

# Annales des Mines

DE BELGIQUE



# Annalen der Mijnen

VAN BELGIE

Direction - Rédaction :

INSTITUT NATIONAL DES  
INDUSTRIES EXTRACTIVES

Directie - Redactie :

NATIONAAL INSTITUUT VOOR  
DE EXTRACTIEBEDRIJVEN

4000 LIEGE, 200 rue du Chéra — Tél. (041) 52 71 50

M. King HUBBERT : Rôle de la géologie dans la transition vers une société industrielle mûre. - De rol van de geologie bij de overgang naar een rijpe industriële maatschappij. — Y. DURAND : Problèmes relatifs à l'usinage des pierres par rectification sur machine-outil à table tournante et meule boisseau. — Apport des techniques récentes en palynologie, Liège, septembre 1977 : Exposés par Y. SOMERS et M. STREEL, P. COUR et D. DUZER, P. VAN GIJZEL. — INIEX : Revue de la littérature technique. Communiqués.

# Le planning des entreprises de travaux publics commence ici.

Si votre entreprise est engagée dans les travaux publics, l'entretien des services publics et municipaux, ou l'achat du matériel de construction, ne manquez surtout pas l'Exposition des Travaux Publics 1978.

Les principaux fabricants internationaux du matériel de construction et de nombreux fournisseurs de services municipaux participent à l'exposition et exposent leurs produits et techniques les plus récents.

L'Exposition est votre meilleure opportunité de voir avant 1980 tout ce qui est nouveau dans ces domaines.

Profitez-en!

# 1978

## EXPOSITION DES TRAVAUX PUBLICS

NATIONAL EXHIBITION CENTRE  
BIRMINGHAM · ANGLETERRE  
13-18 NOVEMBRE 1978



Contactez directement les Organisateur, ou bien votre agence la plus proche, pour vos billets d'entrée et réservations de séjour et voyage à Londres ou Birmingham.\*

The Municipal Agency Limited  
178-202 Great Portland Street  
London W1N 6NH, Angleterre  
Téléphone: 01-637 2400  
Télex: 262568

Agence Voyages de la Banque  
Bruxelles Lambert SA  
Rue du Luxembourg 16  
B1040 Bruxelles  
Tel: 02 513 8181. Telex: 24896

\*Birmingham est à une heure environ de  
Londres par train ou auto



# ANNALES DES MINES

DE BELGIQUE

n° 7-8 — juillet-août 1978

# ANNALEN DER MIJNEN

VAN BELGIE

nr. 7-8 — juli-augustus

Direction-Rédaction :

**INSTITUT NATIONAL  
DES INDUSTRIES EXTRACTIVES**

4000 LIEGE, 200, rue du Chéra — TEL. (041) 52 71 50

Directie-Redactie :

**NATIONAAL INSTITUUT  
VOOR DE EXTRACTIEBEDRIJVEN**

## Sommaire - Inhoud

- M. King HUBBERT : Rôle de la géologie dans la transition vers une société industrielle mûre.  
De rol van de geologie bij de overgang naar een rijpe industriële maatschappij . . . . . 789

### APPORT DES TECHNIQUES RECENTES EN PALYNOLOGIE

Liège, 19-23 septembre 1977

- Y. SOMERS et M. STREEL : Spores du sommet du dévonien à Langenaubach (synclinal de la Dill, RFA). Relations entre la conservation des spores, le pouvoir réflecteur de la vitrinite et des intrusions diabasiques . . . . . 817
- P. COUR et D. DUZER : La signification climatique, édaphique et sédimentologique des rapports entre taxons en analyse pollinique . . . . . 825
- P. van GIJZEL : Recent developments in the application of quantitative fluorescence microscopy in palynology and palaeobotany . . . . . 835
- INIEX : Revue de la littérature technique . . . . . 853
- Communiqués . . . . . 868

*Reproduction, adaptation et traduction autorisées en citant le titre de la Revue, la date et l'auteur.*

EDITION - ABONNEMENTS - PUBLICITE - UITGEVERIJ - ABONNEMENTEN - ADVERTENTIES  
1050 BRUXELLES ● EDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES ● 1050 BRUSSEL  
Rue Borrens, 35-43 - Borrensstraat — TEL. 640 10 40

ANNALES  
DES MINES

ANNALES  
DES MINES

PARIS  
MUSÉE NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE  
BOULEVARD DES MINEURS

PARIS  
MUSÉE NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE  
BOULEVARD DES MINEURS

Le Directeur des Entreprises  
de Travaux Publics commença ici.

1978

EXPOSITION DES  
TRAVAUX  
PUBLICS

EXPOSITION DES TRAVAUX PUBLICS  
MUSÉE NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE  
BOULEVARD DES MINEURS  
PARIS

## Rôle de la géologie dans la transition vers une société industrielle mûre \*

## De rol van de geologie bij de overgang naar een rijpe industriële maatschappij \*

M. King HUBBERT \*\*

### RESUME

*De l'augmentation du savoir scientifique et du développement parallèle de la technique résulte — nous en sommes les témoins — la croissance exponentielle de tous les facteurs déterminant la forme des sociétés humaines.*

*L'analyse de cette situation montre clairement que la Terre ne peut pas supporter une croissance industrielle ou biologique dépassant quelques exposants de dix et que la majeure partie de cette croissance possible est déjà réalisée.*

*Du côté biologique, on peut s'attendre à des effets ralentissants normalement caractérisés par*

- a) la limitation de la nourriture,
- b) la limitation de l'espace vital,
- c) la pollution,
- d) les relations ravisseur - proie.

*Dans le cas de la croissance industrielle, qu'il s'agisse d'automobiles ou d'usines électriques, des facteurs limitatifs analogues doivent avoir la même efficacité.*

*Jusqu'à présent, la croissance de nos industries a été dépendante des ressources minérales et des combustibles fossiles. Ceux-ci seront épuisés dans quelques centaines d'années. Le développement des sociétés humaines aura donc à passer à un état d'équilibre écologique, dans lequel toute source d'énergie sera épuisée. Cette transition de notre état*

### SAMENVATTING

*Als gevolg van de toenemende wetenschappelijke kennis en de gelijktijdige ontwikkeling van de technologie, is een exponentiële groei waar te nemen van alle factoren die bepalend zijn voor de menselijke samenleving.*

*Analyseert men deze situatie, dan kan duidelijk worden aangetoond dat de Aarde niet langer een industriële of biologische groei van meer dan enkele exponenten van tien kan verdragen en dat het grootste deel van deze mogelijke groei reeds werd bereikt.*

*Op biologisch vlak mag men vertragende invloeden verwachten, die gewoonlijk gekenmerkt worden door:*

- a) beperktheid van de voedselvoorraden,
- b) beperktheid van de levensruimte,
- c) milieuverontreiniging of
- d) jager-buit verhoudingen.

*Op het vlak van de industriële groei, zij het door auto's of elektrische centrales, moeten gelijkaardige begrenzingsfactoren gaan spelen.*

*Tot op heden was de groei van onze industrie afhankelijk van delfstoffen en fossiele brandstoffen. Over enkele honderden jaren zullen die voorraden uitgeput zijn. De ontwikkeling van de menselijke samenleving zal in een toestand van ecologisch evenwicht moeten overgaan, op voorwaarde dat een krachtige energiebron wordt gebruikt. Deze overgang*

\* Cet article a paru en anglais dans la revue « Geologische Rundschau », Band 66/3 (1977), pages 654/678.

\*\* Dr. M. King Hubbert, 5208 Westwood Drive, Washington, D.C. 20016, USA.

\* Dit artikel is verschenen in het tijdschrift « Geologische Rundschau », Band 66/3 (1977), blz. 654/678.

\*\* Dr. M. King Hubbert, 5208 Westwood Drive, Washington, D.C. 20016, USA.

passé et présent dans le proche avenir pourrait sous des conditions contrôlées être prospère. Mais il n'est point exclu qu'elle prenne une forme catastrophique. L'espèce humaine s'en retournerait à une vie primitive caractérisée par une faible consommation d'énergie, comparable à la vie de nos ancêtres.

En ce qui concerne les problèmes des sociétés humaines, il me paraît que les sciences géologiques ont vécu deux âges fondamentalement différents au cours de leur histoire. Le premier, de 1785 à 1885, peut être évoqué par les noms de Hutton, Lyell et Darwin. On lui doit une des plus grandes révolutions intellectuelles ou une forte progression de la connaissance humaine dans les sciences naturelles. Le deuxième comprend presque les cent dernières années, et revêt un caractère utilitaire. Les géologues, pendant cette période, ont contribué fondamentalement au développement industriel en découvrant les ressources en minerais et combustibles qui lui sont indispensables; ils étaient des agents au service du commerce et de l'industrie, et rarement ils ont mis en question ou refusé le canon fondamental de la culture contemporaine, la croissance exponentielle.

Quant au troisième âge dans lequel nous entrons aujourd'hui, il faut espérer que la contribution essentielle de la géologie sera de nouveau une contribution intellectuelle. Les transformations nécessaires des sociétés humaines demandent de surmonter les dogmes encore dominants des théories économiques et sociales, effort aussi grand que celui de Lyell et Darwin qui avaient à se libérer des dogmes religieux de leur temps.

Pour autant que la pensée géologique soit renouvelée dans une reconsidération de l'évolution terrestre sous les différents aspects de la physique, de la chimie et de la biologie, dans une conception où l'histoire géologique ne se termine pas avec le Pléistocène, mais va se poursuivant à travers le présent au futur, les géologues pourront jouer de nouveau un rôle intellectuel de premier rang.

van onze vroegere en huidige toestand naar de nabije toekomst kan, in controleerbare voorwaarden, goed verlopen. Het is echter evengoed mogelijk dat hij catastrofaal verloopt. In dat geval is het vrijwel zeker dat het mensdom moet terugkeren naar een primitieve bestaansvorm met laag energieverbruik — een levensvorm die niet zoveel verschilt van die van onze voorouders.

Wat de problemen van de menselijke samenleving betreft, meen ik te mogen stellen dat de geologische wetenschap in de loop van haar geschiedenis twee fundamenteel verschillende fasen doorgemaakt heeft. De eerste fase liep van 1785 tot 1885 en is verbonden met namen als Hutton, Lyell en Darwin. Tijdens die fase vond een van de grootste revoluties plaats, een enorme vooruitgang van de menselijke kennis op het vlak van de natuurwetenschappen.

De tweede fase omvat vrijwel de laatste honderd jaar en was hoofdzakelijk van utilitaristische aard. Tijdens deze periode hebben geologen aanzienlijk bijgedragen tot de industriële groei doordat ze erts- en brandstofbronnen ontdekten die deze groei in de hand werkten. Zij waren handlangers van handel en nijverheid en slechts zelden betwistten of veroordeelden zij de basiscanon van de hedendaagse cultuur van de exponentiële groei.

Voor de derde fase die we thans intreden hopen wij dat de wezenlijke bijdrage van de geologie eens te meer van intellectuele aard zal zijn. De overgang van de tweede naar de derde fase vereist een verwerping van de heersende dogma's op sociaal en economisch gebied, zoals ook Lyell en Darwin zich moesten bevrijden van de religieuze dogma's in hun tijd.

Indien de geologische theorie kan vernieuwd worden door een opnieuw in overweging nemen van de aardse ontwikkeling in haar natuurkundige, scheikundige en biologische aspecten, om te komen tot een opvatting waarin de geologische geschiedenis niet eindigt met het Plistoceen, maar zich voortzet in het heden en in de toekomst, dan zullen de geologen opnieuw een leidende intellectuele rol kunnen spelen.

## ZUSAMMENFASSUNG

Als Resultat der Zunahme naturwissenschaftlicher Erkenntnis und gleichzeitiger Entwicklung der Technik beobachten wir ein exponentielles Wachstum bei allen unseren Gesellschaften bestimmenden Faktoren.

Analysiert man diese Situation, so läßt sich leicht beweisen, daß die Erde von sich aus das Wachstum einer biologischen oder industriellen Aktivität nicht länger als einige Zehner von Verdoppelungen verträgt und daß der größte Teil der möglichen Verdoppelung sich bereits ereignet hat. Im biologischen Fall sind

## SUMMARY

As a result of the increasing scientific knowledge and parallel development of technology, we are witnessing an exponential growth of all factors that determine the shape of society.

Analysis of this situation makes it easy to prove, that the Earth is no longer, spontaneously, capable of sustaining an industrial or biological growth of more than a few powers of ten and that the major part of this feasible increase has already been attained.

retardierende Einflüsse zu erwarten; sie haben gewöhnlich den Charakter von (a) Begrenztheit der Nahrung und (b) des Lebensraumes, (c) Verunreinigung oder (d) Jäger-Beute-Beziehungen.

Für das industrielle Wachstum, sei es von Autos oder von Kraftwerken, müssen analoge Faktoren der Begrenzung wirksam werden.

Unser industrielles Wachstum beruhte bisher auf Mineralressourcen und fossilen Brennstoffen. In wenigen hundert Jahren werden diese Vorräte erschöpft sein. Die Entwicklung der menschlichen Gesellschaft muß in einen Zustand des ökologischen Gleichgewichts übergehen, wobei eine gewaltig ergiebige Energiequelle Voraussetzung ist. Der Übergang von unserem Zustand in Vergangenheit und Gegenwart in den Zustand der nahen Zukunft kann in kontrollierter Weise vonstatten gehen. Es ist aber ebensogut möglich, daß er sich in Form einer Katastrophe ereignet. Es ist so gut wie sicher, daß die menschliche Spezies im letzteren Fall zu einer primitiven Form der Existenz mit niedrigem Energieverbrauch zurückkehren müßte, einer Form des Lebens, die der unserer Vorfahren vor wenigen Generationen nicht unähnlich wäre.

Ich stelle die These auf, daß die geologische Wissenschaft während ihrer Geschichte bezüglich der Probleme der menschlichen Gesellschaft zwei grundsätzlich verschiedene Phasen durchgemacht hat. Die erste Phase dauerte von 1785 bis 1885 und ist mit den Namen von Hutton, Lyell und Darwin verbunden. Sie war verantwortlich für eine der größten intellektuellen Revolutionen oder Fortschritte der menschlichen Erkenntnis in der Geschichte der Naturwissenschaften. Die zweite Phase währte im wesentlichen während der letzten hundert Jahre und war hauptsächlich von utilitaristischem Charakter. Geologen haben während dieser Periode gründlich zum industriellen Wachstum beigetragen, indem sie die Mineral- und Brennstoffressourcen entdeckten, die dieses Wachstum anheizten. Sie taten dies aber als Handlanger von Handel und Industrie, wobei sie nur selten den zugrunde liegenden Kanon der zeitgenössischen Kultur des exponentiellen Wachstums in Frage stellten oder ablehnten.

Für die dritte Periode, in die wir jetzt eintreten, besteht die Hoffnung, daß der wesentliche Beitrag der Geologie wieder ein intellektueller werden kann. Der Übergang von der zweiten zur dritten Phase verlangt indessen eine ebenso entschiedene Abkehr von den Dogmen der heute geltenden sozialen und ökonomischen Theorien, wie sie für Lyell und Darwin bezüglich der Dogmen der Religion ihrer Zeit erforderlich war.

Falls die geologische Theorie erneuert werden kann zu einer Betrachtung der terrestrischen Entwicklung in physikalischer, chemischer und biologischer Hinsicht,

In the biological case, retarding effects are expected.

They are normally characterised by

- a) limitation of nutrition
- b) limitation of living space
- c) pollution, or
- d) predator-prey relations.

In case of the industrial growth, be it through automobiles or power stations, analogous limiting factors must also be of the same effectiveness.

Up-to-now, our industrial growth has been depending on mineral resources and fossil fuels. These will be exhausted in a few hundreds of years. In this case, the development of human societies will have to pass into a state of ecological balance, provided that a powerful energy source is used. This passage from our past and present state into the near future may, under controllable conditions, be prosperous. It may as well take a catastrophic form. In the latter case, it is almost sure, that the human species must return to a primitive state of low energy consumption — a form of life not unsimilar to that of our ancestors.

Regarding the problems of human societies, I propose that the geological sciences have passed during their history through two fundamental different stages. The first of these lasted from 1785 to 1885 and was connected with the names of Hutton, Lyell and Darwin. It was responsible for one of the greatest intellectual revolutions, or forward steps of human knowledge, in the history of natural science. The second stage held out, essentially, during the last hundred years and had an utilitarian character. Geologists have, during this period, basically contributed to the industrial growth by discovering mineral and fuel resources that enhanced this growth. They carried this out, as a cat's paw for trade and industry, whereby they seldom discussed or questioned the fundamental canon of the contemporary culture of exponential growth.

As for the third stage in which we are now entering, it is hoped that the essential contribution of geology should be once more an intellectual one. The transition from the second stage to the third one requires, in the meantime, a renunciation of the prevailing dogmas of economic and social theories as it was the case for Lyell and Darwin with the religious dogmas of their time.

In case that the geological theory can be renovated into a consideration of the terrestrial evolution with regard to physical, chemical and biological aspects

*und falls es gelingt, zu begreifen, daß die geologische Geschichte statt mit dem Pleistozän zu enden ebenso eine Gegenwart und eine Zukunft hat wie eine Vergangenheit, dann könnte es sein, daß Geologen wieder in die Lage kommen, eine intellektuell führende Rolle zu spielen.*

*and if it would be managed to conceive that the geological history, instead of ending with the Pleistocene, has a present and a future as well, it would then be possible for geologists to play again a leading intellectual role.*

## INTRODUCTION

Il existe une certaine relation entre l'importance sociale de chaque discipline scientifique et son impact sur la pensée et la vie humaine. Sur ce plan, la géologie est déjà passée par deux phases distinctes et actuellement s'engage dans une troisième période. Depuis le XVe siècle, deux courants scientifiques marquants ont influencé la pensée humaine. Le premier est la révolution de la mécanique appliquée à l'astronomie, qui s'imposa durant deux siècles de 1500 à 1700 et auquel sont principalement associés les noms de : Copernic (1473-1543), Galilée (1564-1642), Kepler (1571-1630) et Newton (1642-1727). Cette période mit fin à l'univers géocentrique de Ptolémée avec sa mécanique aristotélicienne et ses dogmes théologiques ; elle instaura le système solaire héliocentrique. Développé par Galilée, perfectionné par Newton, ce système solide de mécanique devint une base théorique, à l'origine du développement de nombreuses sciences physiques.

La seconde révolution intellectuelle d'égale importance est la révolution géologique et biologique qui marqua la période de 1785 à 1885 et qui fut le fruit de la pensée et des travaux de James Hutton (1726-1793), Charles Hyell (1797-1875) et Charles Darwin (1809-1882). Durant cette époque, le monde érudit s'intéressa à la terre et à ses habitants biologiques et son histoire fut changée de manière profonde et irréversible. Au début de cette période, la conception d'une terre dont l'histoire biblique couvre 6000 ans seulement, d'une terre peuplée de végétaux et d'animaux créés par Dieu qui régnait universellement, fit place à l'idée d'un monde dont l'histoire, inscrite dans les roches elles-mêmes, est vieille de centaines de millions d'années, d'une terre peuplée de plantes et d'animaux ayant évolué par la sélection naturelle à partir d'ancêtres plus primitifs. Dans cette optique, l'homme, la créature de Dieu la plus noble et la plus favorisée de la création, est réduit à l'état de descendant biologique direct, à l'instar de tous les autres membres du règne animal, de la longue chaîne de l'évolution.

## INLEIDING

Het sociaal belang van elke wetenschap kan bij benadering afgemeten worden van haar invloed op het denken of op de levenswijze van de mensen. De geologie heeft in dat opzicht reeds twee verschillende fasen doorlopen en treedt nu een derde fase binnen. Uitgaande van de invloed op het denkpatroon van de mens, hebben zich sedert de vijftiende eeuw twee markante ontwikkelingen voorgedaan. De eerste is de revolutie in de mechanica en de astronomie, die zich voltrok tussen 1500 en 1700 en waarmee de namen van Copernicus (1473-1543), Galileo (1564-1642), Kepler (1571-1630) en Newton (1642-1727), verbonden zijn. Tijdens die periode werd het Ptolemeïsch geocentrische universum met zijn Aristotelische mechanica en de daaraan verbonden theologische dogma's verdrongen door het heliocentrische zonnestelsel en het door Galileo ontwikkelde en door Newton geperfectioneerde mechanicasysteem, die de theoretische grondslag legden voor de daarop volgende bloei van de natuurwetenschappen.

De tweede intellectuele revolutie — even belangrijk als de eerste — was de geologisch-biologische revolutie die voornamelijk plaatsvond tussen 1785 en 1885, met James Hutton (1726-1793), Charles Lyell (1797-1875) en Charles Darwin (1809-1882) als voornaamste aanstichters. Tijdens die periode werden de denkbeelden van de wetenschapsluzake de aarde, haar biologische bewoners en haar geschiedenis grondig en onherroepelijk veranderd. De kijk op de aarde met haar vermoedelijke bijbelse geschiedenis van slechts zowat 6.000 jaar, met haar planten en dieren die door God waren geschapen, werd in het begin van die periode vrijwel universeel aangehangen. Die werd verdrongen door het inzicht in een aarde met een geschiedenis die — zo werd uit de gesteenten zelf ontcijferd — minstens honderden miljoenen jaren oud was en bewoond door planten en dieren die door de natuurlijke selectie geëvolueerd waren uit nog primitieve voorouders. En de mens werd niet langer beschouwd als Gods hoogste en uitverkoren schepsel, maar gewoon als een rechtstreekse biologische afstammeling, zoals al de andere leden van het dierenrijk, van de lange evolutieketen.



La seconde phase majeure dans l'histoire de la science géologique se situe approximativement au siècle dernier ; elle a engendré peu de changements significatifs dans la pensée humaine, mais a énormément contribué à changer son mode de vie et ses activités. C'est la période où sont apparues les sociétés industrielles mondiales exploitant les carburants fossiles et les ressources minérales. Les géologues, en découvrant systématiquement les gisements de minerais de métaux et de carburants fossiles, ont été les principaux artisans de leur développement.

C'est la période de croissance industrielle exponentielle et de perturbation écologique sans précédent dans l'histoire de l'homme. Il s'agit d'une période intrinsèquement irréversible et éphémère et dont le cours tend à sa fin. Les géologues vont donc se trouver devant un nouveau rôle : servir de guides intellectuels à une société humaine en pleine confusion due à l'impossibilité de supporter la croissance des deux derniers siècles et à l'épuisement progressif des ressources de la terre en carburants fossiles et en gisements de métaux industriels.

Pour comprendre la nature de cette nouvelle phase et le défi qu'elle pose, il est nécessaire que toute information tienne compte des principaux développements des derniers siècles, cela dans le contexte de l'immense laps de temps que couvre l'histoire humaine et géologique passée et future. Il s'agit essentiellement d'un problème de matière et d'énergie.

De matière : la terre est un système essentiellement fermé composé des 92 éléments chimiques présents dans la nature, non radioactifs — excepté une fraction minime d'entre eux — obéissant aux règles de conservation et de non transmutabilité de la chimie classique.

D'énergie : la terre est un système ouvert dont le milieu superficiel enregistre un apport, subit une dégradation et une perte d'énergie. En conséquence, les matières situées à la surface de la terre sont soumises à chacun de ces courants continus ou intermittents.

### SYSTEME ENERGETIQUE DE LA SURFACE TERRESTRE

La nature de ce système énergétique de la surface terrestre est illustrée à la figure 1. Le double trait horizontal à la base du diagramme représente la surface de la terre. En dessous de celle-ci, à des profondeurs correspondant aux mines et aux puits de

De tweede belangrijke fase in de geschiedenis van de geologische wetenschap, die zowat de voorbije eeuw omvat, heeft weinig diepgaande veranderingen teweeggebracht in het denken van de mens, maar heeft een enorme invloed uitgeoefend op zijn levens- en handelswijze. Het is in deze periode dat de industriële samenleving, gebaseerd op fossiele brandstoffen en ertsen, is tot stand gekomen. Daartoe hebben de geologen aanzienlijk bijgedragen, door de stelselmatige ontdekking van ertslagen en fossiele brandstoffen.

Deze periode heeft een exponentiële industriële groei en een verstoring van het ecologische evenwicht gekend zoals nooit tevoren in de geschiedenis van het mensdom was voorgekomen. Het is ook een periode geweest die intrinsiek onherstelbaar en voorbijgaand was, en die nu vrijwel ten einde is. Daardoor zullen de geologen hals over kop in een nieuwe rol worden gegooid, namelijk die van de intellectuele begeleiding van een wereldsamenleving waarin de grootste verbijstering heerst over de onmogelijkheid om de groei van de laatste twee eeuwen te bestendigen en over de problemen die rijzen in verband met het geleidelijk uitgeput raken van de rijkdommen van de aarde aan fossiele brandstoffen en aan ertsen van industriële metalen.

Om een inzicht te krijgen in deze nieuwe fase en in de nieuwe uitdagingen die zullen gesteld worden, moeten wij op de hoogte zijn van de voornaamste ontwikkelingen die in de voorbije eeuwen plaatsvonden, geplaatst in de context van de geschiedenis van het mensdom en van de geologie, die een veel langere tijdruimte omspannt, zowel in het verleden als in de toekomst. Ruim genomen gaat het hier om een probleem van materie en energie.

Wat de grondstoffen betreft, is de aarde een in wezen gesloten systeem dat opgebouwd is uit 92 in de natuur voorkomende scheikundige elementen, die alle — op een nietig onderdeel na — niet radioactief zijn en dus gehoorzamen aan de wetten van instandhouding en niet-transmutabiliteit van de klassieke scheikunde. Wat de energie betreft is de aarde een open systeem ; in de omgeving van het aardoppervlak is er onafgebroken toevoer, degradatie en afvoer van energie. Bijgevolg ondergaan de mobiele grondstoffen van het aardoppervlak hetzij een doorlopende, hetzij een intermitterende circulatie.

### HET ENERGIESYSTEEM VAN HET AARDOPPERVLAK

Het energiesysteem van het aardoppervlak wordt geïllustreerd in fig. 1. Hierin stelt de horizontale band onderaan het schema het aardoppervlak voor, waaronder, op diepten die bereikbaar zijn voor winning en boringen, grote energievoorraden liggen, namelijk de

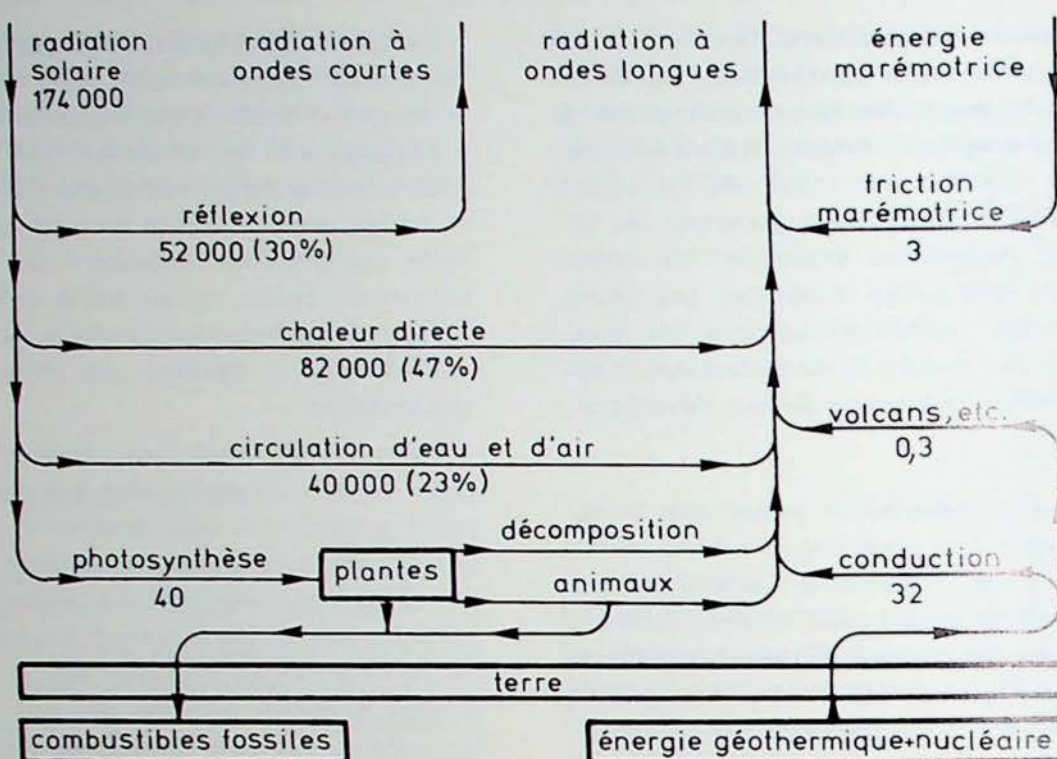


Fig. 1 — Schéma des disponibilités énergétiques de l'environnement superficiel terrestre (unité :  $10^{12}$  watts thermiques) (Hubbert, 1974, fig. 1)

Energietoevoerschema voor de omgeving van het aardoppervlak (eenheid :  $10^{12}$  thermische watt) (Hubbert, 1974, fig. 1)

Radiation solaire — Zonnestraling

Radiation à ondes courtes — Korte-golfstraling

Radiation à ondes longues — Lange-golfstraling

Energie marémotrice — Getijdenenergie

Réflexion — Weerkaatsing

Friction marémotrice — Getijdenwrijving

Chaleur directe — Rechtstreekse warmte

Circulation d'eau et air — Water- en luchtcirculatie

Décomposition — Verval

Animaux — Dieren

Conduction — Geleiding

Terre — Aarde

Combustibles fossiles — Fossiele brandstoffen

Energie géothermique + nucléaire — Geothermische en kernenergie

forage se trouvent certaines grandes réserves d'énergie : les carburants fossiles, l'énergie géothermique et l'énergie nucléaire. L'énergie de ces réserves est mesurable en unités telles que le joule.

La partie supérieure du diagramme est un schéma donnant les pourcentages des différents flux énergétiques. Ces taux ne sont pas mesurables en unités d'énergie mais en unités de puissance, dont l'unité internationale est le watt ou 1 joule par seconde. Pour les flux terrestres d'énergie, l'unité utilisée à la figure 1 est  $10^{12}$  watts.

L'apport énergétique capté par le milieu superficiel terrestre provient de trois sources : 1) la radiation solaire interceptée par le plan diamétral de la terre, 2) la chaleur de l'intérieur de la terre amenée à la surface où elle subit une convection, 3) l'énergie marémotrice

fossiles brandstoffen, de geothermische energie en kernenergiebronnen. De energie van deze voorraden is meetbaar in eenheden van energie zoals de joule.

Het bovenste deel van het diagram is een energietoevoerschema waarop de omvang van de energiestromen is aangeduid. Deze grootten zijn niet meetbaar in eenheden van energie, maar wel in eenheden van vermogen, waarvan de internationale eenheid de watt is, d.i. 1 joule/seconde. Voor de energiestromen op de aarde wordt in fig. 1,  $10^{12}$  watt als eenheid gebruikt.

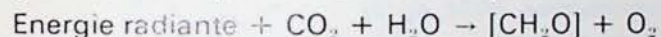
De energiestromen naar de aardoppervlakte zijn afkomstig van drie bronnen : 1) de zonnestraling die wordt opgevangen door het diametrale vlak van de aarde ; 2) de warmte uit de aardkern die naar de oppervlakte wordt geleid en geconvectioneerd ; 3) de

provenant du système terre-lune. La grandeur des trois apports en unités de  $10^{12}$  watts est :

radiation solaire	174.000
géothermique	32
marémotrice	3

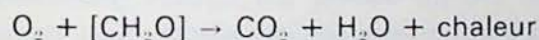
On voit donc que l'apport énergétique solaire est 5000 fois plus élevé que la somme des deux autres.

Du total de l'influx solaire, environ 30 %, l'« albedo » terrestre, sont réfléchis sous forme de radiations visibles de courtes longueurs d'onde, environ 47 % réchauffent l'atmosphère, les océans et le sol et agissent donc sur la température du milieu, 23 % circulent dans l'atmosphère et les océans et dirigent le cycle hydrologique. Finalement, une très petite fraction,  $40 \times 10^{12}$  watts, commande le processus de la photosynthèse par laquelle  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$  sont synthétisés en hydrates de carbone et autres composés plus complexes et l'énergie solaire est emmagasinée chimiquement suivant l'équation :



dans laquelle  $[\text{CH}_2\text{O}]$  est l'unité de base de l'élaboration d'une série d'hydrates de carbone de complexité croissante.

La composante photosynthétique de l'influx solaire quoique faible est cependant d'une importance exceptionnelle, étant donné que c'est la seule source d'énergie physiologique disponible pour l'ensemble du règne animal et végétal. Lors de la réaction inverse de la photosynthèse



l'énergie emmagasinée est éventuellement libérée sous forme de chaleur, et le matériau végétal et animal retourne à l'état de  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$ .

Il s'agit dans l'ensemble d'un équilibre stationnaire, excepté pour une petite fraction de matière animale et végétale, qui sédimente dans les tourbières et autres milieux déficients en oxygène où la réaction d'oxydation est impossible. Lorsque ces matières sont recouvertes de sables sédimentaires, de limons et de boues, elles sont préservées et finalement transformées en carburants fossiles.

Tous les autres flux énergétiques, après une série de dégradations, sont transformés en chaleur modifiant la température ambiante locale, après quoi ils quittent la terre sous forme de radiations thermiques à grandes longueurs d'onde.

### DUREE DE L'HISTOIRE GEOLOGIQUE

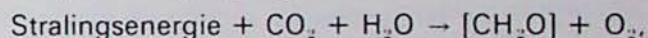
Ces processus doivent être considérés dans le contexte de la durée de l'histoire géologique. A la figure 2, l'histoire géologique est représentée graphiquement par une série de diagrammes horizontaux dont

getijdenenergie opgewekt door de wisselwerking aarde-maan-zon. De grootte van deze drie energiestromen is, uitgedrukt in de eenheid van  $10^{12}$  watt :

Zonnestraling	174.000
Geothermie	32
Getijden	3

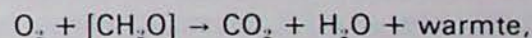
Hieruit blijkt dat de grootte van de zonne-energiestroom 5.000 maal groter is dan de som van de andere twee stromen.

Van de totale zonne-energiestroom wordt zowat 30 procent, de albedo van de aarde, teruggekaatst in de ruimte als zichtbare korte-golfstraling ; ongeveer 47 procent verwarmt de atmosfeer, de oceanen en de bodem en degradeert tot warmte op omgevingstemperatuur ; 23 procent circuleert in de atmosfeer en de oceanen en drijft de hydrologische cyclus aan. Tenslotte brengt een zeer kleine fractie,  $40 \times 10^{12}$  watt, het fotosyntheseprocess op gang, waarbij  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$  gesynthetiseerd worden tot koolhydraten en andere meer complexe verbindingen en waarbij zonne-energie chemisch wordt opgeslagen, volgens de volgende vergelijking :



waarin  $[\text{CH}_2\text{O}]$  de basisstructuur is van een reeks koolhydraten met toenemende complexiteit.

De fotosynthetische component van de zonne-energiestroom is, hoewel gering toch uitermate belangrijk omdat het de enige fysiologische energiebron is voor de gehele planten- en dierenwereld. Door een omgekeerde reactie op fotosynthese,



wordt de opgeslagen energie uiteindelijk vrijgegeven als warmte, en de plantaardige en dierlijke materie vervalt weer tot  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$ .

Dit is een vrijwel blijvende toestand, met uitzondering van een miniem deel van de plantaardige en dierlijke materie dat afgezet wordt in turflagen en andere zuurstofarme omgevingen, waar de oxidatiereactie onmogelijk is. Wanneer deze turflagen bedekt worden met zand-, kalk- en slibafzettingen worden ze verduurzaamd en uiteindelijk omgezet in fossiele brandstoffen.

Alle andere energiestromen eindigen tenslotte, na een reeks degradaties, als warmte op de plaatselijke omgevingstemperatuur, waarna ze de aarde verlaten als warmtestraling op lange golflengte.

### TIJDSPANNE VAN DE GEOLOGISCHE GESCHIEDENIS

Deze processen dienen ook beschouwd in de context van de tijdspanne van de geologische geschiedenis. In fig. 2 wordt de geologische geschiedenis grafisch voorgesteld door verschillende schaal-

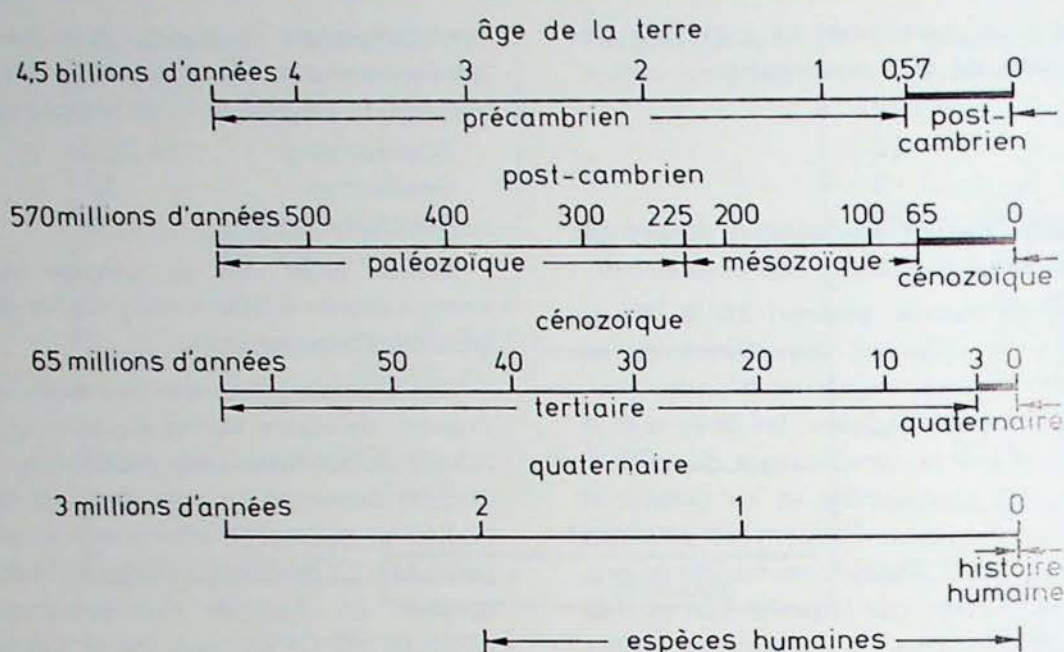


Fig. 2 — Echelles de temps pour l'histoire de la terre (Hubbert, 1974, fig. 2)

*Tijdschalen voor de geschiedenis van de aarde (Hubbert, 1974, fig. 2)*

Billions d'années — Miljard jaar

Age de la terre — Ouderdom van de aarde

Cénozoïque — Neozoïcum

Histoire humaine — Geschiedenis van de mensheid

Espèces humaines — Mens

l'extrémité droite représente le présent. Le graphique supérieur représente les 4,5 billions d'années (10<sup>9</sup>) séparant le présent de la formation du système solaire. Les roches les plus anciennes sont situées au Groenland, elles ont été datées par mesure de leur radioactivité. Elles ont 3,8 billions d'années. Les organismes les plus anciens sont des microbes fossiles trouvés dans des silex noirs en Afrique du Sud. Ils datent d'environ 3,2 billions d'années. On peut donc affirmer que les origines de la vie datent de plus de 3,2 billions d'années. L'évolution organique s'est faite depuis lors, mais sans enregistrement fossile continu jusqu'au début de la période cambrienne, il y a 570 millions d'années. Le second graphique représente l'agrandissement des 570 derniers millions d'années du premier graphique, le troisième graphique, l'agrandissement des 65 derniers millions d'années du second, l'ère cénozoïque, et le quatrième graphique celui des 3 derniers millions d'années du troisième, la période quaternaire.

En ce qui concerne les carburants fossiles, le plus ancien gisement de gaz commercial connu se trouve en Australie dans des roches datant de la fin de l'époque pré-cambrienne. Des gisements de pétrole et de gaz ont été découverts au centre des Etats-Unis et ailleurs dans des roches d'âges géologiques allant du Cambrien au dernier million d'années dans les sédiments du delta de la rivière Mississippi, sur les côtes de la Louisiane. Les gisements de charbon sont plus récents. Les plus anciens d'entre eux se situent en Europe occidentale, en Grande-Bretagne, dans

reeksen, waarbij de rechterkant telkens het heden voorstelt. De bovenste schaalreeks stelt de 4,5 miljard (10<sup>9</sup>) jaren voor sedert het ontstaan van het zonnestelsel. De tot dusver als oudste gedateerde gesteenten komen voor in Groenland. Hun op radioactieve manier bepaalde leeftijd is 3,8 miljard jaar. De oudste organismen zijn fossiele microben die gevonden werden in vuurstenen in Zuid-Afrika. Hun leeftijd is ongeveer 3,2 miljard jaar. Bijgevolg kan gesteld worden dat meer dan 3,2 miljard jaar geleden leven is ontstaan. Sedertdien heeft zich een onafgebroken organische evolutie voorgedaan, maar uit de periode vóór het Cambrium, 570 miljoen jaren geleden, zijn er slechts weinig fossiele gegevens bekend. De tweede schaalreeks is een vergroting van de laatste 570 miljoen jaar van de eerste; de derde is een vergroting van de laatste 65 miljoen jaar, het Neozoïcum, van de tweede; de vierde tenslotte is een vergroting van de laatste 3 miljoen jaren, het Kwartair, van de derde.

Wat de fossiele brandstoffen betreft, bevindt het oudst gekende commerciële gasveld zich in Australië in gesteenten die dateren van het einde van het Precambrium. Olie- en gasvelden worden in de Verenigde Staten en elders aangetroffen in gesteenten van alle geologische leeftijden vanaf het Cambrium tot de laatste miljoen jaren in de afzettingen van de Mississippi-delta aan de kust van Louisiana. Steenkolenafzettingen zijn jonger: de oudste grote kolenlagen zijn die van West-Europa, Groot-Brittannië, het Oosten van de Verenigde Staten en andere landen

l'Est des Etats-Unis et autres régions de Pennsylvanie. Ils datent de la période carbonifère, soit environ 300 millions d'années. Les charbons plus jeunes, principalement les charbons subbitumineux de l'époque mésozoïque, sont situés dans l'ouest des Etats-Unis et ailleurs. Les lignites ou charbons bruns encore plus jeunes de l'époque cénozoïque sont largement répandus et finalement les gisements de tourbe, le premier stade dans la formation du charbon, sont actuellement en formation.

Ainsi, les réserves mondiales actuelles de combustibles fossiles ont été accumulées au cours des derniers 600 millions d'années de l'histoire géologique. A cette vitesse d'accumulation, l'augmentation qui aura lieu durant les prochains milliers d'années est négligeable. On peut donc considérer ces réserves comme une quantité fixée initialement et qui ne peut que diminuer avec l'exploitation.

Le dernier graphique de la figure 2 représentant les trois derniers millions d'années est d'un intérêt particulièrement actuel. C'est la période où, selon les récentes découvertes faites par Leakey et d'autres, en Afrique, l'ancêtre de l'homme moderne a commencé à marcher debout et à utiliser des armes en pierre et des outils. La ligne verticale étroite à l'extrémité droite du dernier graphique représente les 5000 dernières années de l'histoire humaine.

Durant cette période, les ancêtres de l'homme moderne se distinguèrent de toutes les autres espèces par leur capacité d'inventer des moyens leur permettant de capter une fraction toujours plus grande de la réserve énergétique et de la transformer pour des usages humains. Ceci implique l'utilisation d'outils et d'armes, le développement de l'habillement et du logement, le contrôle du feu, il y a de cela environ 1 million d'années ; la domestication des plantes et des animaux il y a 8000 ou 10000 ans ; la fonte de métaux non ferreux il y a environ 5000 ans et du fer il y a environ 3500 ans. Le principal approvisionnement énergétique était biologique, nourriture et bois pour le feu.

Il y a 3500 ans, les Egyptiens inaugurèrent la voie non biologique de la figure 1 en utilisant la puissance du vent pour les bateaux à voile sur le Nil, les Romains ouvrirent une autre voie en utilisant la puissance de l'eau pour les moulins à blé.

Une remarque finale s'impose en ce qui concerne ces graphiques : ils donnent tous la fausse impression que l'histoire géologique et humaine se termine aujourd'hui. Il y aura probablement plusieurs billions d'années d'histoire géologique dans le futur, qui aura

van het Carboon zo'n 300 miljoen jaren geleden. Steenkolen van jongere datum, meestal subbitumineuze kolen uit het Mesozoïcum komen voor in het Westen van de Verenigde Staten en elders. Nog jongere ligniet of bruinkolen uit het Neozoïcum zijn wijd verspreid en tenslotte worden thans turfslagen gevormd, het eerste stadium in de vorming van steenkolen.

Dit betekent dat de huidige wereldvoorraden van fossiele brandstoffen zich hebben opgehoopt gedurende zo'n 600 miljoen jaren van de geologische geschiedenis. Met hetzelfde ritme zullen er tijdens de volgende millennia te verwaarlozen hoeveelheden bijkomen, zodat de fossiele brandstoffen tijdens de periode waarin ze uitgeput worden, mogen beschouwd worden als vaste aanvangsvoorraden die enkel kunnen verminderen naarmate hun ontginning vordert.

De laatste schaalreeks van fig. 2, die de laatste 3 miljoen jaren voorstelt, is van bijzonder belang, aangezien dit de periode is, volgens recente ontdekkingen die door Leakeys en anderen in Afrika werden gedaan, waarin de voorouders van de mens begonnen recht op te lopen en stenen wapens en werktuigen te gebruiken. De dunne verticale streep aan de rechterkant van de laatste schaalreeks stelt de laatste 5.000 jaar van de geschiedenis van de mensheid voor.

Gedurende die periode zijn de voorouders van de mens zich gaan onderscheiden van alle andere soorten door hun vindingrijkheid bij het opvangen van een steeds toenemend gedeelte van de hun omringende energievoorraden en bij het omzetten ervan voor menselijk gebruik. Denken we maar aan het gebruik van wapens en werktuigen, de ontwikkeling van kleding en huisvesting, het beheersen van het vuur zo'n miljoen jaren geleden, het geschikt maken van planten voor huishoudelijk gebruik en het temmen van dieren ongeveer 8.000 tot 10.000 jaar geleden, het smelten van non-ferrometalen zowat 5.000 jaar geleden en van ijzer ongeveer 3.500 jaar geleden. De voornaamste energietoevoer die werd gebruikt was biologisch, namelijk voeding en brandhout.

Zowat 3.500 jaar geleden maakten de Egyptenaars voor het eerst gebruik van een niet-biologische energiestroom van fig. 1 door windkracht aan te wenden voor zeilschepen op de Nijl. De Romeinen spraken een andere bron aan door waterkracht te gebruiken voor molens.

Nog een laatste bemerking over deze schaalreeksen. Ze geven alle de valse indruk dat de geschiedenis van de mensheid en van de geologie eindigt met de huidige tijd. In feite zullen er waarschijnlijk nog miljarden jaren geologische geschiede-

sa place dans l'histoire géologique comme le passé et le présent. Actuellement, l'homme est l'animal dominant comme le dinosaure à l'ère mésozoïque et il n'y a pas de raison de considérer ceci autrement qu'un épisode temporaire de l'ensemble de l'histoire géologique.

### EXPLOITATION DES COMBUSTIBLES FOSSILES

Bien que la population humaine augmente en densité et s'étende géographiquement, jusqu'à il y a environ un millénaire, l'énergie utilisée par habitant restait faible, à peine le double de l'énergie provenant de l'alimentation. Se libérer de cette contrainte n'était pas possible jusqu'à ce que les grandes réserves d'énergie provenant de carburants fossiles commencent à être exploitées. Cette exploitation commença il y a environ neuf siècles lorsque les mines de charbon ont été ouvertes et exploitées de manière continue à Newcastle dans le nord-est de la Grande-Bretagne. Ce phénomène s'étendit rapidement aux autres champs charbonniers de Grande-Bretagne et d'Europe occidentale. Le charbon fut d'abord utilisé pour le chauffage, mais son utilisation s'étendit rapidement à la métallurgie. Alors en 1712, la machine à vapeur de Newcomen fut mise au point et, un peu après, on fabriqua du coke qui remplaça le charbon de bois en fonderie. A partir de cette époque jusqu'aux dernières décennies, le charbon devint la source principale d'énergie pour l'industrialisation mondiale.

On ne dispose que de statistiques éparses relatives aux anciennes mines de charbon et il est difficile de rassembler des statistiques de production annuelle antérieures à 1860. Quoi qu'il en soit, pour 1860, la production annuelle avait atteint 138 millions de tonnes métriques et à partir de statistiques plus anciennes on a pu déterminer que, durant les 800 années précédentes, la production annuelle doit avoir augmenté d'environ deux pour-cents par an, avec une période de doublement de 34 ans. On peut affirmer que l'ensemble de la production avant 1860 avait été de 7 billions de tonnes métriques.

La production annuelle de charbon de 1860 à 1970 est donnée graphiquement à la figure 3. De 1860 jusqu'à environ la première guerre mondiale, la production augmenta d'un taux régulier d'environ 4,2 pour-cents par an, avec une période de doublement de 16,5 ans. Entre la première guerre mondiale et la fin de la seconde, le taux de croissance se ralentit à moins de 1 pour-cent par an. Depuis 1946, le taux de croissance augmente d'environ 3 pour-cents par an.

Ce qui frappe le plus, dans tout cela, c'est le contraste entre l'importance de la production de charbon

nis komen en maken gebeurtenissen in onze tijd evenzeer deel uit van de geschiedenis van de geologie als gebeurtenissen uit een ver verleden. Thans is de mens het overheersende dier, zoals de dinosaurus het was in het Mesozoicum, en er is geen reden om aan te nemen dat dit meer dan een tijdelijke episode in het geheel van de geologische geschiedenis zal zijn.

### ONTGINNING VAN DE FOSSIELE BRANDSTOFFEN

Hoewel de menselijke bevolking in dichtheid toenam en zich geografisch ging verspreiden, bleef de hoeveelheid per capita verbruikte energie gering tot ongeveer een millennium geleden. Uit die beperking kon men niet loskomen vooraleer de omvangrijke energievoorraden van fossiele brandstoffen werden ontgonnen. Daarin kwam zowat negen eeuwen geleden verandering, toen de ontginning van steenkolen als een doorlopend bedrijf werd aangevat in Newcastle in het Noord-Oosten van Engeland. Dit verspreidde zich al vrij spoedig over andere delen van Groot-Brittannië en daarna over West-Europa. Aanvankelijk werden de opgedolven steenkolen gebruikt als warmtebron, maar vrij vlug ging men ze ook aanwenden in de metallurgie. Dan werd in 1712 de stoommachine ontworpen en korte tijd daarna werd een methode ontwikkeld om, ter vervanging van houtskool, cokes te fabriceren voor het smelten van ijzer. Vanaf dat tijdstip tot vóór enkele decennia, vormden de steenkolen de voornaamste energiebron voor de industrialisatie van de wereld.

Over de beginperiode van de steenkolenontginning zijn slechts sporadische gegevens beschikbaar en het is moeilijk jaarlijkse produktiestatistieken te verzamelen van vóór 1860. Rond die tijd had de jaarlijkse produktie evenwel reeds 138 miljoen ton bereikt, en uit vroegere statistieken kan worden opgemaakt dat de jaarlijkse produktie gedurende de 800 voorafgaande jaren met ongeveer 2 procent per jaar toenam. De verdubbelingsperiode lag om en bij de 34 jaar en tegen 1860 bedroeg de gecumuleerde produktie 7 miljard ton.

De jaarlijkse steenkolenproduktie van 1860 tot 1970 is grafisch voorgesteld op fig. 3. Vanaf 1860 tot de eerste wereldoorlog nam de produktie gestadig toe met zowat 4,2 % per jaar, met een verdubbelingsperiode van 16,5 jaar. In de periode na de eerste wereldoorlog tot op het einde van de tweede wereldoorlog viel het groeiritme terug tot op minder dan 1 % per jaar. Vanaf 1946 is de produktie weer gaan stijgen met zowat 3 % per jaar.

Het opvallendste hierbij is het contrast tussen de omvang van de steenkolenproduktie van de laatste



Fig. 3 — Production mondiale de charbon et de lignite (Hubbert, 1974, fig. 3)

*Wereldproductie van steenkool en ligniet (Hubbert, 1974, fig. 3)*

*Taux de production — Produktieniveau*  
*Années — Jaren*

durant le dernier siècle et la production antérieure. En fait, si l'on considère tout le charbon exploité durant les neuf derniers siècles, plus de la moitié a été produite depuis 1940.

L'exploitation du second combustible fossile, le pétrole brut, commença beaucoup plus tard que celle du charbon. La production de pétrole en tant qu'entreprise industrielle continue débuta en Roumanie en 1857 et deux ans plus tard aux Etats-Unis. La production annuelle mondiale de pétrole brut de 1880 à 1970 est donnée à la figure 4. Il s'agit d'une courbe de croissance ininterrompue ayant un taux annuel moyen de croissance de 7 pour-cents par an, avec une période de doublement de 10 ans. Avec ce taux de croissance, la production cumulée double également tous les 10 ans, de sorte que le total de pétrole produit durant la décennie de 1960 à 1970 est quasi exactement équivalent à tout le pétrole produit de 1860 à 1960.

Les figures 5 et 6 montrent respectivement la production de charbon et de pétrole brut aux Etats-Unis. Une petite quantité de charbon a été extraite en Virginie pendant la période coloniale, mais il n'y eut pas de production importante avant les années 1820. De cette époque jusque vers les années 1910, le taux de production augmenta de manière exponentielle de 6,7 pour-cents par an avec une période de doublement de 10,4 ans. Après 1920, le taux fluctua autour d'un chiffre moyen de 500 millions de tonnes métriques par an.

La figure 5 donne séparément la production annuelle d'antracite aux Etats-Unis. L'antracite est exploité dans l'est des Monts Appalaches, dans deux petits territoires en Pennsylvanie et en Virginie. Etant donné que l'antracite est presque du carbone pur, il a été utilisé comme principal combustible dans les villes de la côte est des Etats-Unis durant la plus

époque et celle de la période antérieure. En fait, plus de la moitié de la production totale de charbon exploitée durant les neuf derniers siècles a été produite depuis 1940.

De produktie van de op één na voornaamste fossiele brandstof, de aardolie, is veel later begonnen dan die van de steenkolen. De aardolieproduktie als doorlopend industrieel bedrijf startte in 1857 in Roemenië en twee jaar later in de Verenigde Staten. De jaarlijkse produktie van ruwe olie op wereldvlak van 1880 tot 1970 is afgebeeld op fig. 4. Het is een vrijwel ononderbroken exponentiële groeicurve met een jaarlijks groeiritme van 7 procent en een verdubbelingsperiode van 10 jaar. Bij dit groeiritme verdubbelt ook de gecumuleerde produktie om de 10 jaar, zodat de hoeveelheid ruwe olie geproduceerd tussen 1960 en 1970 vrijwel gelijk is aan al de olie die tussen 1860 en 1960 werd geproduceerd.

Fig. 5 en 6 stellen respectievelijk de produktie van steenkolen en van ruwe olie in de Verenigde Staten voor. Tijdens de koloniale periode werd in Virginia een kleine hoeveelheid steenkolen opgedolven, maar een belangrijke produktie werd niet bereikt vóór 1820. Van toen af tot ongeveer 1910 nam de produktie exponentieel toe met 6,7 % per jaar, met een verdubbelingsperiode van 10,4 jaar. Na 1920 schommelde de produktie rond een gemiddelde van 500 miljoen ton per jaar.

In fig. 5 is de jaarlijkse produktie van antraciet in de Verenigde Staten afzonderlijk afgebeeld. Antraciet wordt opgedolven in de oostelijke Appalachen in twee kleine gebieden in Pennsylvanie en Virginia. Aangezien antraciet vrijwel zuivere rookloze steenkool is, werd hij tijdens het grootste deel van de voorbije eeuw in de steden aan de Oostkust van de

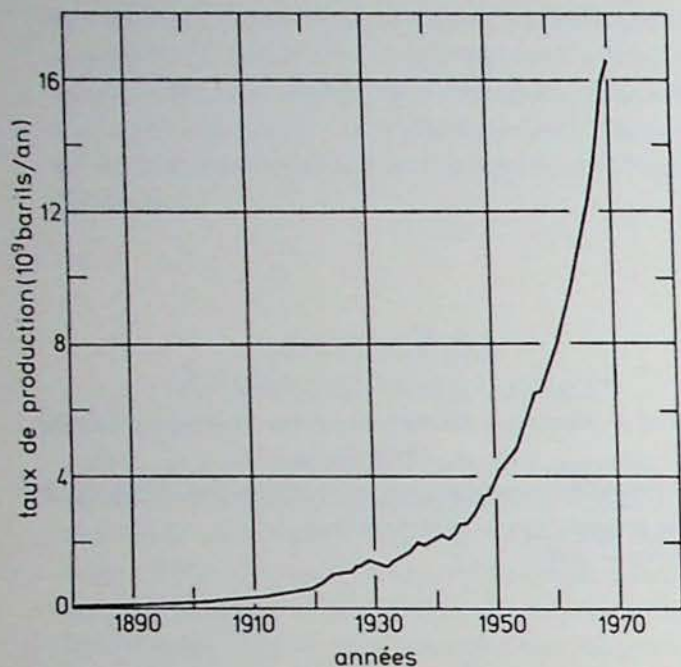


Fig. 4 — Production mondiale d'huile brute  
(Hubbert, 1974, fig. 5)  
*Wereldproductie van ruwe olie (Hubbert, 1974, fig. 5)*

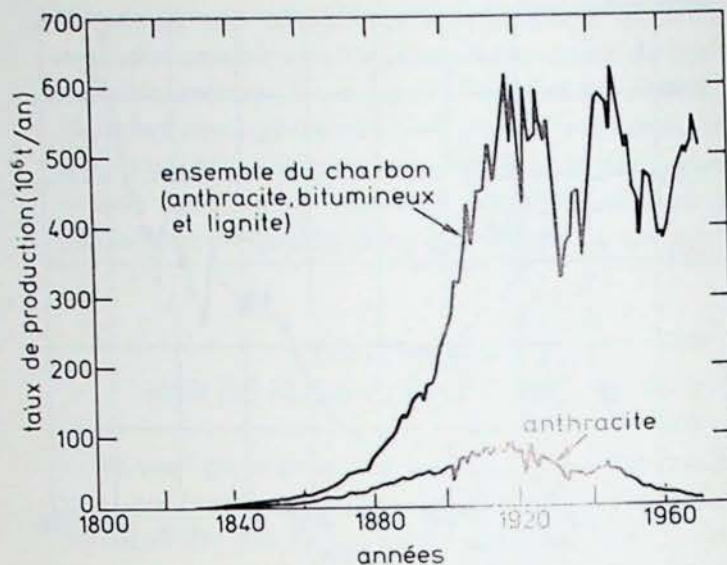


Fig. 5 — Production U.S. de charbon et de lignite  
(Hubbert, 1974, fig. 9)  
*De U.S.A.-productie van steenkool en ligniet  
(Hubbert, 1974, fig. 9)*  
*Ensemble du charbon... — De totale steenkoolproductie  
(antraciet, vette kolen en bruinkool)*

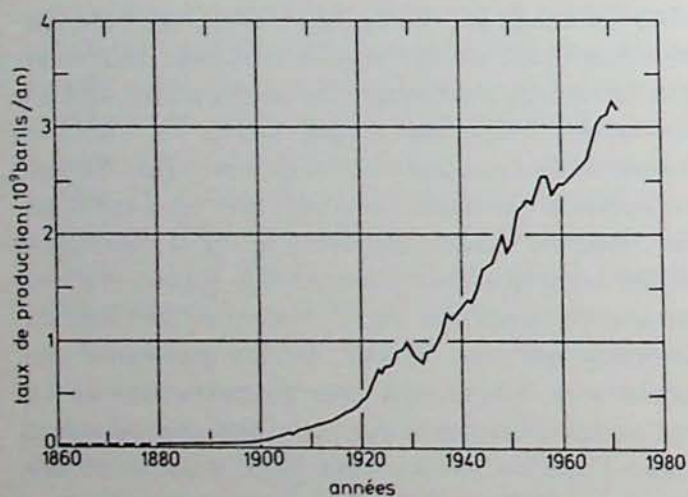


Fig. 6 — Production U.S. de pétrole brut (excepté Alaska)  
(Hubbert, 1974, fig. 11)  
*De U.S.A.-productie van ruwe olie (Alaska uitgezonderd)  
(Hubbert, 1974, fig. 11)*

grande partie du siècle dernier. Quoi qu'il en soit, à cause de ses ressources limitées, nous voyons par le graphique que la production annuelle augmente de manière exponentielle pendant un demi-siècle, puis elle ralentit jusqu'à atteindre un maximum en 1919. Ensuite, avec des fluctuations mineures, elle décline exponentiellement jusqu'à atteindre actuellement presque zéro. Ceci illustre bien le cycle complet de production d'une ressource non renouvelable. Pour chaque ressource non renouvelable, la courbe de la production annuelle, tracée en fonction du temps, commence à zéro, puis elle croît, généralement avec un taux exponentiel, ensuite atteint un ou plusieurs maxima et finalement, comme les ressources sont presque épuisées, le déclin se fait de manière négativement exponentielle jusque 0.

Verenigde Staten gebruikt als voornaamste brandstof. Omwille van zijn beperkte voorraad echter, zien we op de grafiek dat zijn jaarlijkse produktie exponentieel toenam tijdens een halve eeuw, daarna afnam om tenslotte een piekhoogte te bereiken in 1919. Nadien is ze negatief exponentieel, met lichte schommelingen, gaan dalen om momenteel bijna het nulpunt te bereiken. Dit illustreert meteen wat we hierna zullen omschrijven als een volledige produktiecyclus van een onvervangbare energiebron. Bij elke onvervangbare energiebron begint de jaarlijkse produktiecurve, voorgesteld als een functie van tijd, bij het nulpunt, stijgt dan gewoonlijk exponentieel, waarna ze een of meer pieken bereikt om tenslotte, als de bron begint uitgeput te raken, negatief exponentieel te dalen tot ze weer het nulpunt bereikt.



*PROPRIETES MATHÉMATIQUES  
DE LA COURBE D'UN CYCLE COMPLET*

*MATHEMATISCHE EIGENSCHAPPEN  
VAN EEN VOLLEDIGE-CYCLUSCURVE*

Une idéalisation d'un tel cycle complet est donnée à la figure 7. Une des propriétés mathématiques fondamentales d'une telle courbe est la suivante : si l'on considère un rectangle vertical étroit de base  $\Delta t$  tracé entre l'axe du temps et la courbe de taux de production, la hauteur de ce rectangle sera le taux de production  $P$ .

Mais  $P = \Delta Q / \Delta t$

dans lequel  $\Delta Q$  est la quantité de ressource produite durant le temps  $\Delta t$ . Dès lors, la surface du rectangle sera

$$P\Delta t = \Delta Q$$

A la limite, pour un élément infinitésimal correspondant au temps  $dt$ , la quantité produite sera

$$dQ = Pdt$$

et la production cumulée depuis le commencement jusqu'à un certain temps ultérieur  $t_1$  sera

$$Q(t_1) = \int_0^{t_1} Pdt = \int_0^{t_1} dQ$$

laquelle sera représentée graphiquement par la surface au-dessous de la courbe de  $t = 0$  à  $t = t_1$ . Ainsi pour le cycle complet, la production ultime  $Q_\infty$  sera la surface totale en dessous de la courbe du cycle complet soit :

$$Q_\infty = \int_0^\infty Pdt$$

Fig. 7 toont een geïdealiseerd model van een volledige cyclus. Een mathematische hoofdeigenschap van een dergelijke curve is de volgende : indien een smalle verticale rechthoek met een basis  $\Delta t$  op de tijd-as wordt opgericht naar de curve die het produktieniveau aangeeft, zal de hoogte van deze rechthoek het produktieniveau  $P$  zijn. Echter

$$P = \Delta Q / \Delta t,$$

waarin  $\Delta Q$  de hoeveelheid van de energiebron is die wordt geproduceerd gedurende de tijd  $\Delta t$ . Daarom zal de oppervlakte van de rechthoek gelijk zijn aan :

$$P\Delta t = \Delta Q$$

Naar de grens toe, voor een miniem tijdsonderdeel  $dt$ , zou de hoeveelheid geproduceerd gedurende de tijd  $dt$  zijn

$$dQ = Pdt$$

en de gecumuleerde produktie vanaf het begin tot een willekeurig later tijdstip  $t_1$  zou zijn

$$Q(t_1) = \int_0^{t_1} Pdt = \int_0^{t_1} dQ$$

wat grafisch zou worden voorgesteld door het oppervlak onder de curve vanaf  $t = 0$  tot  $t = t_1$ . Dan zou, voor de volledige cyclus, de uiteindelijke produktie  $Q_\infty$  aangezien  $t$  onbegrensd toeneemt, gelijk zijn aan het totale oppervlak onder de volledige cycluscurve zijn,

$$Q_\infty = \int_0^\infty Pdt$$

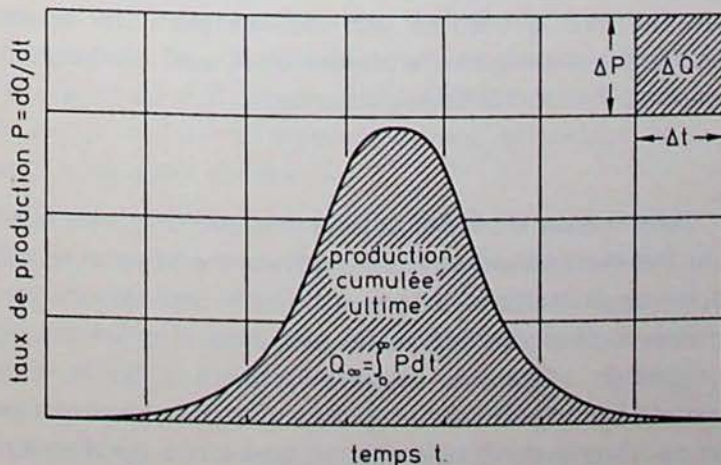


Fig. 7 — Propriétés mathématiques de la courbe d'un cycle complet de production d'une ressource épuisable (Hubbert, 1974, fig. 18)

*Mathematische eigenschappen van een volledige cyclus-curve voor de produktie van een uitputbare hulpbron (Hubbert, 1974, fig. 18)*  
Production cumulée ultime — Totale cumulatieve produktie

Lorsqu'une telle courbe est tracée graphiquement, l'unité de quantité extraite a pour mesure la surface du rectangle élémentaire  $\Delta P \times \Delta t = \Delta Q$ .

Si, après une étape de démarrage du cycle de production, l'importance de  $Q_{\infty}$  peut être estimée à partir de données géologiques ou autres, le nombre total de carrés situés en dessous de la courbe pour le cycle complet sera

$$n = Q_{\infty} / \Delta Q$$

et la courbe du cycle complet devra être dessinée en tenant compte de cette contrainte.

Ceci constitue une méthode efficace d'analyse car elle limite le recours trop fréquent à l'imagination. Sans cette contrainte, comment pourrait-on estimer l'évolution future de la production mondiale de pétrole brut indiquée à la figure 4 ?

#### CYCLE COMPLET POUR LA PRODUCTION DE CHARBON

Appliquons maintenant cette technique pour estimer l'évolution future de la courbe de production mondiale de charbon donnée à la figure 3. Sur le plan géologique, le charbon est une ressource qu'il est facile d'estimer parce qu'elle est solide. Il se trouve en strates continues sur de vastes étendues et affleure fréquemment en surface. Les principaux bassins carbonifères du monde sont connus. De plus, il existe des estimations publiées des quantités de charbon existant dans les différents pays. Paul Averitt (1969) de l'U.S. Geological Survey a récemment dressé une liste de ces estimations relatives au charbon et au lignite jusqu'à des profondeurs de 1200 mètres et dans certains cas jusqu'à 1800 mètres, pour des veines de 0,3 mètre, ou plus, d'épaisseur. Ses résultats, exprimés en tonnes métriques de charbon récupérable, initialement présent, supposant une récupération de la moitié du charbon souterrain, sont donnés sous forme graphique à la figure 8 pour les principales ères géographiques et politiques du monde. La quantité totale initiale de charbon récupérable dans le monde est estimée à  $7,6 \times 10^{12}$  tonnes métriques.

Même si ce chiffre était strictement précis, il pourrait être trompeur car on ne pourrait sur le plan pratique exploiter des veines de charbon de 0,3 mètre d'épaisseur se trouvant à des profondeurs supérieures à 1 kilomètre. Il y a quelques années, Averitt (1972) fit une nouvelle estimation du charbon récupérable aux Etats-Unis à une profondeur non supérieure à 300 mètres et dont les veines n'étaient pas inférieures à 0,7 mètre d'épaisseur pour l'antracite et le charbon bitumineux et 1,5 mètre d'épaisseur pour le lignite. Le chiffre précédent de  $1,486 \times 10^{12}$

Wanneer een dergelijke curve grafisch uitgetekend wordt, heeft de eenheid van opgehaalde hoeveelheid de oppervlakte van de elementaire rechthoek  $\Delta P \times \Delta t = \Delta Q$  als maatstaf.

Indien, na de beginfase van de productiecyclus, de grootte van  $Q_{\infty}$  kan worden geraamd op basis van geologische of andere gegevens, zal het totaal aantal coördinatenvierkanten onder de curve voor de volledige cyclus bedragen :

$$n = Q_{\infty} / \Delta Q$$

en de volledige cycluscourve moet in functie daarvan getrokken worden.

Dit biedt een waardevolle methode voor analyse, in die zin dat het werkt als een rem op de anders ongebreidelde verbeelding. Hoe zou men immers, zonder deze methode, de toekomst van de olieproductie op wereldvlak, afgebeeld in fig. 4, kunnen schatten ?

#### VOLLEDIGE STEENKOLENPRODUKTIECYCLUS

Passen we nu deze techniek toe om de toekomst van de steenkolenproductie op wereldvlak, afgebeeld op fig. 3, te schatten. Geologisch gezien is steenkool een makkelijk te schatten energiebron, omdat het een vaste stof is voorkomend in lagen die zich over uitgebreide gebieden uitstrekken en vaak aan de oppervlakte zichtbaar zijn. De voornaamste kolenbekkens van de wereld zijn gekend en er zijn schattingen gepubliceerd over de hoeveelheid steenkolen in de verschillende landen. Paul Averitt (1969) van de U.S. Geological Survey heeft deze schattingen samengebundeld voor steenkool en bruinkool tot op een diepte van 1.200 meter en soms tot 1.800 m en in lagen van 0,3 m of meer dikte. Zijn resultaten, uitgedrukt in ton oorspronkelijk aanwezige steenkolen, waarbij wordt aangenomen dat de helft van de ondergrondse steenkoolvoorraden ontginbaar is, zijn grafisch voorgesteld op fig. 8 voor de voornaamste geografische en politieke gebieden van de wereld. De totale hoeveelheid ontginbare steenkolen van de wereld werd op  $7,6 \times 10^{12}$  ton geraamd.

Zelfs indien dit cijfer uiterst nauwkeurig zou zijn, kan het een misleidend beeld geven, want het zou wel eens onuitvoerbaar kunnen blijken steenkoollagen met een dikte van 0,3 m op een diepte van 1 km te ontginnen. Daarom maakte Averitt (1972) een nieuwe raming van de ontginbare steenkolenreserves in de Verenigde Staten, die gelegen zijn op diepten onder de 300 m en in lagen van minder dan 0,7 m voor antraciet en bitumineuze steenkool, en 1,5 m dik voor sub-bitumineuze steenkool en bruinkool. Zo kwam hij tot een daling van zijn vroeger cijfer (1.486

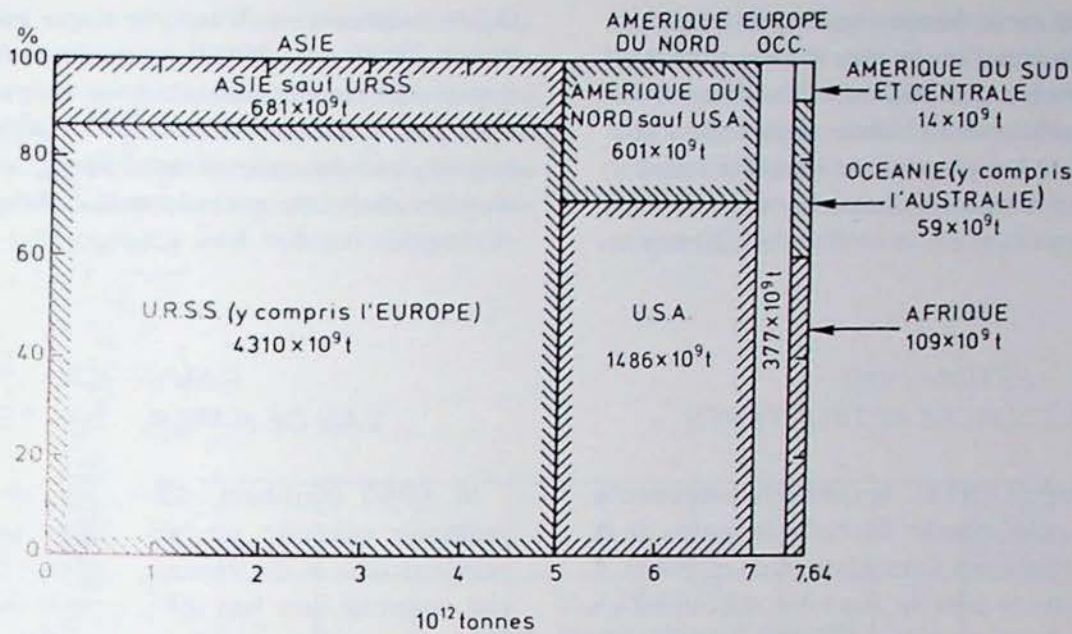


Fig. 8 — Estimations d'Averitt des quantités initiales de charbon récupérable dans les principales régions géographiques du monde (Averitt, USGS, 1969) (Hubbert, 1974, fig. 19)

Schatting van Averitt van de oorspronkelijke hoeveelheden winbare steenkolen in de voornaamste geografische streken ter wereld (Averitt, USGS, 1969) (Hubbert, 1974, fig. 19)

Europe Occ. — West-Europa  
 URSS (y compris l'Europe) — USSR (Europees Rusland inbegrepen)  
 Asie sauf URSS — Azië zonder de USSR

tonnes métriques pour les Etats-Unis est ramené à seulement  $390 \times 10^{10}$  tonnes métriques — soit une réduction de 74 pour-cents.

Si une réduction du même ordre peut être admise pour le reste du monde, la quantité totale de  $7,6 \times 10^{12}$  tonnes métriques donnée à la figure 8 doit être ramenée à  $2 \times 10^{12}$ .

Utilisant ces deux valeurs, nous avons élaboré les deux cycles complets pour la production mondiale de charbon à la figure 9. Dans cette figure, la surface d'un carré a la valeur de  $\Delta P \times \Delta t = 10^{10}$  tonnes métriques/an  $\times 10^2$  an =  $10^{12}$  tonnes métriques.

Par conséquent, pour l'estimation d'Averitt la plus élevée et la moins réaliste de  $7,6 \times 10^{12}$  tonnes métriques pour  $Q_{\infty}$ , la surface totale en dessous de la courbe serait de 7,6 carrés ; pour l'estimation la plus faible de  $2 \times 10^{12}$  tonnes métriques, la surface ne serait que de deux carrés.

Les deux courbes cycliques complètes sont construites en conséquence. Pour l'évaluation la plus élevée, la courbe est tracée en supposant que la production maximale atteigne le montant actuel de la production et, pour l'évaluation la plus faible, 4 fois ce montant avant le commencement du déclin. Ce qui ressort de ceci, c'est une échelle de temps significative. Pour l'estimation la plus large pour  $Q_{\infty}$ , le taux maximum de production se situerait probablement autour de l'an 2200, pour l'estimation la plus faible, il se situerait aux environs de 2100. Il est également

$\times 10^{10}$  ton voor de U.S.A.) tot slechts  $390 \times 10^{10}$  ton — een vermindering met 74 procent. Aangenomen dat dezelfde vermindering bij benadering toepasselijk is op de rest van de wereld, zou het wereldtotaal van  $7,6 \times 10^{12}$  ton opgegeven in fig. 8, teruggebracht worden tot  $2 \times 10^{12}$ .

Met deze twee waarden voor  $Q_{\infty}$  voor steenkool, trekken we de twee volledige cyclussen voor de wereldsteeinkolenproductie (fig. 9). Daarin heeft een coördinatenvierkant de volgende afmetingen :

$$\Delta P \times \Delta t = 10^{10} \text{ ton/j} \times 10^2 \text{ j} = 10^{12} \text{ ton.}$$

Bij toepassing van de hoge en minder realistische waarde van Averitt, nl.  $7,6 \times 10^{12}$  ton voor  $Q_{\infty}$ , zou het totale oppervlak onder de curve 7,6 grafiekvierkanten beslaan ; bij toepassing van de kleinere waarde  $2 \times 10^{12}$  ton zou dit oppervlak slechts 2 vierkanten groot zijn.

In functie daarvan worden nu de twee volledige-cycluscurven van fig. 9 getrokken. De curve voor de hoge schatting van  $Q_{\infty}$  onderstelt een 8-voudige verhoging van de huidige produktie en die voor het kleinere cijfer slechts een 4-voudige verhoging vooraleer de curve begint te dalen. Hieruit komt een betekenisvolle tijdschaal te voorschijn. Bij de hoge schatting van  $Q_{\infty}$  zou het maximum produktieniveau rond het jaar 2200 bereikt worden, voor het lagere cijfer zou dit omstreeks 2100 het geval zijn. Belangrijk is ook de vereiste tijdspanne om de middenste 80 % van

intéressant d'évaluer le temps requis pour produire 80 % de  $Q_{\infty}$ . L'estimation la plus élevée donnerait environ quatre siècles de 2000 à 2400. L'estimation la plus faible correspondrait à deux siècles. Dès lors, s'il fallait chiffrer le temps pendant lequel le charbon pourra servir de source principale d'énergie dans le monde, on pourrait avancer le chiffre de 300 ans ou peut-être moins.

#### ESTIMATION DES RESSOURCES PETROLIFERES

En 1956 (Hubbert 1956), la méthode précédente avait été utilisée pour estimer l'échelle de temps de la production de pétrole aux Etats-Unis. A ce moment, il y avait 97 ans que le pétrole avait été découvert en Pennsylvanie et le niveau de production a toujours augmenté depuis, avec seulement des modifications mineures. Le taux de production en 1955 avait atteint  $2,5 \times 10^9$  barils par an et la production cumulée s'élevait à  $52,4 \times 10^9$  barils. Les estimations publiées par les dirigeants de l'industrie pétrolière pour  $Q_{\infty}$  se situaient aux environs de  $(150-200) \times 10^9$  barils.

Il s'agit là de chiffres généralement acceptés par les membres de l'industrie pétrolière U.S. Ceux-ci, par interprétation intuitive, pensaient que si seulement environ 50 billions de barils de pétrole avaient été produits au cours d'un siècle et si la production future était de 2 à 3 fois cette quantité, il serait peu probable qu'une insuffisance en pétrole intervienne avant l'an 2000.

Une interprétation graphique de ces valeurs est donnée à la figure 10. Ici, un carré représente 1 billion de barils par an fois 25 ans, ou 25 billions de barils. Pour la plus faible estimation de 150 billions de barils pour  $Q_{\infty}$ , la surface totale en dessous de la courbe du cycle complet serait de 6 carrés, pour l'estimation la plus élevée de 200 billions de barils, elle serait de 8 carrés. Les deux courbes montrées à la figure 10 ont été dessinées suivant ces deux hypothèses. Pour le chiffre le plus faible, le taux de production maximum était estimé devoir être atteint vers 1966, pour l'estimation la plus élevée environ 5 ans plus tard ou vers 1971. Dès lors, si la valeur pour  $Q_{\infty}$  tombait dans le domaine de 150-200 billions de barils, comme l'indiquaient les informations disponibles, le sommet de la production de pétrole U.S. devait se situer 10 à 15 ans après 1956, soit entre 1966 et 1971, et non à un moment du 21<sup>e</sup> siècle.

Il s'est effectivement situé en 1970.

La faiblesse de cette méthode résulte du fait que le montant de la quantité de pétrole restant à découvrir est difficile à estimer. Cependant, dans une région primaire telle que les Etats-Unis, laquelle se trouve au plus haut niveau de développement pétrolier, diffé-

$Q_{\infty}$  te produceren. Voor de hoge schatting zou die tussen 2000 en 2400 liggen, voor de lage schatting tussen 2000 en 2200. Daaruit volgt dan dat, indien men zou willen aanduiden hoe lang de steenkolen nog één van de voornaamste energiebronnen voor de wereld zullen zijn, als perspectief ongeveer 300 jaar, of mogelijk minder, kan vooropgezet worden.

#### RAMINGEN VAN DE AARDOLIERESERVES

In 1956 (Hubbert, 1956) werd de voorgaande methode gebruikt om de tijdschaal van de aardolieproductie in de Verenigde Staten te schatten. Op dat ogenblik was het 97 jaar geleden dat de eerste oliebron ontdekt werd in Pennsylvanie. Sindsdien was de produktie steeds in stijgende lijn gegaan, op enkele kleine uitzonderingen na. In 1955 had het produktieniveau  $2,5 \times 10^9$  bbl per jaar bereikt, en bedroeg de gecumuleerde produktie  $52,4 \times 10^9$  bbl. De schattingen die door de grote oliemaatschappijen werden gepubliceerd, gaven voor  $Q_{\infty}$  waarden tussen  $150 - 200 \times 10^9$  bbl.

Deze cijfers werden algemeen aangenomen door de leden van de Amerikaanse petroleumindustrie, maar volgens hun intuïtieve interpretatie redeneerden zij als volgt: indien gedurende een eeuw slechts 50 miljard bbl olie was geproduceerd en indien de toekomstige produktie 2 tot 3 maal groter zou zijn, zou het zeer onwaarschijnlijk zijn dat een olieschaarste zou optreden vóór het jaar 2000.

Een grafische interpretatie van deze cijfers, die in die tijd gemaakt werd, is voorgesteld op fig. 10. Hier stelt 1 grafiekvierkant voor: 1 miljard bbl/jaar  $\times$  25 jaar = 25 miljard bbl. Dus, voor de lage schatting  $Q_{\infty} = 150$  miljard bbl, beslaat de totale oppervlakte onder de volledige cycluscijve 6 vierkanten, voor de hoge schatting van 200 miljard bbl is dat 8 vierkanten. Afhankelijk daarvan werden de twee curven van fig. 10 getrokken. Voor de lage schatting werd geraamd dat de maximum-produktie rond 1966 zou bereikt worden, voor de hoge schatting was dat 5 jaar later, dus omstreeks 1971. Dus, indien de waarde van  $Q_{\infty}$  tussen 150 en 200 miljard bbl zou liggen, zoals alle beschikbare informatie uitwees, zou de piek van de olieproduktie in de U.S.A. 10 tot 15 jaar na 1956 bereikt worden, d.i. tussen 1966 en 1971, en niet in de eenentwintigste eeuw.

Die piek werd in werkelijkheid bereikt in 1970.

Het zwakke punt van deze methode voor het schatten van olievoorraden ligt in het feit dat de nog te ontdekken hoeveelheid olie moeilijk te ramen is. In een land als de Verenigde Staten waar de olieproduktie op een hoog niveau is gekomen, bestaan er

entes méthodes existent pour faire de telles estimations, elles sont basées sur les résultats cumulés des orages d'exploration et des découvertes. Une d'entre elles est basée sur la quantité moyenne de pétrole découverte par unité de profondeur de forage d'exploration en fonction de la profondeur cumulée des forages.

nochtans diverse methodes voor dergelijke schattingen nl. op basis van het cumulatieve voorkomen bij onderzoeksboringen en bij vondsten. Eén ervan steunt op de gemiddelde hoeveelheid aardolie die per diepte-eenheid van de onderzoeksboring wordt ontdekt en dit afhankelijk van de cumulatieve boordiepte.

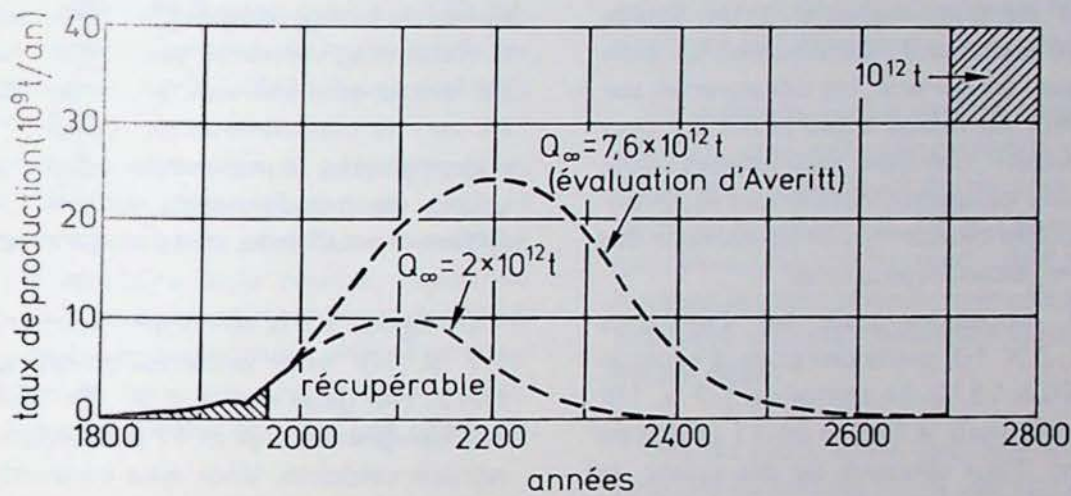


Fig. 9 — Deux cycles complets de la production mondiale de charbon basés sur les estimations d'Averitt les plus élevées et les plus faibles de production cumulée ultime (charbon récupérable jusqu'à 1000 pieds de profondeur) (Hubbert, 1974, fig. 21)

*Twee volledige produktie-cyclussen voor steenkool gebaseerd op twee schattingen van de totale cumulatieve produktie van Averitt : een hoge en een lage schatting (winbare steenkool tot op een diepte van 1000 voet) (Hubbert, 1974, fig. 21)*

Taux de production — Produktieniveau  
Récupérable — Winbaar  
Evaluation — Schatting

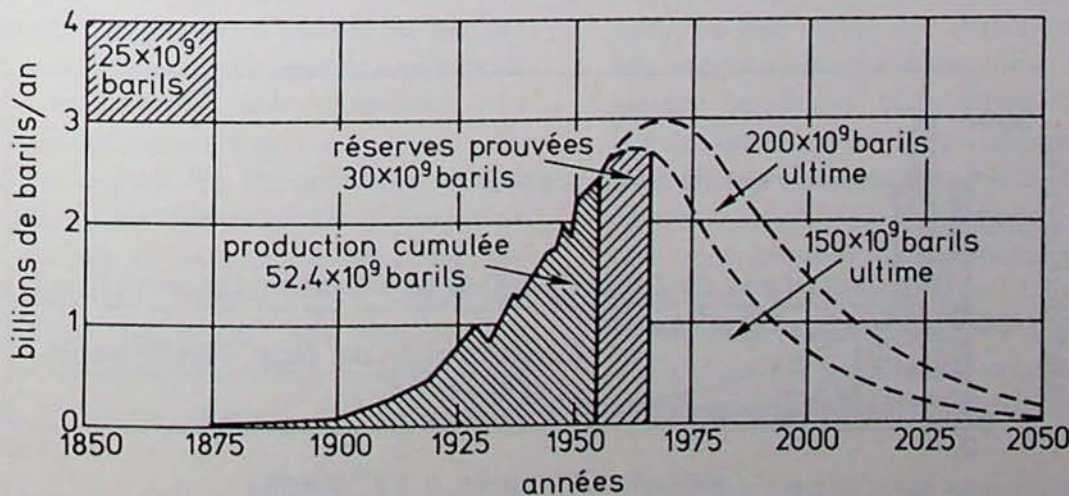


Fig. 10 — Estimations de Hubbert en 1956 pour la future production U.S. d'huile brute (Hubbert, 1974, fig. 21)

*In 1956 schatte Hubbert zo de toekomstige produktie van ruwe olie in de USA (Hubbert, 1974, fig. 21)*

Billions de barils / an — Miljard barrel / jaar  
Production cumulée — Totale produktie  
Réserves prouvées — Vaststaande reserves

Initialement, lorsque les gisements de pétrole non découverts étaient à leur nombre maximum, il y avait une forte probabilité que chaque puits produise du pétrole. Toutefois, comme de plus en plus de découvertes ont été faites, le nombre de gisements restants diminue régulièrement. Ceux-ci peuvent aussi être de petite dimension et de profondeur croissante et désormais encore plus difficiles à découvrir.

Toutes les techniques d'exploration du pétrole — géologie de surface et souterraine, méthodes géophysiques et techniques physiques de logging — sont utilisées pour maximaliser la probabilité de découverte au lieu de s'en remettre à un forage aléatoire, effectué au hasard. Néanmoins, on peut s'attendre à ce que, en général, les découvertes par unité de profondeur du forage exploratoire en fonction de la profondeur cumulée des forages diminueront suivant une loi approximativement exponentielle, vu les difficultés croissantes de découverte des gisements restants, toujours plus rares.

La figure 11 représente pour les Etats-Unis l'ensemble des  $1,7 \times 10^9$  pieds des puits d'exploration forés de 1860 à 1972. Le chiffre de  $1,7 \times 10^9$  pieds est transformé pour la facilité en 17 unités de  $10^8$  pieds chacun. Pour chacune de ces unités, la quantité totale de pétrole découverte est donnée ainsi que les découvertes moyennes par pied. En dépit de l'état primitif de l'exploration pétrolière durant le forage de la première unité, laquelle a nécessité une période de 60 ans de 1860 à 1920, le taux de découverte par pied était élevé, 240 barils/pied. Le taux de découverte le plus élevé de 300 barils par pied eut lieu durant la troisième unité. Ensuite ce taux décline rapidement jusqu'à une moyenne qui n'atteint plus que 30 barils par pied, pour la 17<sup>ème</sup> unité.

Aanvankelijk d.w.z. zolang de niet-ontdekte olie voorraden zeer hoog zijn, is het zeer waarschijnlijk de eender welke bron ook olie zal leveren. Hoe meer vondsten er echter worden gedaan, des te sneller het niveau van de voorraden voortdurend daalt. Ze kunnen dus ook klein zijn en op grotere diepte liggen waardoor ze ook moeilijker kunnen worden ontdekt.

Alle technieken voor aardolie-ontginning — bovengrondse en ondergrondse geologie, geofysische methodes en fysische boortechnieken — dienen om een ontdekking zo succesvol mogelijk te maken en dit in tegenstelling tot het boren op goed geluk af. Toch mag verwacht worden dat de ontdekkingen per diepte-eenheid van onderzoeksboring, afhankelijk van de cumulatieve boordiepte, een bij benadering negatieve exponentiële daling zal kennen na gelang de moeilijkheden toenemen om de steeds schaarser wordende, resterende voorraden te vinden.

Op figuur 11 is zo'n cijfer voor de USA uitgezet  $1,7 \times 10^9$  voet onderzoeksboring van 1860 tot 1972. Het getal van  $1,7 \times 10^9$  voet onderzoeksboring kan gemakkelijk in 17 eenheden van  $10^8$  voet el worden verdeeld. Voor elke eenheid wordt de totale hoeveelheid ontdekte olie en de gemiddeld hoeveelheden per voet aangegeven. Ondanks de primitieve wijze waarop olie werd gewonnen zolang de eerste eenheid werd geboord — hiervoor waren 60 jaren nodig nl. van 1860 tot 1920 — lag het ontdekingsniveau per voet hoog: 240 bbl/ft. Het hoogste ontdekingsniveau van 300 bbl/ft werd in de derde eenheid bereikt. Daarna volgde een steile daling tot een gemiddelde van nauwelijks 30 bbl/ft in de 17<sup>de</sup> eenheid.

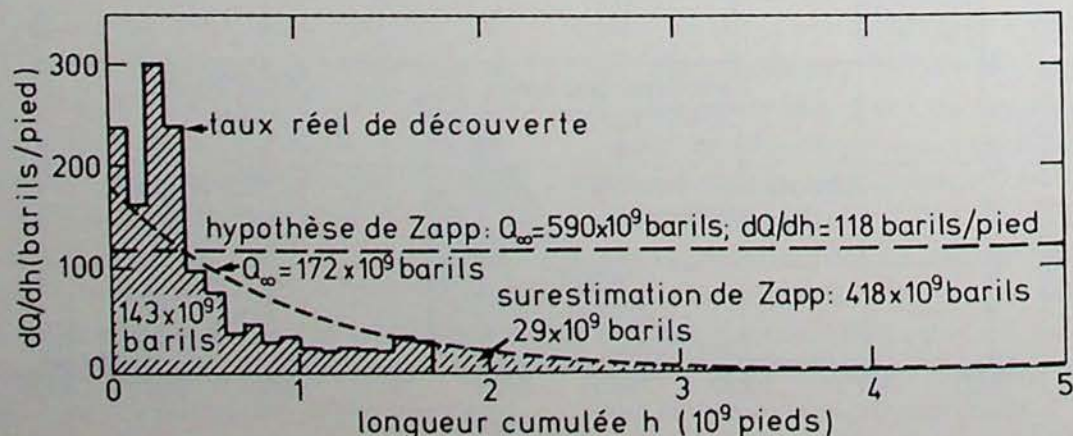


Fig. 11 — Découvertes d'huile brute U.S. par pied de forage d'exploration en fonction de la profondeur cumulée de forage (Hubbert, 1974, fig. 50)

De ontdekkingen van ruwe olie in de USA per voet onderzoeksboring tegenover cumulatieve boordiepte (Hubbert, 1974, fig. 50)

Taux réel de découverte — Huidig ontdekkingsniveau  
Surestimation de Zapp — Te hoge schatting van Zapp  
Longueur cumulée — Cumulatieve voet

La courbe exponentielle à exposant négatif qui s'adapte le mieux à ces données est représentée à la figure 11. Elle décline à un taux moyen de 10,6 pour-cents pour chaque unité de  $10^8$  pieds. Les découvertes cumulées pour les premières 17 unités s'élèvent à 143 billions de barils. L'extrapolation de l'hypothèse que le taux futur de diminution sera approximativement le même que le taux précédent donne une estimation de 29 billions de barils pour les découvertes futures, ce qui donne un total de 172 billions de barils pour la valeur de  $Q_{\infty}$  des Etats-Unis et des hauts-fonds continentaux adjacents. D'autres méthodes d'estimation ont donné environ 170 billions de barils, un chiffre proche de la moyenne du domaine d'estimations de 150-200 billions de barils qui avait cours en 1956.

Le cycle complet de production de pétrole pour les Etats-Unis et les régions limitrophes, basé sur une valeur de 170 billions de barils pour  $Q_{\infty}$ , est donné à la figure 12. Le maximum de la courbe, régularisé mathématiquement, se situe aux environs de 1968 mais le taux de production maximum effectif se situe en pointe excentrique, deux ans plus tard, en 1970. Depuis lors, le taux de production n'a pas cessé de décliner.

L'étendue de cette courbe, dans le temps, est également significative. 80 % de  $Q_{\infty}$  auront été produits durant la période de 67 ans qui s'étend de 1932 à 1999. La brièveté de cette période d'exploitation est telle que des enfants nés durant la décennie 1930 verront les Etats-Unis consommer la majeure partie de leurs ressources de pétrole au cours de leur vie.

Les ressources en huile de la majorité des entités politiques et géographiques du monde, et leur degré d'épuisement sont représentés à la figure 13. Elles ont été estimées par Richard L. Jodry, Senior Research Scientist of Sun Oil Company. Elles résultent d'un travail d'équipe de plusieurs années portant sur chaque région de la terre potentiellement productrice de pétrole. Ces estimations sont également très proches de la valeur moyenne d'au moins quinze estimations, publiées durant les 20 dernières années par différents géologues pétroliers de compagnies internationales. Il apparaît que les plus grandes ressources en huiles du monde sont celles du Moyen-Orient et de l'U.R.S.S. Les réserves de l'Amérique du Nord ne représentent qu'environ 15 pour-cents des réserves ultimes estimées pour l'ensemble du monde.

Deux alternatives de cycle complet de production de pétrole brut sont données à la figure 14, basées sur un chiffre de 2000 billions de barils pour la réserve ultime cumulée :  $Q_{\infty}$ . Si le taux mondial de production évolue de manière régulière, tel qu'il est indiqué à la première courbe, le taux de production maximum approchant 40 billions de barils par an serait atteint vers 1995 et les 80 % des réserves

De négative exponentielle curve die het best deze gegevens weergeeft, is op figuur 11 getekend. Ze daalt tegen een gemiddelde van 10,6 % per eenheid van  $10^8$  ft. In totaal werden in de eerste 17 eenheden 143 miljard barrels ontdekt. Bij extrapolatie van de hypothese dat de daling in de toekomst tegen ongeveer hetzelfde tempo zal doorgaan als in het verleden, worden de toekomstige ontdekkingen op 29 miljard barrel geschat, op een totaal voor  $Q_{\infty}$  voor de USA en aangrenzende gebieden van 172 miljard barrel. Volgens andere schattingsmethodes komt men op ongeveer 170 miljard barrel, een cijfer dat het midden houdt tussen de schatting van 150 tot 200 miljard barrel die in 1956 werd vooropgezet.

De volledige cyclus van de olieprodukten van de USA en aangrenzende gebieden op basis van een cijfer van 170 miljard barrel voor  $Q_{\infty}$  wordt weergegeven in figuur 12. De top van de mathematisch getrokken kromme lag rond 1968 maar het huidige, hoogste produktieniveau komt als een uitzonderlijke piek twee jaar later. Sindsdien is het produktieniveau blijven dalen.

Ook de tijdsspanne van deze kromme is van belang. De middenste 80 % van  $Q_{\infty}$  zal worden geproduceerd gedurende een periode van 67 jaar tussen 1932 en 1999. Zo kort is dus de periode van de ontginning van ruwe olie dat de in de dertiger jaren geboren kinderen in hun leven de periode meemaken waarin de USA het grootste deel van hun olie hebben verbruikt.

De geraamde oliereserves van de voornaamste geografische en staatkundige gebieden ter wereld evenals hun winningsgraad werden op figuur 13 uitgezet. Deze schattingen zijn gemaakt door Richard L. Jodry, Senior Research Scientist of Sun Oil Company, na een studie van verscheidene jaren waarin alle mogelijke olieproducerende landen ter wereld werden betrokken. Deze schattingen bevatten dus ook het gemiddelde van de resultaten van vijftien of meer andere schattingen die in de laatste twintig jaar werden gepubliceerd door diverse aardoliegeologen van internationale oliemaatschappijen. Het meest opvallende is dat de grootste oliereserves ter wereld in het Midden-Oosten en de USSR gelegen zijn. Noord-Amerika heeft maar ongeveer 15 % van de geschatte, totale wereldproduktie in voorraad.

In figuur 14 zijn twee alternatieve volledige cycli van de wereldolieproduktie gegeven, gebaseerd op een cijfer van 2.000 miljard barrel voor de totale, cumulatieve produktie  $Q_{\infty}$ . Als de wereldproduktie op een vaste wijze blijft stijgen, zoals door de eerste kromme wordt aangeduid, dan zou de maximale produktiestijging van om en bij de 40 miljard barrel per jaar omstreeks 1995 worden bereikt, en voor de

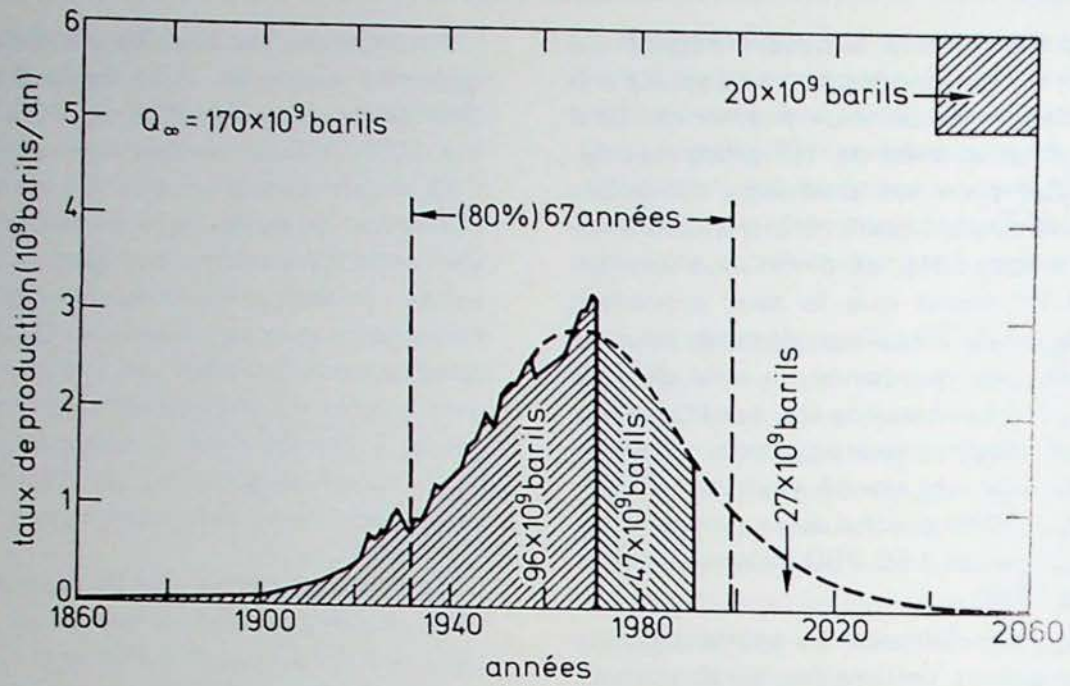


Fig. 12 — Estimation en 1972 du cycle complet de production d'huile brute des Etats-Unis et des hauts-fonds continentaux adjacents (à l'exclusion de l'Alaska) (Hubbert, 1974, fig. 51)  
 Schatting in 1972 van een volledige produktiecyclus voor ruwe olie in de USA en de aangrenzende gebieden op het vasteland (uitgezonderd Alaska) (Hubbert, 1974, fig. 51)

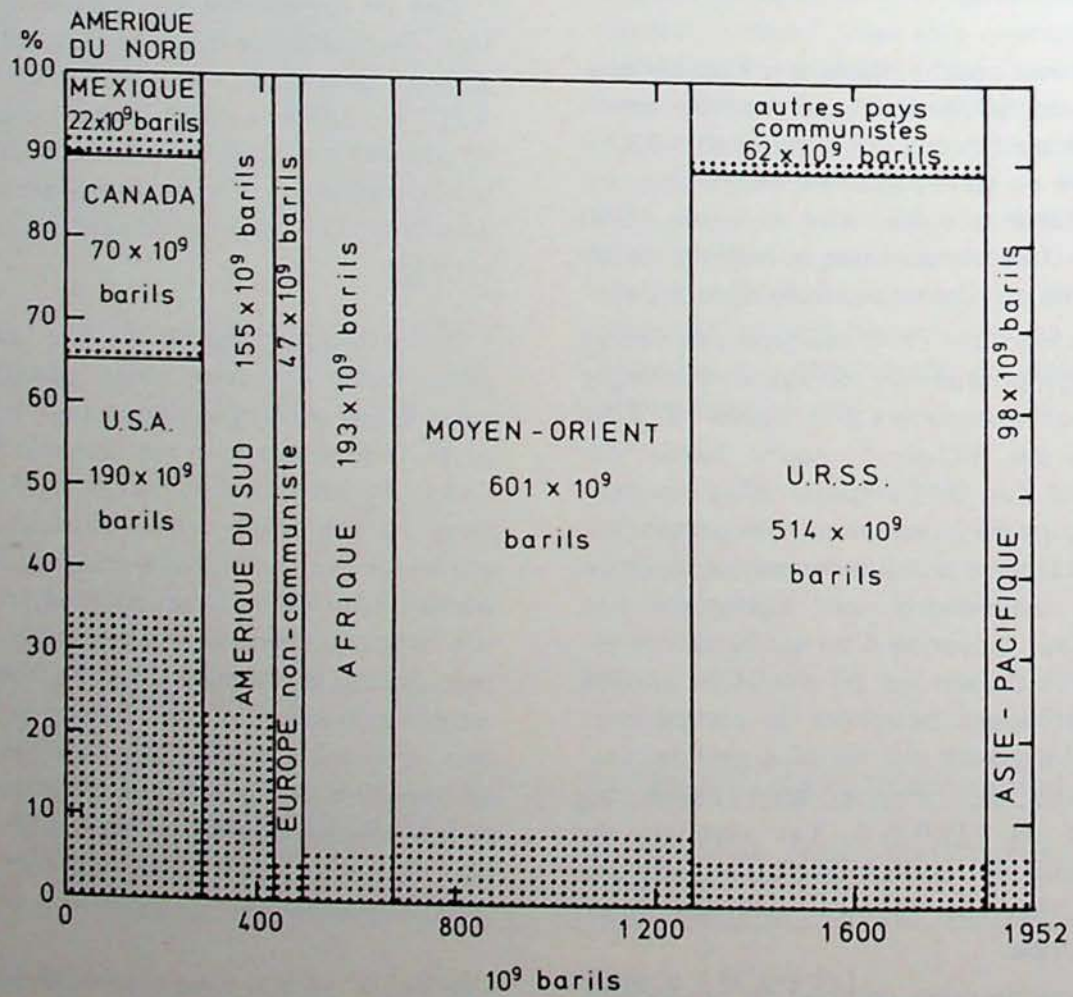


Fig. 13 — Estimations de Jodry de la dernière production de pétrole brut et degré d'épuisement en 1971, pour les principales régions du monde (Hubbert, 1971, fig. 67)  
 Schatting van Jodry van de totale wereldproductie van ruwe olie en uitputtingsgraad tegen 1971 voor de voornaamste gebieden in de wereld (Hubbert, 1974, fig. 67)  
 Moyen-Orient — Midden-Oosten  
 Autres pays communistes — Overige communistische landen  
 Asie-Pacifique — Azie-Stille Oceaan



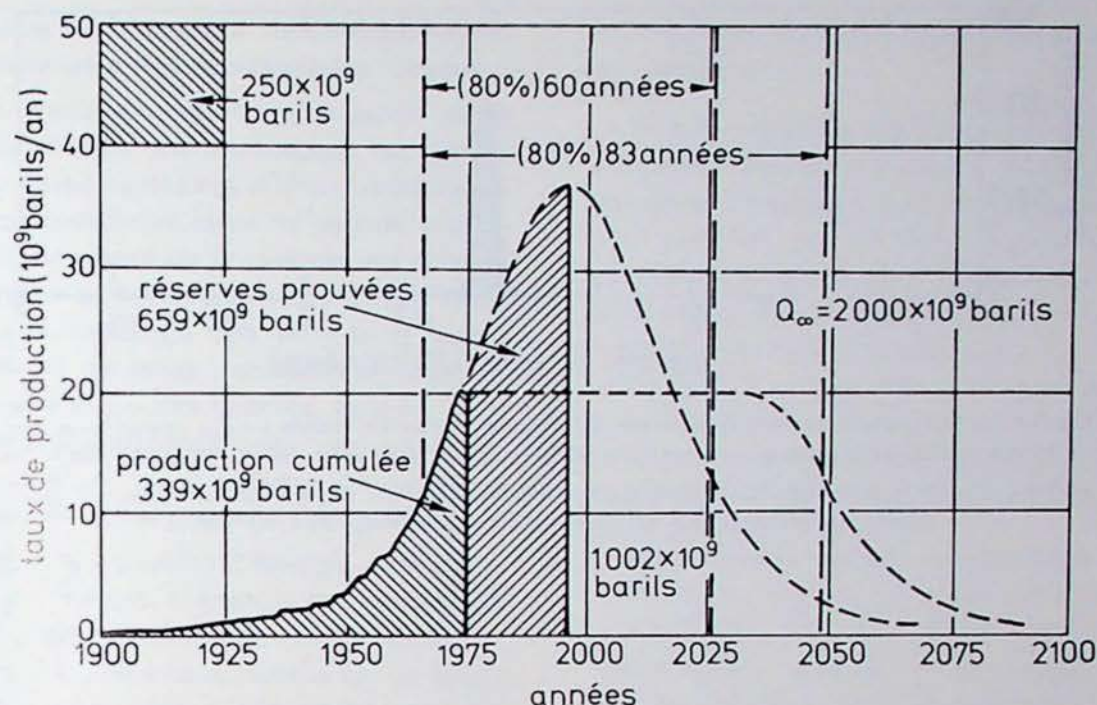


Fig. 14 — Deux alternatives de cycles complets pour la production mondiale de pétrole brut  
*Twee alternatieve volledige cyclussen voor de wereldproductie van ruwe olie*

Taux de production — *Produktieniveau*

Réserves prouvées — *Vaststaande reserves*

correspondant à la partie médiane de la courbe auraient été exploités durant une période d'environ 60 ans. Cependant il est possible, bien qu'in vraisemblable, que la production d'huile puisse être stabilisée au niveau actuel tel que le représente la seconde courbe de la figure 14. Dans ce cas, la surface de la crête de la première courbe subirait une translation vers sa pente descendante. Ceci porterait à environ 80 ans l'espace de temps correspondant à l'exploitation de 80 % des réserves. Mais dans tous les cas, des enfants nés durant la dernière décennie verraient probablement le monde consommer la majeure partie de son pétrole au cours de leur vie.

### LES COMBUSTIBLES FOSSILES DANS L'HISTOIRE DE L'HOMME

Pour mieux apprécier l'ère de l'exploitation des combustibles fossiles dans la perspective d'une plus longue période de l'histoire de l'humanité, on peut considérer la figure 15 dans laquelle le cycle complet de tous les combustibles fossiles est tracé sur une échelle de temps s'étendant de 5000 ans dans le passé jusqu'à 5000 ans dans le futur. La colonne en forme d'obélisque, située au milieu de cet espace de temps et dont 80 % de la surface s'étendent sur une période d'environ 300 ans, représente l'épisode du combustible dans l'histoire de l'humanité. L'utilisation de ce combustible a été à la base de la croissance

middenste 80 % zou ongeveer 60 jaar nodig zijn. Alhoewel weinig waarschijnlijk is het toch mogelijk dat de olieproductie zich ongeveer op het huidige niveau zou stabiliseren, zoals uit de tweede curve van figuur 14 blijkt. Dan wordt de top van de eerste curve naar achteren omgebogen. De middenste 80 % zullen zich dan over ongeveer 80 jaar uitstrekken. Hoe dan ook, de kinderen die in het voorbije decennium geboren zijn, zullen waarschijnlijk beleven dat de wereld in hun tijd het merendeel van zijn petroleum zal verbruiken.

### FOSSIELE BRANDSTOFFEN IN DE MENSELIJKE GESCHIEDENIS

Om een betere kijk te hebben op het tijdvak van de ontginning van fossiele brandstoffen in het kader van het langere tijdsbestek van de geschiedenis van de mens, nemen wij figuur 15 waarin de kromme voor een volledige cyclus van energie uit alle fossiele brandstoffen is uitgezet op een tijdschaal van 5.000 jaar verleden en 5.000 jaar toekomst. De obeliskvormige kolom in het midden van deze schaal, die in ongeveer 300 jaar 80 % opneemt, staat voor de periode van de geschiedenis van de mens waarin fossiele brandstoffen worden gebruikt. Precies dit lag aan de basis van de industriële ontwikkeling, voor-

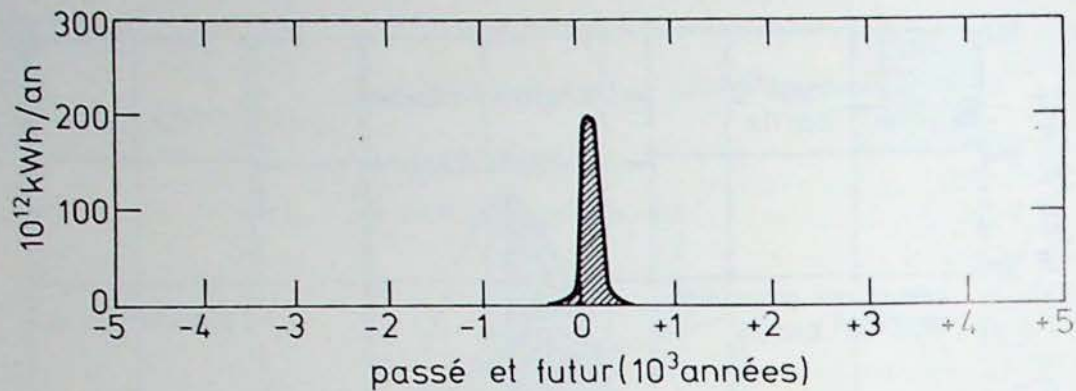


Fig. 15 — Cycle complet de la production mondiale de carburant fossile vu sur une échelle de temps de 5000 ans dans le passé jusqu'à 5000 ans dans le futur (Hubbert, 1974, fig. 58)

*Volledige cyclus voor de wereldproductie van fossiele brandstoffen, uitgezet op een tijdschaal met 5000 jaar verleden en 5000 jaar toekomst (Hubbert, 1974, fig. 69)*

*Passé et futur — Tijd voor en na het heden*

industrielle, principalement durant le dernier siècle, pour l'exploitation et la fusion des gisements de minerais métalliques, qui sont les éléments essentiels du développement de l'industrialisation mondiale. En tant qu'événement dans l'histoire de la géologie, on peut se demander quel est le phénomène géologique le plus remarquable : le fait, pour la terre, par des processus naturels d'accumuler des gisements de charbon et de pétrole pendant 600 millions d'années ou le fait, pour une simple espèce animale, de les détruire en l'espace de trois siècles ?

#### AUTRES SOURCES D'ENERGIE

Il nous est impossible d'étendre la discussion à d'autres types d'énergies, si ce n'est de manière sommaire. Pour ce qui est de l'énergie en provenance du centre de la terre, l'énergie géothermique est la plus importante en quantité mais les problèmes de son extraction sont également considérables, à l'exception des cas où la chaleur volcanique à faible profondeur produit de la vapeur sèche. Actuellement, la plus grande installation géothermique dans le monde est celle de la région des « Geysers » en Californie qui fournit une puissance électrique d'environ 500 mégawatts. L'ensemble des installations de ce type, dans le monde, totalise 1300 mégawatts ce qui dépasse à peine la puissance d'une grande centrale moderne.

L'extraction de la chaleur géothermique est, en fait, un processus minier. On ne sait pas avec précision pendant combien de temps l'énergie des « Geysers » peut se libérer, mais il est probable que cette période se mesure en décennies plutôt qu'en siècles. La perspective mondiale d'exploitation d'une telle source énergétique apparaît actuellement beaucoup

namelijk in de laatste honderd jaar, en van de ontginning en het smelten van de wereldvoorraden aan metaalertsen, die allemaal wezenlijke elementen vormen in de zich ontplooiende industrialisering van de wereld. Beschouwd als gebeurtenis in de geologische geschiedenis, mogen wij ons wel de vraag stellen welk het meest opmerkelijke geologische verschijnsel is : de aarde die via natuurlijke processen olie- en kolenvoorraden opbouwt gedurende 600 miljoen jaren of een eenvoudige diersoort die erin slaagt om die reserves binnen een tijdsspanne van 3 eeuwen te vernietigen ?

#### OVERIGE ENERGIEBRONNEN

Plaatsgebrek noopt ons de andere energiebronnen beknopt te behandelen. De geothermische energie is veruit de belangrijkste van de energievoorraden in de aarde maar de extractieproblemen zijn ook enorm, behalve bij ondiepe voorraden vulkanische warmte die droge stoom produceert. Momenteel is de grootste geothermische installatie ter wereld die van « The Geysers » in Californië met een vermogen van ongeveer 500 megawatt. In de gehele wereld bereiken de installaties een vermogen van ca. 1.300 megawatt wat ternauwernood meer is dan het vermogen van één grote, moderne elektrische centrale.

De extractie van geothermische warmte is in feite een delfprocédé. Het is niet exact geweten hoe lang aan The Geysers energie kan worden onttrokken tegen het huidige ritme, maar waarschijnlijk zal deze tijd eerder in decennia dan in eeuwen worden uitgedrukt. Momenteel zou een prognose voor de gehele wereld voor dergelijke energie veel lager zijn dan

plus limitée que le taux mondial de consommation d'énergie en provenance des combustibles fossiles.

La production d'énergie nucléaire, à partir de la fission de l'uranium 235, est maintenant un fait accompli et des centrales nucléaires d'une puissance de 1000 mégawatts prolifèrent dans le monde entier. Quoiqu'il en soit, la rareté de l'uranium, les risques industriels propres à de telles concentrations d'énergie, le problème du stockage des déchets et finalement la vulnérabilité de telles installations, vis-à-vis des activités terroristes ou des guerres, font en sorte que l'énergie nucléaire apparaît beaucoup moins attirante comme solution au problème de l'énergie mondiale qu'on aurait pu le penser à l'origine.

Il nous reste donc les sources d'énergie renouvelables : le soleil et les marées. L'énergie des marées est intéressante dans des cas spéciaux, mais le potentiel énergétique dû aux marées ne constitue qu'un faible pourcentage de la puissance énergétique hydraulique.

L'énergie solaire est disponible directement à partir des radiations solaires et indirectement à partir de l'énergie de l'eau, du vent, des vagues de l'océan, des courants et des gradients thermiques qui apparaissent dans les eaux des océans, et finalement à partir de la photosynthèse. Si on se réfère à la figure 1, la plus grande source d'énergie sur la terre, passée, présente ou future est celle provenant de la radiation solaire. La quantité d'énergie solaire reçue par la terre, en 21 jours, équivaut à l'ensemble des réserves de tous les combustibles fossiles et les technologies actuellement disponibles permettent de développer son utilisation à grande échelle. Même si pendant quelque temps, les combustibles fossiles restent toujours disponibles, le monde devrait diriger ses efforts technologiques dans ce sens, car il y a tout lieu de croire que dans le futur cette source puisse satisfaire à tous ses besoins.

## METAUX

Complémentairement à ses besoins énergétiques, le monde industriel doit tenir compte de ses besoins en métaux. Les métaux et l'énergie diffèrent fondamentalement l'un de l'autre quant à leur utilisation. L'énergie subit une série de dégradations jusqu'à ce qu'elle atteigne la forme finale de chaleur à la température ambiante. Après cela, elle quitte la terre sous forme de radiation thermique. D'autre part, comme nous l'avons indiqué à la figure 16, les métaux sont extraits habituellement de sols riches en minerais. Après avoir été extraits du sol, les minerais subissent la fusion. On en retire les éléments métalliques qui sont destinés à des usages industriels. Ensuite, une fraction du métal est mise à la ferraille et recyclée. Une seconde fraction, malgré tout, est irrémédiable-

het huidige wereldverbruik van energie uit fossiele brandstoffen.

Kernenergie door splitsing van uranium-235 is nu een feit accompi en 1000 megawatt kerncentrales zijn over de gehele wereld verspreid. De schaarste aan uranium, de intrinsiek, aan dergelijke energieconcentraties verbonden industriële risico's, het probleem met het opslaan van de radio-actieve afval en tenslotte de kwetsbaarheid van zo'n installaties bij terroristische activiteiten of bij een wettelijke oorlogvoering, dat alles samen maakt dat kernenergie veel minder aantrekkelijk lijkt als oplossing voor het energieprobleem op wereldvlak dan aanvankelijk werd aangenomen.

Hierdoor blijven ons nog alleen de twee enige, vernieuwbare energiebronnen over nl. zonne- en getijdenenergie. Hiervan is de getijdenenergie in bepaalde gevallen wel aantrekkelijk maar op wereldschaal bedraagt de potentiële getijdenenergie maar enkele procenten van het totaal aan waterenergie.

Zonneënergie is rechtstreeks beschikbaar door zonnestraling en onrechtstreeks door waterkracht, windkracht, de energie van oceaangolven en -stromingen, en de energie uit thermale gradiënten in de oceanen en tenslotte uit fotosynthese. Onder verwijzing naar figuur 1 is de grootste energiebron op aarde, en dit zowel in het verleden, het heden als in de toekomst, de door zonnestraling geleverde energie. Ze is om de 21 dagen ongeveer gelijk aan alle energie uit fossiele brandstoffen en ze biedt een grote scala van gebruiksmogelijkheden d.m.v. de thans voorhanden zijnde technologie. Daarom zou de wereld, zolang er nog fossiele brandstoffen beschikbaar zijn, al zijn technologische inspanningen hierop moeten richten : alles laat uitschijnen dat deze bron de toekomstige energiebehoeften kan dekken.

## METALEN

De industriële wereld heeft naast energie ook behoefte aan metalen. Metalen en energie zijn op één punt fundamenteel van elkaar verschillend wat het gebruik betreft. Bij gebruik ondergaat energie een aantal veranderingen tot ze uiteindelijk warmte op omgevingstemperatuur is. Daarna verdwijnt ze volledig van de aarde door thermische straling. Metalen daarentegen, zoals op figuur 16 weergegeven, worden normaal uit geologische geconcentreerde ertsen gehaald. Als zij zijn opgedolven, worden de metalen bestanddelen door smelten afgescheiden en industrieel verbruikt. Hierna wordt een deel van het metaal als afval teruggewonnen en opnieuw industrieel gebruikt. Het ander gedeelte is door dispersie echter reddeloos verloren. Lood b.v. wordt verkregen uit het

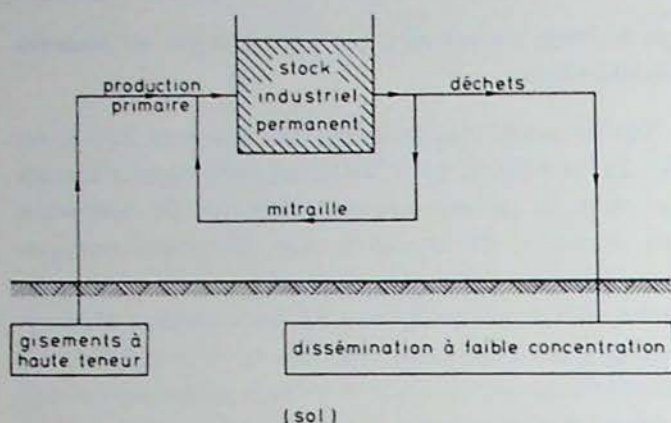


Fig. 16 — Schéma de production d'un métal industriel

*Schema van de produktie van een industrieel metaal*

*Gisements à haute teneur — Hoogwaardige afzettingen*

*Production primaire — Eerste produktie*

*Stock industriel permanent — Permanente industrievoorraad*

*Déchets — Afval*

*Mitraille — Oude materiaal*

*Dissémination à faible concentration — Verspreiding in een lage concentratie (grond)*

ment dispersée. Par exemple, le plomb est obtenu à partir du minerai de galène ou PbS. Il est utilisé comme métal pour les revêtements, en plomberie et chimiquement dans les batteries d'accumulation acide-plomb, en peinture et sous forme de plomb tétraéthyl comme additif au carburant des moteurs. Le plomb métallique et celui utilisé dans les batteries sont recyclés et réutilisés, le plomb des peintures et des carburants de moteurs est irrémédiablement dispersé. Donc, bien que le métal reste sur la terre, sa transformation à partir de gisements de minerais concentrés subit une dispersion unidirectionnelle et irréversible. Les gisements de minerais sont donc tout aussi épuisables que les gisements de pétrole.

Bien que la fusion des métaux non-ferreux ait commencé en Anatolie, il y a environ 5000 ans, et celle du fer environ 1500 ans plus tard, le début significatif de l'extraction minière a eu lieu au siècle dernier. En fait, la quantité de chaque métal produite durant le dernier demi-siècle dépasse la production cumulée de ce métal durant toute la période historique qui précède.

La brièveté de cette récente période de croissance exponentielle de la production de métal et l'insuffisance des ressources en minerais des différents métaux ont été précisées de manière claire par W. von Engelhardt (1976) dans son article « Raubbau an den Erzvorräten ». Parmi les neuf principaux métaux industriels, pour trois d'entre eux seulement, fer, chrome et manganèse, le quintuplement des réserves mondiales actuellement connues pourrait suffire à maintenir les rythmes actuels de production pendant plus de 100 ans. Ainsi, parallèlement à la limitation des combustibles fossiles, le monde se trouvera confronté d'ici quelques décennies à une pénurie imminente de la majorité des métaux industriels.

### CROISSANCE EXPONENTIELLE

Avant de conclure, il est important de considérer le phénomène de la croissance exponentielle. Durant le dernier ou les deux derniers siècles, la caractéristique

loodglans-erts of PbS. Als metaal wordt het gebruikt voor het bewapenen en loden van kabels en als chemisch element in loodzuur-accumulatoren, in verf en in tetra-ethyllood dat aan motorolie wordt toegevoegd. Het metaallood en het in accumulatoren gebruikte lood wordt teruggewonnen en opnieuw gebruikt; het lood in verf en motorolie is onherroepelijk verloren door dispersie. Al blijven metalen dus op aarde, hun omvorming van geconcentreerde ertslagen in een ver gedispergeerde toestand gaat in één richting en is onomkeerbaar. Ertslagen kunnen even goed als olievelden worden uitgeput.

Alhoewel het smelten van non-ferro metalen ongeveer 5.000 jaren geleden een aanvang nam in Anatolië, en ongeveer 1.500 jaren later het smelten van ijzer begon, is het delven van metalen overwegend in de voorbije eeuw gebeurd. De hoeveelheid die van elk metaal in de laatste 50 jaar werd geproduceerd, overtreft immers de cumulatieve produktie van dit metaal in alle jaren daarvoor.

Hoe kort deze voorbije periode van exponentiële groei in de metaalproduktie is en welke tekorten er zijn aan erts van diverse metalen, is klaar en duidelijk uiteengezet door V. von Engelhardt (1976 in zijn artikel « Raubbau an den Erzvorräten ». Slechts voor drie van de negen belangrijkste industriemetalen nl. ijzer, chroom en mangaan, volstaat een vijfvoudige stijging van de gekende wereldvoorraden om in te staan voor de normale produktiestijgingen voor langer dan 100 jaar. Parallel dus met de beperkingen voor de fossiele brandstoffen wordt de wereld geconfronteerd met een dreigend tekort aan de meeste industriële metalen binnen enkele decennia.

### EXPONENTIELE GROEI

Voordat er conclusies worden getrokken, dient enige aandacht te worden besteed aan het fenomeen van de exponentiële groei. Gedurende de voorbije

dominante du monde industriel a été une croissance exponentielle du niveau de production de l'énergie primaire et des matériaux bruts ainsi que des produits finis. Ces taux de croissance durant la majeure partie du 19e siècle étaient ordinairement de 4 à 8 % par an, doublement de production pour des périodes de 7 à 18 ans. Parallèlement et en conséquence de ceci est apparue une des plus grandes et des plus rapides perturbations écologiques jamais connues, à laquelle l'évolution de la population humaine est associée.

On ne peut se faire une idée de l'anomalie de cette situation qu'en considérant les événements des quelques derniers siècles comparés à une plus longue période de l'histoire. L'accroissement de la population humaine depuis l'année 1000 est donné à la figure 17. On note le taux de croissance extrêmement bas jusque vers l'année 1500, puis l'accélération graduelle. En 1650, on estime que la population humaine a atteint environ 500 millions. Vers 1800, elle a doublé atteignant 1 billion. En 1933, elle a atteint 2 billions et vers 1973, 4 billions. Au taux de croissance actuel, elle doublera à nouveau d'ici 35 ans.

On peut se faire une idée de la nature anormale de cet accroissement récent si on s'inquiète de savoir quelle a pu être la période moyenne de temps de doublement de population durant le dernier million d'années. Le maximum possible de croissance aurait pu être atteint si la population, il y a 1 million d'années, se limitait au minimum biologique de 2. Alors le chiffre maximum possible de période de doublement requise pour atteindre la population de 4,2 billions aurait été 31. Pour 31 doublements en 1 million d'années, la période moyenne de doublement de population aurait été de 32.000 ans.

Une arithmétique similaire appliquée à chaque phénomène de croissance exponentielle montre qu'une telle croissance ne peut être soutenue que pendant quelques dizaines de périodes de doublements avant qu'apparaissent des contraintes sous forme d'épuisement des ressources, de surpeuplement et de contamination de l'environnement qui

eeuw of de laatste 2 eeuwen werd de industriële wereld vooral gekenmerkt door de exponentiële groei van de produktiviteit van de primaire energie en grondstoffen, en van de afgewerkte produkten. Dit groeiritme gedurende het grootste deel van de 19de eeuw lag meestal tussen 4 tot 8 % per jaar met verdubbelingsperiodes van 7 tot 18 jaar. Parallel hiermee en als gevolg hiervan heeft zich één van de grootste en snelste ecologische verstoringen van alle tijden voorgedaan, inclusief wat de menselijke bevolking betreft.

Hoe ongewoon deze gang van zaken geweest is, kan alleen maar begrepen worden als we de gebeurtenissen van de laatste eeuwen tegen de achtergrond van een langere periode in de geschiedenis bekijken. Op fig. 17 wordt de groei van de menselijke bevolking sinds het jaar 1000 weergegeven. Let hierbij op het uiterst trage groeiritme tot ca. 1500 en de geleidelijke groei daarna. Tegen 1650 wordt de menselijke bevolking op ca. 500 miljoen geraamd. Tegen 1800 ongeveer is dit aantal verdubbeld en wonen ongeveer 1 miljard mensen op deze wereld. Tegen 1933 zijn de 2 miljard bereikt en tegen 1973 ongeveer 4 miljard. Tegen het huidige groeiritme zal de wereldbevolking in ongeveer 35 jaar weer zijn verdubbeld.

Hoe afwijkend deze recente bevolkingsgroei is, ziet men pas als men zich afvraagt hoelang het gemiddeld duurde voordat het bevolkingsaantal verdubbelde in het laatste miljoen jaren. De grootst mogelijke groei zou hebben plaatsgevonden als de bevolking 1 miljoen jaren geleden uit het biologische minimum van 2 zou hebben bestaan. Het hoogste aantal verdubbelingen dat vereist is om tot de huidige bevolking van 4,2 miljard te komen, zou dan 31 zijn. Bij 31 verdubbelingen in 1 miljoen jaren duurt een verdubbelingsperiode gemiddeld 32.000 jaar.

Zo'n berekening, toegepast op een verschijnsel van exponentiële groei, toont aan dat een dergelijke groei maar enkele tientallen verdubbelingen kan meemaken voordat beperkingen worden opgelegd om uitputting van de bronnen te voorkomen, om overbevolking tegen te gaan en om het milieu te beschermen, en de groei moet dan tot staan worden

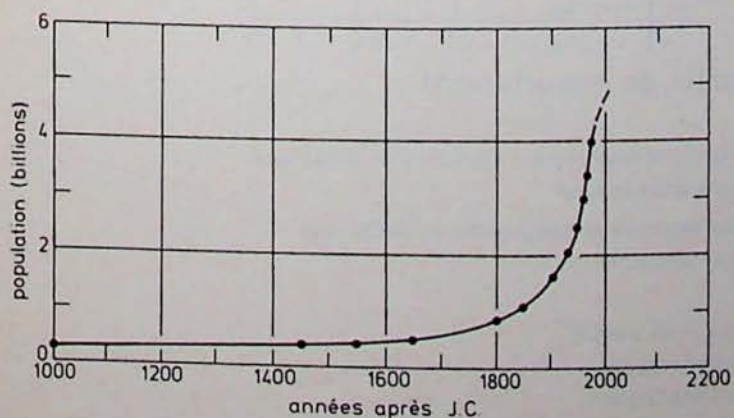


Fig. 17 — Accroissement de la population humaine de l'année 1000 jusqu'à ce jour

Groei van de menselijke bevolking vanaf het jaar 1000 tot op heden

Population — Bevolking

Années après J.C. — Jaren na Chr

entraînent l'arrêt de la croissance. Le monde est en train d'entrer dans cette phase. Lorsqu'on considère une échelle de temps de 5000 ans dans le passé jusque 5000 ans dans le futur comme le montre la figure 18, on voit que les événements du passé immédiat et du futur proche représentent une période perturbatrice de changement rapide d'une durée d'environ 3 siècles, entre un passé comprenant toute l'histoire précédente et un futur présentant un taux de changement très lent.

Quoi qu'il en soit, c'est au cours du siècle dernier que les sociétés industrielles du monde ont fait la transition d'une simple société pratiquant le travail manuel à une société industrielle et commerciale moderne complexe. C'est durant cette période que la plupart des institutions mondiales industrielles — leur système légal, leurs structures financières et leur organisation sociale — ont évolué toutes dans une atmosphère de croissance exponentielle continue. En bref, nous avons développé une culture basée sur une croissance exponentielle, mais une culture mal adaptée à faire face aux problèmes soulevés par une croissance nulle.

gebracht. De wereld is nu in dit stadium gekomen. Bekeken op een tijdschaal van 5000 jaar in het verleden tot 5000 jaar in de toekomst, zoals uitgezet op figuur 18, merkt men op dat de gebeurtenissen uit het onmiddellijke verleden en in de nabije toekomst een onrustige periode vormen met snelle wisselingen die ongeveer drie eeuwen aanhouden tussen een verleden dat alle voorafgaande tijd omvat en een toekomst waarin de veranderingen tegen een traag tempo zullen verlopen.

Hoe dan ook, de industriële samenlevingen in de wereld zijn gedurende de laatste honderd jaar geëvolueerd van een eenvoudige vakmannensamenleving naar een moderne industriële en commerciële maatschappij. In deze periode zijn ook het merendeel van de instellingen van de industriële wereld — het wetstelsel, de financiële structuur en de sociale organisatie — tot stand gekomen, en dit alles in het kader van een voortdurende exponentiële groei. Samengevat : wat wij hebben ontwikkeld, heeft geleid tot een cultuur van exponentiële groei maar deze cultuur is slechts gewapend om de problemen van de niet-groei te bekampen.

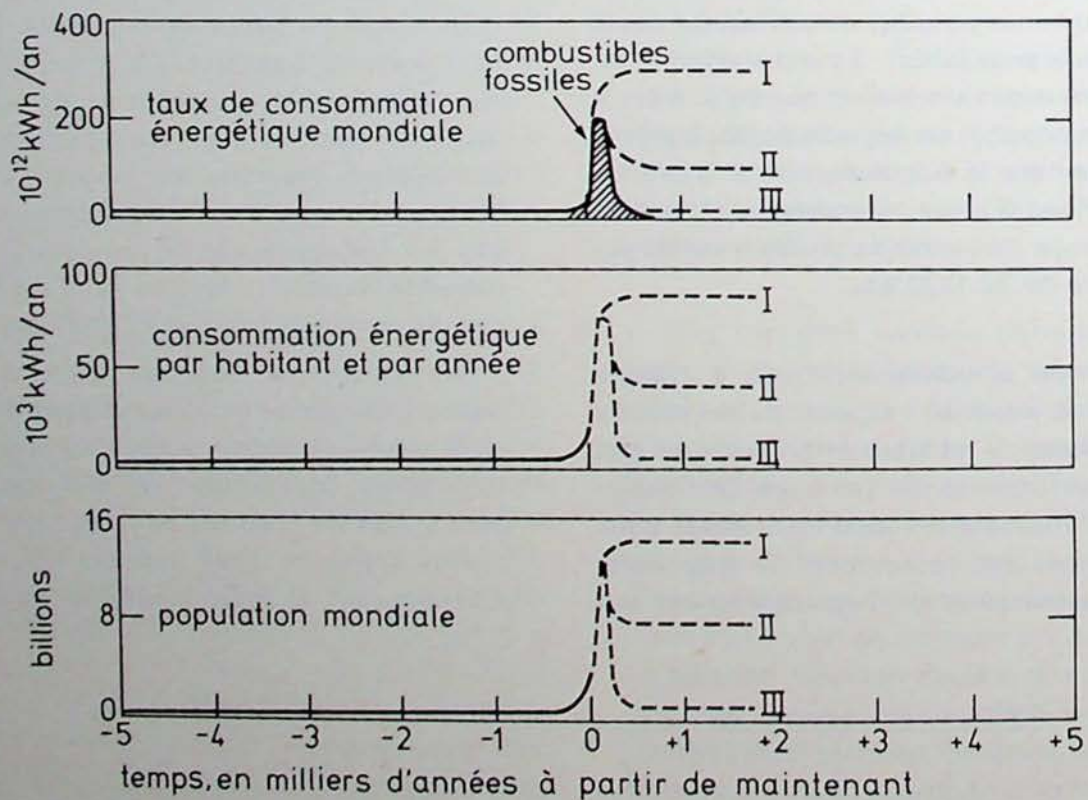


Fig. 18 — Etat actuel de l'activité humaine projetée sur un fond historique s'étendant de 5000 ans dans le passé jusqu'à 5000 ans dans le futur

*De huidige stand van zaken voor de mensheid, gezien tegen de achtergrond van 5000 jaar geschiedenis en 5000 jaar toekomst*

Billions — Miljarden

Taux de consommation... — Verbruiksniveau van energie in de wereld

Consommation énergétique... — Energieverbruik per hoofd per jaar

Temps en milliers d'années... — Tijd in duizenden jaren vanaf heden

## DEFI AUX GEOLOGUES

Vis-à-vis de cette crise imminente, si on veut éviter une solution catastrophique, il est impérieux que la situation périlleuse que le monde a atteinte soit comprise. Ce n'est qu'à de telles conditions primordiales que des actions rationnelles compatibles avec les faits pourront être entreprises. En cela, le défi est lancé aux géologues. La connaissance fondamentale permettant de prendre le leadership intellectuel dans cette situation éminemment difficile est par excellence géologique — une connaissance de l'histoire de la terre et de l'évolution de ses organismes, une connaissance des minéraux terrestres et des ressources énergétiques. Désormais, il faut que les géologues se libèrent de leurs préoccupations inhérentes à la seconde phase de l'histoire de la géologie où ils ont été astreints à servir les intérêts de la finance et de l'industrie. Il faut qu'ils puissent revenir à l'optique de Lyell et Darwin, avec la reconnaissance du fait que la géologie a un présent et un futur aussi bien qu'un passé, ce qui implique que son rôle est maintenant de participer au leadership intellectuel, afin de provoquer un changement majeur dans la pensée et dans la vie des hommes.

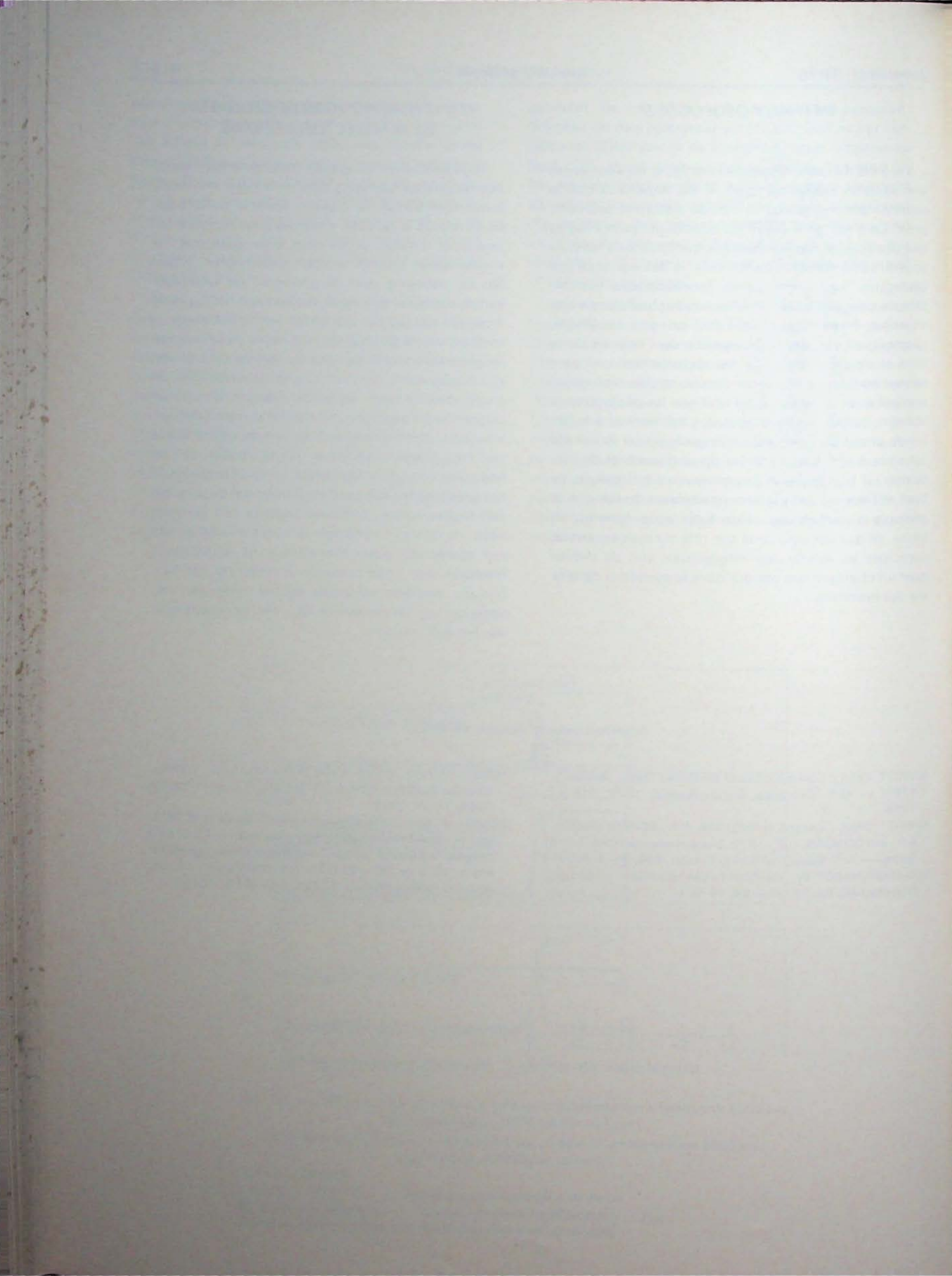
EEN UITDAGING VOOR DE GEOLOGEN :  
DE INTELLECTUELE LEIDING

Tegenover deze dreigende culturele crisis waarbij een rampzalige oplossing dient te worden vermeden, is het noodzakelijk dat ingezien wordt in welke situatie de wereld is geraakt. Enkel als men zich daarvan bewust is, zouden de bij deze feiten passende, rationele acties kunnen worden ondernomen. Hierin ligt de uitdaging voor de geologen. De wezenlijke kennis voor een bevoegde intellectuele leiding in de moeilijke situatie die ons boven het hoofd hangt, is eerst en vooral geologisch, met name de kennis van de geschiedenis van de aarde en van de evolutie van zijn organismen, een kennis van de delfstoffen en energiebronnen van de aarde. Daarom kan, ervan uitgaande dat geologen zelf afstand kunnen doen van hun werk met de tweede fase van de geschiedenis van de geologie toen ze in dienst stonden van de financiële en industriële wereld, en terugkerend naar het gezichtspunt van Lyell en Darwin dat de geologie een heden en een toekomst evenals een verleden heeft, de rol van de geologie er weer één worden van een intellectueel leadership waarvan de voornaamste resultaten een grote culturele verandering zou kunnen zijn, met dien verstande dat het eerder een verandering van de denkwijze dan van de levenswijze van het volk zou zijn.

## Références citées — Vermelde referenties

- AVERRITT, PAUL : Coal resources of the United States, January 1, 1967. — U.S. Geological Survey Bulletin, 1275, 116 p., 1969.
- AVERRITT, PAUL : Citation in THEODOR, P.K., SCHWEINFURTH, S.P., and DUNGAN, D.C., 1972, Energy resources of the United States. — U.S. Geological Survey Circular, 650, 3—4, 1972.
- VON ENGELHARDT, W. : Raubban an den Erzvorräten. — Bild der Wissenschaft, No. 11, 78—84, 1976.

- HUBERT, M. King : Nuclear energy and the fossil fuels. — Dallas, American Petroleum Institute, Drilling and Production Practice (1956, 7—25, 1956).
- HUBERT, M. King : U.S. energy resources, a review as of 1972, Pt. I, in : A national fuels and energy policy study. — U.S. 93 d Congress, 2 d Session, Senate Committee on Interior and Insular Affairs, Serial no. 93—40 (92—75), Washington, U.S. Government Printing Office no. 527002419, 267 p., 1974.





**Spores du sommet du Dévonien à Langenaubach  
(synclinal de la Dill, RFA). Relations entre la conservation des spores,  
le pouvoir réflecteur de la vitrinite et des intrusions diabasiques**

Yvonne SOMERS\* et Maurice STREEL\*\*

RESUME

Vingt-trois échantillons de schistes répartis sur un profil de 17 m dans une séquence schisto-gréseuse appartenant aux couches de Wocklum et de Hangenberg, à Langenaubach, dans le synclinal de la Dill (RFA), contiennent des spores à divers états de conservation appartenant à la sous-zone pusillites-lepidophytus supérieure (PLs) d'âge Tn1a supérieur ou Tn1b basal. Il est démontré pour la première fois que cette sous-zone existe dans des sédiments sous-jacents aux Schistes de Hangenberg.

La partie moyenne du profil comprend cinq intrusions diabasiques de faible épaisseur dont l'influence sur l'état de la matière organique a été étudiée. Bien que les variations du pouvoir réflecteur de la vitrinite soient faibles et de l'ordre de grandeur de ce que l'on peut attendre de simples variations lithologiques, il apparaît cependant que les valeurs maximales se groupent, comme les spores mal conservées, dans l'intervalle sédimentaire qui comprend les intrusions diabasiques, sans que l'on puisse cependant établir de relations directes entre chacune de ces intrusions et les échantillons étudiés.

ZUSAMMENFASSUNG

Dreiundzwanzig Schieferproben, verteilt über ein 17 Meter langes Profil in einer Abfolge von Sandstein / Schiefer, die zu den Wocklumer und Hangenberger Schichten, zu Langenaubach, in der Dill-Mulde (Bundesrepublik Deutschland) gehört, enthalten Sporen in verschiedenen Erhaltungszuständen, die zur

SAMENVATTING

Drieëntwintig leisteenmonsters verdeeld over een profiel van 17 m in een lei- en zandsteenachtige sequentie die behoort tot de lagen van Wocklum en Hangenberg bevatten te Langenaubach in de synclinale van de Dill (BRD), sporen in diverse staten van bewaring die behoren tot de bovenste pusillites-lepidophytus onderzone (PLs) van boven-Tn1a of onder-Tn1b ouderdom. Er wordt voor de eerste maal aangetoond dat die onderzone bestaat in de onderliggende afzettingen van de Leistenen van Hangenberg.

Het middenste deel van het profiel bevat vijf diabasische intrusies van geringe dikte waarvan de invloed op de staat van de organische stof werd bestudeerd. Alhoewel de veranderingen van het weerkaatsingsvermogen van het vitriniet zwak zijn en van de orde van grootte van wat kan worden verwacht van gewone lithologische veranderingen, blijkt toch dat de maximale waarden zich groeperen, zoals de slecht bewaarde sporen, in het sedimentair interval dat de diabasische intrusies omvat, zonder dat echter rechtstreekse verbanden tussen elk van die intrusies en de bestudeerde monsters kunnen worden gelegd.

SUMMARY

Twenty-three samples of shales taken from a 17-metre profile in a shale-sandstone sequence from the Wocklum and Hangenberg beds, from Langenaubach, in the Dill syncline (Federal Republic of Germany) were found to contain spores in various states of preservation; these spores are assigned to the upper pusilli-

\* INIEX, rue du Chéra, 200, B-4000 Liège.

\*\* Université de Liège, Paléobotanique et Paléopalynologie,  
place du XX Août, 7, B-4000 Liège.

oberen *pusillites-lepidophytus*-Unterzone (PLs) im oberen Tn1a bzw. unteren Tn1b gehören. Zum erstenmal wird der Beweis erbracht, dass diese Unterzone in den unter dem Hangenberg Schiefer liegenden Sedimenten vorhanden ist.

Der mittlere Profiltteil umfasst fünf nicht sehr dicke Diabasintrusionen, deren Einfluss auf den Zustand der organischen Materie Gegenstand einer Untersuchung war. Obwohl die Schwankungen des reflektierenden Vermögens des Vitrinites als gering zu bezeichnen sind und sich in der Größenordnung bewegen, die man von einfachen lithologischen Schwankungen erwarten dürfte, hat es allerdings den Anschein, dass die Höchstwerte genau wie die schlecht erhaltenen Sporen in dem Sedimentzwischenraum zusammengefasst sind, der die Diabasintrusionen einschliesst, ohne dass man jedoch direkte Beziehungen zwischen jeder einzelnen Intrusion und den untersuchten Proben herstellen kann.

*tes-lepidophytus sub-zone (PLs), in upper Tn1a or basal Tn1b. The presence of this sub-zone in the sediments underlying the Hangenberg Shales is demonstrated the first time.*

*The central section of the profile exhibits five thin diabasic intrusions ; the effect of these intrusions on the organic matter was studied. Although variations in the reflectance of the vitrinite are slight, being of the order of magnitude of those to be expected in simple lithological variations, it is nevertheless clear that the maximum values are found together, like the badly-preserved spores, in the sedimentary interval containing the diabasic intrusions ; however, it was not possible to establish direct links between each of these intrusions and the samples examined.*

## 0. INTRODUCTION

Le synclinal de la Dill se situe au nord-est du Westwald dans le massif schisteux rhénan, en République Fédérale d'Allemagne (RFA). Il occupe une position très particulière au sein du géosynclinal varisque à l'est du Rhin où on l'assimile à une crête géosynclinale au milieu d'un bassin (Meischner, 1971). Le volcanisme y est important et la sédimentation dévono-dinantienne a oscillé entre des formations récifales et des formations détritiques (Krebs, 1966). L'activité récifale a cessé au cours du Frasnien et des sédiments détritiques se sont accumulés ensuite de manière plus ou moins continue selon l'emplacement dans le bassin. Des brèches, des bombes volcaniques et des diabases intrusives s'intercalent dans ces sédiments. Les couches détritiques sont les plus épaisses dans les faciès périphériques au récif, en particulier là où affleure aujourd'hui, dans la vallée de la Rombach, l'écaïlle tectonique n° 1 (Krebs, 1966).

Le profil que nous avons échantillonné appartient à cette écaïlle. Il comprend essentiellement une vingtaine de mètres de sédiments schisto-gréseux intercalés entre deux ensembles d'allure bréchiq ue : au sommet le « Langenaubacher Breccie », à la base une couche d'environ 25 m d'épaisseur dénommée « Jungoberdevonischer Bombenschalstein ». Seule la séquence schisto-gréseuse est reprise sur la figure 1. L'ensemble du profil est reproduit dans la notice explicative de la carte géologique de Hesse au 1/25.000e (feuille 5215 Dillenburg, page 164 : Abb. 5, Prof. 2, 1970).

Dans cette notice sont repris également les résultats préliminaires de 4 échantillons prélevés dans ce profil et que l'un de nous (MS) a étudiés il y a plusieurs années. Ils appartiennent tous à la zone à *V. pusillites-S. lepidophytus* : zone PL. L'échantillon Ra 637 est récolté immédiatement sous le « Jungoberdevonischer Bombenschalstein » (voir notice *op.cit.* page 215 : Tab. 16, Fundpunkt 1a).

Il contient de grands spécimens de *S. lepidophytus* et correspond à la zone biométrique C d'âge Fa2d dans la région type de la vallée de l'Ourthe en Belgique. La position des échantillons Ra 638 et 639 est mentionnée sur la figure 1 (voir aussi notice *op.cit.* page 209 : Abb. 7, Profil 1 ; page 225 : Fundpunkt 1c = Ra 638 et page 254 : Fundpunkt 1a = Ra 639).

Un quatrième échantillon provenant de la partie supérieure du profil correspond approximativement à l'éch. 639. Il contient en plus de nombreux *S. lepidophytus* (45 %), une quantité notable (10 %) de *V. pusillites* (Streel 1969, p. 11).

Cet échantillon comme le n° 639 contient une population de *S. lepidophytus* correspondant aux zones biométriques E et F d'âges Tn1a à Tn1b en Belgique, mais rencontrées également dans les « Hangenberg Schiefer » de l'Hönnetal (Paproth et Streel, 1971).

Un nouvel échantillonnage plus dense et limité à l'intervalle schisto-gréseux qui sépare les deux « brèches » a été réalisé en 1974 et a permis d'entreprendre le présent travail. La position stratigraphique des points de prélèvement a été contrôlée

par le Dr. A. Rabiën du « Hessisches Landesamt für Bodenforschung » à Wiesbaden, qui a bien voulu nous transmettre le profil lithologique de la figure 1 réalisé par l'Ing. Hühner. Nous les en remercions très vivement.

## 1. OBSERVATIONS PRELIMINAIRES

L'intervalle schisto-gréseux considéré ici correspond à deux formations lithologiques distinctes, les « Hangenberg Schiefer » surmontant une « suite schiste/grès des couches de Wocklum ». Cette dernière formation contient cinq intrusions diabasiques principales correspondant sur la figure 1 aux bancs n° 19, 21, 23, 29 et 31. Deux échantillons ont été prélevés au sommet des « Hangenberg Schiefer » et 21 échantillons dans la formation beaucoup plus épaisse sous-jacente, afin de tenter notamment de situer l'ensemble de cette dernière formation dans le cadre palynostratigraphique détaillé établi en Belgique et d'observer la transition entre les zones biométriques C et E.

Un examen préliminaire des préparations microscopiques nous a montré cependant que le mauvais état de conservation de l'éch. Ra 638 n'était pas fortuit. L'ensemble des échantillons 04 à 18 contient en effet entre 50 et 100 % de spores indéterminables (fig. 1) rendant illusoire toute analyse biométrique précise sur la population de *S. lepidophytus*. Seuls la base et le sommet de la « suite schistes/grès des couches de Wocklum » peuvent être étudiés à ce point de vue.

Cette constatation nous a donc amenés à considérer deux questions distinctes : a) A quelles zones biométriques appartiennent respectivement la base et le sommet de cette formation ? b) Pourquoi la partie moyenne de cette formation ne contient-elle, là où elle a été échantillonnée, que des assemblages de spores mal conservées ? L'ensemble des échantillons semble se répartir indifféremment au sein de cette séquence entre péloschistes, pélitoschistes et micropsamoschistes. Mais les échantillons 4, 5 et surtout 12 à 14 sont particulièrement peu favorables aux microfossiles. Les pourcentages de spores indéterminables y sont établis de ce fait sur un petit nombre de spores observées (moins de 100). Or on peut constater que ces échantillons se situent à proximité des intrusions diabasiques, en particulier des bancs les plus épais 29 et 31. On pouvait se demander dès lors s'il n'existait pas une relation entre le degré d'évolution de la matière organique dispersée dans ces sédiments et la proximité de ces intrusions diabasiques.

## 2. AGE DE LA FORMATION APPELEE « SUITE SCHISTES/GRES DES COUCHES DE WOCKLUM » A LANGENAUBACH

Tous les échantillons étudiés dans les deux formations et en particulier les n° 01 à 03 et 19 à 23, les plus riches en spores, appartiennent à la sous-zone *V. pusillites-S. lepidophytus* supérieure (PLs). La liste des espèces identifiées est donnée ci-dessous. Les références bibliographiques peuvent être consultées dans BBST 1974 (Becker *et al.*, 1974). *Retusotriletes planus* Dolby & Neves 1969, *Apiculiretusispora plicata* (Allen) Strel 1967, *Aneurospora incohata* (Sullivan) Strel in BBST 1974, *Aneurospora greggsii* (McGregor) Strel in BBST 1974, *Acanthotriletes famenensis* Naumova 1953, *Raistrickia variabilis* Dolby & Neves 1969, *Vallatisporites pusillites* (Kedo) Dolby & Neves 1969, *Grandispora echinata* Hacq. 1957, *Grandispora microseta* (Kedo) Strel in BBST 1974, *Grandispora uncata* (Hacq.) Playford 1971, *Spelaeotriletes cassis* (Kedo) Strel in BBST 1974, *Spelaeotriletes lepidophytus* (Kedo) Strel in BBST 1974, *Endosporites ? crassaspinosus* Winslow 1962, *Auroraspora hyalina* (Naum.) Strel in BBST 1974, *Auroraspora macra* Sullivan 1968, *Auroraspora solisorta* Hoff. St. & Malloy 1955, *Rugospora flexuosa* (Jusch.) Strel in BBST 1974.

*G. echinata* a été trouvé dès l'éch. n° 01. Son apparition caractérise dans les couches de l'Ourthe la base de la sous-zone PLs connue au sommet des couches de Comblain-au-Pont dans la vallée de l'Ourthe (Belgique) et au sommet du Calcaire d'Étroeungt dans l'Avesnois (France) (Paproth & Strel 1971, fig. 1).

L'analyse biométrique (Strel 1966) de la population de *S. lepidophytus* des échantillons n° 01 à 03 et 19 à 21 montre par ailleurs que tous ces échantillons se situent indistinctement dans les zones E/F. Les histogrammes de fréquence de taille sont tous semblables les uns aux autres et ne se différencient pas de ceux que nous avons observés précédemment dans les « Hangenberg Schiefer » sus-jacents. L'interquartile se situe entre 41  $\mu$  et 55  $\mu$ . La valeur minimale est donc caractéristique de la zone F, la valeur maximale, de la zone E (Strel 1969). La comparaison avec l'échelle de référence construite dans la vallée de l'Ourthe ne peut donc être très précise. Ces résultats s'accordent cependant avec ceux qui permettent de caractériser la zone PLs.

Dans les « Hangenberg Schiefer » de Langenaubach, nous n'avons pu mettre en évidence les rares espèces caractéristiques qui permettent de différencier dans l'Hönnetal (Paproth et Strel 1971) les subdivisions PLs1 et PLs2. Cependant, l'abondance de *V. pusillites* dans un des échantillons antérieure-

ment étudiés peut être comparée à celle que nous avons observée entre 3,50 m et 4 m au-dessus du Wocklum Stufe à Oberrödinghausen. Nous pensons donc que les « Hangenberg Schiefer » sont vraisemblablement de même âge dans les deux localités.

On peut en conclure que la « suite schistes/grès des couches de Wocklum » à Langenaubach appartient entièrement à la partie supérieure du Tn1a, voire à la partie basale précambrienne du Tn1b. L'intervalle sédimentaire couvert par le « Jungoberdevonischer Bombenschalstein » appartient donc vraisemblablement à la partie inférieure du Tn1a.

Il est aussi intéressant de constater pour la première fois qu'une épaisse formation sous-jacente aux « Hangenberg Schiefer » contient la sous-zone PLs et non une sous-zone stratigraphiquement inférieure.

### 3. RELATIONS EVENTUELLES ENTRE L'ETAT DE LA MATIERE ORGANIQUE DISPERSEE ET LA PRESENCE DE DIABASES INTRUSIVES

#### 3.1. Données connues par la littérature

- a) Les effets de l'influence thermique d'intrusions volcaniques sur des charbons ont été étudiés entre autres par Chatterjee, Chandra et Ghosh (1964), Kisch (1966), Kisch et Taylor (1966), Noël (1966), Chandra et Taylor (1975) et Jones et Creaney (1977). Ces auteurs ont examiné les transformations subies par le charbon, au contact et au voisinage des intrusions, au point de vue de la modification de la structure des constituants microscopiques et du degré de houillification estimé par la mesure du pouvoir réflecteur.

Les observations rendent compte d'une cokéfaction naturelle du charbon au contact de l'intrusion (structure en mosaïque, vésiculation...) accompagnée d'une très forte augmentation du pouvoir réflecteur et de la biréflexion. L'influence thermique des intrusions diminue rapidement lorsqu'on s'éloigne du contact et est déjà très faible lorsque la distance au contact vaut la moitié de la largeur de l'intrusion.

Il est à noter que la majorité des études concernent des intrusions d'épaisseur nettement supérieure à 1 m, parfois de plusieurs dizaines de mètres à l'exception d'un exemple décrit par Jones et Creaney 1977 : dyke de 10 cm d'épaisseur affectant un charbon westphalien sur une distance de 6 cm à partir du point de contact.

- b) Des phénomènes comparables ont été observés sur la matière organique finement dispersée dans

les roches, modifiée par la présence d'intrusions volcaniques. Citons les études de Bostick (1971-1973), Correia et Maury (1975), Sauvan, Esquevin et Chennaux (1975), Baker et al. (1976). Ces auteurs observent, comme dans le cas des couches de charbon, une très forte altération thermique au contact des intrusions, suivie d'une diminution assez rapide des modifications de la matière organique dispersée lorsqu'on s'écarte du contact.

Sans entrer dans le détail, on peut conclure de ces études que l'importance et la nature des modifications subies dépendent de l'épaisseur de l'intrusion et de l'état d'évolution déjà atteint par la matière organique avant l'intrusion.

- c) Pour tenter de traduire les modifications observées (pouvoir réflecteur principalement) en température, de nombreuses expériences ont été réalisées en laboratoire : des échantillons de diverses natures (charbons de rangs divers, roches à kérogène, bois actuels) ont été chauffés à des températures connues, pour des durées variables, avec ou sans pression, en présence ou en l'absence de O<sub>2</sub>... (cf. Chandra 1965, Kisch 1966, Correia 1967, Bostick 1971, Somers, Leplat et Noël 1975, Maury 1976...).

On peut en conclure que le facteur essentiel déterminant la modification du rang est la température et que, dans les conditions expérimentales de laboratoire tout au moins, les facteurs temps et pression ne modifient guère les résultats des expériences.

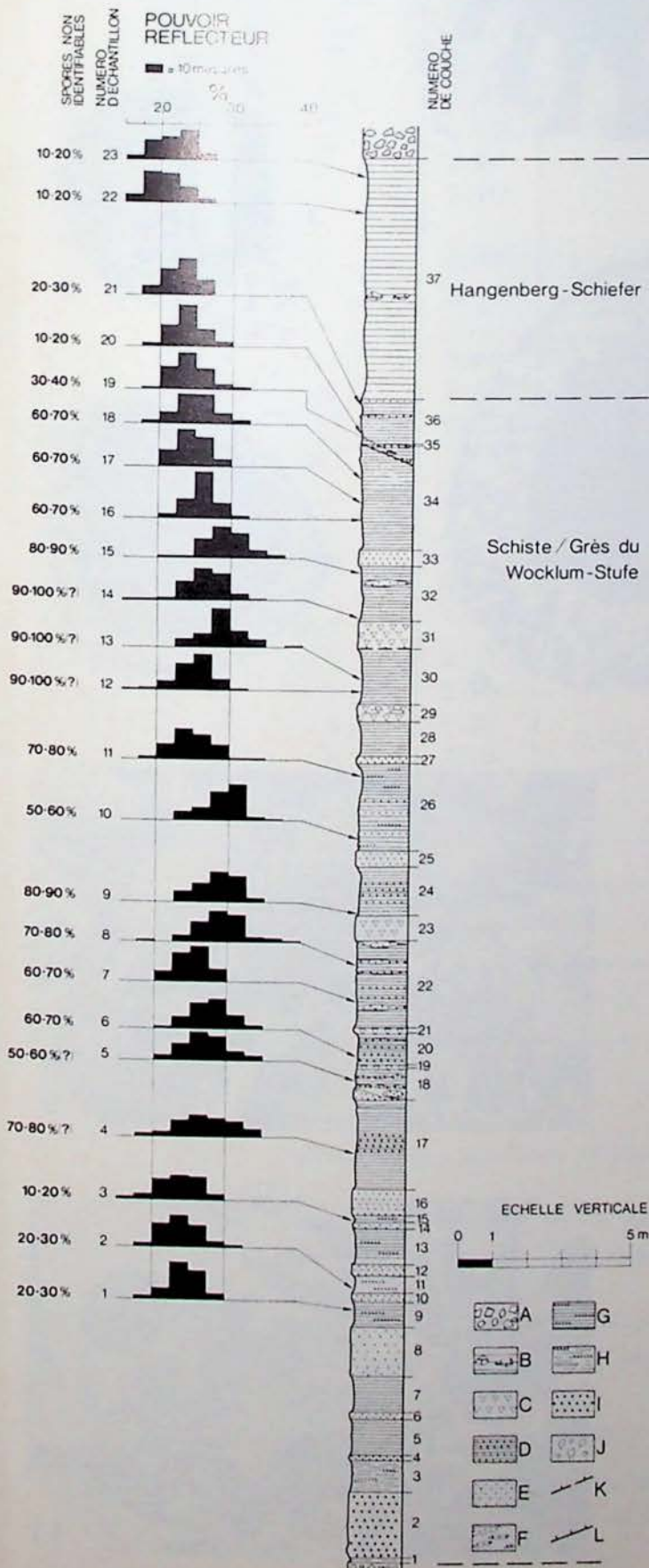
D'après les différentes échelles pouvoir réflecteur/température construites, et en se référant aux conditions expérimentales donnant des résultats comparables à ceux de la nature, on peut conclure que le pouvoir réflecteur ne subit de modification sensible qu'à partir d'une température de  $\approx 300^{\circ}\text{C}$  (cf. Bostick 1973). Une conclusion intéressante peut également être tirée de l'étude de Correia et Maury (1975) qui montre que, si le pouvoir réflecteur n'évolue qu'à partir d'une paléotempérature calculée d'environ  $300^{\circ}\text{C}$ , par contre l'état de conservation étudié en lumière transmise, et qui rend compte notamment de la transparence des spores, subit déjà une évolution thermique à partir d'une paléotempérature d'environ  $100^{\circ}\text{C}$ .

#### 3.2. Données de Langenaubach

Les résidus palynologiques ont été fixés sur un bloc de plexiglas et polis par les méthodes classiques permettant l'observation en lumière réfléchie et lumière transmise.

L'observation en lumière réfléchiée montre que les particules de matière organique dispersée sont principalement de type vitrinite et sporinite (cf. planche I, fig. 8 à 11).

Les mesures du pouvoir réflecteur effectuées sur les particules de vitrinite sont portées sur les figures 1 et 2. Pour chaque échantillon, une centaine de points ont été mesurés. La figure 1 reprend les histogram-



mes des mesures et le tableau (fig. 2) donne les valeurs moyennes ainsi que les valeurs de la dispersion ( $\sigma$ ).

On peut voir sur ces figures que, à l'opposé des résultats obtenus par comptage des spores non identifiables, les variations du pouvoir réflecteur sont peu sensibles dans la zone affectée par les diabases. De même, les variations du  $\sigma$ , qui sont une indication du degré d'anisotropie, ne sont pas liées à la présence des intrusions. Les valeurs obtenues ici sont d'un ordre de grandeur en rapport avec les pourcentages de pouvoir réflecteur mesurés. Les légères modifications observées sont du même ordre de grandeur que les variations liées à la nature lithologique des sédiments (cf. les études sur des séries de grès, schistes gréseux, schistes et calcaires par Bostick et Foster (1975), Blanquart et Mériaux (1975).

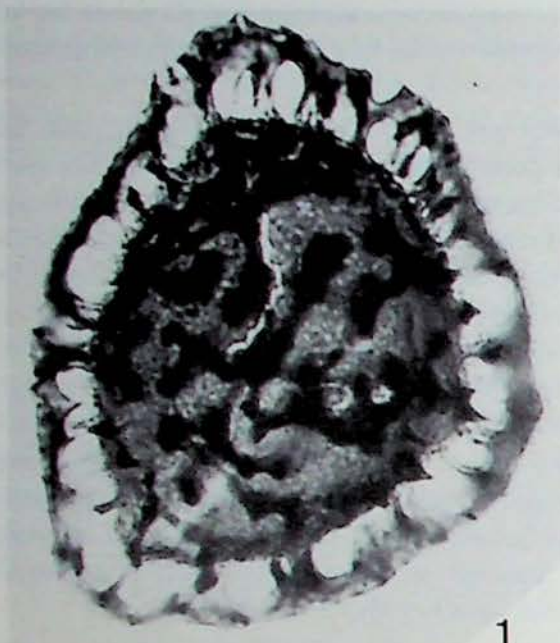
Il semble donc que l'influence thermique des diabases n'a pas été suffisante pour modifier le pouvoir réflecteur des particules de vitrinite.

Cependant, on constatera (fig. 2) que la moyenne des valeurs calculée sur la séquence d'échantillons n° 04 à 18 l'emporte sur les moyennes des autres échantillons. Les valeurs maximales se groupent, comme les spores mal conservées, dans l'intervalle sédimentaire qui comprend les intrusions diabasi-ques, sans que l'on puisse cependant établir de relations directes entre chacune de ces intrusions et les échantillons étudiés.

Il existe peu de données dans la littérature, au sujet d'intrusions très minces. Les références citées décrivent le cas d'intrusions toujours supérieures à 1 m d'épaisseur, parfois jusqu'à des dizaines de mètres d'épaisseur. Dans le cas qui nous concerne, l'intrusion la plus épaisse a une hauteur de 40 cm et on peut supposer que les modifications thermiques intervenues ont été relativement faibles.

Fig. 1. — Coupe le long de la rivière Rombach à Langenaubach (RFA) - Ecaille n° 1.

- A. « Langenaubacher Breccie ».
- B. « Hangenberg Schiefer » gris verdâtre avec des inclusions de calcaires.
- C. Diabase ou Spilite, gris verdâtre, intrusive.
- D. Couches silteuses dans les schistes argileux.
- E. Grès, gris verdâtre.
- F. Grès dans les schistes argileux.
- G. Schistes argileux, gris verdâtre à vert grisâtre avec des couches silteuses.
- H. Schistes argileux, rouge pâle avec des couches silteuses.
- I. Banc oolithique.
- J. « Jungoberdevonischer Bombenschalstein ».
- K. Déangement présumé.
- L. Déangement établi.



1



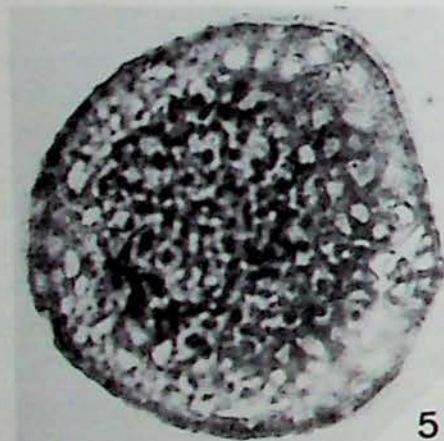
2



3



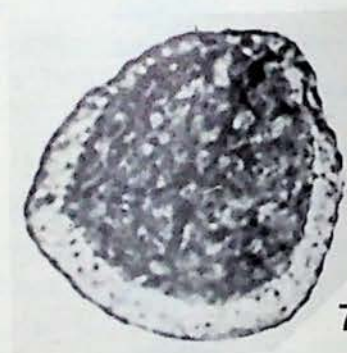
4



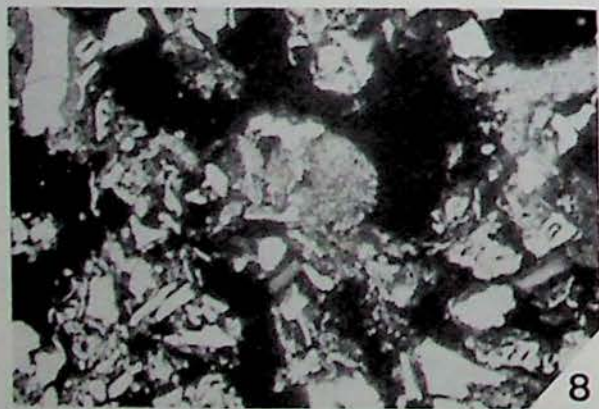
5



6



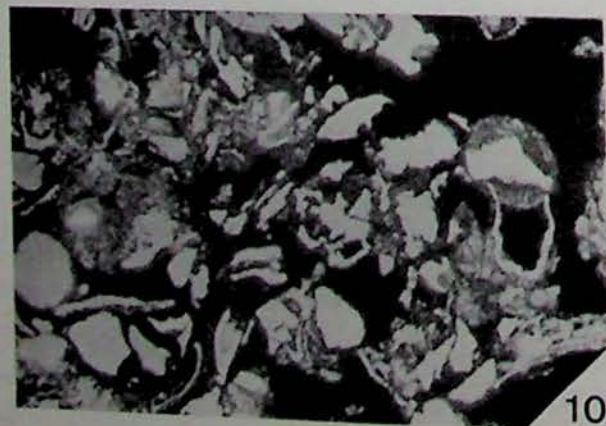
7



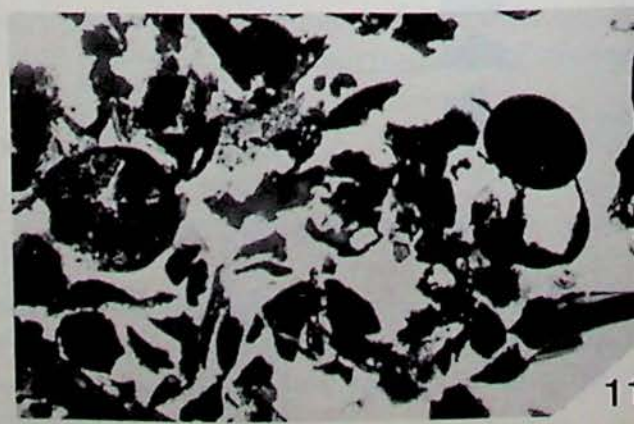
8



9



10



11

Echantillon n°	< 50 % spores non identifiables	PR %	moyennes par zone	moyenne générale	différence par rapport à la moyenne générale = 2,56		σ
					-	+	
23	X	2,17	2,12	2,56	0,39		0,24
22	X	2,07			(1)	0,49	
21	X	2,29	2,35	2,56	0,27		0,21
20	X	2,35			(2)	0,21	
19	X	2,41			0,15		0,23
18		2,50			0,06		0,26
17		2,45			0,11		0,20
16		2,60				0,04	0,19
15		2,94				0,38	0,26
14		2,70				0,14	0,22
(40 cm) (4)							
13		2,89				0,33	0,28
12		2,49	2,70	2,56	0,07		0,25
(25 cm) (4)					(3)		
11		2,49			0,07		0,26
10		2,90				0,34	0,27
9		2,85				0,29	0,27
(36 cm) (4)							
8		2,90				0,34	0,29
7		2,53			0,03		0,23
(7,5 cm) (4)							
6		2,77				0,21	0,25
(5 cm) (4)							
5		2,71				0,15	0,30
4		2,73				0,17	0,36
3	X	2,38	2,40	2,56	0,18		0,28
2	X	2,38			(2)	0,18	
1	X	2,44			0,12		0,23

Fig. 2 : Tableau des valeurs moyennes du pouvoir réflecteur de la vitrinite.

- (1) sp. indéterminables < 50 % - Hangenberg-Schiefer.
- (2) sp. indéterminables < 50 % } Wocklum-Stufe.
- (3) sp. indéterminables > 50 % }
- (4) position et épaisseur des diabases intrusives.

PLANCHE 1

Spores isolées (× 1000)

- Fig. 1. *Vallatisporites pusillites* (Kedo) Dolby & Neves 1969, Ech. 22, L. 15031 : 2983.
- Fig. 2. *Raistrickia variabilis* Dolby & Neves 1969, Ech. 22, L. 15031 : 3063.
- Fig. 3. *Aneurospora greggsii* (McGregor) Strel in BBST 1974, Ech. 22, L.15031 : 1669.
- Fig. 4. *Acanthotriletes famenensis* Naumova 1953, Ech. 22, L.15031 : 1473.
- Figs. 5, 6, 7. *Spelaeotriletes lepidophytus* (Kedo) Strel in BBST 1974, Ech. 22, L. 15031 : 1400, 0789 et 1109.

Matière organique dispersée (× 200)

Deux aspects de concentrés de particules organiques en lumière réfléchie (fig. 8 et 10) et en lumière transmise (fig. 9 et 11) (Mélange de sporinite et de vitrinite essentiellement).

En lumière transmise, les spores se distinguent facilement (voir *S. lepidophytus* sur la fig. 9), tandis qu'en lumière réfléchie la distinction n'est pas toujours possible, le

En ce qui concerne les modifications de l'état de conservation des spores, il est intéressant de se rappeler les résultats de Correia et Maury qui signalent que les spores sont déjà affectées à des températures relativement faibles.

### BIBLIOGRAPHIE

- BAKER E.W., HUANG W.Y., RANKIN J.G., CASTAÑO J.R., GUINN J.R. & FUEX A.N., sous presse. Electron paramagnetic resonance study of thermal alteration of kerogen in deep-sea sediments by basaltic sill intrusion. *In* : Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Volume 41 : Washington (U.S. Government Printing Office), 839-847.
- BBST = BECKER G., BLESS M.J.M., STREEL M. & THOREZ J., 1974. Palynology and ostracode distribution in the Upper Devonian and Basal Dinantian of Belgium and their dependence on sedimentary facies. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst, Nieuwe Series, 25, 2, 9-99.*
- BLANQUART P. & MERIAUX E., 1975. Etude comparative du pouvoir réflecteur de veines, passées, lits, veinules, filets et grains de matière organique dispersée dans quelques sédiments du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais. *In* : Pétrographie Organique et Potentiel Pétrolier, B. Alpern (Ed.), Paris (CNRS), 27-39.
- BOSTICK N.H., 1971. Thermal alteration of clastic organic particles as an indicator of contact and burial metamorphism in sedimentary rocks. *Geoscience and Man, III, 83-92.*
- BOSTICK N.H., 1973. Time as a factor in thermal metamorphism of phytoclasts (coaly particles). *C.R. 7<sup>e</sup> Congrès International de Stratigraphie et de Géologie du Carbonifère (Krefeld 1971), 2, 183-193.*
- BOSTICK N.H. & FOSTER J.N., 1975. Comparison of vitrinite reflectance in coal seams and in kerogen of sandstones, shales and limestones in the same part of a sedimentary section. *In* : Pétrographie Organique et Potentiel Pétrolier, B. Alpern (Ed.), Paris (CNRS), 13-25.
- CHANDRA D., 1965. Use of Reflectance in Evaluating Temperature of Carbonized or Thermally Metamorphosed Coals. *Fuel, XLIV, 171-176.*
- CHANDRA D. & TAYLOR G.H., 1975. Thermally altered coals. *In* : Stach's Textbook of Coal Petrology, Gebrüder Borntraeger, Berlin-Stuttgart, 165-174.
- CHATTERJEE N.N., CHANDRA D. & GHOSH T.K., 1964. Reflectance of Poniaty Seam affected by a Mica-Peridotite Dyke. *Journal of Mines, Metals and Fuels, 12, 346-349.*
- CORREIA M., 1967. Relations possibles entre l'état de conservation des éléments figurés de la matière organique (microfossiles palynoplantologiques) et l'existence de gisements d'hydrocarbures. *Revue de l'I.F.P., XXII, 1285-1306.*
- CORREIA M. & MAURY R.C., 1975. Effets thermiques, minéralogiques et chimiques de l'intrusion d'un dyke basaltique dans le Toarcien des Causses. *Bulletin du Centre de Recherches Pau-SNPA, 9, 245-259.*
- Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1 : 25000, Blatt Nr. 5215 Dillenburg-Wiesbaden 1970.
- JONES J.M. & CREANEY S., 1977. Optical character of thermally metamorphosed coals of northern England. *Journal of Microscopy, 109, 105-118.*
- KISCH H.J., 1966. Carbonization of semi-anthracitic vitrinite by an analcime basanite sill. *Economic Geology, 61, 1043-1063.*
- KISCH H.J. & TAYLOR G.H., 1966. Metamorphism and alteration near an intrusive-coal contact. *Economic Geology, 61, 343-361.*
- KREBS W., 1966. Der Bau des oberdevonischen Langenaubach-Breitscheider Riffes und seine weitere Entwicklung im Unterkarbon (Rheinisches Schiefergebirge). *Abh. senckenb. naturf. Ges., 511, 1-105.*
- MAURY R.C., 1976. Evolution à haute température des matériaux organiques dans les formations volcaniques ou à leur contact. *Bulletin du Centre de Recherches Pau-SNPA, 10, 289-300.*
- MEISCHNER D., 1971. Clastic Sedimentation in the Variscan Geosyncline East of the River Rhine. *Sedimentology of parts of Central Europe. Guidebook, VIII Int. Sediment. Congress, 9-43.*
- NOËL R., 1966. Recherche charbonnière : perspectives d'ensemble et exemples d'application de la mesure du rang des charbons. *Bulletin du Centre de Recherches Pau-SNPA, 10, 301-315.*
- PAPROTH E. & STREEL M., 1971. Corrélations biostratigraphiques près de la limite Dévonien/Carbonifère entre les faciès littoraux ardennais et les faciès bathyaux rhénans. *Colloque sur la Stratigraphie du Carbonifère. Congr. et coll. Univ. Liège, 55, 365-398.*
- SAUVAN P., ESQUEVIN J. & CHENNAUX G., 1975. Transformations induites par des intrusions doléritiques dans une série argileuse : l'Ecca de Bergville (Afrique du Sud). *Bulletin du Centre de Recherches Pau - SNPA, 9, 261-351.*
- SOMERS Y., LEPLAT P. & NOËL R., 1975. Comparaison de l'évolution géologique et de l'évolution par pyrolyse des propriétés optiques de roches à kérogène et de charbons. *In* : Pétrographie Organique et Potentiel Pétrolier, B. Alpern (Ed.), Paris (C.N.R.S.), 243-252.
- STREEL M., 1966. Critères palynologiques pour une stratigraphie détaillée du Tn1a dans les Bassins ardennes-rhénans. *Ann. Soc. géol. Belg., 89, 1-4, 65-96.*
- STREEL M., 1969. Corrélations palynologiques entre les sédiments de transition dévonien/dinantien dans les bassins ardennes-rhénans. *C.R. 6e Congr. int. Strat. Geol. Carbonifère (Sheffield 1967), 1, 3-18.*



## La signification climatique, édaphique et sédimentologique des rapports entre taxons en analyse pollinique

Pierre COUR et Danièle DUZER \*

### RESUME

*Les rapports entre les données polliniques de taxons pris deux à deux varient en fonction de conditions climatiques, biologiques ou physiques.*

*Les exemples donnés sont tirés d'une étude sur la répartition actuelle des retombées polliniques sédimentées à la surface du sol le long d'un transect Oran (Algérie)-Gao (Niger).*

### ZUSAMMENFASSUNG

*Die Beziehungen zwischen den pollinischen Angaben von Taxa, welche paarweise ausgesucht wurden, schwanken je nach den klimatischen, biologischen bzw. physikalischen Bedingungen.*

*Die angeführten Beispiele stammen aus einer Untersuchungsarbeit über die derzeitige Verteilung von pollinischen Niederschlägen die an der Erdoberfläche entlang einem Transekten Oran (Algerien)-Gao (Niger) sedimentiert sind.*

L'analyse pollinique des sédiments montre généralement, pour chacun des taxons rencontrés, des variations de fréquences d'un spectre à un autre ; ces différences sont imputables à deux sortes de facteurs :

- les facteurs primaires qui agissent au niveau de la production des masses polliniques ;
- les facteurs secondaires qui interviennent au niveau de la sédimentation des pollens.

#### 1) Facteurs primaires

Le climat et le milieu déterminent comme on le sait la composition des groupements végétaux régionaux ou stationnels :

\* Laboratoire de Palynologie C.N.R.S., Université des Sciences et Techniques du Languedoc, F-34060 Montpellier Cedex.

### SAMENVATTING

*Het verband tussen de pollengegevens van taxa die paarsgewijs worden beschouwd, verschillen volgens de klimatologische, biologische of fysische omstandigheden.*

*De gegeven voorbeelden werden gehaald uit een studie over de huidige verdeling van de pollenneerslag gesedimenteerd aan de bodemoppervlakte langs een transect Oran (Algerije)-Gao (Niger).*

### SUMMARY

*The ratio between pollen data from taxons treated in pairs varies according to climatic, biological and physical conditions.*

*The examples described are taken from a study on the present distribution of pollen rain sedimented at the soil surface along a transect from Oran (Algeria) to Gao (Niger).*

— Les variations climatiques entraînent, au-delà de certains seuils, des modifications des aires de répartition de la plupart des taxons.

— Les variations des paramètres relatifs au milieu, évolution naturelle, modifications topographiques, biotiques ou anthropiques, provoquent des changements d'associations végétales au sein des stations concernées.

#### 2) Facteurs secondaires

Ces facteurs déterminent des distorsions dans les flores polliniques émises à partir de différents types de végétation en agissant sélectivement sur les conditions de dépôt des pollens, puis sur leur conservation dans les sédiments.

a) Durant la phase de dépôt, une des principales distorsions peut être occasionnée par les rythmes

pluviométriques saisonniers. Par exemple, en région méditerranéenne occidentale (Montpellier, période 1931-1960), les précipitations de mars-avril (128 mm) et de septembre-octobre (195 mm) sont respectivement 2,6 et 4 fois plus importantes que les précipitations de juin-juillet (49 mm), tandis que les débits moyens des cours d'eau régionaux varient simultanément dans une proportion de 100 à 1.

Les pluies assurent, par les ruissellements de surface qu'elles occasionnent, le transfert de la plus grande partie des pollens qui s'accumulent dans les bassins sédimentaires. De ce fait, le synchronisme ou le déphasage de la période de pollinisation de chaque taxon par rapport aux évolutions saisonnières du débit des cours d'eau régionaux a une forte incidence sur leur représentation pollinique dans les sédiments.

Des distorsions saisonnières peuvent de même être occasionnées dans certaines régions par des modifications du pouvoir de réceptivité des surfaces des bassins versants vis-à-vis des retombées polliniques (présence d'une couverture neigeuse, gel, assèchement etc...).

b) Après sédimentation, certains facteurs, entre autres chimiques ou physiques, sont responsables d'une plus ou moins bonne conservation des pollens ; les grains les plus fragiles, en particulier ceux dont la détermination nécessite un examen microscopique approfondi, peuvent se trouver défavorisés par rapport aux taxons les plus résistants ou les plus aisément identifiables.

## 1. COMMENT DECELER LE MODE D'ACTION DES DIVERS FACTEURS INTERVENANT DANS LA COMPOSITION DES SPECTRES POLLINIQUES

### 1.1. Deux sortes de données sont habituellement produites par les analyses polliniques de sédiments

- Le calcul des fréquences relatives.
- L'évaluation de la richesse pollinique par unité de poids ou de volume.

Ces données qualitatives et quantitatives ne peuvent faire ressortir d'une manière satisfaisante les actions particulières des différents facteurs responsables de la composition et de la concentration des flores polliniques telles qu'elles se présentent dans les sédiments.

#### a) Fréquences relatives

Par définition, les fréquences de chaque taxon sont calculées par rapport à une somme de base comprenant, en principe, la totalité des grains recensés dans

une analyse. Le taux de représentation obtenu pour un taxon dépend donc très étroitement des taux atteints par l'ensemble des autres taxons : or, d'après ce que nous avons vu, les taxons répercutent très différemment les actions des facteurs primaires et secondaires auxquels ils ont été soumis.

#### b) Les richesses polliniques absolues

Les variations de richesse constatées entre différents niveaux ne peuvent être directement liées à des changements de densité de la couverture végétale initiale. Les pollens ne constituent, en effet, qu'une infime partie des sédiments : à titre indicatif, 500.000 grains par gramme (une des plus fortes concentrations observées) représentent moins de 0,40 % du volume des matières sédimentées.

Dans ces conditions, il est évident qu'une très faible variation de la proportion des particules minérales ou organiques a des répercussions plus importantes sur la richesse pollinique du sédiment qu'une variation — même très sensible — des masses polliniques produites simultanément.

Le rapport volumétrique entre les masses engagées est tel que la production pollinique peut être considérée comme constante dans le temps : dès lors, les variations de concentration en grains par unité de poids ou de volume — non accompagnées d'une modification inverse du taux de pollens abîmés — correspondent à des changements proportionnels de la vitesse de sédimentation.

### 1.2. Les rapports entre taxons

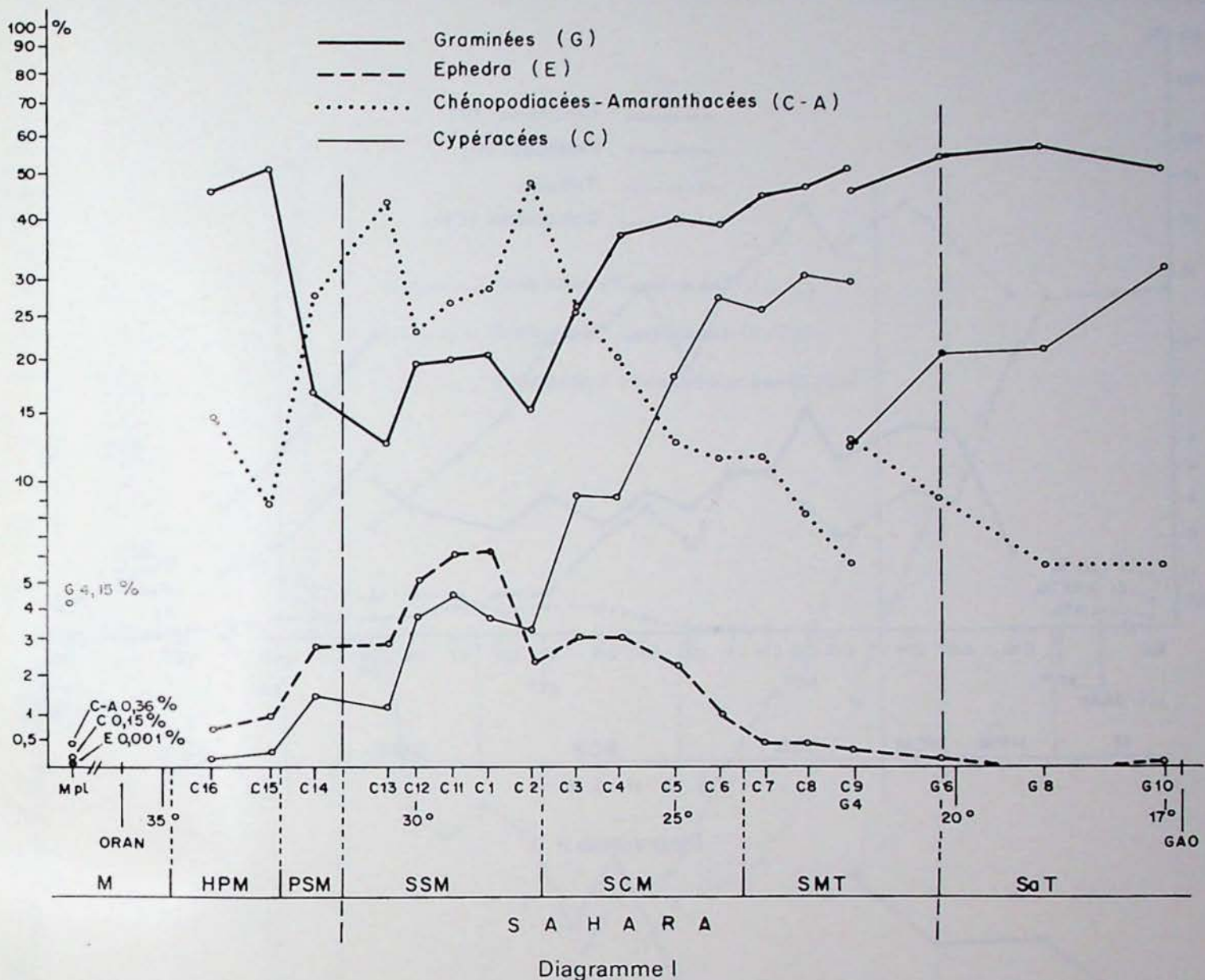
Les aires de répartition des taxons puis leur représentation pollinique dans les sédiments sont, comme nous l'avons rappelé, différemment affectées par les modifications des facteurs primaires et secondaires auxquels ils sont soumis. Inversement, les différents modes d'action de ces facteurs peuvent être décelés à travers les changements de représentations qu'ils engendrent dans les spectres polliniques : en jouant sur le comportement différentiel de deux taxons donnés, présents simultanément dans différents spectres, on souligne par conséquent leur différence de comportement vis-à-vis des facteurs mis en cause.

On réalise cette opération en prenant les taux de représentation (1) de ces deux taxons, l'un comme

(1) On considère comme taux de représentation :

- le nombre brut de grains observé par analyse,
- le pourcentage calculé par rapport à la somme de base retenue,
- le nombre de grains évalué par unité de poids ou de volume de sédiment.

Ces trois données quantitatives sont, bien entendu, directement liées. Seuls des dénombrements statistiquement représentatifs des populations polliniques effectivement échantillonnées peuvent fournir des rapports significatifs.



LEGENDE COMMUNE AUX DIAGRAMMES I à V

Stations échantillonnées.

- Mpl : Montpellier (région nord-méditerranéenne) ; données aéropalynologiques moyennes (moyennes annuelles 1973-1976) mentionnées à titre de comparaison.
- Transects latitudinaux réalisés au voisinage du Méridien 0 :  
Stations C 16 à C 11, C 1 à C 9, G 4 à G 10 ; stations de prélèvement des retombées polliniques sédimentées à la surface du sol.
  - Stations C : fluxages de la poussière de surface réalisés en septembre 1972.
  - Stations G : fluxages réalisés en novembre 1975.

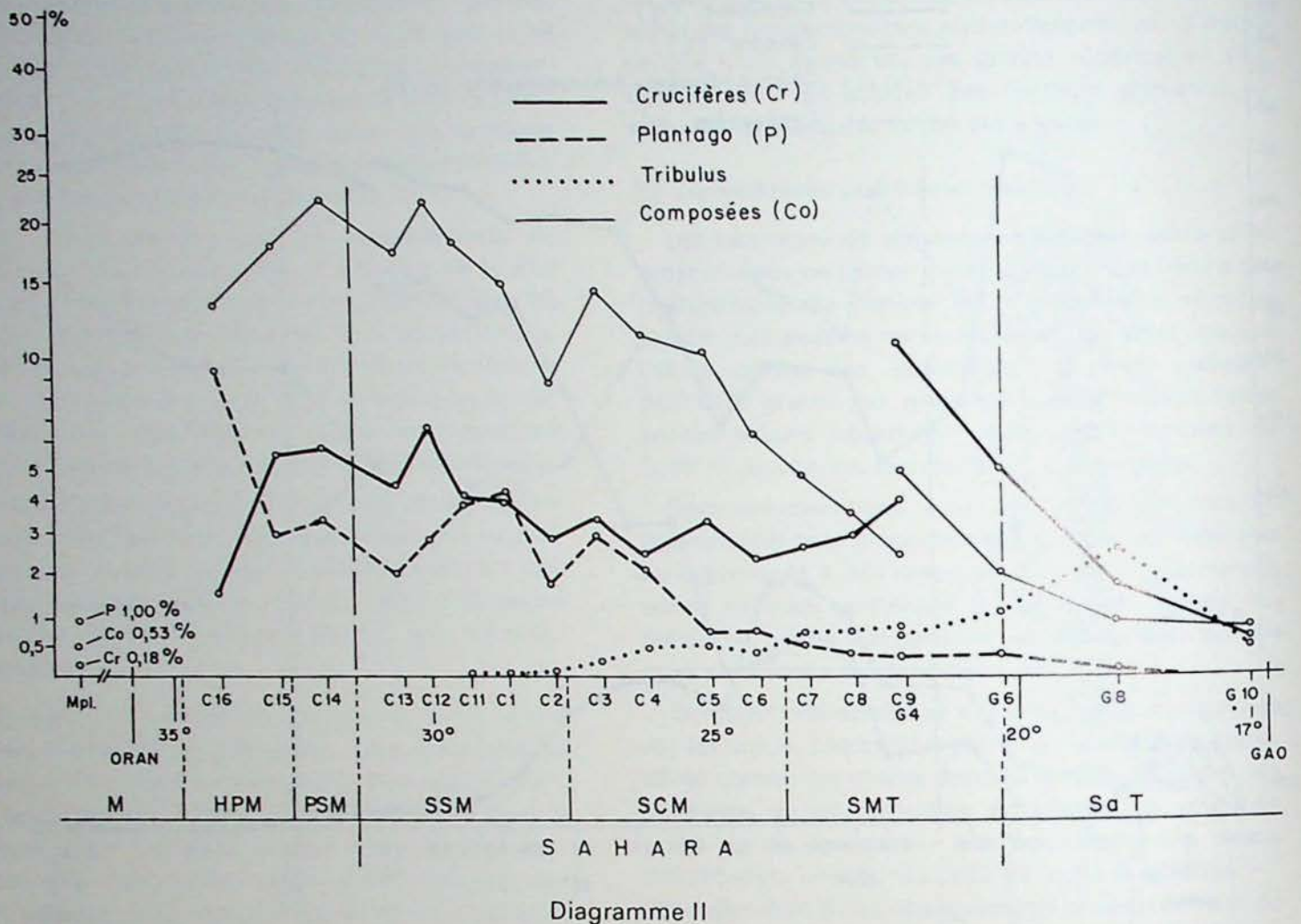
Localisation géographique des stations, limites régionales.

a) Influence méditerranéenne (M).

- M = région méditerranéenne proprement dite
- HPM = Hauts Plateaux (stations C 16 - C 15, 34°-33°)
- PSM = Présahara (station C 14, 32°)
- SSM = Sahara septentrional (stations C 13 à C 2, 30°30'-28°)
- SCM = Sahara central (stations C 3 à C 6, 27° à 24°)

b) Influence tropicale (T)

- SMT = Sahara méridional (stations C 7 à C 9 - G 4 à G 6, 23° à 20°30')
- SaT = région sahélienne (stations G 8 - G 10, 18°-17°).



#### Diagrammes I et II.

Variation latitudinale du pourcentage des Graminées, Chénopodiacées-Amaranthacées, *Ephedra*, Cypéracées (diagramme I) et des Composées, *Plantago*, Crucifères, *Tribulus* (diagramme II) dans les spectres des retombées polliniques actuelles sédimentées à la surface du sol.

#### Diagramme III.

Exemples de rapports établis entre familles.

Variation latitudinale des rapports Graminées/Cypéracées, Graminées/Composées, Graminées/Chénopodiacées dans les retombées polliniques actuelles sédimentées à la surface du sol.

#### Diagramme IV.

Exemples de rapports établis entre familles, entre genres et familles, entre genres.

Variation latitudinale des rapports Composées/Crucifères, *Ephedra*/Ombellifères, *Plantago*/*Tribulus* dans les retombées polliniques actuelles sédimentées à la surface du sol.

#### Diagramme V.

Exemples de rapports établis entre tribus chez les Composées et entre morpho-groupes chez les Graminées.

Variation latitudinale des rapports Composées échinulées/Composées fenestrées, Graminées sphériques/ Graminées ovoïdes dans les retombées polliniques actuelles sédimentées à la surface du sol.

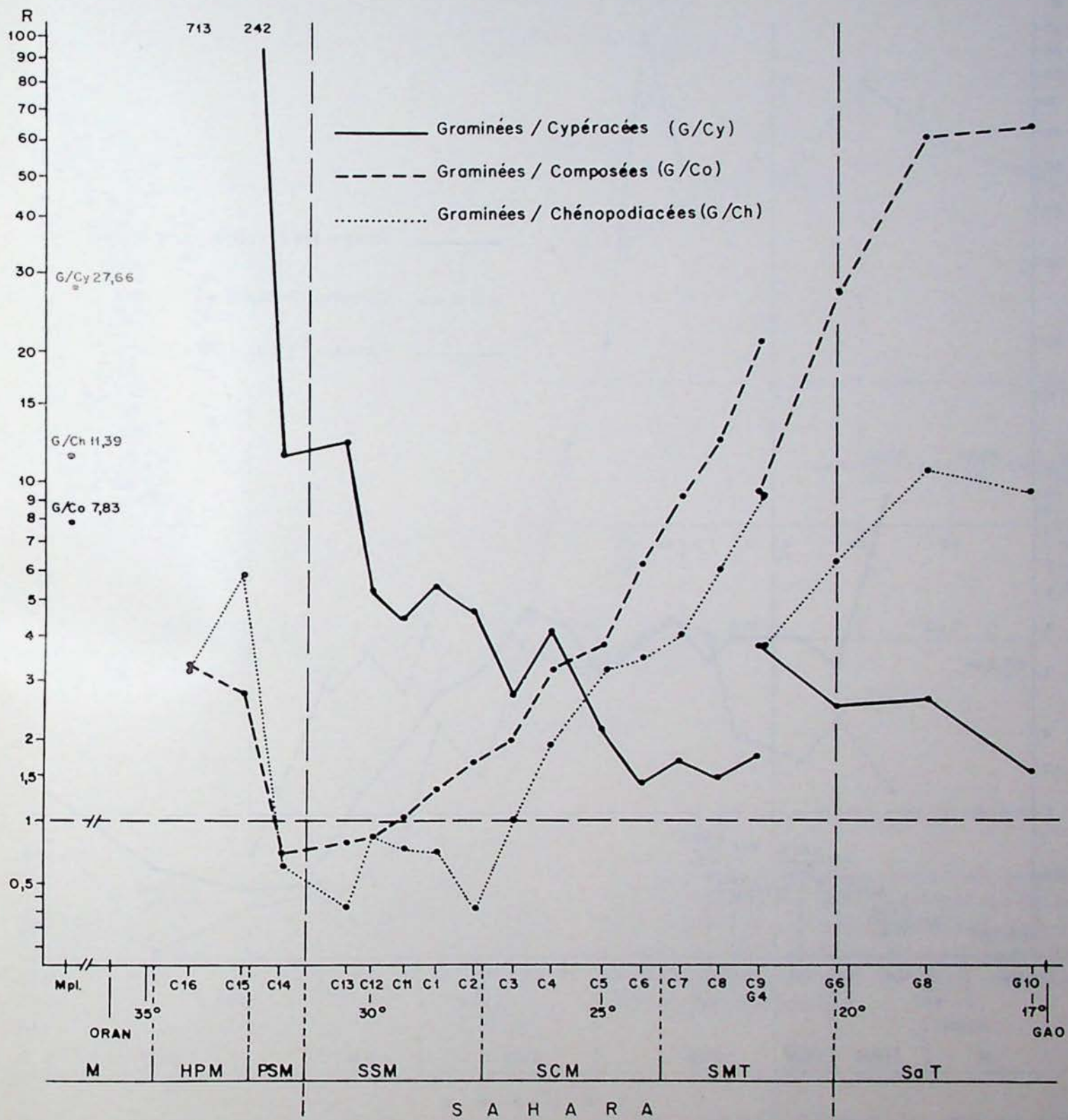


Diagramme III

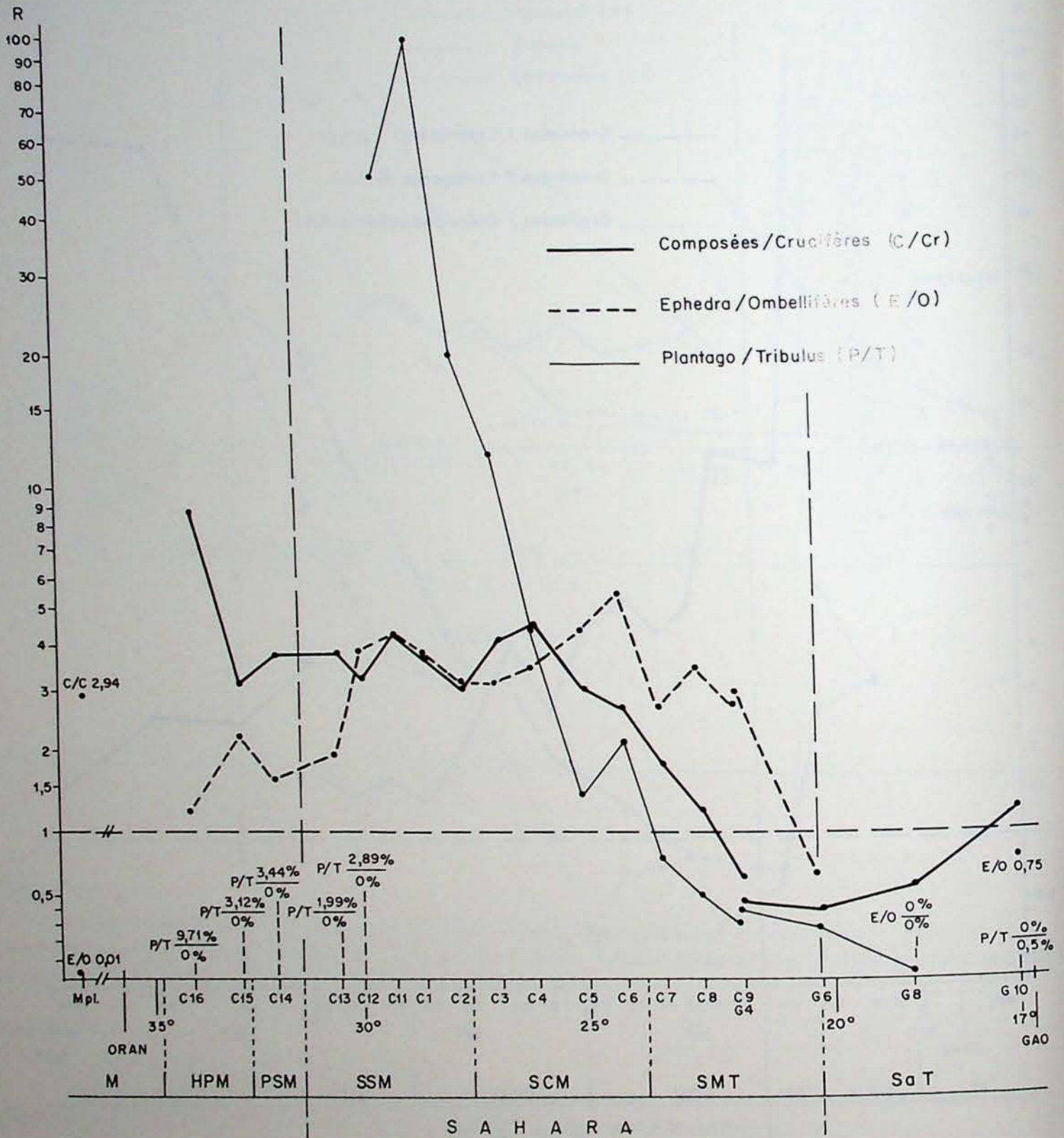


Diagramme IV

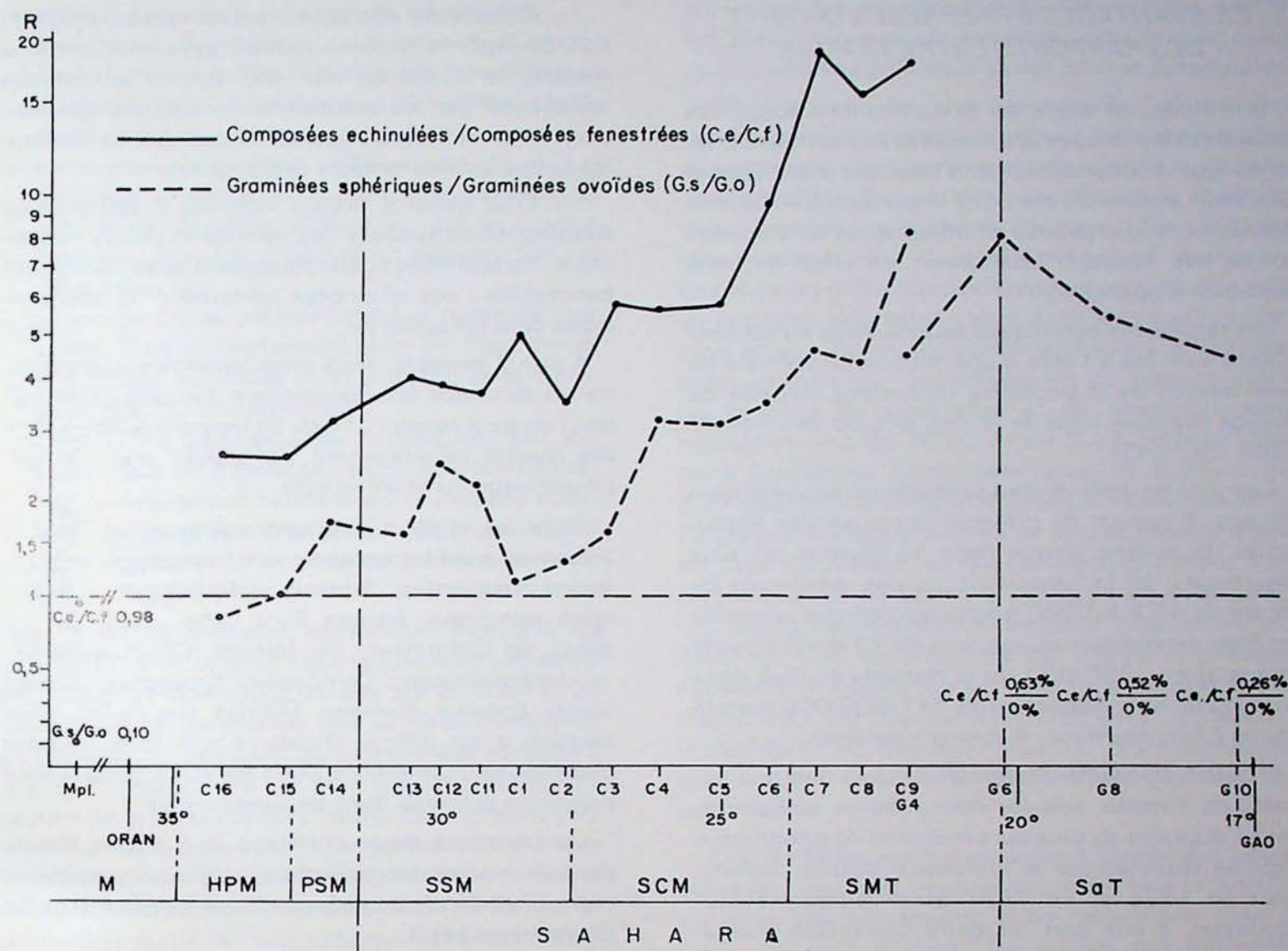


Diagramme V

dividende, l'autre comme diviseur ; le quotient obtenu traduit, en quelque sorte, l'influence plus ou moins prépondérante du taxon diviseur sur le taxon dividende comme le montre l'exemple suivant : calcul du rapport Composées/Crucifères dans les retombées polliniques à la surface du sol du Sahara septentrional par 30° de latitude nord et au Sahara méridional par 21° de latitude nord au voisinage du méridien 0

Sahara septentrional			
Taxons	Nbre grains	%	
Composées	797	22,56	= 3,28
Crucifères	243	6,88	
Sahara méridional			
Taxons	Nbre grains	%	
Composées	70	2,45	= 0,63
Crucifères	111	3,89	

Par ce biais, on isole ce couple de taxons des spectres polliniques. Ce fait est important car les taxons peuvent alors être appariés judicieusement en fonction de leur comportement connu ou supposé vis-à-vis des facteurs dont on désire connaître ou contrôler les changements.

Dans l'exemple ci-dessus, les rapports Composées/Crucifères ne dépendent aucunement des variations des autres taxons plus ou moins représentés dans les deux spectres. Il apparaît, par contre, et d'une manière chiffrée, que la famille des Composées domine nettement la famille des Crucifères au Sahara septentrional, l'inverse se produisant au Sahara méridional : ces deux rapports mettent ainsi parfaitement en relief les actions différentielles des facteurs régionaux sur la répartition locale des Composées et des Crucifères.

## 2. AVANTAGES ET REPRESENTATIVITE DES RAPPORTS ENTRE TAXONS

Une étude, en cours, sur la répartition actuelle des retombées polliniques sédimentées à la surface du sol en Afrique méditerranéenne et tropicale entre Oran et Gao nous servira de test. Les importantes variations des facteurs climatiques et édaphiques rencontrées sur de tels transects fournissent, en effet, de bons exemples d'application.

Les retombées polliniques sédimentées au sol sont échantillonnées à l'aide d'une technique spéciale de prélèvement de la poussière de surface inspirée du fluxage pratiqué dans le lit des lacs ou des fleuves (Cour, 1974) (2).

Ce mode de prélèvement se révèle particulièrement efficace. Il permet de prélever des quantités importantes de pollens jusque dans les régions les plus désertiques, tel le Tanezrouft, où des minimums de l'ordre de 45 à 50.000 grains sont encore recueillis par filtre exposé sur un parcours de 10 km (à titre de comparaison : 350.000 sur la Hamada du Guir dans la région de Béni-Abbès et près de 1.600.000 dans la steppe à Alfa des Hauts Plateaux algériens).

Plusieurs transects ont été effectués à diverses périodes de l'année, soit par nous-mêmes au Sahara, soit à l'occasion de plusieurs missions de géographie tropicale réalisées par le Professeur Baudet, notamment en 1976 et en 1977 entre Niamey et Tamanrasset, d'une part, et entre Dakar-Gao-Ouagadougou et Abidjan, d'autre part.

Plus d'une centaine de prélèvements de surface furent ainsi réalisés à diverses saisons, à travers toutes les zones de végétation présentes en Afrique entre 5 et 35 degrés de latitude nord.

Ces prélèvements sont en cours d'étude ; les résultats produits à ce jour démontrent, notamment, qu'à l'échelle des transects sahariens, la répartition des retombées polliniques d'une grande majorité de taxons apparaît comme essentiellement latitudinale (Van Campo, 1975 ; Cour et Duzer, 1976) :

— Dans le cas des taxons allochtones, ces variations latitudinales sont en relation avec l'éloignement progressif des zones d'émission, compte tenu des caractéristiques de la circulation atmosphérique générale (influence des facteurs géographiques).

(2) Cette technique consiste simplement à faire circuler un véhicule à une vitesse de 40 km/h sur les surfaces à étudier, l'arrière du véhicule étant muni d'une perche porte-filtres. En se déplaçant, de préférence face à la direction du vent, le véhicule soulève derrière lui un nuage de poussière ; une fraction de cette poussière adhère sur les deux filtres de 400 cm<sup>2</sup> placés perpendiculairement à l'axe de déplacement du véhicule sur le porte-filtres : on prélève ainsi les particules les plus légères sédimentées à la surface du sol, parmi lesquelles figurent de nombreux pollens. Après exposition, les filtres sont traités comme des sédiments siliceux afin d'en extraire la totalité des pollens.

— Dans le cas des taxons autochtones, la répartition de leurs retombées reflète, dans une certaine mesure, le mode de leur distribution latitudinale commandé par les conditions climatiques qui leur deviennent différentiellement favorables ou limitantes (influence des facteurs climatiques).

— Pour certains taxons inféodés à des milieux édaphiques particuliers, les sebkas et chotts notamment, les retombées polliniques sont essentiellement ponctuelles : ces retombées perturbent les pourcentages dans les spectres.

A titre d'exemple, nous nous contenterons de mettre en évidence les informations biogéographiques que l'on peut obtenir à l'aide de rapports établis entre des taxons généralement considérés pour le fort pourcentage qu'ils atteignent.

Dans les régions semi-arides à hyperarides sous influence méditerranéenne ou tropicale que nous avons prospectées, 9 taxons ubiquistes ou holarctiques principaux entrent dans cette catégorie ; ce sont : les Graminées, Cypéracées, Chénopodiacées — Amaranthacées, Composées, Crucifères, Ombellifères, *Ephedra*, *Plantago*, *Tribulus*. Ces taxons, pour lesquels il est difficile d'obtenir une détermination plus précise, rassemblent entre 85 et 95 % de la flore pollinique présente dans les zones arides.

Les variations de pourcentage de 8 de ces taxons dans les spectres des retombées polliniques prélevées entre 17 et 34° de latitude nord sont figurées dans les diagrammes I et II.

On notera, en particulier, les perturbations (influences stationnelles) provoquées au niveau des stations C 13 et C 2 par la forte représentation des Chénopodiacées colonisant les terrains salés aux abords de l'oued Saoura (plaine d'Abadla, station C 13) et les surfaces gypseuses de la dépression du Touat (station C 2, aux environs de Reggane).

On observera également les modifications saisonnières des pourcentages enregistrées par les deux fluxages réalisés au même endroit dans le sud du Tanezrouft au P.K. 600, près de la frontière du Mali (station C 9 fluxée en septembre 1972, puis G 4 fluxée en novembre 1975). Ces différences de pourcentages s'expliquent par le fait que le transect C de septembre a été effectué juste avant la période de pollinisation de la plupart des Chénopodiacées, des Composées et des Crucifères, tandis que le transect G de novembre était réalisé après cette période.

Aucune plante n'étant présente dans cette région totalement désertique, ces différences de représentation démontrent que la période de rémanence des retombées polliniques à la surface du sol serait inférieure ou peu supérieure à un cycle annuel.

Les diagrammes III à V font apparaître que des rapports parfaitement significatifs peuvent être établis entre ces taxons,



- entre familles, tels par exemple les rapports : Graminées/Cypéracées, Graminées/Composées, Graminées/Chénopodiacées figurés sur le diagramme III et Composées/Crucifères représenté sur le diagramme IV ;
- entre genres et familles, tel le rapport : *Ephedra*/Ombellifères ou entre genres appartenant à des familles différentes, tel le rapport *Plantago*/*Tribulus* (exemples figurés sur le diagramme IV) ;
- entre des tribus différenciables à partir de leur pollen, chez les Composées entre les Tubuliflores aux pollens échinulés et les Liguliflores aux pollens fenestrés (diagramme V) ;
- entre les morphogroupes polliniques, par exemple chez les Graminées entre les grains sphériques appartenant plutôt à des Graminées tropicales et les grains ovoïdes plutôt produits par des Graminées holarctiques (observation de Kupriyanova, 1948).

Ces quelques exemples démontrent bien que les rapports entre deux taxons donnés ne sont pas affectés par les variations propres aux autres taxons. On remarquera, en particulier, que la forte dominance des Chénopodiacées dans les spectres des stations C 13 et C 2 (diagrammes I et III) n'interfère en aucune manière dans les évolutions locales des rapports présentés sur les diagrammes (3). Les fluctuations que l'on observe le long des transects résultent uniquement d'une modification du taux de présence du taxon diviseur et, ou, de celle du taxon dividende : la ou les deux variations effectivement en cause dans chaque rapport peuvent être mises en relief en appariant séparément les deux taxons de chaque couple concerné à une série d'autres taxons présents dans les mêmes spectres.

D'après les exemples figurés dans les diagrammes III, IV et V, il apparaît également que :

a) les facteurs climatiques (ici latitudinaux) et édaphiques (ici la présence de biotopes halophyles) agissent d'une manière différentielle sur la répartition des taxons de haut rang (familles, tribus ou genres) comme sur celle (bien connue) des espèces. Il est donc prouvé que ces taxons peuvent fort bien être utilisés à leur niveau de détermination.

b) Les modifications éventuelles provoquées par l'action des facteurs secondaires sont discernables à l'aide de rapports établis entre des taxons choisis en fonction des types de distorsion que l'on désire contrôler.

Dans le cas qui nous intéresse ici, nous savons que les modifications figurées au niveau de la station du P.K. 600 (station C 9 puis G 4) peuvent être dé-

terminées par les périodes du prélèvement des retombées polliniques situées juste avant, puis au cours de la période de pollinisation des plantes automnales.

Effectivement, les changements de valeurs sont nettement plus importants lorsque les rapports sont réalisés entre des taxons ayant des périodes de pollinisation différentes qu'entre taxons ayant sensiblement la même période de floraison. Par exemple, dans le diagramme III, les Graminées qui fleurissent en été (leurs pollens proviennent ici en grande partie de la région sahélienne) sont opposées aux Composées et aux Chénopodiacées pollinisant principalement en automne : les différences de rapports entre les fluxages de septembre et de novembre sont respectivement de 20,65 et de 9,12 pour les rapports Graminées/Composées, puis de 9,03 et de 3,61 pour les rapports Graminées/Chénopodiacées. Par contre, les rapports que l'on pourrait établir entre les Chénopodiacées et les Composées restent très proches : 2,28 en septembre et 2,54 en novembre, ces taxons fleurissant tous les deux notamment en automne. Des modifications de faibles amplitudes apparaissent aussi entre les rapports présentés sur le diagramme IV, Composées/Crucifères, *Ephedra*/Ombellifères et *Plantago*/*Tribulus*, ces couples de taxons ayant sensiblement les mêmes périodes de pollinisation.

Ces quelques exemples laissent clairement apparaître les nouvelles voies de contrôle et de recherche ouvertes par les rapports entre taxons pris deux à deux. On peut dissocier les actions des différents facteurs primaires et secondaires intervenant dans la constitution des spectres polliniques actuels ou fossiles sachant que :

1) Les variations des rapports établis entre des taxons de même période de pollinisation — et dont les pollens offrent sensiblement la même résistance aux conditions de conservation (4) — peuvent être considérées comme de bons marqueurs des modifications occasionnées par des facteurs primaires climatiques, stationnels, biotiques ou anthropiques, lorsque les taxons mis en présence sont différenciellement affectés par ces diverses actions.

2) A l'inverse, des variations de rapports établis entre des taxons

— dont les périodes de pollinisation sont différentes  
— ou dont les pollens sont plus ou moins fragiles  
seront considérées comme de bons marqueurs des actions perturbatrices de ces facteurs secondaires.

Le contrôle de l'influence de tels facteurs a une grande importance : à titre d'exemple d'applications possibles, nous reprendrons notre modèle saharien.

(3) Sauf bien entendu en ce qui concerne le rapport Graminées/Chénopodiacées figuré sur le diagramme III.

(4) En particulier, un même niveau de difficulté de détermination des grains en fonction de leur état de conservation.

Dans les régions désertiques, les ruissellements de surface, occasionnés par les précipitations rares — mais généralement violentes —, entraînent les retombées polliniques vers des bassins de sédimentation, tels que les sebkhas, les chotts, où elles seront conservées. Il est évident que les pluies plutôt hivernales-printanières du Sahara septentrional et estivales du Sahara méridional, drainent des flores polliniques à caractères saisonniers, donc non spécifiquement représentatifs du spectre pollinique régional réel (nous avons vu que la composition des retombées se modifie avec les saisons).

Le caractère saisonnier possible de la sédimentation doit être pris en considération dans les études paléoclimatiques effectuées dans ces régions soumises à des régimes pluviométriques essentiellement irréguliers, où chaque précipitation d'une certaine importance provoque la formation d'une nouvelle couche de sédiments.

L'étude des retombées polliniques prélevées sur les différents transects sahariens réalisés à ce jour va être poursuivie. Nous pourrions alors déterminer quels sont les types de rapports les plus significatifs à établir pour les recherches paléoclimatiques sahariennes.

Dans un même ordre d'idées, des études sont également entreprises en Europe depuis plus d'une an-

née (décembre 1976) par un Groupe International de Recherches Aéropalynologiques Appliquées créé par le Laboratoire de Palynologie de Montpellier. Ces études permettront de déterminer, en premier lieu, la composition saisonnière et annuelle des spectres polliniques atmosphériques le long d'un transect latitudinal établi entre Abisko (Suède) par 68° de latitude et Oran (Algérie) par 36° de latitude.

#### BIBLIOGRAPHIE

- COUR P. (1974). Nouvelles techniques de détection des flux et des retombées polliniques : étude de la sédimentation des pollens et des spores à la surface du sol. *Pollen et Spores*, 16, n° 1, p. 103-141.
- COUR P., DUZER D. (1976). Persistance d'un climat hyperaride au Sahara Central et Méridional au cours de l'Holocène. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, Paris, 18, n° 2-3, p. 175-198.
- KUPRIYANOVA L.A. (1948). La morphologie du pollen des Monocotylédones. *Tr. Inst. Bot. V.L. Komarov, Leningrad*, n° 7, p. 163-262.
- VAN CAMPO M. (1975). Pollen analyses in the Sahara. In « Problems in Prehistory : North Africa and the Levant », F. Wendorf and A.E. Marks ed. SMU Press, Dallas, p. 45-64.

## Recent developments in the application of quantitative fluorescence microscopy in palynology and palaeobotany

Dr. Pieter van GIJZEL \*

### RESUME

*Cette méthode est basée sur l'enregistrement photo-électrique du spectre de fluorescence UV primaire et l'« effet photochimique » du matériel végétal fossile, en complément des observations microscopiques. Elle est souvent utilisée conjointement avec des mesures de réflectance pour divers travaux de pétrographie des charbons et dans l'exploration du pétrole et du gaz naturel. Ces données servent de « paléothermomètre » des roches dans les sondages pétroliers et sont appliquées à l'identification et la localisation de la matière organique finement dispersée, tels les bitumes et les fragments de macéraux des charbons.*

*Lorsque le rang du charbon et l'altération thermique de la matière organique s'accroissent, la fluorescence se déplace vers le rouge et l'effet photochimique positif augmente, tandis que la couleur en lumière transmise change du jaune au brun sombre et l'absorption se réduit. Simultanément, la réflectance s'accroît et quand, pour la vitrinite, elle atteint le seuil d'environ 1,35 %, la fluorescence de la sporinite s'éteint, la sporinite devient opaque et non reconnaissable. Cette zone frontière constitue la « dead line » pour la présence de pétrole.*

*Ces méthodes peuvent être utilisées en palynologie en complément du travail de routine afin d'interpréter avec plus de précision les résultats obtenus à partir de sédiments corrodés, trop houillifiés ou contaminés et afin de repérer les concentrations de pollen et de spores en couches saisonnières.*

*Cellules, stomates, trichomes et autres détails des cuticules peuvent être facilement distingués en fluorescence sur des spécimens non préparés. Du matériel récent en herbier et des fleurs fossiles peuvent aussi être étudiés en lumière UV incidente, les laissant intacts.*

### SAMENVATTING

*Deze methode steunt op de fotoelektrische registrering van het primair UV-fluorescentiespectrum en het « foto-chemisch effect » van het fossiel plantaardig materiaal, als aanvulling van de microscopische waarnemingen. Zij wordt dikwijls samen gebruikt met reflectiemetingen voor diverse werkzaamheden van steenkolenpetrografie en bij het zoeken naar aardolie en aardgas. Deze gegevens dienen als « paleothermometer » van de gesteenten bij de petroleumboringen en worden toegepast bij de identificatie en de lokalisatie van de fijn verspreide organische stof zoals de bitumen en de fragmenten van steenkolenmaceralen.*

*Wanneer de steenkoolrang en de thermische verwerking van de organische stof toenemen gaat de fluorescentie over naar rood en het positief foto-chemisch effect neemt toe terwijl de kleur van het overgebrachte licht verandert van geel naar donkerbruin en de absorptie vermindert. Terzelfdertijd neemt het weerkaatsingsvermogen toe en als dit, voor het vitriniet, de drempel van ongeveer 1,35 % bereikt, dooft de fluorescentie van het sporiniet uit, het sporiniet wordt ondoorzichtig en onherkenbaar. Die grenszone vormt de « dead line » voor de aanwezigheid van aardolie.*

*Die methodes kunnen gebruikt worden in de palynologie als aanvulling van het routinewerk om nauwkeuriger de resultaten te interpreteren die bereikt werden uitgaande van te sterk verkoolde of gecontamineerde aangetaste sedimenten en om de concentraties van pollen en sporen terug te vinden in seizoenlagen.*

*Cellen, stomata, trichomen en andere details van de cuticula kunnen gemakkelijk worden onderscheiden met fluorescentie op niet bereide stalen. Recent plantenmateriaal en fossiele bloemen kunnen ook worden bestudeerd met invallend UV-licht zonder ze te beschadigen.*

\* The author's present address : Lankforst 27-11, Nijmegen, The Netherlands.

Bois fossiles et cuticules montrent des valeurs divergentes des paramètres de fluorescence, qui sont spécifiques pour des taxons différents, de la même manière qu'ils le sont pour des tissus et des extraits de plantes fraîches. Pour une altération thermique croissante, l'extinction de la fluorescence apparaît plus tôt pour le bois que pour d'autres restes de végétaux, ce qui restreint l'usage de la fluorescence en paléobotanique. Une analyse quantitative de fluorescence peut être utilisée pour déterminer des fragments de feuilles, des graines, du pollen, des spores et d'autres constituants, par exemple la résine, en comparant les valeurs de leurs paramètres à celles de spécimens bien identifiés. Ainsi, plus d'informations sont obtenues pour l'interprétation de certains travaux paléobotaniques.

Les résultats de nombreuses études de fluorescence, de réflectance et d'absorption ont beaucoup contribué à nos connaissances actuelles sur la conservation du matériel végétal fossile et les processus de son altération thermique.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Die Methode beruht — als Ergänzung zu mikroskopischen Beobachtungen — auf der photoelektrischen Aufzeichnung primärer UV-Fluoreszenzspektren und dem « photochemischen Effekt » fossilen Pflanzenmaterials. Sie wird, in Verbindung mit Reflexionsmessungen, für die verschiedensten kohlenpetrographischen Zwecke und bei der Exploration auf Erdöl und Erdgas benutzt. Die Ergebnisse sind als « Paläothermometer » für Gesteine in Ölbohrungen zu betrachten. Das Untersuchungsverfahren wird außerdem für die Identifizierung und Lokalisierung fein disperser organischer Substanzen (Bitumina, Fragmente von Kohlenmaceralen) verwendet.

Bei ansteigendem Inkohlungsgrad der Kohlen und thermischer Beeinflussung des organischen Materials in Gesteinen wandert die Fluoreszenz dieser Substanzen in den Rotbereich und die positiven photochemischen Effekte nehmen zu. Die Farbe im durchfallenden Licht ändert sich von gelb in dunkelbraun und die Absorption nimmt ab. Gleichzeitig steigt das Reflexionsvermögen an. Hat es im Vitrinit ungefähr 1.35 % erreicht, erlischt die Fluoreszenz des Sporinits. Der Sporinit wird opak und unkenntlich. Diese Grenzzone kennzeichnet die « dead line » beim Auftreten von Erdöl.

In der Palynologie können diese Methoden in Ergänzung zu den Routine-Verfahren angewandt werden. Sie dienen dort zur besseren Erklärung solcher Ergebnisse, die von korrodierten, inkohlten oder verunreinigten Vorkommen stammen, und helfen, Pollen- und Sporenanreicherungen in jahreszeitlich geschichteten Sedimenten zu finden.

Fossiel hout en cuticula tonen uiteenlopende waarden van de fluorescentie-parameters die eigen zijn voor de verschillende taxa, zoals ze het zijn voor weefsels en extracten van verse planten. Bij een toenemende thermische verwerking verschijnt de fluorescentie-uitdoving vroeger voor het hout dan voor andere plantenresten, wat het gebruik van de fluorescentie in de paleobotanie beperkt. Een kwantitatieve fluorescentie-analyse kan worden gebruikt om fragmenten te bepalen van bladeren, zaden, pollen, sporen en andere bestanddelen, bij voorbeeld het hars, door de waarden van hun parameters te vergelijken met die van goed geïdentificeerde specimen. Zo wordt meer informatie verkregen voor het interpreteren van bepaalde paleobotanische werkzaamheden.

De resultaten van talrijke studies inzake fluorescentie, reflectie en absorptie hebben veel bijgedragen tot onze huidige kennis over het bewaren van plantaardig fossiel materiaal en het verloop van zijn thermische verwerking.

#### SUMMARY

This method is based on the photo-electrical recording of the primary UV-fluorescence spectra and the « photochemical effect » of fossil plant material, complementary to microscopical observations. It is often used in conjunction with reflectance measurements for various coal-petrographical purposes, and to the exploration of petroleum and natural gas. These data serve as a « paleothermometer » of rocks in oil wells and are applied to the identification and location of fine dispersed organic matter, as bitumens and fragments of coal macerals.

At an increasing rank of coal and thermal alteration of organic matter, its fluorescence shifts towards the red and the positive p.e. increases, whereas the colour in transmitted light changes from yellow to dark brown and the absorption reduces. Simultaneously, the reflectance increases and when it reaches for vitrinite the range of approx. 1.35 %, the fluorescence of the sporinite extinguishes, whereas it becomes opaque and unrecognizable. This boundary zone marks the « dead line » in petroleum occurrence.

These methods can be used in palynology in addition to routine work for a more accurate interpretation of results from corroded, coalified or contaminated deposits and to trace concentrations of pollen and spores in seasonal layers.

*Zellstrukturen, Stomata, Trichome und andere Einzelheiten der Kutikeln können — unter Verwendung der Fluoreszenzbeobachtung — leicht an unpräparierten Stücken gefunden werden. Rezentes Herbariummaterial und fossile Blüten lassen sich ebenfalls im UV-Auflicht untersuchen, ohne zerstört zu werden.*

*Fossiles Holz und fossile Kutikeln zeigen voneinander abweichende Werte der Fluoreszenz-Parameter, die für zahlreiche Arten spezifisch sind, ähnlich bestimmten Unterschieden bei frischen Pflanzengewebe und Extrakten. Das Erlöschen der Fluoreszenz bei steigender thermischer Beeinflussung ist beim Holz früher zu beobachten als bei anderen Pflanzenresten und schränkt die Verwendung der Fluoreszenz für paläobotanische Zwecke ein. Quantitative Fluoreszenzanalysen können benutzt werden, um Blattfragmente, Samen, Pollen, Sporen und andere Bestandteile (z.B. Harze) zu erkennen. Dazu ist es erforderlich, ihre Parameter-Werte mit solchen wohlbekannter Objekte zu vergleichen. Somit können mehr Informationen für die Deutung bestimmter paläobotanischer Untersuchungen erhalten werden.*

*Die Ergebnisse zahlreicher Fluoreszenz-, Reflexions- und Absorptions-Untersuchungen haben in großem Maße zu unserer gegenwärtigen Kenntnis der Erhaltung fossilen Pflanzenmaterials und dem Prozess seiner Veränderung durch thermische Einwirkung beigetragen.*

*Cells, stomata, trichomes and other details of cuticles can easily be distinguished on unprepared specimens by means of fluorescence observations. Recent herbarium material and fossil flowers can also be studied under incident UV-light, leaving them undamaged.*

*Fossil wood and cuticles show divergent values of the fluorescence parameters, which are specific for various species, according to similar specific differences for fresh plant tissues and extracts. The extinguishment of the fluorescence at increasing thermal alteration occurs earlier for wood than for other plant remains and restricts the use of fluorescence for palaeobotanical purposes. Quantitative fluorescence analysis can be used to determine fragments of leaves, seeds, pollen, spores and other constituents, e.g. resin, by comparison of their parameter values with those of the well-identified specimens. Thus, more information is obtained for the interpretation of certain palaeobotanical studies.*

*The results of numerous fluorescence, reflectance and absorption studies have largely contributed to our present knowledge of the preservation of fossil plant material and the processes of its thermal alteration.*

## INTRODUCTION

During the past decades new equipments and research methods have enriched the fundamental knowledge of the palaeobotany and palynology, as, for instance, the electron and stereoscan microscopes. But also the further development and employment of the light microscope is playing a still increasing rôle, in particular the observation and measuring of reflectance and fluorescence under incident or epi-illumination, which was enabled by the introduction of high-sensitive photo-electrical instruments or photomultipliers, placed on top of the microscope tube.

These techniques of *geomicrophotometry*, including not only reflectance and fluorescence, but also light-absorption measurements in transmitted light, enabled to determine accurately these properties on fossil plant material and certain minerals and are widely applied now in coal petrography and for the exploration of petroleum and natural gas. The most important applications will be

shortly reviewed in this paper. Extensive attention will be paid to their application in palynology and palaeobotany by means of some examples of measurements on fresh and fossil wood and cuticle tissues.

The results of numerous studies, using these techniques, have considerably contributed to our present knowledge on the fossilization and preservation of fossil plant material and the processes of its alteration. At present many palynologists and palaeobotanists are employed in the exploration of coal, petroleum and gas, apparently because they possess the necessary knowledge and experience to distinguish and determine microscopically plant remains of very divergent age and origin. For them the information on the fluorescence properties of fossil wood and cuticles will be useful.

It is astonishing, that the fluorescence microscopy has hardly been applied by palaeobotanists, though it is often used in botany and genetics. Since the studies by Schochardt (1943) and Aleksandrov & Sveshnikova (1956) the UV-fluorescence of cuticles is known, but it might be possible, that the expensive

and sophisticated measuring equipments deter the palaeobotanist to use even a rather simple complement of his microscope to observe the fluorescence of his material. Although its possibilities are restricted by the fluorescence ability of plant fossils, several studies have already proved, that it provides very useful information on the morphology and preservation of plant fossils (Van Gijzel, 1975 ; 1977 ; Friedrich & Schaarschmidt, 1977) and can be successfully applied in palynology for various purposes (Van Gijzel, 1967, 1971). It is the present author's wish, that this paper may contribute to the wider application of the fluorescence microscopy by palaeobotanists and palynologists, as its possibilities have only partly been exploited and numerous topics need a further investigation.

## ADVANCES IN TECHNIQUES

### *Fluorescence observations*

Though the observation of various fluorescence colours of fossil plant material is very useful (see applications), they have only a limited value. In biology the techniques of secondary fluorescence are widely applied, using the specific staining reactions by means of « fluorochromes », which are very specific. However, these have not yet been applied in geology, as it is very difficult to find suitable fluorochromes for the complex organic compounds.

Fluorescence observations are rather subjective, due to the different colour sensitivity of the eyes of various observers. Besides, it takes a long time of experience to distinguish small differences in colour tinges. Two microscopical objects with an equal colour but a different intensity can give the impression of having a different colour. However, large differences and shifts can easily be distinguished, but the determination of spectra is preferred when an objective description of fluorescence phenomena is needed (Van Gijzel, 1967, 1978a). It is very expensive to publish coloured pictures. The colours may differ from the real ones, due to the sensitivity and development of the film and the « fading », occurring during the often very long exposure times.

### *Quantitative determinations*

The development of different types of high-sensitive photo-electrical measuring equipments of photomultipliers, which started about 15 years ago, has enabled to measure microscopically very small

amounts of light. As a result these are widely used now for the reflectance and fluorescence microscopy.

Before these photomultipliers became available, till about 10 years ago, it was only possible to measure the reflectance and fluorescence by means of the « Berek photometry ». By using some filters the spectral ratio of the fluorescence was obtained (Van Gijzel, 1966). The determination of this value of one pollen grain took already 15 min time, including calculations.

The great technical advance cannot better be shown than by a comparison with the present equipments. These enable to determine a complete spectrum in a small part of a second and to calculate the corrected spectrum and 6 parameter values from it by means of a computerized instrument in only some seconds ! Even when the « photochemical effect » is determined — providing 9 more parameter values — the necessary time is shorter than it has been 10 years ago ! Besides, the very sophisticated optical and illumination systems of modern equipments enable even to measure very small and faintly fluorescent particles and to determine the reflectance and fluorescence properties in one measuring procedure. The use of a computer in on-line operation (directly attached to the microscope) provides the possibility of the electronical operation of all procedures of measuring, evaluation and storage of data (Van Gijzel & Schwirtlich, 1978). Though all possibilities of modern spectral fluorescence microphotometry have not yet been employed, its development has reached the point that it is completely suitable for routine work (Van Gijzel, 1978a).

### *Preparation techniques*

As the specimens are studied under incident UV-illumination, it is easy to use larger rock pieces with leaf or wood remains. No treatment is necessary, but dust (strongly blue fluorescent !) has to be carefully removed. For measurements on very rough surfaces, they may be grinded. Polishing is only needed when the reflectance is measured and has to be made according to the standard procedure of the I.C.C.P. (Handbook, 2nd Supplement, 1971).

Pollen slides and thin sections are studied under incident UV-light as well and need a fluorescence-free mounting medium, like pure glycerine for a liquid embedding and a polyester for solid mounting (Van Gijzel, 1975). When the concentration of organic matter of samples is very low, it has to be isolated by a mixture of bromophorm and alcohol (s.g. 1.70 to 2.0), if possible. In view of a change in fluorescence, the use of acids or strong oxidation has to be avoided (Van Gijzel, 1967, 1971).

THE SYSTEM  
OF UV-FLUORESCENCE PARAMETERS

Measuring techniques

Two techniques for measurements on geological objects exist :

(a) The « monochromatic » determination of the fluorescence intensity at 546 nm by means of a suitable filter, which is also used for reflectance measurements (Jacob, 1969, 1973). However, this intensity depends also on the thickness of the fluorescent particle and shows rather large spreads in values.

(b) The recording of fluorescence spectra by means of a monochromator or a spectral filter with a transmission from 400 to 700 nm (from the blue to the red). The spectra are independent on the intensity and provide more reliable data, as the variation of values is mostly much smaller (Van Gijzel, 1971, 1975). Both techniques have been described in the 2nd Supplement of the I.C.C.P. Handbook (1975). The preferable instrumentation of the combined and computerized reflectance and fluorescence techniques has been described in some special papers (Jacob, 1969, 1973 ; Van Gijzel, 1978a ; Van Gijzel & Schwirtlich, 1978).

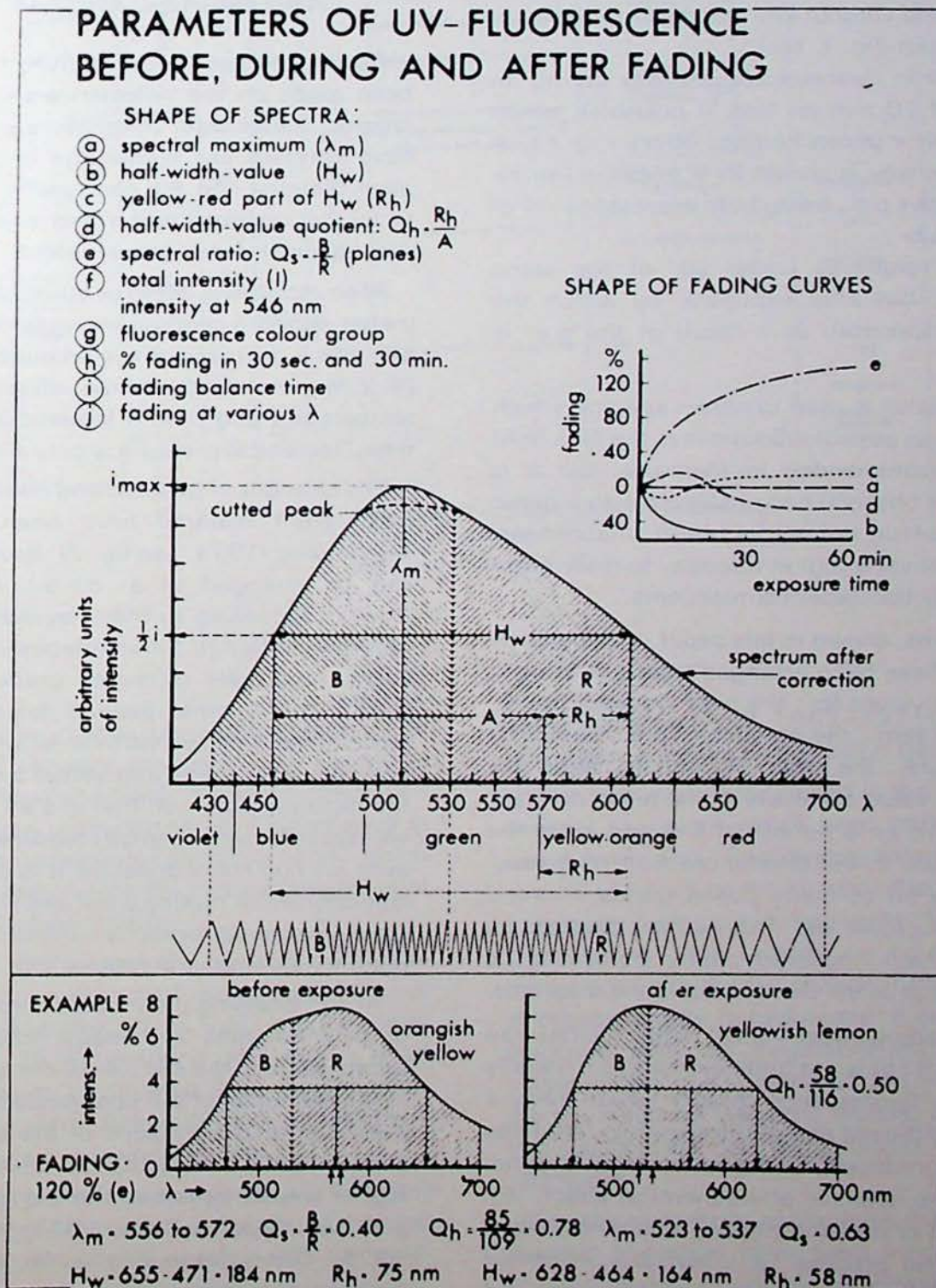


Fig. 1 — (after Van Gijzel, 1975)

### The parameter system

All fluorescence spectra can be described by means of some characteristic values or fluorescence parameters (fig. 1). This is an indispensable and efficient procedure. It enables to make all necessary statistical calculations, particularly of the spread for every parameter, but only for measurements on identical particles. It is essentially important to know this variation in order to state if differences between parameters are specific or not.

The parameter system consists of three groups of values :

- (a) Those of the fluorescence spectrum measured at « time zero », i.e. before a continued UV-exposure (needed for b) and without any previous irradiation of the measured spot (fig. 1, top) ;
- (b) The change in fluorescence intensity during an UV-exposure of 10 min (or less, if possible), which results from the « photochemical effect » (p.e.). A decrease in intensity is shown as a negative, an increase as a positive p.e., being both expressed in % of the initial intensity ;
- (c) The same values as under (a), of the same measured spot, but after exposure, by which the change in the spectrum as a result of the p.e. is recorded.

The UV-excitation is used to obtain spectra, which are as complete as possible. Sometimes the blue-light excitation is recommended in literature, but it is suitable only for observations of objects with a green or « higher » colour, but not for bluish coloured material. It may deliver a higher intensity to distinguish better the faintly fluorescent constituents.

In the diagrams, shown in this paper, these groups of parameters have been arranged from left to right and contain the values for : the peak wavelength,  $H_w$  and  $R_H$  at time zero ; the amount of p.e. during 10 min UV-exposure ; the peak,  $H_w$  and  $R_H$  after this exposure. The value for every constituent or plant species is shown on a horizontal line and gives the average of at least 6, but often more than 10 measurements, made on so many pollen grains or wood cells or spots of a fossil leaf. This number depends on the spread, which appeared nearly always to be smaller or as large as the size of a dot in the diagrams.

The term « fading effect » used in fig. 1 (after Van Gijzel, 1971, 1975) is not quite correct, as it literally means that the fluorescence colours « fade away » from the blue to the red part of the spectrum, whereas the intensity is reduced. This phenomenon is synonymous with the negative photochemical effect. However, coalified or metamorphosed substances often show the reverse process : a « revival » in colour from the orange-yellow towards the white-green and an increase in intensity, which has previously been

termed as a positive fading (Van Gijzel, 1971), but has to be considered as the positive photochemical effect, according to the revision of the definition of the parameter system (Van Gijzel & Schwirtlich, 1978). Other terms for these phenomena, e.g. « alteration » (Ottenjann et al., 1974 ; Teichmüller, various papers) or « light etching » (Jacob, 1964) are confusing and do not express the close connection with light action, or unjust.

### THE CHANGES IN REFLECTANCE, FLUORESCENCE AND ABSORPTION OF ORGANIC MATTER IN ROCKS BY THE PROCESSES OF COALIFICATION AND ORGANIC METAMORPHISM

During the past decades numerous studies have been made on the reflectance and fluorescence of organic matter from thermally altered rocks. These have enriched our knowledge on the behaviour of plant material and the changes in its chemical character during fossilization and coalification and the consequences for its preservation.

At an increasing depth of burial of rocks the organic matter shows a gradual increase of the carbon content and a decrease of the amount of volatile matter (% V.M.), mainly due to the influence of higher rock temperature and, into a lesser extent, of geological time. Tectonical pressure is only a local factor.

The changes in physical and chemical properties of fossil plant material have been summarized by Teichmüller (1974, see fig. 2). Browncoals and coals can be arranged in a coalification series, according to their decreasing V.M. content (left rows in fig. 2). Simultaneously the reflectance of various macerals increases gradually. Teichmüller (1971, 1974, other papers) determined the reflectance of hand-picked vitrinite, of which also chemical analyses were made and stated a standard scale for the determination of the coal rank. As the vitrinite reflectance can be measured much easier and even on non-coaly deposits, it is preferred by many laboratories for routine work and is applied on a large scale in coal-petrography and to determine the oil maturity of rocks in boreholes (fig. 2, right).

At an increasing thermal alteration the fluorescence of palynomorphs and many other organic constituents shifts to the red part of the spectrum and ends in the extinction of the fluorescence. This change has been recorded by means of the spectral ratio (Van Gijzel, 1966, 1967), by the shift in the peak(s) to higher wavelengths and the increase of the positive p.e. (Van Gijzel & Bless, 1971 ; Van Gijzel, 1973, 1975 ; Ottenjann et al., 1974). Simultaneously the fluorescence intensity of megaspores decreases (Alpern et al., 1972).



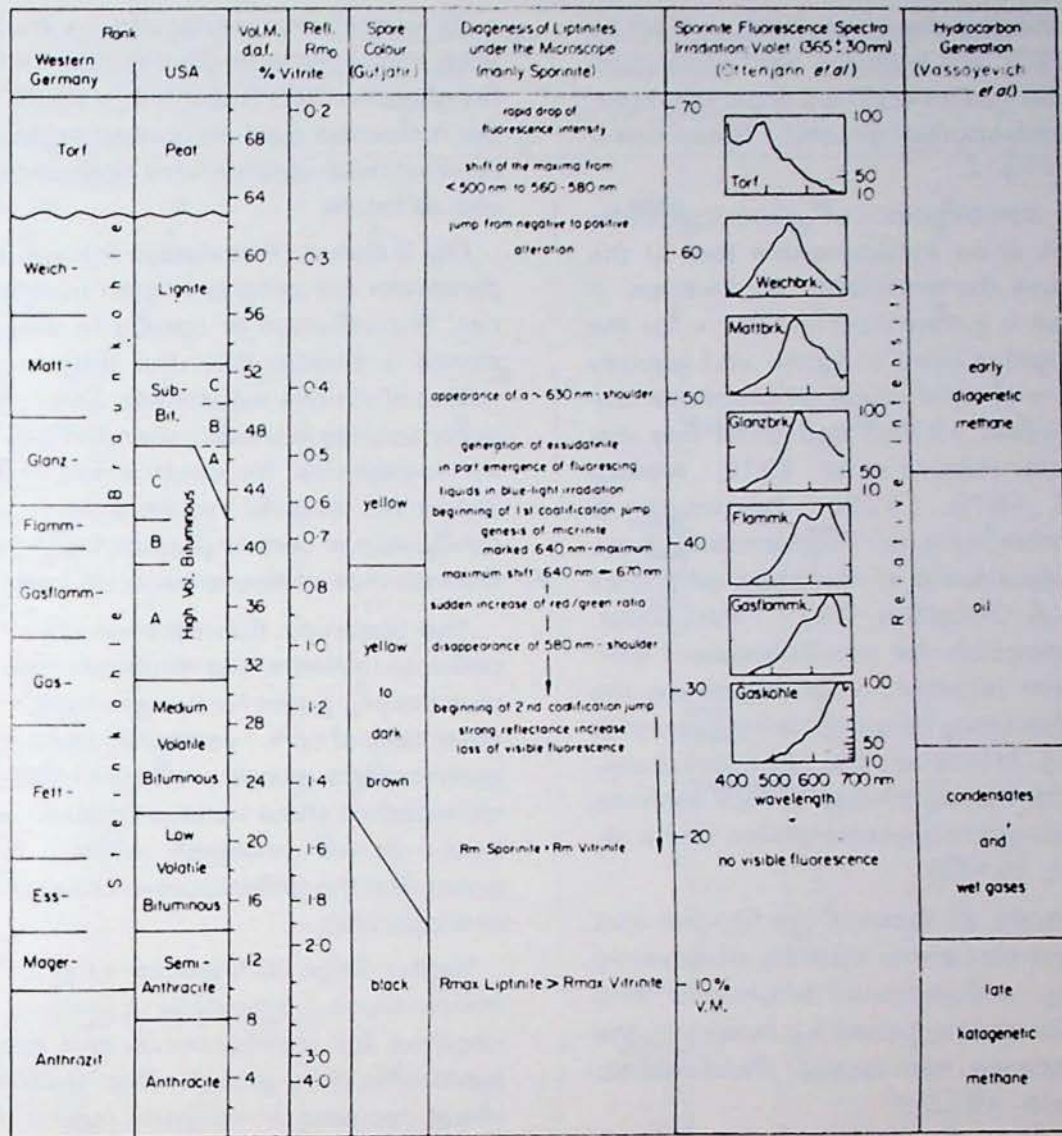


Fig. 2 — Coal rank, diagenesis of liptinites, sporinite fluorescence and oil generation (after Teichmüller, 1974)

Furthermore, the colour of organic matter (in transmitted light) changes gradually from yellow to dark brown and finally to black, by which the pollen and spores become unrecognizable. This change is expressed by the increasing light-absorption, which forms another parameter for the thermal alteration of organic matter (Gutjahr, 1966).

The extinction of fluorescence coincides with the boundary of opaque pollen and spores, which occur in a small range of approx. 25 % V.M. and a vitrinite reflectance of 1.35 %, marking also the « dead line » of petroleum occurrence (see Teichmüller, 1974, and fig. 2, right). Below this line oil wells will only produce condensates and dry gas.

Various types of pollen and spores show a different susceptibility to the destructive influence of thermal alteration, by which certain species will be over-represented in the zone of opaque transition (Wilson, 1961), for which the fluorescence properties give an

indication (Van Gijzel, 1967, 1971). A similar selective action is shown by corrosion (see below).

Two terms are widely used in the literature for the thermal alteration, which need some explanation to avoid confusion. Coal-petrographers use the term *coalification* for the chemical change of browncoal and coal constituents. Petroleum geologists prefer the words *organic metamorphism* for the change in chemical character of organic matter in rocks other than coals. Its range coincides with the diagenesis and the succeeding stages of low-grade metamorphism. Both processes are governed by the same factors, but the results of these processes may be different, due to different rock types.

For the petroleum exploration some new scales of thermal alteration have been introduced, both calibrated by data of vitrinite reflectance : the « level of organic metamorphism » (LOM) by Hood & Castaño

(1974) and the « thermal alteration index » (TAI) by Staplin (1969, 1977). For both the light absorption of kerogen (insoluble and amorphous organic matter, including pollen and spores) is used. These linear scales are shown in fig. 2.

At present the combination of geomicrophotometrical techniques is an indispensable tool in the coal-petrography and the petroleum exploration. It serves as a sensitive « palaeothermometer » for the thermal alteration and is used to locate and identify small concentrations of solid crude oil bitumens (Jacob, 1975; Van Gijzel, 1978c) and other fine dispersed organic matter (Alpern et al., 1972; Alpern, 1976; Van Gijzel, 1975, 1978b; Teichmüller & Wolf, 1977, and other authors). Furthermore, these techniques are indispensable to recognize oil source rocks (Teichmüller & Ottenjann, 1977; Van Gijzel, 1978b) and to distinguish the non-fluorescent vitrinite from fluorescent bitumen, thus improving the interpretation of reflectance data of borehole samples (Van Gijzel, 1978b). Moreover, the geomicrophotometry can be used for the correlation of rock sections and the study of low-grade metamorphism (for a review, see Van Gijzel, 1978b).

Certain coal macerals, as those of the liptinite and huminite groups, but also some recently discovered new macerals, e.g. exsudatinite, bituminite and fluorinite can only be distinguished by means of the quantitative fluorescence microscopy (Teichmüller, 1974; see also Stach, 1975).

For all these purposes, it is essentially important to know if the fluorescence parameter values are specific for fossil constituents or not. To answer this question it is necessary to regard the fluorescence of recent plant material, as its chemical character is better known and less complex than that in the fossil state. Thus, going from « the present to the past » and from « the wellknown to the unknown », additional information can be obtained on the changes in chemical composition during fossilization and thermal alteration.

#### THE FLUORESCENCE OF FRESH PLANT TISSUES AND CONSTITUENTS

The measurements on tissues have been made on hand-cutted thin sections of completely fresh material, immediately embedded in distilled water and measured. Otherwise, easily soluble matter should move from the tissue into the mounting medium, which causes a blue haze of the microscopical picture. A treatment of the sections as usual in a botanical laboratory results in such a pollution, which may even appear after some time. Besides, certain materials may be extracted.

All specimens mentioned in the diagrams have been measured with the incident UV-excitation and a dry objective lens (Leitz PI 40/0.65). The diameter of the measured spot amounted approx. 11  $\mu$ . By preference those species have been chosen, which occur also as fossils.

Fig. 3 shows, that always the values of at least one parameter are different, even for closely related material. The variation or spread in values of every substance is smaller than the differences between the values of various substances. Similarly, the spread for every species is smaller than the differences between various species. No doubt exists, that the *parameter values are specific for fresh plant substances*. This conclusion is very important for the interpretation of fluorescence measurements on fossil material.

The observed fluorescence colours are: blue for cellulose, xyleme, the inner cell walls of cuticles and cork tissue; green for the wax layer of cuticles and the outer cells of cork; yellowish white for some resins in gymnosperm woods; red for chlorophyll. Pollen and microspores show various colours, as: *Pinus* species blue; *Betula* yellowish white; *Lycopodium* light green. But the differences in colour are too small to be characteristic.

Rather large differences exist between the parameter values, particularly in the p.e., which is always negative for sporopollenin and mainly positive for wood cells (first growth-ring). Cutine often shows an initial decrease in intensity (upper little block in the diagram), followed up by an increase (lower block). Plotted as a curve this change is similar to curve c of fig. 1 (shape of « fading » curves).

The example of *Gasteria* cutin, purified from wax, pectin and cellulose, shows the fluorescence of more or less pure fatty acids, being rather much in negative p.e. This shows, that the presence of other constituents in the untreated cuticles has an important influence on the measured fluorescence. All other results shown here, belong to mixtures, which are different for various species.

Comparing various substances in one plant specimen, as in *Pinus sylvestris*, it appears that the values of some parameters, e.g. the peak for cutine and cork, are equal, but the other ones are quite different. Wood cells from succeeding growth-rings show increasing positive p.e. values (going from the centre of the trunk), whereas the other parameters remain constant. A similar phenomenon has been found in fossil Pleistocene wood, which means that the p.e. has no diagnostic value to determine wood species on the base of fluorescence.

In fig. 3 the values for Gymnosperm species are shown by black dots; those for Angiosperms by open figures. Considerable differences exist between various species, which may be explained by differences

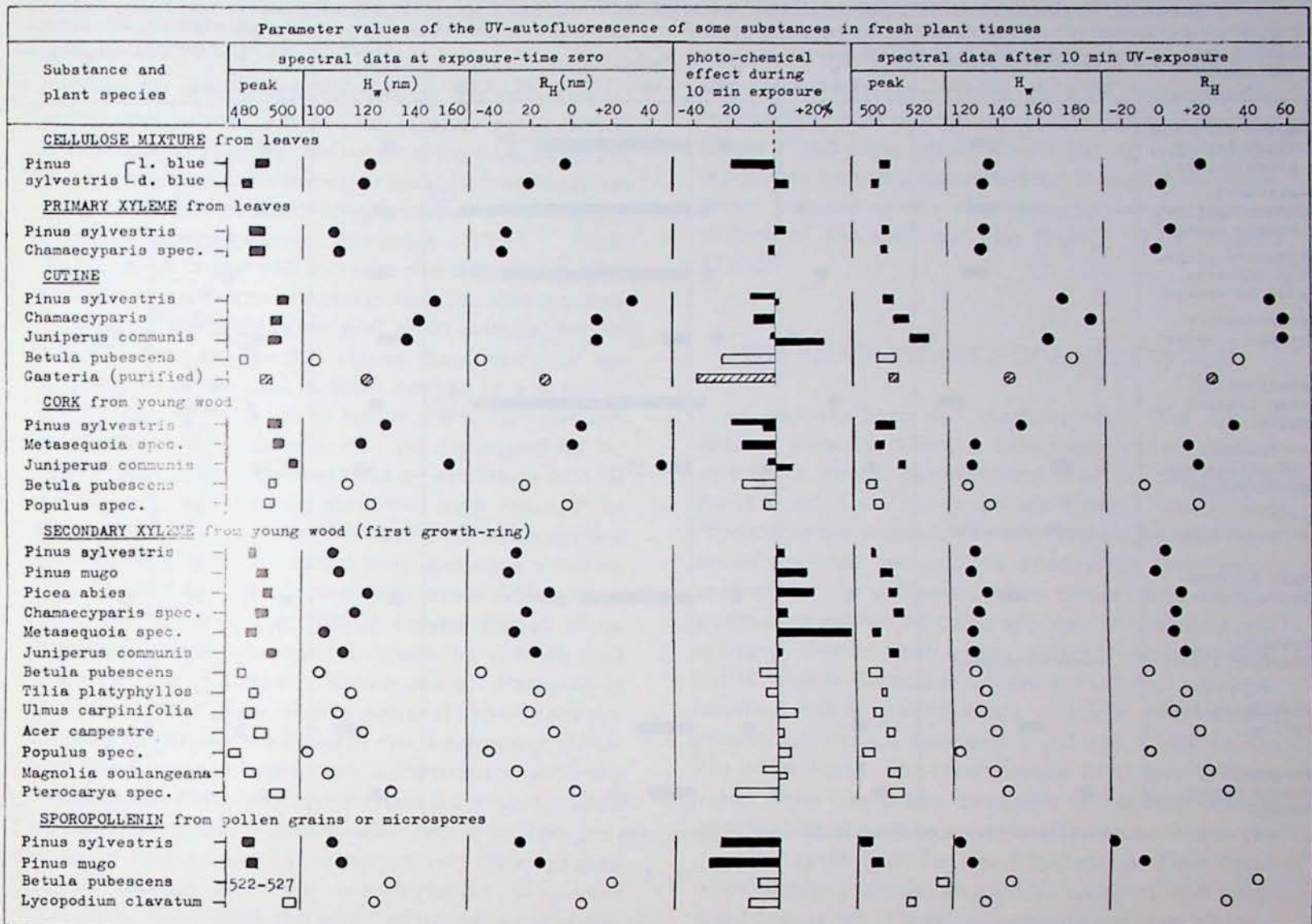


Fig. 3

in their lignin constitution. These have extensively been studied by many authors (see Brauns, 1952). The wood fluorescence is determined mainly by that of the lignin, as no large differences in cellulose composition exist. Besides, the mostly positive p.e. of wood cells is in accordance with the aromatic character of the lignin, but not with the negative p.e. of cellulose (top of fig. 3).

Substances in resin ducts (not shown here) have a very different fluorescence. These are sometimes not fluorescent. If they do fluoresce, their colour may vary from light blue to yellowish white. Apparently these secretion products are rather divergent in character. This topic needs a further study, that will have an interesting aspect for the explanation of the fluorescence of resinites from coals, which shows a large divergency (see also below).

The differences in fluorescence colours and parameters of pollen and spore species are very large, due to their divergent chemical composition. The studies by Brooks (1971), Shaw (1971) and others (see

Sporopollenin, 1971) showed, that sporopollenin consists mainly of cellulose, fatty acids and carotenoid esters. It appeared from an investigation on fresh microspores of *Lycopodium clavatum* after various treatments to remove all constituents but one, that in the fluorescence of recent and Quaternary pollen and spores that of the cellulose and fatty acids predominates, being bluish in colour and parameter values and negative in p.e. Older fossil and coalified material show much resemblance with the fluorescence of the carotenoids (Van Gijzel, 1971, 1975).

Therefore, it is useful to show the parameter values of this group of closely related long-chained aromatic compounds (fig. 4). They possess rather divergent parameter values, even for esters of the same carotene, but all show a distinct positive p.e., that can be explained by their aromatic character. The same photochemical effect is found for coalified sporopollenin.

The spectral fluorescence microphotometry can successfully be applied in botany for various purpo-

Values of UV-fluorescence parameters of some extracted fresh carotenes and their polymers (after van Gijzel, 1975)

compound and fluorescence colour	at exposure time zero								fading during 10 min					after 10 min UV-exposure								
	spectral maximum				H <sub>w</sub>		R <sub>H</sub>							sp.max.		H <sub>w</sub>			R <sub>H</sub>			
	520	540	560	580	160	180	60	80nm	+20	40	60	80	100%	520	540	140	160	180	40	60	80	
β-apo-8'-carotenal polymer (orang. + brown, yellow)			■			●	●		■	■	■	■	■	■	■	●	●	●	●	●	●	●
β-carotene polymer (yellow. + brown, orange)			■			●	●		■	■	■	■	■	■	■	●	●	●	●	●	●	●
oxidative polym. of β-carotene (gold to orange)			■			●	●		■	■	■	■	■	■	■	●	●	●	●	●	●	●
isoeaxanthin (orange + brown)				■		●	●		■	■	■	■	■	■	■	●	●	●	●	●	●	●
isoeaxanthin ester (yellow + orange)				■		●	●		■	■	■	■	■	■	■	●	●	●	●	●	●	●
isoeaxanthin dipalmitate est. (green+yellow)	■					●	●		■	■	■	■	■	■	■	●	●	●	●	●	●	●
bixin (brown or black)	undeterminable																					
bixin polymer (lemon + gold)			■			●	●		■	■	■	■	■	■	■	●	●	●	●	●	●	●
physalin (brown or black)	undeterminable																					
physalin polymer (yellow)			■			●	●		■	■	■	■	■	■	■	●	●	●	●	●	●	●
lycopene polymer (green + lemon)	■					●	●		■	■	■	■	■	■	■	●	●	●	●	●	●	●

crystallized particles mounted in aqua bidestillata

Fig. 4

ses, as, for instance, to the study of various stages of pollen development (Willemse, 1972), the russeting of the apple skin (de Vries, 1970) and the identification of fresh plant substances.

### THE FLUORESCENCE OF FOSSIL SPOROPOLLENIN

The results of fluorescence studies on fossil pollen and spores and their applications have been described in previous papers (Van Gijzel, 1967, 1971, 1975; see also Teichmüller, 1974; Teichmüller & Wolf, 1977 and others), which are the subject of investigation by a still increasing number of workers.

The most important achievements have already been discussed above, where the change in fluorescence of sporinite was shown (fig. 2, right). At increasing coal rank two important phenomena occur: the rapid shift in the spectral peak wavelength in the stage of the high-volatile bituminous coals (Van Gijzel & Bless, 1971) or « first coalification jump »

(Teichmüller, 1974) and the loss of fluorescence at the « oil dead line » or « second coalification jump » (Teichmüller, 1974, see fig. 2 right). Below this boundary no recognizable pollen and spores occur. In the range between both jumps the differences in parameter values for various types become gradually smaller, simultaneously with the reduction of the difference between the sporinite and vitrinite reflectance (fig. 2, centre). The mentioned wavelengths and shape of the fluorescence curves need a further investigation.

These studies have also consequences for the practice of palynology. The fluorescence extinction and the loss of translucency of pollen and spores is different for various types. For instance, microspores of *Florinites* from the Carboniferous coals in the Ruhr area (W. Germany) are extinguishing earlier than those of *Lycospora* (Van Gijzel & Bless, 1971). The thermal alteration has a selective action on the preservation of palynomorphs (Wilson, 1961). Therefore, at doubtful cases, the determination of the reflectance and fluorescence will be helpful for the interpretation of palynological data, stating if and

how far certain types may already have been destroyed.

A similar selection is caused by the corrosion of pollen and spores, which may already occur before their deposition or by the weathering of a sediment (e.g. in an outcrop) or during erosion and redeposition of rocks. As bacteria and fungi prefer to « consume » oxidized sporopollenin (Havinga, 1971; Elsik, 1971), their action will increase the destruction. The corrosion results in a change in fluorescence towards the red, in the spectra as well as in colours, and in much higher positive p.e. values than normal or, for younger material, in a positive instead of a negative p.e. Corroded deposits of which the pollen has not seriously been damaged, can be distinguished by means of p.e. measurements at an excitation of 410 nm (blue light), showing abnormal high values (Van Gijzel, 1975). But also fluorescence observations may be helpful. It appeared from a study on numerous Quaternary peat layers, that those which have been deposited during glacial stages always show corroded grains with mainly brownish colours and often an extinguished fluorescence. Particularly grains of *Betula*, *Salix*, *Gramineae* and *Cyperaceae* are more susceptible than those of *Pinus sylvestris*, *Alnus* and *Corylus*, as appears from a comparison with the fluorescence colours of these types from uncorroded interglacial or warm interstadial deposits. The presence of dark brown fluorescent pollen may indicate to be careful with the interpretation of pollen diagrams. Apparently the effect of frost is a corrosion by oxidation.

The fluorescence microscopy can successfully be applied for the age determination of deposits with much redeposited pollen and spores (Van Gijzel, 1967). In such cases not only these, but also vitrinite will be reworked, of which the reflectance will be comparatively too high, as it originates often from more coalified deposits. Then the histograms of vitrinite reflectance show a large spread and it will often be difficult to determine the palaeotemperature. The amount of reworked vitrinite can be estimated from the amount of reworked sporinite, which is determined by fluorescence observations, as, for instance, in certain layers of the *Posidonia* shale from W. Germany (Van Gijzel, 1978b). At the palynology of thermally altered rocks it will be useful to study some samples under reflected and UV-light or, if necessary, to make a determination of the LOM or coal rank. For instance, rocks from the Helveticum of the Swiss Alps may contain *Acritarchs*, but no sporinite as a result of thermal alteration (Van Gijzel, 1975, Report ETH-Z).

The palynology of hardrock samples from outcrops may also meet difficulties, when these contain contemporary pollen grains, which often occur in calcite veins. Both the grains and veins can easily be distinguished by their fluorescence. The autochthonous

sporinite may often be darker in fluorescence or may have been thermally destroyed, which appears from the rather high reflectance. Such a contamination may be the result of a young tectonic action, causing cracks in the rock, which were filled up with calcite and pollen from the groundwater. It may even occur down to some tenths of meters below the present surface of the outcrop (Van Gijzel, 1975, Report ETH-Z).

#### THE FLUORESCENCE OF FOSSIL WOOD

As appears from the measurements (fig. 5), all species possess different parameter values, which vary more for the gymnosperm than for the angiosperm wood. The Tiglian species if *Tilia*, *Populus* and *Pterocarya* are yellowish brown fluorescent and have broad and flat two-peaked spectra (at time zero), contrary to the yellowish white colours and sharper peaked curves for the other species. The positive p.e. is higher than in fresh wood, where it rarely exceeds 20%. Upper Pleistocene wood (not shown here) generally shows intermediate colours and values (mainly green, p.e. between + 20 and + 40%). On the other hand, the fluorescence of Upper Tertiary wood often has ochre, orangish and brown colours and is shifted further towards the red, whereas the e.p. is higher than for the Pleistocene. Thus fossil wood shows a similar change as sporinite and other plant fossils do. These browncoals are only slightly coalified.

At a higher coal rank, however, huminite and vitrinite are generally not fluorescent. The occurrence of fluorescent vitrinite, reported by Teichmüller (1974) may be explained by the absorption of fluorescent bitumen. This is clearly shown by vitrinite, of which only the cells near to the outline are fluorescent, that occurs in browncoals on top of bituminous shales in the Molasse of Switzerland (Van Gijzel, 1978a, with coloured pictures).

The content of resin ducts in the Tiglian wood of *Picea abies* and *Picea omorika* (open figures for resin, black for wood cells) shows large differences, particularly in p.e. In the browncoal of Frimmersdorf the resin in the wood of *Pinuxylon* differs so much in one parameter ( $R_H$  at time zero) from the resinite in the groundmass, that the latter probably originates not from that wood species, but more results are needed to make any conclusion on its origin.

The macerals of this browncoal are different in all values and differ very much from the brown fluorescent groundmass, which shows broad and flat spectra. It consists of huminite with fragments of lipinitite and humolipinitite. In the studied sample this fine groundmass may originate mainly from angiosperms, as its fluorescence has much resemblance to

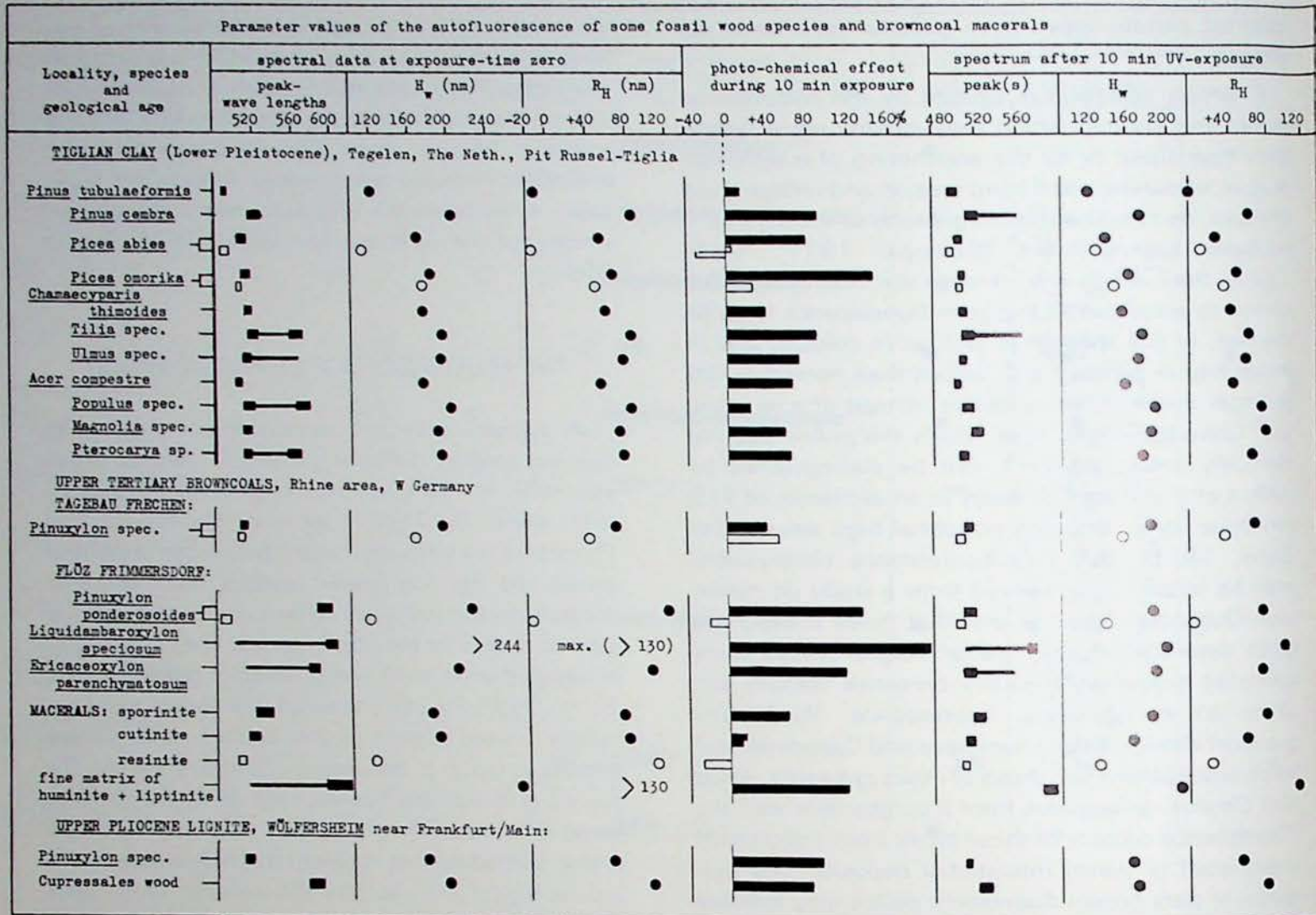


Fig. 5

that of angiosperm wood. But more well-determined species have to be measured to state, which wood has mainly provided the material for this groundmass.

### THE FLUORESCENCE OF FOSSIL CUTICLES

Studied were leaf remains in situ in the rock samples (without any treatment) which originate mainly from the Jurassic. The degree of organic metamorphism is rather low, but somewhat higher for the U Permian sandstone. All specimens are well-preserved. Unfortunately, leaves from the U Molasse of Switzerland (flora of Oehningen and Schrotzburg) appeared to be unmeasurable, though they are well-preserved, as the fluorescence is too weak or absent, probably due to the corrosion of these sediments, which occurred repeatedly during the Tertiary.

The spectra (fig. 6) are mostly broad and flat with a peak at more than 540 nm and the p.e. is rather high positive. This is opposite to the spectra and p.e. of fresh cuticles (fig. 3). The Jurassic cuticles show dif-

ferent values, even for some species of *Todites*. The Permian remains are less different, probably due to the somewhat stronger thermal alteration. Peaks at more than 560 nm and higher positive p.e. values are characteristic for coalified or metamorphosed organic matter as a result of their increased aromaticity.

Flakes and grains of amorphous organic matter are very common in rocks with plant remains and often occur in fissures or gaps in fossil leaves. They belong partly to fine dispersed plant detritus, but many of them are alteration products, concentrated in rock pores or fissures in the larger leaf or wood remains or absorbed by certain minerals. Therefore, the fluorescence values and colours of this fine dispersed organic matter are widely varying and different from those of the cuticles. It may be distinguished according to several colour groups, i.e. green, white or yellow for the « pure » organic matter and blue or grey for carbonate minerals with absorbed constituents. The latter have a negative p.e., that is specific for these minerals. The flakes in the lignite of Kreuzau is pure organic detritus of huminite and liptinite macerals in the groundmass.

APPLICATIONS TO PALAEOBOTANY

Fluorescence observations

It is easy to equip the microscope with a suitable opaque illuminator, UV-lamp and additional filters. An automatic camera is needed to make pictures, as the long exposure times cannot exactly be measured with ordinary meters.

Weakly fluorescent material may be lacquered to obtain a higher intensity and more details. This can also be reached by an exposure of specimens with a high positive p.e. to UV- or blue light during 10 min or more.

Schaarschmidt (1973) and Friedrich & Schaarschmidt (1977) remarked that many details of plant fossils can be better observed by a fluorescence microscope, e.g. the distribution of stomata and hairs

on leaves. Their form can be distinguished as easily as on macerated cuticles. These authors distinguished fluorescent cell structures of recent herbarium and rare fossil material which were never observed before. They determined fossil flowers from the Miocene of Salzhausen and the Pliocene of Wölfersheim by means of their fluorescence. Friedrich & Schaarschmidt described a simple device to take stereoscopic pictures, by which the three-dimensional morphology of stomata, trichomes and papillae and the surface of seeds can be studied. They illustrated excellently some examples with many details. Thus the morphology of fossil flowers, the distribution of the stomata and the construction of the anther can easily be stated.

Furthermore, the fluorescence can be very helpful to distinguish the concentration of certain constituents in or around fossil wood or leaves. For in-

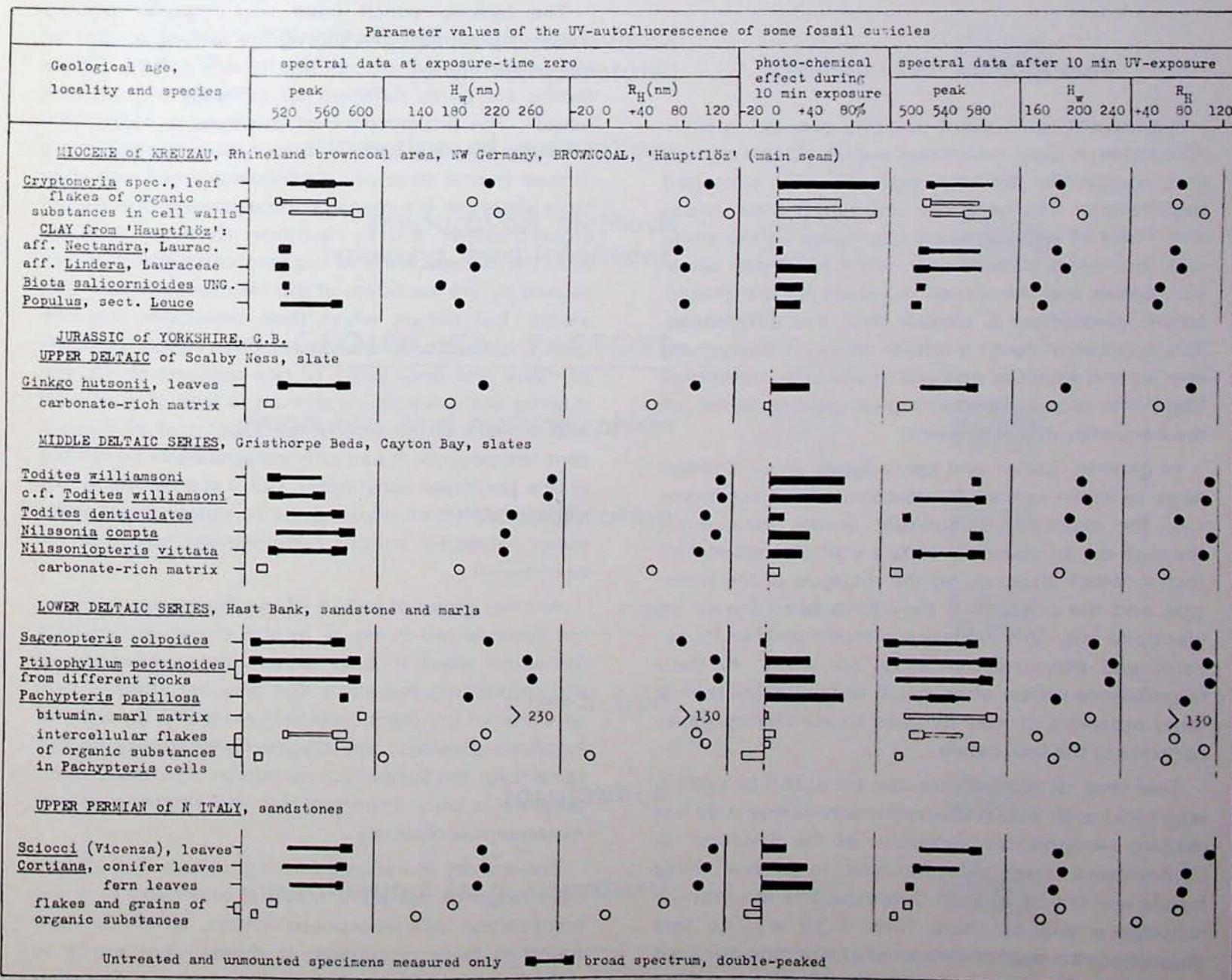


Fig. 6

stance, remains of chlorophyll may still show a red or orangish yellow colour. Fossil resin is recognizable by its strong fluorescence, being greenish or white, and its relative low reflectance (in comparison with vitrinite), but at a higher coal rank its fluorescence may be extinguished and it cannot always be distinguished from other macerals.

It is also easy to state accumulations of pollen and spores in browncoals, peats and hard rocks, by breaking the samples into some pieces parallel and perpendicular to the lamination, which can be studied under incident light. Besides, this simple routine procedure enables to determine instantly, if it is useful to prepare samples for pollen analysis (Van Gijzel, Report ETH-Z, 1975 ; 1978a). Friedrich & Schaar-schmidt (1977) remarked, that the fluorescence forms an indication for the distribution and frequency of pollen and spores in fine laminations in relation to their genesis. Thus, the technique of the pollen analysis of tiny seasonal layers, used by Müller (1974) might be improved.

#### *Fluorescence measurements*

Fluorescent fossil plant remains possess specific differences in their parameter values. These can be used to identify doubtful material, e.g. damaged specimens or fragments, by comparing their values with those of well-identified specimens in the same rock. But this is allowed only, when no strong corrosion occurs and the spread in values for the characteristic parameters is smaller than the differences. This application needs a further study on many more species and localities and will be useful to determine fragments at palaeoclimatological studies based on the frequency of leaf remains.

In general, pollen and spore types show a rather large variation in their fluorescence. For fresh material, the exposure to sunlight during their move through the air causes already a « photochemical effect », which depends on the distance of the transport and the question if they have been buried instantly or not. This influence is much smaller for cuticles and plays no rôle at all for wood. As their fluorescence differs often much enough from that of other macerals, it may be used to identify sporinite particles in the fine matrix.

Coal rank determinations can be useful to explain why rocks with well-preserved macro-remains do not contain recognizable sporinite, as for instance, in Carboniferous coals of higher rank. In general, these fossils will not be able to fluoresce and the vitrinite reflectance will be more than 1.35 %. The fine amorphous kerogenous material and certain minerals in the rock groundmass may still be fluorescent (Van Gijzel, 1978b).

#### *THE FLUORESCENCE ABILITY OF FOSSIL PLANT MATERIAL*

The fluorescence microscopy is a very sensitive tool to record changes or differences in the chemical composition of plant material, caused by the biochemical and geochemical coalification or alteration of organic matter. However, these processes are very complex and many organic compounds occur.

After the sedimentation of the plant material, its chemical character is gradually altered with the production of many new compounds, which transform again into other ones. The material may partly be decomposed into easily soluble and gaseous constituents, but a part of it will remain as insoluble matter or *kerogen*, still showing the original morphology or, when it is destructed by microbiological activity, into an amorphous mass. Bitumens may also be produced and held in the fossil remains or migrate into the rock matrix. These compounds and the *kerogen* are often fluorescent.

The factors, which have an influence on the fluorescence properties (fig. 7) are very important for the interpretation of the fluorescence data. These factors are partly different for minerals and organic matter. The fluorescence of minerals is mostly determined by the electrons of trace elements occurring in their crystal structure. Sedimentary minerals may have absorbed bitumens or incorporated fluorescent organic matter, e.g. in dolomite. Contrary to minerals, the fluorescence of organic compounds is not caused by the excitation of the electrons of particular atoms, but occurs when their molecules become (partly) excited under radiation. Plant remains consist of many and only rarely of one compound. Consequently the measured spectrum is that of a mixture and consists of the sum of the spectra of all fluorescent compounds. It can only exceptionally be related to one particular constituent, but it is possible to distinguish different mixtures, as complete equal parameter values for various compositions have not yet been found.

Another group of factors of the fluorescence ability are summarized in fig. 7 as the characters of rock formation, which include not only the composition of the embedding sediment, but also the state of preservation of the plant material before it is buried and fossilized. Besides, the oxygen content may be important for the subsurface corrosion. The factor temperature is only important for the fluorescence of metamorphic minerals.

The activity of bacteria or fungi results in a chemical change of the plant material and even in a decomposition into amorphous matter, which is often found in large quantities. It differs very much in reflectance and fluorescence after thermal alteration from material that occurs in a well-preserving me-



# FLUORESCENCE ABILITY OF GEOLOGICAL OBJECTS





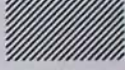








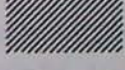






<u>PHYSICAL AND CHEMICAL FACTORS</u>	<u>minerals</u>	<u>organic substances</u>
	amount of trace elements	
molecular structure		
intensity and time of radioactivity		
crystal shape and structure		
characters of rock formation (e. g. temperature)		
succession of generations		
preparation methods (glowing, acid treatment)		
<u>GEOLOGICAL FACTORS</u>		
diagenesis and metamorphism		
coalification		
age		
mineral bed		
fossilization		
weathering (e. g. corrosion)		

Fig. 7

dium. For instance, in the marls of the Lower Molasse from Switzerland only unrecognizable pollen and spores are found, which have been « consumed » microbiologically, but also corroded and redeposited. Their dirty brown fluorescence is in striking contrast to the greenish and yellowish white as usual for Tertiary material.

The influence of corrosion on the fluorescence has already been discussed (see the fluorescence of sporopollenin) and results in material in coals that is distinguished as inertinite, which is higher in reflectance than exinite and vitrinite. It consists partly of fusinite, which shows generally a cellular structure. According to Stach (1975) the process of the fusinitization is caused by charring, oxidation, mouldering and fungal attack of plant material before its deposition and may even happen on the surface of a peat. Fusinite is formed by dehydration and oxidation in an oxygen-rich environment and contains relative much carbon and less hydrogen. Inertinite is non-fluorescent.

Radioactivity has only a very local influence on the fluorescence, which appears as a darker « halo » around certain minerals, which is also higher in reflectance (Wolf, 1966).

The preparation of samples in the laboratory may have an important effect on the fluorescence properties of fossil plant material (see : Techniques).

The influence of geological processes on the reflectance and fluorescence of organic matter has already been discussed. For more details on the relationship between these properties and the chemical character of organic matter it may be referred to numerous papers (see Stach, 1975 ; Tissot et al., 1974 ; Van Gijzel, 1978d).

### CONCLUSIONS

The fluorescence measurements which are discussed in this paper, confirm earlier obtained results and statements. The differences in parameter values of fresh plant tissues are specific for various species and for various tissues or constituents in one plant. Consequently, the differences in values for fossil wood and cuticles of different species may also be considered specific. However, a further study on this topic is necessary to state the fluorescence of more species from more geological ages and coal rank or degree of organic metamorphism. The use of fluorescence microscopy is limited by the extinguishment of the fluorescence by corrosion or thermal alteration, but when fossil plant material is able to fluoresce, this method can successfully be applied to palaeobotany for various purposes. The changes in reflectance and fluorescence at increasing thermal alteration are not equal for various constituents, as wood, pollen and

spores, cuticles and *Acritarchs*, as their original chemical composition has been different and their behaviour during thermal alteration has been divergent. This enables to use this method, and is the reason for its wide application in coal petrography and the exploration of petroleum and natural gas, though the exact relationship between the chemical composition and fluorescence phenomena of plant material cannot yet be given.

The observations of fluorescent plant material provide a useful tool to determine certain morphological details and deliver information on its state of preservation.

### ACKNOWLEDGEMENTS

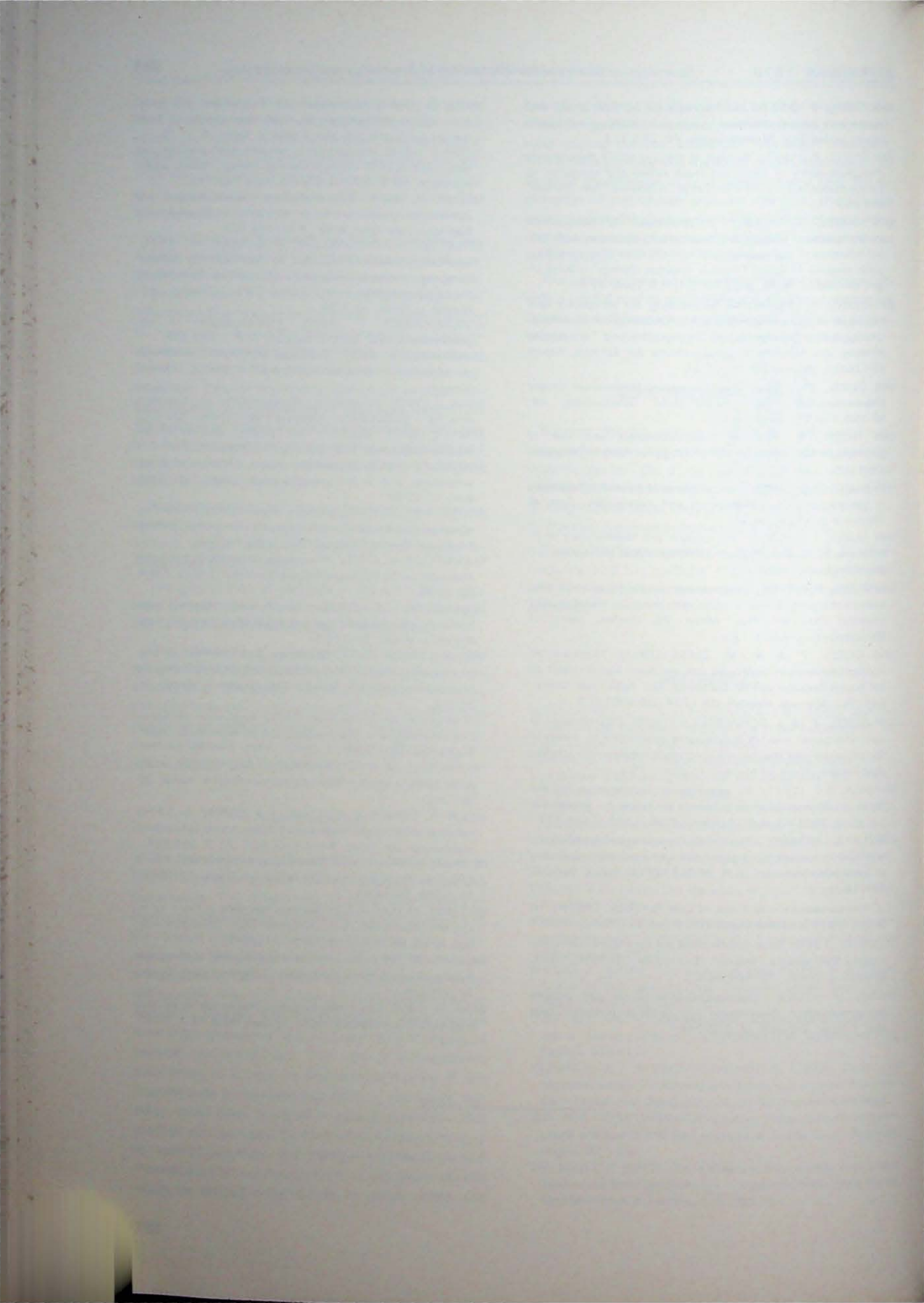
Sincere thanks are extended to numerous colleagues for providing samples of fossil plant material, in particular to : Dr. J. van der Burgh and other staff members of the Laboratory for Palaeobotany and Palynology of the State University, Utrecht and Prof. Dr. R. Hantke, Geological Institute, ETH-Zürich.

The author is also greatly indebted to Prof. Dr. H.-F. Linskens and his staff for their stimulating interest and kind support at the analysis of fresh and fossil material.

### REFERENCES

- ALEKSANDROV, V.J. & SVESHNIKOVA, I.N. (1956). Die Verwendung des Fluoreszenzmikroskops in der Paläobotanik. Botan. Zeitschr., 41, 2, 206-212, in russ.
- ALPERN, B. (1976). Fluorescence et réflectance de la matière organique dispersée et évolution des sédiments. Bull. Centre Rech. Pau-SNPA, 10, 1, 201-220.
- ALPERN, B., DURAND, B., ESPITALIE, J. & TISSOT, B. (1972). Localisation, caractérisation et classification pétrographique des substances organiques sédimentaires fossiles. C.R. Vème Réunion Internat. Géochimie Organique, Hanovre 1971 ; Adv. Organ. Geochem., 1971, 1-28, Pergamon Press, Oxford.
- BRAUNS, F.E. (1952). The chemistry of lignin. Academic Press, New York, 1-808.
- BROOKS, J. (1971). Some chemical and geochemical studies on sporopollenin. in : J. BROOKS et al. : Sporopollenin, Academic Press, London, 351-407.
- BROOKS, J., GRANT, P.R., MUIR, M., VAN GIJZEL, P. & SHAW, G. (1971). Sporopollenin, Proc. Sympos. London, Sept. 1970. Academic Press, London, 1-707.
- ELSIK, W.C. (1971). Microbiological degradation of sporopollenin. in : Sporopollenin, ed. : J. BROOKS et al., Academic Press, London, 480-511.
- FRIEDRICH, W.L. & SCHAARSCHMIDT, F. (1977). Zwei- und dreidimensionale Fluoreszenzaufnahmen von fossilen Pflanzen. Cour. Forsch.-Inst. Senckenb., 24, 31-49, Frankfurt am Main.
- GUTJAHR, C.C.M. (1966). Carbonization measurements of pollen grains and spores and their application. Leidse Geol. Mededelingen, 38, 1-29.
- VAN GIJZEL, P. (1966). Die Fluoreszenz-Photometrie von Mikro-fossilien mit dem Zweistrahl-Mikroskopphotometer nach Berek. Leitz Mitt. Wiss. u. Technik, 3, 7, 206-214.

- VAN GIJZEL, P. (1967). Autofluorescence of fossil pollen and spores with special reference to age determination and coalification. *Leidse Geol. Mededelingen*, 40, 263-317.
- VAN GIJZEL, P. (1971). Review of the use of UV-fluorescence microphotometry of fresh and fossil exines and exosporia. in *Sporopollenin*, ed. : J. BROOKS et al., Academic Press, London, 659-682.
- VAN GIJZEL, P. (1975). Polychromatic UV-fluorescence microphotometry of fresh and fossil plant substances, with special reference to the location and identification of dispersed organic material in rocks. *Colloque Internat. Pétrogr. matière organ. des sédim.*, ed. B. ALPERN, C.N.R.S. Paris, 67-91.
- VAN GIJZEL, P. (1975). Die Anwendung der Reflexions- und Fluoreszenz-Mikrophotometrie zur Erforschung der Inkohlung, niedriggradige Metamorphose, Stratigraphie und Tektonik der Molasse, des Flysches und Helvetikums der Schweiz. *Report ETH-Zürich, Schweiz (intern.)*, 1-24.
- VAN GIJZEL, P. (1977). Die Fluoreszenz-Mikroskopie einiger Pflanzenfossilien. *Cour. Forsch.-Institut. Senckenberg*, 24, 92-100, Frankfurt am Main.
- VAN GIJZEL, P. (1978a). Instrumentation and use of geomicrophotometry. *Leitz Mitt. f. Wiss. u. Technik (in press)*, 15 p.
- VAN GIJZEL, P. (1978b). The application of geomicrophotometry to the exploration of petroleum and natural gas. *Geol. & Mijnbouw (in press)*, 18 p.
- VAN GIJZEL, P. (1978c). The location and identification of oil bitumens by means of geomicrophotometrical techniques. *Organ. Geochem. (in press)* 10 p.
- VAN GIJZEL, P. (1978d). New developments in the geomicrophotometry of organic matter in rocks, with particular reference to its chemical character. *Proc. Micro '78, London, Journ. of Microscopy (in prepar.)*, 12 p.
- VAN GIJZEL, P. & M.J.M. BLESS (1971). Fluorescentie-mikrophotometrisch onderzoek van een reeks koolmonsters uit het Boven Carboon van W. Duitsland. *Rep. Rijks. Geol. Dienst, Geol. Bur. Mijngb. Heerlen, GB 1224 /GD 1083*, 1-3.
- VAN GIJZEL, P. & J. SCHWIRTLICH (1978). Determination of light-reflectance and UV-fluorescence parameters by means of the computerized microscope-spectrophotometry with incident illumination. *Journ. of Microsc. (in press)*, 16 p.
- HAVINGA, A.J. (1971). An experimental investigation into the decay of pollen and spores in various soil types. in : *Sporopollenin*, ed. J. BROOKS et al., Academic Press, London, 446-479.
- HOOD, A. & CASTAÑO, J.R. (1974). Organic metamorphism : its relationship to petroleum generation and application to studies of authigenic minerals. *U.N. ESCAP, CCOP Techn. Bull.*, 8, 85-118.
- I.C.C.P. *International Handbook of Coal Petrology*, 2nd ed., 1st Suppl. (1971) and 2nd Suppl. (1975), ed. by C.N.R.S., Paris.
- JACOB, H. (1964). Neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der Lumineszenz-Mikroskopie fossiler Brennstoffe. *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.*, 12, 569-588.
- JACOB, H. (1969). Lumineszenz-Mikroskopie der organo-petrographischen Bestandteile von Sedimentgesteinen. *Leitz Mitt. f. Wiss. u. Techn.*, 4, 250-254.
- JACOB, H. (1973). Kombination von Fluoreszenz- und Reflexions-Mikroskopphotometrie der organischen Stoffe von Sedimenten und Böden. *Leitz Mitt. f. Wiss. u. Techn.*, 6, 21-27.
- JACOB, H. (1975). Mikroskopphotometrische Analyse natürlicher fester Erdölbitumina. *Colloque Internat. Pétrogr. matière organ. des sédim.*, ed. B. ALPERN, C.N.R.S. Paris, 103-113.
- MÜLLER, H. (1974). Pollenanalytische Untersuchungen und Jahresschichtenzählungen an der eem-zeitlichen Kieselgur von Bispingen/Luhe. *Geol. Jahrb.*, A 21, 149-169.
- OTTENJANN, K., TEICHMÜLLER, M. & WOLF, M. (1974). Spektrale Fluoreszenz-Messungen an Sporiniten mit Auflicht-Anregung — eine mikroskopische Methode zur Bestimmung des Inkohlungsgrades gering inkohlter Kohlen. *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.*, 24, 1-36.
- SCHAARSCHMIDT, F. (1973). Pflanzenfossilien in ungewöhnlichem Licht. *Natur u. Museum*, 103, 7, 247-253.
- SCHOCHARDT, M. (1943). *Grundlagen und neuere Erkenntnisse der angewandten Braunkohlenpetrographie*. 208 p., Halle/S (Knapp).
- SHAW, G. (1971). The chemistry of sporopollenin. in : *Sporopollenin*, ed. J. BROOKS et al., Academic Press, London, 305-350.
- STACH, E. (1975). *Textbook of Coal Petrology*. 2nd rev. edition (various cooperators), Gebr. Bornträger, Stuttgart, 428 p.
- STAPLIN, F.L. (1969). Sedimentary organic matter, organic metamorphism, and oil and gas occurrence. *Canad. Petr. Geol. Bull.*, 17, 47-66.
- STAPLIN, F.L. (1977). Interpretation of thermal history from colour of particulate organic matter, a review. *Palynology*, 1, (Proc. 8th Annual Meeting Houston, 1975, A.A.S.P.), 9-18.
- TEICHMÜLLER, M. (1971). Anwendung kohlenpetrographischer Methoden bei der Erdöl- und Erdgasprospektion. *Erdöl u. Kohle*, 24, 69-76.
- TEICHMÜLLER, M. (1974). Über neue Macerale der Liptinit-Gruppe und die Entstehung von Micrinit. *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.*, 24, 37-64.
- TEICHMÜLLER, M. (1974). Entstehung und Veränderung bituminöser Substanzen in Kohlen in Beziehung zur Entstehung und Umwandlung des Erdöls. *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.*, 24, 65-112.
- TEICHMÜLLER, M. & WOLF, M. (1977). Application of fluorescence microscopy in coal petrology and oil exploration. *Journ. Microscopy*, 109 (1), 49-74.
- TEICHMÜLLER, M. & OTTENJANN, K. (1977). Liptinite und lipide Stoffe in einem Erdölmuttergestein. *Erdöl u. Kohle*, 30, 387-398.
- TISSOT, B., DURAND, B., ESPITALIE, J. & COMBAZ, A. (1974). Influence of nature and diagenesis of organic matter in formation of petroleum. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 58, 3, 499-506.
- DE VRIES, H.A.M.A. (1970). Russeting of the apple skin. Thesis Kath. Univ. Nijmegen, repr. from *Acta Botan. Neerl.*, 17 (1968), 18 (1969), 19 (1970).
- WILLEMSE, M.Th.M. (1972). Microsporogenesis in *Pinus sylvestris* and *Gasteria verrucosa*. Thesis Kath. Univ. Nijmegen, repr. from *Acta Botan. Neerl.*, 20 (1971), 21 (1972).
- WILSON, L.R. (1961). Palynological fossil response to low-grade metamorphism in the Arkoma Basin. *Tulsa Geol. Soc. Digest*, 29, 131-140.
- WOLF, M. (1966). Observations pétrographiques sur les schistes boghead d'Autun (Saône-et-Loire). *Sc. de la Terre*, XI, 1, 7-18.



## Sélection des fiches d'INIEX

INIEX publie régulièrement des fiches de documentation classées, relatives à l'industrie charbonnière et qui sont adressées notamment aux charbonnages belges. Une sélection de ces fiches paraît dans chaque livraison des Annales des Mines de Belgique.

Cette double parution répond à deux objectifs distincts :

- Constituer une documentation de fiches classées par objet*, à consulter uniquement lors d'une recherche déterminée. Il importe que les fiches proprement dites ne circulent pas ; elles risqueraient de s'égarer, de se souiller et de n'être plus disponibles en cas de besoin. Il convient de les conserver dans un meuble ad hoc et de ne pas les diffuser.
- Apporter régulièrement des informations groupées par objet*, donnant des vues sur toutes les nouveautés.

C'est à cet objectif que répond la sélection publiée dans chaque livraison.

### A. GEOLOGIE — GISEMENTS PROSPECTION — SONDAGES

IND. A 39

Fiche n. 66.969

H. KUNZENDORF et G. FRIEDRICH. Die Verteilung von Uran in Manganknollen in Abhängigkeit von der Knollenfazies und der Morphologie des Meeresbodens. *La répartition de l'uranium dans les nodules de manganèse dépend du faciès des nodules et de la morphologie du fond de la mer.* — *Erzmetall*, 1977, décembre, n° 12, p. 590/592, 4 fig.

Des échantillons de nodules de manganèse, provenant d'une campagne de recherche effectuée par le « Valdivia » dans le Pacifique Central, ont été analysés. La teneur en uranium a été déterminée par une analyse à activation de neutrons. On a constaté que la teneur en uranium dépendait de la topographie sous-marine et du type de nodule. Des nodules à teneur élevée en fer, provenant des flancs ouest des montagnes, sont caractérisées par des teneurs élevées en uranium (> 6,5 ppm ; teneur moyenne 3 à 4 ppm). Cette teneur élevée est probablement due à un apport élevé d'uranium par les courants d'eau. Biblio. : 6 réf.

IND. A 53

Fiche n. 67.061

C.K. BENINGTON. Ship motion - compensation systems. *Systèmes de compensation du mouvement d'un navire.* — *Institution of Mining and Metallurgy*, 1978, janvier, p. 13/16, 8 fig., 2 tabl.

Les problèmes posés par les forages dans la croûte terrestre sont plus nombreux et difficiles lorsque l'installation de forage est flottante. Des nombreux problèmes, 2 sont examinés : l'isolement de la colonne des tiges du mouvement de la plate-forme provoqué par la houle de la mer et la mise sous tension du tube en acier placé au-dessus du dispositif permettant de fermer rapidement la tête du sondage en cas de venue de gaz. Les principes de la mise en place et de construction de ces systèmes sont présentés. Biblio. : 2 réf.

IND. A 354

Fiche n. 66.967

F.J. DAHLKAMP et B.H. TAN. Geologie und Mineralogie der Gärtner- und Deilmann Uran-Nickel-Erzkörper in Key Lake Gebiet, Kanada. *Géologie et minéralogie des gisements d'uranium et de nickel de*

Gärtner et Deilmann dans le territoire de Key Lake, Canada. — **Erzmetall**, 1977, décembre, n° 12, p. 577/583, 16 fig.

Les 2 gisements de Key Lake sont situés en bordure sud-est du bassin d'Athabasca au nord de Saskatchewan et ont été découverts en 1975 et 1976. Les gisements s'étendent dans la direction NE-SO sur 1500 et 900 m et ils s'ennoient vers le N-O de 50° à 70°. La minéralisation du gisement de Gärtner varie de quelques m à 30 m et elle a été reconnue par sondages jusqu'à une profondeur de 80 m ; la teneur en U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> est de 45 % et celle du nickel de 45 %. Le gisement de Deilmann a été reconnu jusqu'à une profondeur de 150 m et la teneur du minerai en U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> est de 59 % et celle du nickel 30 %. La gangue est, soit du quartz, soit du carbonate, mais en faibles quantités. Biblio. : 14 réf.

### B. ACCES AU GISEMENT METHODES D'EXPLOITATION

IND. B 31

Fiche n. 67.012

**J. LEVY et P. GESTA.** Le soutènement par boulonnage dans la construction du tunnel routier du Fréjus. — **Industrie Minérale. Mines**, 1977, n° 5, p. 67/68, 3 fig.

L'ouvrage, d'une largeur utile totale de 10,10 m entre piédroits, comporte 2 voies de circulation et 2 bandes d'arrêt d'urgence latérales. La hauteur de couverture varie de 600 à 1200 m avec un maximum de 1700 m au droit de la crête frontalière. La résistance à la compression des terrains varie de 300 à 1000 bars. Le soutènement adopté dans la partie courante du tunnel comporte l'utilisation systématique de boulons à ancrage ponctuel répartis, tant en voûte (1 boulon/m<sup>2</sup>) qu'en piédroits (1 boulon/1,5 m<sup>2</sup>). Les boulons sont à coquille d'expansion à barre récupérable avec tige en acier de 20 mm de diamètre et 4 m de longueur. Les têtes des boulons sont équipées de plateau d'appui, carrées de 200 × 200 mm à rotule sphérique serrées par un écrou. La foration des trous de boulons (∅ 45 mm) s'effectue à l'aide de 2 jumbos boulonneurs équipés chacun de 3 bras orientables dans toutes les directions et portant des perforatrices à roto-percussion. Résultats obtenus : le boulonnage permet de ralentir très efficacement la déformation des parois dans la mesure où il est mis en place très rapidement et où le terrain est capable de participer à la résistance.

IND. B 31

Fiche n. 67.045

**J.G. LEENEY.** Japanese slurry shield tunnelling. Creusement de tunnels au Japon avec le bouclier à

boue. — **Tunnels and Tunnelling**, 1978, janvier-février, p. 35/37, 4 fig.

Historique du procédé de creusement de tunnels utilisant le bouclier à boue. Cette méthode a été mise au point au Japon, pour le creusement dans des terrains tendres et gorgés d'eau que l'on rencontre souvent dans ce pays. Les Japonais utilisent les matériaux provenant des excavations pour la fabrication de la boue et ajoutent seulement de la bentonite pour obtenir les caractéristiques demandées à la boue, tandis qu'en Grande-Bretagne, on utilise uniquement de la bentonite. Description et résultats obtenus dans 2 chantiers. Biblio. : 2 réf.

IND. B 59

Fiche n. 67.043

**X.** The flowering of abandoned mines. *La floraison des mines abandonnées.* — **Compressed Air**, 1978, janvier, p. 22/23, 3 fig.

On a observé que l'air sortant d'une mine abandonnée avait une température pratiquement constante (11 à 13°C) tout au long de l'année. Utilisation de cet air pour réchauffer les serres durant l'hiver et les nuits froides et pour les refroidir en été. Le système du Professeur Walker, de l'Université du Kentucky, consiste en un ventilateur aspirant l'air de la mine qui passe ensuite dans un « tunnel » en plastique avant d'entrer dans la serre. Il a mesuré des températures de 9°C à l'intérieur de la serre pour une température extérieure de — 15°C. Autres avantages et plantes cultivées.

IND. B 61

Fiche n. 66.978

**P. UROSEVIC.** Gazéification souterraine du charbon. Méthodes d'exploitation (en yougoslave). — **Bulletin des Mines de Yougoslavie**, 1977, n° 4, p. 22/31, 7 fig.

Revue des méthodes de gazéification souterraine du charbon, utilisées jusqu'à présent, sans tenir compte des conclusions des essais expérimentaux ou à l'échelle industrielle. Les méthodes et procédés de gazéification souterraine sont caractérisés par un grand nombre de problèmes techniques dont la résolution est un préalable pour une application industrielle du procédé. La majorité des problèmes à résoudre est d'ordre technique et si, dans un grand nombre de cas, ils ne sont pas encore résolus, cela est dû à un manque d'argent. Ce manque d'argent provoquant l'arrêt des travaux de recherche. Biblio. : 8 réf.

IND. B 61 Fiche n. 67.098

**D. SEELEMANN.** La gazéification souterraine du charbon. — **Industrie Minérale**, 1978, mars, n° 3, p. 135/144, 10 fig., 4 tabl.

L'auteur commence par exposer les différentes méthodes de gazéification souterraine qui sont les méthodes par puits et les méthodes par sondages et présente les avantages et inconvénients de ces 2 types de méthodes. Présentation des essais récents, en cours ou en projet : URSS, Tchécoslovaquie, USA, Pologne, Belgique. Revue des estimations économiques du coût du gaz obtenu par gazéification souterraine. Effets sur l'environnement et risques écologiques. Biblio. : 11 réf.

IND. B 62 Fiche n. 67.054

**A.A. SELIN et D.H. YARDLEY.** In situ leaching of copper. An economic simulation approach. *Lixiviation in situ du cuivre. Une approximation économique par simulation.* — **Mining Engineering**, 1978, janvier, n° 1, p. 58/62, 5 fig., 4 tabl.

Un modèle de simulation économique a été mis au point pour prévoir la quantité de cuivre à récupérer des gisements d'oxyde de cuivre et le coût de production en fonction des caractéristiques géologiques et physiques du gisement. Ce modèle permet de déterminer la possibilité économique de l'exploitation du gisement par lixiviation. Paramètres intervenant dans le modèle et application du modèle. Le pourcentage de cuivre récupéré augmente avec l'épaisseur du gisement mais est indépendant de la teneur. Il n'existe aucune corrélation entre taux de rentabilité et épaisseur du gisement et teneur. Biblio. : 6 réf.

IND. B 410 Fiche n. 67.044

**L.E. GREEN et E.R. PALOWITCH.** Comparative shortwall and room and pillar mining costs. *Etude comparative des coûts d'exploitation par courte taille et chambres et piliers.* — **US Bureau of Mines. Information Circular 8757.**, 1977, 20 p, 5 fig., 15 tabl.

Etude comparative, effectuée par l'US Bureau of Mines, de l'exploitation par « courte taille » et de l'exploitation par « chambres et piliers ». Dans des conditions identiques, la production journalière avec « courte taille » dépasse de 70 t la production journalière par chambres et piliers — 975 contre 900 t — mais les coûts directs sont supérieurs de 0,18 \$/t. L'exploitation par « courte taille » est une alternative à l'exploitation par « chambres et piliers ». Analyse détaillée des coûts et comparaison des bénéfices en prenant un exemple hypothétique.

IND. B 413 Fiche n. 67.008

**J.P. GENGE et P. JACQUIN.** Boulonnage à la résine en milieu hétérogène dans une mine de bauxite. — **Industrie Minérale. Mines**, 1977, n° 5, p. 51/54, 5 fig.

Présentation de la mine de la Rouquette - Montplaisir (Var) exploitant un gisement de bauxite dont la pente varie entre 10 et 35 %. La méthode d'exploitation est celle par chambres et piliers avec foudroyage et elle est utilisée depuis 1974 ; elle comprend 2 phases : une phase chassante de découpage de piliers de 52 m de longueur et 12 m de largeur ; une phase rabattante de dépilage et torpilage des piliers. Les voies en forme de voûte ont le plus souvent 3,80 m de largeur et 3,40 m de hauteur. Caractéristiques géotechniques des épontes et de la bauxite. Le soutènement par boulonnage à la résine est généralisé dans les voies d'ossature, traçages et dépilages. Au boulonnage proprement dit est associé le grillage (sa pose est généralisée dans les voies du fait de la friabilité de la bauxite et de la couronne), tôles (carrefours et zones de mauvaise tenue) et pulvérisation de résine. Caractéristiques du matériel utilisé : tiges lisses de 1,80 m de longueur, résine et plaques auto-compensatrices de 120 × 120 × 3,5 mm. Le forage et le boulonnage sont mécanisés. Organisation du chantier. Comportement de l'ancrage.

IND. B 512 Fiche n. 67.096

**BO-SCHMIDT.** Les techniques de taille de la pierre. — **Equipement Mécanique. Carrières et Matériaux**, 1978, mars, n° 164, p. 45/46, 2 fig.

Mise au point d'un acier « Serator Red D » par la société suédoise Uddeholms qui a permis d'améliorer la qualité intrinsèque de l'acier et de fabriquer des lames minces (diminution de la perte engendrée par la largeur de la coupe), sans en diminuer la résistance ni la dureté, pour le sciage et la taille des blocs de pierre en carrière. Exemple d'application dans l'installation de taille de pierre d'Yxhult (Suède) où la perte au sciage a été réduite fortement et où, pour une production annuelle de 1080 m<sup>3</sup> de matériaux finis, les frais de traitement ont été réduits d'environ 12.000 \$/an.

IND. B 4110 Fiche n. 66.981

**R.G. JURD.** Longwall mining, with particular reference to its implementation in South African collieries. *L'exploitation par longue taille dans les mines de charbon en Afrique du Sud.* — **Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy**, 1977, octobre, Vol. 78, n° 3, p. 63/72, 11 tabl.





que de la bouillie mère correspondant au gel de fin d'opérations et amorçage de chacun des tubes de prélèvement, tant de gel que de bouillie, au moyen d'un détonateur n° 8 de commerce, pour constater s'il y a détonation ou raté de propagation. Tableau donnant les résultats des essais et conclusions : une bouillie mère s'est toujours révélée à la fois plus dense et plus sensible au détonateur que le gel qui en est issu ; les bouillies donnaient l'impression d'être plus énergiques que les gels, vitesses de détonation plus grandes pour les bouillies mères, et les slurries à l'aluminium pourraient bien posséder une sécurité au pompage supérieure à celle de toute formule contenant des dérivés nitrés organiques.

IND. C 240    Fiche n. 67.060

**G.D. JUST.** Evaluation of alternative blasting designs. *Evaluation de divers plans de minage.* — **Institution of Mining and Metallurgy**, 1978, janvier, p. 1/7, 7 fig., 2 tabl.

Le développement de nouveaux équipements de forage et minage, qui ont été mis au point pour les exploitations à ciel ouvert et qui sont maintenant utilisés dans les travaux souterrains, a permis une réduction importante des coûts d'abattage. Le choix existant avec ces divers équipements permet à l'ingénieur des mines de varier les nombreux paramètres des plans de tir : diamètre du trou, géométrie des trous, chargement des explosifs, séquence de mise à feu... On examine les méthodes d'évaluation de l'influence de ces divers paramètres sur les performances du minage. L'influence des travaux de préparation, du forage de production et du minage primaire sur les coûts totaux d'exploitation est analysée en utilisant des techniques graphiques et numériques. Biblio. : 8 réf.

IND. C 4227    Fiche n. 67.020

**V. MERTENS et H.W. KLEINERT.** Maschinelle Vortriebstechnik auf der Internationalen Bergbau-Ausstellung in Birmingham. *Le creusement mécanisé à l'Exposition Minière Internationale de Birmingham.* — **Glückauf**, 1978, 19 janvier, n° 2, p. 65/69, 13 fig.

Revue des principaux équipements pour le creusement mécanisé des galeries, présentés à l'Exposition Minière Internationale de Birmingham. A. Machines à attaque partielle. Le « In-Seam Miner » Dosco Overseas Engineering Ltd, ainsi que le « LH 100 » et la machine à 2 bras « Twin Boom Mining Machine ». De la firme Strathclyde Ltd, le « Boom Ripper » à emplois multiples avec une seule tête de havage et le « Boom Miner ». La machine « Titan » de la firme

Thyssen GB Ltd. Des établissements Montabert, les séries de brise-roches BRH 501, 250 et 125. Un brise-roche suspendu se déplaçant sur 2 rails Gullick-Dobson. Un nouveau « Impact Ripper » combiné à une chargeuse sur chenilles Webster Machine. B. Machine à attaque globale. Les « Demag » et « Robbins ». C. Véhicules sur pneus de différentes firmes.

#### D. PRESSIONS ET MOUVEMENTS DE TERRAIN — SOUTÈNEMENT

IND. D 13    Fiche n. 67.092

**M. HOOD.** Phenomena relating to the failure of hard rock adjacent to an indenter. *Phénomènes en relation avec la rupture des roches dures à proximité de l'outil de coupe.* — **Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy**, 1977, décembre, p. 113/123, 16 fig.

On montre que, dans le coupage des roches dures, l'application d'une force latérale relativement petite en plus de la force normale s'exerçant sur l'outil de coupe provoque un changement important des contraintes dans la roche. L'analyse mathématique montre que des contraintes plus élevées sont induites dans le matériau près de la surface libre quand une force normale et une force latérale sont appliquées sur le matériau. En conséquence, la rupture du matériau peut être réalisée avec une force normale plus faible quand s'ajoute une force latérale. Biblio. : 10 réf.

IND. D 13    Fiche n. 67.093

**T.R. STACEY et C.L. de JONGH.** Stress fracturing around a deep level bored tunnel. *La formation de fractures de tension autour d'un tunnel creusé à grande profondeur.* — **Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy**, 1977, décembre, p. 124/133, 8 fig.

Problèmes rencontrés lors du creusement avec un tunnelier d'une galerie circulaire de 3,36 m de diamètre dans des quartzites durs, suite à la fracturation des roches autour du tunnel : éclatements des roches, éboulement à front, usure anormale des outils de coupe... On a envisagé de forer un avant-trou pilote dans le but de réduire l'influence de la fracturation. Modèle théorique pour l'étude des contraintes dans le massif rocheux autour du tunnel et analyse mathématique basée sur l'hypothèse que le massif se comporte comme un milieu homogène, isotrope et élastique dans le but de déterminer les contraintes dans les terrains, l'extension possible de la zone de fracture et l'orientation des plans de fracture. Les

conclusions de cette étude théorique ont été que les fractures ne pouvaient être évitées et que le trou pilote augmenterait les difficultés du creusement. Biblio. : 8 réf.

IND. D 60

Fiche n. 67.002

**L. TINCHON.** Un exemple de voie de taille boulonnée en section quadrangulaire. — **Industrie Minérale. Mines**, 1977, n° 5, p. 33/34, 2 fig.

Il s'agit d'une voie de base creusée avant l'exploitation du panneau (étage 660), qu'elle desservira et qui demeurera ouverte au passage de la taille. Le boulonnage y a été introduit de façon à réaliser une solution de traçage avec 3 hommes à front et un engin unique de foration du front et de boulonnage. La voie de forme quadrangulaire a, pour une largeur de 5 m au mur, une section variant de 16 à 20 m<sup>2</sup> et la pente varie de - 9° à + 7°. Le toit immédiat de la veine est constitué d'un banc schisteux et d'un banc charbonneux abattus au creusement, puis d'un banc de grès épais et résistant de 80 mPa qui constitue le toit de service. Schéma du boulonnage du type scellement à la résine ; densité 1,45 boulon/m<sup>2</sup>. Mise en œuvre du boulonnage : matériel et mode de pose. Organisation du chantier. Comportement de la voie et résultats : 4,25 m/jour, 38 cm/HP ; le temps de pose d'un boulon varie de 4 à 8 min et la machine à 2 bras assure la pose des 30 boulons pour un cycle de 3 m en un temps compris entre 60 et 125 min.

IND. D 70

Fiche n. 66.996

**F. POT.** Le boulonnage des terrains, une révolution dans l'art des mines. — **Industrie Minérale. Mines**, 1977, n° 5, p. 9/10, 4 fig.

Bref historique de l'évolution du soutènement. Le développement continu du boulonnage au cours des 2 dernières décennies a été rendu possible grâce aux progrès dans la construction d'appareils de forage et de boulonnage et dans la résistance et la fiabilité des ancrages, même en terrains médiocres. Les avantages importants du boulonnage sont apparus dans les ouvrages souterrains de grande section, dans les mines exploitant par chambres et piliers et dans des points particuliers comme des jonctions de galeries ou de galeries et tailles.

IND. D 710

Fiche n. 66.998

**P. SINOÛ et M. DEJEAN.** Les types de tiges de soutènement et leurs accessoires. Le matériel de pose. — **Industrie Minérale. Mines**, n° 5, 1977, p. 16/24, 7 fig.

Les types de tiges de soutènement : les tiges à ancrage ponctuel ou boulons qui ne sont solidaires du terrain qu'à leurs 2 extrémités et les tiges à ancrage réparti ou tiges scellées qui sont solidarisées au terrain par une gaine pleine constituée, soit par du mortier de ciment, soit par un produit synthétique polymérisable. Les tiges à ancrage ponctuel : les boulons à fente et coin et les boulons à expansion - description, pose, utilisation. Les dispositifs à ancrage réparti : tiges scellées au mortier de ciment (techniques Perfo, Berg-Jet, des cartouches de ciment) ; tiges scellées aux résines polyester (les charges de scellement) ; tiges scellées en acier, tiges non métalliques. Les broches de parement utilisées à la place de boulons pour tenir les parements verticaux des galeries ou des tailles. Les accessoires du boulonnage : les plaques, les blochets, le grillage. Le matériel de boulonnage : pour le forage du trou, la mise en place du boulon, le serrage (outillage élémentaire, jumbos).

IND. D 712

Fiche n. 67.070

**M. BELIN et M. LETHUAIRE.** Automatisation du boulonnage dans les mines de fer. — **Tunnels et Ouvrages Souterrains**, 1978, janvier-février, n° 25, p. 19/21, 2 fig.

La mine de Moyeure en Lorraine, dont la production est de 16.000 t/jour, exploite 2 couches séparées par un intercalaire de 6,50 m. Le jumbo Secoma Diesel sur pneus, de boulonnage, permet de poser des boulons à la résine de 1,70 m de longueur. Le jumbo est équipé d'une tourelle universelle standard sur laquelle existent 2 positions : forage et boulonnage. L'ouvrier boulonneur étant obligé de se présenter dans la zone non boulonnée pour présenter le boulon sur la tourelle et pour introduire la cartouche de résine, la mine et la firme Secoma ont amélioré la sécurité et les performances en plaçant un ensemble de 3 équipements sur la tourelle standard : un alé-seur, un système d'injection de résine et un magasin à boulons. Performances réalisées.

IND. D 712

Fiche n. 67.071

**M. LETHUAIRE et M. VASSAS.** Foration et boulonnage mécanisés aux Houillères de Lorraine. — **Tunnels et Ouvrages Souterrains**, 1978, janvier-février, n° 25, p. 21/24, 7 fig.

L'importance des traçages dans les exploitations du bassin de Lorraine a nécessité la mécanisation de la foration et du boulonnage. La recherche d'un matériel adapté s'est faite dans l'optique de pouvoir réaliser avec une seule machine les opérations de foration et de boulonnage et de réduire l'équipe d'avancement de 4 à 3 mineurs. Caractéristiques du Jumbo Secoma ATH

15 utilisé de préférence dans des galeries boulonnées intégralement d'une section moyenne de 15 m<sup>2</sup> (5 × 3). Dans la phase chargement, un grillage posé sur 3 allonges métalliques constitue un soutènement provisoire. Le soutènement définitif se compose de tiges type « Artop » de 2,20 m de longueur et 20 mm de diamètre. Ces tiges sont scellées à la résine dans des trous de 28 mm de diamètre. Résultats obtenus et améliorations induites d'une telle mécanisation.

IND. D 719

Fiche n. 67.000

**H. GONARD.** Boulonnage d'un toit très diaclasé. — **Industrie Minérale. Mines**, 1977, n° 5, p. 27/30, 7 fig.

Les travaux de reconnaissance du gisement de l'Aumance ont été réalisés depuis une quinzaine d'années par traçage de chambres de 5 × 5 m et piliers abandonnés. Le soutènement est exclusivement réalisé par boulonnage. Anciennement, il était constitué par un boulonnage de type ponctuel à coquille d'expansion. Ce type s'est avéré mal adapté aux terrains rencontrés : fissurés, lités, peu résistants (mauvaise tenue du faux-toit) ; de plus, sa mise en œuvre n'était pas assurée par un matériel moderne. Dans un but d'efficacité et de rentabilité, le choix d'un boulonnage à scellement réparti à base de résine synthétique a été arrêté comme soutènement exclusif tant en phase traçage que dépilage. L'étude de ce type de soutènement, particulièrement adapté aux terrains lités et fissurés, a comporté 2 parties : longueur du boulonnage et densité. Caractéristiques des boulons lisses en acier, types de résine utilisés, répartition des boulons, évolution de la densité, mode de pose, matériel utilisé. Résultats : 1 seul homme, à l'aide du boulonneur Secoma PEC 22-1 br, pose 70 à 75 boulons par poste (auparavant 25 à 30 boulons).

IND. D 719

Fiche n. 67.005

**C. BOUDOT.** Pose mécanisée de boulons scellés à la résine. — **Industrie Minérale. Mines**, 1977, n° 5, p. 43/44, 2 fig.

Présentation du quartier de traçage en minerai de fer siliceux dont la résistance moyenne à la compression est de 200 bars et celle du toit de 250 bars. Les galeries de 5,5 m de largeur et de 3 m de hauteur découpent des piliers (25 × 80 m) qui seront défruités au maximum. Le conducteur du mineur continu doit toujours être sous la zone boulonnée, il peut donc creuser 7 m d'une traite et doit alors céder la place au boulonneur et aller creuser dans le chantier voisin. Le soutènement comprend les éléments suivants : 1) tiges  $\phi$  18 mm, longueur 1,80 m, nervurées, filetées en extrémités ; 2) plaques déforma-

bles 150 × 150 mm à rotule ; 3) bourres de résine titanite  $\phi$  18 mm, longueur 1 m ; 4) écrous « Top » munis d'une capsule en résine cédant à un couple de 10 mkg. Pose par jumbo dont on donne les caractéristiques. Ce jumbo pose environ 40 boulons/poste, ce qui correspond à une douzaine de m d'avancement ; en cas de boulonnage continu, 120 boulons sont facilement posés dans le poste, compte tenu des déplacements du jumbo d'un chantier à l'autre.

IND. D 719

Fiche n. 67.009

**B. CARLIER.** Boulonnage en terrains plastiques aux Mines de Potasse d'Alsace. — **Industrie Minérale. Mines**, 1977, n° 5, p. 55/58, 3 fig.

L'exploitation, à une profondeur comprise entre 500 et 1000 m, est réalisée, soit par longues tailles, soit par chambres et piliers. En général, les galeries en couche sont des galeries doubles de section rectangulaire (4 m de largeur et 2 à 2,5 m de hauteur) séparées par un pilier de 3 m de largeur environ ; leur durée de vie varie de 2 à 6 ans. Caractéristiques du terrain. Suite à la mécanisation, le boulonnage a dû être introduit, son but étant, dans un premier temps ; de solidariser les différents bancs du toit pour en faire une poutre épaisse et, dans un 2ème temps, d'accrocher le toit immédiat à des bancs non encore dégradés. Deux types de soutènement sont actuellement utilisés : le boulonnage à ancrage réparti et le boulonnage à ancrage ponctuel ; ils sont complétés par un boulonnage des parois destiné, d'une part, à consolider les parois et, d'autre part, à empêcher les écaillages de tomber. Description et matériel utilisé. Résultats : comportement des ancrages, performances.

## E. TRANSPORTS SOUTERRAINS

IND. E 19

Fiche n. 67.076

**H.D. DAHL.** Slurry transport will move coal from mine to preparation plant. *Transport hydraulique du charbon du chantier au lavoir.* — **Mining Equipment International**, 1978, janvier-février, p. 26/27.

Pourquoi le transport hydraulique a été choisi comme moyen de transport du charbon à la mine Loveridge. Le transport hydraulique permet au charbon de rester continuellement dans le même genre d'installation, il est flexible et de sécurité et il présente l'avantage de supprimer le goulot d'étranglement que constituent les camions-navettes ou tout autre moyen de transport. Un concasseur submersible monte dans la trémie d'injection qui suit la machine d'abattage, concasse le charbon brut à 10

cm ; ce charbon est ensuite mélangé avec de l'eau dans la trémie d'injection et envoyé, au moyen d'une pompe centrifuge, dans les diverses tuyauteries jusqu'à la surface et de là vers le lavoir. Ce système, installé à la mine Loveridge, sert à transporter le charbon provenant de 2 mineurs continus et d'une longue taille.

IND. E 50

Fiche n. 67.073

**D.R.J. WHITE.** Electromagnetic interference and compatibility. Vol 3. *Interférence électromagnétique et compatibilité. Vol. 3.* Don White Consultants Inc. 14800 Springfield Road Germantown, Maryland 20767. 301-948-0028. — **Library of Congress Catalog Card n° 72**, 138444, 693 p. Nomb. fig. et tabl.

Le contrôle ou la diminution des interférences électromagnétiques (EMI) ou perturbation radio, bruit électrique, interférence des fréquences radio (RFI) est une technologie en pleine expansion. Les EMI ne permettent pas aux nombreux systèmes électriques, électroniques et de communications de fonctionner normalement dans un spectre commun de fréquences. Il peut en résulter un brouillage des communications radio, des erreurs de navigation... Ce volume, le n° 3 de la série qui en comporte 5, est un manuel sur les méthodes de contrôle et les techniques EMI. Biblio. : Nomb. réf.

#### F. AERAGE — ECLAIRAGE HYGIENE DU FOND

IND. F 21

Fiche n. 67.074

**R.P. VINSON, E.D. THIMONS et Coll.** Methane accumulations in coal mine roof cavities. *Accumulations de grisou dans les cavités en toit dans les mines de charbon.* **US Bureau of Mines. Report of Investigations 8267**, 1978, 15 p., 16 fig., 1 tabl.

L'US Bureau of Mines a entrepris une étude sur les accumulations de grisou dans les cavités de toit. Ces recherches ont été effectuées dans une galerie ventilée de 210 m de longueur où 2 cavités en toit avaient été creusées — une de 3,25 m<sup>3</sup> et l'autre de 1,65 m<sup>3</sup> — et dans lesquelles du grisou était libéré. Les concentrations en grisou furent mesurées en 28 places et ce, pour 28 débits de grisou et de vitesse d'air. Une toile pendue dans la cavité réduit la teneur en grisou sans ventilation auxiliaire. Il a été également démontré que les concentrations en grisou dans les cavités sont une fonction de la vitesse de l'air sous la cavité et que plus la vitesse de l'air est élevée, plus le courant d'air circulaire dans la cavité est grand et plus la concentration en grisou est faible. Biblio. : 5 réf.

IND. F 61

Fiche n. 67.078

**A. WHILLIER.** Fire protection in stopes : ways and means. *Protection contre le feu dans les chantiers : voies et moyens.* — **Coal, Gold and Base Minerals**, 1977, décembre, n° 12, p. 47/55, 3 fig., 2 tabl.

Les piles, et la plupart sont construites uniquement en bois, utilisées pour le soutènement du toit dans les mines sud-africaines, sont la cause de nombreux incendies ; le coût annuel de ces feux pour les mines d'or est de l'ordre de 40 millions de rands, équivalent aux dépenses d'explosifs. On passe en revue les méthodes recommandées pour la protection des piles de bois contre les risques d'incendie : peinture intumescente et à la chaux, piles remplies de ciment, enveloppement des bois par un isolant (fibres de verre), imprégnation du bois avec de l'eau ou des sels solubles, construction de piles dans lesquelles les bois sont séparés par des blocs en béton... Examen des essais effectués et résultats obtenus. Coût de ces mesures de protection — l'avantage économique n'est pas certain. Recommandations proposées et conclusions.

IND. G 00

Fiche n. 66.975

**J. BYLOOS.** Matematische modellen voor het beheer van de grondwatervoorraden. Resultaten omtrent hun betrouwbaarheid. *Modèles mathématiques utilisés pour la gestion des ressources en eau. Expériences sur leur fiabilité.* — **Hydrographica**, 1977, n° 4, p. 12/31, 13 fig., 4 tabl.

Les modèles mathématiques (et analogiques) se sont révélés être des instruments très précieux pour la gestion des ressources en eau souterraine. Cet article n'a pas la prétention d'établir un inventaire de tous les modèles existant en Belgique mais d'évaluer, à travers quelques exemples, la fiabilité des modèles mathématiques pour l'eau souterraine au stade actuel de leur évolution. Les deux premiers exemples, appelés « modèles globaux », sont des modèles de bassin versant, l'un de la Grote Nete et l'autre de la Dyle. Ces modèles ont pour but d'établir le bilan hydrologique des bassins afin d'en tirer des informations concernant l'alimentation et la vidange des aquifères. La technique consiste à déterminer les paramètres inconnus dans le bilan hydrique par un processus d'optimisation. Le troisième exemple est un « modèle mathématique à réseau maillé » du bassin de Mons. Ce modèle mathématique est basé sur le même principe que le modèle analogique électrique. Il s'agit de résoudre l'équation différentielle qui régit l'écoulement de l'eau souterraine. Biblio. : 6 réf. Résumé de la Revue.

IND. G 00

Fiche n. 66.976

**J. HELLAS.** Amélioration de la qualité de l'eau potable par injection d'oxygène pur. *Verbetering van de kwaliteit van het drinkwater door inspuiting van zuivere zuurstof.* — **Hydrographica**, 1977, n° 4, p. 32/40, 8 fig., 5 tabl.

Description d'un procédé d'oxygénation de l'eau captée dans les graviers alluvionnaires de la Meuse ; cette eau suite à la sécheresse de l'été 1976 s'était dégradée : la teneur en ammoniacale avait atteint 0,6 mg/litre et l'oxygène dissous était passé de 6 à 0,4 mg/litre. Installations existantes, réseaux et station de captage. Qualité des eaux captées et influence de la Meuse. Rôle de l'oxygène dans le réseau de distribution. Le dispositif d'injection d'oxygène pur à la crépine de la pompe comporte 2 cadres de 10 bouteilles d'oxygène dont un sert de réserve, un détenteur de pression et un débitmètre. Mesure et réglage du débit d'oxygène, consommation d'oxygène. Résultats obtenus. Comparaison aération et oxygénation. Prix de revient. Biblio. : 3 réf.

## H. ENERGIE

IND. H 0

Fiche n. 66.994

**J.R. FRISCH et J. LACOSTE.** Bilans énergétiques et équivalences électricité-combustibles. A propos des bilans de l'OCDE. — **Revue de l'Energie**, 1978, janvier, n° 300, p. 5/12, 4 fig., 4 tabl.

Si l'on parvient assez bien, du moins dans les pays industrialisés, à saisir les statistiques de base des ressources entrant dans la machinerie énergétique (t de charbon ou de pétrole, mètres cubes de gaz, kWh), les difficultés apparaissent dès que celles-ci sont transformées en énergie secondaire : charbon en gaz, fuel en électricité, etc... Il faut alors recourir à des coefficients permettant de rétablir un équilibre entre emplois et ressources. Par nature ces coefficients sont conventionnels. Il existe autant de systèmes que de pays ou d'organismes. Le seul problème véritable est celui de l'équivalence électricité-combustibles. Il est nécessaire de réfléchir attentivement à ces équivalences puisque ce problème, au départ technique, recèle en fait d'importantes implications stratégiques. Chaînes énergétiques et coefficients d'équivalence ; ceux-ci dépendent de l'objectif visé. Exemple de 2 chaînes : chaîne pétrolière et chaîne électropétrolière. Les erreurs du système OCDE : erreur logique, théorique et expérimentale. Une nouvelle comptabilité énergétique : bilans énergétiques de l'OCDE pour l'année 1975 et comparaison avec le système français (OCDE retient que 1000 kWh = 0,086 tep et le système français et de la Communauté retient que 1000 kWh = 0,222 tep, soit un facteur de 2,6 entre les 2 approches). Implications stratégiques.

IND. H 9

Fiche n. 66.983

**J. GOENS.** Rôle du C.E.N./S.C.K. dans le développement de l'énergie nucléaire en Belgique. — **Consensus**, 1977, septembre, p. 3/11, 6 fig.

Le Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire (CEN/SCK) compte cette année 25 ans d'existence. Dès lors, il est apparu utile de dresser le bilan de l'action entreprise, en soulignant son rôle dans le développement de l'énergie nucléaire en Belgique. Après un court historique, la mission de CEN/SCK et ses moyens d'action sont brièvement rappelés. Les principaux axes de recherche suivis sont ensuite passés en revue et situés dans leur contexte national et international. En recherche appliquée, l'objectif majeur du programme et les activités ont porté essentiellement sur le développement des différentes phases du cycle du combustible ; la compétence acquise dans le domaine nucléaire a pu être utilisée pour diverses recherches dans des secteurs non nucléaires. Le programme a comporté également un effort limité dans la recherche fondamentale en association, notamment, avec les Universités belges.

IND. H 9

Fiche n. 67.063

**P. de GROOTE.** Energie nucléaire. — **Esso Magazine**, 1978, n° 1, p. 5/7.

Est-il possible en ce moment de se faire une opinion valable sur la politique et le programme nucléaires à poursuivre et à réaliser en Belgique, dans des conditions sociales et économiques acceptables, et ce pour l'immédiat et à terme des  $\pm 20$  ans à venir ? Le problème posé par le développement de l'énergie de fission nucléaire, en dépit des nombreux éléments technologiques qu'il met en jeu, est essentiellement politique et l'auteur se place à ce seul point de vue dans son analyse de la décision à prendre en nature et en temps quant à l'extension à donner dans le futur rapproché au recours à l'énergie nucléaire. On examine successivement le niveau des besoins énergétiques à satisfaire, les éléments de connaissance du problème nucléaire, dès à présent acquis, et les éléments qui restent aléatoires dans la pratique de la mise en œuvre de l'énergie nucléaire. On termine par l'esquisse d'une politique nucléaire raisonnable.

IND. H 9

Fiche n. 67.064

**J. NASIELSKI.** Le point concernant l'énergie solaire. — **Esso Magazine**, 1978, n° 1, p. 20/28, 3 fig., 1 tabl.

Après quelques considérations sur la part des produits pétroliers pour les besoins énergétiques du monde et de la Belgique, qui peut seulement couvrir

15 % de ses besoins en énergie par ses propres ressources, on examine ce que l'énergie solaire peut nous apporter. L'article démontre que le soleil peut couvrir jusqu'à 25 % de la consommation énergétique belge. En effet, 25 à 30 % de notre consommation d'énergie servent à réaliser du chauffage à basse température (30 à 60°) et c'est cette tranche de température qui se prête le mieux à l'exploitation de l'énergie solaire. On examine successivement ce que la Belgique reçoit comme énergie solaire, la conversion thermique à basse température, la conversion photo voltaïque et les obstacles à vaincre pour implanter l'énergie solaire dans notre pays.

### I. PREPARATION ET AGGLOMERATION DES COMBUSTIBLES

IND. I 37

Fiche n. 67.042

**P. MIHALKA.** Die physikalischen Zustände im Aufgabebereich von Magnetscheidern. *La situation physique à l'entrée des séparateurs magnétiques à tambour.* — **Aufbereitungs-Technik**, 1978, février, n° 2, p. 63/69, 14 fig.

Dans la zone d'entrée d'un séparateur magnétique, on trouve des situations physiques résultant de l'induction, de l'aimantation des grains de l'alimentation, de la géométrie du séparateur, des forces mécaniques et magnétiques du système. On examine l'influence des courants de Foucault, de la réfraction des lignes de force magnétique à la surface de séparation fer-air, ainsi que le mouvement des grains à l'entrée du séparateur en tenant compte des champs de force magnétique et des forces hydromécaniques. Le but de cette étude a été d'élargir la compréhension théorique et mécanique de la séparation magnétique des minéraux à séparer. Biblio. : 4 réf.

IND. I 0140

Fiche n. 67.094

**P.J. BETHELL et P.K. ENGLISH.** A view of the West German coal preparation industry. *Un tour d'horizon sur les installations de traitement du charbon de la RFA.* — **Mine and Quarry**, 1978, janvier-février, p. 59/64, 4 fig.

Présentation simplifiée d'une installation de lavage en RFA : le plus de 10 mm est lavé, soit dans des bacs à pistonage, soit dans des installations à liqueur dense ; le moins de 10 mm est dépoussiéré à sec par enlèvement du 0-0,5 mm et lavé également dans des bacs à pistonage. Les schlamms sont traités dans des cellules de flottation par mousse et la souverse alimente un épaisseur où le produit passe d'une concentration de 80 g/litre à 300 g/litre. Quelques

renseignements sur une installation de lavage où la désulfuration du charbon est réalisée : brève description des opérations et du circuit de lavage (schéma de l'installation). Renseignements sur le bac à pistonage Batac où la pulsation de l'air est contrôlée électroniquement, sur un double filtre à tambour pour l'égouttage des schlamms et sur les propriétés des flocculants fabriqués par la Société Stockhausen Chemicals.

### J. AUTRES DEPENDANCES DE SURFACE

IND. J 18

Fiche n. 67.075

**X.** Ore can be moved by capsule tube. *Du minerai peut être transporté par des capsules circulant dans des tubes.* — **Mining Equipment International**, 1978, janvier-février, p. 21, 3 fig.

Présentation d'un système de transport de minerai par capsules « Airapid » mis au point par Nippon Steel Corporation et Daifuku Machinery Works Ltd. Une installation prototype est en service à Muroran Steel Works et sert à transporter de la chaux calcinée sur une distance de 1,4 km : débit 20.000 t/mois, débit maximum 300.000 t/an. Ce système « Airapid » comporte 2 tuyauteries de 600 mm de diamètre, un compresseur, des capsules et une station de contrôle. Les capsules ont 2,5 m de longueur et peuvent transporter chacune 250 kg. Huit trains, composés de 2 capsules reliées ensemble, circulent dans les tuyauteries à la vitesse de 30 km/h ; les capsules sont poussées par de l'air comprimé. Avantages de ce système de transport automatiquement contrôlé par un ordinateur et qui peut fonctionner 24 h sur 24.

### K. CARBONISATION

IND. K 0

Fiche n. 67.040

**X.** Table ronde sur les cokeries. — **Commission des Communautés Européennes**, 1977, 311 p., Nomb. fig. et tabl.

Cette table ronde sur les recherches les plus récentes subventionnées par la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier, en matière de protection du poste de travail et de l'environnement dans les cokeries et d'utilisation de coke et de charbon dans les hauts fourneaux, s'est tenue à Luxembourg les 7 et 8 juin 1977. 26 communications y furent présentées. La 1ère journée fut consacrée à la lutte contre la pollution dans les cokeries, aux problèmes de la santé des travailleurs et de l'amélioration des conditions de travail. Lors de la 2ème journée, les diverses com-

munications ont traité de l'amélioration du traitement des eaux résiduaires, de l'utilisation du coke moulu dans les hauts fourneaux, de l'emploi de coke fabriqué à partir de mélange contenant un certain pourcentage de charbon non cokéifiable, de l'enfournement direct de charbons au gueulard du haut fourneau et de la dégradation des cokes dans les hauts fourneaux. Biblio. : Nombr. réf.

IND. **K 0** Fiche n. **67.084**

**G. NASHAN.** Die Kokereiwirtschaft. Bilanz und Orientierungsrahmen für die 80er Jahre. *L'économie des cokeries. Bilan et orientation pour les années 80.* — **Glückauf**, 1978, 2 février, n° 3, p. 127/136, 19 fig.

Quelques considérations sur l'économie des cokeries à partir de 1970 en RFA et sur les tendances du marché du coke qui est fortement influencé par la production sidérurgique et dont la compétitivité dépend de sa productivité. L'importance de l'industrie de l'acier et la situation de son marché. Evolution de la mise au mille dans les hauts fourneaux (800 kg en 1960, 480 en 1976) et évolution probable. L'économie des cokeries : analyse des livraisons de coke de 1950 à 1976, problèmes de capacité et de production, évolution des chiffres d'affaires et des coûts. Importance des sous-produits de la cokéfaction, goudron et gaz. Problèmes posés par la protection de l'environnement et investissements. Situation de la recherche et évolution de la technologie de la cokéfaction. Perspectives d'amélioration des résultats.

## L. GAZEIFICATION

IND. **L 21** Fiche n. **67.037**

**X.** New coal gasifier to be tested. *Essais d'un nouveau gazogène de charbon.* — **Coal Age**, 1977, décembre, n° 12, p. 148/151.

En prévision d'un manque de gaz naturel, mise au point d'une installation pilote de gazéification du charbon — gazogène Foster Wheeler Stoic — en collaboration avec l'ERDA et l'Université de Minnesota. Ce gazogène à lit fixe, dont on donne le croquis, comporte 2 étages : la zone de distillation à l'étage supérieur et la zone de gazéification à l'étage inférieur. Le processus de base comporte la pyrolyse du charbon plus gazéification du carbone par réaction avec de la vapeur et du  $\text{CO}_2$ . Etude comparative des 3 variantes de fonctionnement et des 3 types de gaz obtenus. Suivant la variante, le pouvoir calorifique du gaz varie de 1480 à 1780 kcal/m<sup>3</sup>.

## M. COMBUSTION ET CHAUFFAGE

IND. **M 212** Fiche n. **67.086**

**H.D. SCHILLING.** Die Wirbelschichtfeuerung als neue Technologie zur Strom- und Wärmeerzeugung aus Kohle. *La combustion en lit fluidisé — nouvelle technologie pour la production d'électricité et de chaleur à partir du charbon.* — **Glückauf**, 1978, 2 février, n° 3, p. 142/147, 7 fig.

Pour la production de chaleur et d'électricité, la combustion en lit fluidisé ouvre de belles perspectives au charbon. Des installations pour brûler les résidus ont déjà été construites. La technique de chauffage a fait de grands progrès mais, dans l'état actuel de la technique, des travaux de recherche et de développement sont encore nécessaires. Quatre installations utilisant des techniques diverses et ayant des buts différents seront construites dans le voisinage des charbonnages en RFA. Ces installations seront financées par le Ministère de la Recherche et de la Technologie.

## O. VALORISATIONS DIVERSES ET INDUSTRIES CHIMIQUES DERIVEES DE L'INDUSTRIE CHARBONNIERE

IND. **O 12** Fiche n. **67.033**

**R. WILLIAMS.** Methanol may form new coal market. *Le méthanol, un nouveau marché pour le charbon.* — **Coal Age**, 1977, décembre, n° 12, p. 76/77, 1 fig., 1 tabl.

Comparaison du pouvoir calorifique du méthanol provenant de la conversion du charbon et du gaz naturel en  $\text{CH}_4$  : 1000 Btu/Cuf pour le  $\text{CH}_4$  et 485.000 Btu/Cuf pour le méthanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ). Le méthanol peut être converti en essence. Réactions pour la production de méthanol à partir du charbon. Avantages du méthanol qui contient 0 % de S pour la production d'électricité. Quelques renseignements sur les 3 types de gazogènes utilisés aujourd'hui aux USA. Diagramme montrant à partir de quel prix, à la t, la production de méthanol à partir du charbon est intéressante.

## Q. ETUDE D'ENSEMBLE

IND. **Q 6** Fiche n. **66.984**

**R. KIRCHMANN et G. CASALE.** Energie et environnement. — **Consensus**, 1977, septembre, p. 29/38, 4 tabl.

Le but de cet article est d'examiner, au niveau des écosystèmes aquatiques et terrestres, les répercus-

sions des pollutions aux divers stades de l'exploitation des sources d'énergie primaire et de leur utilisation par l'homme. Les contraintes sociales et sur l'environnement, bien plus que l'approvisionnement en combustibles, seront le facteur limitatif du taux d'utilisation de l'énergie par notre civilisation au cours des cent prochaines années. Les ressources énergétiques peuvent être divisées en matières premières non-renouvelables et renouvelables. En ce qui concerne l'appréciation des effets sur l'environnement, on considère les diverses étapes de cycle du combustible : production, transport, traitement et utilisation. A chacune des étapes, des nuisances de divers types sont souvent engendrées. Le débat nucléaire a amené les autorités responsables à comparer les effets sur la santé et l'environnement des nuisances associées aux sources d'énergie primaire disponibles ou à développer. Biblio. : 10 réf.

IND. Q 117

Fiche n. 67.077

**X.** Sasol II's giant mine gets into gear. *La mine géante de Sasol II démarre.* — **Coal, Gold and Base Minerals**, 1977, décembre, p. 17/21, 3 fig.

Monographie de la mine Sasol II, à 150 km au S-E de Johannesburg, qui exploite le gisement de charbon de Bosjesspruit. Ce gisement a 875 km<sup>2</sup> de superficie et une seule couche — la lower Seam 4 — dont l'ouverture varie de 1,50 m à 3,5 m et qui sera exploitée. Le charbon se trouve à une profondeur de 200 m à l'est et de 100 m à l'ouest ; il a comme caractéristiques : 21 % C, 5 % H<sub>2</sub>O, 1 % S, 24 % M.V. et 24 % M.J./kg de pouvoir calorifique. Un programme important de reconnaissance du gisement est en cours, notamment forage de longs sondages en couche, pour la reconnaissance du gisement fortement perturbé par des intrusions de dolérite. Le charbon sera exploité par chambres et piliers et longues tailles. Renseignements sur les convoyeurs à courroie, sur les puits ; les 2 puits inclinés d'extraction sont équipés de convoyeurs à bande de 2000 t/h qui amènent le charbon à une tour d'emmagasinage (de 12.000 t) en surface. Les puits de service, de 11 m de diamètre, sont équipés de cages pouvant transporter en une seule cordée 400 personnes. La production actuelle est de 20.000 t/semaine et pour 1981 elle s'élèvera à 12.10<sup>6</sup> t/an, soit 46.000 t/jour. Renseignements sur le personnel occupé. Le moins de 3 mm (27 % de la production) sera utilisé pour la production d'électricité à Sasol II et le 3/50 mm (73 % de la production) pour la gazéification.

IND. Q 130

Fiche n. 66.979

**G.N. BRODERICK.** Vanadium 1977. — **US Bureau of Mines. Department of the Interior. MCP 8**, 1977, décembre, 13 p., 1 fig., 10 tabl.

Ce rapport donne les toutes dernières données et informations sur le vanadium. On trouve rarement le vanadium dans des gisements qui pourraient être exploités uniquement pour ce métal. Habituellement le vanadium est un sous-produit d'un autre minerai comme l'uranium et le phosphore. Le vanadium est utilisé principalement en alliage avec l'acier ou comme catalyseur dans l'industrie chimique. Structure de l'industrie du vanadium. Réserves et ressources aux USA et dans le monde (par continent et par pays). Géologie du vanadium. Techniques de prospection et d'exploitation. Relations entre fourniture et demande de ce métal. Sources secondaires de production de vanadium. Facteurs économiques et problèmes. Toxicité du vanadium. Quelques renseignements sur l'unique exploitation et l'installation de traitement d'un minerai de vanadium exploité et valorisé pour lui-même, sans aucune valorisation d'un autre sous-produit. Biblio. : 9 réf.

IND. Q 130

Fiche n. 66.985

**H.J. SCHROEDER.** Copper 1977. *Cuivre 1977.* — **US Bureau of Mines. Department of the Interior. MCP 3**, 1977, juin, 19 p., 3 fig., 11 tabl.

Ce rapport de l'US Bureau of Mines donne les toutes dernières données et informations concernant l'industrie du cuivre. Plus de la moitié de la consommation du cuivre, aux USA, est absorbée par l'industrie électrique : moteurs, distribution d'électricité, communications... La production nationale de cuivre provient pour les 4/5 des exploitations à ciel ouvert et la plupart des minerais sont sulfureux. En 1976, la production mondiale de cuivre s'est élevée à 8,1.10<sup>6</sup> t. Structure de l'industrie du cuivre. Classification commerciale du cuivre et emplois du cuivre. Ressources et réserves mondiales de cuivre. Technique d'exploitation des gisements de cuivre. Fourniture, demande, considérations stratégiques, facteurs et problèmes économiques. Problèmes d'exploitation et émission de composés sulfurés. Perspectives jusqu'en l'an 2000. Biblio. : 24 réf.

IND. Q 130

Fiche n. 66.986

**J.D. CORRICK.** Nickel 1977. — **US Bureau of Mines. Department of the Interior. MCP 4**, 1977, juillet, 19 p., 3 fig., 9 tabl.

Le nickel a joué un rôle clef dans l'industrie aérospatiale et dans l'armement militaire ; il est de



plus utilisé dans des alliages avec d'autres métaux où il apporte une résistance plus élevée et améliore la résistance à la corrosion. Les réserves des USA en nickel sont petites, mais le pays possède de grandes ressources qui pourraient être exploitées si les problèmes techniques et d'environnement étaient résolus. En l'an 2000, les prévisions de consommation sont estimées entre 420 et 640.000 t pour les USA et entre 1,2 et 1,8 Mio.t pour le reste du monde. Les réserves mondiales de nickel seraient suffisantes pour rencontrer la demande maximum prévisible. Structure de l'industrie du nickel ; les principaux pays producteurs et la production de nickel en 1975, 1976 et celle prévue pour 1980. Les produits commerciaux du nickel pur (> de 99 % de Ni) et les alliages de nickel avec d'autres éléments. Les emplois du nickel et les industries utilisant ce métal. Les réserves et ressources mondiales connues. L'exploitation minière et le traitement du minerai. Recherches entreprises pour l'US Bureau of Mines. Rapports entre la demande et la fourniture. Considérations stratégiques. Problèmes et facteurs économiques. Perspectives concernant la demande en nickel aux USA et dans le reste du monde. Biblio. : 10 réf.

IND. Q 130

Fiche n. 66.987

**R.A. CLIFTON.** Asbestos 1977. *Amiante 1977.* — **US Bureau of Mines. Department of the Interior. MCP 6,** 1977, septembre, 17 p., 6 fig., 11 tabl.

Ce rapport de l'US Bureau of Mines donne les toutes dernières données et informations concernant l'industrie de l'amiante. L'industrie de la construction est le plus grand consommateur d'amiante, sous forme de fibres. Le Canada fournit les 95 % de la consommation d'amiante des USA. Si le taux de croissance de consommation d'amiante dans les pays développés continue à monter, il pourrait y avoir pénurie vers l'an 2000, si le taux de découverte de nouveaux gisements n'augmente pas. Structure de cette industrie. Répartition géographique des producteurs d'amiante. Les emplois de l'amiante. Réserves et ressources dans le monde. Prospection, développement, exploitation, traitement des minerais pour la séparation des fibres de la roche. Production et consommation des USA et mondiales. Commerce mondial. Recyclage. Problèmes économiques : prix et coûts, taxes, transport, besoins en énergie. Problèmes de pollution de l'air. Perspectives : demande et fourniture. Biblio. : 20 réf.

IND. Q 130

Fiche n. 66.988

**J.P. RYAN et J.M. HAGUE.** Lead 1977. *Plomb 1977.* — **US Bureau of Mines. Department of the Interior. MCP 9,** 1977, décembre, 23 p., 10 tabl., 5 fig.

Ce rapport de l'US Bureau of Mines donne les toutes dernières données et informations concernant l'industrie du plomb. Le plomb est un des métaux les plus utiles et les plus essentiels employés par l'homme. Dans les métaux non-ferreux, il occupe la 4ème place après l'aluminium, le cuivre et le zinc. Usages du plomb et changements intervenus au cours des dernières années. Les USA possèdent les plus grandes réserves de plomb ; l'URSS, l'Australie, le Canada, le Mexique et le Pérou sont les pays producteurs les plus importants. Le plomb est associé avec d'autres métaux dont les valeurs lors du traitement le dépassent souvent. Historique de l'industrie du plomb et organisation. Caractéristiques et emplois du plomb. Les réserves mondiales de plomb (aux USA et dans le monde). Géologie, prospection, exploitation et traitement des minerais de plomb. Relations entre approvisionnement et fourniture. Facteurs et problèmes économiques. Considérations sur l'environnement et problèmes en découlant. Perspectives et prévisions de consommation jusqu'en l'an 2000. Biblio. : 26 réf.

IND. Q 130

Fiche n. 67.052

**M.C. MANDERSON.** World phosphate rock outlook through the late 1970's. *Perspectives mondiales du minerai de phosphate jusqu'à la fin de l'actuelle décennie.* — **Mining Engineering,** 1978, janvier, n° 1, p. 48/52, 6 fig., 5 tabl.

La forte chute dans la demande en phosphate, suite à la forte hausse des prix en 1975, est arrêtée et, au contraire, la demande tend à remonter. Les prix qui avaient alors fortement baissé suite à la faiblesse de la demande semblent également remonter. Cette faiblesse récente des prix avait retardé l'ouverture des nouvelles mines prévues pour 1980. La capacité d'approvisionnement pour fin de cette décennie et le début 1980 est suffisante et les demandes et fournitures semblent s'équilibrer. Pour le plus long terme, les réserves abondantes permettront d'assurer l'approvisionnement en phosphate.

IND. Q 132

Fiche n. 66.971

**P. McARDLE.** L'exploitation des mines en Irlande. — **Industrie Minérale,** 1978, février, n° 2, p. 61/69, 3 fig., 1 tabl.

Après un bref rappel historique de l'industrie minière en Irlande, examen du cadre géologique et de la géologie du pays. Aperçu sur la production minière ; le principal minerai exporté est le zinc. Etat actuel des réserves des métaux — Zn, Pb, Cu — en Irlande. Examen de la prospection dans ce pays où les méthodes modernes ont prouvé leur utilité ; l'intro-

duction en Irlande des techniques géochimiques d'échantillonnage du sol a été le principal facteur technique à l'origine de la découverte des gisements métalliques de zinc, plomb et cuivre. Problèmes posés à la prospection suite à l'épais recouvrement, par des dépôts glaciaires et des tourbières, de grandes régions de l'île — y compris les formations favorables du Carbonifère inférieur. Description des gisements de zinc-plomb de Navan, Silvermines et Tynagh ; de gisement de cuivre de Gortdrum et de Avoca. Il y a de bonnes probabilités de découvrir d'autres gisements métalliques en Irlande.

IND. Q 1100

Fiche n. 67.081

**W. SCHMIDT-KOHL.** Die wirtschaftliche Nutzung unserer Lagerstätten. Zielvorstellung und Aufgabe für die Entwicklung fortschrittlicher Abbautechniken. *L'exploitation économique de nos gisements. Objectif et tâche pour le développement des techniques d'exploitation avancées.* — **Glückauf**, 1978, 2 février, n° 3, p. 108/114, 8 fig.

Après quelques considérations sur l'importance du charbon comme matière première nationale et comme porteur d'énergie, on examine les techniques actuelles dans l'exploitation des gisements et les progrès réalisés dans la mécanisation de l'abattage, du transport et dans le soutènement des tailles. Comme exemple, on analyse l'évolution des techniques d'exploitation en Sarre. Examen des perfectionnements des techniques de taille : augmentation du taux d'utilisation des machines de taille, amélioration de l'infrastructure, perfectionnement des machines de taille, amélioration des techniques de jonction taille-voie et de la traversée des dérangements. Développements pour les gisements fortement pentés et dérangés.

IND. Q 1101

Fiche n. 67.053

**H.P. KNUDSEN, Y.C. KIM et Coll.** Comparative study of the geostatistical ore reserve estimation method over the conventional methods. *Etude comparative de la méthode d'estimation géostatistique des réserves de minerais par rapport aux méthodes classiques.* — **Mining Engineering**, 1978, janvier, n° 1, p. 54/58, 5 fig.

On compare les résultats de la méthode géostatistique à 3 méthodes classiques : la méthode polygonale, la méthode IDS (inverse des carrés des distances) et la méthode ELIP semblable à la précédente. Brève description de ces méthodes d'évaluation appliquées à la mine Pima. Résultats obtenus, utilisation de la calculatrice. Les résultats montrent que la méthode polygonale est nettement inférieure ; la

géostatistique et les méthodes IDS et ELIP sont équivalentes, mais les deux dernières sont moins coûteuses. D'un autre côté, la méthode géostatistique permet de faire ressortir les zones nécessitant des sondages de prospection supplémentaire dans le but d'obtenir des limites de confiance certaines pour l'estimation des réserves. Biblio. : 7 réf.

IND. Q 1110

Fiche n. 66.995

**X.** Statistiques de base de l'industrie charbonnière 1977. *Basisstatistieke over de kolennijverheid. 1977.* Textes français et néerlandais. — **Comptoir Belge des Charbons**, 12 p., 22 tabl.

La production charbonnière belge s'est élevée en 1977 à 7.068.000 t, en diminution de 170.000 t ou 2,3 % comparée à celle de 1976. Augmentation de 160.000 t en Campine et réduction de 330.000 t dans les bassins du Sud où 2 sièges d'extraction ont été arrêtés au cours de l'année. Au 31 décembre 1977, on comptait 17.681 ouvriers du fond contre 19.154 au 31 décembre 1976. Les rendements fond restent en baisse dans le Sud et augmentent de 7,6 % en Campine. Les stocks aux mines sont en diminution de 400.000 t et atteignent 721.000 t dont 658.000 t en Campine. Ecoulement des charbons belges ; cet écoulement n'a augmenté qu'à destination des centrales électriques (+ 52,0 %). Importations 6.592.000 t, soit 10,5 % de moins qu'en 1976. Consommation apparente. Bilan charbonnier comparé 1976 et 1977. Production de houille. Evolution de la production de houille par bassins. Nombre de sièges d'extraction en activité. Production de houille par sortes. Fermeture de capacité de production. Main-d'œuvre et rendements. Production d'agglomérés de houille. Production et écoulement d'agglomérés. Stocks aux mines en fin d'année par bassins, par catégories, par sortes. Consommation apparente de houille et d'agglomérés de houille. Exportation et importation de 1973 à 1977 et par pays de provenance. Livraisons de charbons belges et importés sur le marché intérieur.

IND. Q 1162

Fiche n. 67.032

**D. JACKSON.** SUFCO miner output exceeds 25 tpd. *La production d'un mineur de SUFCO dépasse 25 t/jour.* — **Coal Age**, 1977, décembre, n° 12, p. 68/72, 4 fig.

Monographie de la mine n° 1 de SUFCO (Utah) dont la production annuelle s'élève à 1,5 Mio.t et qui exploite un charbon à faible teneur en soufre (0,6 %). Historique de la mine ouverte en 1941. La mine est divisée en 2 quartiers : dans le 1<sup>er</sup>, les piliers sont abandonnés pour éviter des affaissements en surface.

protection du canyon ; dans le 2ème, les piliers sont récupérés (80 à 85 %). L'épaisseur moyenne de la couche est de 4,5 m, mais on ne prend que 3,6 m ; une partie du charbon du toit est abandonnée. Description de la méthode d'exploitation par chambres et piliers et de la reprise des piliers, du creusement des chambres (4,5 m à 6,4 m de largeur) par mineur continu, du chargement et transport par des unités LHD Diesel. En surface, le charbon est uniquement concassé. Le rendement de la mine, non compris les 2 employés, est de 25 t/homme/poste de 8 h.

## R. RECHERCHES — DOCUMENTATION

IND. R 111

Fiche n. 67.065

**A. BIRON.** Le rôle de l'Office de Promotion Industrielle au travers de ses initiatives récentes et innovations industrielles. — **Bulletin du Grand Liège**, 1978, janvier-février, n° 88, p. 3/15.

Créé par la loi de cadre du 15 juillet 1970, l'Office de Promotion Industrielle (O.P.I.) a été appelé à être un des bureaux d'études, un des instruments de développement des pouvoirs publics, contribuant à la définition et à la mise en œuvre d'une « politique industrielle », en stimulant l'expansion économique et, présentement, le renouveau industriel. Dans une première partie, on expose la problématique de la politique industrielle et le rôle que peut assumer

l'O.P.I. dans l'accomplissement de ses missions et ses 2 objectifs essentiels, à savoir : 1) le développement d'innovations à partir des résultats de la recherche scientifique nationale ; 2) le développement de production industrielle à partir d'idées novatrices, des études de marché et de structures technologiques. On démontre ensuite en partant de projets concrets que ces 2 objectifs occupent une place centrale dans les actions de l'O.P.I. Programme de redéploiement industriel. Quelques renseignements sur le projet de Bernalmont — réalisation industrielle d'un quartier modèle de plus de 2700 logements.

## Y. CONSTITUTION, PROPRIETES ET ANALYSE DES COMBUSTIBLES SOLIDES FOSSILES

IND. Y 42

Fiche n. 67.038

**T.K. SUBRAMANIAN.** How to calculate Btu values of coal. *Comment calculer le pouvoir calorifique du charbon.* — **Coal Age**, 1977, décembre, n° 12, p. 153 et 158, 4 fig.

Présentation d'une nouvelle formule pour le calcul du pouvoir calorifique du charbon. Elle est basée sur la relation existant entre le pouvoir calorifique et la quantité d'air théorique nécessaire pour obtenir une combustion complète. Abaque, basée sur cette formule, permettant la détermination rapide du pouvoir calorifique.

## Communiqués

*Contributions de l'industrie mécanique belge en matière d'économie d'énergie, Mons, 25 octobre 1978*

La 2<sup>e</sup> Journée d'Etude 1978 sur les « Contributions de l'industrie mécanique belge en matière d'économie d'énergie » est organisée par la Société Belge des Mécaniciens en collaboration avec la Faculté Polytechnique de Mons (F.P.Ms) et, dans le cadre de son 125<sup>e</sup> anniversaire, avec l'Association des Ingénieurs de la Faculté Polytechnique de Mons (A.I.Ms).

Cette journée sera honorée de la présence de Monsieur le Ministre Willy Claes.

Elle aura lieu le mercredi 25 octobre 1978 à la F.P.Ms., salle académique, bld Dolez, 31, Mons.

Le programme et les conditions d'inscription peuvent être obtenus en téléphonant au secrétariat de la SBM, rue des Drapiers 21 - 1050 Bruxelles (02) 511 23 70.

*Bijdrage van de Belgische mechanische industrie inzake energiebesparing, Mons, 25 oktober 1978*

De 2e Studiedag 1978 over de « Bijdrage van de Belgische mechanische industrie inzake energiebesparing » werd georganiseerd door de Belgische Vereniging van Werktuigkundigen met de medewerking van de « Faculté Polytechnique de Mons » (F.P.Ms) en, in het raam van haar 125ste verjaardag, met deze van de « Association des Ingénieurs de la Faculté Polytechnique de Mons (A.I.Ms) ».

Deze studiedag zal vereerd worden met de aanwezigheid van de Heer Minister Willy Claes.

Hij zal plaats hebben op woensdag 25 oktober 1978 in de Academieraadzaal van de F.P.Ms, bld Dolez, 31, Mons.

Het programma en de inschrijvingsvoorwaarden kunnen op telefonisch verzoek verkregen worden bij het Secretariaat van de B.V.W. Lakenweversstraat 21 - 1050 Brussel (02) 511 23 70.

*Utilisation des semi-conducteurs de puissance en électrotechnique, Liège, novembre 1978*

L'Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut Electrotechnique Montefiore (A.I.M.) organise des Journées Internationales d'Etude sur l'utilisation des semi-conducteurs de puissance en électrotechnique, au Palais des Congrès de la Ville de Liège, les 13 et 14 novembre 1978.

Les langues véhiculaires sont le français et l'anglais et la traduction simultanée sera organisée dans ces deux langues.

Les communications seront groupées sous les rubriques ci-après :

- Montages à redresseurs. Variateur de vitesse à courant continu.
- Entraînement à vitesse variable en courant alternatif.
- Onduleurs à basse et moyenne fréquence. Perturbations dans les réseaux.
- Gradateurs. Transistors de puissance.

Les renseignements complémentaires et le programme peuvent être obtenus auprès de : Monsieur Lucien Craisse, Secrétaire Administratif de l'A.I.M., rue Saint-Gilles, 31, B-4000 Liège. Tél. (041) 32 29 46.

*La sécurité des ouvrages souterrains en construction et en service, Bruxelles, mai 1980*

L'Association Belge des Techniques et de l'Urbanisme Souterrains organise, du 19 au 23 mai 1980, un symposium international sur la sécurité des ouvrages souterrains en construction et en service.

Ce symposium sera ouvert aux spécialistes du monde entier intéressés par la sécurité des ouvrages souterrains, tant au niveau du projet qu'au niveau de l'exécution et pendant l'utilisation.

Les renseignements complémentaires peuvent être obtenus auprès de : Centre International de Conférences de Bruxelles - Parc des Expositions - B-1020 Bruxelles. Tél. (02) 478 48 60 - Télex : 23643 - Télégr. : Foirinter Bruxelles.

*2èmes Assises Internationales de l'Environnement, décembre 1978, Palais des Congrès, Paris, France*

Les 2èmes Assises Internationales de l'Environnement se dérouleront, du lundi 4 au vendredi 8 décembre 1978, au Palais des Congrès (Centre International de Paris C.I.P. - Porte Maillot).

Elles sont organisées par le Département congrès de la S.E.P.I.C., 40, rue du Colisée, à Paris.

La traduction simultanée se fera en trois langues, allemand, anglais et français.

Les principaux sujets traités sont les suivants :

- Nuisances et conditions de travail.
- Epuration physico-chimique des eaux usées domestiques.
- Prévention de la pollution atmosphérique.
- Environnement - Technologie - Innovation.
- Traitement collectif des déchets industriels.
- Bruits dans la vie.
- Tri et valorisation des déchets.
- Produits chimiques et environnement.
- Etudes d'impact sur l'environnement.
- Conséquences socio-économiques de la lutte anti-pollution.
- Lutte anti-pollution marine.

Pour renseignements complémentaires et inscription, prière de s'adresser à : SEPIC - Assises Internationales de l'Environnement, 40, rue du Colisée, F-75381 Paris Cedex 08.

*ILAFA-COAL 79, Bogota, Colombie, avril 1979*

L'« Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero » (ILAFA) organise un congrès sur le charbon et l'industrie métallurgique et sidérurgique, à Bogota, du 22 au 26 avril 1979.

Les principaux sujets traités sont les suivants :

- Situation actuelle et perspectives de l'industrie charbonnière.
- Fabrication du coke.
- Approvisionnement et marché.
- Contrats à long terme, leurs caractéristiques et leur importance dans l'approvisionnement du charbon à coke.

Le Congrès sera suivi d'une Table Ronde.

Les langues du Congrès sont l'anglais, l'espagnol et le portugais. La traduction simultanée sera assurée dans ces trois langues.

Les renseignements complémentaires peuvent être obtenus auprès de : ILAFA, P.O. Box 16065, Santiago 9, Chili.

*Second International Mine Ventilation Congress, Reno, Nevada, novembre 1979*

La Première Conférence Internationale sur la Ventilation des Mines a eu lieu en septembre 1975 à Jo-

hannesburg, Afrique du Sud, à l'Université du Witwatersrand; elle était organisée par la Mine Ventilation Society of South Africa. Plus de 60 communications ont été présentées devant 555 participants.

Un comité international a été formé lors de cette manifestation et il fut décidé qu'une conférence similaire serait organisée tous les quatre ans.

La Deuxième Conférence est organisée par la Mackay School of Mines de l'Université du Nevada, sous le patronage de la Mine Safety & Health Administration, U.S. Department of Labor. Elle traitera de la situation actuelle de la ventilation des mines et ce, dans les mines de charbon, métalliques et non-métalliques. Les principaux sujets sont les suivants :

- Planning et design de la ventilation.
- Emission et contrôle du gaz.
- Lutte contre les poussières.
- Installations de ventilation.
- Feux de mine.
- Equipement, surveillance et contrôle.
- Aspects de la ventilation.
- Etudes de cas.
- Sujets particuliers.
- Recherches et développement.

La Conférence se tiendra au MGM Grand Hotel, à Reno, Nevada, endroit géographiquement bien situé et à proximité d'exploitations minières importantes. La langue véhiculaire sera l'anglais.

Pour tous renseignements complémentaires, prière de s'adresser à : Jan Dunbar, Program Coordinator for Mackay School of Mines, Conferences and Institutes/EPCE, University of Nevada, Nevada, Reno, NV 89557, U.S.A.

*IX<sup>e</sup> Congrès mondial de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, Amsterdam, mai 1980*

Le IX<sup>e</sup> Congrès mondial de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles se tiendra à Amsterdam (Pays-Bas) du 6 au 9 mai 1980.

Le Congrès est organisé par l'Institut de sécurité (Veiligheidsinstituut) des Pays-Bas avec la coopération des autorités et des services intéressés des pays du Benelux et en collaboration avec l'Association internationale de la sécurité sociale (AISS) et le Bureau international du Travail (BIT), qui ont leur siège à Genève.

Le thème central du Congrès est le suivant :

- « Evolution récente de la prévention des risques professionnels dans l'entreprise » —

Une exposition internationale d'équipement, de dispositifs, vêtements et autres moyens modernes de sécurité du travail sera organisé dans le cadre du Congrès, ainsi que d'autres activités se rapportant à la

prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

Les Congrès précédents se sont tenus en 1955 à Rome, en 1958 à Bruxelles, en 1961 à Paris, en 1964 à Londres, en 1967 à Zagreb, en 1971 à Vienne, en 1974 à Dublin et en 1977 à Bucarest.

Des renseignements supplémentaires peuvent être obtenus auprès du : Comité d'Organisation Benelux, IX<sup>e</sup> Congrès mondial de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, Veiligheidsinstituut, Postbox 5665, 1007 AR Amsterdam (Pays-Bas) (Téléphone : (020) 73 64 14).

*The Association of Mining Electrical and Mechanical Engineers, Conférences*

Les exposés ci-après seront présentés au National Coal Board, Hobart House, Room 16, Grosvenor Place, London SW1, excepté celui du 20 novembre qui aura lieu à la Royal School of Mines, Prince Consort Road, London SW7.

20 novembre 1978 : « Tin Mining in Cornwall » par H. Stapleton, Chief Engineer, Messrs. South Crofty Ltd.

4 décembre 1978 : « Diesel Engine Design » par R.W. Wheeler, Messrs. Ricardo Ltd.

8 janvier 1979 : « Remote Control using Computers » by V. Thomas, Deputy Director, Electrical Engineering, M.R.D.E., National Coal Board.

« *Prepex 79* »

Vu la forte demande de la part des exposants, l'Association of Mining Electrical and Mechanical Engineers, organisateur de « *Prepex 79* » (Coal Preparation Plant Exhibition), a avancé de quinze jours cette manifestation.

Celle-ci aura lieu du 5 au 9 février 1979 inclus, ce qui signifie que tout l'espace disponible pour l'exposition à l'Harrogate Exhibition Complex est réservé, y compris le Royal Hall voisin où se tiendra le Symposium « *Preparing Coal for the Market* »

---

# ANNALES DES MINES DE BELGIQUE

ORGANE OFFICIEL

de l'Institut National des Industries Extractives et de l'Administration des Mines

Editeur : EDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES  
rue Borrens 35-43 - 1050 Bruxelles - Tél. (02) 640 10 40

## NOTICE

Les « Annales des Mines de Belgique » paraissent mensuellement. En 1977, 1212 pages de texte, ainsi que de nombreuses planches hors texte, ont été publiées.

L'Institut National des Industries Extractives assume la direction et la rédaction de la revue. Celle-ci constitue un véritable instrument de travail pour une partie importante de l'industrie nationale en diffusant et en rendant assimilable une abondante documentation :

- 1) Des statistiques très récentes, relatives à la Belgique et aux pays voisins.
- 2) Des mémoires originaux consacrés à tous les problèmes des industries extractives, charbonnières, métallurgiques, chimiques et autres, dans leurs multiples aspects techniques, économiques, sociaux, statistiques, financiers.
- 3) Des rapports réguliers, et en principe annuels, établis par des personnalités compétentes, et relatifs à certaines grandes questions telle que la technique minière en général, la sécurité minière, l'hygiène des mines, l'évolution de la législation sociale, la statistique des mines, des carrières, de la métallurgie, des cokeries, des fabriques d'agglomérés pour la Belgique et les pays voisins, la situation de l'industrie minière dans le monde, etc...
- 4) Des traductions, résumés ou analyses d'articles tirés de revues étrangères.
- 5) Un index bibliographique résultant du dépouillement par INIEX de toutes les publications paraissant dans le monde et relatives à l'objet des Annales des Mines.

Chaque article est accompagné d'un bref résumé en français, néerlandais, allemand et anglais.

...

**N.B. — Pour s'abonner, il suffit de virer la somme de 2.014 F (TVA incluse) (2.145 FB pour l'étranger) au compte de chèques postaux n° 000-0104829-69 des Editions Techniques et Scientifiques, rue Borrens 35-43 - 1050 Bruxelles.**

*Tous les abonnements partent du 1<sup>er</sup> janvier.*

*Tarifs de publicité et numéro spécimen gratuit sur demande.*

# ANNALEN DER MIJNEN VAN BELGIE

OFFICIEEL ORGAAN

van het Nationaal Instituut voor de Extractiebedrijven en van de Administratie der Mijnen

Uitgever : EDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES  
Borrensstraat, 35-43 - 1050 Brussel - Tel. (02) 640 10 40

## BERICHT

De Annalen der Mijnen van België verschijnen maandelijks. In 1977 werden 1212 bladzijden tekst alsmede talrijke tabellen buiten tekst gepubliceerd.

Het Nationaal Instituut voor de Extractiebedrijven neemt de taak van het bestuur en de redactie van het tijdschrift op zich. Dit laatste vormt een wezenlijk arbeidsinstrument voor een groot aantal nationale bedrijven dank zij het verspreiden en het algemeen bruikbaar maken van een zeer rijke documentatie :

- 1) Zeer recente statistieken betreffende België en de aangrenzende landen.
- 2) Originele memories, gewijd aan al de problemen van de extractieve nijverheden, de kolen- en ijzer- en staalnijverheid, de chemische nijverheid en andere, onder haar veelvoudige technische, economische, sociale, statistische en financiële aspecten.
- 3) Regelmatige verslagen — principieel jaarlijkse — opgesteld door bevoegde personaliteiten, betreffende bepaalde grote problemen zoals de mijnstechniek in 't algemeen, de veiligheid in de mijnen, de mijnhygiëne, de evolutie van de sociale wetgeving, de statistiek van de mijnen, van de groeven, van de ijzer- en staalnijverheid, van de agglomeratenfabrieken voor België en aangrenzende landen, de toestand van de steenkolenijverheid over de gehele wereld enz.
- 4) Vertalingen, samenvattingen of ontledingen van aan buitenlandse tijdschriften ontleende artikelen.
- 5) Een bibliografische inhoudsopgave, opgesteld na grondig onderzoek van alle publicaties ter wereld die betrekking hebben op de door de Annalen der Mijnen behandelde onderwerpen.

Elk artikel wordt voorafgegaan van een beknopte samenvatting in 't Frans, in 't Nederlands, in 't Duits en in 't Engels.

...

**N.B. — Men abonneert zich door de som van 2.014 F (BTW inbegrepen) (2.145 BF voor het buitenland) over te schrijven op de postrekening n° 000-0104829-69 van « Editions Techniques et Scientifiques », Borrensstraat 35-43 te 1050 Brussel.**

*Alle abonnementen nemen aanvang van 1 januari af.*

*Men bekomt, kosteloos en op aanvraag, de publiciteitstarieven alsmede een proefaflevering.*