{R_T}$$

R_T = résistance de la formation.

Le courant engendré dans la seconde bobine est mesuré en surface.

3. DIAGRAPHIES NUCLEAIRES

3.1. Rayonnement γ naturel

But : Mesurer la radioactivité naturelle des terrains.

Principe : Le procédé de carottage à rayons gamma est basé sur la différence entre le niveau de radioactivité naturelle des différents types de roches. Celui-ci est déterminé par la quantité d'éléments instables contenus dans la roche. Ceux-ci appartiennent à des éléments apparentés à l'uranium, au thorium et au potassium. Occasionnellement, la radioactivité peut être causée par la présence de terres rares.

Le contenu en éléments radioactifs varie largement d'un type de roche à l'autre, de telle sorte que la mesure de la radioactivité naturelle peut servir à identifier les principales roches sédimentaires.

Par exemple, le schiste est caractérisé par une radioactivité naturelle élevée de 100 Cts/s, grâce au potassium radioactif de leurs constituants silicatés, les psammites 60-70, le grès environ 40 et le charbon 5 à 10 Cts/s. Pour mesurer une radioactivité aussi basse, il faut des sondes 10 fois plus sensibles que pour détecter l'uranium.

Deze stromen brengen op hun beurt een secundair magnetisch veld in dat opgespoord wordt door de ontvanger. Er komt een ankerstroom in de ontvanger; de intensiteit ervan is evenredig met de geleidendheid C_T van de formatie tussen de beide inductie- en ontvangstspoelen.

$$C_T = \frac{1}{R_T}$$

R_T = weerstand van de formatie.

De in de tweede spoel ontstane stroom wordt aan de oppervlakte gemeten.

3. NUCLEAIRE DIAGRAFIEEN

3.1. Natuurlijke γ -straling

Doelstelling : Het meten van de natuurlijke radioactiviteit der terreinen.

Principe : Het procédé van het gammastralen-loggen is gebaseerd op het verschil tussen het niveau van de natuurlijke radioactiviteit van de verschillende gesteentetypes. Dit niveau wordt bepaald door de hoeveelheid onstabiele elementen die in het gesteente vervat zijn. Deze behoren tot elementen verwant met uranium, thorium en kalium. Soms kan de radioactiviteit veroorzaakt worden door de aanwezigheid van zeldzame aardsoorten.

Het gehalte aan radioactieve elementen varieert sterk van een gesteentetype tot een ander, zodat de opmeting van de natuurlijke radioactiviteit kan dienen voor de identificering van de voornaamste afzettingsgesteenten.

Schist, bijvoorbeeld, wordt gekenmerkt door een hoge natuurlijke radioactiviteit van 100 Cts/s, dank zij het radioactieve kalium in de silicaatbestanddelen, de psammieten 60-70, zandsteen ongeveer 40 en steenkool 5 à 10 Cts/s. Om een zo lage radioactiviteit te meten, heeft men sondes nodig die 10 maal gevoeliger zijn dan deze waarmee uranium opgespoord wordt.

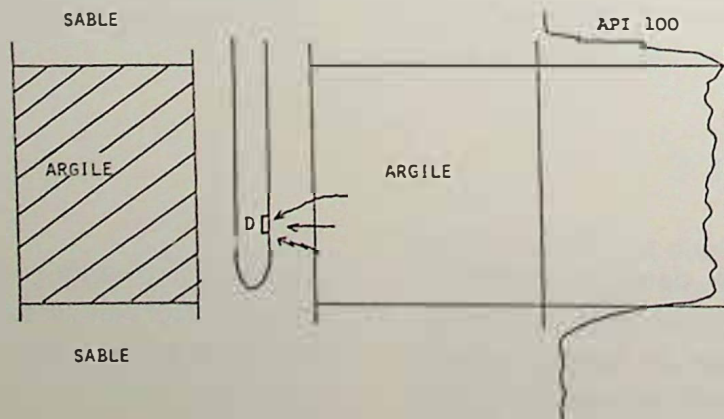


Fig. 8 — Appareil pour la mesure du rayonnement γ
 γ -straling meetapparaat

Pour faire ces mesures, on descend dans le trou un détecteur de rayonnements, soit une chambre à ionisation (compteur Geiger Müller), soit un compteur à scintillations.

Le Gamma Ray (SGT) détecte la présence globale de radioactivité (Th + Ur + K), alors que l'outillage NGT donne les proportions relatives de ces corps radioactifs.

L'avantage de ce procédé est qu'il peut se pratiquer aussi bien sur des sondages tubés que non tubés, alors que le carottage électrique ne peut être effectué que sur des trous non tubés.

3.2. Carottage neutronique

But : Le carottage neutronique permet de mesurer la teneur en hydrogène du milieu géologique. Il donne aussi une mesure de la porosité.

Principe : Ce procédé consiste à bombarder les strates à l'aide d'une source puissante de neutrons très rapides (10.000 km) et à mesurer les rayons gamma émis par ce bombardement neutronique. Quand de l'hydrogène est présent dans un banc, les neutrons sont rapidement ralentis et arrêtés, ce qui donne une valeur très faible dans la courbe enregistrée (fig. 9).

Là où il y a peu d'hydrogène, c'est l'inverse.

Les neutrons, comme leur nom l'indique, sont des particules électriquement neutres, chacun ayant une masse à peu près identique à celle d'un atome d'hydrogène.

Les neutrons sont émis à grande vitesse à partir d'une source radioactive (généralement du radium) contenue dans une sonde. Près de cette source, on

Om deze opmetingen uit te voeren, laat men in het gat een stralingsdetector, ofwel een ioniseringskamer (Geiger Müller-teller), ofwel een stralingsteller.

De Gamma Ray (SGT) spoort de globale aanwezigheid van radioactiviteit op (Th + Ur + K), terwijl de NGT-uitrusting de betrekkelijke verhoudingen geeft van de radioactieve delen.

Het voordeel van dit procédé is, dat het kan toegepast worden in zowel bebuisde als niet bebuisde boringen, terwijl het elektrisch loggen slechts kan uitgevoerd worden op niet bebuisde gaten.

3.2. Neutronen-logging

Doelstelling : De neutronen-logging laat de meting toe van het waterstofgehalte van het geologisch milieu. Hij geeft ook een porositeitsmeting.

Principe : Dit procédé bestaat uit het bombarderen van de lagen m.b.v. een krachtige bron van zeer snelle neutronen (10.000 km) en uit het meten van de door dit neutronenbombardement uitgezonden gamma-stralen. Als in een bank waterstof aanwezig is, worden de neutronen snel vertraagd en gestopt, wat een zeer kleine waarde geeft aan de opgetekende curve (fig. 9).

Daar waar weinig waterstof aanwezig is, doet zich het omgekeerde voor.

De neutronen, zoals hun naam aanduidt, zijn elektrisch neutrale deeltjes, waarvan elk een massa heeft die vrijwel identiek is aan die van een waterstofatoom.

De neutronen worden aan hoge snelheid uitgezonden vanuit een radioactieve bron (meestal radium) vervat in een sonde. In de nabijheid van deze bron

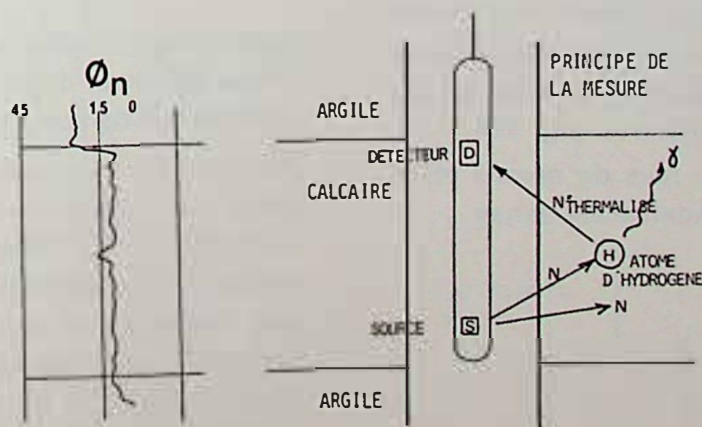


Fig. 9 — Carottage neutronique pour mesurer la teneur en hydrogène du milieu
Neutronenloggen voor de meting van het waterstofgehalte in het milieu

Détecteur : detector

Calcaire : kalksteen

Source : bron

Thermalisé : gethermaliseerd

Atome d'hydrogène : waterstofatoom

place dans la même sonde, un détecteur de radiations adéquat descendu avec la source dans le sondage.

La distance à laquelle les neutrons pénètrent avant d'être capturés, dépend de la nature des atomes qu'ils rencontrent. Les neutrons frappent des atomes de la roche et perdent de l'énergie de la même manière qu'une bille de billard lancée rapidement qui touche une autre bille.

Dans une telle collision, la bille en mouvement perd une fraction d'autant plus grande de son énergie qu'elle rencontre une bille de poids égal. Elle en perd moins quand elle cogne une bille plus lourde. Comme les atomes d'hydrogène sont les seuls à avoir un poids atomique à peu près égal à celui des neutrons, ils sont les plus efficaces à les ralentir.

Suite aux collisions successives, les neutrons sont finalement absorbés par un élément. Au moment de la capture, il y a émission d'un rayon gamma secondaire. Ce rayonnement gamma est mesuré comme le rayonnement gamma naturel.

Les neutrons ralentis atteignent ce que l'on appelle l'état thermalisé. La quantité de neutrons thermalisés détectés est proportionnelle au nombre de chocs élastiques avec des atomes d'hydrogène qui est l'élément ralentisseur majeur dans le milieu.

Comme cet hydrogène est contenu dans l'eau et dans les hydrocarbures envahissant les pores de la roche, on peut situer les bancs qui contiennent ces matières et aussi en déduire la porosité du milieu.

La diagraphie neutronique est moins précise dans un sondage tubé.

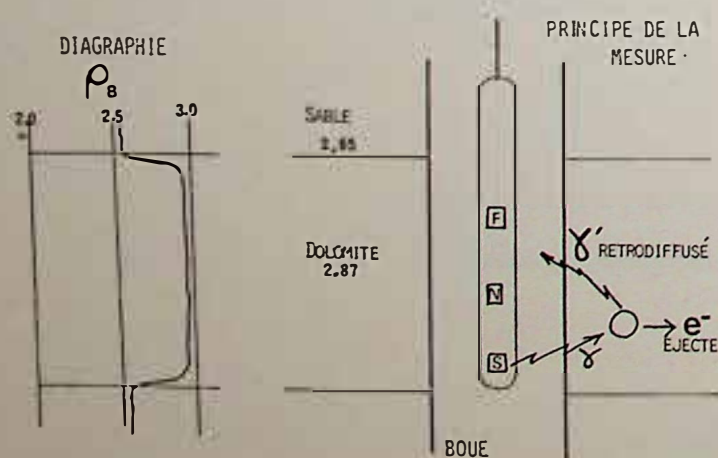
3.3. Densité ($\rho \phi B$)

But : La mesure de la densité ρ_B du milieu permet d'en déduire la porosité ϕ (ϕ est le symbole de la porosité).

Principe : La mesure est basée sur l'effet Compton.

Une source radioactive S (Cesium 137) émet un rayonnement γ . Ces rayons γ en entrant en collision avec les électrons du milieu, leur cèdent une partie de leur énergie (rétrodiffusion). Ce phénomène est accompagné par l'éjection d'un électron (fig. 10).

Le détecteur D capte d'autant plus de rayons rétrodiffusés que la matière environnante est dense.



plaatst men in dezelfde sonde een aangepaste stralingsdetector samen met de bron neergelaten in de boring.

De afstand waarover de neutronen doordringen alvorens gevat te worden, hangt af van de aard van de atomen die ze ontmoeten. De neutronen botsen op de atomen van het gesteente en verliezen energie op dezelfde wijze als een biljartbal die snel geprojecteerd wordt en een andere bal raakt.

In zulke botsing verliest de bewegende bal een grotere fractie van zijn energie naarmate hij een bal van gelijk gewicht ontmoet. Hij verliest er minder als hij tegen een zwaardere bal botst. Vermits de waterstofatomen de enige zijn waarvan het atoomgewicht ongeveer gelijk is aan dat van de neutronen, zullen ze deze afdoender vertragen.

Ingevolge de opeenvolgende botsingen worden de neutronen uiteindelijk geabsorbeerd door een element. Op het ogenblik van de absorptie wordt een secundaire gamma-straal uitgezonden. Deze gamma-straling wordt gemeten, zoals de natuurlijke gamma-straling.

De vertraagde neutronen bereiken wat men noemt de gethermaliseerde toestand. De hoeveelheid opgespoorde gethermaliseerde neutronen is evenredig met het aantal elastische schokken met waterstofatomen die het voornaamste vertragingselement is in het milieu.

Daar deze waterstof vervat zit in het water en in de koolwaterstoffen die de gesteenteporiën binnendringen, kan men de banken situeren die deze stoffen bevatten en er ook de porositeit van het milieu uit afleiden.

De neutronendiagrafie is minder precies in een bebuisde boring.

3.3. Dichtheid ($\rho \phi B$)

Doelstelling : De meting van de dichtheid ρ_B van het milieu laat toe er de porositeit ϕ af te leiden (ϕ is het symbool van de porositeit).

Principe : De meting is gebaseerd op het Compton-effect. Een radioactieve bron S (Cesium 137) zendt een γ -straling uit. Deze γ -stralen door hun in contact treden met de elektronen van het milieu, staan hen een deel van hun energie af (retrodiffusie). Dit verschijnsel gaat gepaard met de uitwerping van een elektron (fig. 10). De detector D slurpt des te meer geretrodiffuseerde stralen op naarmate de omgevende stof een grotere dichtheid heeft.

Fig. 10 — Appareil pour mesurer la densité
 Meetapparaat voor de dichtheid
 Retrodiffusé : geretrodiffuseerd
 Ejecté : uitgeworpen
 Dolomite : dolomiet

4. DIAGRAPHIE SONIQUE

Le log sonique est un outil de détermination de la porosité du milieu géologique.

Il sert également pour l'établissement de la relation « temps-profondeur » en sismique.

Pour l'enregistrement du sonique, une source d'ultrasons est descendue dans le trou. Ces ultrasons traversent la boue, atteignent la paroi du trou où ils sont réfractés. Ils se déplacent parallèlement à la paroi du trou et finalement arrivent à deux récepteurs distants l'un de l'autre de 2 ou 3 pieds (fig. 11).

La différence de temps d'arrivée des ultrasons aux deux récepteurs ($\Delta T = T_1 - T_2$) dépend de la vitesse de propagation de l'onde dans 2 ou 3 pieds de formation. Cette vitesse est fonction du type de formation et de la porosité.

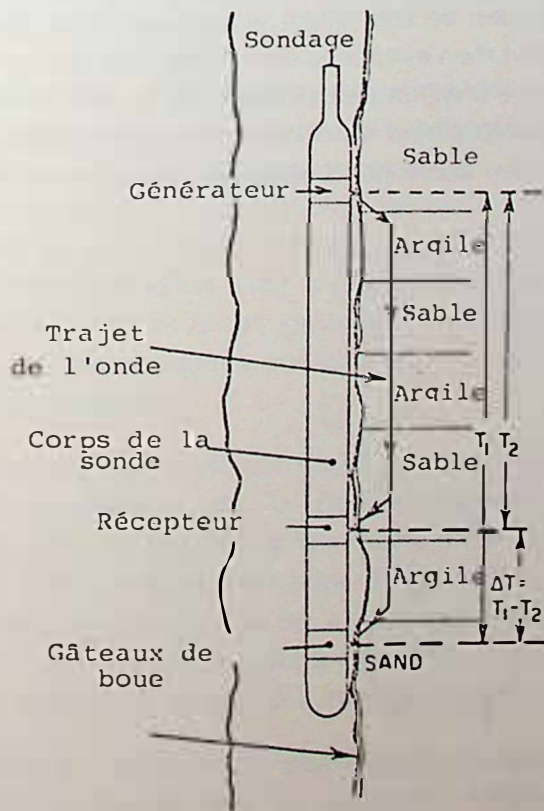
Plus la vitesse de propagation est grande, donc plus le temps est court, plus la roche est compacte et moins poreuse.

Exemple : La vitesse de propagation dans le charbon est de 2.300 m/s et dans les terrains stériles encaissants de 3.400 à 3.900 m/s.

5. PENDAGEMETRIE

La mesure du pendage des strates traversées par un forage demande le calcul de deux éléments :

- l'angle que fait avec l'horizontale la ligne de plus grande pente de la couche, supposée plane au voisinage du sondage;



4. SONISCHE DIAGRAFIE

De sonische log is een werktuig voor de bepaling van de porositeit van het geologisch milieu.

Hij dient eveneens voor het opstellen van de verhouding « tijd-diepte » in seismische studie.

Voor de optekening van het sonische wordt een ultrasonenbron in het gat neergelaten. Deze ultrasonen gaan doorheen het slib, bereiken de wand van de put waar ze gebroken worden. Ze verplaatsen zich evenwijdig met de wand van het gat en komen uiteindelijk bij twee receptoren op 2 of 3 voet onderlinge afstand (fig. 11).

Het verschil in aankomsttijd van de ultrasonen bij de beide receptoren ($\Delta T = T_1 - T_2$) hangt af van de voortplantingssnelheid van de golf in 2 of 3 voet formatie. Deze snelheid hangt af van het formatietype en van de porositeit.

Hoe hoger de voortplantingssnelheid, hoe korter de tijd dus, hoe compacter en minder poreus het gesteente is.

Voorbeeld : De voortplantingssnelheid in steenkool bedraagt 2.300 m/s, en in de omgevende steriele gesteenten 3.400 à 3.900 m/s.

5. HELLINGMETING

Het meten van de helling der door een boring doorboorde lagen vereist de berekening van twee elementen :

- de hoek met de horizontale gemaakt door de lijn van de grootste helling van de laag vlak verondersteld in de nabijheid van de boring;

Fig. 11 — Appareil pour effectuer la diagraphie sonique
 Toestel voor geluidsdiagrafie
 Sondage : boring
 Générateur : generator
 Trajet de l'onde : traject van de golf
 Corps de la sonde : corpus van de sonde
 Récepteur : ontvanger
 Gâteaux de boue : slibkoeken

- l'orientation, par rapport au nord magnétique (ou « azimut ») du plan vertical contenant cette ligne de plus grande pente.

Principe : Un plan est défini par au moins trois points de l'espace non alignés.

Quatre capteurs coplanaires ou dispositifs de mesure de résistivité montés sur quatre patins en contact avec les parois du trou « voient » la limite entre deux formations à des profondeurs différentes par suite du pendage apparent de cette limite.

L'étude de ces décalages permet de calculer le pendage si on connaît par ailleurs :

- l'orientation de la sonde,
- l'inclinaison et l'azimut du sondage,
- le diamètre du trou.

Un gyroscope donne la position de l'appareil par rapport au nord.

La position du plan de séparation de deux couches par rapport à la sonde pendagemètre, est calculée à partir des corrélations de courbes de résistivité enregistrées le long de quatre génératrices du sondage (fig. 12).

Les électrodes de mesure sont montées sur des patins qu'un jeu de bras et de ressorts appuie contre la paroi. Elles sont maintenues dans un plan perpendiculaire à l'axe de l'appareil, qui coïncide pratiquement avec l'axe du sondage car l'appareil est long et centré.

Les courbes enregistrées simultanément réagissent aux variations de résistivité des couches avec un léger décalage en profondeur, dont l'amplitude est précisément liée au pendage, mais dépend aussi du diamètre du sondage.

Outre les résistivités et le diamètre, on enregistre l'orientation de l'appareil, la déviation du sondage et les variations de la vitesse de remontée de l'outil. Toutes ces données s'inscrivent de manière continue sous forme de courbes sur un film, sont simultanément

- de oriëntatie tgo. het magnetische Noorden (of « azimut ») van het vertikale vlak dat deze lijn van de grootste helling bevat.

Principe : Een vlak wordt bepaald door ten minste drie punten in de ruimte die niet op dezelfde rechte liggen. Vier coplaire capturen of meetapparaten voor de soortelijke weerstand gemonteerd op vier schoenen in contact met de wanden van de put « zien » de limiet tussen twee formaties op verschillende dieptes ingevolge de zichtbare helling van deze limiet. Door de studie van deze verschuivingen kan de helling berekend worden, zo men anderzijds kennis heeft van :

- de oriëntatie van de sonde,
- de helling en de azimut van de boring,
- de diameter van het gat.

Een gyroscoop geeft de positie van het apparaat t.o.v. het noorden.

De plaats van het scheidingsvlak van twee lagen tegenover de hellingmeter-sonde, wordt berekend op basis van de correlaties der soortelijke weerstandscurves opgetekend langs de vier beschrijvende lijnen van de boring (fig. 12).

De meetelektroden zijn gemonteerd op schoenen die door het systeem van armen en veren tegen de wand worden gedrukt. Ze worden in een vlak gehouden dat loodrecht staat op de as van het toestel, die vrijwel overeenstemt met de boringsas want het toestel is lang en gecentreerd.

De gelijktijdig opgetekende curven reageren op de variaties van soortelijke weerstand der lagen met een lichte achterstand in de diepte, waarvan de omvang precies verbonden is met de helling, maar die ook afhangt van de diameter van de boring.

Buiten de soortelijke weerstanden en de diameter tekent men eveneens de oriëntering van het apparaat op, de afwijking van de boring en de variaties in de ophaalsnelheid van het werktuig. Al deze gegevens worden doorlopend opgetekend in de vorm van cur-

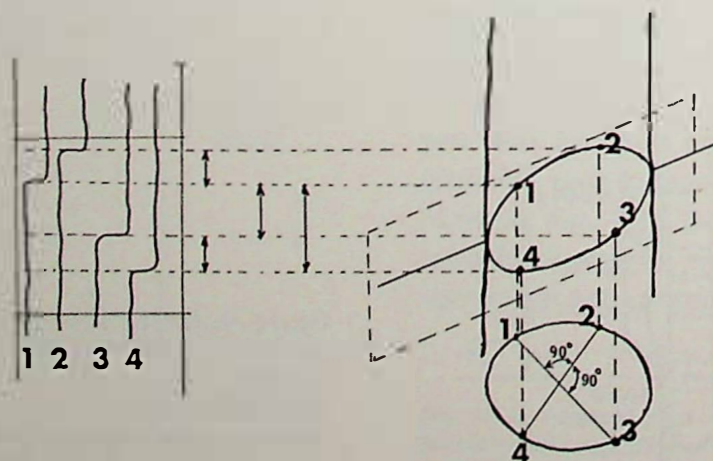


Fig. 12 — Appareil pour mesurer le pendage des couches
Toestel voor het meten van de helling der lagen

ment digitalisées quasi ponctuellement et sont enregistrées sur ruban magnétique.

La corrélation des courbes de résistivité, la mesure des décalages en profondeur, la restitution trigonométrique qui permet de déterminer l'angle et l'azimut du pendage, puis la présentation graphique des résultats sont entièrement effectuées sur ordinateur à partir de l'enregistrement magnétique.

Les pendages sont représentés, en fonction de la profondeur, par un symbole (« flèche ») dont la position et la direction traduisent l'angle et l'azimut calculés.

La profondeur d'investigation des dispositifs de mesure de résistivité, dont dérivent les résultats, est petite.

Chaque pendage obtenu a donc une signification individuelle qui peut être très limitée s'il ne représente qu'un accident dont l'extension latérale et l'influence verticale sont faibles.

Par contre, la répétition de pendages parallèles sur une certaine épaisseur indique la présence d'un pendage régional dont l'extrapolation est aisée.

Enfin, la variation, lente ou rapide, de l'angle et/ou de la direction des pendages annonce la présence ou l'approche d'une déformation des couches. Le contexte permet en général d'en préciser la nature.

L'interprétation des résultats de pendagemétrie est donc basée essentiellement sur une analyse statistique, soit visuelle, soit graphique, qui permet de déterminer la valeur et la direction moyennes du pendage d'une série cohérente de couches. Ceci est surtout utile quand le pendage est faible, car il y a alors une certaine dispersion de l'azimut.

Habituellement, déposées parallèlement et presque horizontalement, les couches sédimentaires ont très souvent été ultérieurement soumises à des soulèvements ou des subsidences, des inclinaisons, des plissements, des déformations, ou des dislocations. La pendagemétrie aide à reconstituer l'architecture actuelle du sous-sol, grâce à la troisième dimension que les sondages ont introduite dans l'observation géologique.

La recherche des hydrocarbures est en effet la principale application de la pendagemétrie, qui permet de détecter les pièges favorables à leur accumulation. Il s'agit principalement des points hauts dans lesquels leur migration les a accumulés, ou les barrières contre lesquelles elle s'est arrêtée, et bien souvent d'une combinaison des deux phénomènes.

Une *faille* se marque en pendagemétrie par les augmentations de pendage qui encadrent sa travers

ves op films, ze worden tegelijkertijd vrijwel punctueel gedigitaliseerd en opgenomen op magneetband.

De correlaties van de soortelijke weerstandscurves, de meting van de achterstand in de diepte, de driehoeksmeetkundige weergave waardoor de hoek en het azimut van de helling kunnen worden bepaald, en vervolgens de grafische voorstelling van de resultaten, dit alles wordt geheel uitgevoerd per computer op basis van de magnetische opname.

De hellingen worden, naargelang van de diepte, weergegeven door een symbool (« pijl ») waarvan de plaats en de richting de berekende hoek en het berekende azimut vertalen.

De onderzoeksdiepte van de apparaten voor de meting van soortelijke weerstand, waarvan de resultaten worden afgeleid, is gering.

Elke verkregen helling heeft dus een individuele betekenis, die erg beperkt kan zijn als ze slechts een oneffenheid weergeeft waarvan de zijdelingse uitbreiding en de verticale invloed zwak zijn.

Daarentegen wijst de herhaling van evenwijdige hellingen over een zekere dikte, op de aanwezigheid van een regionale helling die makkelijk kan geëxtrapoleerd worden.

Tenslotte kondigt de langzame of snelle variatie van de hoek en/of van de richting der hellingen, de aanwezigheid of nadering aan van een vervorming der lagen. Door de context kan men er over het algemeen de aard van bepalen.

De interpretatie van de resultaten van hellingmeting is dus voornamelijk gebaseerd op een statistische analyse, visueel of grafisch, waardoor de gemiddelde waarde en richting kan bepaald worden van de helling van een samenhangende reeks lagen. Dit is vooral van nut als de helling zwak is, want dan is er een zekere verstrooiing van het azimut.

Gewoonlijk evenwijdig en vrijwel horizontaal geplaatst, hebben de afzettinglagen later zeer vaak oppersingen of dalingen ondergaan, hellingen, terugplooiingen, vervormingen of dislocaties. De hellingmeting helpt de huidige architectuur van de ondergrond te reconstitueren, dank zij de derde dimensie die de sonderingen in de geologische observatie hebben ingebracht.

Het zoeken naar koolwaterstoffen is inderdaad de voornaamste toepassing van de hellingmeting, waardoor de fuiken kunnen worden opgespoord die hun accumulatie begunstigen. Het betreft voornamelijk hoge punten waarin hun verplaatsing ze heeft geaccumuleerd, of de versperringen waardoor ze gestopt werden, en vaak een combinatie van beide verschijnselen.

Een *breuk* wordt in hellingmeting gekenmerkt door de hellingstoename die zijn doorgang omkaderen.

sée. L'amplitude du rejet, la plasticité des couches, conditionnent l'ampleur de cette déformation.

La direction de la faille ainsi détectée est perpendiculaire à celle des « flèches » sur le diagramme.

L'inclinaison de la faille peut être estimée à partir du pendage des rebroussements qui en donnent une valeur minimum; sa nature (faille normale, faille avec anticlinal de compensation, faille inverse) et son rejet ne peuvent en général être déduits qu'avec l'aide d'informations complémentaires telles que corrélations entre puits voisins, redoublement ou absence de séries, ou autres données géologiques locales.

Un anticlinal, ou toute autre structure topographique (récif, dôme de sel, lentille, chenal...) s'identifie par une variation lente des pendages. Leur azimut permet de préciser l'orientation de la structure au voisinage du sondage dans lequel la mesure est faite.

Le passage d'un flanc à l'autre d'un *pli* se traduit par une rotation continue des azimuts avec ou sans passage du pendage par l'horizontale.

Les *discordances* se notent par un changement brusque, et plus ou moins ample, du pendage et/ou de l'azimut.

La détection de ces phénomènes généraux ne peut guère échapper à la pendagemétrie, étant donné l'épaisseur des couches intéressées par rapport à celle des intervalles sur lesquels sont effectuées les corrélations.

Les séries de lits qui constituent la structure stratifiée de la plupart des couches ont des épaisseurs variables, mais généralement faibles. Un intervalle de corrélation court — de l'ordre de quelques décimètres — permet de déceler les alternances plus ou moins rapides des sédiments entrecroisés qui caractérisent les dépôts fluviatiles, littoraux ou deltaïques. Le sens du courant, lors du dépôt, conditionne l'épaisseur et les caractéristiques des sédiments.

La dispersion angulaire du pendage permet également d'avoir une idée de l'énergie du milieu dans lequel le dépôt eut lieu : plus la dispersion était grande, plus l'énergie était forte.

La pendagemétrie est une aide à la géologie et le plus sûr moyen d'en tirer le meilleur parti est d'en intégrer les résultats aux autres informations géologiques disponibles.

Parmi les publications sur ce sujet, citons « Schlumberger Fundamentals of Dipmeter Interpretation ».

De la largeur de la dislocation et de la plasticité de la couche, on détermine l'étendue de cette déformation.

La direction de la faille ainsi détectée est perpendiculaire à celle des « flèches » sur le diagramme.

L'inclinaison de la faille peut être estimée à partir du pendage des rebroussements qui en donnent une valeur minimum; sa nature (faille normale, faille avec anticlinal de compensation, faille inverse) et son rejet ne peuvent en général être déduits qu'avec l'aide d'informations complémentaires telles que corrélations entre puits voisins, redoublement ou absence de séries, ou autres données géologiques locales.

Un anticlinal, ou toute autre structure topographique (klippen, zoutkussen, lens, ool...) wordt geïdentificeerd door een langzame variatie der hellingen. Door hun azimut kan de oriëntatie van de structuur bepaald worden in de omgeving van de sondering waarin de meting wordt uitgevoerd.

De overgang van een flank naar de andere van een *plooi* wordt weergegeven door een doorlopende rotatie van de azimuts met of zonder doorgang van de helling door de horizontale.

De *discordanties* worden opgetekend door een bruske en min of meer grote verandering van de helling en/of van het azimut.

De opsporing van deze algemene verschijnselen kan niet ontsnappen aan de hellingmeting, gezien de dikte van de betrokken lagen t.g.o. die van de intervallen waarop de correlaties worden uitgevoerd.

De reeks bedden die de gelaagde structuur vormen van de meeste lagen, zijn van veranderlijke dikte, maar over het algemeen zwak. Een korte correlatie-interval — ter grootte van enkele decimeter — maakt de onderkenning mogelijk van meer of minder snelle wisseling van de gekuiste afzettingen die kenmerkend zijn voor de rivier-, kust- of delta-afzettingen. De richting van de stroom bij de afzetting bepaalt de dikte en de kenmerken van de afzettingen.

De hoekdispersie van de helling maakt het ook mogelijk zich een idee te vormen over de energie van het milieu waarin de afzetting plaats had : hoe groter de dispersie, hoe sterker de energie was.

De hellingmeting is een hulp voor de geologie en het zekerste middel om er het meeste voordeel uit te halen is de resultaten ervan te integreren in de andere beschikbare geologische informatie.

We halen uit de publikaties over dit onderwerp aan : « Schlumberger Fundamentals of Dipmeter Interpretation ».

6. ECHANTILLONNAGES

6.1. Echantillonnage des roches (C.S.T.)

Dans les sondages non carottés, il est extrêmement intéressant, pour le géologue, de pouvoir prélever des échantillons de roche de certaines formations afin d'en analyser l'origine, l'âge, la porosité. Ces prélèvements s'effectuent à l'aide du carottier latéral à balles (appelé C.S.T.).

En principe, l'appareil comprend une série de balles creuses qui sont projetées contre la formation par des charges de poudre mises à feu à partir de la surface (fig. 13).

La balle est retenue par deux câbles d'acier qui arrachent la balle à la formation en remontant le carottier.

A l'issue de l'opération, les échantillons sont retirés des balles à l'aide d'une presse (fig. 13a et b).

6. BEMONSTERINGEN

6.1. Bemonstering der gesteenten (C.S.T.)

In de niet gelogde sonderingen is het voor de geoloog hoogst interessant gesteentemonsters te kunnen opnemen om er de oorsprong, de Ouderdom en de porositeit van te analyseren. Deze monsteringen gebeuren m.b.v. een zijdelingse kogellogger (C.S.T. genoemd).

In principe omvat het toestel een reeks holle kogels die tegen de formatie worden geprojecteerd door de poederladingen die van aan de oppervlakte tot ontploffing worden gebracht (fig. 13).

De kogel wordt vastgehouden door twee stalen kabels die hem aan de formatie onttrekken bij het ophalen van de logger.

Bij het einde van de operatie worden de monsters m.b.v. een pers uit de kogels gehaald (fig. 13a en b).

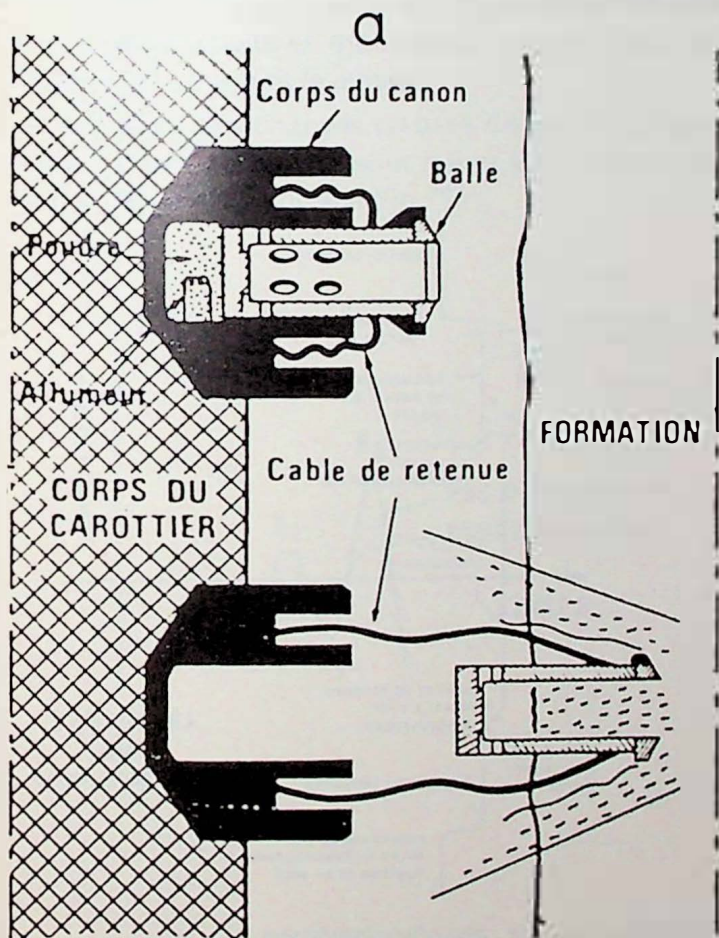


Fig. 13a — Schéma du carottier latéral à balles

- Balle en place dans le canon
- Balle tirée dans la formation

Schema van de zijdelingse kogellogger

- Kogel op zijn plaats in het kanon
- In de formatie geschoten kogel

Corps du canon : corpus van het kanon

Balle : kogel

Poudre : poeder

Allumeur : aansteker

Corps du carottier : corpus van de kogellogger

Câble de retenue : hechtingskabel

Formation : formatie

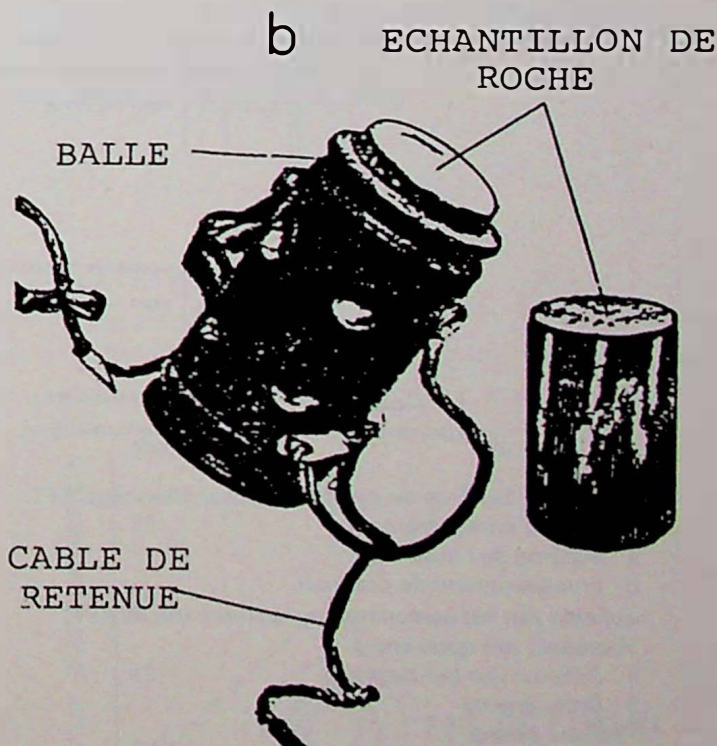


Fig. 13b — Balle et échantillon de roche

Kogel en gesteentemonster

Echantillon de roche : gesteentemonster

Balle : kogel

Câble de retenue : hechtingskabel

6.2. Echantillonnage de fluides (R.F.T.)

Dans les sondages destinés à la prospection ou à l'exploitation des hydrocarbures, il est très utile de pouvoir prélever des échantillons de fluides dans différentes formations afin d'en connaître la nature et la pression. Cette mesure pourra permettre une estimation de la perméabilité.

En principe, l'appareil comporte un patin de caoutchouc qui peut être fortement pressé hydrauliquement contre la paroi du trou afin d'assurer l'étanchéité entre la formation et l'équipement (fig. 14) (en abrégé celui-ci s'appelle R.F.T.).

L'ouverture séquentielle de deux chambres de prétest agissant comme des seringues permet de déterminer les zones les plus perméables sur lesquelles s'effectuera l'échantillonnage.

Au cours d'une descente, il est possible de prélever un nombre illimité de couches, mais de prendre seulement deux échantillons de 4 et 10 litres (fig. 14a et b).

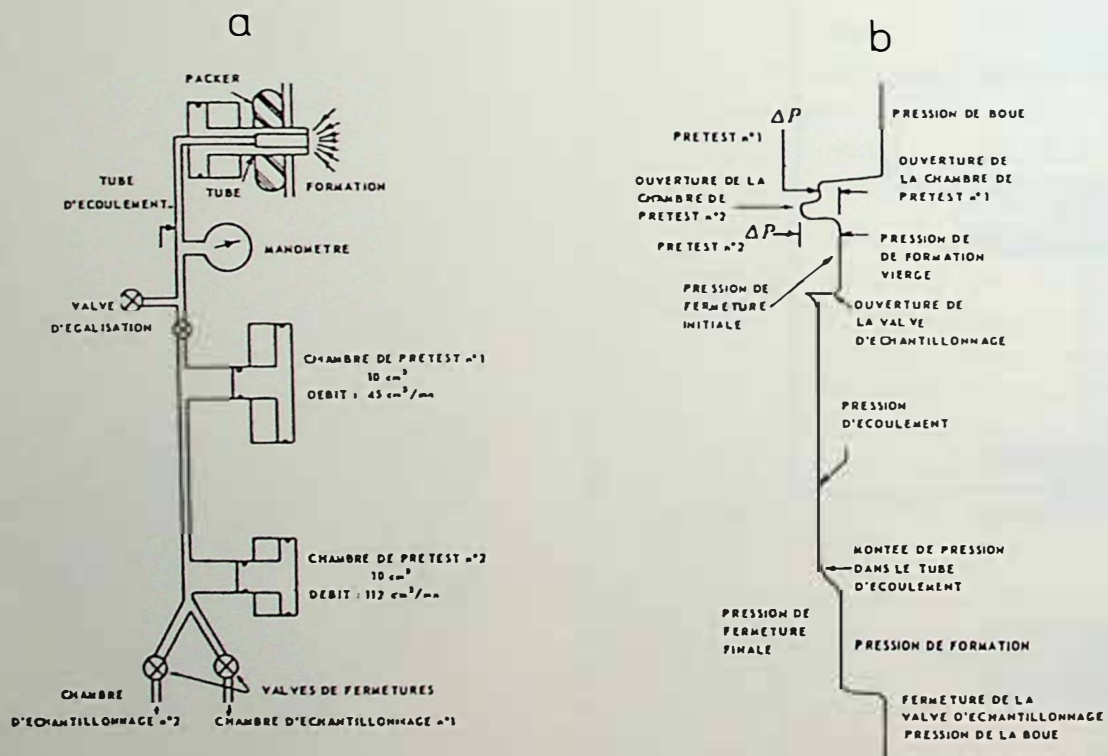


Fig. 14 — Schéma du système d'échantillonnage RFT.

Exemple d'enregistrement

a : Schéma de l'outil

b : Enregistrement de pression

Schema van het bemonsteringssysteem van de RFT.

Voorbeeld van optekening

a : Schema van het werktuig

b : Drukopname

Packer : packer

Tube d'écoulement : afvloeibuis

Formation : formatie

Manomètre : manometer

Valve d'égalisation : Egaliseringsklep

Chambre de pretest : pretestkamers

Débit : debiet

6.2. Bemonstering van vloeistoffen (R.F.T.)

In de boringen voor de prospectie of de exploitatie van koolwaterstoffen is het erg nuttig vloeistofmonsters te kunnen nemen in verschillende formaties om er de aard en de druk van te kennen. Deze meting zal een schatting van de doordringbaarheid kunnen mogelijk maken.

In principe omvat het toestel een rubberschoen die hydraulisch zeer vast tegen de wand van het gat kan gedrukt worden om de dichtheid te verzekeren tussen de formatie en de uitrusting (fig. 14) (afgekort heet deze R.F.T.).

De sequentiële opening van de twee pretestkamers die als naalden werken, maakt de bepaling mogelijk van de meest doordringbare zones waarop de bemonstering zal plaats vinden.

Tijdens een afdaling is het mogelijk een onbeperkt aantal lagen vóór te testen, maar er kunnen slechts twee monsters van 4 en 10 liter genomen worden (fig. 14a en b).

Chambre d'échantillonnage : bemonsteringskamer

Valves de fermetures : afsluitkleppen

Ouverture de la chambre de pretest : opening van de pretestkamer

Pression de fermeture initiale : oorspronkelijke sluitdruk

Pression de fermeture finale : uiteindelijke sluitdruk

Pression de boue : slibdruk

Pression de formation vierge : druk van de zuivere formatie

Ouverture de la valve d'échantillonnage : opening van de bemonsteringsklep

Pression d'écoulement : afvloedruk

Montée de pression dans le tube d'écoulement : drukstijging in de afvloeibuis

Pression de formation : druk van de formatie

Fermeture de la valve d'échantillonnage : sluiting van de bemonsteringsklep

7. OPERATIONS DIVERSES

7.1. Contrôle de la cimentation d'un tubage

Cette mesure a pour but d'évaluer la qualité de l'étanchéité assurée par le ciment entre le tubage et la formation. Elle se fait à l'aide d'un équipement sonore.

L'onde acoustique envoyée par l'émetteur, après avoir voyagé le long du tubage; arrive au récepteur avec une amplitude d'autant plus réduite que la prise du ciment est bonne (fig. 15). Un abaque permet de déterminer le pourcentage de la circonférence du tubage bien cimenté en fonction du pourcentage du taux d'atténuation (fig. 16).

7.2. Perforation des tubages

Le but de cette opération est d'assurer la mise en production du puits en établissant la communication à travers le tubage et le ciment.

A cet effet, des charges creuses disposées perpendiculairement au tubage sont mises à feu électriquement à partir de la surface (fig. 17).

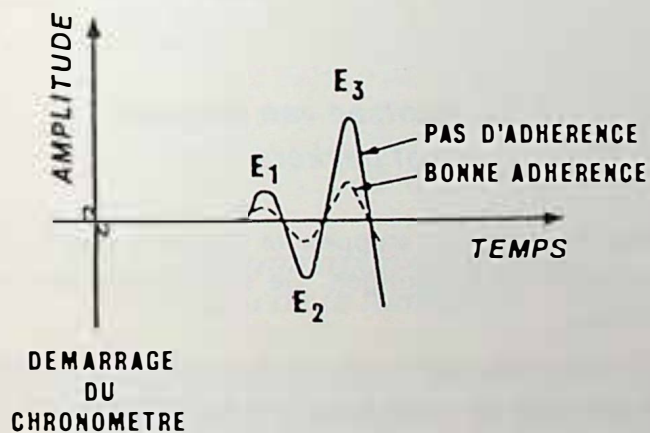


Fig. 16 — Abaque permettant de déterminer la portion de tubage cimentée

Grafiek waardoor de gecementeerde verbuizing kan bepaald worden

Pas de ciment ou ciment : geen cement of cement

Taux d'atténuation : verzwakkingsgehalte

Circonférence du tubage : verbuizingsomtrek

7. DIVERSE OPERATIES

7.1. Controle van de cementering van een verbuizing

Deze maatregel heeft als doel de kwaliteit te evalueren van de dichtheid verzekerd door het cement tussen de verbuizing en de formatie. Dit gebeurt m.b.v. een sonische uitrusting.

De geluidsgolf uitgezonden door de zender, volgt eerst de verbuizing en komt dan bij de ontvanger met een amplitude die des te kleiner is naarmate het cement beter gebonden is (fig. 15). Een nomogram maakt de bepaling mogelijk van de omtrek van de goed gecementeerde verbuizing door het percentage van het verzwakkingspercentage (fig. 16).

7.2. Perforaties van de verbuizingen

Het doel van deze operatie is het in productie nemen van de put te verzekeren door het aanbrengen van een verbinding doorheen de verbuizing en het cement.

Hiervoor worden holle ladingen, die loodrecht op de verbuizing staan, elektrisch tot ontvlaming gebracht van aan de oppervlakte (fig. 17).

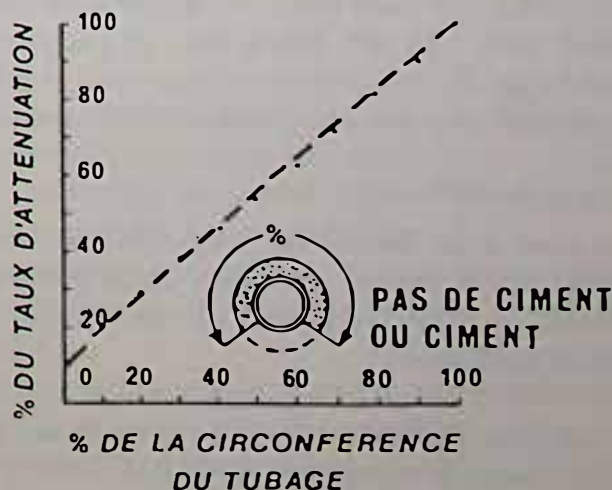
Fig. 15 — Enregistrement de l'onde acoustique envoyée le long du tubage

Optekening van de langs de verbuizing gezonden geluidsgolf

Démarrage du chronomètre : start van de chronometer

Pas d'adhérence : geen aanhechting

Bonne adhérence : goede aanhechting



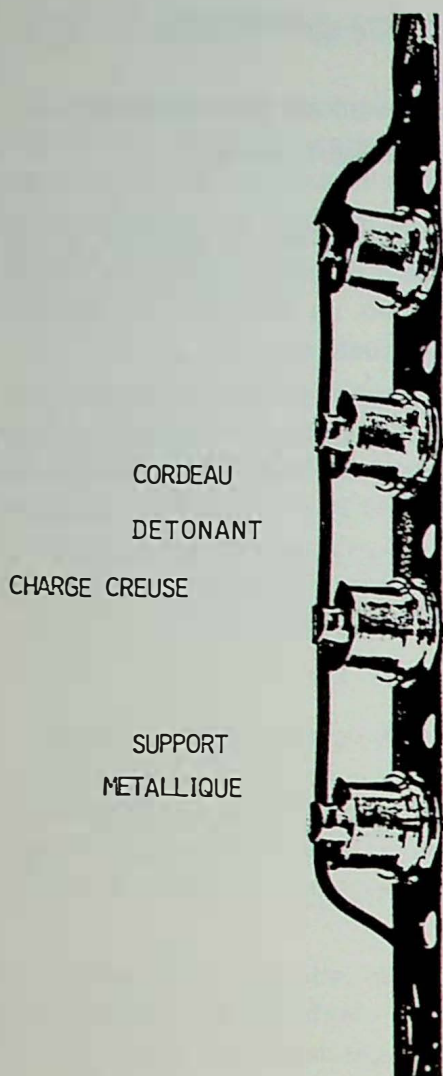


Fig. 17 — Perforation du tubage à l'aide de charges creuses.
 Détail du perforateur Unijet
 Perforatie van de verbuizing m.b.v. holle ladingen.
 Detail van de Unijet-perforator
 Cordeau détonant : ontstekingskoord
 Charge creuse : holle lading
 Support métallique : metalen steun

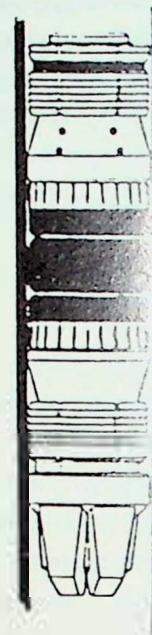


Fig. 18 — Pose d'un bouchon à l'aide d'un joint en caoutchouc
 Plaatsing van een stop m.b.v. een rubberring

7.3. Pose de bouchons ou de packers

La pose de bouchons ou de packers est fréquente dans les sondages pétroliers. Les objectifs sont divers.

On peut être amené à poser un bouchon à l'intérieur même d'un tubage pour assurer l'étanchéité entre deux zones du puits. Un tel bouchon peut être placé pour stopper une venue d'eau qui se produirait par la partie inférieure des perforations d'un tubage. Il peut être mis en place par un appareillage hydraulique. En comprimant le bouchon, le joint de caoutchouc se déforme et assure l'étanchéité (fig. 18).

La pose d'un packer de production a pour but d'isoler une formation pétrolifère de la partie supérieure du sondage. Le packer est traversé par le tubage de production.

Il est aussi possible de placer un bouchon de ciment à travers le tubage de production.

7.3. Plaatsen van stoppen of packers

Het plaatsen van stoppen of packers komt vaak voor in petroleumboringen. De objectieven zijn verschillend.

Men kan ertoe gebracht worden een stop te plaatsen binnen in een verbuizing om de dichtheid te verzekeren tussen twee zones van de put. Zo een stop kan geplaatst worden om water tegen te houden dat door het laagste gedeelte van de perforaties van een verbuizing zou binnendringen.

Hij kan aangebracht worden door een hydraulische apparatuur. Door het samendrukken van de stop vormt te rubberen ring zich en verzekert de dichtheid (fig. 18).

Het plaatsen van een produktiepacker heeft de isolering tot doel van een petroleumhoudende formatie tgo. het bovenste gedeelte van de boring. De packer wordt doorboord door de produktieverbuizing.

Het is ook mogelijk een cementstop te plaatsen doorheen de produktieverbuizing.

8. PARAMETRES DES RESERVOIRS CONTENANT DES HYDROCARBURES

Dans l'exploration des gisements pétrolifères, les mesures décrites ci-dessus ont pour objectif de déterminer les principaux paramètres des réservoirs.

Une formation pétrolifère ou roche magasin est constituée d'une matrice dans les pores de laquelle se trouvent de l'eau et de l'huile, par exemple (fig. 19).

Pour déterminer la contenance de ce réservoir, il faut pouvoir déterminer le volume occupé par la matrice et le volume occupé par les pores (ϕ).

Les pores peuvent contenir partiellement de l'eau $\phi \cdot S_w$ et partiellement des hydrocarbures $\phi (1 - S_w)$ (fig. 20).

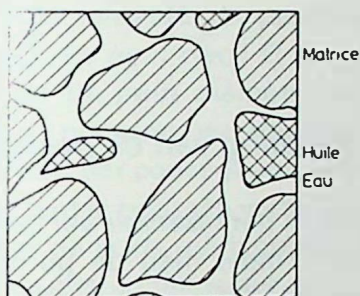


Fig. 19 — Schéma d'une formation réservoir
Schéma van een reservoirformatie
Matrice : matrix
Huile : olie
Eau : water

8.1. Détermination de la teneur en eau de la formation

La résistivité d'une roche saturée à 100 % d'eau de formation est liée à la résistivité de cette eau de formation par la formule :

$$R_0 = F \times R_w$$

avec

R_0 : résistivité de la formation saturée à 100 % d'eau de formation

R_w : résistivité de l'eau de la formation

F : facteur de formation qui dépend de :

- la quantité présente, donc de la porosité :

$F = A / \phi_m$ (A et m sont des constantes et ϕ est la porosité)

A est compris entre 0,6 et 2 dépendant de la lithologie, m étant un facteur de cimentation

- la géométrie du système de pores

8. PARAMETERS VAN DE KOOLWATERSTOFHOUDENDE RESERVOIRS

In de exploratie van petroleumhoudende afzettingen, hebben de hoger beschreven metingen de bepaling ten doel van de voornaamste parameters van de reservoirs.

Een petroleumhoudende formatie of ontvangend gesteente bestaat uit een matrix in de poriën waarin zich bijvoorbeeld water en olie bevinden (fig. 19).

Om de inhoud van dit reservoir te bepalen moet men het volume kunnen bepalen dat door de matrix wordt ingenomen en dat wat door de poriën wordt ingenomen (ϕ).

De poriën kunnen gedeeltelijk water bevatten $\phi \cdot S_w$, en gedeeltelijk koolwaterstoffen $\phi (1 - S_w)$ (fig. 20).

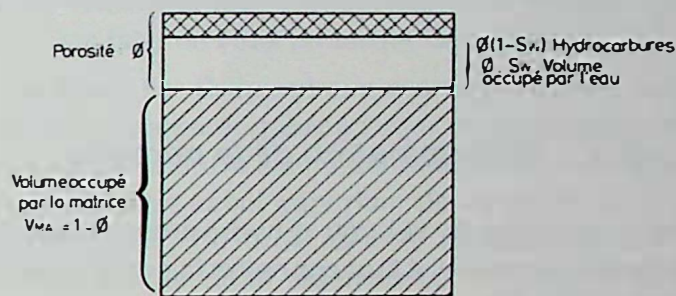


Fig. 20 — Détermination du volume de la matrice et de la porosité
Bepaling van het matrixvolume en van de porositeit
Porosité : porositeit
Volume occupé par la matrice : door matrix ingenomen volume
Hydrocarbures : koolwaterstoffen
Volume occupé par l'eau : door water ingenomen volume

8.1. Bepaling van het watergehalte van de formatie

De soortelijke weerstand van een gesteente dat 100 % verzadigd is met formatiewater, is verbonden met de soortelijke weerstand van dit formatiewater door de formule :

$$R_0 = F \times R_w$$

waarbij

R_0 : soortelijke weerstand van de 100 % met formatiewater verzadigde formatie

R_w : soortelijke weerstand van het formatiewater

F : formatiefactor, afhankelijk van :

- de aanwezige hoeveelheid, dus van de porositeit :

$F = A / \phi_m$ (A en m zijn constanten, en ϕ is de porositeit).

A is begrepen tussen 0,6 en 2 al naargelang van de lithologie, m is een cementeringsfactor

- de geometrie van het poriënsysteem

- le degré de consolidation du grès, c'est-à-dire le degré de cimentation des grains les uns aux autres.

Une formation qui contient de l'huile ou du gaz présentera une résistivité plus élevée que la même formation saturée à 100 % d'eau et la résistivité augmente avec la saturation en hydrocarbures.

Archie a établi la relation qui lie la saturation en eau, la résistivité de la formation avec son contenu en fluide, la résistivité de la même formation saturée à 100 % d'eau :

$$S_w = \frac{R_o}{R_t} = F \cdot \frac{R_w}{R_t}$$

S_w = teneur en eau ou saturation en eau de la formation et, pour la déterminer, il faut mesurer la résistivité

- R_w de l'eau contenue dans les pores
- R_t de la formation contenant le réservoir.

8.2. Détermination de la porosité

Pour connaître le volume d'hydrocarbures contenus dans le réservoir, il faut connaître la porosité de ce réservoir (fig. 20).

Pour déterminer cette porosité, on dispose

- des diagraphies de neutrons (indice d'hydrogène),
- des diagraphies acoustiques

mesure de la vitesse du son $\Delta T = \phi \Delta T_F + (1 - \phi) \Delta T_{MA}$

avec ΔT_F = vitesse du son dans le fluide

ΔT_{MA} = vitesse du son dans la matrice

- des diagraphies de densité

$\rho_B = \phi \rho_F + (1 - \phi) \rho_{MA}$

où ρ_F = densité du fluide

ρ_{MA} = densité de la matrice

9. MATERIEL MIS EN ŒUVRE

Les premières diagraphies furent réalisées en 1927 à Pechelbron par les Frères Schlumberger.

Ces mesures étaient effectuées en « discontinu ».

Depuis, le matériel a considérablement évolué. Toutefois, l'organisation générale de l'équipement est la même. Tout comme le camion laboratoire de 1932, le camion moderne comprend un *câble* et une *cabine de mesure* montés sur un même châssis.

- de consolidation de la zandsteen, d.w.z. de cementeringsgraad van de korrels onder elkaar.

Een olie- of gashoudende formatie zal een hogere soortelijke weerstand hebben dan dezelfde formatie 100 % verzadigd met water, en de soortelijke weerstand stijgt met de verzadiging in koolwaterstoffen.

Archie heeft de verhouding opgesteld die de verzadiging aan water en de soortelijke weerstand van de formatie met zijn vloeistofgehalte bindt aan de soortelijke weerstand van dezelfde formatie 100 % verzadigd met water :

$$S_w = \frac{R_o}{R_t} = F \cdot \frac{R_w}{R_t}$$

S_w = watergehalte of verzadiging aan formatiewater, om ze te bepalen moet de soortelijke weerstand gemeten worden

- R_w van het in de poriën vervatte water
- R_t van de formatie die het reservoir bevat.

8.2. Bepaling van de porositeit

Om het volume in het reservoir vervatte koolwaterstoffen te kennen, moet men de porositeit van dit reservoir kennen (fig. 20).

Om deze porositeit te bepalen, beschikt men over

- diagrafieën van neutronen (waterstofindex),
- akoestische diagrafieën

meting van de snelheid van het geluid $\Delta T = \phi \Delta T_F + (1 - \phi) \Delta T_{MA}$

waarbij

ΔT_F = geluidssnelheid in de vloeistof

ΔT_{MA} = geluidssnelheid in de matrix

- dichtheidsdiagrafieën

$\rho_B = \phi \rho_F + (1 - \phi) \rho_{MA}$

waarbij

ρ_F = dichtheid van de vloeistof

ρ_{MA} = dichtheid van de matrix.

9. AANGEWEND MATERIEEL

De eerste diagrafieën werden in 1927 gerealiseerd te Pechelbron door de broers Schlumberger.

Deze metingen gebeurden « met onderbreking ».

Sindsdien is het materieel aanzienlijk geëvolueerd. Nochtans is de algemene organisatie van de uitrusting dezelfde. Evenals de laboratoriumvrachtwagen van 1932, omvat de moderne vrachtwagen een *kabel* en een *meetkabine* gemonteerd op hetzelfde onderstel.

9.1. Le camion

La coupe du camion-laboratoire actuel montre les différents éléments utilisés pour l'enregistrement des diagraphies (fig. 21).

Les appareils électriques A permettent de contrôler les équipements de fond, de calculer et d'enregistrer les paramètres physiques, soit sur l'enregistreur optique B, soit sur enregistreur sur bande magnétique J.

Ce type d'équipement a été remplacé depuis 1976 par le système CSU qui est lui organisé autour d'un calculateur (« computer »).

Deux treuils sont disposés à l'arrière du véhicule. Sur ces treuils s'enroulent jusqu'à 8.000 m de câble avec une capacité de traction de l'ordre de quatre tonnes pour le treuil principal E. Ce grand treuil est utilisé en général pour les diagraphies en trou découvert et les opérations en trous tubés qui font intervenir des équipements de fond généralement imposants (jusqu'à 20 m de longueur et pesant bien souvent plus de 500 kg). Le petit treuil G supporte un câble monoconducteur de petit diamètre utilisé pour les opérations sous pression au travers d'un sas. Le diamètre réduit et, par conséquent, la section réduite de ce câble limitent la poussée verticale exercée par la pression en tête de puits qui s'oppose à la descente du câble qu'il faudra en fait lester.

Un bras d'enroulement F permet de guider l'un ou l'autre de ces câbles à partir de la console de commande C.

L'équipement de la cabine est complété par une chambre noire (D) qui permet de développer les films d'enregistrement produits par l'enregistreur optique B. On trouve également une tireuse sur papier qui permet de produire des copies du film.

L'alimentation électrique autonome est fournie par le générateur H.

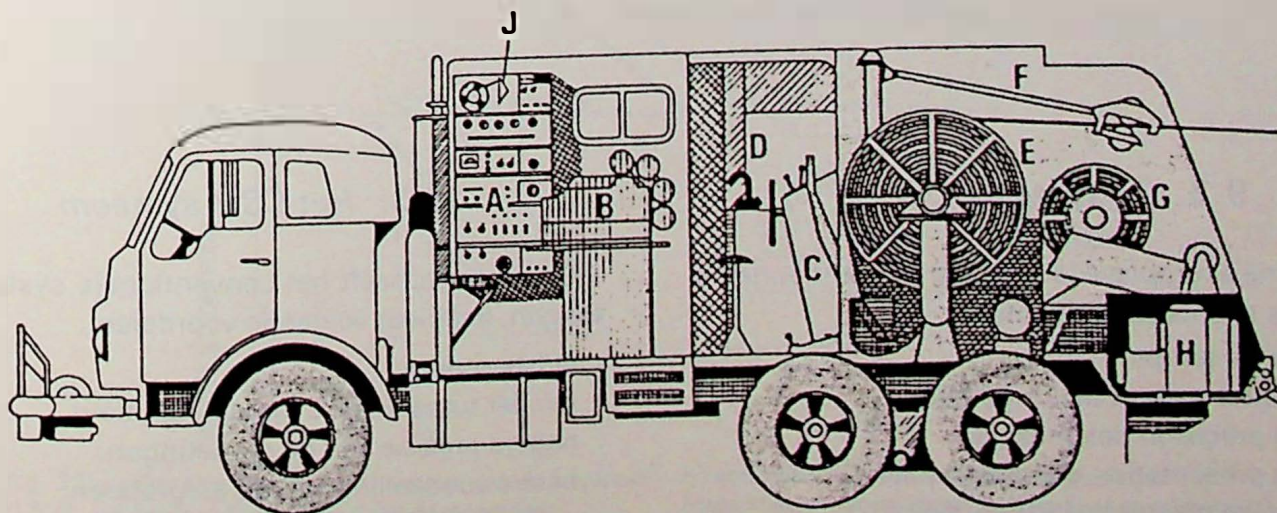


Fig. 21 — Camion laboratoire
Laboratoriumvrachtwagen

9.1. De vrachtwagen

De doorsnede van de huidige labovrachtwagen toont de verschillende elementen gebruikt voor de optekening van diagrafieën (fig. 21).

De elektrische toestellen A maken de controle mogelijk van de ondergrondse uitrustingen, het berekenen en optekenen van de fysische parameters, ofwel op de optische registrator B, ofwel op een opnemer met magneetband J.

Dit type uitrusting werd sinds 1976 vervangen door het CSU-systeem, dat georganiseerd is rond een computer.

Achter aan het voertuig worden twee lieren geplaatst. Hierop wordt tot 8.000 m kabel gerold met een trekvermogen ter grootte van vier ton voor de hoofdlier E. Deze grote lier wordt over het algemeen gebruikt voor de diagrafieën in onbedekt gat en de operaties in verbuisde gaten die op vaak indrukwekkende ondergrondse uitrustingen een beroep doen (tot 20 m lang en vaak zwaarder dan 500 kg).

De kleine lier G draagt een monogeleidende kabel met kleine diameter gebruikt voor de operaties onder druk via een sas. De kleine diameter en dus de kleine sectie van deze kabel beperken de verticale druk uitgeoefend door de druk aan de schachtkop die de afdaling van de kabel tegenwerkt, die in feite belast zal moeten worden.

Door een oprolarm F kan een van deze kabels geleid worden vanaf de bedieningstafel C.

De uitrusting van de cabine wordt aangevuld door een donkere kamer (D) waardoor de opnamefilms kunnen ontwikkeld worden geproduceerd door de optische registrator B. Men vindt eveneens een belichtingskast op papier waardoor kopies van de film kunnen gemaakt worden.

De autonome elektrische voeding wordt geleverd door de generator H.

9.2. Le câble

Les câbles utilisés pour les diagraphies assurent trois fonctions :

- supporter l'équipement de fond,
- transmettre les impulsions électriques,
- mesurer la profondeur du forage.

La fonction mécanique est assurée par l'armure extérieure constituée de deux couches à pas inverse en fils galvanisés. Cette armure sert également au blindage électrique des conducteurs (fig. 22).

La fonction électrique est réalisée à l'aide de sept conducteurs en cuivre dont l'isolement est supérieur à dix mégaohms. L'isolant spécial peut supporter des températures élevées (175°C et plus pour certains câbles spéciaux).

De plus, le câble entraîne le système de mesure de profondeur monté sur le bras F.

9.2. De kabel

De kabels die gebruikt worden voor de diagrafiën verzekeren drie functies :

- de ondergrondse uitrusting dragen;
- de elektrische impulsen doorgeven;
- de boordiepte opmeten.

De mechanische functie wordt verzekerd door de buitenpantsering bestaand uit twee lagen in omgekeerde pas in gegalvaniseerde draad. Deze pantsering dient ook voor het elektrisch afschermen van de geleiders (fig. 22).

De elektrische functie verwezenlijkt m.b.v. zeven geleiders in koper met een isolatie boven de tien megohm. Het speciale isolatiemateriaal verdraagt hoge temperaturen (175 °C en meer voor bepaalde speciale kabels).

Bovendien drijft de kabel het systeem voor dieptemeting aan dat op de arm F gemonteerd is.

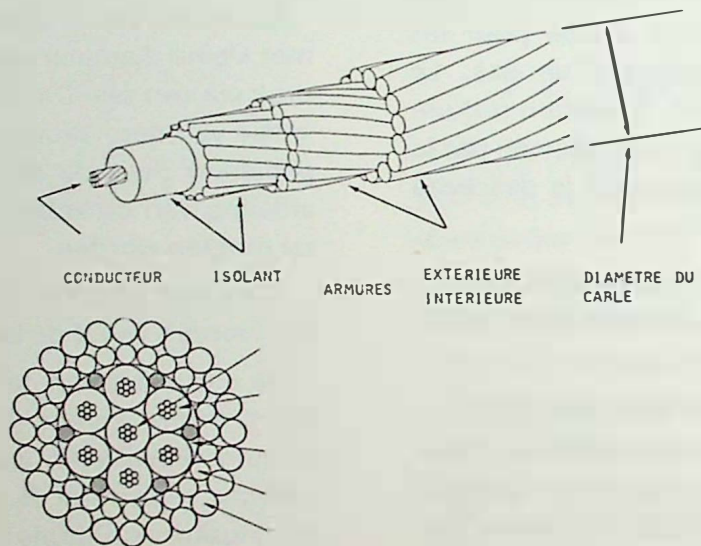


Fig. 22 — Câble utilisé pour l'enregistrement des diagraphies
Kabel gebruikt voor de optekening der diagrafiën

Conducteur : geleider

Isolant : isolering

Armures : bewapening

Extérieure : extern

Intérieure : intern

Diamètre du câble : kabeldiameter

9.3. Le système CSU

Ce système a remplacé le système conventionnel; il présente les avantages suivants :

- économie de temps,
- moindre intervention de l'ingénieur,
- meilleure précision des mesures,
- meilleure présentation des diagraphies,
- possibilité de calculs sur le chantier,
- système plus robuste.

9.3. Het CSU-systeem

Dit systeem heeft het conventionele systeem vervangen; het biedt volgende voordelen :

- tijdsbesparing;
- minder tussenkomst van de ingenieur;
- hogere precisie van de opmetingen;
- betere voorstelling van de diagrafiën;
- mogelijkheid tot berekeningen op de werf;
- steviger systeem.

Description

Ce système est organisé autour d'un processeur central (CPU). Un second processeur peut être utilisé dans l'éventualité d'une panne (fig. 23).

Le CPU est commandé par une bande programme montée sur l'un des deux enregistreurs magnétiques, le second servant à l'enregistrement des données.

Un clavier permet à l'ingénieur d'intervenir et de dialoguer avec le système.

Deux enregistreurs optiques permettent l'enregistrement simultané des diagraphies avec des présentations différentes.

Un moniteur vidéo permet de visualiser les diagraphies en cours sur 30 m de trou.

Un système de mesure de profondeur synchronise le fonctionnement de l'ensemble avec le mouvement du câble et donc les déplacements de la sonde dans le trou.

Enfin, un interface permet de convertir les signaux analogiques renvoyés par la sonde, dans une forme compatible avec le processeur central (CPU).

Cet interface est constitué d'une série de tiroirs particuliers à chaque type d'équipement de fond.

Ces tiroirs sont les seuls éléments du système qui nécessitent une manipulation pour passer d'un service à un autre.

Beschrijving

Dit systeem is georganiseerd rond een centrale processor (CPU). Een tweede processor kan gebruikt worden in geval van panne (fig. 23).

De CPU wordt bestuurd door een programmaband op een van de twee magnetische opnemers, waarbij de tweede dient om de gegevens te registreren.

Een toetsenbord maakt het de ingenieur mogelijk tussen te komen en met het systeem te dialogeren.

Twee optische registrators maken de gelijktijdige registrering mogelijk van de diagrafieën met verschillende voorstellingen.

Door een videomonitor kunnen de lopende diagrammen over 30 m put gevisualiseerd worden.

Een systeem voor dieptemeting synchroniseert de werking van het geheel met de beweging van de kabel en dus de verplaatsingen van de sonde in het gat.

Een interface tenslote maakt het mogelijk de analogische signalen die door de sonde worden teruggestuurd om te vormen in een vorm die verenigbaar is met de centrale processor (CPU).

Deze interface wordt gevormd door een reeks laden die bijzonder zijn aangepast voor elk type ondergrondse uitrusting.

Deze laden zijn de enige elementen van het systeem die een manipulatie vereisen om van een dienst naar een andere over te gaan.

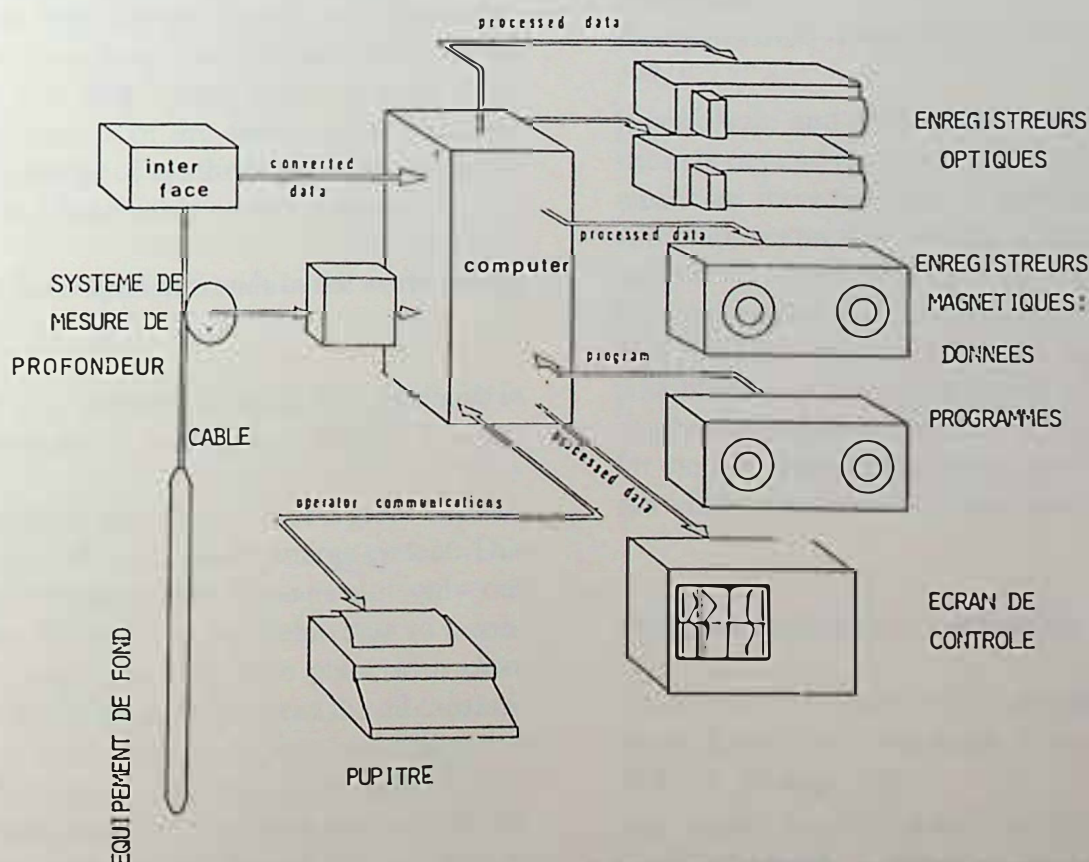


Fig. 23 — Système C.S.U. pour l'analyse des diagraphies
 C.S.U. -systeem voor de analyse van de diagrafieën
 Système de mesure de profondeur : diepte-meetsysteem
 Câble : kabel
 Equipement du fond : ondergrondse uitrusting
 Pupitre : klavier

Enregistreurs optiques : optische registrators
 Enregistreurs magnétiques : magnetische registrators
 Données : gegevens
 Programmes : programma's
 Ecran de contrôle : controlescherm

The first part of the report discusses the background and objectives of the study. It highlights the importance of understanding the factors that influence the performance of the system under investigation. The study aims to identify the key variables that affect the system's efficiency and to propose effective strategies to optimize its performance.

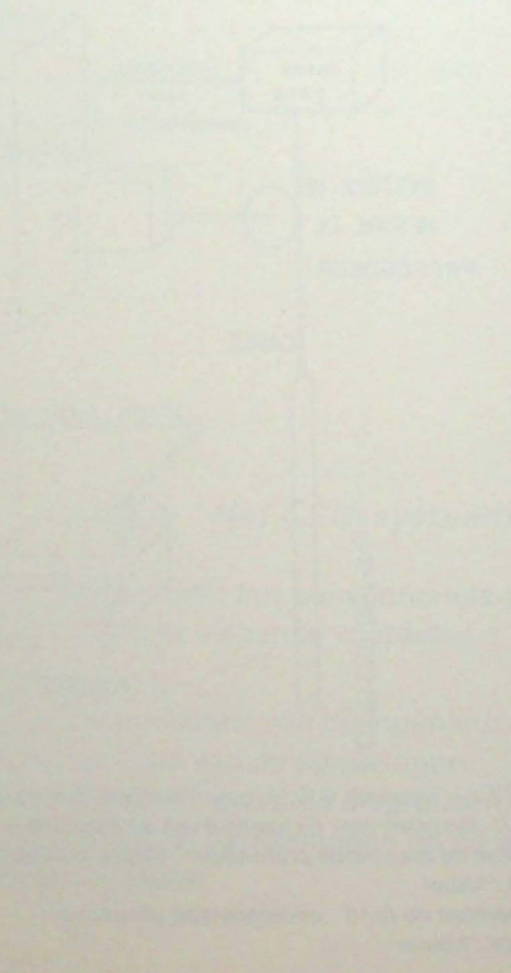
The methodology section describes the experimental setup and the data collection process. It details the parameters that were varied during the experiments and the methods used to measure the system's performance. The results of the experiments are presented in the following section, showing the impact of each variable on the system's efficiency.

The final part of the report discusses the conclusions and the implications of the findings. It suggests that the identified factors can be used to guide the design and optimization of similar systems. The study also highlights the need for further research to explore the relationship between the variables and the system's performance in more detail.

The second part of the report focuses on the analysis of the experimental results. It presents the data obtained from the experiments and discusses the trends observed. The analysis shows that the system's performance is significantly affected by the variation of the input parameters. The results indicate that there is a strong correlation between the input variables and the system's efficiency.

The analysis also identifies the optimal conditions for the system's performance. It shows that the system performs best when the input parameters are set to specific values. These findings are valuable for the design and optimization of the system, as they provide a clear indication of the factors that should be controlled to achieve the best results.

The conclusions drawn from the analysis are that the system's performance is highly sensitive to the input parameters. Therefore, it is essential to carefully monitor and control these parameters to ensure optimal performance. The study also suggests that further research is needed to explore the underlying mechanisms that govern the system's behavior and to develop more advanced optimization techniques.



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. I.H. Hogg, Head, Technical Information Service, IEA Coal Research, 14-15 Lower Grosvenor Place, London SW1W OEX, England.

COAL INDUSTRY

World energy - the fact and the future

Hedley D.

London, UK, Euromonitor Publications, 368 pp (1981)

A comprehensive appraisal of the world energy situation, and prospects for energy to the year 2000 are given. Examines how energy is used; fuel resources - where they are, how long they will last, which countries have the fuel and which countries need it the most; the implications of the energy crisis for transport; the development of synthetic fuels; the impact of conservation; and renewable energy sources.

Structures and development trends in the world energy system

Meller E.

Glueckauf; 117 (7); 398-401 (2 Apr 1981) Available in English in Glueckauf + translation; 117 (7); 178-181 (2 Apr 1981)

We are at present on the threshold of a great but also fascinating upheaval in the world energy system. This revolution will fundamentally change not only our industrial structure but also our behaviour as a consumer. This change can only take place with close cooperation and coordination between the oil consuming countries. It is of course clear that coal will play a decisive role. But at the same time it should be realized that we never know for how long and how freely the oil will flow and that we should not pin all our hopes on only one source of energy, in this case coal.

For all reasonable analyses show that every source of energy currently available, including nuclear energy, is necessary to get us through safely to the next century. (In German)

Possibilities and limits of petroleum substitution by coal and nuclear power

Penczynski P.

Energiewirtsch. Tagesfragen; 31 (5); 371-377 (May 1981)

If petroleum and natural gas, two energy sources that strongly depend on imports, are to be substituted, this means an increased use of coal and nuclear power. Although renewable energy sources can make some contribution, coal will be a central factor of all substitution measures. However, coal can fulfil this task only if nuclear power makes the highest contribution possible, e.g. in base load power generation and process heat generation. Further, if nuclear power is used for electric power generation, petroleum and natural gas will be available for other uses. (In German)

Prospects and limits of coalmining overseas

Esser F.H.

Glueckauf; 117 (16); 1031-1038 (20 Aug 1981) Available in English in Glueckauf + translation; 117 (16); 464-468 (20 Aug 1981)

The author briefly reviews world coal deposits, and examines trends in mining, preparation, and the infrastructure necessary for coal trade. (In German)

RESERVES & EXPLORATION

The Vibroseis system : a high-frequency tool

Chapman W.L. and others

Geophysics; 46 (12); 1657-1666 (Dec 1981)

Basic situations of the reflection seismic method may exist in data acquisition, data processing, and interpretation techniques. The authors discuss the data acquisition part of the method and in particular examine seismic-data acquisition using the Vibroseis system. Conoco's work on the development of the high-frequency vibrator is summarized, and examples are given of the use of high-frequency seismic data to define specific stratigraphic objectives. One example described is the seismic mapping of a coal seam at a depth of 530 ft.

Economic mineability and availability of hard coal occurrences in the world - interrelationships and developments

Fettweis, G.B.

Glueckauf; 117 (16); 1019-1031 (20 Aug 1981) Available in English in *Glueckauf + translation*; 117 (16); 456-464 (20 Aug 1981)

Conventional methods of opencast and underground mining will determine the technological availability of coal in the next 20 years. The author discusses the geological availability, economic mineability, and political availability of world coal resources. (In German)

Papers from the symposium on evaluation of North American coal resources

Symp. on the evaluation of North American coal resources Nov 1979. Geol. Soc. Am., Bull.; 92 (8); 519-577 (Aug 1981)

Articles based on papers presented at the symposium on 'the evaluation of North American coal resources' are published in this journal. The articles report, analyse and describe the multitude of inconsistencies, procedural disparities and problems of nomenclature and methodology that lie within the tonnage figures quoted for coal resources of USA and Canada. All eight articles are abstracted separately.

Canadian coal-resource terminology and evaluation methodology

Irvine J.A.

Geol. Soc. Am., Bull.; 92 (8); 529-537 (Aug 1981)

Deposits of Canadian coal are found in varied geographic and geologic conditions. The coal-resource classification scheme adopted by Canada acknowledges the differing conditions affecting feasibility of exploitation as well as parameters affecting assurance of existence. The classification scheme is described with particular reference to methods of ca-

tegorizing deposits of relatively undisturbed coal in the Plains area of western Canada. Methods include acquisition and interpretation of drill-hole information, computer storage, and manipulation of data and computer output of coal quantities in accordance with accepted resource parameters. A preliminary geostatistical study of a Western Plains deposit indicates that borehole density parameters employed to determine the level of assurance of existence yield estimates of coal quantity that are within $\pm 10\%$ for measured resources. (4 refs.)

MINING

The use of waste heat at Ruhrkohle AG

Asche V.

Glueckauf; 117 (15); 943-946 (6 Aug 1981) Available in English in *Glueckauf + translation*; 117 (15); 420-423 (6 Aug 1981)

All the heat sources in Ruhrkohle's mining, coal preparation and coking operations have been investigated and recorded. The heat in mine drainage water and ventilation air is at 30 C or less, and heat pumps would be needed to raise this temperature to at least 55 C if it were to be used for space heating or water heating. Heat from coke quenching or coke oven gas treatment could be used on-site or for district heating. Opportunities for the use of waste heat are discussed. (In German)

Shaft sinking record at Stillingfleet mine, Selby, England

Min. Mag., 145 (4); 264-275 (Oct 1981)

The record was achieved by Thyssen (Great Britain) Ltd. at Stillingfleet mine in the U.K. National Coal Board's major new Selby project. This article deals mainly with the achievement of this record, but includes a brief description of the overall project concept, other aspects of the shaft sinking, and work completed at the site to date.

Development and testing new actuated winning techniques

Henkel E.H.; Kraemer T.

Glueckauf; 117 (15); 919-925 (6 Aug 1981) Available in English in *Glueckauf + translation*; 117 (15); 412-414 (6 Aug 1981)

In order to increase winning performance, it is necessary to provide the winning machine with power in addition to that for haulage, to provide extra energy for breaking coal or rock. The following techniques might be used : a combination of high-pressure water jets and mechanical winning tools; impact tools; and oscillating tools. The status of development work in these fields is summarized. (In German)

Potential developments in longwall mining

Steinbach H.

Glueckauf; 117 (16); 1047-1054 (20 Aug 1981) Available in English in *Glueckauf + translation*; 117 (16); 473-476 (20 Aug 1981)

The author examines the present state of longwall mining technology and the objective to which research must be directed. (In German)

Dimensioning of the frozen zone of shafts in sand formations of type B-2, taking time into consideration

Klein J.

Glueckauf-Forschungsh.; 42 (3); 112-120 (Jun 1981)

The author discusses the behaviour of sandy ground as a function of time, and gives formulae for stress and deformation of ground governed by friction. The Drucker-Prager formula can be used to determine long-term resistance. Numerical examples are given of the dimensioning of frozen zones around shafts. (In German)

New trends in underground mine communications

Voige R.J.

CIM Bull.; 74 (835); 98-101 (Nov 1981)

The author reviews wired paper systems and wireless inductive communication systems which are now available or under development.

Practical experience gained during the extraction of thin seams in compressive ground at Anna Colliery

Arauner H.W.

Glueckauf; 117 (19); 1306-1311 (9 Oct 1981) Available in English in *Glueckauf + translation*; 117 (19); 582-585 (8 Oct 1981)

Strata behaviour in the Aachen coalfield has been studied at Emil Mayrisch Colliery. Extraction of thin seams at Anna Colliery is described. Various types of equipment were tried before successful methods were found. Retreat working has advantages, even in thin seams and compressive ground. Special shield supports have been developed for thin seams. (In German)

Basic investigations of the Turmag-shaft boring technique (Grundlagenuntersuchungen beim Turmag-Schachtbohrverfahren)

Wallussek H.

BMFT-FB-T - 81-139, FRG, Bundesministerium fuer Forschung und Technologie, 74 pp (Aug 1981)

Technical problems could only be overcome by systematic investigations and logical further development work in order to make full economic use of the advantages of shaft boring even with short boring length. Systematic logging of the total activity and analysis of problem areas was carried out. Performance improved compared to previous pro-

jects. The majority of the weak points could be eliminated; upward pilot drilling needs to be further improved. This technique enables boring of staple shafts of small and medium depths without too much of preparation work, economically and in attractively short time. However, an accurately positioned pilot borehole is required. (In German)

The effect of mining wider webs on a longwall face. In Longwall-shortwall mining, state-of-the-art

Guay P.J.; Ludlow J.

New York, NY, USA, American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Society of Mining Engineers, pp 223-234 (1981) Ramani R.V. (ed.)

The first study describes the limits and potential gains from taking deeper webs with presently available equipment. The second study discusses the conceptual design and benefits of a future system for taking very deep webs. (13 refs.)

Analysis of factors affecting the method, shape and reliability, and extent of mine roadways in relation to their duty (Report on ECSC contract 6220-AB/8/806)

Mining Research and Development Establishment

EUR-6944-e Luxembourg, Commission of the European Communities, 23 pp (1981)

Face gateroads are of two main types, those used for advancing longwall faces and those used for retreat working. Almost 80% of UK deep mined output is produced from longwall advancing faces, and the gateroads associated with them, unlike those for retreat faces, are formed in zones of high stress behind the face and must be maintained for long periods in such zones. Factors affecting the method, shape and reliability, and extent of these roadways in relation to their duty and their affect on roadway design are considered. Field studies carried out at four collieries provide a basis for comparing the improvements obtained by packstrengthening and different roadway positions in relation to the seam and the face line. Designs in the main are based on past experience; the performance and stability of different face roadway designs and operations are interpreted and evaluated with the aid of computers in order to ensure that the maximum amount of information is available for decision making.

Improving the reliability of hydraulic support controls

Graewe F.

Glueckauf; 117 (15); 929-932 (6 Aug 1981) Available in English in *Glueckauf + translation*; 117 (15); 417-419 (6 Aug 1981)

Back-pressure build-ups affect the behaviour of pre-set valves. The design and function of various types of valve are described. Back-pressure sensitivity is go-

verned not only by valve design, circuit arrangements, but also to a considerable extent by service conditions. The paper shows how sensitivity can be reduced. (In German)

Amount of support metal required for roadways with yielding arch supports

Kammer W.

Glueckauf; 117 (15); 933-934 (6 Aug 1981) Available in English in Glueckauf + translation; 117 (15); 419-420 (6 Aug 1981)

The analysis of observations in roadways has resulted in formulae which allow the amount of support steel required per cubic metre of roadway excavation to be calculated as a function of the convergence and the floor coefficient. Additional formulae and diagrams are given for calculating the sectional weight and the interval between arches as a function of the finished roadway cross-section and the amount of support steel. (In German)

Backfilling and pack building as factor in the planning of gateroads

Kammer W.

Glueckauf; 117 (17); 1088-1090 (3 Sep 1981) Available in English in Glueckauf + translation; 117 (17); 489-490 (3 Sep 1981)

The author discusses the influence of roadside packs, seam thickness, and floor hardness on convergence. (In German)

The behaviour of backfilled roadway supports during underworking of a lateral at the Rheinland Combined Mine

Krahe J.

Glueckauf; 117 (17); 1093-1096 (3 Sep 1981) Available in English in Glueckauf + translation; 117 (17); 491-493 (3 Sept 1981)

Roadways loaded as a result of large changes in rock pressure cannot be maintained by rigid arch supports, even if they are strengthened by backfilling guniting. If yielding arch supports are used, backfilled with packing and filling materials, an adequate cross-section can often be maintained by dinting. Backfilled yielding arch supports proved successful at Rheinland Colliery. (In German)

Experiences with strata bolting and roadside packs at Niederberg Colliery

Keck G.

Glueckauf; 117 (17); 1104-1107 (3 Sep 1981) Available in English in Glueckauf + translation; 117 (17); 498-499 (3 Sep 1981)

A top road was used for strata bolting trials. It is necessary to set a solid pack, always keeping it close to the face line. It is advisable to calculate rock pressures

at the planning stage before drivage begins: zones of additional pressure will need extra bolts and double wire mesh mats. Bolted roadways are cheaper than those with conventional supports, and have other advantages. (In German)

Underground locomotives and their characteristics

Fausser H.

Glueckauf-Forschungsh; 42 (3); 98-111 (Jun 1981)

The author compares electric and diesel locomotives, and discusses mechanical and hydraulic transmission. The adaptation of engines for underground uses is described. (In German)

Planning the supply of packing and filling materials for the Haus Aden Colliery

Luelf W.

Glueckauf; 117 (17); 1096-1098 (3 Sep 1981) Available in English in Glueckauf + translation; 117 (17); 493-495 (3 Sep 1981)

The author shows the planning steps taken when planning supply installations for packing and filling materials. At Haus Aden, the main roadway axes of the individual panels are covered by a centrally-fed pipe system. Tests are being carried out on the transport of granular materials and powders. (In German)

Development, construction and testing of reliable monitoring devices for shaft guides. (Report on ECSC contract 6220-AE/1/104)

Versuchsgrubengesellschaft mbH

EUR - 7181-d Luxembourg, Commission of the European Communities, 169 pp (1981)

Work under the research project involved the development and testing of a variety of measuring equipment designed to monitor the safety of guide systems (in particular rigid guides). Measuring rollers were constructed to determine the guide force. Measuring devices are available for use in various systems. Instead of measuring force it is possible to measure acceleration. A report is being drawn up on the information value of acceleration measuring and how it works. To carry out geometrical measurement (the distance between guides, wear on them) non-contact measuring systems were tested. Work continued on a contact roller system. It was possible to determine the verticality of the guides using a pneumatic following system. A measuring and transmission system was developed to determine rope forces in a multirope winding installation. There is discussion on the safety aspects of rope guides and also on the problems of data transmission in shafts, as well as a description of the processes and equipment used to evaluate stochastic measurement signals. (In German)

Safety monitoring of mine ventilation

Eicker H.; Kartenberg H.J.

Glueckauf-Forschungsh.; 42 (4); 146-153 (Aug 1981)

The authors investigated the influence of mine air composition on measuring errors in methane monitoring and alarm systems. A computerized fire detection system is described. Methane and air speed are also monitored, and the risk of a gas outburst can be predicted by monitoring methane release after shotfiring. The spread of coal dust explosion fumes against the ventilation airflow has been studied. The fumes travel further than the explosion flames. (In German)

A novel method for the underground disinfection of mine water by in situ chlorine generation

Marsden D.D.; Kun L.E.

J.S. Afr. Inst. Min. Metall.; 81 (8); 233-238 (Aug 1981)

The standard method of disinfection of water in South African mines is treatment with calcium hypochlorite, although liquid sodium hypochlorite is used at a few sites. Primarily because the process depends on human control for the addition of the hypochlorite and the regulation of its flow, it is frequently difficult to disinfect mine water adequately and continuously. The electrolysis of brine can be operated as a continuous process and needs no human control apart from occasional checking. This paper describes the successful use of this system at four underground sites. After severe scaling problems had been overcome, a procedure resulted that chlorinates considerably more effectively than the hypochlorite system, and that has a lower amortised operating cost.

Methods used to combat fire-damp (Report on ECSC contract 7220-AC/302)

Cerchar

EUR - 6839-f Luxembourg, Commission of the European Communities, 19 pp (1980)

In order to determine maxima and minima of fire-damp release as well as the degassing coefficients, direct measurements of gas concentration were made by means of boreholes in the roof and coal seams before exploitation, and 6 months after. A method for defining « normal » conditions was established, but had to be amended to take account of the peculiarities in stratigraphy or the means of exploitation. A computer program was designed to forecast fire-damp release in workings opened up in extended or porous deposits. Where regular release of fire-damp occurs, methods of control were tried. Also, work was started to find the best means of removing fire-damp released from the walls of seams. A method was developed for measuring the pressure of fire-damp in the gas ducts. Experiments were carried out to find the best means for coping with the packet for fire-damp released through shot-firing. (In French)

The use of cutter discs in mining operations

Plum D.; Seeger J.

Glueckauf; 117 (15); 925-927 (6 Aug 1981) Available in English in *Glueckauf + translation*; 117 (15); 414-415 (6 Aug 1981)

Underground tests have shown that the use of narrow picks and a reduction in the number of picks on the drum can improve the coalgetting performance of a drum shearer-loader by up to 45 %. Reductions in the number of picks reduced the proportion of fines by up to 25 % and the fine dust make per cubic metre of coal was reduced by 45 %. When working with a reduced number of picks, the picks must be checked more carefully. A cutting disc can have an even smaller number of picks than a drum, and coal getting performance increases, but snaking of the conveyor is a problem, and ribs of coal must be removed from the flow with a clearance plough. (In German)

PREPARATION

Future changes in the design of coal preparation plant

Morris G.F.

Colliery Guardian; 229 (11); 541-542 (Nov 1981)

The author surveys the new types of preparation equipment available and suggests ways of reducing installation and operating costs. Demand for coal as an industrial fuel, largely in the form of washed doubles/singles and washed smalls, is expected to increase.

Cleaning of fines by a novel double-frequency pulse jig

Fellensiek E.

Glueckauf-Forschungsh.; 42 (3); 130-136 (Jun 1981)

The Cortix jig, which operates on a different principle from the usual jigs, is described, and its performance is evaluated. The jig economically cleans fines with a high separation accuracy. (In German)

Cleaning of steam coal prior to combustion in Sweden. In Optimisation of coal recovery

Carlson R.; Forssberg E.

1. Australian coal preparation conf., Newcastle, NSW, Australia, 6-10 Apr 1981. Australia, Coal Preparation Societies of New South Wales and Queensland, pp 23-44 (1981) Swanson A.R. (ed.)

Experiments on the desulfurization of coal prior to combustion in power plants, hot-water boiler houses and combined heat and power plants in Sweden, are described. Flowsheets, possible results, projected capital investments and operating costs for coal cleaning are given. Coals from Poland, South Africa, and Spitsbergen were used in washability tests. A number of flotation tests were also made. It is believed that

coal cleaning prior to combustion will provide a realistic alternative, and a complement to flue gas desulfurization. (16 refs.)

Dewatering of fine coal by screen bowl centrifuge. In Optimisation of coal recovery

Swanson A.R.; Armstrong L.W.

1. Australian coal preparation conf., Newcastle, NSW, Australia, 6-10 Apr 1981. Australia, Coal Preparation Societies of New-South Wales and Queensland, pp 134-154 (1981) Swanson A.R. (ed.)

The use of screen bowl centrifuges for dewatering of raw coal fines was studied at both pilot and plant scale. A significant reduction in moisture, compared to that obtained by vacuum filtration, was achieved, although such reductions in moisture levels were at the expense of a much lower solids recovery. Aspects of plant performance are discussed in the paper, which also contains descriptions of pilot scale studies into the effect of some input variables. (5 refs.)

TRANSPORT & HANDLING

Hydrotransport of solids in horizontal pipes : effects of solids concentration and particle size on the deposit velocity

Parzonka W. and others

Can. J. Chem. Eng.; 59(3); 291-296 (Jun 1981)

Correlations previously proposed in the literature for the deposit velocity in the flow of settling slurries in horizontal tubes generally predict increasing values with increasing solids concentration. However, the present investigation, which has drawn on data from a broad geographical base, confirms that the deposit velocity shows a maximum with respect to concentration and decrease above about 15 % by volume solids. It is also shown that the presence of fine particles ($<75/\mu\text{m}$) is particularly significant in determining the degree of the reduction in the deposit velocity for the higher concentrations. This reduction would appear to be due primarily to a significant increase in the drag coefficient for particles settling in a fine particle suspension, i.e. heavy medium. The data are summarised in graphs for a variety of materials, including coal.

PROCESSING

Coal upgrading

Beier E.

Bergbau; 32(10); 628-630 (Oct 1981)

It is possible to convert coal and brown coal by means of different processes into heating gases, motor fuels

and chemical products. If the price of oil continues to rise, it will become economically viable to produce these products from coal. The author shows that in addition to the profitability aspect, other points of view should be taken into consideration. It becomes apparent from the article that we can expect the construction of a limited number of coal conversion plants in Germany. (In German and in English)

Hydrogenation of oil derived from Saar coal to motor fuel

Jacobson T.; Gallei E.

Erdoel Kohle, Erdgas, Petrochem. Brennst.-Chem.; 34(10); 447-450 (Oct 1981)

Processing comprises three stages: refining, hydrocracking, and reforming. Because of the high nitrogen content, the refining process must be carried out at higher pressures than are used for the corresponding petroleum fraction, in order to achieve the low nitrogen content (5-10 ppm) in the middle oil fraction which is required in hydrocracking feedstocks. In the hydrocracking stage noble metal zeolite catalysts were employed. Concerning the reforming, the catalyst and operation conditions were similar to those used in petroleum naphtha reforming. The resulting product is a gasoline fraction which shows premium gasoline quality without any lead additive. It differs from a gasoline in commercial use in the higher specific gravity, caused by the higher content of aromatic compounds. Further processing routes to other products like petrochemicals (aromatics) or diesel - and heating fuel are mentioned. (In German)

Coal conversion by the hydrogen produced from methanol. In Proceedings of the international conference on coal science

Mondragon F.; Makabe M.; Itoh H.; Ouchi K. (Hokkaido University, Sapporo, Japan)

Int. conf. on coal science, Duesseldorf, FRG, 7-9 Sep 1981. Essen, FRG, Verlag Glueckauf, pp 562-566 (1981) Paper C-39

Preliminary results are presented on the reaction between the hydrogen produced from methanol decomposition of methanol and coal in the presence of an hydrogenation catalyst. The decomposition of methanol over $\text{ZnO-Cr}_2\text{O}_3$ proved to be a good source of active hydrogen and the required amount of methanol is relatively small. (3 refs.)

Coal pyrolysis in a continuous fluidised bed. In Proceedings of the international conference on coal science

Ramakrishnan N.N. (BHEL, Hyderabad, India)

Int. conf. on coal science, Duesseldorf, FRG, 7-9 Sep 1981. Essen, FRG, Verlag Glueckauf, pp 633-640 (1981) Paper D-7

Describes work carried out on a fluidized bed pyrolysis process development unit using coal from Singareni and Talcher coal fields in India. The emphasis has been on yield and quality of char and tar, particularly suitable for production of briquets. In particular, the effects of mean solids residence time, carbonization temperature and reactant ratio are discussed. The development of a kinetic model is described. (10 refs.)

From conventional coal mining to in situ gasification of coal

Ledent P.

Glueckauf-Forschungsh.; 42 (4); 154-164 (Aug 1981)

The author discusses German-Belgian work on underground gasification, and indicates how the technique could be applied to deep, thin seams. (In German)





Bibliography

TRACE ELEMENTS FROM COAL COMBUSTION - ATMOSPHERIC EMISSIONS. IEA Coal Research. ICTIS/BIB/02. March 1982. 33 p. ISBN 92-9029-073-0. IEA Coal Research, 14/15 Lower Grosvenor Place, London SW1W OEX. Price : £ 10 (within member countries of IEA/TIS); £ 20 (in non-member countries) + £ 2 for airmail postage outside Europe.

In May 1979 IEA Coal Research Technical Information Service published a critical review of the literature on atmospheric emissions of trace elements from coal combustion by M.Y. Lim (report number ICTIS-TR-05).

In this publication a review of the literature relating to trace elements in coal combustion, including data on trace element concentrations in coal, is presented from the viewpoint of atmospheric pollution. Comparisons are also made with atmospheric emissions from other sources. Environmental effects and potential health hazards are discussed. The literature on radioactive emissions and trace element accumulation around power plants is also reviewed. A brief summary is given of types of equipment used for particulate control in power plants. It is concluded that the importance of pollution from coal combustion will depend upon the establishment of regulations for emission control and on how far power plants comply with these regulations.

Although this report has proved to be a popular and useful introduction to the subject it is not possible to update it by preparing a second edition at this time. This bibliography has therefore been compiled to supplement the reference list in the report and bring it up to date.

STACH'S TEXTBOOK OF COAL PETROLOGY. Troisième édition révisée et complétée par E. Stach, M.Th. Mackowsky, M. Teichmüller, G.H. Taylor, D. Chandra, R. Teichmüller. Traduction anglaise par D.G. Murchison, G.H. Taylor et F. Zierke. Ed. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart 1982. XIV, 535 pages, 6 planches, 3 en couleurs, 204 figures, 49 tableaux. Prix : DM 134 - US \$ 63.

Depuis la parution de la deuxième édition du « Stach's Textbook » en 1975, la pétrographie des charbons a connu un développement extrêmement rapide à la fois dans les techniques et les méthodes et

dans les applications aux problèmes géologiques et industriels. Les auteurs ont estimé qu'une édition complètement revue du Textbook ne se justifiait pas actuellement : les additions à l'édition précédente (109 pages, 5 planches, 45 figures et 10 tableaux) sont présentées comme supplément en fin des chapitres originaux concernés dont le texte est inchangé.

L'ouvrage est divisé en cinq parties traitant de façon détaillée et complète des sujets suivants : origine, formation et évolution du charbon; origine, formation et évolution des constituants pétrographiques; méthodes et techniques d'étude; application à la géologie et à la technologie.

Parmi les développements récents, citons les nouvelles informations concernant le faciès du charbon et l'origine de ses constituants et concernant la microscopie en fluorescence des charbons, des schistes bitumineux et des roches-mères de pétrole. En ce qui concerne la recherche pétrolière, les développements les plus importants résultent de l'intégration des études en pétrographie du charbon et en géochimie organique.

Les techniques microscopiques pour la détermination du rang, appliquées à différentes roches, sont utilisables dans la plupart des bassins sédimentaires pour évaluer le degré de diagenèse et de métamorphisme, pour retracer l'histoire tectonique et pour estimer les gradients paléogéothermiques. En géologie pétrolière, cette technique est largement acceptée comme la meilleure mesure de la maturité des roches-mères. Les auteurs donnent de nombreux exemples d'application de cet élargissement de la pétrographie des charbons au sens strict vers une « pétrographie organique » dans un sens beaucoup plus large.

D'autres développements récents de la pétrographie des charbons concernent les procédés techniques de carbonisation et de liquéfaction.

Cet ouvrage fondamental dresse donc un bilan très complet des connaissances actuelles dans le domaine de la pétrographie des charbons et de la matière organique, principes, méthodes et applications, et intéresse non seulement les scientifiques du charbon mais aussi les géologues, géophysiciens et pétrographes dans des domaines voisins.

ANNOUNCEMENT

9th INTERNATIONAL CONGRESS ON COAL PREPARATION,
New Delhi, India, 29 November-4 December 1982.

The theme of the Congress is the challenge in the preparation of difficult coals.

The topics to be discussed will include : pretreatment of washery feed - modern approach to design of washery layout, circuits and systems - problems of preparation of fine coal - automation and quality control - benefits of preparation for power generation - environmental control in coal preparation - disposal and utilisation of waste products.

In English, Russian, German, French. Fee US \$ 300. Post-congress tours to research institutes, coal preparation plants in coal fields.

Contact : Coal India Ltd, 10 Netaji Subhas Road,
Calcutta 700 001, India. Tel. : Calcutta 224653.
Telex : CA 7180. Telegram : Coalindia.

Contact :
- For Belgium : M.H. van Duyck
Iniex, rue du Chéra 200
B 4000 Liège. Tél.: (041) 52 71 50
Telex : 411 28 Iniex B
- Coal India Ltd, 10 Netaji Subhas Road, Calcutta
700 001, India. Tel. : Calcutta 224653. Telex : CA
7180. Telegram : Coalindia.

Annales des Mines de Belgique

Annalen der Mijnen van België

P 3770



Publication de l'Institut National
des Industries Extractives et de
l'Administration des Mines

Publikatie van het Nationaal Instituut
voor de Extractiebedrijven en het
Bestuur van het Mijnwezen

Direction-Rédaction

Institut National
des Industries Extractives
B-4000 Liège, rue du Chéra, 200

Directie-Redactie

Nationaal Instituut
voor de Extractiebedrijven
Tél. (041) 52 71 50

Edition - Abonnements

Publicité

Editions Techniques
et Scientifiques

Uitgeverij - Abonnements

Advertenties

Technische en Wetenschappelijke
Uitgaven

B-1050 Bruxelles
Rue Borrens, 35-43
Tél. (02) 640 10 40

B-1050 Brussel
Borrensstraat, 35-43
Tel. (02) 640 10 40

Les articles publiés dans cette revue
n'engagent que la responsabilité
de leurs auteurs

De artikels gepubliceerd in dit tijdschrift
verschijnen onder de verantwoordelijkheid
van hun auteurs

Reproduction, adaptation et
traduction autorisées en citant
le titre de la Revue, la date et l'auteur.

Reproductie, bewerking en vertaling
toegelaten met aanhaling van het
Tijdschrift, de datum en de auteur.

1331

2516000

2516000

2516000

2516000

2516000

2516000

2516000

2516000

2516000

2516000

2516000

2516000

2516000

2516000

2516000

2516000

2516000

