

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA  
COMISARIA DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

00768

CREACION DE UN SISTEMA DE SOPORTE PARA RECOGIDA  
Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACION GEOLOGICA-MINE-  
RA

## 1. OBJETIVOS Y METODOLOGIA

El objetivo de este proyecto consiste en proporcionar al IGME conocimiento puntual y completo de cuanta información técnica de interés se genere en el ámbito mundial y especialmente en España. A tal fin se ha procedido de la siguiente manera:

- 1) Selección de las fuentes de información, fundamentalmente - las constituidas por:
  - Las Revistas técnicas más prestigiosas españolas y extrangeras.
  - Congresos, Conferencias, cursos monográficos.
- 2) Selección de contenidos, tarea necesaria, dado el considerable volumen de información que se produce.
- 3) Traducción de los trabajos publicados en inglés, francés, - italiano y alemán, principalmente.
- 4) Puesta en limpio y mecanografiado.

- 5) Difusión a los departamentos interesados.
- 6) Constitución de los fondos y archivo de los mismos, previa clasificación.

Las publicaciones y revistas de las que se ha obtenido información regular han sido las siguientes:

ADOBE  
ANNALS DES PONTS ET CHAUSSES  
APEDRA  
ARTE Y CEMENTO  
BOLETIN IGME  
BOLETIN INFORMATIVO DEL MEDIO AMBIENTE  
BOLETIN DE LA SOCIEDAD VENEZOLANA DEL SUELO E INGENIERIA DE FUNDACIONES  
BOLLETTINO DELLA ASSOCIAZIONE MINERARIA SUBALPINA  
BORSA MARMI  
CERAMICA Y VIDRIO  
CIENCIA Y TECNICA  
CENIN  
CHIP  
ECONOMIA INDUSTRIAL  
ENERGIAS ALTERNATIVAS  
ENGINEERING BULLETIN (DAMES AND MOORE)  
EQUIMASA  
GABITECO  
GEO-DATUM  
GEOLOGIE DES GITES MINERAUX  
GEOMIMET  
GEOTECNIA  
GEOTHERMAL ENERGIE  
GEOTHERMICS  
GROUND ENGINEERING  
HIDROGEOLOGIE ET GEOLOGIE DE L'INTERIEUR  
IBERIA ACTUALIDAD CIENTIFICA  
INDUSTRIA MINERA

INDUSTRIAL MINERALS  
INFORMACION COMERCIAL ESPAÑOLA  
INFORMACION COMERCIAL ESPAÑOLA (RESUMEN ECONOMICO)  
INGEMMET. REVISTA PERUANA DE MINERIA  
INTERNATIONAL JOURNAL OF ROCKS  
FUNDAMENTOS (DAMES AND MOORE)  
JOURNAL OF RESEARCH OF THE U.S. GEOLOGICAL SURVEY  
LATINO AMERICA NOTICIAS  
MARMI, GRANITI, PIETRE  
MECHANICS AND MINING SCIENCES  
MINER PRESS  
MINING EQUIPMENT  
MINING ENGINEERING  
MINING JOURNAL  
MINING MAGAZINE  
PANORAMICA DE LA CONSTRUCCION  
POTENCIA  
REVISTA O. PUBLICAS  
REVUE FRANCAISE DE GEOTECNICHE  
ROCAS Y MINERALES  
ROCK MECHANIQUE  
STUDIA GEOLOGICA  
TECNICA TOPOGRAFICA  
TECNOLOGIA DEL AGUA  
UNDERGROUND SPACE  
WORLD COAL  
WORLD MINING  
WORLD WATER  
BULLETIN DE LIAISON DEL LABORATOIRES DES PONTS ET CHAUEEES  
BULLETIN DE LA IAEG  
REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE SUELOS Y CIMENTACION

Los congresos, cursos y conferencias a las que se ha -- asistido han sido:

CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE HIDROLOGIA

1-9 marzo, 1982 (Francia)

SIMPOSIO SOBRE EL AGUA Y LOS RESIDUOS INDUSTRIALES EN ASIA

4-5 febrero 1982 (Guindy (India)

SEMINARIO SOBRE ORGANIZACION DEL MEDIO AMBIENTE

1-5 y 8-12 febrero 1982 (Ginebra (Suiza)

I CURSO DE PREVISION TECNOLOGICA Y TOMA DE DECISIONES

8-12 febrero 1982 Madrid (España)

12 CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE LA CIENCIA DEL SUELO

8-16 febrero 1982. Nueva Delhi (India)

CURSO SOBRE PILOTAJES

9-11 febrero 1982 Valencia (España)

2<sup>a</sup> CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE INYECCIONES

10-12 febrero 1982. Nueva Orleans (EEUU)

IV CONCURSO SOBRE CARGA Y TRANSPORTE EN LA MINERIA A CIELO ABIERTO

15-19 febrero 1982 Madrid (España)

CONFERENCIA SOBRE TESTIFICACION EN CARBON

16-17 febrero 1982. Lexington, Kentucky (EEUU)

SEMINARIO SOBRE RECURSOS MINERALES MARINOS

22-26 febrero 1982 Londres (Reino Unido)

VII CURSO DE GEOLOGIA APLICADA A LAS OBRAS PUBLICAS

febrero-mayo 1982 Madrid (España)

13 CURSO INTERNACIONAL DE GEOTERMIA

febrero-diciembre 1982 Pisa (Italia)

II CURSO SOBRE CONTAMINACION DE AGUAS

1-5 marzo 1982 Madrid (España)

SIMPOSIO SOBRE GEOTECNIA Y GEOHIDROLOGIA APLICADAS EN MINERIA

1-5 marzo 1982. Colorado (EEUU)

CONFERENCIA INTERNACIONAL OCEANOLOGIA 82

2-5 marzo 1982 Brighton. (UK)

SIMPOSIO SOBRE TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS RADIACTIVOS  
8-11 marzo 1982 Tucson (Arizona)

II CURSO SOBRE SEDIMENTOLOGIA DE MATERIAL DETRITICO  
11-18 marzo 1982 Tremp y Jaca

CURSO SOBRE TECNICAS USADAS EN LA TOMA DE DATOS GEOLOGICOS  
16-19 marzo 1982 Londres (UK)

CURSO SOBRE INTRODUCCION A LA GEOESTADISTICA  
19-30 abril 1982 y 20 septiembre-1 octubre 1982 Leeds. Inglaterra.

CURSO SOBRE MATERIAS PRIMAS PARA CERAMICA Y VIDRIO  
22 marzo-2 abril 1982. Madrid (España)

CURSO SOBRE EXPLORACION GEOLOGICA EN PETROLEOS  
22-26 marzo 1982. Londres (UK)

4°SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE AERODINAMICA Y VENTILACION DE TUNELES  
23-15 marzo 1982. York (Inglaterra)

IV CURSO DE MECANICA DE ROCAS APLICADA A LA MINERIA Y OBRAS SUBTERRANEAS  
23-26 marzo 1982. Oviedo (España)

SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE APLICACIONES INDUSTRIALES DE LAS BOMBAS DE CALOR  
24-26 marzo 1982 Coventry (UK)

CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE ENERGIA GEOTERMICA  
11-14 mayo 1982. Florencia (Italia)

SEMINARIO HISPANO-FRANCES "CORR 82"  
17-21 mayo 1982. Madrid (España)

CONFERENCIA SOBRE CARBON: NUEVO MERCADO DE TECNOLOGIAS  
18 mayo 1982. Londres

SIMPOSIO EUROPEO SOBRE ENSAYOS DE PENETRACION  
24-28 mayo 1982. Amsterdam. Holanda

SIMPOSIO MUNDIAL SOBRE EL ASBESTO  
25-27 mayo 1982. Montreal. (Canadá)

11 CONGRESO MUNDIAL DE MINERIA  
31 mayo-3 junio 1982. Belgrado (Yugoslavia)

4<sup>ta</sup> CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE METODOS NUMERICOS EN GEOMECANICA  
31 mayo-4 junio 1982. Edmonton, Alb. (Canadá)

I CURSO PRACTICO DE APLICACIONES DEL ORDENADOR A LA MINERIA  
A CIELO ABIERTO  
1-3 junio 1982, Madrid(España)  
1<sup>er</sup> CONGRESO IBEROAMERICANO DE CERAMICA, VIDRIO Y REFRACTARIOS  
7-11 junio, 1982, Torremolinos(Málaga) España  
SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE BAUXITAS  
22-26 junio 1982 Kington, Jamaica  
3<sup>er</sup> CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE TERRENOS PERMANENTEMENTE HELA  
DOS  
22-24 junio 1982 Hanover NA. EEUU  
SIMPOSIO SOBRE FRACTURACION DE ROCAS  
5-9 junio 1982 Udine (Italia)  
2°SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE ROCAS DE LATERIZACION  
4-12 julio 1982 Sao Paulo (Brasil)  
CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE DINAMICA DE SUELOS E INGENIERIA  
DE TERREMOTOS  
13-15 julio 1982 Southampton. (Inglaterra)  
IX SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE HIDROLOGIA URBANA, HIDRAULICA  
Y CONTROL DE SEDIMENTOS  
27-30 julio 1982 Lexington, EEUU  
4°SIMPOSIO SOBRE EL CAMPO GEOTERMICO DE CERRO PRIETO, MEXICO  
10-12 agosto 1982 Cerro Prieto (México)  
SIMPOSIO SOBRE CONVERSION DEL CARBON EN SUBTERRANEO  
15-19 agosto 1982 Keystone. USA  
1<sup>er</sup> CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE ESTABILIDAD EN MINERIA SUB  
TERRANEA  
16-18 agosto 1982. Vancouver. Canadá.  
5°SIMPOSIO SOBRE PROSPECCION EN TERRENOS CUBIERTOS PERMANENTE-  
MENTE DE GLACIARES  
23-27 agosto 1982 Newfoundland. Canadá  
SIMPOSIO SOBRE MECANICA DE ROCAS  
25-27 agosto 1982 California (USA)  
CONFERENCIA SOBRE RECURSOS MINERALES Y ENERGETICOS EN EL PACI  
FICO  
22-28 agosto 1982. Honolulu. Hawaii  
REUNION MONOGRAFICA SOBRE EL KARST LARRA  
octubre 1982. Isaba .Navarra

I CONGRESO NACIONAL SOBRE RECUPERACION DE RECURSOS DE LOS RESIDUOS  
5-9 octubre 1982. Soria  
COLOQUIO SOBRE GEOMECANICA  
7-8 octubre 1982. Salzburg. Austria  
FERIA SOBRE EQUIPOS PARA MINERIA  
11-14 octubre 1982. Las Vegas. EEUU  
CURSO SOBRE TECNOLOGIA DEL CARBON  
12-14 octubre 1982. Amsterdam. Holanda.  
PRIMER SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE LA ENERGIA EN LA MINERIA  
16-19 octubre 1982. San Francisco USA  
V CONGRESO LATINOAMERICANO DE GEOLOGIA  
17-22 octubre 1982. Buenos Aires (Argentina)  
CURSO SOBRE TUNELES EN ROCA  
20-22 octubre 1982 University Park. USA  
CONFERENCIA SOBRE MODERNAS APROXIMACIONES AL ORDENAMIENTO DE  
LOS RECURSOS HIDRICOS SUBTERRANEOS  
25-27 octubre 1982. Capri. Italia  
SEMINARIO SOBRE TRATAMIENTO Y RECICLADO DE AGUAS RESIDUALES DE  
BAJOS COSTOS ECONOMICOS Y ENERGETICOS  
25-29 octubre 1982. Madrid.  
EXPERIENCIAS SOBRE LA APLICACION DE NUEVOS PROCESOS EN CIMENTACIONES  
26-29 octubre 1982. Brno CSSR  
SIMPOSIO SOBRE ESTIMACION DE PARAMETROS PARA MODELOS EN AGUAS  
SUBTERRANEAS  
7-15 diciembre 1982. San Francisco. California USA  
OBRAS DE SUPERFICIE EN MECANICA DE ROCAS  
9-10 diciembre 1982 Madrid  
4°CONGRESO INTERNACIONAL DE GEOLOGIA DEL INGENIERO  
10-15 diciembre 1982 Nueva Delhi. India  
V CURSO SOBRE PERFORACION Y VOLADURAS  
13-17 diciembre 1982. Madrid.

SIMPOSIO SOBRE ORDENACION MINERA BASADA EN EL TRATAMIENTO DE  
LA INFORMACION TECNOLOGICA POR COMPUTADOR  
18-20 diciembre 1982. Harrogate. Inglaterra  
CONVENTION NACIONAL SOBRE INGENIERIA DEL MEDIO AMBIENTE  
5-7 enero 1983 Jaspur. India  
XVII CURSO INTERNACIONAL DE HIDROLOGIA SUBTERRANEA  
14 enero-15 julio 1982. Barcelona. Espana  
XVII CURSO DE HIDROLOGIA "NOEL LLOPIS"  
18 enero-21 junio 1983 Madrid. Espana  
CURSO SOBRE TRATAMIENTO ESTADISTICO DE PROBLEMAS GEOTECNICOS  
24-28 enero 1983. Madrid. Espana  
XVI CURSO DE HIDROGEOLOGIA APLICADA  
7 febrero-10 junio 1983. Madrid. Espana.

Se adjuntan algunas muestras de los trabajos realizados,  
clasificados por temas.

RELACION DE TRABAJOS CLASIFICADOS POR  
TEMAS

MINERIA

# Mecanización de la minería

*A la larga, el coste por unidad de mineral extraído en una mina altamente mecanizada es mayor que el invertido en otra de escasa innovación técnica*

Robert L. Marovelli y John M. Karhnak

Siempre ha tenido fama la minería de ser un trabajo duro, sucio y peligroso. Constituye la industria por excelencia de manipulación de los materiales, que extrae de la tierra en enormes cantidades. En sus comienzos se trabajaba a pico y pala; y el rendimiento se aumentaba a destajo, incrementando el tonelaje de mineral que un hombre podía picar en una jornada de trabajo. Pero hoy la capacidad del minero se ha visto robustecida y dilatada por las máquinas y sistemas de máquinas. Los cambios habidos en tecnología, además de elevar la productividad, se han dejado sentir de una manera muy notable en la salud y seguridad del obrero.

Se ha recurrido a distintas fuentes de energía que contribuyeran a sacarle mayor partido al trabajo minero. Se utilizaron animales de tiro para mover bombas de drenaje y fuelles de ventilación. Para el transporte del mineral por las galerías subterráneas y posterior elevación hasta la superficie también se emplearon bestias de carga. Aplicando la energía del agua, a través de ingeniosos sistemas de engranajes, husillos y pozos se fue sustituyendo a los animales en sus trabajos. La energía térmica aportada por fogatas de leña calentaban las rocas, que posteriormente se agrietaban al enfriarlas con agua. Esta técnica la describe con detalle Georgius

Agrícola en su tratado *De Re Metallica*, de 1556.

El descubrimiento de la máquina de vapor a principios del siglo XVIII marcó el comienzo de la verdadera mecanización del sector. Por primera vez, se pudieron extraer minerales y carbón de grandes profundidades y de extensos lechos horizontales al disponer de suficiente energía para perforar, cortar, cargar, mover y elevar, así como para bombear el agua y ventilar adecuadamente. Pero las minas no son fábricas, y los avances en productividad tienden a ser lentos y muy costosos. Máquinas que en principio parecían prometedoras resultaron inadecuadas e inseguras en las condiciones reales de la mina.

Los auténticos progresos en la mecanización de la minería llegaron con la eclosión de innovaciones que siguieron a la terminación de la segunda guerra mundial. Fue entonces cuando se desarrolló la construcción de máquinas muy sólidas, al tiempo que se idearon nuevos sistemas de utilización. Merced a tamaña mecanización, más del 80 por ciento de los minerales que necesita la economía estadounidense se extraen hoy de fuentes locales con el trabajo de menos del 1 por ciento de la fuerza laboral.

Para medir la productividad real, es preciso un complejo análisis de los cos-

tos del capital y de la mano de obra; también hay que tener en cuenta determinados factores geológicos, entre ellos la calidad del mineral y accesibilidad al mismo. El análisis lo enredan más todavía la rapidez y aleatoriedad con que cambian dichos factores. Sin embargo, la productividad expresada como rendimiento por unidad de mano de obra empleada es una medida importante de la eficacia global de la minería. Es la que utilizaremos aquí.

Los efectos de la mecanización en la productividad y en las condiciones de trabajo están muy entrelazados. En la minería del carbón, que es con mucho el sector más importante de la industria minera norteamericana, la productividad aumentó poco hasta 1950. Dio entonces un salto brusco, alcanzando el máximo en 1970; fecha a partir de la cual ha venido disminuyendo (por razones que describiremos). El recurso a la fuerza muscular se ha reducido mucho. Las muertes por accidente en la mina, que era normal superasen los 2000 anuales hasta 1930, se han reducido en más de 10 veces. Si bien a lo largo de ese período se intensificaron algunos de los peligros de accidente y salud debido a las nuevas máquinas. El cambio hacia minería de superficie o de cielo abierto registrado tras la terminación de la segunda guerra mundial contribuyó en gran medida a reducir el número de accidentes mortales: inherentemente más seguro dicho cambio, la mayor productividad ha rebajado el número de trabajadores en condiciones de riesgo.

En 1925, unos 588.000 hombres, vale decir el 1,3 por ciento de la masa laboral de la nación, trabajaban en la extracción de 520 millones de toneladas de hulla y lignito, en su mayor parte bajo tierra. El año pasado la producción subió a 774 millones con sólo 208.000 hombres, de los cuales sólo 136.000 trabajaban bajo tierra. Las mi-

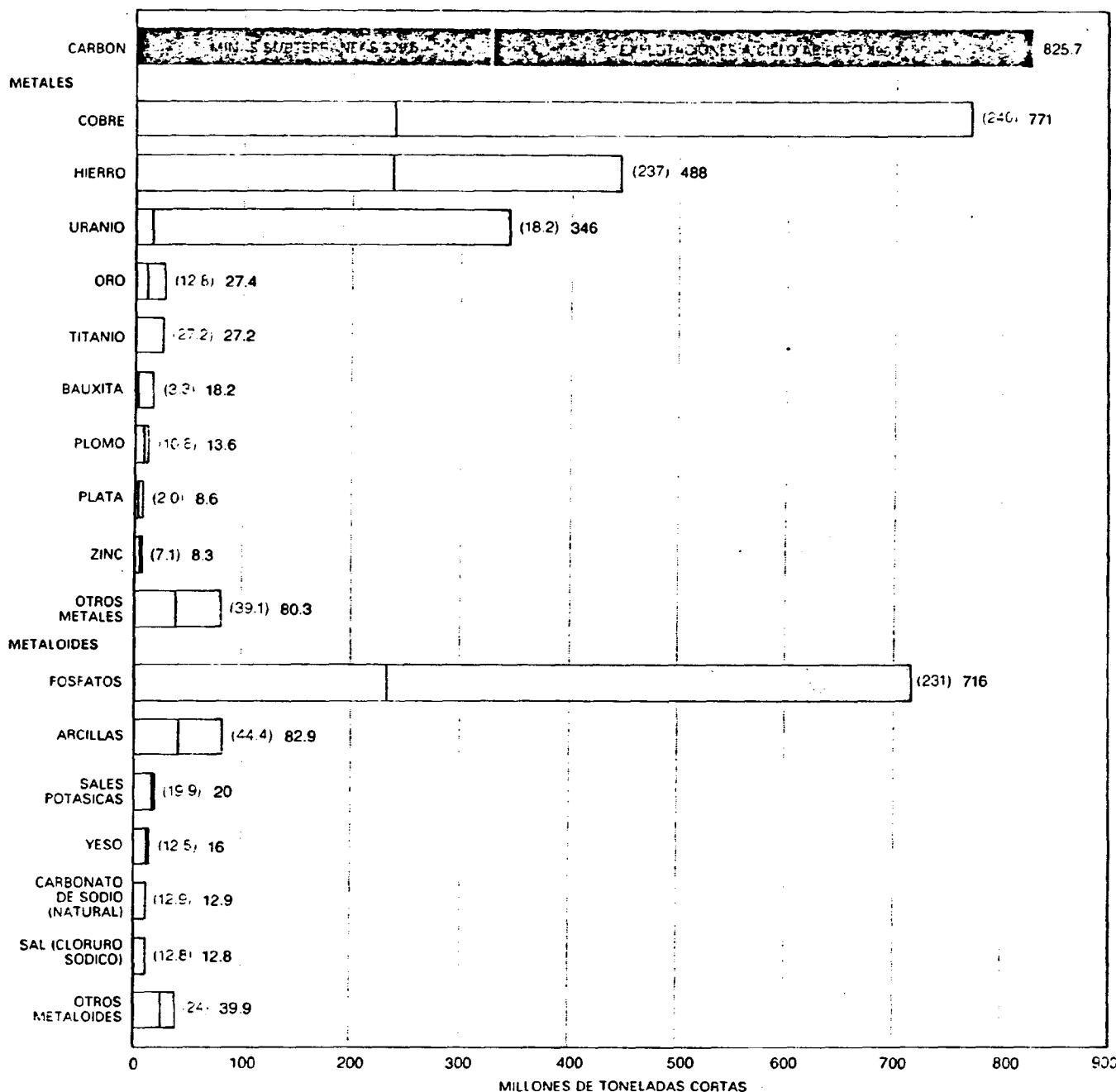
**EXCAVADORA BUCKET-WHEEL.** ejemplo de las enormes proporciones y elevado coste de la maquinaria introducida recientemente en la minería del carbón. Además de esa excavadora, la mina Captain, situada al suroeste de Illinois, posee otra de similar magnitud. La mina pertenece a la compañía Arch Mineral; rinde 4.5 millones de toneladas anuales. Una de las excavadoras remueve los 50 primeros centímetros de la capa superficial. La máquina de la fotografía arranca los cinco o seis metros de tierra siguientes. El material arrancado por las dos máquinas recorre dos kilómetros y medio a lomos de cintas transportadoras, que lo depositan en pilas separadas con el fin de tener el material preparado para una posible y eventual restauración del perfil de las tierras arrancadas. (La ley establece que se restauren los contornos originales del paisaje si es suelo de cultivo y no se deprecie su valor desde el punto de vista agrícola.) Hasta hendir en las capas de carbón habrá que excavar 26 metros de profundidad. Se levantarán otros siete metros para acceder a la segunda capa. Las dos capas miden, sumadas, tres metros de espesor. Casi el 60 por ciento de las horas invertidas en las minas transcurren en la remoción del estéril de la sobrevida y retirar la tierra; solo la fracción porcentual restante se empeña en la explotación del carbón. La empresa O & K Orenstein & Koppel Aktiengesellschaft construyó la excavadora.

nas de superficie muy mecanizadas y de alta productividad rindieron 482 millones de toneladas, lo que representó el 62 por ciento, con sólo 72.000 trabajadores. (En 1979, la minería del carbón empleaba, en España, a 51.872 personas.)

La plantilla del año pasado estaba formada por 756.000 hombres y mujeres, de los que 300.000, o sea, el 40 por

ciento aproximado, pertenecían al subsector del petróleo y del gas, alcanzándoles el título de minero sólo por comodidad de clasificación. La mitad del resto, es decir 208.000, trabajaban el carbón; otros 93.000 se dedicaban a minería no metálica y canteras, y alrededor de 57.000 laboraban en distintos yacimientos minerales de metales (cobre y hierro principalmente). Había,

además, unos 107.000 empleados en lavaderos y talleres asociados a las minas, que también se clasifican como mineros; no así los empleados de oficinas. Esta fuerza laboral satisfizo el 83 por ciento de la demanda de combustibles fósiles que aportaron energía y un 90 por ciento de la demanda de todos los demás minerales por su valor en dólares, único denominador común a una



**PRODUCCIÓN MINERA DE LOS ESTADOS UNIDOS.** Como puede apreciarse en los diagramas, está dominada por el carbón. El sector produjo, en 1980, 825.700.000 toneladas de carbón bituminoso y lignito, cuya proporción destaca sobre el rendimiento de otros minerales. En las barras que señalan el tonelaje total de otros minerales figura el estéril en gris y el mineral extraído en color. Aunque no se han tomado datos equivalentes para el carbón, el tonelaje de estéril manipulado en la superficie de las minas, que es el 60.1 por ciento de la producción total, sobrepasa, a buen seguro, los 4000 millones de

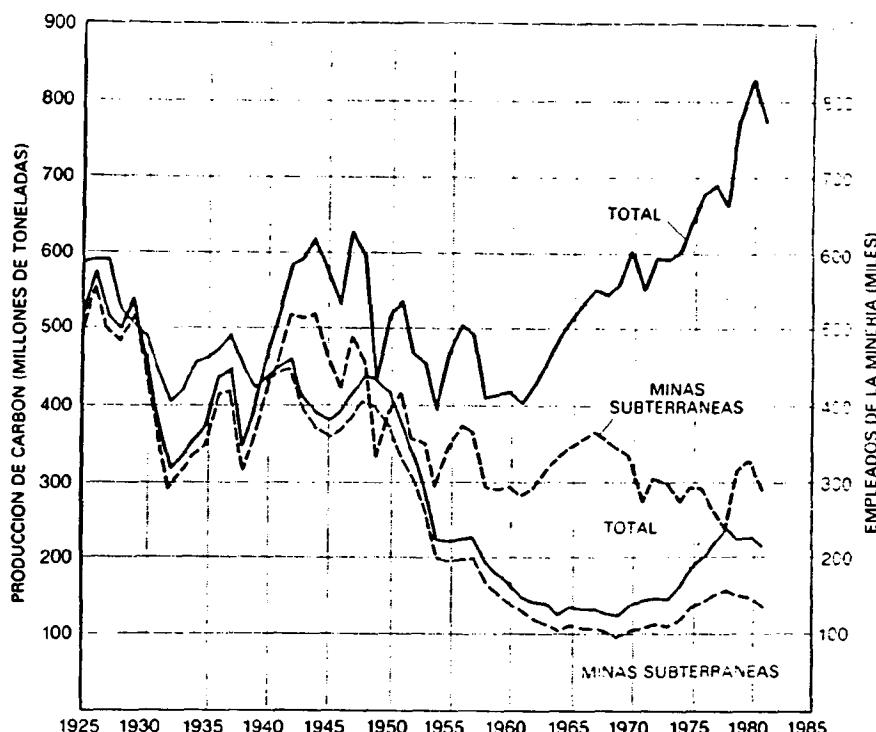
toneladas. Este tonelaje no registrado representa el estéril de la sobrecarga de tierra y roca removidos hasta alcanzar las capas de carbón situadas a 61 metros de profundidad. Aunque se trata de un alto volumen de movimientos de tierras, hay que tener en cuenta, sin embargo, sus bajos valores en relación con los productos de la minería: arena y gravas (794 millones de toneladas) y rocas molidas y clasificadas (1060 millones de toneladas). Comparada con el carbón, la producción de petróleo de 1980 fue de 570 millones de toneladas (3700 millones de barriles) y 450 millones de toneladas de gas natural.

categoria tan diversa. (De las  $56.4 \times 10^{15}$  British thermal units de energía extraída de combustibles fósiles estadounidenses en 1981, el carbón dio el 28.4 por ciento, el petróleo el 36.6 por ciento y el gas natural el 35 por ciento. El gasto total de la nación en combustibles fósiles el año pasado fue de 260.000 millones de dólares, incluidos los 77.000 millones de petróleo importado; el valor del carbón a bocamina fue de unos 20.000 millones de dólares.)

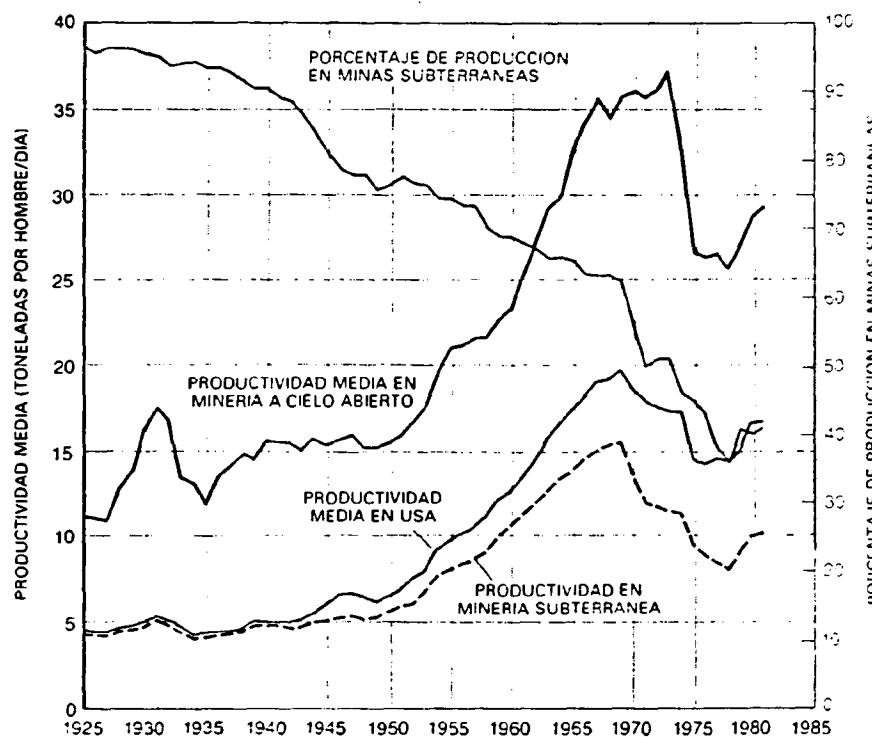
Las 774 millones de toneladas producidas el pasado año entre hulla y lignito excedió los cálculos provisionales de la suma de los tres siguientes minerales: hierro (264 millones de toneladas), cobre (306 millones de toneladas) y fosfatos (203 millones de toneladas). De los materiales arrancados de la tierra el carbón fue el segundo en tonelaje, sólo sobrepasado por las rocas trituradas (873 millones de toneladas). Si se tuviese en cuenta la ingente masa de tierra y rocas que hubo que remover para acceder a las 482 millones de toneladas de carbón extraído a cielo abierto el año pasado (que se calcula en 10 toneladas por cada tonelada de carbón), el sector del carbón sobre pasa con mucho a cualquier otro en lo concerniente a masa total de material movido.

Son pocos los minerales que hoy se extraen, en su mayor parte, de galerías subterráneas; la mayoría de los cuales, además, resultan de escaso tonelaje. Los principales minerales metálicos que se obtienen preferente o totalmente de minas subterráneas son el antimonio, el plomo y el tungsteno (del 98 al 100 por ciento subterráneo), molibdeno (62 por ciento) y plata (60 por ciento). Entre los no metálicos sólo hay tres substancias importantes que se extraigan, de un modo destacado, por pozos: sales de potasio, cloruro sódico y carbonato sódico natural. El número de mineros norteamericanos que pasan su jornada laboral enterrados no superan los 160.000, tres cuartos de los cuales trabajan el carbón. La variedad y cantidad de materiales obtenidos a cielo abierto es mucho mayor: cerca del 95 por ciento de los minerales metálicos y el 75 por ciento de los no metálicos se extraen en minas de superficie.

En la minería del hierro y el cobre a cielo abierto los avances principales se deben, en su mayor parte, a la economía de escala. Mayores máquinas para movimiento de tierras, mayores taladros para voladuras, mayores palas para cargar, camiones mayores, etcéte-



**HISTORIA DE LA MINERÍA DEL CARBÓN** en los Estados Unidos, desde 1925. El gráfico nos muestra sus frecuentes y bruscos altibajos en la demanda (negro) y en la fuerza laboral (color). Pero el giro más sobresaliente se ha dado en el desplazamiento de los puntos de trabajo de las minas subterráneas, desde la segunda guerra mundial. En 1945, el 94 por ciento de los 383.000 mineros de la nación trabajaban todavía en galerías subterráneas. Hoy el sector acoge sólo a 208.000 obreros y no llega a dos tercios la cifra que trabaja en minas subterráneas. A finales del decenio de 1920, la producción media era de 950 toneladas de carbón por hombre y año. La producción actual raya las 3700 toneladas de mineral por hombre y año.



**PRODUCTIVIDAD POR HOMBRE Y DÍA** en minas de carbón. Creció a un ritmo de 1,6 por ciento anual entre 1925 y 1950. A lo largo de los 20 años siguientes, la introducción de máquinas de trabajo continuo bajo tierra y maquinaria pesada de movimiento de tierras en minas de superficie supuso que el arranque por hombre y día ascendiera a un ritmo anual de 5,3 por ciento. Parte de esa ganancia se perdió a raíz de la legislación elaborada para mejorar las condiciones de salud y seguridad de los mineros. Desde 1974 la productividad en las minas de superficie descendió vertiginosamente por múltiples razones, incluida la ley de reclamación de tierras. En los últimos tres años la productividad ha vuelto a elevarse otra vez.

ra. Al abordar la productividad en la minería del hierro, hemos de distinguir, sin embargo, entre toneladas de mineral bruto y mineral útil: en la minería del cobre, entre toneladas de mineral bruto y toneladas de mineral recuperable. En ambos casos, la mayor productividad en la minería del mineral bruto se ha seguido, en parte, de una disminución en la concentración metálica del material bruto. Desde 1952 la producción de mineral de hierro bruto en tonelada larga por hombre-año (medida que suele usarse en este sector, y que equivale a unos 1016 kilogramos) casi se cuadriplicó, desde 3600 a 12.700. En el mismo período, la producción de mineral útil aumentó menos de la mitad, de 2750 a 4200 toneladas largas por hombre-año. El record de 5200 toneladas largas se produjo en 1972.

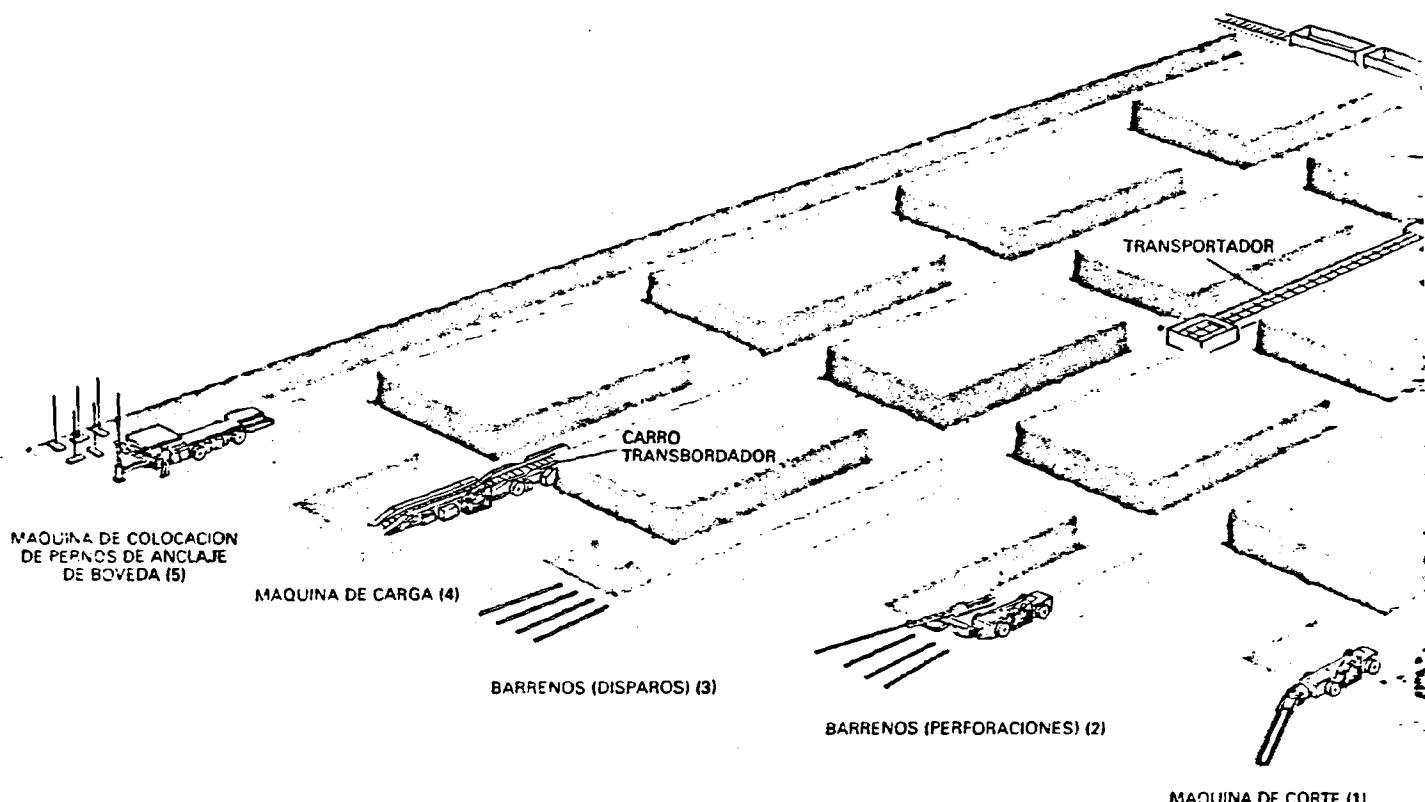
Los aumentos de productividad en la minería del cobre, en el mismo período

fueron notablemente inferiores. Entre 1950 y 1981 la producción de mineral bruto aumentó de 3700 toneladas cortas (donde una tonelada corta equivale a 907 kilogramos) por hombre-año a algo más de 9000, pero el aumento de producción de metal recuperable fue mucho menor: de 35 a 50 toneladas por hombre y año. En 1950 cada tonelada bruta daba una media de 19 libras (8.7 kilogramos) de cobre; para 1981 el rendimiento había bajado a unas 11 libras por tonelada.

En minas de cobre a pozo abierto hay tres operaciones básicas: perforar barreras para voladuras, cargar camiones y transportar el mineral. Del análisis del sector se deduce que el menor aumento de la productividad se ha conseguido en el transporte, aun cuando se usan ahora camiones de mucha mayor capacidad. La razón estriba en que, a medida que el pozo se hace mayor y

más profundo, el mineral se tiene que subir una altura mayor y transportar más lejos. Parece que la economía de escala ha llegado a un estancamiento temporal en la minería del cobre a pozo abierto. El sector espera dar un nuevo paso adelante con la ayuda de computadores que mejoren la coordinación del sistema minero, con el uso de máquinas arrancadoras y rompedores autopropulsados y con la adopción de cintas transportadoras para movimientos difíciles y largos.

La mecanización en la minería del carbón puede fecharse casi en el nacimiento de esa industria. Algunas de las primeras máquinas de vapor sirvieron para bombear agua de la mina; luego se usaron para ventilación y transporte de hombres y material desde la superficie hasta el nivel de trabajo. Bajo tierra se emplearon perfora-



**EXPLORACION POR CAMARAS Y PILARES:** método tradicional empleado en las minas subterráneas de carbón norteamericanas desde el siglo XIX. Las cámaras son espacios vacíos de donde se ha sacado el carbón; los pilares, bloques de carbón de 12 a 24 metros de lado dejados para soportar el techo de la mina. En el estadio final de explotación de una capa, se extrae el carbón de

los pilares, permitiendo el derrumamiento de la bóveda. En la minería tradicional, representada en el dibujo de la izquierda, se ilustran, secuenciadas, las cinco operaciones principales. Las máquinas usuales en cada operación aparecen a la derecha. En el primer paso se abre una ranura de 150 milímetros de alto por tres metros de profundidad, a través de la base de la capa, con

doras a vapor y locomotoras, pocas, que fueron sustituidas muy pronto por accionamiento con aire comprimido. A comienzos de 1888 se dispuso de electricidad en las minas para iluminación y accionamiento de maquinaria. Empezando el siglo, la fuerza eléctrica se generalizó a distintas aplicaciones, incluidos el barrenado y el corte inferior de los frentes para preparación de voladuras. Antes de que concluyera la segunda guerra mundial, el 90 por ciento del carbón norteamericano se cortaba por rozadoras.

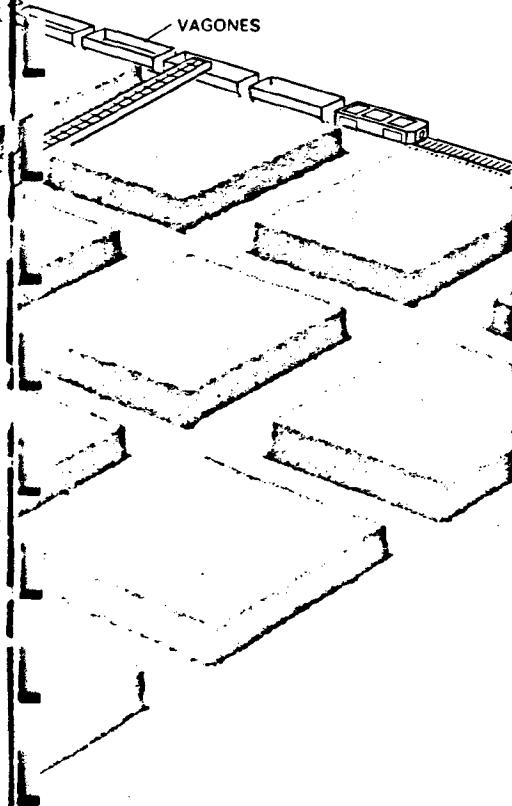
A pesar del temprano avance en la mecanización de la minería subterránea, no se registró ningún progreso espectacular en la productividad de la primera mitad del siglo xx. En 1897, un hombre con un pico y una pala sacaba 3 toneladas de carbón por día. En 1925, la media de producción por hombre en una jornada un tanto más corta era de

4.5 toneladas. Veinte años más tarde, la productividad había aumentado en sólo un poco más del 10 por ciento, hasta 5 toneladas por hombre y día. Comparativamente, las ganancias desde entonces han sido importantes. En 1969 la productividad alcanzó las 15.6 toneladas por hombre y día, menguando la fuerza laboral de la minería subterránea hasta sólo 99.000 hombres.

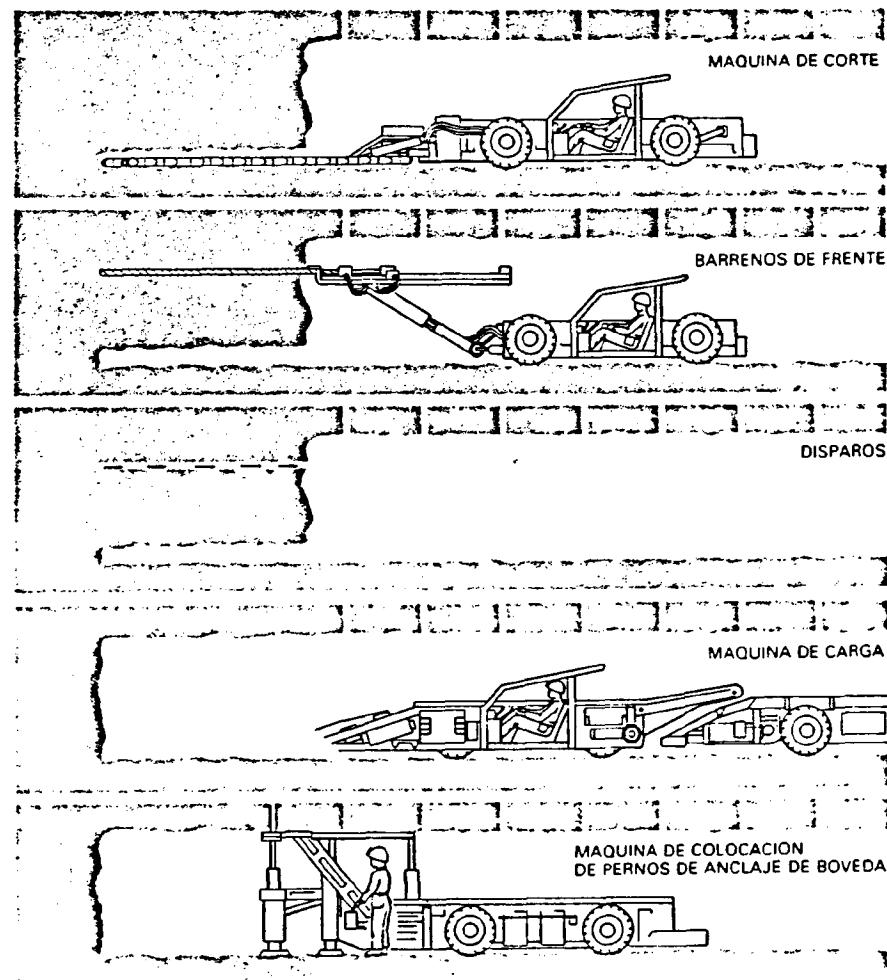
La caída de la productividad de los años 70 se puede atribuir a distintos factores. El mínimo de 8,4 toneladas por hombre y día se dio en 1978; el empleo en la minería subterránea tuvo un alza correspondiente (hasta 160.000). Una de las causas principales fue, sin duda, la instauración de regulaciones de seguridad más estrictas; otra, los problemas laborales. También influyó la calidad decreciente de los recursos accesibles; en todos los tipos de minas se trabajan primero los recursos inme-

diatos, por lo que la extracción tiende inevitablemente a ser cada vez más cara a medida que se ahonda o se aleja de la boca. Algunos técnicos creen que la misma mecanización constituye una tercera causa del bajo rendimiento: el descansar en máquinas cada vez mayores, aunque en número menor –aducen–, hace que el trabajo de la mina sea más susceptible de paradas por averías. Sea cual fuere la razón de la pérdida de productividad, la reciente recuperación la ha elevado hasta las 10 toneladas por hombre y día.

La minería abierta, con su potencial de mecanización a gran escala, creció muy poco hasta la segunda guerra mundial. Entre 1925 y 1941 asistimos a un suave ascenso de la producción a cielo abierto: desde el 3.2 por ciento del total de la producción de carbón hasta el 9.2 por ciento. Para 1945,



una máquina provista de una larga barra de corte. Se perfora luego una serie de agujeros de tres metros de profundidad en el frente de la capa de carbón y por encima de la ranura; se cargan con explosivos. La detonación de 4,5 a 7 kilogramos de explosivos provoca la fractura de unas 50 toneladas de carbón, que caerán desparramadas por el suelo de la mina. Entonces una máquina



cargadora transporta el carbón triturado a un vagón de espera, que arrastra el carbón hasta una cinta transportadora. La cinta acarrea el carbón a una línea transportadora principal (que puede ser otra cinta o ferrocarril) para sacarlo de la mina. En la etapa final se inserta una serie de clavos de acero en el techo de la mina para sujetarlo y evitar caídas. La secuencia se repite.

sin embargo, la proporción de carbón procedente de minas de superficie se había más que doblado, hasta llegar al 19 por ciento. La minería abierta recobra el 62 por ciento del carbón en Estados Unidos.

La productividad de la minería de superficie ha sido siempre mayor que la subterránea. Fue de unas 11 toneladas por hombre y día en 1925 y de 15,5 en 1945. Se consiguió un máximo de 36,7 toneladas por hombre y día en 1973. A partir de entonces, como en la subterránea, decrece. Entre otras razones, se constatan las nuevas condiciones dictadas para la minería, aunque las exigencias a cielo abierto no tenían tanta relación con la seguridad como con la restauración de los campos explotados, cuyos perfil y productividad agrícola debían volver a parecerse a los originales. La productividad cayó a menos de 26 toneladas por hombre y día en 1978; a partir de esa inflexión se ha observado una firme recuperación, llegando a las 30 toneladas actuales.

Mientras que la productividad en la minería de superficie ha ido de la mano del aumento de tamaño y eficacia del equipo de movimiento de tierras y mi-

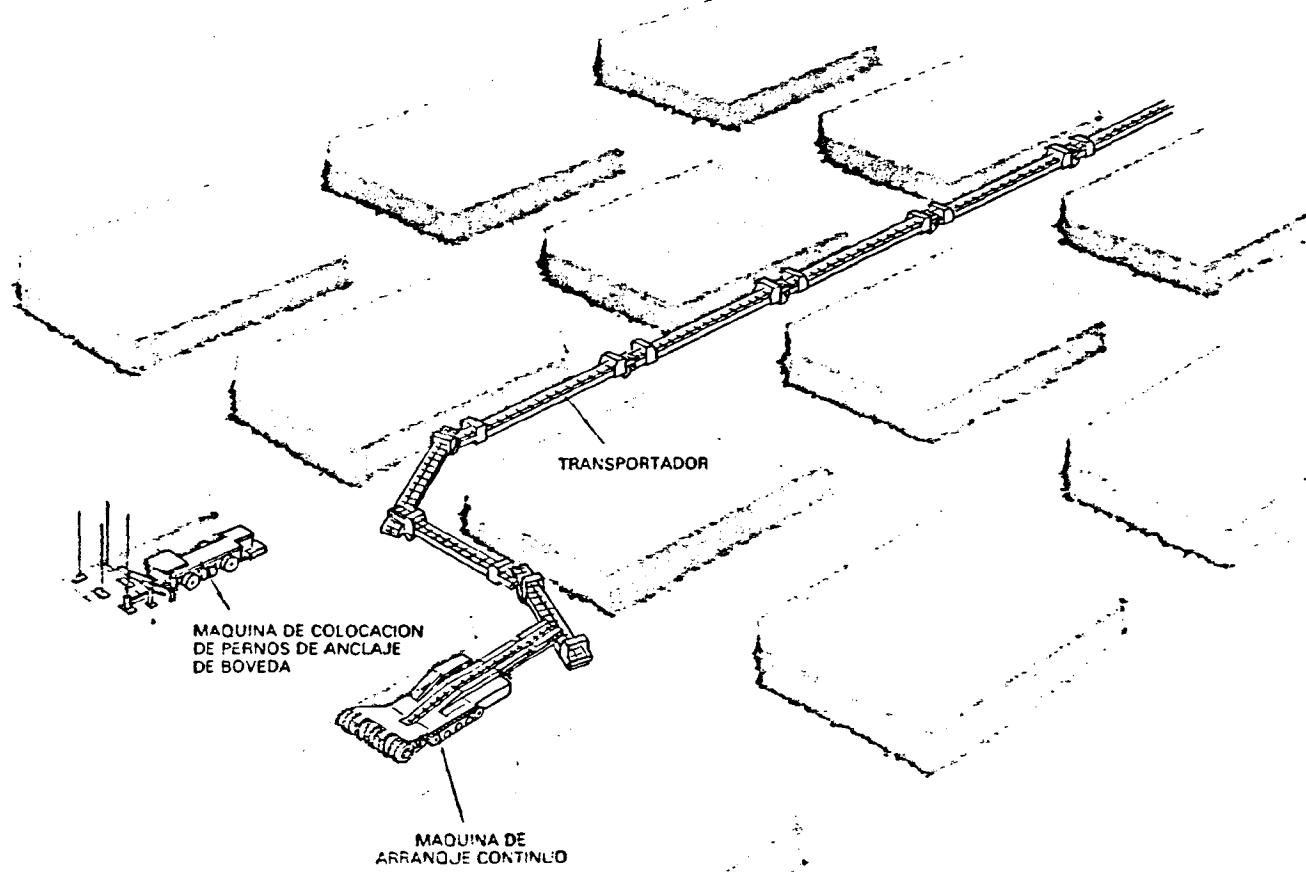
nerales, para potenciar la productividad de la minería subterránea se han exigido nuevas técnicas. Fenómeno que se puso de relieve, sobre todo, en la minería del carbón. La misma diversidad geológica de las venas de carbón constituye uno de los principales frenos a las innovaciones técnicas. En Virginia occidental, el carbón sale en venas cuya anchura oscila desde los 61 centímetros hasta los 5,5 metros. La mayoría de las venas son muy planas y en muchas de ellas se puede entrar desde la ladera de una colina; son contadas las que se acercan al centenar de metros de profundidad. En Colorado, por el contrario, hay minas a 910 metros de profundidad, con venas de hasta 30 grados de inclinación. Existe también una extensa variedad en tamaños con unos rendimientos que oscilan desde unos cuantos miles de toneladas anuales hasta los 15 millones largos.

Los depósitos de carbón están muy repartidos en los Estados Unidos. Ello explica que hayan atraído a miles de pequeños empresarios. Entre la primera y la segunda guerra mundial, el número de minas de hulla varió entre

5400 y más de 9300, sin apenas alterarse la cifra de empresas mineras. Hoy unas 3500 compañías explotan alrededor de 6000 minas. La empresa principal, la Peabody Coal Company, no explota más del 8 por ciento del total; hay que reunir el 50 por ciento de las empresas para sumar el 65 por ciento de la producción.

La mina subterránea típica se proyecta en forma de tablero de ajedrez con espacios y columnas, un sistema de minería norteamericana que data del siglo XIX. Los espacios son huecos de los que se ha extraído el carbón. Las columnas son pilares de carbón de 12 o 24 metros de lado que se dejan intactos para soportar el techo de la mina. Cuanto más profunda sea la mina, mayores los pilares. Al final, se extrae el carbón de estos pilares cortándolos a partir del punto más alejado del frente de avance y dejando, de forma controlada, derrumbarse el techo a medida que se quitan los soportes.

Para abrir una mina de tipo celular se excavan túneles de entrada y salida en el carbón virgen. Mineros y maquinaria se transportan al frente de trabajo en un tren subterráneo, que también saca



el carbón a la superficie. El minado se realiza desde múltiples "entradas" cortadas paralelamente a la galería principal, a las que se accede por túneles transversales. La secuencia de los trabajos en el frente de ataque en 1947 le resultaría familiar a un minero de 1897, si prescindimos del cambio constituido por la sustitución de la fuerza muscular por la mecánica o de otro tipo.

La minería convencional recurre a los explosivos químicos para arrancar el carbón de la veta. En el decenio de 1940, las minas de carbón norteamericanas consumieron anualmente unos 225 millones de kilogramos de explosivos, casi la mitad del total usado en minería y canteras y un 40 por ciento del total de explosivos vendidos para usos industriales. (El año pasado, la industria del carbón gastó mil millones largos de kilogramos de explosivos, la mitad del total industrial: el 98 por ciento de esta cantidad, sin embargo, se consumió en minas a cielo abierto.) Para hacer eficaz la explosión se corta una ranura de 150 o 200 milímetros de alto y tres metros de profundidad en la base de la vena. Este corte lo realiza hoy día una máquina rozadora equipada con

cuchillos móviles, que recuerdan una sierra de cinta; en 1897, los mineros se servían del pico para abrir una ranura menor. La ranura ofrece una cara libre adicional por donde puede expandirse el carbón al producirse la explosión.

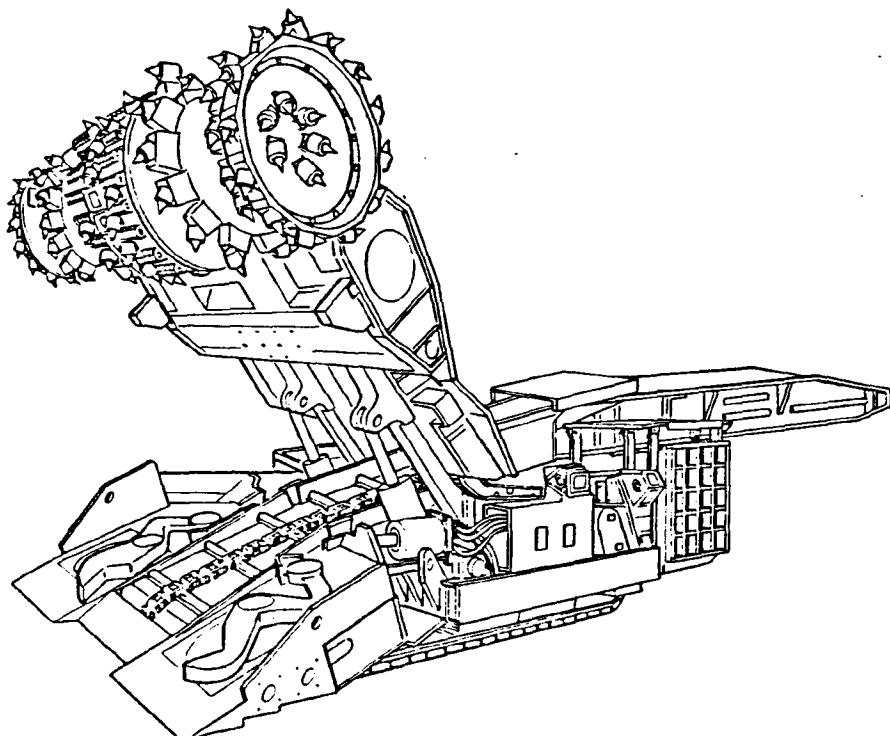
Consiste el paso siguiente en taladrar una serie de agujeros en el frente del carbón, paralelos y por encima de la ranura. Los agujeros miden 51 milímetros de diámetro por tres metros de profundidad, a intervalos de medio metro. Se cargan los agujeros con siete o nueve barretas de explosivo. De 4.5 a 7 kilogramos de carga removerán unas 50 toneladas de carbón. Las cargas explosivas se conectan con detonadores eléctricos, que reaccionan a distancia. El montón resultante de carbón suelto se recoge del suelo de la mina mediante una cargadora de dos patas (o brazos) y se lleva por cinta hasta un vagón u otro mecanismo de transporte. Ya en 1947 se cargaba mecánicamente alrededor del 60 por ciento del carbón subterráneo. Procedimiento que coexistía con más de 10.000 animales de tiro, la mayoría mulas, para el transporte.

La última etapa de este tipo de mine-

ria celular es la de apuntalar el techo dejado al descubierto. En 1947 el armazón se reducía a una estructura de vigas de madera. Pero un año antes algunas minas habían comenzado a experimentar con apeos metálicos, introducidos ya desde 1927 en la minería de otros materiales. Estos apeos, de un metro a dos de largo, suelen colocarse a intervalos de un metro, formando una parilla. Los apeos se mantienen en posición mediante una funda de extensión mecánica o, más recientemente, de resina poliéster. Los apeos unifican los distintos estratos superiores a la vena de carbón, para soportar el techo de la mina. A través de tales métodos se elevó el rendimiento medio de carbón en las minas subterráneas hasta las cinco toneladas por hombre y día en 1947. Las minas más mecanizadas con venas de tres metros y pico de espesor consiguieron doblar los resultados.

**A** finales de 1948, varias minas comenzaron a probar en secreto los primeros modelos de máquinas de minado continuo. El prototipo construido por la Joy Manufacturing Company, de Pittsburgh, removía y cargaba el carbón en un solo paso a partir del frente sólido. La máquina original tenía un conjunto de cadenas cortantes montadas verticalmente en un cabezal oscilante. Las cadenas se introducían en la base del frente de trabajo y rasgaban la vena de abajo arriba, de la base al techo. El carbón se llevaba a la parte posterior de la máquina mediante cinta y se echaba en una vagóneta de tren continuo. La empresa Joy pregonaba que su máquina aumentaría la productividad de una mina típica hasta 15 toneladas por hombre y día.

La industria se mostró escéptica. Muchos de sus clientes pagaban una cantidad suplementaria de varios dólares por tonelada, si el carbón tenía un tamaño determinado. Pero si la nueva máquina aumentaba la proporción de menudos y polvo (de menos de 9.5 milímetros de diámetro), se anulaba buena parte del ahorro por mayor productividad. Algunos ingenieros de minas también se preguntaban sobre la presunta economía obtenida con la energía eléctrica para partir el carbón en sustitución de explosivos, más baratos. La cuestión cobró entonces tal importancia que una organización financiada por la industria, la Bituminous Coal Research, escogió a una mina y la financió con el objeto de minimizar el costo de fractura del carbón. La máquina fracasó. Pero a medida que fueron saliendo modelos mejorados de la máquina Joy



**LAS MAQUINAS DE ARRANQUE CONTINUO**, que aparecieron en 1948, también trabajan en minas de cámara y pilares. Las máquinas arrancan el carbón del frente de la capa y lo cargan en un primer eslabón. Las modernas máquinas de arranque se construyen en varias medidas para operar en capas de medio a tres metros de espesor. Las máquinas más usuales tienen unos rodillos rotativos provistos de cuchillos de corte que excavan el frente de la capa. El rodillo se conduce desde la parte superior de la capa hasta la parte inferior. Unos brazos mecánicos empujan el carbón caído hacia el transportador central, que descarga el carbón en vagones o en cinta transportadora extensible, acoplada a la parte trasera de la máquina. En cuanto esta última ha avanzado unos seis metros se desplaza a otro frente, de suerte que la parte donde se ha hecho el arranque se apunta con pernos de anclaje en el techo. Las máquinas de arranque continuo suponen el 65 por ciento de los sistemas de arranque en las minas de carbón.

y se diseñaron otros prototipos más competitivos, remitió el escepticismo de los empresarios.

Las máquinas de extracción continua que se fabrican hoy son mayores y más potentes que la original de Joy, aunque siguen regidas por el mismo principio. La principal diferencia estriba en que se han sustituido las cadenas de corte por un tambor giratorio de unos 60 centímetros de diámetro y 200 o 400 milímetros de ancho; lleva unos picos de acero con puntas de corte de carburo de silicio. El tambor gira a unas 60 revoluciones por minuto. Se introduce en la parte alta de la vena de carbón a una profundidad igual a su diámetro y, luego, se baja; así va cortando todo el frente. Unos brazos habilitados a tal fin, portan el carbón ya arrancado hacia el centro; desde allí, una cinta lo entrega a una vagoneta o a otra cinta. Cuando la máquina ha avanzado unos seis metros, se cambia a otro sitio y se apunta la techo. Las máquinas continuas se generalizaron en las postguerras del decenio de 1950 y a lo largo del siguiente; ahora, casi dos tercios de todo el tonelaje subterráneo se extrae de esta manera.

A medida que las minas de carbón se infiltran a mayores profundidades hay que dejar columnas más sólidas que soporten los estratos superiores. Aunque se puede pasar de extraer el 50 por ciento del carbón total hasta el 70 por ciento, quitando las columnas en se-

cuencia contraria y dejando derrumbarse el techo, esta "minería de retirada" requiere conocer muy bien el entorno y larga experiencia, ya que puede resultar más peligrosa que otras formas de minería. De ahí la creciente atención que está recibiendo otro sistema alternativo del celular. Nos referimos al minado de frente largo, practicado durante muchos años en minas europeas de profundidad.

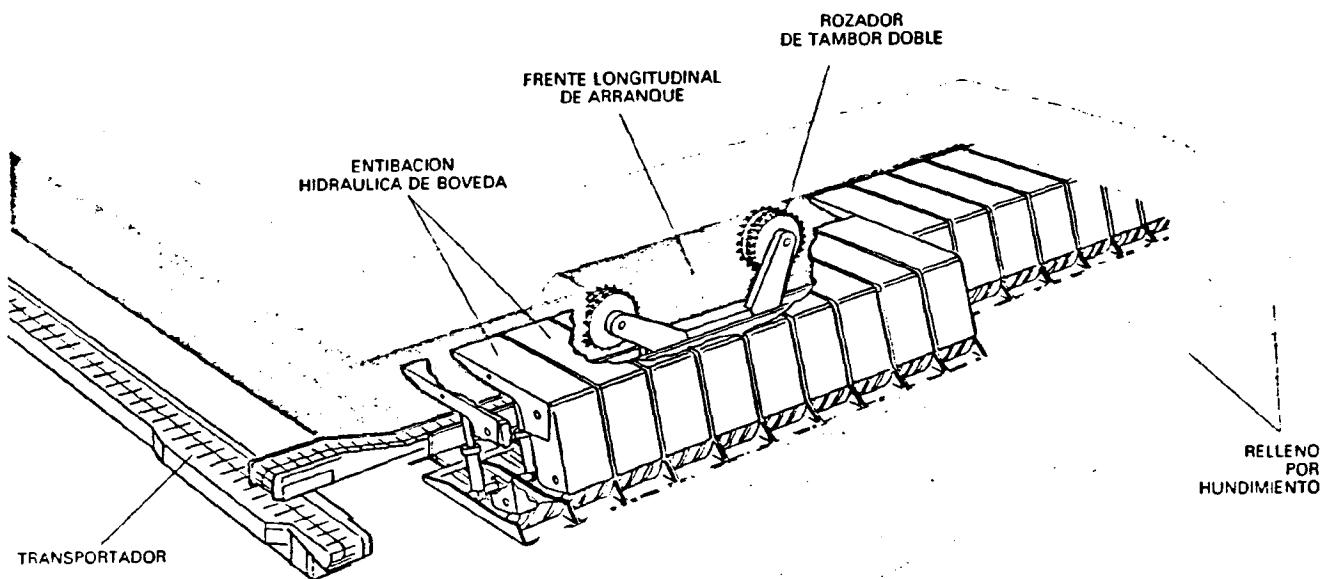
La técnica minera de frente largo permite extraer un bloque continuo de carbón. Miden los bloques de 120 a 180 metros de ancho del frente, si bien en algunas minas europeas sobrepasan el kilómetro y medio de anchura. Una máquina especial, un rejón o una cortadora por ejemplo, viaja a lo largo del frente sobre guías, o vías, arrancando el carbón y depositándolo en una cinta que lo lleva hasta el punto central de transporte, al final del frente. Elemento esencial del método del frente largo es el sistema móvil de apeos que soporta el techo inmediato al frente en toda su anchura. A medida que la minadora avanza en el frente, se trasladan los soportes, dejando que se desplome el techo que queda detrás de los soportes.

Hasta mediado el decenio de 1970 la minería del frente largo no había logrado afianzarse en los Estados Unidos. Se había probado en la cuenca carbonífera de Illinois ya en 1962, pero una serie de fallos hizo desistir en su

empeño. En 1975 no llegaban a 60 los frentes en activo. Pero ese mismo año, algunas minas de Illinois, el lugar de los primeros fallos, instalaron un nuevo sistema de apeos hidráulicos, del tipo de coraza, que se habían desarrollado en Europa. En 1979, ya había 91 frentes en funcionamiento. En el último recuento se han elevado a 105, y hay solicitados equipos para otros 21. En 1981 las minas con frente largo rindieron 18 millones de toneladas de carbón, es decir, un 6.2 por ciento de la producción subterránea. De acuerdo con ciertas previsiones, habrá unos 200 frentes largos en Estados Unidos para 1985, que reportarán, por lo menos, el 12 por ciento del tonelaje subterráneo.

En la minería del frente largo se consigue una alta productividad. La mina Sunnyside, de la Kaiser Steel Corporation en Sunnyside, Utah, extrae regularmente 2900 toneladas diarias de carbón, con frente de 168 metros de largo y un equipo de 11 hombres, muy por encima de la media estadounidense. La vena de carbón, de 2.8 metros de espesor, está a 450 metros de profundidad. A principios de este año una serie de equipos que trabajan en un frente produjeron 20.384 toneladas en un período de 24 horas, lo que representa un récord mundial.

¿Por qué, entonces, la técnica del frente largo, aparentemente más productiva, no se ha extendido con mayor rapidez por Estados Unidos? Hallamos



una explicación de ello en la ubicación de las minas de ese país, generalmente más superficiales que las de Gran Bretaña, Alemania Occidental y otras naciones donde opera el sistema. La minería celular resulta, por tanto, todavía económica en la mayoría de las venas norteamericanas. No se olvide, además, que ni ingenieros ni obreros han tenido hasta ahora suficiente experiencia con el frente largo. Como en muchos otros campos, los empresarios saben que ser los primeros cuesta dinero. La inversión de capital para abrir un nuevo frente largo es fuerte: de 30.000 dólares a 42.000 por metro de largo del frente, de forma que uno que midiera 150 metros costaría de 4,5 a 6.3 millones de dólares. Siguen siendo necesarias las máquinas de minado continuo para el desarrollo del trabajo. Las exigencias normales del mercado del carbón influyen también en el método de extracción. En Estados Unidos, se acostumbra a vender la producción de una mina mediante un contrato en el que se asegure un suministro regular al comprador. Una mina con un solo frente largo corre el peligro de romper la regularidad, en cuanto se le presente un fallo mecánico que interrumpa el trabajo. Para asegurar una producción constante es necesario abrir varios frentes, lo que hace subir aún más el costo de la inversión.

Resulta pertinente e ilustrativo detenernos en la experiencia cosechada en

el Reino Unido en estos frentes largos. Nos enseñan que las ganancias por mecanización pueden verse anuladas por condiciones geológicas y otros factores difíciles de controlar. Entre 1971 y 1980 el número de frentes largos se redujo, en ese país, en más del 20 por ciento pasando de 840 a 649, a raíz del cierre de minas de producción marginal. Un análisis reciente de Brian Lord, presidente de la Lord International Mining Associates, revela que, a pesar de concentrarse la producción en las mejores minas, no se progresó en la productividad de las minas con frente largo entre 1971 y 1979. Hubo un aumento de productividad del 16 por ciento en el frente propiamente dicho, pero quedó nivelada por una menor productividad "en otros puntos bajo tierra". La productividad total permaneció constante en 2.24 toneladas por hombre y turno.

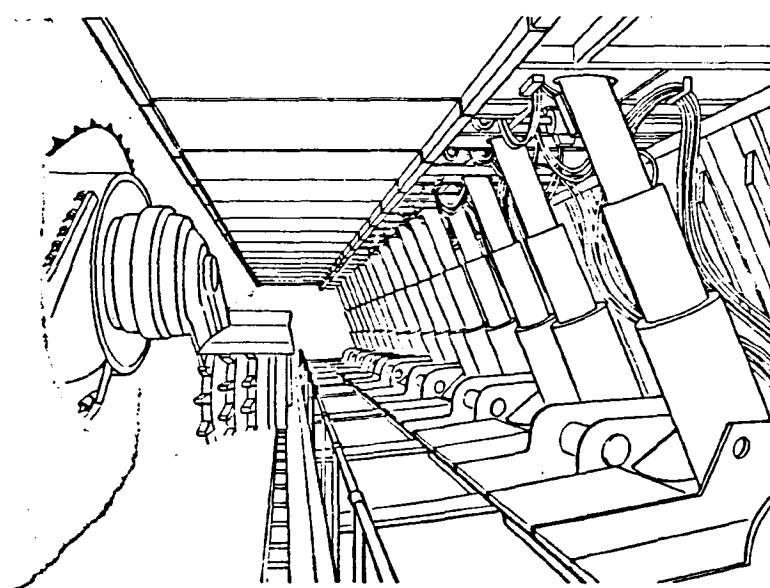
Cuando Lord clasificó las minas de frente largo de acuerdo con su grado de mecanización, halló que las más mecanizadas rendían ligeramente menos que las menos mecanizadas, a lo largo del quinquenio transcurrido de 1975 a 1979. La medida del rendimiento se tomó por los centímetros que avanzó el frente cada turno de un obrero. Las menos mecanizadas ganaron a las más por 87 centímetros contra 86. La mejor puntuación la dieron las de mecanización intermedia, con 91 centímetros por hombre y turno.

Tan sorprendentes resultados le hicieron preguntarse a Lord si la industria carbonera británica tenía que seguir con su objetivo de frentes totalmente mecanizados. Entiende que la industria ya está sobremecanizada y que lo que resultaría beneficioso sería una simplificación. De 1948 a 1980 la minería británica nacionalizada hizo un esfuerzo gigantesco para modernizar sus pozos. La innovación tecnológica fue impresionante. El número de mineros se redujo en dos tercios, desde 711.000 en 1947 hasta 237.000 en 1980, mientras que la producción sólo bajó en un 30 por ciento, desde los 187 millones de toneladas largas en 1947 hasta las 130 millones de toneladas largas de 1980. Por tanto, la productividad por hombre y año pasó a ser algo más del doble. Pero los beneficios económicos son dudosos: en 1980, los beneficios del capital invertido fueron exactamente cero.

Gunter B. Fettweiss, director del Instituto de Tecnología Minera de la Universidad de Minería y Metalurgia de Leoben, Austria, ha llegado a la misma conclusión con respecto a la mecanización de las minas de Alemania Occidental. La mecanización, explica, produce unos ahorros sustanciales al principio, cuando las condiciones geológicas son favorables. A medida que cuesta más extraer el carbón, los costos de una mina mecanizada se elevan rápidamente y pronto exceden los de las minas menos mecanizadas que ofrecen una dificultad geológica similar. La razón, escribe Fettweiss, "débese a que las máquinas han demostrado hasta ahora ser menos capaces de adaptarse a condiciones difíciles o cambiantes que el obrero de pico y pala. Bajo condiciones muy favorables [hombre y máquinas] fracasan al unísono".

Los mineros norteamericanos comienzan a albergar las mismas reservas sobre las ventajas de una mecanización a ultranza, comentan Paul C. Merritt y David Brezovec, de *Coal Age*. Algunos defienden que la minería ha adquirido un grado muy elevado de complejidad y que las funciones asignadas a las máquinas aumentan la probabilidad de suspensión del trabajo. Hay máquinas, construidas para hacer en teoría más fácil la labor, que, con frecuencia, se muestran inseguras en las condiciones reales de la mina.

El que resulte tan difícil aumentar la productividad por encima de niveles ya altos induce a pensar a algunos observadores en una revisión de los papeles desempeñados por la industria privada y el estado. En algunas industrias nor-



**ROZADORA LONGITUDINAL:** máquina de arranque continuo muy común en las minas inglesas y europeas durante muchos años. Arranca el carbón de una cara de bloques de 150 metros de ancho y hasta 1,6 kilómetros de longitud. La máquina que se muestra en la figura es una rozadora de doble tambor. La máquina de corte da continuas pasadas por el frente de la capa. La explotación no sigue el modelo de cámara y pilares (salvo en la zona de entrada y alrededores del tajo). La bóveda adyacente al frente de trabajo está soportada por una mampostería hidráulica, que se va moviendo a medida que avanzan las labores. El techo de detrás de las mamposterías va cayendo conforme progresa el techo autoportante.

teamericanas, el gobierno federal interviene de una forma directa en las etapas de investigación y desarrollo. Así, la National Aeronautics and Space Administration (NASA) contribuye al diseño de los aviones y el Departamento de Agricultura toma parte en los trabajos de mejora vegetal y animal. En minería, sin embargo, el gobierno (a través de la Oficina de Minas) ha concentrado un esfuerzo mayor en las condiciones de salud y seguridad de los mineros que en el aumento de la productividad. La investigación sobre la productividad (adjudicada al Departamento de Energía en 1977) se ha visto dificultada hasta cierto punto por las múltiples situaciones en que se hallan las minas. Quizá valdría la pena pensar que la industria privada se dedicara a simplificar y aumentar la seguridad y solidez de los equipos existentes, en tanto que el gobierno atendiera áreas tecnológicas planificadoras o proyectivas, sin olvidar los esfuerzos encaminados a verificar que una mayor mecanización se compensará con mayor productividad y seguridad.

Ejemplo de una idea prometedora que se adelantó a su tiempo fue el "minero automático". En muchas zonas, en Appalachia de un modo particular, las minas de superficie alcanzan sólo

parte de una vena de carbón; el trabajo debe suspenderse cuando la proporción de material por encima del carbón excede un valor aceptable. Se puede conseguir extraer más carbón haciendo grandes taladros o perforaciones en las laderas de la colina. En los años 50 y 60, las minas perforadas rindieron de 10 a 20 millones de toneladas de carbón por año, es decir, del dos al tres por ciento del total de la producción. La productividad de estas minas se cifró en 45 toneladas por hombre y día, unas 10 toneladas más que la mayor productividad de minas a cielo abierto.

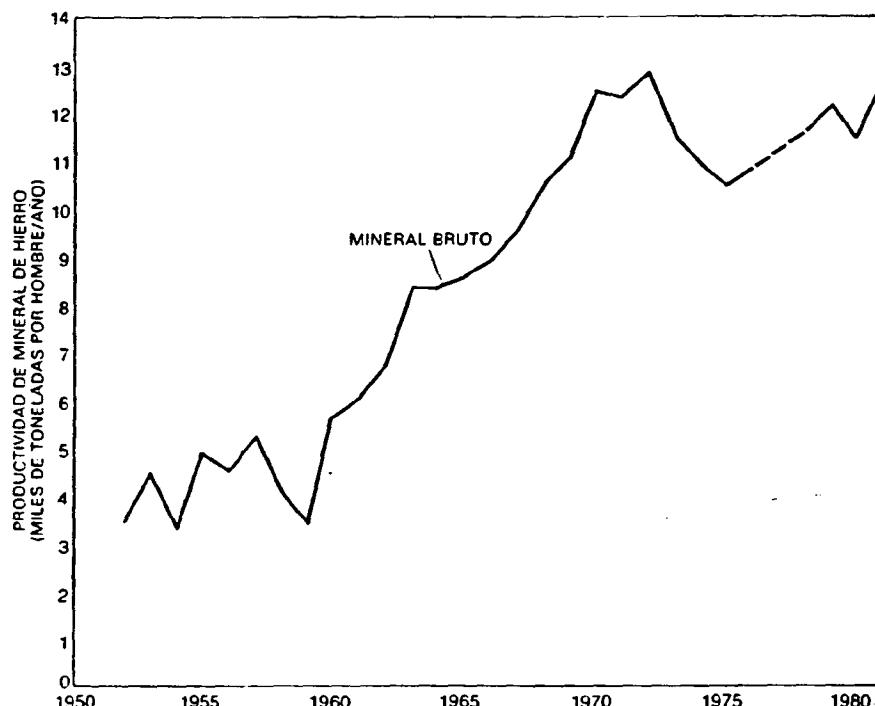
En los primeros años del decenio de 1960, cierta compañía se arriesgó a desarrollar una perforadora para carbón automáticamente controlada: el minero automático. En las pruebas sobre el terreno, se cosechó un rendimiento impresionante: extraía carbón a una media de casi 500.000 toneladas anuales. Pero ocurrió que, en las condiciones reales de trabajo, el minero automático resultó poco fiable y no pudo superar el rendimiento de las perforadoras convencionales. Sólo llegaron a construirse dos máquinas de éstas y se abandonó el proyecto.

En 1981, se introdujo en los Estados Unidos una máquina de características

similares a las del minero automático. Procedía de la Rhine-Schelde-Verolme Machine Fabriken en Scheepswerken N.V., unos astilleros de Holanda. El ingenio, conocido por minero de venas delgadas, está proyectado para minar venas de carbón de 610 a 1600 milímetros de altura en laderas de colinas. La cabeza cortadora busca la vena carbonífera con la ayuda de sensores que descubren los distintos niveles de radiactividad natural del carbón y de las capas adyacentes de ganga. Con la inserción de unas extensiones de seis metros, que permiten minar hasta una profundidad de 67 metros, se refuerza el alcance de la cabeza cortadora.

Asegura la casa fabricante que esta máquina recupera hasta el 85 por ciento del carbón a su alcance. Con un equipo de 4 hombres, se afirma, la máquina es capaz de extraer 420 toneladas en un turno de 8 horas, 105 toneladas por hombre y turno. Acaban de entrar en funcionamiento varias máquinas de este tipo en Estados Unidos. Valoradas en 2,5 millones cada una, no suelen venderse sino alquilarse. A cambio de las regalías ("royalties") percibidas sobre el carbón extraído, el distribuidor aporta un servicio completo, en el que entra la instalación, el equipo de obreros y el mantenimiento.

En la minería a cielo abierto tradicional, la secuencia básica de los trabajos no ha cambiado desde sus orígenes: retirar el material que está tapando la vena de carbón y recoger luego el carbón ya al aire. Con el aumento de tamaño y potencia de los equipos se ha conseguido explotar económicamente a cielo abierto venas de hasta 61 metros de profundidad con dragalinas y excavadoras cuyas cuchillas cargan hasta 138 metros cúbicos de tierra y roca. Para aflojar o remover el terreno, se perforan ahora barrenos de hasta 254 milímetros de diámetro y a 23 metros, pudiendo llenarlos con explosivos que se echan a granel desde grandes camiones. Para fracturar la vena de carbón se sigue el mismo sistema. El carbón se recoge con palas de hasta 17 metros cúbicos de capacidad y se cargan en camiones que transportan hasta 170 toneladas. La tendencia hacia unas mayores proporciones del equipo para minas de superficie se ha frenado. Las mejoras incorporadas en la maquinaria atienden ahora al rendimiento, fiabilidad y facilidad de reparación. Se fabrican grandes subconjuntos en modelos separados para agilizar el transporte, el asentamiento y las reparaciones posteriores.



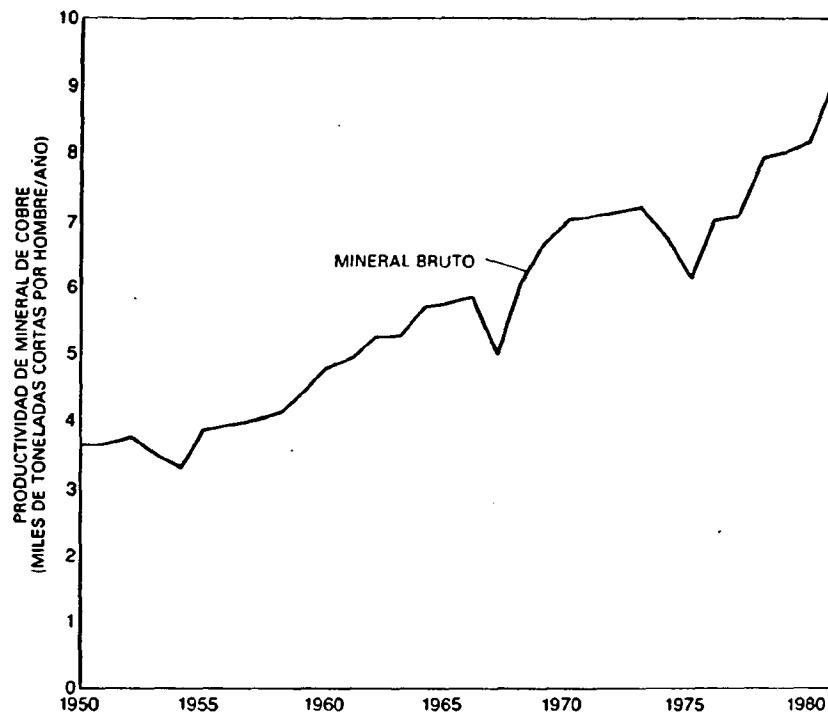
PRODUCTIVIDAD EN MINAS DE MINERAL DE HIERRO entre 1952 y 1981. Incrementó a un ritmo medio de 4,5 por ciento y año calculado sobre el arranque de mineral bruto (curva negra), pero a un ritmo mucho más bajo, de 1,5 por ciento, sobre la base de mineral útil. La mayor parte de mineral de hierro doméstico procede de minas a cielo abierto. Compárese el arranque de 4180 toneladas largas por hombre y año de mineral útil, en 1981, con la productividad de 6700 toneladas largas por hombre y año en minas a cielo abierto de carbón, donde la productividad se ha incrementado a un ritmo del dos por ciento anual.

Las herramientas de diagnosis, los equipos de seguimiento y control y las ayudas al trabajador se han hecho cada vez más importantes a medida que ha aumentado el precio del fuel y el costo de la maquinaria fuera de servicio por reparación o mantenimiento. Los computadores digitales han entrado en la industria minera como en todas las demás. Así, se ha programado un simulador de dragalina para que el operario aprenda a "sentir" las reacciones de la máquina antes de subir a ella. Cuando esté en plena faena, verá potenciada su habilidad mediante un sistema de retroinformación. Un computador en el panel de la máquina ofrece una señal visual del funcionamiento y guarda un archivo del trabajo y condiciones del ingenio, ayudando de esta manera a conseguir las máximas prestaciones con el mínimo mantenimiento.

La mayoría de equipos usados en minería de superficie podrían servir para excavaciones y movimiento de tierras en general; hay, sin embargo, una máquina que está altamente especializada. Me refiero a la excavadora con rueda de cangilones, que constituye una gran promesa para la extracción económica de carbones del Oeste y lignitos de Texas, algo más bajos en energía que los que se recuperan normalmente. Estas gigantescas máquinas, construidas en Alemania Occidental por O & K Orenstein & Koppel Aktiengesellschaft, tienen unas ruedas que miden de 7.8 a 15 metros de diámetro. Pueden remover rápidamente un gran volumen de tierra superior y depositarla a miles de metros de distancia mediante cintas transportadoras, sin necesidad de recurrir a los camiones o cualquier otra manipulación posterior del material.

La excavadora de cangilones permite recuperar venas a más de 90 metros de profundidad, lo que trasciende con mucho cuanto hasta ahora se consideró posible para cielo abierto. En un turno de 8 horas, la máquina puede quitar hasta 2400 metros cúbicos de tierra, el equivalente a evacuar un campo de fútbol hasta una profundidad de 4,5 metros. Aunque el costo de la máquina se halla entre 15 y 40 millones, según el tamaño, resultará rentable para minas que produzcan dos millones de toneladas al año o más, sobre todo si el cliente es una central térmica cercana. Bajo estas condiciones se puede producir electricidad a precios competitivos a partir de carbones y lignitos de bajo poder energético.

Las empresas de minas a cielo abier-



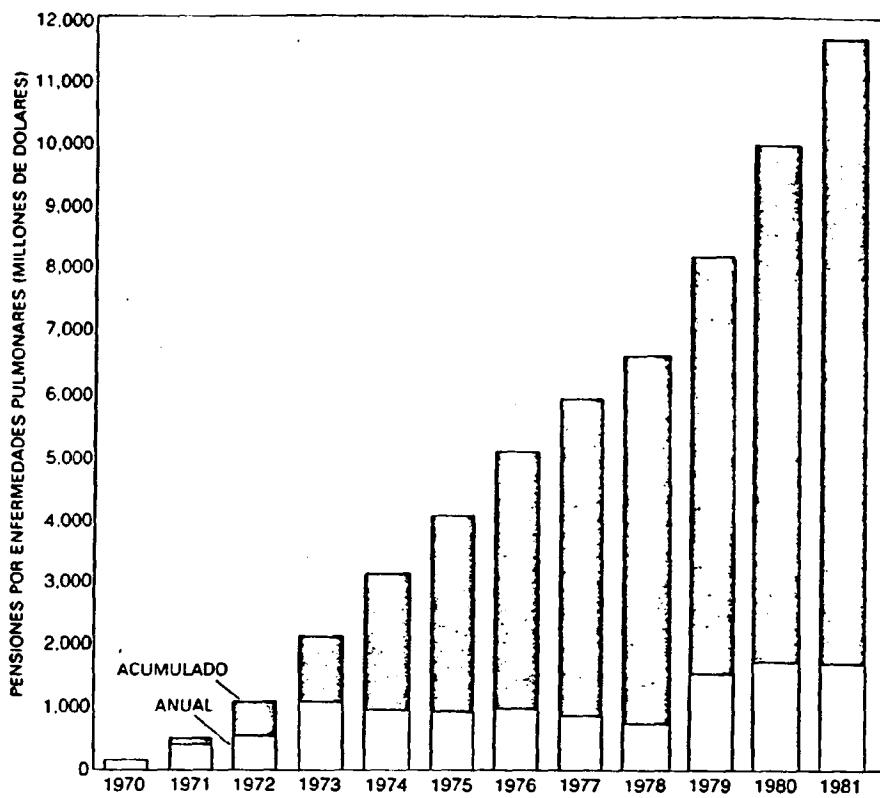
PRODUCTIVIDAD DE LA MINERIA DE COBRE entre 1950 y 1981. Aumentó a un ritmo del tres por ciento anual en arranque bruto (curva negra) y a un ritmo del 1,2 por ciento anual para el metal recuperable (color). El 85 por ciento del tonelaje de mineral de cobre se extrae de minas de pozo abierto. En 1950 cada tonelada de mineral de cobre en mina contenía una media de 19 libras (8,7 kilogramos) de cobre. En 1981 el contenido medio de metal ha descendido hasta 11 libras (5 kilogramos) por tonelada de mineral.

to están obligadas, por ley, a dejar las zonas minadas con su contorno original, hábiles para el uso que tenían antes de su explotación. La potencia necesaria para nivelar los escombros sueltos es mucho menor que la necesaria para romper el terreno originario y compacto. Este trabajo lo realizan de forma eficaz grandes explanadoras. En unas pruebas recientes, se acoplaron en paralelo dos explanadoras, unidas a una sola pala de 12 metros, manejadas por un obrero. Vuelta la tierra a su sitio, se siembra. Mullidoras mecánicas cortan heno y lo reparten en las laderas o taludes para evitar la erosión. En muchos casos, se distribuye con avionetas la siembra, los abonos y el estiércol. No es raro que el terreno así devuelto sea más rico que antes de ser minado.

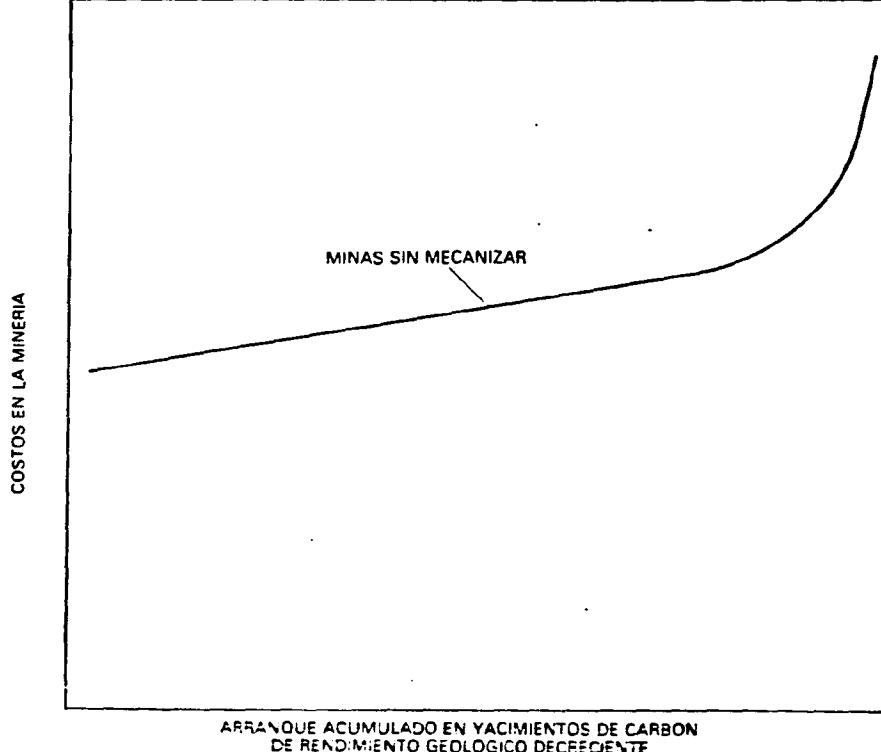
Los mineros de superficie deben tener su propia capacitación, distinta de la urgida en las minas subterráneas. Aunque la planificación de las funciones directamente relacionadas con el carbón corre a cargo de los ingenieros, los obreros al frente de dragalinas, palas, camiones y explanadoras que trabajan en las minas a cielo abierto carecen, por lo común, de experiencia minera, si bien proceden de otras obras públicas o privadas implicadas en movimientos de tierras.

A lo largo de los años, los beneficios de la mecanización de las minas, acusados en la productividad y los sueldos, se han visto obscurecidos por los nuevos riesgos introducidos por los cambios de tecnología. A partir de 1870, cuando se empezó a llevar un registro, el número de accidentes mortales en Estados Unidos descendió al principio para aumentar después. El índice de muertes de 1880, 2,2 hombres por cada 1000, se sobrepasó en 52 años de los 53 siguientes. Sólo a partir de 1948 quedó el índice por debajo del 2 por mil, con la excepción de 1968 en que alcanzó 2,2. Ello no obstante, la tendencia global desde 1907 (el año peor del siglo en que murieron 3100 mineros en accidente) ha sido a la baja. Desde 1970 el número de mineros del carbón muertos da una media de 140 por año, importante descenso en relación con la media de la década precedente.

El riesgo más serio introducido con la mecanización fue el polvo fino de carbón, que se convirtió en un verdadero problema cuando las máquinas sustituyeron al pico para el arte inferior del frente. El peligro aumenta cuando, al cortar el carbón, se libera gas metano atrapado en su interior. Si el metano se mezcla con el aire en proporción del 5 al 15 por ciento, la mezcla se torna alta-



PENSIONES DE LOS MINEROS JUBILADOS que sufren enfermedades del pulmón. Se sufragán en parte por la imposición de 50 centavos de dólar por tonelada de carbón de cielo abierto y 1 dólar por tonelada en el caso de minas subterráneas. Este fondo aportó 600 millones de dólares a las pensiones de este colectivo de 90.000 mineros el año pasado. La Seguridad Social, por su lado, agregaría otro millón.



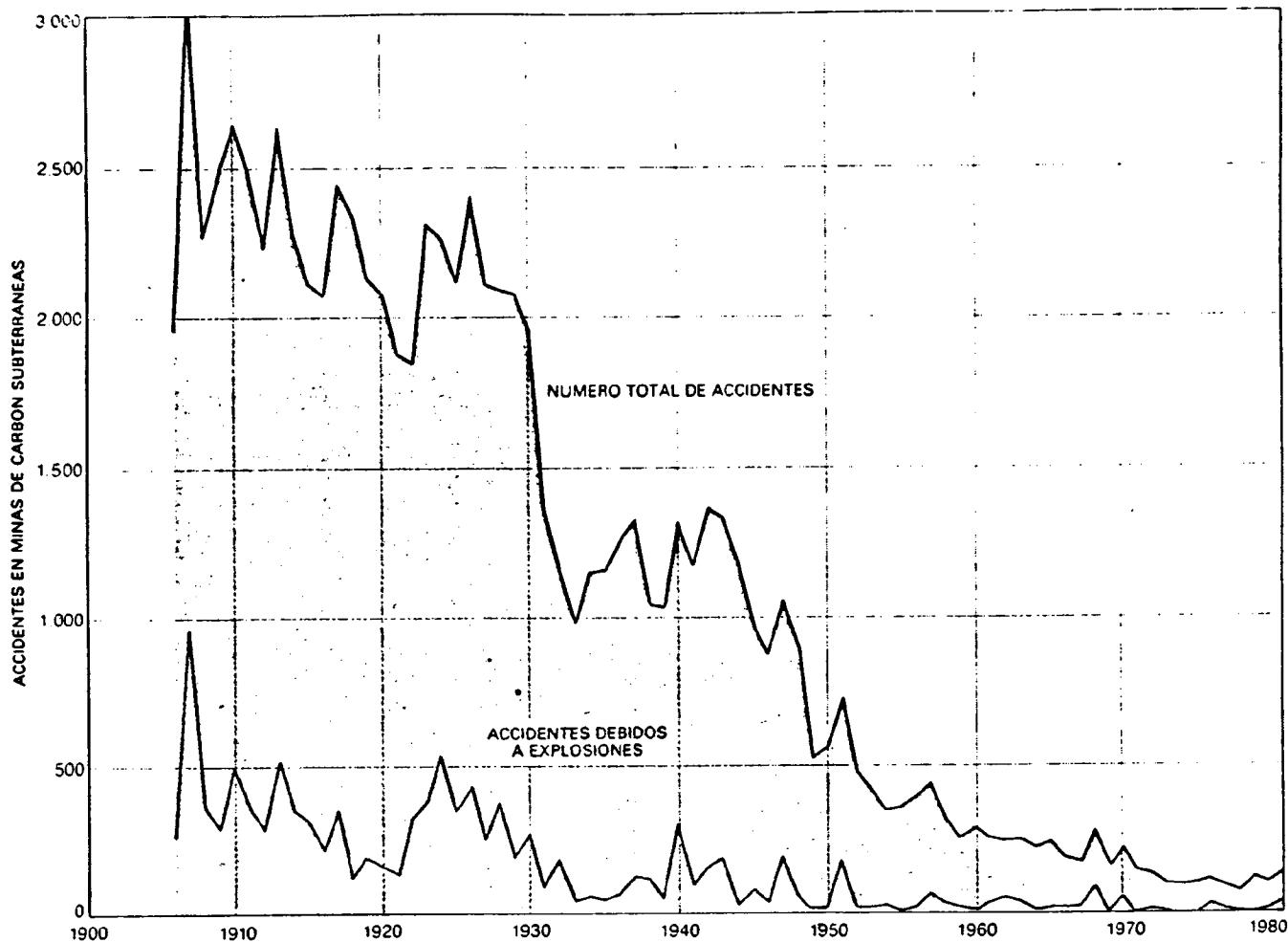
MECANIZACION EN MINAS DE CARBON ALEMANAS. Un estudio paradigmático ha puesto de relieve que los beneficios de la mecanización disminuyen cuando las capas de carbón son menos accesibles y de peor calidad. A la larga, el coste por unidad de carbón extraído en una mina mecanizada es mayor que en otra no mecanizada en explotaciones de capas equiparables. El diagrama procede de un informe elaborado por Gunter B. Fettweiss, de la Universidad de Minas y Metalurgia de Leoben, Austria.

mente explosiva. La explosión de una pequeña cantidad de metano puede cebar una explosión mucho mayor de polvo de carbón, o incluso una serie de explosiones que se pueden propagar a lo largo de la mina. Todo parece indicar que fue una serie de explosiones la que mató a 358 mineros en una mina de Virginia occidental en diciembre de 1907, constituyendo la catástrofe más grave registrada en un solo accidente.

Las primeras máquinas rozadoras aumentaron el grado de fractura del carbón y, con ello, el de liberación de metano. Esto instó la necesidad de mejorar la ventilación. Pero las cosas se complicarían con la introducción de las máquinas continuas, no sólo porque el carbón se cortaba más deprisa, sino también porque producía partículas más finas y más polvó. Las máquinas van equipadas ahora con sensores de metano que las paran antes de que la concentración adquiera niveles peligrosos. El corte se hace además bajo un chorro de agua que evita el polvo. Si bien no hay ninguna otra precaución más segura contra la acumulación de polvo que pintar las paredes con una capa de cal muerta a medida que avanza el frente.

La mayoría de los artículos que la legislación dedica a la seguridad minera vinieron urgidos por los accidentes. La historia de los organismos estatales está jalona de medidas tomadas para prevenir fuegos y explosiones en las minas, así como para mejorar las operaciones de rescate. El Federal Coal Mine Health and Safety Act de 1969 y las enmiendas introducidas en 1977 otorgaron a la Oficina de Minas toda la responsabilidad en la seguridad e higiene de los obreros. La legislación se vio precipitada en parte por los esfuerzos del sindicato para conseguir compensaciones a favor de los trabajadores que habían contraído la enfermedad de los "pulmones negros" por inhalación prolongada de polvo de carbón. Otro factor fue una serie de accidentes que produjeron 311 defunciones en 1968, incluyendo una explosión en Farmington, que mató a 78 mineros.

El polvo que se respira en las minas subterráneas continúa siendo un grave problema sanitario. Otro lo es el ruido. Está demostrado que una exposición prolongada a altos niveles de ruido provoca una hipoacusia permanente. El costo total de esto para el minero, su familia y la sociedad no es fácilmente mensurable, aunque sí de innegable importancia. Por supuesto, existen otras industrias donde los persistentes



**BAJAS POR ACCIDENTE** en minas de carbón subterráneas. El número de muertes ha descendido bruscamente en los últimos 50 años al ganarse en seguridad. La mayoría de los accidentes en las galerías débense al desplome de techos y hundimientos de terrenos, que solían cobrarse unas 1000 o 1200 vidas

por año hasta 1931. Las explosiones son temidas por su potencial para matar a muchos hombres en un solo episodio. Las explosiones ocurren cuando el metano liberado del carbón fracturado alcanza concentraciones peligrosas. Una explosión de metano puede inducir una explosión de polvo de carbón.

altos niveles de ruido dañan el oído de los obreros. Desde 1970, la industria del carbón ha progresado bastante en lo concerniente a la reducción del ruido de las máquinas, tanto de superficie como de interior. En Australia, sin embargo, el número de reclamaciones por sordera laboral ha subido vertiginosamente, llegando a 600 en 1979 y 1980.

Estados Unidos comenzó a pagar beneficios a los mineros retirados por enfermedad de pulmones negros en 1970. A lo largo del primer quinquenio, los subsidios acumulados se elevaron a 3100 millones de dólares. En el quinquenio siguiente se pagaron otros 5100 millones. Hasta ahora, el programa ha costado 11.700 millones de dólares.

El Health and Safety Act de 1969 especifica que el polvo respirable en las minas de carbón no debe superar los dos miligramos por metro cúbico de aire. Las minas celulares, incluidas las que trabajan con máquinas continuas, han mantenido esa cláusula. Pero las minas de frente largo no pueden cum-

plirla de un modo permanente en la mitad de las operaciones. El gobierno y las empresas han aunado esfuerzos para resolver el problema. En 1970, alrededor del 15 por ciento de los mineros del carbón de interior tenían, en algún grado, la enfermedad de los pulmones negros. La incidencia se cifra hoy en torno al seis por ciento.

**A** imagen de lo que ha venido ocurriendo, los cambios que se prevén en la tecnología minera, en lo que queda de siglo, tendrán un carácter evolutivo, más que revolucionario. Se necesita un período de 10 o 20 años al menos para que una nueva tecnología reemplace a otra más vieja. Las razones son las mismas que las que se podrían citar para cualquier otra industria: el alto costo de capital que importan los nuevos equipos, la tendencia de los usuarios a seguir con los métodos ya experimentados y la falta de seguridad en el funcionamiento de nuevos sistemas. La innovación en la minería subterránea

del carbón se encuentra con un obstáculo específico: el cambio en un sistema parcial, el transporte por ejemplo, puede necesitar de un cambio en el sistema total de trabajo. Se espera que la minería de frente largo, que requiere los cambios más radicales de todos, crezca: lo que dependerá en parte del éxito que consiga en adaptarse a venas delgadas en el este y a gruesas en el oeste.

El futuro de la minería de cielo abierto se hallará sujeto a la concepción que se tenga de la economía de escala. El empresario es consciente de que se ha invertido demasiado en equipos. Es de esperar, pues, que se mitigue la tendencia a comprar maquinaria de superficie cada vez más imponente. A medida que las minas a cielo abierto avancen hacia mayores profundidades, sus costos se acercarán a los de la minería subterránea. A partir de entonces, la baja continuada de la minería subterránea, que se lleva produciendo en los últimos cincuenta años, comenzará a cambiar de signo.

PROSPECCION DE FOSFATOS SEDIMENTARIOS EN LA  
REPUBLICA ARGENTINA .

*O. Mastandrea \**  
*H. A. Leanza \**  
*C. A. Hugo \**  
*C. J. J. Oblitas \**

\* Servicio Minero Nacional, Argentina.

RESUMEN

En este trabajo se sintetizan los resultados de una prospección específica de fosfatos sedimentarios en el ámbito de la República Argentina.

La programación original incluye 18 cuencas y/o áreas de sedimentación marina que en conjunto poseen una superficie de 637.170 Km<sup>2</sup>. Hasta el momento se llevan prospectados 355.280 Km<sup>2</sup>, o sea el 55 % de la superficie programada originalmente. En algunas de las cuencas los trabajos ya se han finalizado, en otras han sido realizados en forma parcial y en las restantes aún no han comenzado. Hasta el presente se han hallado fosforitas en los lugares siguientes: 1) Ordovícico (F. Labrado) de Jujuy, 2) Silúrico (F. Los Espejos) de San Juan, 3) Tithoniano-Berriasián (F. Vaca Muerta) de Neuquén, 4) Paleoceno-Eoceno (F. Salamanca y F. Río Chico) de Chubut, 5) Mioceno-Oligoceno (F. Patagonia) de Chubut y Santa Cruz, y 6) Cretácico (F. Las Hayas) de Santa Cruz.

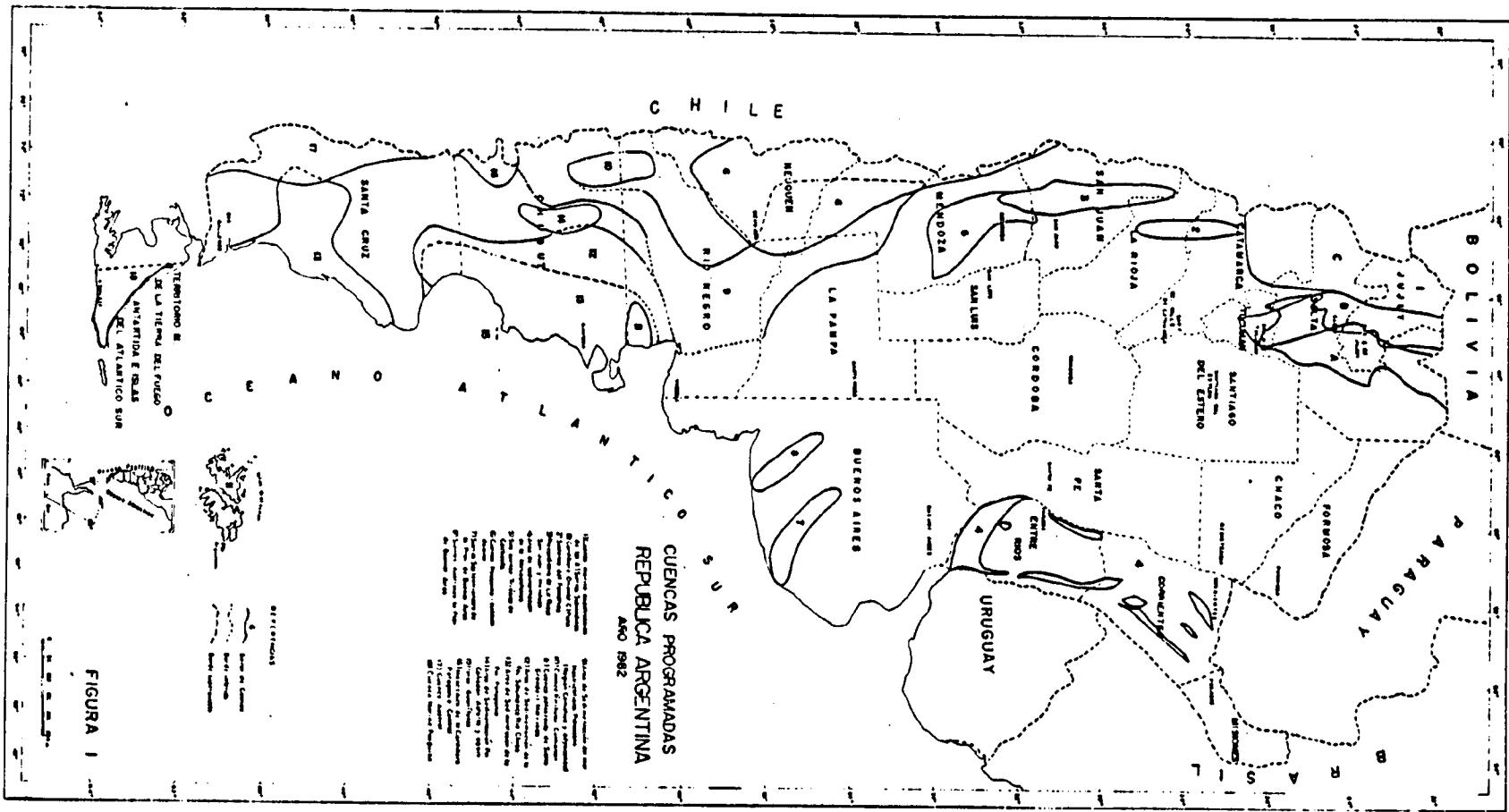
En el desarrollo del trabajo se refieren sumariamente las características de las fosforitas halladas, las cuales exhiben distintos aspectos organolépticos según la cuenca de sedimentación de donde provengan. También se reseñan prospecciones realizadas en diferentes comarcas con resultados negativos, lo que asimismo contribuye a despejar incógnitas en cuanto al potencial fosfatífero de nuestro país.

ABSTRACT

The results of an specific prospection of sedimentary phosphates carried out in the Argentine Republic are synthetized in this paper. The original program includes 18 sedimentary basins and/or areas of marine sedimentation which together occupies 637.170 Km<sup>2</sup>. Of these, 355.280 Km<sup>2</sup> have been prospected until recent, that is some 55 % of the originally planned program. In some basins the prospection have already been finalized, in others it was partially done, and in the rest it have still not commenced. Up to the present moment, phosphate bearing rocks were found in: 1) the Ordovician of Jujuy (Labrado Fm.), 2) the Silurian of San Juan (Los Espejos Fm.), 3) the Tithonian-Berriasián of Neuquén (Vaca Muerta Fm.), 4) The Paleocene-Eocene of Chubut (Salamanca Fm. and Río Chico Fm.), 5) the Miocene-Oligocene of Chubut and Santa Cruz), and 6) the Cretaceous of Santa Cruz (Las Hayas Fm.) The physical characteristic of the founded phosphorites are reviewed. As a rule, they all always appear with distinctive organoleptic aspects depending on which sedimentary basin they were originally formed. The prospections carried out in different areas with negative results are also summarized, as they also contribute to a better understanding of the phosphatiferous potential of our country.

INTRODUCCION

Con anterioridad al año 1970, fecha en que inició sus actividades el PLAN FOSFORITA, los fosfatos de origen marino eran prácticamente desconocidos en la República Argentina. La programación original del citado PLAN incluye 18 cuencas y/o áreas de sedimentación marina que por sus características litoestratigráficas y paleoambientales podrían potencialmente alojar depósitos fosfáticos de interés comercial. En conjunto ellas ocupan 637.170 Km<sup>2</sup>.



habiéndose prospectado hasta el presente 355.280 Km<sup>2</sup>, o sea el 55 % de la superficie original. En el Cuadro I puede visualizarse la superficie individual de cada una de las 18 cuencas y/o áreas de sedimentación, consignándose el porcentaje de trabajos realizados en cada una de ellas. Hasta la fecha, se han logrado hallar rocas portadoras de fosfatos en las provincias de Jujuy, San Juan, Neuquén, Chubut y Santa Cruz. En el desarrollo del trabajo se consignan las potencias, leyes, disposición estructural, características físicas, paleo-ambiente y edad de los distintos fosfatos. Es interesante destacar que todos ellos exhiben características organolépticas diferentes en tanto se originaron en cuencas de sedimentación donde prevalecieron distintas condiciones paleoambientales, confirmándose así el aserto de que cada fosfato constituye un problema particular. El ordenamiento seguido en este trabajo se efectúa en correspondencia con la numeración de cada una de las cuencas y/o áreas de sedimentación (Fig.1) especificadas en el programa original del Plan Fosforita dependiente del Servicio Minero Nacional.

La búsqueda de fosfatos es muy compleja ya que su éxito está condicionado a factores paleoambientales y físico-químicos que prevalecen en un área de sedimentación determinada, entre los que tienen especial significación profundidad y temperatura de las aguas, corrientes marinas ascendentes (upwelling), presencia de una prolífica biota, vulcanismo submarino, escaso o nulo aporte clástico y factores adecuados de pH y eH que confinen la precipitación de mineral fosfáticos. Sólo cuando los distintos factores concurren coincidentemente se producirá un adecuado ambiente de fosfatogénesis que producirá yacimientos tanto más importantes cuando ellos sean sostenidos. Por otra parte, en el valor económico de un yacimiento de fosfatos incide, además de la potencia, leyes y posición estructural de los niveles sus reservas, como asimismo su composición mineral en relación a ser usados directamente como hiperfosfatos o bien ser tratados y transformados en superfosfatos. Se desprende, en consecuencia, que la presencia de un yacimiento de fosfatos de importancia económica depende de la coincidencia de los numerosos factores mencionados, lo cual se ha producido en muy pocas oportunidades en el mundo durante el desarrollo de la escala geológica. En la República Argentina, a pesar de haberse logrado detectar numerosas manifestaciones fosfáticas aún no se ha logrado descubrir depósitos económicamente explotables. Sin embargo, se estima que la prospección debe ser continuada ya que en diversos casos en el mundo, muchos yacimientos han sido descubiertos a varios cientos de kilómetros de los primeros hallazgos.

En la presente contribución se sintetizan los trabajos realizados desde 1970 hasta la actualidad, existiendo como antecedente más próximo el informe "Estado actual de la prospección de rocas fosfáticas en la República Argentina que incluye información del quinquenio 1970-1975 (cf. Ser.Nac.Min.Geol., 1975). Información relativa al curso de acción del Plan Fosforita puede obtenerse también en A.F.Leanza (1972, 1973) y H.A.Leanza (1977). En las figuras 2 a 5 pueden visualizarse comprensivamente la ubicación geográfica y posición estratigráfica de las más importantes anomalías halladas.

#### RESUMEN DEL ESTADO DE LOS TRABAJOS EN LAS CUENCAS PROGRAMADAS

1.- Cuenca marina Eopaleozoica de las Sierras Subandinas, Cordillera Oriental y Puna(Fig.2) La prospección en esta cuenca fue iniciada por el Plan Fosforita en el año 1970 en el área del Río Capillas y mina "9 de Octubre", en las sierras de Zapla, provincia de Jujuy, detectándose anomalías fosfáticas en la denominada Serie Cuarcítica Ordovícica que comprende a las Formaciones Labrado y Centinela, las cuales contienen abundantes restos de caparazones

## CUADRO I

## Cuenca programadas y trabajos realizados (\*)

Nombre de la cuenca o área de sedimentación	Sup. Km2 aprox.	Km2 pros- pectados aprox.	% pros- pectado	Km2 a pros- pectar, aprox.
1) Cuenca marina eópaleo- zoica de las Sierras Subandinas, Cordillera Oriental y Puna.		(FM)		
2) Sistema del Famatina.	38.980	3.000	7.7	35.980
3) Precordillera de La Rioja, San Juan y Mendoza.	7.460	800	10	6.660
4) Área de sedimentación de la Mesopotamia.	26.580	22.580	85	4.000
5) Sub-cuenca triásica de Cacheuta.	3.600	3.600	100	
6) Cuenca Neuquina-sudmendo- cina.	22.000	200	0.9	21.800
7) Cuenca Neuquina-sudmendo- cina.	130.660	90.000	69	40.660
8) Sierras Septentrionales de la Prov. de Buenos Aires.	5.500	3.000	55	2.500
9) Sierras Australes de la prov. de Buenos Aires.	10.000	10.000	100	
10) Cuenca Ririhuau-Cushamen	16.000	4.000	25	12.000
11) Cuenca paleozoica de Sierra Grande e I. Malvinas	3.500 **	---	--	3.500
12) Área de sedimentación de la Fm. Salamanca-Río Chico.	80.000	50.000	63	30.000
13) Área de sedimentación de la Fm. Patagonia.	137.000	100.000	73	37.000
14) Área de sedimentación Fm. Cañadon Asfalto y equivalentes.	7.000	7.000	100	
15) Islas Guaníferas.	430	---	--	430
16) Mesozoico de la Cordille- ra Patagónica Central.	4.500	2.100	46	2.400
17) Cuenca Austral	26.400	4.000	15	22.400
18) Cuenca Marina Fueguina	17.560			17.560
TOTALS		637.170	355.280	55
				281.890

(\*) Para simplificar el cálculo de las superficies se ha tenido en cuenta el contorno de las cuencas y/o áreas de sedimentación y no la de los afloramientos de interés, cuya distribución, de carácter saltuario, es sensiblemente menor.

(\*\*) Esta cifra es solamente para Sierra Grande, ocupando las Islas Malvinas un área similar.

fosfáticas del braquiópodo Lingula sp. (cf. A.F.Leanza, 1972, 1973; Mastandrea y H.Leanza, 1975).

A instancias del Plan Fosforita, Fabricaciones Militares realizó por medio del Centro de Exploración Geológica Minera II (ex Plan NOA-1 geológico-minero área Salta y Jujuy), un estudio preliminar sobre una superficie aproximada de 3.000 km<sup>2</sup> en una faja NNE-SSO a lo largo de unos 220 Km que se extiende entre la frontera de Salta con Bolivia y la zona del río Capillas en la provincia de Jujuy. De varios sectores revisados se destacan 6 de interés, algunos de los cuales, como el de los ríos Porongal, Alisal e Iruya tienen espesores de 1,20 m y leyes de 11,9 % de P2O5 y el del río Margaritas-San Lucas, con potencia de 2,5 m y 14,4 % de P2O5, recomendando su investigación con carácter de exploración minero-económica.

La cuenca marina Eopaleozoica de las Sierras Subandinas, Cordillera Oriental y Puna tiene una superficie aproximada de 38.980 Km<sup>2</sup> y solo se prospectó el 7,7 %, restando unos 35.980 km<sup>2</sup>, que incluyen afloramientos de numerosas Formaciones del Cámbrico y Ordovícico, en las provincias de Salta y Jujuy que aún no han sido prospectados, y en las que recientemente se habrían hallado nuevos índices fosfáticos.

## 2.- Sistema del Famatina

El Sistema de Famatina abarca un área de 7460 Km<sup>2</sup> habiéndose prospectado hasta el presente un 10 % de esa superficie. Las sedimentitas ordovícicas en facies más profundas que las de Precordillera son las que se les asigna mayor importancia para la búsqueda de fosfatos. Se realizaron los primeros trabajos prospectivos en las Formaciones Negro Peinado y Volcán cito en las laderas oriental y occidental de la Sierra de Famatina con resultados negativos.

## 3.- Precordillera de La Rioja, San Juan y Mendoza (Fig. 2)

Ocupa un área de 26.580 Km<sup>2</sup>, habiéndose prospectado el 85 %. Aún falta revisar parte del sector Mendocino comprendido entre el río Cacheuta y el límite con la provincia de San Juan, con una superficie de 4.000 Km<sup>2</sup>. El sector Mendocino fué incluido como programa de prospección fosfática para el Plan Mendoza en el año 1978 y el Plan Fosforita lo considera no finalizado por tener sólo información parcial de una investigación de alrededor de 400 Km<sup>2</sup> en el área del cerro Salinas y en Villavicencio efectuada en 1979 con resultados negativos.

En la provincia de San Juan se lograron detectar manifestaciones de fosfatos. Ellas se encuentran en la conocida quebrada de Talacasto y consisten en un nivel anómalo situado en el contacto entre la Formación San Juan y la Fm. Los Espejos, entidades atribuidas al Ordovícico y Silúrico, respectivamente (cf. A.F.Leanza *et al.*, 1979).

La prospección en detalle del contacto Ordovícico-Silúrico en una longitud de 60 Km -tramo Qda. de Talacasto-Río San Juan- permitió comprobar la extensión de la anomalía con comportamientos disímiles en cuanto a tenores en P2O5 como por interrupciones parciales. El sector más importante quedó limitado a 18 Km extendidos entre la quebrada de Talacasto y la Qda. Tambolar donde el nivel fosfático mostraba potencias desde 0.20 m hasta 0.60 m y leyes desde el 3 % hasta el 12 % de P2O5.

En la Quebrada de Talacasto, teniendo en cuenta su ubicación y facilidades en el acceso, se realizó una prospección detallada, sobre un nivel mineralizado con espesores desde 0.10 m -con tenores extremos desde el 1 % hasta el 14 % de P2O5- y en una extensión de 10 Km se determinan 8 pequeños cuerpos mineralizados, fácilmente extraíbles a cielo abierto, que en total alcanzan unas 23.500 t con leyes promedios desde el 2,13 % al 5,12 % de P2O5.

Petrográficamente, el horizonte anómalo está compuesto por areniscas (vaques cuarzosas)

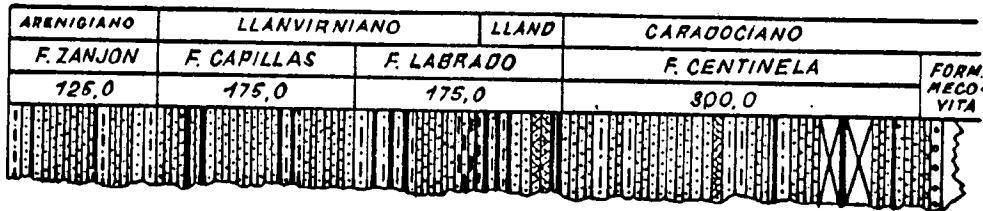
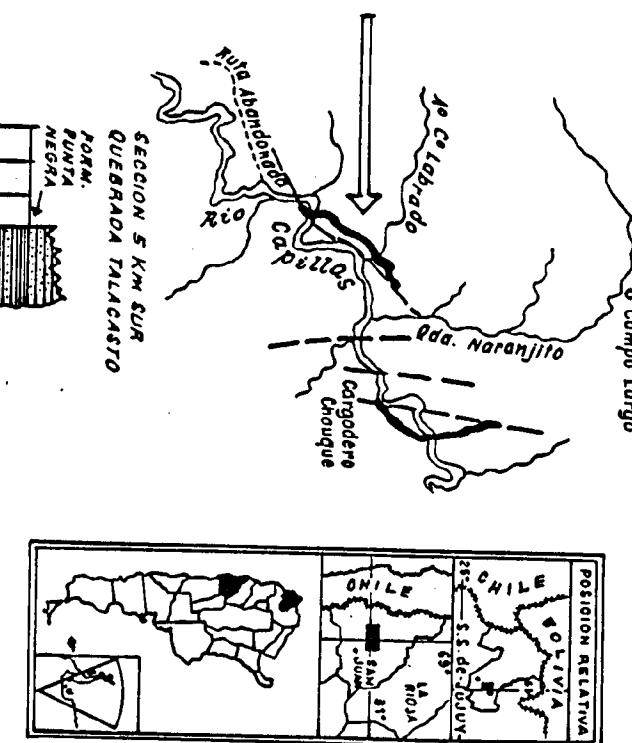
# FOSFATOS DE LAS PROVINCIAS DE JUJUY Y SAN JUAN

SECCION RIO CAPILLAS

FIGURA 2

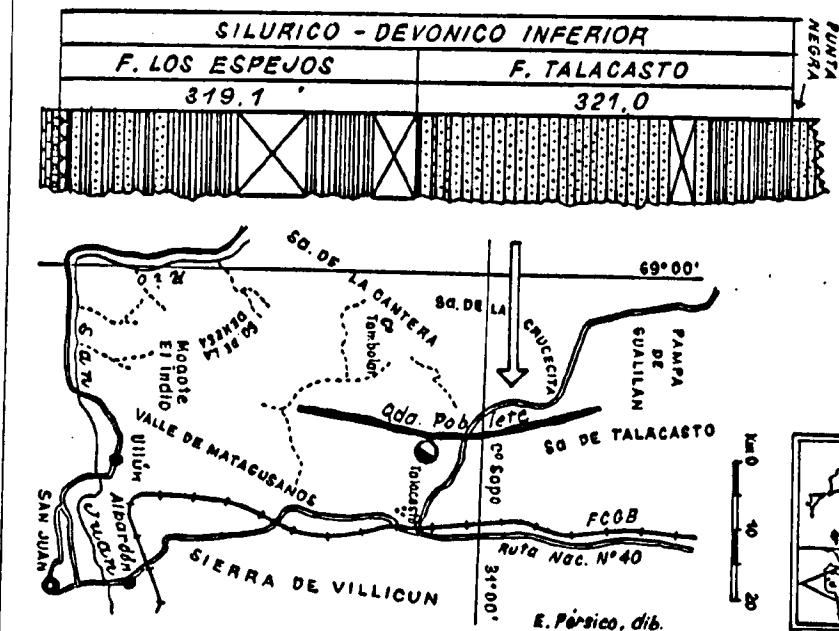
0 0,7 2,8 Km

POSICION RELATIVA



0 100 200 m  
ESCALA VERTICAL

- Cubierto
- Conglomerado
- Areniscos
- Areniscas entrecruzadas
- Areniscas fisiolíticas
- Niveles fosfáticos
- △ Falta
- Sección estratigráfica
- Lutitas
- Calizas
- △ Niveles de chert
- Conglomerado calcáreo



finas de color pardo oscuro, con óxido de hierro tipo goethítico, colitas de chamosita, y cemento de colofano. Una muestra de 100 kilos del mineral de la Qda. de Talacasto con ley del 11,24 % de P205 fué enviada a mediados de 1975 al Instituto de Investigaciones Mineras de la Universidad Nacional de San Juan para su tratamiento mineralúrgico.

#### 4.- Área de sedimentación de la Mesopotamia

Se revisaron rápidamente en las provincias de Entre Ríos y parte de Corrientes los afloramientos localizados en los cursos de ríos y arroyos que forman los sistemas del Paraná y Uruguay.- Fueron prospectados los sedimentos de las transgresiones marinas del Cenozoico (Mioceno-Plioceno) y del mar Querandino del Pleistoceno (Holoceno), con resultados muy malos (0,4 % de P205) a negativos.

Posteriormente, en el año 1978, se continuó con los trabajos hasta completar los 3.600 km<sup>2</sup> de afloramientos en esa área, revisándose también algunos afloramientos atribuidos al Cretácico superior.- Los resultados fueron igualmente negativos y en algunos casos llegaron hasta 0,70 % de P205.

#### 5.- Sub-Cuenca Triásica de Cacheuta.

Esta cuenca de sedimentación ocupa una larga faja que atraviesa la provincia de Mendoza, llegando por el sur casi al límite con La Pampa y hacia el norte penetra en la provincia de San Juan. Ha sido dividida en varias sub-cuencas, siendo de interés para el Plan la de Cacheuta.

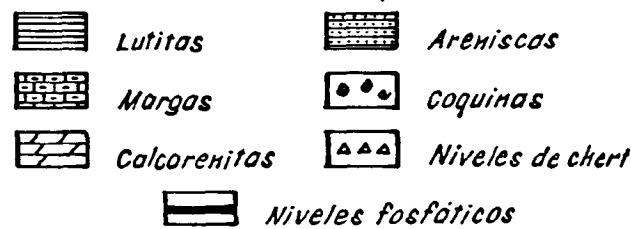
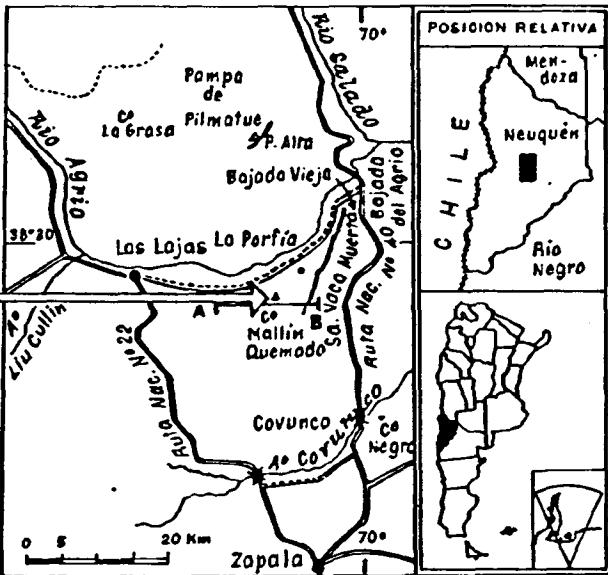
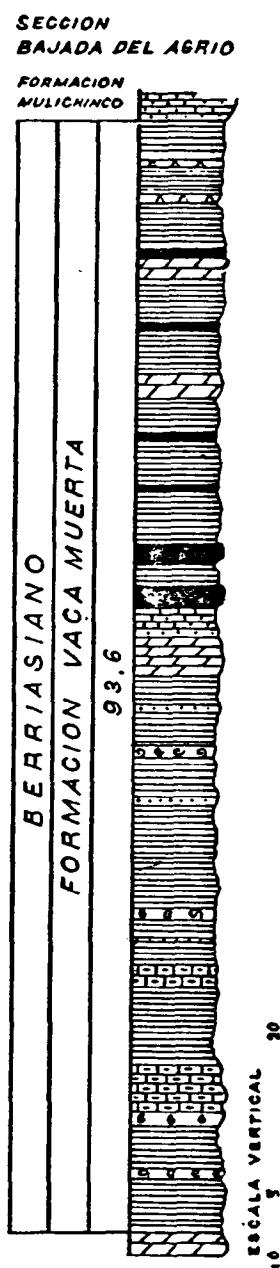
Stoll (1950) hace referencia de yacimientos fosfáticos sobre el flanco occidental del C° Cacheuta, formado por bancos de fosforitas interestratificadas dentro de los esquistos bituminosos de los denominados Estratos de Cacheuta y acompaña con algunos análisis químicos con tenores desde el 0,25 % hasta el 36,48 % de P205. Posteriormente Aparicio (1963) por convenio entre el Instituto de Investigaciones Mineras de la Universidad de Cuyo y la ex Dirección Nacional de Geología y Minería, realizó una investigación más completa cuyos resultados fueron desfavorables, no superando el 1 % de P205 y en forma errática un valor superior al 11 % de P205; como dato de interés prospectivo hace mención de briozoarios cuyas vainas han sido reemplazadas por colofano.

El Plan Fosforita realizó una visita rápida en el año 1976, a los fines de reconocer las Formaciones Cabras, Cacheuta, Potrerillos y Grupo Rincón Blanco. Las muestras orientativas extraídas fueron negativas.

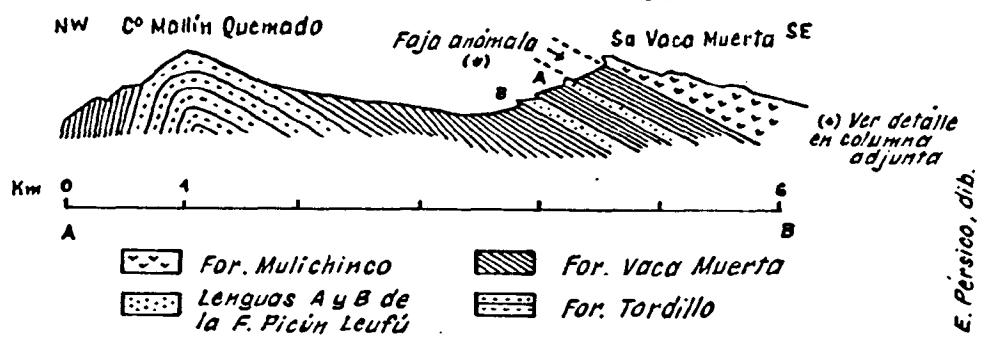
A pesar de que los estudios posteriores efectuados sobre esta sub-cuenca no corroboraron las anomalías descriptas por Stoll, el Plan Fosforita no descarta la posibilidad de existencia de indicios fosfáticos considerando que durante el Triásico el clima fué cálido y húmedo con alternancias de estaciones secas. Cuando primó clima húmedo se favoreció la formación de grandes cuerpos estables de agua, de miles de kilómetros cuadrados de superficie en los cuales reinaban condiciones por enteras euxínicas, lo que dió lugar a la formación de potentes paquetes de lutitas, por lo general bituminosas, como ocurre en el caso de la Formación Cacheuta. El clima cálido y húmedo en un relieve atenuado como se presupone para esa época, hizo posible la formación de un gran tapiz vegetal que preservó de los efectos erosivos y permitió un proceso de bio-rhexistasia con profunda meteorización y solubilización de los óxidos de los metales alcalinos, alcalinos-térreos, fosfatos, etc, que transportados por las corrientes de aguas fueron a depositarse en las áreas de grandes lagos que se formaron en ese período quedando en su lugar una fase residual con posibilidades teóri-

# FOSFATOS DE LA PROVINCIA DE NEUQUEN

FIGURA 3



## PERFIL ESKEMATICO



cas de la presencia de bauxita, arcillas con alto contenido de alumina, óxidos de hierro, etc.

La Sub-cuenca de Cacheuta tiene una superficie de 22.000 km<sup>2</sup> habiéndose prospectado hasta el presente 200 km<sup>2</sup> o sea el 0,9 % de la misma.

#### 6.- Cuenca Neuquina-Sudmendocina (Fig. 3)

Esta importante cuenca de sedimentación marina tiene una superficie de 130.660 km<sup>2</sup>, habiéndose prospectado unos 90.000 km<sup>2</sup> o sea un 69 % de la misma. Restan aun prospectarse 40.660 km<sup>2</sup> en áreas de alta cordillera, desde el río Atuel al sur hasta el Paso Espinacito (lat: 30°50' sur) en la provincia de San Juan. El sector mendozino de alta cordillera, a instancias de la Dirección de Planes Especiales fue programada en el año 1978 para ser realizada por el Plan Mendoza.

Las manifestaciones fosfáticas más importantes de la Cuenca Neuquina-Mendocina fueron descubiertas en 1971 por el Plan Fosforita en el Tithoniano Berriásano de la Sierra de Vaca Muerta y adyacencias en la provincia del Neuquén. Los niveles fosfáticos están contenidos en una faja de 80 a 120 metros de espesor correspondiente a la parte superior de la Formación Vaca Muerta, limitada hacia abajo por la lengua superior de la Formación Picún Leufú y hacia arriba por la base de la Formación Mulichinco. La referida faja exhibe una corrida de 22 km de extensión, comprendida entre el C°Punta Alta, al norte, y Mallín Quemado, al sur, dentro de la cual se destaca el Área de Bajada del Agrio como la más importante.

Para observar el comportamiento de los horizontes anómalos fue necesario la apertura de labores a cielo abierto que se agrupan, de norte a sur, en las áreas siguientes: 1) C°Punta Alta, con 7 niveles con potencias de 0,10 m a 0,50 m y leyes del 1,0 % al 3,8 % de P205; 2) Bajada del Agrio, con 6 niveles, con potencias extremas de 0,20 m a 4,0 m y leyes del 1,5 % al 10,1 % de P205; 3) La Porfía, con 5 niveles con potencias desde 0,15 m a 0,30 m y leyes desde el 2,1 % al 5,4 % de P205 y 4) Mallín Quemado, con 12 niveles anómalos con potencias de 0,30 a 0,90 m y leyes del 1,8 % al 5,4 % de P205. Los niveles presentan un marcado aspecto lenticular. Estructuralmente, las capas de la faja anómala integran parte del flanco oriental del anticlinal de la Sierra de Vaca Muerta, exhibiendo un rumbo dominante noreste-suroeste e inclinaciones de 15° a 50° al estesureste, contra la pendiente del terreno.

Petrográficamente, las rocas portadoras de fosfatos, consideradas como verdaderas fosforitas, se agrupan en dos tipos litológicos: a) calizas fosfáticas y b) areniscas fosfáticas. Las calizas fosfáticas se identificaron como micritas y subesparitas (fósilíferas, oolíticas, terrígenas y nodulares), en las cuales el colofano se presenta como nódulos, restos fósiles reemplazados, fragmentos clásticos, oolitas y oolitas superficiales, e impregnando la calcita micrítica. Estos componentes fosfáticos integran desde el 2 % hasta el 40 % de la roca. Las areniscas fosfáticas son cuarzosas, feldespáticas y fósilíferas. El colofano se encuentra como nódulos, fragmentos clásticos, restos fósiles reemplazados, cemento, e impregnando la matrix. Constituye un 5 % a un 30 % del armazón de la roca y, en el caso de presentarse como cemento, hasta un 20 % de la misma.

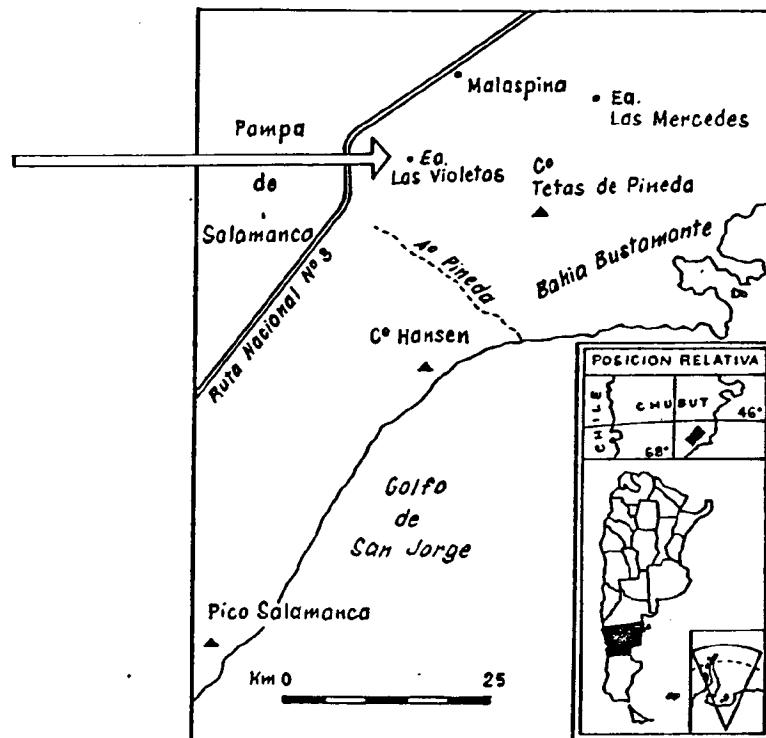
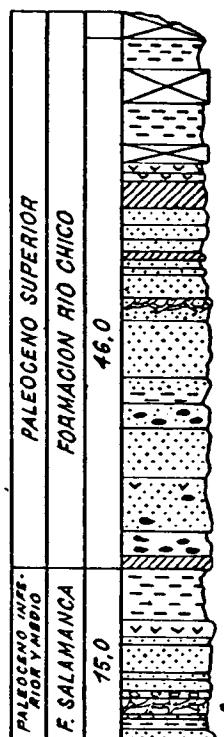
Por el tipo de asociación litológica puede asumirse para estas sedimentitas un ambiente litoral a nerítico (de plataforma) con amplia comunicación con mar abierto, energía moderada e importante y periódica influencia de las áreas de aporte terrígeno. La baja ley de la manifestación, sumada a su desfavorable posición estructural, hacen por el momento improbable su eventual explotación reddituable. Una descripción detallada de estas manifestaciones se debe a Mastandrea et al. (1975).

# FOSFATOS DE LA FORMACION RIO CHICO

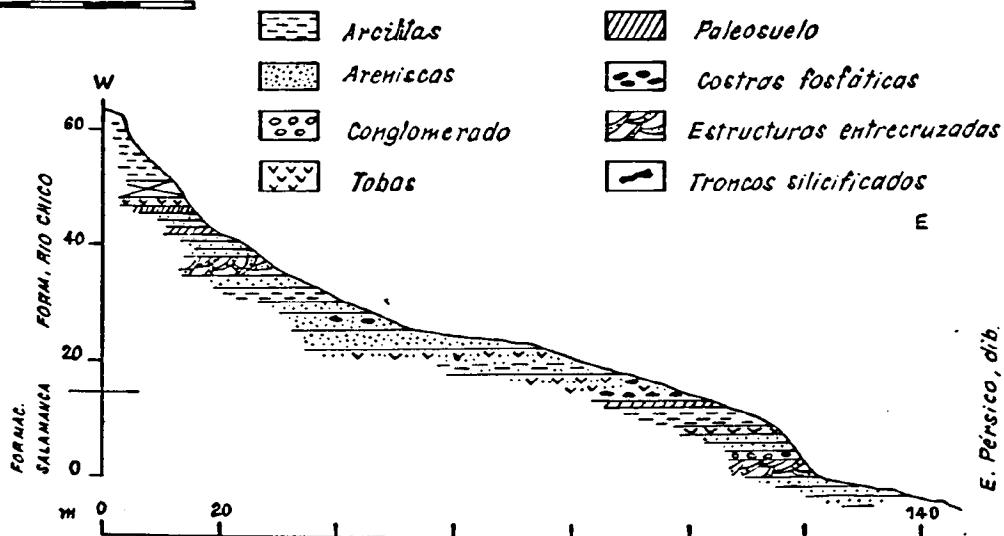
PROVINCIA DEL CHUBUT

SECCION LAS VIOLETAS

FIGURA 4



ESCALA VERTICAL  
D 5 20 m



Otro nivel de fosfatogénesis de distribución regional amplia, con leyes de hasta el 4 % de P205 fue situado en la base de la Formación Agrio en la región comprendida entre Cajón de las Máquinas y Pichaihue, en el norte de la provincia del Neuquén.

En la comarca de Rincón de las Mentiras, ubicada en la Sierra de Reyes, Provincia de Mendoza, existe una importante faja de sedimentos calcipelíticos que alcanza 150 metros de espesor con tenores bajos (hasta el 4 % de P205) pero muy continuos de fosfato. Las sedimentitas en cuestión corresponden a la Formación Vaca Muerta y se atribuyen al Tithoniano-Berriano. Ellas corresponden a una secuencia estratigráfica condensada dado que la Sierra de Reyes constituyó en esa época un alto fondo submarino. Acorde con el gran espesor que posee esta corrida se sugiere una ulterior evaluación de esta importante acumulación fosfatada.

#### 7.- Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires.

Abarca una superficie de 5.500 km<sup>2</sup>, habiéndose prospectado el 55 %, restando en consecuencia 2.500 km<sup>2</sup>. Esté formada por cuarcitas, dolomitas, arcillas y calizas de edad Precámbrica y/o Paleozoico inferior. Litológicamente el ambiente marino es clásico para los yacimientos fosfáticos y se asemejaría al Mar Phosphoria del Pérmico de EEUU, faltando las facies más profundas.

Los valores de análisis químicos fueron -con reservas- bajos, no sobrepasando el 3 % de P205. Falta completar la prospección como asimismo el chequeo con nuevas muestras, ya que hay citas bibliográficas de dolomitas con fuerte contenido fosfático. Las áreas a revisar son Barker (Villa Cacique), Balcarce y Sierras Bayas.

#### 8.- Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires

En esta cuenca, que cubre unos 10.000 km<sup>2</sup>, se depositaron casi 6.000 metros de espesor de sedimentos marinos que forman los Grupos Curamalal, Ventana y Pillahuincó. Los dos primeros, que alcanzan a los 2.500 m de potencia, son eminentemente clásticos y fueron depositados en condiciones climáticas favorables para la deposición de fosfatos. En cambio, el Grupo Pillahuincó fué formado en condiciones glaciales o glacimarininas.

Los resultados de la prospección areal y expeditiva en esta cuenca fueron negativos. En algunas muestras aisladas se registraron valores que no superaron el 1.55 % de P205.

#### 9.- Área de sedimentación del mar maastrichtiano - eoterciario de la Región del Comahue y adyacencias.

Esta área de sedimentación de gran extensión abarca la porción centro-occidental de la Región del Comahue, suroeste de la provincia de Mendoza y noroeste de la provincia del Chubut. Ha sido revisada en forma saltuaria durante distintas campañas generalmente como complemento de la prospección de otras áreas.

A principio de la década del 70, en la provincia de Neuquén, se realizaron secciones estratigráficas en Bajada del Palo (área de la sierra Auca Mahuida) y sierra de Huantraico, prospectándose la Formación Roca con resultados negativos.

En el año 1974, se prospectaron expeditivamente los afloramientos de la Fm. Roca en su sección tipo (Fuerte General Roca) y en el área del lago Pellegrini, completándose en este último lugar la revisión de la Fm. Allen, con resultados negativos en ambos casos.

En el año 1975, se realizaron en el área de Malargüe (provincia de Mendoza) las secciones estratigráficas: arroyo Loncoche, Agua del Choique y El Mollar, revisándose el Grupo Malargüe, que comprende las Formaciones Loncoche y Roca. Los resultados fueron negativos.

En 1980, en el área del río Chubut medio, en la provincia homónima, se prospectaron las Formaciones Paso del Sapo y Lefipán en sus localidades tipo y en áreas adyacentes, con resultados negativos. Como dato importante se menciona el hallazgo de coprolitos en la Fm. Lefipán, que arrojaron el 26,65 % de P205.

Especial mención merece el hallazgo de débiles pero persistentes anomalías en la parte occidental de la provincia de La Pampa, en sedimentitas atribuidas tentativamente a la Formación Vaca Mahuida. Esta entidad, denominada originalmente por Sobral como Estratos Post-rocanenses, no forma parte del ciclo sedimentario marino maastrichtiano-daniano (Fms. Allen Jagüel, Roca, El Carrizo) pero se la incluye en esta área de sedimentación por estar geográficamente vinculada con aquel. Estas anomalías se relacionan con conspicuos niveles de "chert", y sus valores llegaron al 4,0 % de P205. Estas sedimentitas se habrían depositado durante el Eoceno, época en que existía un clima muy cálido y húmedo en nuestro territorio. Considerando el ambiente de sedimentación, rocas asociadas (chert, calizas, dolomitas, arcillas), posición estructural e indicios obtenidos, se considera al área de sedimentación de la Formación Vaca Mahuida como una zona de favorabilidad fosfática, susceptible de ser objeto de una prospección más amplia.

El área de sedimentación del mar maastrichtiano-eoterciario es de gran extensión pero con afloramientos aislados cubriendo 100.000 km<sup>2</sup>, de los cuales se estima haber observado en forma expeditiva 55.000 km<sup>2</sup>, que representan el 55 % de la cuenca.

#### 10.- Cuenca Nirihuau-Cushamen

En esta cuenca, de alrededor de 16.000 km<sup>2</sup>, se efectuaron trabajos de prospección en su parte sur comprendida entre las localidades de Esquel, lago Futralafquen, Trevelín, Arroyo Lepá, Leleque, Cholila, etc. abarcando una área de 4.000 km<sup>2</sup>, en el año 1977.

Se investigaron principalmente las Formaciones Rincón de Cholila y Rorquinco del Mioceno medio a superior; también se observó la Formación Esquel del Devónico y unos asomos del Liásico.

En esta primera parte de la prospección no se observaron anomalías fosfáticas.

#### 11.- Cuenca Paleozoica de Sierra Grande e Islas Malvinas

Estas sedimentitas afloran en un área restringida en el ámbito de la Sierra Grande, en la provincia de Río Negro.

Los afloramientos que revisten interés, desde el punto de vista de los fosfatos, estarían vinculados a la Formación Ferrífera compuesta por areniscas cuarcíticas, limolitas, arcilitas y horizontes ferríferos. Este conjunto de ambiente marino se atribuye al Eodevónico dada la presencia de Conularia quichua.

Las razones para incluir estas sedimentitas para la investigación de los fosfatos, está dada por: 1) la placa sudamericana en el Devónico daba una paleolatitud favorable pues correspondía a un paleoclima tropical a subtropical; 2) los análisis químicos de la mena ferrífera dán un porcentaje entre el 2 % hasta un 5 % de P205, constituyendo este último valor, una anomalía, y 3) estos afloramientos, salvo el horizonte ferrífero, no han sido investigados hasta el presente por fosfatos.

Esta área de sedimentación ocupa 3.000 km<sup>2</sup> y hasta la fecha el Plan no ha realizado trabajos prospectivos.

#### 12.- Área de sedimentación de las Formaciones Salamanca-Río Chico (Fig. 4)

Los trabajos en esta área se iniciaron en el año 1977, afectando a la Formación Río Chico de edad paleocena. Estas primeras tareas abarcaron la costa atlántica patagónica desde Bahía Bustamante hasta Puerto Visse, en seguimiento de indicios fosfáticos localizados en 1975 por YPF, en virtud del Acta de Colaboración entre esta Repartición Nacional y la Secretaría de Estado de Minería (cf. C.A. Hugo *et al.*, 1981).

Se realizaron varias secciones estratigráficas y algunos trabajos en detalle en un sector donde se observó mayor frecuencia de anomalías fosfáticas. Las anomalías están compuestas por costras de secreción que fueron determinadas como tobas fosfáticas que poseen desde algunos kilogramos hasta más de 6 toneladas. Están distribuidas en forma irregular, e inmediatamente por encima de un nivel de paleosuelos. Del trabajo en detalle se pudo inferir que la erosión había dejado al descubierto, en una extensión de 15 km, unas 1500 toneladas de material fosfático con leyes del 15 al 22 % de P205. Una partida de 100 kilos fué ensayada por el INTA con resultados positivos.

En el año 1979, se revisaron estos sedimentos desde el área de Colonia Sarmiento hasta sierra Chaira en la provincia del Chubut. Los resultados fueron negativos, salvo en la estancia El Sol se observaron hasta 3 niveles crecionales que llegaron en el mejor de los casos a 26,38 % de P205.

En 1980, se revisaron las formaciones Salamanca y Río Chico siguiendo el valle medio e inferior del río Chico, como así también los afloramientos ubicados hacia la costa atlántica patagónica. En el valle medio del río Chubut los valores alcanzados fueron del 1,1 % al 3,1 % de P205 y en algunas muestras aisladas hasta el 23,8 % de P205. A unos 24 km al SW de Camarones, en el paraje conocido como Zanjón de Lema, se hallaron en la Fm. Salamanca indicios fosfáticos altamente radioactivos (hasta 10.000 cps) que cubren alrededor de 1 km<sup>2</sup> de superficie. La CNEA determinó que el mineral de Urano es Soddyta, al que se asocian colofano, Pirolusita, magnetita, goethita y ópalo.

Las leyes en P205 varían desde el 8,9 % hasta el 29,2 %, ésta última sobre un nivel de 0,20 m de potencia que contiene nódulos fosfáticos, cuya corrida a la vista alcanza 1 km de extensión.

Durante el año 1980 se realizó también una prospección areal y expeditiva en el valle inferior del río Chico hasta las inmediaciones del dique Florentino Ameghino. En esta área fueron hallados en la Fm. Río Chico, en el sector de la estancia Caamaño, dos anomalías fosfáticas con tenores de hasta el 13,6 % de P205 ubicados por encima de un nivel de paleosuelo y en un horizonte lenticular de areniscas azules. Resultados similares arrojaron costras fosfáticas en la Sag. Overas.

El área de sedimentación de las Formaciones Salamanca-Río Chico ocupa una superficie de 80.000 km<sup>2</sup>, la prospección alcanzó los 50.000 km<sup>2</sup> o sea el 63 % de la misma, restando unos 30.000 km<sup>2</sup> para su finalización en forma expeditiva y areal.

### 13.- Área de sedimentación de la Formación Patagonia (Fig. 5)

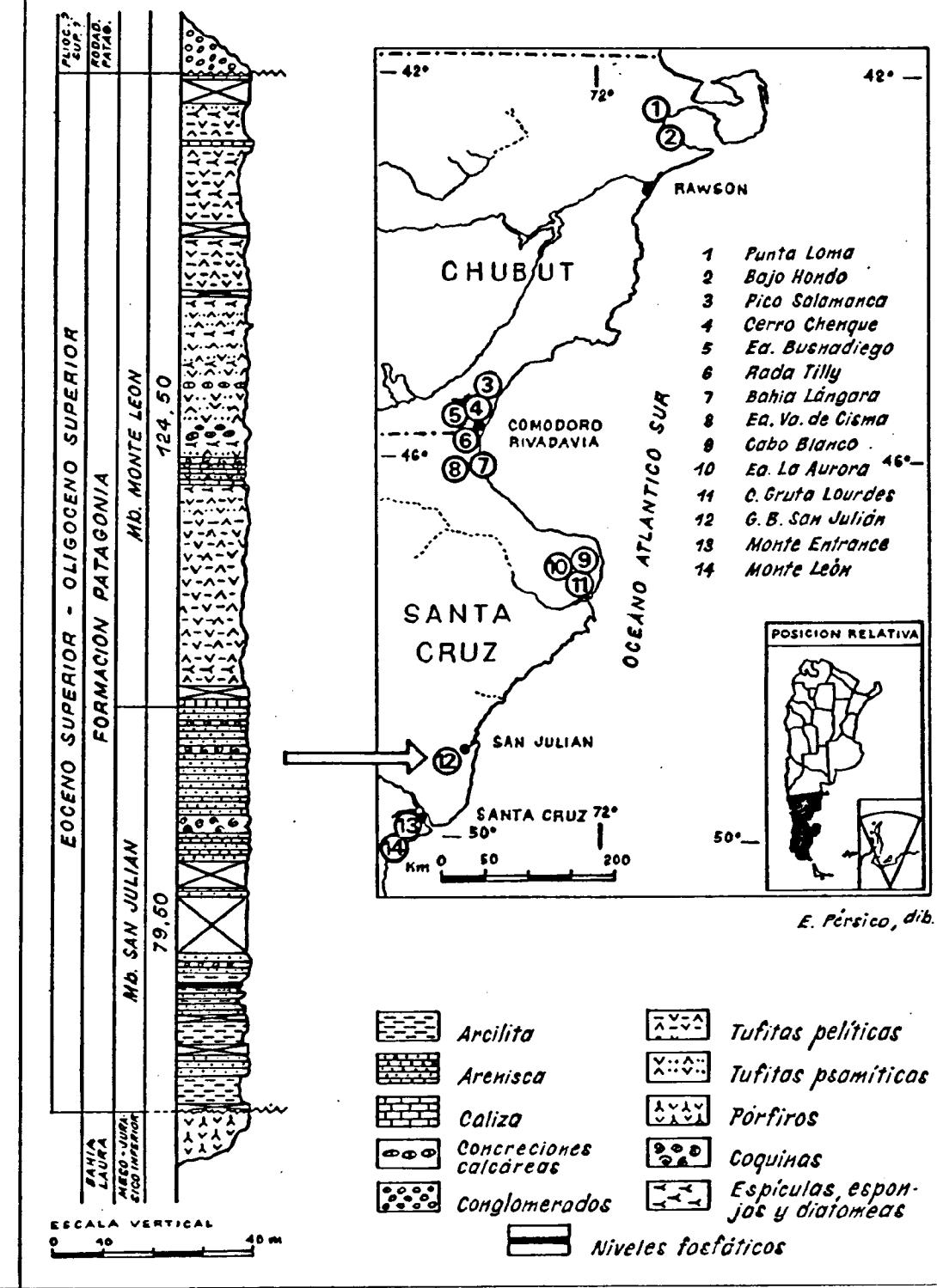
Esta área cubre una superficie de 137.000 km<sup>2</sup> habiéndose prospectado el 73 % de la misma o sea alrededor de 100.000 km<sup>2</sup>. Restan aún unos 37.000 km<sup>2</sup> para su finalización en forma expeditiva y areal.

En el terciario de la región patagónica, los últimos registros de clima tropical corresponden al Eoceno. Casi todo el "Patagoniano" *sensu lato* abarca desde el Eoceno hasta el Mioceno, pero el que aflora es de edad Oligocena hasta Miocena y corresponde a un clima templado a frío...

# FOSFATOS DE LA FORMACION PATAGONIA

SECCION  
GRAN BAJO DE SAN JULIAN

FIGURA 5



Los sedimentos del Eoceno marino están representados por escasos remanentes expuestos en la patagonia septentrional, uno de los cuales, conocido como Fm. Arroyo Verde, Miembro Sierra Chata, se halla en el sector nororiental de la provincia del Chubut.

En el año 1975, se realizó un reconocimiento previo en los afloramientos de la Fm. Patagonia en el sector costero de 290 km de longitud desde San Angonio Oeste hasta Trelew hallándose indicios fosfáticos en forma de concreciones aislados, con distribución discontinua y con el 10,9 % de P205.

A fines de 1976, se realizó una prospección orientativa areal en un sector de la patagonia austral comprendido entre Bahía Mazarredo, Gobernador Gregores y Puerto Santa Cruz. Se hallaron numerosas anomalías similares a las anteriores, algunas de las cuales llegaron hasta el 36 % de P205. Las anomalías más interesantes se registraron en el miembro San Julián de la Formación Patagonia en el Gran Bajo de San Julián, donde se hallaron dos niveles continuos pero delgados con tenores de 10,07 % de P205 formados por tobas fosfáticas constituidas en un 90-95 % de trizas de vidrio con material ferruginoso y fosfático (cf. H. Leanza et al., 1981).

En el año 1978 se continuó la prospección orientativa que abarcó la costa atlántica patagónica desde el norte de Comodoro Rivadavia (Chubut) hasta Puerto Deseado (Santa Cruz) al sur, totalizándose unos 300 km en forma perimetral. Se hallaron también anomalías fosfáticas concrecionales de distribución irregular con valores hasta el 19,10 % de P205. En la sección estratigráfica de Pico Salamanca, además de concreciones con 8,67 % de P205 se detectaron anomalías fosfáticas en el relleno entre valvas de ostras que llegan hasta el 5,08 % de P205. Valores similares también en el mismo relleno de las valvas se observaron en la base del C° Chenque de Comodoro Rivadavia.

Durante esta prospección se observó en sedimentos actuales que forman los cordones litorales la presencia de guijarros fosfáticos (pebbles) que en algunos casos alcanzan los 5 centímetros de diámetro, con distribución irregular y con leyes desde el 8,18 % hasta el 15,45 % de P205.

Para finalizar la prospección areal y expeditiva de esta área de sedimentación falta prospectar aún la zona comprendida desde Pico Salamanca hasta Trelew con una longitud de 400 Km y con un radio promedio de 50 km hacia el continente. Falta revisar el sector costero desde la Península de Valdés hasta la desembocadura del río Negro. Esta zona sumada a los asomos de las formaciones atribuibles al Eoceno (Fm. A° Ventana, Prov. de Río Negro y Fm. Arroyo Verde, Prov. del Chubut) cubren casi los 40.000 Km<sup>2</sup>.

Como trabajo de prospección en detalle falta evaluar los horizontes de tobas fosfáticas en el Gran Bajo de San Julián y delimitar la dispersión de los guijarros fosfáticos en los cordones litorales con el fin de hallar sectores con mayor concentración, máxime que estudios recientes llevados a cabo por el U.S. Geological Survey detectaron depósitos actuales en el fondo del mar (isobata - 180-200 m) entre las islas Malvinas y el extremo sur de la provincia de Santa Cruz.

◆ 14.- Área de sedimentación de la Formación Cañadon Asfalto y equivalente.

Estas sedimentitas afloran en la porción noroccidental de la provincia del Chubut, sus mejores asomos se encuentran en las proximidades del valle del río Chubut medio, extendiéndose la cuenca hacia el sur hasta los alrededores del puesto La Potranca a unos 60 km al SE de Paso de Indio.

El origen de estas sedimentitas debe buscarse como relleno de pequeñas cuencas de lagos

de aguas salobres incomunicados entre sí. La edad de esta Formación es Jurásica, asignándose con dudas al Oxfordiano.

La búsqueda de fosfatos en estas sedimentitas se realizó a pesar de que las mismas no son marinas, pero se tuvo en cuenta su litología y ambiente de deposición que es muy apropiado: calizas oolíticas y pisolíticas con niveles de ffnitas interpuestos, lutitas negras, areniscas finas, etc. La presencia de calizas algáceas, así como la existencia de yeso, indican condiciones de clima árido a semi-árido; los sedimentos de deposición química, como las calizas oolíticas, indican aguas agitadas y las lutitas determinan un ambiente tranquilo y preservado de la oxidación, la suma de estos factores indican buenas condiciones teóricas para su investigación.

De los 7000 km de esta área se prospectó aproximadamente el 40 % en el año 1980, en el área del río Chubut medio comprendida desde Paso Berwyn hasta Paso del Sapo. A pesar de quedar más de la mitad de su superficie se considera que, de acuerdo a los resultados obtenidos del orden del 1 % o menos de P205, debería abandonarse su investigación.

#### 15.- Islas Guaníferas

Ocupan una superficie aproximada de 430 Km<sup>2</sup> y se hallan situadas frente a la Costa Atlántica Patagónica. Corresponde consignar que las manifestaciones guaníferas de algunas de estas islas son explotadas en forma esporádica pero, salvo algunas breves informaciones publicadas por geólogos de la ex-Dirección de Minas y Geología, (Catalano, 1933) el Plan Fosforita no posee antecedentes acerca de la extensión y potencialidad de dichas manifestaciones fosfáticas. Los tenores analíticos en P205 arrojaron el 17 % para algunas muestras de la isla Tova.

En varias ocasiones la Dirección Provincial de Minería del Chubut mostró interés para que el Plan Fosforita supervise una prospección y evaluación de las islas guaníferas.

#### 16.- Mesozoico de la Cordillera Patagónica Central

Se prospectaron al sur del Lago Fontana las formaciones Tres Lagunas (conglomerados, areniscas, calizas fosilíferas), Katterfeld (pelitas negras, concreciones calcáreas) y Apeleg (areniscas, pelitas).

Fueron revisados también el área del Lago Fontana donde existen extensos afloramientos correspondientes al Cretácico inferior que pertenece más al ambiente de la Cuenca Austral.

A pesar de haberse prospectado formaciones cuya litología sugería la posible acumulación de fosfatos (pelitas, calizas, chert, etc.) los resultados fueron, por lo general, negativos obteniéndose valores de hasta 0,78 % de P205.

El Mesozoico de la Cordillera Patagónica Central es una pequeña cuenca de 4.500 km<sup>2</sup>, se prospectó unos 2.100 km<sup>2</sup>, o sea el 46 % de la misma, restando por lo tanto 2.400 km<sup>2</sup>.

#### 17.- Cuenca Austral

La Cuenca Austral está caracterizada por poseer sedimentos marinos pertenecientes a un ciclo de sedimentación que comenzó en el Cretácico inferior tardío y que perduró hasta el Maastrichtiano (Cretácico superior).

Técnicos de Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF) en cumplimiento del Acta de Colaboración, (cf. Sciutto y Pombo, 1975) ya mencionada en otros párrafos de este informe, detectaron en el año 1974 anomalías puntuales en la Formación Las Hayas, al norte del Lago Argentino, y en la Formación Mata Amarilla, cerca de la localidad de Tres Lagos, en la provin-

cia de Santa Cruz. Estas anomalías llegaron hasta el 15 % de P205.

Posteriormente, el Plan Fosforita llevó a cabo trabajos prospectivos sobre un área de 4.000 km<sup>2</sup> correspondientes a la Hoja 58 b que consistieron en una investigación rápida areal y expeditiva en dicho sector, y en los lugares que mostraron mayores anomalías, se realizaron croquis topográfico-geológico como también una sección estratigráfica.

La prospección expeditiva fué realizada sobre los sedimentos Cretácicos revisándose las Formaciones: El Quemado, La Unión, Las Hayas, Anita, Chorrillo y Calafate como así también sedimentitas pertenecientes al Patagoniano (Terciario), al sur y norte del Lago Argentino. Estas Formaciones mostraron, por lo general, pocas anomalías fosfáticas salvo en la Fm. Las Hayas donde se hallaron guías y banquitos lenticulares fosfáticos confirmando lo detectado por YPF.

Los trabajos en detalle en el arroyo Las Hayas permitieron definir un banco principal y varias guías menores paralelas. El banco principal tiene una corrida a la vista o visible de 90 m con potencia media de 0.30 m, las leyes no superaron el 2,26 % de P205, a pesar que en la prospección de avanzada los tenores llegaron hasta el 10,93 % y en muestras extraídas por técnicos de YPF al 15 % de P205. La repetición de los análisis confirmaron los valores más bajos.

En el cerro Barragán se realizaron también trabajos prospectivos detallados, los valores del 8,32 % de P205 fueron puntuales dentro de un banco de 50 m de longitud, con potencias desde 0.10 m a 0.30 m. La sección estratigráfica levantada en C° Frías mostraron, también, valores bajos hasta el 2,95 % de P205.

La Cuenca Austral tiene una superficie de 26.400 km<sup>2</sup> de los cuales sólo se prospectaron unos 4.000 km<sup>2</sup>, o sea el 15 % de dicha superficie, restando 22.400 km<sup>2</sup> sin trabajos prospectivos.

En la Cuenca Austral dentro del área sin investigar, faltan reconocer las entidades sedimentarias marinas del Cretácico (Formaciones Lago San Martín, Mata Amarilla, Piedra Clavada, Lago Belgrano, etc.); las sedimentitas Maastrichtianas que se le superponen (Formaciones Calafate, Chorrillo, Man Aike) y el Terciario inferior (Formaciones: Río Turbio y Dorotea).

#### 18.- Cuenca Marina Fueguina

La Cuenca Marina Fueguina ocupa unos 17.560 Km<sup>2</sup> y, hasta el momento, no se realizaron trabajos prospectivos para fosfatos. En esta cuenca se hallan sedimentos cretácicos que son la continuación de la cuenca anterior o Austral y sedimentitas terciarias.

El paquete sedimentario del Cretácico inferior está representado por las Formaciones Yahgan y Beauvoir, formados por sedimentos finos con fítnita y radiolarios, pero desde el punto de vista prospectivo los más interesantes son los Suprcretácicos, compuestos por la Formaciones Policarpo y Leticia, y los Terciarios.

Dentro de las sedimentitas del Terciario, es de especial interés la prospección de los sedimentos del Paleoceno-Eoceno representados por las Formaciones Río Bueno y Río Claro.

Riggi (1979) en el sub-suelo de Cabo Buen Tiempo, en la provincia de Santa Cruz, halló en la discordancia entre el Maastrichtiano y el Eoceno (que aquí estaría representado entre las Formaciones Leticia y Río Bueno), nódulos fosfáticos en areniscas glauconíticas.

Estos hallazgos, por su posición estratigráfica, hacen recordar a las anomalías fosfáticas radioactivas, también dentro de arenisca glauconítica, en la parte alta de la Formación Salamanca, en el Zanjón de Lema (área Camarones), en la provincia del Chubut. (Ver Área de sedimentación de las Formaciones Salamanca-Río Chico).

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- APARICIO, E., 1963.- Prospección de los yacimientos de fosfatos de Cacheuta, Mendoza. - Dir. Nac. Geol. Min. Informe N° 353 (Inédito).
- CATALANO, E., 1933.- El depósito de guano en la Isla Leones (Territorio del Chubut). - Dir. Nac. Geol. Min. publ. N° 100.
- HUGO, C.A.; LEANZA, H.A.; MASTANDREA, O.O. y OBLITAS, C.J.J., 1981.- Depósitos fosfáticos continentales en la Formación Río Chico (Terciario inferior), provincia del Chubut. Oct. Congr. Geol. Arg. Actas IV: 485-495.
- LEANZA, A.F., 1972.- Prospección de rocas fosfáticas en la Argentina para la fabricación de fertilizantes. Rev. Idia. N° 291: 53-60.
- LEANZA, A.F., 1973.- Materias primas minerales para la fabricación de fertilizantes Plan Fosforita del Servicio Nacional Minero Geológico. - Rev. Minería N° 122.
- LEANZA, A.F.; LEANZA, H.A.; HUGO, C.A.; y SPIEGELMAN, A.T.; 1979.- Hallazgo de rocas fosfáticas marinas en la Precordillera Sanjuanina. Sexto Congr. Geol. Arg., Actas II: 317-330.
- LEANZA, H.A., 1977.- Fundamentos para la prospección de rocas fosfáticas en la República Argentina. Rev. Minería N° 168
- LEANZA, H.A.; HUGO, C.A. y SPIEGELMAN, A.T., 1981.- Manifestaciones fosfáticas en la Formación Patagonia: su génesis y relación con el vulcanismo piroclástico silíceo. Rev. A.M.P.S. 11 (3-4): 27-39.
- MASTANDREA, O. y LEANZA, H.A.; 1975.- Los estratos con Lingula del norte argentino y su importancia como fuentes de fosfatos. Seg. Congr. Iberoam. Geol. Económica, Actas II : 445-458.
- LEANZA, H.A.; HUGO, C.A. y SPIEGELMAN, A.T., 1975.- Manifestaciones fosfáticas en la Sierra de Vaca Muerta y adyacencias, prov. del Neuquén, República Argentina. Seg. Congr. Iberoam. Geol. Económica, Actas II: 461-483.
- RIGGI, J.C., 1979.- Estratigrafía cretácica-terciaria en el subsuelo de Cabo Buen Tiempo, Santa Cruz. - Rev. Asoc. Geol. Arg., 34 (4): 255-270.
- SCIUTTO, J.C. y POMBO, R., 1975.- Prospección de fosforita. Provincias de Chubut y Santa Cruz. Y.P.F. (informe inédito).
- SERVICIO NACIONAL MINERO GEOLOGICO, 1975.- Estado actual de la prospección de rocas fosfáticas en la República Argentina. - Plan Fosforita (Informe inédito).
- STOLL, W.C., 1950.- Informe preliminar sobre las minas "El Risco" y "Los Apíres". Dpto. Lujan, Mendoza. Dir. Nac. Geol. Min., Informe N° 353 (Inédito).

ORDENACION DEL TERRITORIO

Consideraciones sobre la preparación y transformación  
de mapas geológicos en documentos directamente utilizables por el proyectista.

---

por Gerd Lüttig \$

(traducido por Carlos Castells, Ing. de Minas)

Resumen:

Sin el empleo de las ciencias geológicas no será posible desarrollar principios de ordenación para el futuro de la humanidad y su garantía. Esto adquiere validez debido a que el potencial del ámbito natural resulta cada vez más limitado, como se puede deducir fácilmente de la carestía de materias primas, sustancias energéticas y suelos aprovechables por la agricultura.

Por esta razón, el autor ha hecho alusión repetidas veces a que una parte del potencial investigador de las ciencias geológicas debe ser dirigido con la perspectiva de una geología orientada hacia el futuro. Esto lleva aparejadas también una transformación y traducción de nuestro saber cartográfico geológico en mapas que puedan ser comprendidos y utilizados directamente por el proyectista.

El Mapa geocientífico del potencial del ámbito natural (GNEP) corresponde a este planteamiento. Se presenta y explica aquí el correspondiente juego de mapas.

Al mismo tiempo, el lector es informado sobre los diversos planes de la Comisión de los mapas geológicos internacionales de la IUGS. Todos los geólogos interesados son invitados a colaborar en este importante cometido con la actual Subcomisión de los mapas geológicos del ambiente (SC-MEG).

---

\$ Dirección del autor: Prof. Dr. G. Lüttig, Vicepresidente del Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung y del Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Stilleweg 2, Postfach 51 01 53, 3000 Hannover 51, Alemania.

I.

Al comienzo de estas consideraciones debe mencionarse un pasaje del servicio de prensa de la Comunidad Europea (Euroforum 5/78, 1978) sobre el proyecto elaborado por la misma, "Cartografía del ambiente". Dice así:

"Con frecuencia es demasiado grande la distancia entre aquéllos que están enterados, es decir, los expertos altamente especializados por un lado, y los que deberían tomar las decisiones políticas por otro. Como ayuda para una política de ordenación del medio, en la que también reciban el peso que les corresponde los criterios sobre el ambiente, deberían hacerse accesibles en un medio de trabajo claro los múltiples conocimientos especiales existentes".

Y como suplemento de esta comunicación se dice:

"La causa de que no se reconozcan relaciones completas estriba a menudo, no en el hecho de que no existan informaciones importantes, sino en que limitaciones administrativas o de organización impidan que se disponga de ellas y sean consideradas en lugares "resolventes"..."

"Aquéllos que están enterados y aquéllos que deciden deben encontrar un idioma común", escribía Jean MONNET en sus memorias. A este espíritu respondía la decisión del consejo de ministros de la Comunidad en noviembre de 1974, de acometer el proyecto de una "cartografía ecológica" de todo el territorio.

Más adelante indica:

"Primeramente deberían determinarse métodos con los que describir científicamente en forma de mapas los datos ambientales. En un paso inmediato debería traducirse esta descripción en conceptos sobre la ordenación espacial y la política ambiental: a este campo corresponden tales posibilidades de aprovechamiento, a aquél, tales otras. Se trata, pues, de una confrontación entre la demanda económica y social y la oferta ecológica.

Un ejemplo sencillo se refiere a la comprobación de que una determinada comarca posee suelos agrícolas especialmente ricos. En consecuencia, debería frenarse la construcción y edificación "de tipo salvaje" observada en ella, la cual destruye de modo irreversible aquella riqueza; además hay que prever que posteriormente la densidad de población fuertemente creciente hace peligrar la zona verde, que pertenece a su propia condición de existencia.

El planteamiento de la "cartografía ecológica" de la Comisión de Europa es original en dos aspectos distintos: En uno de ellos se resume la información orientada hacia las prioridades funcionales del aprovechamiento del medio circundante, que será simultáneamente sumaria y comparable en toda la Comunidad. Como este concepto debe ser válido en todo su ámbito, se desprende de aquí la dificultad de considerar la heterogeneidad de los problemas ambientales, así como su diferente urgencia. Asimismo, la consideración de la prioridad es diferente de un país y zona cultural a otros. Por esta razón, el trabajo cartográfico debe apoyarse en una base metódica que sea simple, adaptable y susceptible de ser complementada, tanto para abarcar la peculiaridad de los problemas y las diferencias regionales como la futura ampliación y afinación de la descripción de los problemas."

Y en otro lugar se dice:

"La cartografía ecológica permitirá por primera vez, en el plano de la Comunidad, representar los efectos opuestos del desarrollo económico y la ordenación espacial", y "en realidad, esta cartografía es nada menos que un instrumento que permite un empleo eficaz del espacio, el ambiente y las riquezas naturales".

## II.

Estas citas pueden servir, pues, para cimentar la obra cartográfica que se va a presentar en lo referente a las repercusiones políticas. Ciertamente, durante la lectura de las mismas, el autor no puede contener una sonrisa, puesto que se habla de una obra cartográfica original y de la necesidad de su desarrollo metódico, ante el hecho de que la primera idea en este sentido fué expuesta ya en 1971 y el primer mapa de este tipo impreso en 1972 en la Baja Sajonia (Lüttig 1971, 1972, 1972). Es evidente que la capacidad de leer escritos ajenos está disminuyendo en la misma medida que la buena costumbre de saber reconocer prioridades con la claridad necesaria.

## III.

Vuelta al problema:

El moderno replanteo de países, sobre todo aquella parte del mismo que ha dictado decisiones en el sentido del establecimiento de

prioridades para un determinado adrovechamiento. encuentra una corriente de informaciones cada vez más fuerte que con frecuencia no puede emplear. Sobre todo, las bases cartográficas temáticas elaboradas para el replanteo de países o utilizadas con este fin son a menudo demasiado complicadas. Esto concierne también a los mapas de ciencias de la Tierra, que se llenan en medida cada vez mayor con informaciones. Por encima de otros, mapas de geología aplicada, tales como los hidrogeológicos, de geología ingenieril y metalogenéticos, encierran con frecuencia tantísimas informaciones que el proyectista se encuentra en un callejón sin salida ante la densidad de las mismas. Los mapas básicos geológicos y edafológicos son, no sólo en lo referente al número de las diferentes unidades, sino también en lo tocante a los datos aislados, en parte incomprensibles para muchos proyectistas. Esto también está relacionado con el hecho de que los empleados en el replanteo de países han sido sobresaturados de tal manera durante sus estudios con informaciones de otros campos especiales, que se tienen por más importantes, que retroceden cada vez más ante la geología. En algunas escuelas superiores de la República Federal, los proyectistas asisten a cursos básicos geocientíficos que, a mi parecer, constituyen un supuesto importante para el trabajo en replanteo de países y ordenación espacial, por lo que de ningún modo se han excluido las reuniones de los planes de estudio.

Esto resulta especialmente funesto cuando, debido a la sobresaturación de información de los proyectistas, se quieren emplear mapas geocientíficos para la solución de los conflictos. Incluso el proyectista mejor dispuesto y más inteligente llegará muy rápidamente al límite de su capacidad. Esto conducirá, pués, a que aplique los mapas geocientíficos sólo de mala gana y de manera incompleta, y a que prefiera representaciones o planos estadísticos fácilmente legibles, que todo lo más pueden definirse como ilustraciones coloreadas, para sus trabajos.

Este hecho no debería conducir al científico geológico a recriminaciones contra el proyectista, sino que tendría que llegar a la conclusión de que los documentos presentados por él mismo habrán de ser formados de manera más comprensible, clara, menos sobrecargada y utilizable para recomendaciones directas.

IV.

Para no resultar equivocado debe agregarse que, por supuesto, es necesario realizar la cartografía temática del ámbito de las ciencias geológicas con toda meticulosidad y con la mayor escala posible.

Muchas de las decisiones que se toman en economía y replanteo de países requieren un detenido dictamen de geólogos y representantes de otras ramas profesionales afines, y en estos casos el mapa geológico figura en primera fila en la explicación de hechos fundamentales para el profesional, que debe recurrir a una representación espacial de la región investigada. Por consiguiente, los mapas existen en primer lugar para el propio geólogo. Sería funesto extraer, de la demanda de mapas simplificados, la conclusión de que ya no resultan necesarios los relativamente complicados mapas geológicos, edafológicos, etc. Al contrario: un refuerzo de esta obra cartográfica hace posible por lo pronto los pasos que conducen a una ordenación racional del potencial del ámbito natural para nuestra previsión de existencia. Tampoco debería incurrirse en el error de cambiar a escalas menores durante la ejecución de obras cartográficas a causa de dificultades técnicas y financieras. Las modernas exigencias de la economía y la técnica exigen en su lugar, en la mayoría de los casos, el paso a una escala mayor. Por eso, mapas con escalas de 1:50000 y mayores son ahora bases utilizables para proyectos geotécnicos.

V.

Antes de describir en detalle la obra del mapa geocientífico del potencial del ámbito natural, debe entrarse todavía en el fondo filosófico - al menos brevemente - del mismo.

Desde que es sabido por los hombres y también por los directores actuales de empresas que los recursos naturales, que hasta aquí se habían tenido por inagotables, son limitados, las discusiones sobre la ordenación del futuro han mantenido una tendencia más fuerte cada vez hacia el replanteo. Este elemento de dirección tenía, condicionado en primer lugar por el movimiento de protección del ambiente, un carácter muy fuertemente restrictivo. El equilibrio ecológico, la difusión de especies de plantas y animales, la capacidad del ecosistema en lo que se refiere a la regeneración de los daños causados en el paisaje por la sociedad industrial, el valor para el tiempo libre, de la campiña se transformaron en criterios que en todos los diversos sistemas de sociedad han desplazado

factores, que en adelante se deberían anteponer, a decir verdad, como las necesidades básicas de la humanidad. El movimiento de protección del ambiente, por poseer sólamente una reducida componente en la dirección de la investigación del medio circundante, ha olvidado con mucha frecuencia que las necesidades del abastecimiento de la población con medios de subsistencia, agua, materias primas y energía plantea problemas tan acuciantes, que las correspondientes medidas basadas en la idea de la protección ambiental antes los dificultan que los favorecen. Por supuesto, cada medida encaminada a la cobertura de las necesidades básicas debería, tanto en las naciones industriales como también en los países en vías de desarrollo, estar orientada a que el fomento del progreso no origine simultáneamente un aniquilamiento de bienes naturales que incluso plantea problemas para la subsistencia de la raza humana. Las variaciones necesarias de la naturaleza originadas por los hombres para la industrialización deberán, sin embargo, soportarse si no queremos acabar histéricos. Habrán de limitarse sólo en una cierta medida.

## VI.

La ordenación del futuro de la humanidad sólo resulta posible con ayuda de una fuerte participación de la investigación geológica y de las ciencias geológicas aplicadas. Presiones ante las que se halla la humanidad, sólo se pueden eliminar con el auxilio del saber de los científicos geológicos. Esta consideración, cimentada por el autor (Lüttig 1976), debería movernos hacia una reorientación y una consideración exhaustiva de nuestra estrategia de investigación. Partes de nuestros colegios profesionales deberían clasificarse dentro de los intereses de las ciencias geológicas prospectivas y, a diferencia de otra parte de nuestros colegas, que han de considerar además el pasado de la Tierra, su historia y el origen de los cuerpos geológicos, participar en los planes que deberán elaborarse para la garantía de un futuro razonable de la humanidad.

A ello pertenece la orientación cartográfica dentro de la geología, pertenecen también los mapas geocientíficos, ya que, sin mapas, el geólogo que debe dar un consejo técnico, que ha de indicar dónde se encuentran yacimientos, aguas subterráneas, suelos aprovechables, bases razonables para edificación, resulta desamparado. Tampoco el proyectista puede prescindir del plano, aunque no puede ocultarse que el replanteo se intenta con frecuencia sin utilización de aquéllos.

Cuando nosotros, científicos de la Tierra, estamos ocupados en superar las presiones del futuro para descubrir nuevo potencial del ámbi-

to natural, en preparar pasos para la exploración y explotación de materias primas y portadores energéticos, hemos llegado así simultáneamente al diálogo con los proyectistas del ámbito natural, que han de pensar anticipadamente y a largo plazo. Debemos contemplar bajo una nueva luz la relación entre cartógrafos geológicos y estos "land-use-planers" (proyectistas del uso del país: en inglés en el original, N. del T).

Mientras presentamos mapas temáticos examinados bien a fondo de los diversos campos parciales de las ciencias geológicas, debemos pensar simultáneamente en un servicio traductor. Hemos de trazar mapas que se desarrollen a partir de los normales a manera de una especie de mapas abstractos, por simplificación de otros geológicos tradicionales, aplicados o no, y que contengan determinados elementos necesarios para el replanteo, y sólo los más importantes.

Esta manera de proceder constituye la idea básica del "Mapa geocientífico del potencial del ámbito natural (GMNEP)"

## VII.

A lo largo del camino para el desarrollo de un "Mapa de uso o utilización del país", de los mapas existentes, a saber, el mapa geológico especial, el edafológico, el hidrogeológico, el de geología del ingeniero y el metalogenético, se obtienen los llamados mapas de demanda de explotación o aprovechamiento. Esto debe uno de imaginárselo como si los representantes de los correspondientes campos parciales de las ciencias geológicas, sentados en una oficina de proyectos, fueran invitados -- con objeto de llegar a un acuerdo -- a expresar datos especialmente importantes de sus respectivos campos en mapas. Para las diversas disciplinas parciales ésto significa en general lo siguiente:

1) El autor del mapa geológico normal es llamado para citar monumentos geológicos importantes, zonas de paisaje, canteras con estratotipos o unidades especialmente raras, importantes para la formación popular y la investigación, peculiaridades geomorfológicas, etc., con el fin de que puedan ser consideradas en la protección de la naturaleza o incluidas de otra forma en las medidas de replanteo.

2) Al edafólogo se le pedirá transformar su mapa de suelos en uno simplificado, en el que, por ejemplo, señale las cosas más importantes y dignas de mención en el aspecto de replanteo del territorio, como comarcas en que existan suelos especialmente valiosos, que posean una elevada capacidad de producción; otras en las que el aprovechamiento agrícola sólo sea posible con el auxilio de medidas de mejora mayores; áreas en las que

los suelos sean salados; zonas en las que los suelos posean una resistencia especialmente grande en lo que se refiere a materias de desecho que puedan verterse eventualmente, etc.

3) El hidrogeólogo indicará primeramente en la parte correspondiente de la hoja los manantiales existentes, fuentes medicinales, pozos, presas, zonas de aguas freáticas protegidas. Trazará también los cuerpos geológicos que encierran cantidades especialmente grandes de aguas subterráneas, es decir, que posibiliten una elevada capacidad de extracción. Al mismo tiempo, debería hacer también declaraciones de tipo negativo, indicando, por ejemplo, dónde es salada el agua subterránea, en qué lugares existe riesgo especialmente fuerte de contaminación higiénica para la extracción de aguas subterráneas debido a la carstificación, qué comarcas deberían dejarse libres para posteriores investigaciones de aguas subterráneas, etc.

4) Entre los mapas de yacimientos, hemos considerado como bueno trazar dos tipos diferentes de mapas de demanda de explotación o aprovechamiento. Esto se basa en que los yacimientos que se encuentran en el subsuelo más profundo crean problemas muchísimo más reducidos al replanteo que los que están cercanos a la superficie. Yacimientos a los que se accede con la ayuda de un pozo, en la mayoría de los casos permiten otra utilización de la superficie de distinto género. Sobre una explotación de hulla existente en el subsuelo puede proseguir, por supuesto sin resultar perjudicada, la agricultura, y si se prescinde de eventuales descensos del suelo, no habría de resultar muy problemática la cuestión de la construcción en dicha comarca.

Con esta base representamos las demandas de aprovechamiento, que vienen condicionadas por yacimientos de materias primas y portadores energéticos que se encuentran a mayor profundidad, en uno de los dos mapas de yacimientos.

El segundo mapa concierne a las comarcas con yacimientos próximos a la superficie. Aquí surgen, como es sabido, los problemas de replanteo de máxima trascendencia. Esta clase de yacimientos ocasiona violentos y, con frecuencia, antiestéticos ataques al paisaje. Tampoco es, en parte, la industria inmediata a los mismos minera pura. Cuando se piensa, por ejemplo, en explotaciones de arena y grava, ni siquiera están subordinadas éstas a las jefaturas de minas en algunos países, siendo muy defecuoso el replanteo de su explotación en los últimos años. En muchas ocasiones, prospección y explotación fueron conducidas sin el auxilio de peritos. A menudo, incluso los servicios geológicos no intervenían. Todavía se encuentran en la actualidad en algunos países explotaciones de

rapiña. Las correspondientes sociedades aún no han llegado en muchos casos ni siquiera a partes favorables del yacimiento en sus aspectos cualitativo y cuantitativo. Con mucha frecuencia, ésto ha conducido al desastre económico, y las sociedades que iban a la bancarrota no se encontraban, en la mayoría de los casos, en situación de poder rectificar y recultivar sus minas de forma que se evitasen ~~manchas~~ feas en el paisaje. En la época de la deposición anárquica de basuras, estos agujeros existentes en el paisaje dieron pie para almacenar toda clase de inmundicias y, en parte, materias de desecho muy perjudiciales en las antiguas minas, lo que, por supuesto, ha situado en una postura crítica respecto a esta industria tanto a las oficinas de proyectos como a la administración pública y las sociedades de protección de la naturaleza.

Por esta razón, es frecuente que actualmente cueste mucho trabajo al experto en materias primas el abogar por la industria de las sustancias no metálicas próximas a la superficie, lo cual es necesario con urgencia debido a la situación de carestía existente también en este campo (Lüttig 1967, 1977).

Sin embargo, no debería olvidarse que las materias primas no metálicas constituyen un factor económico cuya producción declarada, en lo referente al valor logrado, es superior en muchos países del mundo a la de la industria que se ocupa de las sustancias metálicas.

Por dicha causa, la elaboración de bases geocientíficas en forma de mapas de posibilidad de aprovechamiento o utilización requería una manera de proceder especialmente cuidadosa.

Además, es necesario hacer más comprensibles que hasta ahora a los proyectistas las ideas sobre el aseguramiento del ~~abastecimiento~~ de materias primas mediante una plasmación de las mismas en los correspondientes mapas. En este sentido, algunos servicios geológicos han realizado una tarea preliminar sobresaliente, e incluso la cartografía GMNEP elaborada en el Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (Lüttig & Pfeiffer 1974, Lüttig 1977, Becker-Platen y otros 1977, V. Stein 1978) ha encontrado una resonancia tal, tanto entre los proyectistas profesionales como en la administración estatal, que la idea del aseguramiento de materias primas ha hallado acogida tanto en las regiones próximas de la República Federal como en los países extranjeros vecinos. Por ejemplo, el informe sobre ordenación del espacio federal de la República Alemana de 1975 habla explícitamente de comarcas preferentes para el beneficio de materias primas y yacimientos mi-

nerales de especial importancia. En el informe de ordenación espacial del país de Schleswig-Holstein de 1977 se relacionan comarcas con aptitud especial para una explotación, y también zonas preferentes para la futura explotación de materias primas minerales. En el país de Hesse se habla asimismo de zonas preferentes para la explotación de yacimientos inmediatos a la superficie. En Baviera se diferencian áreas de reserva y de materias primas secundarias para el beneficio de tesoros del subsuelo de zonas preferentes para la futura explotación de los mismos.

La consideración de áreas con contenido en materias primas en el replanteo del país presupone, ciertamente, que se conocen lo suficiente la extensión de dichas materias, su cantidad, calidad y su aptitud y disponibilidad económico-técnica. Por ello, la labor de los servicios geológicos necesitaba un refuerzo en este sentido. Además, al mismo tiempo debería tratarse de indicar a las autoridades competentes la necesidad de mejora de la accesibilidad a las materias primas, porque en muchos casos dichas materias, sobre todo en comarcas densamente pobladas, no llegan a su fin porque el potencial geológico se agote, si no porque las correspondientes zonas de sustancias son ocupadas para otros usos. Este hecho fué, por lo demás, el punto de partida de las reflexiones que han conducido al mapa del potencial del ámbito natural.

La transformación de esta consideración en decisiones de replanteo es, según nuestra experiencia, posible en grado óptimo cuando en los mapas de aseguramiento de materias primas se efectúa una división de los yacimientos en zonas de materias de tres diferentes categorías.

La primera categoría es aquélla a la que pertenecen yacimientos próximos a la superficie de especial importancia para la economía popular. En el caso de planteamientos de importancia para el entorno espacial en las correspondientes comarcas, debería darse parte desde el comienzo a los organismos oficiales.

Las zonas de aseguramiento de materias primas de segundo orden comprenden yacimientos próximos a la superficie cuya importancia económica para el pueblo será mayor en lo futuro, o que aún no fueron investigadas con tal exactitud que se pudiese apreciar con precisión dicha importancia económica.

La tercera categoría abarca comarcas con yacimientos valiosos de materias primas de diferente orden, sobre todo aquéllos en los que aún no son posibles delimitaciones exactas por falta de las correspondien-

tes investigaciones y cuya calidad no se conoce a fondo.

Estos mapas de aseguramiento de materias primas continuarán siendo mejorados, por lo que se indicará la oportuna fecha de ejecución sobre el mapa. Asimismo se anotarán sobre la oportuna hoja del mapa las áreas de explotación proyectadas.

Hemos preferido realizar estos mapas en las escalas 1:200.000 y 1:25.000. Los mapas de escala 1:25.000 se han dibujado sobre láminas heliográficas de pokalón, de forma que sean posibles en todo momento variaciones o adiciones suplementarias. Representan un buen complemento del catastro de ordenación espacial en los organismos oficiales de replanteo.

Con ayuda de estos mapas intentamos una implantación de las "zonas de aseguramiento de materias primas", y también de las "zonas preferentes para la explotación de yacimientos próximos a la superficie", en los programas de ordenación espacial, para lograr una protección de sustancias directa y un control a plazo medio de la explotación. Con esto se ha introducido un elemento en la investigación previsora del medio ambiente que puede llevar de nuevo el péndulo, que se había desplazado algo unilateralmente hacia la protección de la Naturaleza, hasta un valor medio razonable.

5) Los colegas de la geología especial para cimentaciones aplican asimismo sus mapas convencionales con vistas a la ejecución de mapas de demanda de utilización más sencillos. Por lo pronto, de estos mapas se derivan declaraciones negativas de replanteo. Por ejemplo, se dan indicaciones sobre el subsuelo fuertemente sensible a asientos, zonas de hundimiento, comarcas con deslizamiento de tierras, áreas con peligro de inundaciones. Como, naturalmente, bien mirado se puede construir en cualquier solar, los mapas correspondientes sólo pueden considerarse como tales cuando encierran referencias a determinadas medidas técnicas o de replanteo necesarias.

6) Asimismo son importantes indicaciones relativamente sencillas sobre posibilidades de deposición de desechos, por ejemplo, en diapiros salinos del subsuelo, en los que cabe la eventualidad de apertura de cavernas por lixiviación. También pueden hacerse las correspondientes observaciones en uno de los otros mapas de demanda de aprovechamiento o utilización.

VIII.

Naturalmente, estos mapas de demanda de aprovechamiento, que deben ser suministrados por los científicos de la geología a las planas mayores del replanteo, son sólamente una parte de los que el proyecto ta necesita tener a su disposición para tomar sus medidas. Y aun cuando el título "Mapa geocientífico del potencial del ámbito natural" parezca algo pretencioso, sin embargo puede reconocerse en él, sobre todo en el concepto "geocientífico", que se ha puesto la mira en la posibilidad de abarcar el potencial total citado mediante otras obras cartográficas. En este sentido pensamos en particular en mapas de aprovechamiento forestal, sobre todo de vegetación, mapas encaminados a la protección de las especies zoológicas, morfológicos, de replanteo del tráfico, hidrológicos de administración costera, de zonas para la protección de la Naturaleza, mapas hidroeconómicos, etc. Todos ellos podrían incluirse sin reparos en nuestra cartografía.

Desgraciadamente, el camino para una obra cartográfica de esta clase todavía está limitado a los buenos propósitos. Únicamente el sistema de mapas ecológicos iniciado por la Comunidad Europea ofrece esperanzas de una combinación oportuna. También la cartografía ha procurado poder servir como complemento de los diferentes mapas temáticos, ya que por sí misma no puede articular demanda de utilización (Lüttig 1977).

Como todavía no existe una representación integral del potencial del ámbito natural, y como los problemas del aprovisionamiento de materias primas y energía nos acosan con tanta violencia, ya hemos dado solos los pasos hacia un mapa de valoración.

Si se comparan y superponen los mapas de demanda de utilización citados más arriba, elaborados a partir de las diversas disciplinas parciales de las Ciencias de la Tierra, se descubre que en determinadas áreas hay diversos campos profesionales que formulan peticiones. Cuando, por ejemplo, debe abrirse un asentamiento para una base de satélites en las proximidades de una zona de , puede ocurrir que las circunstancias geológicas sean tales que pueda pensarse en varios aprovechamientos interesantes del terreno para dicho proyecto. Puede existir en la superficie una capa que resulte especialmente aprovechable para el uso agrícola, en particular en las proximidades de la ciudad. Al mismo tiempo puede existir un agua muy buena en un horizonte más profundo. En determinadas circunstancias, el manto de agua puede ser una capa de grava, y entonces resulta ésta asimismo interesante para la construcción, tanto para la obtención de materiales como para cimentación.

Cuando , en este caso, no se dispone del científico de la Tierra y sus consejos, y, por ejemplo, no prueba que el aprovechamiento agrícola se puede también realizar muy bien en un área próxima, y que pondría citarse mucha mejor agua subterránea de otra estructura geológica, la cuestión de decisión de prioridades, que en este caso, por ejemplo, podría resultar más favorable para la explotación de gravas, sólo podría ser resuelta por un projectista con las máximas dificultades, o incluso cabría el tomar una decisión errónea. Pero ésto indica que el científico de la Tierra debe estar dispuesto en mayor medida cada vez a a introducirse en los gremios dedicados al replanteo, pero utilizando simultáneamente su saber profesional para emprender una valoración de las demandas de utilización.

Esto puede recomendarse en conciencia sobre todo en aquellos casos, en los que la valoración sólamente se limita al campo profesional que se puede abarcar. Por esta razón hemos transformado el mapa geocientífico del potencial del ámbito natural en un GMNEPU, es decir, en un mapa de uso (Utilization Map). Después de discusiones con los distintos colegas, nosotros mismos hemos elaborado un mapa de utilización preferente.

Dicho mapa ha resultado ser una base de replanteo muy valiosa y, por ello, tiene mucha demanda por parte de los proyectistas. Pero no debería ocultarse que mapas de esta clase han conducido a conflictos en algunos gremios de la administración pública, por ejemplo, si en un ministerio están reunidos simultáneamente los departamentos de economía hidrológica, forestal y agrícola, y un mapa-conflicto, elaborado por geólogos, muestra por primera vez a los funcionarios administrativos que hasta ese momento no han tenido dedicación a la solución de dilemas de esa clase. Visto así, el mapa GMNEP constituye en muchas ocasiones un impulso para los gremios administrativos que no es de menospreciar. Sobre este particular puede informarse también, por ejemplo, que sólamente a partir de la aparición de los primeros mapas de potencial del ámbito natural se han hecho en determinadas zonas mapas de aprovechamiento forestal y de replanteo hidráulico detallado.

X.

El mapa del potencial del ámbito natural, nacido en la Baja Sajonia, fué presentado por vez primera, con una escala relativamente pequeña, en el Atlas para el Establecimiento de Industrias en Baja Sajonia (Lüttig, 1972). Ha sido acogido con calor por los gremios a los que compete el desarrollo económico, y también posteriormente por los cu-

dros de replanteo y proyectos. Tenemos el encargo, después de haber hecho un mapa de potencial del ámbito natural a escala 1:500.000 de la Baja Sajonia, de realizar esta cartografía a escala 1:200.000, constituyendo un juego de mapas cubriendo todo el área, según la muestra que se incluye más arriba.

En otras regiones federales, sobre todo en Baden-Württemberg, se han creado mapas análogos. Frederik WOLFF ha presentado recientemente una cartografía de la zona de Drontheim (Noruega) a escala 1:50.000. En la India, en la región de Anantapur, se han editado también mapas del potencial del ámbito natural, siguiendo nuestro ejemplo. En un seminario internacional de entrenamiento, que fué apoyado por la comisión alemana en la UNESCO, la sociedad CARL DUISBURG y el ministerio federal para la colaboración económica, y realizado por el Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, en Hannover, en 1975 (Deutsche UNESCO-Komission, 1975), fué transmitida la idea a los países en desarrollo. Entre tanto, esta última ha conducido asimismo a la fundación de la Subcommission of Environmental Maps de la IUGS, es decir, a la reorganización y fusión de la Subcomisión del mapa geotécnico e hidrogeológico con el grupo de trabajo del GMNEP. La prosecución de la obra cartográfica, sobre todo en dirección a los países en desarrollo, se decidió en la última reunión de esta subcomisión en París, en marzo de 1978. La UNESCO ha accedido a prestar su apoyo a esta obra cartográfica. Entre tanto, desde Austria ha llegado a nuestros oídos que de una manera general debe adoptarse aquí el mapa de potencial del ámbito natural de acuerdo con las directrices sajonas, después de haberse elaborado los primeros bosquejos en Estiria.

Los planes de la Comisión de mapas (Subcommission on Maps of Environmental Geology = SC-MEG) están encaminados a la elaboración de regiones-muestra con objeto de lograr así una leyenda obligatoria general que, patrocinada por la UNESCO, ha de publicarse. La Subcomisión considera esta actividad como un impulso que debe transmitirse a los gremios nacionales. Saludamos como colaborador a cualquier colega que esté interesado en análogos mapas. Podría citar en particular obras cartográficas parecidas, que cubren aspectos parciales de la idea del Mapa del potencial del ámbito natural, sobre todo mapas que han aparecido en EE.UU., Polonia, Francia, Malasia, etc.

La SC-MEG desea estudiar zonas-muestra que se encuentran en las siguientes regiones:

- a) Región-muestra de Europa occidental: Una zona de mapas que alcanza desde la Baja Sajonia hasta el Sur de Inglaterra.
- b) Zona de Casablanca, Marruecos.

- c) El delta del Nilo.
- d) Una zona todavía no determinada de América del Sur.
- e) Una zona de ensayo en la India.
- f) Región de ensayo en África tropical.

Será bienvenida cualquiera otra sugerencia en este sentido.

## XI.

Desearía expresar de nuevo, y de manera especial, que esta idea, que es de la máxima trascendencia para las naciones industriales, puesto que las demandas del espacio natural se superponen en ellas de ~~forma~~ <sup>forma</sup> ~~particular~~ <sup>particular</sup> a causa de la estrechez del mismo y de la industrialización, no sólo es de importancia aquí. Debe remitirse en mayor cuantía a los diversos aspectos de los países en desarrollo. Y aquí existe una tarea que podrían aceptar los países industriales europeos. En los países en vías de desarrollo se actúa todavía con frecuencia como si el potencial del ámbito natural fuese ilimitado. Sobre todo en países con grandes yacimientos de materias primas, sustancias energéticas y aguas subterráneas se desperdicia con mucha frecuencia el potencial natural. Ocasionado por los muy ambiciosos planes de los correspondientes gobiernos, a menudo no se presta suficiente atención al peligro de un imperdonable despilfarro del potencial de la Tierra. Las naciones industriales pueden indicar aquí el camino, basándose en sus con frecuencia amargas experiencias, y los servicios geológicos de estos países pueden también poner sus conocimientos a la disposición de los que se encuentran en fase de desarrollo, con objeto de lograr un aprovechamiento conveniente y ampliamente previsor del país. Con esta base, la SE-MEG, juntamente con el comité "Geoscience and Man" de la IUGS, proyecta celebrar en 1979 un simposio en uno de los países en desarrollo, que tiene como meta la extensión de las ideas del Mapa de potencial del ámbito natural en dichos países.

## XII.

El mapa del potencial del ámbito natural es, de acuerdo con el pensamiento del autor, uno de aquello medios auxiliares con los que, como se citó al principio, la Comunidad Europea busca, cuando proceda, representar relaciones totales, reacuñar informaciones de forma comprensible y facilitar las decisiones administrativas y de replanteo.

Mediante esta obra cartográfica, las Ciencias de la Tierra están

llamadas a participar en el dialogo ampliado sobre el replanteo. El futuro de la humanidad depende de una manera decisiva de que se pongan buenas ( y yo tengo a este mapa por bueno ) herramientas a disposición de una ordenación del potencial del ámbito natural. La satisfacción de las necesidades básicas de la humanidad por el camino de dicha ordenación requiere, no obstante, excelente material cartográfico. Los servicios geológicos ofrecen desde hace más de cien años a los proyectistas mapas temáticos que pertenecen a los más exactos que ha suministrado la Ciencia. Pero no podemos permanecer encerrados en nuestra perfección académica, sino que debemos actuar como traductores de nuestro saber y representar nuestros conocimientos sobre las cienias geológicas prospectivas en una forma más simple e inteligible. En este aspecto corresponde al Mapa del potencial del ámbito natural un papel clave, el de ser útil.

#### BIBLIOGRAFIA.

- DECKER-PLATEN, J.D. et al., 1977: Karten des Naturraumpotentials von Niedersachsen und Bremen (Mapas del potencial del ámbito natural de Baja Sajonia y Bremen). - Geol. Rdsch. 66, 3: 14-30. Stuttgart.
- COMISION ALEMANA EN LA UNESCO, 1975: Geoscientific studies and the potential of the natural environment. - 310 p., 1 anexo. Munich.
- LUTTIG, G., 1971: Die Bedeutung der Bodenschätzte Niedersachsens für die Wirtschaftsentwicklung des Landes (La importancia de los tesoros del subsuelo de la Baja Sajonia para el desarrollo económico del país). - Geol. Jb. 89: 583-600, 1 fig., 1 tab. Hannover.
- , 1972: Naturräumliches Potential I, II y III. - In: Niedersachsen, Industrieland mit Zukunft (Potencial natural I, II y III. - En: Baja Sajonia, país industrial con futuro). 9-10, 3 mapas, Hannover (Nds. Min. Wirtsch.).
- , 1976: Geoscience and the potential of the natural environment. - Natural resources and development 3: 93-107, Tübingen.
- . 1977: Die Rolle der geowissenschaftlichen Kartographie in der vorausschauenden Umweltforschung (El papel de la cartografía geológica en la investigación previsora del medio ambiente). - Kartogr. Nachr. 27, 3: 81-89, Bonn - Bad Godesberg.
- & PFEIFFER, D. 1974: Die Karte des Naturraum-Potentials, ein neues Ausdrucksmittel geowissenschaftlicher Forschung für Landesplanung

und Raumordnung (El mapa del potencial del ámbito natural, un nuevo medio de expresión de la investigación geográfica para el replanteo del país y la ordenación espacial). - N. Arch. Nds. 23, 1: 3-13, Göttingen.

STEIN, V., 1978: Regional planning and the exploiting of industrial minerals -- problems of industrialized countries. - Prepr. 3<sup>rd</sup> industr. Min. intern. Congr. 3 p, París.

## *TYPES DE CARTES NECESSAIRES A L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE*

*par A. Buchanan (Royaume-Uni)*

### *1. INTRODUCTION*

L'étude des cartes dont les aménageurs se servent pour faire leur travail ou pour communiquer leurs idées et leurs propositions doit tenir compte de l'évolution des besoins des aménageurs. Il est essentiel que l'aménageur et le cartographe soient en liaison pour savoir quelles indications doivent figurer sur les cartes et pour produire des cartes qui aient un sens.

### *2. AMENAGEMENT DU TERRITOIRE*

Il faut se rappeler que les dimensions et le caractère des régions à aménager varient considérablement et que le mode d'utilisation des cartes varie en conséquence.

Au niveau multinational l'Europe peut être considérée comme un ensemble de régions composées de pays ou de territoires chevauchant des frontières nationales. C'est le cas de la "mégalopole" du Nord-Ouest de l'Europe. En pareil cas, il faut tenir compte de ce qui se passe dans d'autres pays ou territoires. Cependant, il arrive aussi qu'une commune ou une collectivité soit considérée comme une "région".

Au Royaume-Uni, il n'existe pas, au niveau national, de plan officiel conçu comme un document ou une carte unique, exposant la somme des objectifs économiques, sociaux et physiques. Ceci ne veut pas dire que la planification nationale soit inexistante. A ce niveau la planification consiste plutôt à arrêter de grandes orientations qui sont appliquées tantôt par les pouvoirs locaux et tantôt par le pouvoir central. Cette planification s'occupe des relations entre les régions ainsi que des priorités pour la répartition des ressources en vue du développement et de la croissance. Si les plans sont essentiellement des instruments au service d'objectifs économiques et sociaux assez vagues, ils ont aussi une incidence sur l'utilisation des sols bien qu'ils n'exercent aucun effet sur la répartition des terrains. Etant donné que la planification au niveau national commande la répartition des ressources, elle joue un rôle important en délimitant le cadre de la planification au niveau régional. En raison de l'im-précision de objectifs, il est difficile de transcrire les grandes orientations du plan sur des cartes et, lorsqu'on peut les représenter, de simples diagrammes suffisent. Néanmoins, elles ont leur importance pour les autres niveaux de la planification et souvent l'information doit être rattachée à des considerations et à des intentions locales.

Au Royaume-Uni, l'aménagement du territoire est le fruit d'une activité tripartie exercée conjointement par le pouvoir central, les conseils régionaux de planification économique - composés de représentants d'industriels locaux, d'universitaires etc. - et les pouvoirs locaux.

En Angleterre, les huit régions de planification sont fort différentes tant en ce qui concerne leur superficie que leur population (figure 1), la plus grande comptant à peu près 18 millions d'habitants. Les stratégies applicables à quatre régions ont été publiées et une équipe met au point actuellement la stratégie applicable à une cinquième région. Les plans régionaux ont pour objet d'interpréter les politiques nationales en vue de jeter les bases de la prochaine étape de planification prioritaire, d'élaborer et de défendre un ensemble d'objectifs économiques, sociaux et écologiques auxquels les autorités locales d'aménagement puissent rattacher leurs plans réglementaires. Le plan tient compte du potentiel physique et économique de la région en vue de dégager les éléments qui exercent un effet sur la population et sa répartition, sur l'emploi et sur le genre de vie.

Plus localement, l'aménagement des structures incombe de par la loi aux 54 conseils de comtés et conseils de comtés métropolitains d'Angleterre et du Pays de Galles. Comme certaines de ces régions sont fort vastes et que le nombre d'habitants y varie entre 100.000 et 8 millions, l'aménagement des structures en Angleterre et au Pays de Galles peut fort bien être assimilé à l'aménagement du territoire dans certains autres pays.

L'étude et l'analyse en vue de l'élaboration des plans de structure s'effectuent en profondeur, mais les plans eux-mêmes consistent essentiellement en un exposé général, illustré de diagrammes. Le diagramme-clé fait apparaître les grandes lignes de la planification ainsi que les propositions de changement. Le plan de structure fournit le cadre de la planification locale, indique le niveau où commence la planification détaillée.

Tous ces niveaux de planification ont ceci de commun qu'ils visent davantage à arrêter des lignes qu'à délimiter directives des zones sur le terrain.

### 3. LA CARTE DE BASE

Une difficulté à laquelle on ne cesse de se heurter lors de la conception de cartes destinées à être utilisées à un stade quelconque du processus d'aménagement du territoire est de décider combien de renseignements la carte doit contenir, et en particulier combien de renseignements de caractère général, pour permettre au lecteur de la carte de s'y retrouver. Le message spatial perdra sa pureté si l'on introduit trop de renseignements dans la carte, mais la répartition spatiale sera dépourvue de sens si l'on n'en introduit aucun.

La présentation des plans sous forme de diagrammes a pour but de proposer simplement une direction stratégique. Les plans ne précisent pas les lieux d'impact du développement et par conséquent le diagramme, qui ne donne aucune indication topographique, se prête parfaitement à leur représentation. L'expérience a montré que l'emplacement d'un projet sur un plan établi avec des données topographiques détaillées peut être déterminé aisément et conduire à une planification génératrice de spéculations.

Dans d'autres cas, le sujet peut suggérer le type de matériel à employer: ainsi, les limites des unités statistiques devraient être représentées sur des cartes zonales, si l'on tient à donner une représentation claire. La difficulté consiste à choisir les indications utiles pour une carte donnée. Les deux cartes qui font l'objet de la figure 2 illustrent cet aspect. Les renseignements donnés sur les routes dans la figure 2b se rapportent-ils au thème et, si les routes doivent être représentées, le réseau ferroviaire, élément essentiel des communications doit-il l'être également?

L'échelle des cartes utilisées pour l'aménagement du territoire varie évidemment selon la superficie de la région considérée et l'objet des cartes. Même dans un petit pays comme le Royaume-Uni les cartes qui ont été dressées en vue de l'élaboration de stratégies régionales ont des échelles différentes, et on peut se demander si une normalisation de l'échelle est bien nécessaire ou pratique. Toutefois l'échelle, quelle qu'elle soit, doit être en rapport avec les détails à représenter et le degré de généralisation possible.

#### 4. LE PROBLEME DES DONNEES

La difficulté, pour l'établissement des cartes thématiques, réside dans le fait que les données statistiques se rapportent normalement à des régions administratives de superficie différente, dont les limites sont sujettes à variation. Cette difficulté peut être surmontée si les données se rapportent à des unités permanentes ayant des dimensions et une forme types. C'est particulièrement important lorsqu'on s'occupe de régions qui sont à cheval sur des frontières nationales, lorsqu'on tente de comparer des renseignements en provenance de pays différents ou des renseignements concernant des séries chronologiques. Au Royaume-Uni, le recensement de 1971 a quelque peu contribué à résoudre le problème en fournissant des renseignements relatifs à des rectangles de 1 et de 10 km de côté.

Lorsqu'on dresse des cartes en vue de l'aménagement du territoire, il faut tenir compte de la difficulté de rassembler un grand nombre de statistiques. C'est ainsi que les définitions de renseignements recueillis peuvent varier d'un comté à l'autre, dans les limites d'un même pays, alors que des définitions différentes peuvent être utilisées simultanément dans des pays différents. Il en résulte qu'il est difficile de brosser un tableau international et souvent impossible de dresser une carte faisant apparaître les changements. Les statistiques ne sont pas toutes rassemblées au cours des mêmes années et, dans ces conditions, le rattachement d'une série de renseignements à une autre peut se révéler difficile. Il peut arriver que la production des statistiques et l'établissement des cartes soient si longs que les cartes sont périmées avant même de paraître.

Une difficulté supplémentaire tient au souci de distinguer les données qualitatives et les données quantitatives. Cet aspect revêt une grande importance pour l'aménageur qui doit s'occuper de nombre de facteurs subjectifs, tels que l'évaluation du paysage et la qualité de la vie, dont la mesure est difficile et risque d'être faussée par un jugement subjectif.

### 5. LE ROLE DES CARTES DANS L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

Dans l'aménagement du territoire, les cartes servent:

- a. à donner des renseignements spatiaux de base sur les caractéristiques d'une région;
- b. à faciliter l'analyse;
- c. à illustrer les conclusions de la recherche;
- d. à illustrer des propositions de plans.

Les deux premiers types de cartes, qui sont essentiellement destiné aux aménageurs et aux professionnels, se distinguent nettement des deux autres, qui sont destinés à éclairer le public et à servir de diagrammes-clés pour illustrer la stratégie, les objectifs et les grandes orientations de l'aménagement.

#### a. Information générale.

Les cartes d'information générale marquent le départ des travaux d'aménagement. Beaucoup existent déjà mais certaines doivent être établies spécialement. Au Royaume-Uni, les cartes topographiques dressées par le Service cartographique fournissent une vaste gamme de renseignements à des échelles comprises entre le 1/1 250e et le 1/625 000e. D'autres renseignements généraux concernant par exemple le climat, les minéraux, la sauvegarde de la nature et la classification des sols ne sont souvent pas disponibles sous forme cartographique et des cartes doivent être spécialement élaborées pour les besoins des aménageurs.

Pour dresser un "inventaire" ou un "catalogue" de ce type le cartographe doit sélectionner les éléments de documentation avec soin et les représenter sous une forme adaptée à l'échelle de la carte. La figure 3 montre comment il faut modifier le nombre et les dimensions des symboles, ainsi que le volume des renseignements de caractère général, pour représenter clairement des renseignements identiques sur des cartes à échelle différente. La figure 3a est un extrait de carte à l'échelle du 1/625 000e, qui indique l'emplacement et l'étendue de carrières de pierres à chaux, les limites des affleurements sur lesquels elles se situent ainsi que les limites des comtés. La figure 3b montre la même carte réduite par photographie à l'échelle du 1/1 900 800e, cependant que la figure 3c montre comment les carrières ont été représentées sur la carte définitive à l'échelle du 1/1 900 800e. Trois grandeurs ont été utilisées pour les symboles, au lieu des quatre de la carte à plus grande échelle, les limites géologiques n'ont pas été représentées et les limites des comtés constituent les seuls renseignements de caractère général. Ainsi, on a pu situer les symboles de façon à éviter les chevauchements gênants et à bien les mettre en valeur tout en conservant la physionomie générale de la répartition.

b. Instruments d'analyse.

Le chercheur peut utiliser les cartes comme instruments d'analyse, soit pour étudier la répartition spatiale des renseignements, soit pour réunir des renseignements sur plusieurs sujets différents.

Souvent, le chercheur procède à de nombreuses esquisses à la main. On peut également se servir d'un ordinateur pour extraire les informations d'une grande banque de données, effectuer les calculs nécessaires et réaliser une carte avec des caractères dactylographiques. On peut donner à ces cartes l'échelle et la précision que l'on veut. Elles permettent au chercheur de voir d'un coup d'œil la répartition spatiale de n'importe quelle information provenant de la banque de données. Comme la fabrication de ces cartes est relativement bon marché, on peut les jeter et les remplacer rapidement par d'autres répondant à d'autres besoins, si on les juge inutilisables.

Lorsqu'un chercheur veut communiquer des cartes à une équipe de chercheurs ou à un comité directeur par exemple, on peut aussi employer l'ordinateur pour l'établissement de cartes qui se prêtent à la reproduction. La figure 4 représente une carte réalisée par le Système cartographique automatique du Ministère de l'Environnement du Royaume-Uni (Linmap). Cette carte, connue sous le nom de carte Greyscale, a été produite par une phototype utilisant un ensemble de caractères spécialement conçus à cet effet. Elle indique le pourcentage de ménages de l'agglomération londonienne ne disposant pas de salle de bain. Elle a été réalisée pour une équipe de chercheurs qui étudient les zones où sévit la crise du logement. Si l'on veut une carte en couleurs destinée à être diffusée plus largement, on peut se servir de ce système pour produire une "Colmap" (carte en couleurs) (figure 5) pour laquelle le matériel d'impression est réalisé sur film par une phototype.

Le chercheur se sert souvent de cartes pour réunir des renseignements sur plusieurs sujets, en vue d'identifier, par exemple, des régions soumises à certaines conditions ou des régions non soumises à diverses restrictions. Une série de cartes indiquant les restrictions apportées au développement, que le Ministère de l'Environnement du Royaume-Uni a récemment réalisées au 1/250 000e, en constitue un exemple. La figure 6 donne un résumé de ces informations pour une partie de la Grande-Bretagne.

c. Cartes illustrant les conclusions de la recherche.

Les cartes illustrant les conclusions de la recherche accompagnent généralement un compte rendu écrit de recherche et doivent pouvoir être comprises par les autres chercheurs comme par les profanes. Elles illustrent les motifs de la recherche et justifient les projets d'aménagement. C'est à ce stade du processus de l'aménagement que la carte commence à prendre de l'importance comme moyen de communication.

Une série d'illustrations - réalisées au cours de l'élaboration du plan stratégique pour l'Angleterre du sud-est et reproduites aux figures 7 à 12 du présent document - montre comment on peut se servir des cartes pour illustrer les données de la recherche et construire une hypothèse. On y voit que la population de l'agglomération londonienne, et en particulier du Londres intra-muros où se trouvent la plupart des logements vétustes de qualité médiocre, est en voie de diminution mais que les conditions de logement des personnes restant dans le Londres intra-muros sont mauvaises en raison de la rareté, du surpeuplement et de la médiocre qualité de nombreuses habitations. En dehors de Londres, la population est en voie d'augmentation (figure 7). Simultanément, bien que le centre de Londres demeure un centre d'emplois du secteur tertiaire et un pôle d'attraction pour les quartiers périphériques et la région qui les entoure (figure 8), l'industrie manufacturière quitte Londres (figure 9), mais les entreprises ne vont pas loin et se cantonnent dans certains secteurs (figure 10), ce qui limite le nombre des options qui s'offrent aux aménageurs en quête de pôles de croissance. D'ailleurs, elles n'emmènent qu'un faible pourcentage de travailleurs non qualifiés (figure 11) et ce pourcentage diminue sensiblement avec l'éloignement.

Etant donné que les travailleurs non qualifiés représentent une fraction notable de la population vivant dans les logements de qualité inférieure au centre de Londres - c'est là l'un des problèmes majeurs de la région - un objectif important, lors de l'élaboration d'un plan, est de porter au maximum le nombre de travailleurs non qualifiés quittant ce centre. On pourrait y parvenir en encourageant les industries manufacturières à s'installer à faible distance du centre de Londres, mais cette solution risquerait de s'opposer à la solution d'autres problèmes que l'analyse antérieure à l'élaboration du plan a fait apparaître, par exemple le besoin d'installations récréatives à la périphérie.

Dans ces conditions et compte tenu des recherches entreprises, un certain nombre d'hypothèses ont été élaborées. Elles n'avaient pas pour but de mettre au point une stratégie précise ou un arrangement spatial pour faire une place à toutes les formes de croissance, mais plutôt d'illustrer une gamme de conceptions différentes qu'on pourrait adopter pour résoudre les divers problèmes de la région, par exemple la croissance périphérique dans un petit nombre de grandes communautés ou la croissance périphérique dans un grand nombre de petites communautés pour limiter les transferts à grande distance, chacune de ces conceptions pouvant résoudre certains problèmes. Ces hypothèses avaient donc pour objet de clarifier les idées sur les variantes possibles, afin de dégager l'idée la plus intéressante et de la soumettre à une nouvelle mise à l'épreuve.

On s'est également servi de cartes pour faire apparaître les résultats des travaux prévisionnels en montrant quels seraient les effets de plusieurs projets sur un réseau routier à une date donnée. La figure 13, par exemple, est un diagramme qui montre quels seraient les courants de circulation sur le réseau routier si l'on appliquait l'un des projets.

#### d. Cartes illustrant des propositions de plans

On ne se sert pas seulement des cartes pour présenter des conclusions mais aussi pour illustrer une stratégie ou un plan à tous les niveaux, du niveau national au niveau subrégional. Toutefois, répétons-le, ces cartes doivent souvent prendre la forme de diagrammes. Bien qu'apparemment simples, les diagrammes posent au cartographe une nouvelle série de difficultés puisqu'ils représentent une région identifiable mais trop imprécise du point de vue spatial pour que les lieux d'implantation puissent être reconnus. Ainsi, s'agissant d'illustrer par la cartographie la stratégie retenue pour l'Angleterre du sud-est (figure 14), il était essentiel de produire une carte de la région ressemblant au sud-est mais ayant aussi suffisamment la forme d'un diagramme pour que, les principes étant clairs, l'emplacement précis sur le terrain n'apparaisse pas. Cela était indispensable parce que dans l'aménagement du territoire, à cette échelle, il n'est pas possible de situer le développement avec précision - cette responsabilité incombe à un autre niveau de la planification - et que seules peuvent être illustrées des zones générales de croissance. Le plan stratégique le plus récent pour le nord-ouest se présente aussi sous forme de diagramme (figure 15).

#### 6. *LES CARTES COMME MOYENS DE COMMUNICATION*

Les cartographes cherchent toujours à illustrer de façon aussi graphique que possible, soit par la plume soit par l'imprimante en ligne et la phototypie, des informations pouvant faire l'objet d'une perception visuelle rapide et facile. Il faut préparer chaque carte en songeant à un utilisateur précis. Ainsi, les cartes destinées aux aménageurs doivent répondre à leurs besoins, cependant que les cartes destinées à illustrer des plans d'aménagement du territoire doivent satisfaire non seulement les besoins des aménageurs mais aussi ceux du public. Ces cartes n'ont pas, normalement, le même format que les cartes produites par des experts d'une discipline particulière, pour leur propre usage.

La planification est essentiellement au service de la société et c'est pourquoi la participation du public est un aspect important du programme d'aménagement. En l'espèce, l'objectif consiste à exprimer la complexité des problèmes et l'esprit des orientations interdépendantes. Les cartes sont essentielles pour faire connaître au public les travaux d'aménagement, mais il est aussi difficile de concevoir une bonne carte qu'un bon diagramme stratégique. Les cartes doivent être suffisamment détaillées pour permettre au public de reconnaître les lieux et elles doivent simplifier, mais sans excès, la complexité des projets d'aménagement. L'objectif est de transmettre le message et l'information à celui qui lit la carte plutôt que de lui donner les moyens de chercher - et la plupart paraissent s'adonner à cette recherche avec une passion irrésistible - l'endroit où il vit ou travaille. Cette tâche peut ne pas paraître exaltante pour le cartographe, mais elle est essentielle pour que la carte soit utile.

Les cartes reproduites dans le présent document illustrent le rôle des cartes dans l'aménagement du territoire et mettent en évidence certains problèmes, par exemple le choix des données, l'échelle et surtout la conception à appliquer pour que les cartes répondent à l'usage particulier qu'on veut en faire.

Peut-être les aménageurs et cartographes devraient-ils se rappeler plus souvent que les cartes ne constituent pas une fin en soi. L'utilité de cartes FIABLES ne fait aucun doute, mais les difficultés surgissent quand les cartographes veulent les charger de trop d'indications ou quand ils veulent présenter sous forme de cartes des problèmes qui n'ont pas vraiment de dimension spatiale. Les cartes sont des outils et des moyens de communication pour l'aménageur, et non pas des publications de prestige.

#### Remerciements

L'auteur tient à remercier ses collègues du Ministère de l'Environnement de l'aide qu'ils ont apportée.

ORDENACION DEL MEDIO LITORAL

## AMENAGEMENTS EN ZONE LITTORALE

Protection des environnements marins et degré de risque

par

J. J. BLANC

Laboratoire de Géologie marine et Sédimentologie appliquée  
Centre Universitaire de Luminy - Marseille

### Résumé

Les Problèmes de "génie littoral", en relation avec la Géologie et la Sédimentologie marines, concernent trois questions essentielles :

1) approvisionnement en sables et graviers, 2) rejets à la mer et modalités de protection des milieux marins adjacents, 3) sécurité du littoral et des installations riveraines ; évaluation du degré de risque, tendance évolutive à court et moyen terme. On aborde les questions pratiques suivantes où intervient la compétence du Géologue : définition des sites possibles d'exactions sous-marines et nature des contraintes, situation et conséquences des rejets solides et liquides (émissaires, remblais, "dumpings"), méthodes d'études des aires aménagées ou des projets d'occupation de l'espace marin.

Une analyse prévisionnelle des situations, compte tenu du degré de risque et des marges habituelles de sécurité, demeure souhaitable.

• •

### INTRODUCTION

Les aménagements et interventions en zone littorale modifient les équilibres naturels en des domaines variés concernant l'hydraulique, la biologie benthique et les pollutions, les bilans sédimentaires, etc... Le développement de l'urbanisation, des loisirs et des aires industrielles au front de mer amène une intervention de plus en plus fréquente du Géologue marin. Cette dernière est réalisée à trois niveaux :

1) Sédiments des plages et des petits fonds adjacents, dépôts infra et circalitoriaux de la marge continentale supérieure. Ces ensembles posent le problème de l'approvisionnement en matériaux (sables et agrégats), donc des conséquences éventuelles des extractions sous-marines vis à vis des peuplements et du profil d'équilibre littoral.

2) Rejets à la mer, qu'il s'agisse de projets d'émissaires, sea-line (bois issus du traitement des bauxites), ou de déversements de dépôts solides (dumpings : produits de dragages, etc...). Des études pluridisciplinaires s'avèrent indispensables avant la phase de réalisation (hydrodynamique, biotopes, caractères du sédiment, topographie sous-marine). Mais on notera qu'un rejet n'est point nécessairement une pollution...

3) Degré de risque concernant une portion littorale définie, une installation réalisée ou projetée. L'intervention amènera la collecte des données, leur triage et leur interprétation, puis leur transposition à un modèle probabiliste. Les projeteurs prendront alors en compte un type de situation et une tendance évolutive à la phase préparatoire d'une organisation de l'espace littoral. Cette dernière intervention, la plus importante, pourra éviter ou atténuer la dégradation des milieux naturels. Elle pourra être suivie par une surveillance attentive des aménagements et chantiers, durant parfois plusieurs années après la réalisation (cas de Fos et de Marseille-Sud). Mais, en général, les erreurs de conception seront très difficiles à rattraper.

Nous considérerons les trois types essentiels parmi les problèmes couramment examinés :

#### I - APPROVISIONNEMENTS EN MATERIAUX SOUS-MARINS (Sables et Graviers)

L'augmentation accrue de la demande en sables et agrégats pour la construction et les travaux publics et privés (remblais, travaux routiers, bétons, etc...) conduit pour certaines régions, à rechercher des gîtes d'extraction dans le domaine marin, à faibles profondeurs.

##### 1. DEFINITION DES SITES POSSIBLES D'EXTRACTIONS SOUS-MARINES

Les plages elles-mêmes seront à éliminer pour des raisons évidentes de sécurité littorale, degré de fréquentation et intégrité des paysages naturels.

Une classification des gîtes devra donc concerner les milieux marins proprement dits. On distingue (Blanc, 1975) :

1) les sables fins du prisme littoral et les sables fins bien calibrés, en milieu infralittoral. Malgré l'excellence du matériau on retiendra seulement que 8 à 10% de la superficie peuvent être utilisables du fait des règles de sécurité et des peuplements benthiques. Par ailleurs, les gîtes forment des taches irrégulières souvent étirées dans la direction des courants dominants moyens ou encore disposés en lobes d'accrétion perpendiculaires au tracé littoral;

2) pro-deltas immersés correspondant aux débouchés d'un réseau hydrographique fossile ou sub-actuel. Les tonnages peuvent être importants mais la disponibilité du matériel demeure, à quelques mètres de profondeur, très limitée par des conditions hydrodynamiques sévères et complexes et par un rivage fragile, à bilan sédimentaire déficitaire (exemple de la Camargue);

3) sables biodétritiques de la zone infralittorale, de quelques mètres à - 30 m, piégés par le développement des herbiers et, notamment, des herbiers à Posidonies (Blanc J. et Jeudy de Grissac A., 1978). L'intérêt biologique et halieutique de ces derniers en interdit l'exploitation malgré l'importance évidente du matériau;

4) sables grossiers et sables coquilliers hétérométriques du Détritique côtier s.l., en zone circalittorale. Ce sont des milieux très diversifiés, hétérogènes, issus des apports détritiques minéraux ou biogènes. Pour ces derniers, on notera l'importance de la contribution de peuplements fossiles ou sub-fossiles (thanatocoenoses de 25 000 à 7 000 A.B.P.) mêlés aux débris des écosystèmes actuels.

Il s'y ajoute des peuplements algiaux concrétionnans et les produits d'une érosion sous-marine d'origine mécanique ou biologique. Ces gravelles d'origine algale (maërl) constituent des matériaux carbonatés intéressants, généralement déposés au centre de circuits courantologiques tourbillonnaires.

Malgré une profondeur prohibitive et une certaine teneur en fines assez irrégulière, une partie de ces gîtes peut être exploitée après une étude préliminaire.

5) les gîtes des sables détritiques du large constituent une zone potentielle importante (sables et graviers coquilliers liés aux paléobiocoénoses wummiennes), non exploitables en l'état actuel, du fait de sa profondeur (de - 90 à - 180 m), son exposition et de la faible valeur intrinsèque du matériau. Il en sera de même pour le détritique côtier profond et généralement envasé.

Deux faits importants modèrent les projets d'exploitation :

1) le non-renouvellement des réserves, habituellement constituées de stocks fossiles.

2) les contraintes sévères du milieu marin.

## 2. NATURE DES CONTRAINTES

Ces dernières concernent le milieu vivant et le sédiment.

1) Les milieux vivants seront l'objet de maintes altérations :

- destruction mécanique aux sites d'extraction. Il faudra généralement une dizaine d'années pour une reconstitution naturelle du peuplement et, ce dernier peut s'avérer différent des biocoénoses initiales, constituant souvent un faciès dégradé irréversible.

- envasement lié au panache des fines en suspension, redéposées aux alentours de l'exploitation. On note, par exemple un étouffement et la destruction générale des herbiers ou des fonds sableux à poissons blancs

- modifications brutales des profils et des régimes hydrauliques en fonction des plans d'extraction (ratissage général, fouilles linéaires, tranchées ou cônes).

2) Les bilans sédimentaires sont immédiatement affectés par la formation, autour d'une fouille supposée circulaire, d'un cône de rajustement tendant à équilibrer le profil excavé. L'intervention des facteurs hydrauliques y revêt une grande complexité :

- profondeurs limites d'action des houles, notamment pour les régimes de tempêtes, action des courants orbitaires déplaçant le sédiment

- courants de décharge, courants sagittaux accélérés par les raidissements de la pente naturelle

- courants littoraux et transferts déportant ailleurs le sable (et les fines) remaniés.

Les modifications du profil tendront à s'ajuster, au cours des années ultérieures, à une nouvelle position d'équilibre aux dépens des formations sableuses littorales amenant d'importants désordres au rivage. Cette notion de profil d'équilibre littoral, développée par Rivière (1951), doit toujours être considérée avant tout projet d'exploitation.

## 3. CONDITIONS OPTIMALES D'EXTRACTION

1) Phase initiale : évaluation des cutatures disponibles et de la qualité des matériaux par une campagne de leviers sous-marins précis, inventaire des peuplements, drages, sondages, géophysique légère (boomer, sparker), puis lancages, carottages, électro-vibro-fonçages.

2) Pour les littoraux sableux fragiles, on se tiendra à une distance minimale de 3 500 m et à une profondeur de 20 m afin d'atténuer les modifications artificielles de la pente naturelle et de permettre un lent rajustement. Ces limites peuvent être relevées à 1 000 m et 10 m pour les côtes rocheuses non urbanisées.

l'exploitation et colloc des herbiers et des zones de pêche professionnelle.

Il sera important de bien connaître, au préalable, le profil du bed-rock sous le recouvrement sédimentaire à exploiter. De mauvaises surprises sont à redouter dans le cas des paléo-karsts enfouis, des plateaux et chenaux sous-marins et des peintements rocheux volcaniques.

## II - REJETS

On distingue les rejets liquides et solides polluants ou non.

## 1. REJETS LIQUIDES

1) Non polluants : Ce sont par exemple, les flux d'eaux douces issus des installations électriques de production.

Ici encore, on se trouvera confronté à deux options possibles : flux d'eaux douces froides et flux d'eaux douces ou marines chaudes. On pourra citer les exemples suivants :

- Flux d'eaux duranciennes froides se jetant dans l'étang de Serre (Usine E.D.F.). De nombreux phénomènes consécutifs à ce rejet, ont été mis en évidence :

- Formation d'une spirale, parfaitement visible en photographie aérienne (émissions classiques panchromatiques ou infra-rouges), résultant de la non-mixibilité d'une partie du flux. Cette dernière est orientée en fonction des régimes météorologiques dominants et non de la force de Coriolis;
  - Accélération du colmatage naturel de l'Etang. (influence des phyllites d'origine durancienne), jusqu'aux aires de Martigues et comblement du golfe de St Chamas.
  - Accentuation de la dessalure et conséquences biologiques (débit supérieur à 10 m<sup>3</sup>/s).
  - Le flux d'eau douce durancienne emprunte le chenal de Caronte et le courant de marée détermine la diffusion d'un large éventail dans le golfe de Fos associé au dépôt des dernières particules argileuses en transit. Ce flux périodique (Sh) a été précisé par une mission de thermographie infra-rouge (Blanc J., Cazabat C. et al., 1973).
  - Flux d'eaux marines chaudes : réfrigération de la centrale thermique E.D.F. de Ponteau (près Martigues), sans influence sédimentologique directe et se traduisant par une attirance du necton (appréciée des pêcheurs à la ligne).

2) Rejets liquides polluants. Nous étudierons la question des émissaires dans la seule mesure de son interaction avec les facteurs liés au substratum. En dehors de toutes modalités d'épuration et de débits, il faut souligner les influences suivantes :

- Profondeur : se tenir en deçà de la zone infralittorale; - 20 à - 25 m apparaissent comme un minimum, sous une thermocline, afin d'atténuer la diffusion vers le rivage et la remontée du panache polluant. On se heurtera à des problèmes

divers : lentilles d'eaux froides et contre-pentes s'opposant à la diffusion en masse vers le large, etc... .

- choix de sites en eaux très agitées et à pentes fortes (ex : émissaire de Toulon Ouest ; Cap Sicié) assurant une dispersion rapide et l'accélération vers le large, liée à de forts courants de décharge au niveau du fond. On évitera les rejets en baies abritées où les circuits courantologiques, tourbillonnants ou non, rabattent les eaux polluées vers les rivages.
- Au niveau du sédiment, on évitera les faciès très envasés (vases *terrigenes côtières*) trop riches en montmorillonite et en édifices interstratifiés gonflants accumulés dans les zones de décantation (Aigues-Mortes, le Grau du Roi). Ces phyllites concentrent par adsorption les hydrocarbures et les métaux lourds (Arnoux et Chamley, 1974). En revanche les aires d'accumulation riches en illite-chlorite ou kaolinite, ne présentent point le même phénomène et pourront être utilisées pour des rejets épurés, vers une profondeur d'au moins 35 m.

## 2. REJETS SOLIDES

Le rejet d'éléments solides polluants ou dangereux est évidemment à proscrire en milieu marin. En ce qui concerne les rejets solides non polluants (déblais de carrières, blocs, remblais hydrauliques résultant d'éléments de dragages ; matériaux évacués des chantiers de terrassements et de tunnels), des possibilités intéressantes existent moyennant certaines précautions. Nous distinguerons le cas des remblais et des *dumpings*.

a) *Remblais* : les rejets solides non polluants devront être immersés après l'édification d'une digue filtrante, isolant l'aire équipée des eaux marines ouvertes. En l'absence de digue, un rejet direct de limons et d'argiles amènera la destruction immédiate, par étouffement, des herbiers littoraux (cas des baies de Bandol et Sanary). La présence d'une digue robuste bien étudiée ne fera que déporter vers le large la zone du déferlement et des turbulences superficielles, amenant une faible et provisoire régression des fonds marins qui tendent d'ailleurs à se reconstituer naturellement.

b) *Dumpings* : ou rejets brutaux, en mer, de grandes quantités de déblais ou produits de dragages (ex. du golfe de Fos). Des phénomènes divers se manifestent et aux conséquences inégales :

- étalement du panache des fines amenant l'envasement modéré des aires périphériques, parfois à de grandes distances du site de rejet.
- mobilité des amas sous-marins. Cette dernière est une fonction du débit solide introduit, du temps, de la pente et de l'angle de cisaillement du matériau.

Pour des fonds horizontaux bien choisis, à des profondeurs suffisantes, cet étalement se poursuit plusieurs années (7 à 10 années) après le rejet, sans grandes conséquences. Bien entendu, de tels rejets sont à proscrire dans l'infra-littoral ou à proximité des herbiers et fonds de pêches. En d'autres lieux (Fos, La Ciotat), on assiste à une progression de l'envasement et à une altération des peuplements et des sédiments du *détritique côtier* (Roux, 1977 ; Blanc, 1975). La tenue des amas immersés finira par se stabiliser en fonction de la granulométrie des matériaux et des paramètres hydrauliques, donc en relation avec la profondeur et le degré d'exposition des sites envisagés. Malgré certaines observations surprenantes (déplacements sur le fond de blocs et gros galets), le rejet de matériaux grossiers (blocs, enrochements, graviers) ne présente aucun danger (déblais de carrière : littoral des Calanques, Cassis).

- Le rejet devra être réalisé en milieu circalittoral, donc à une certaine profondeur (-30 à -50 m), afin d'éviter les remontées de fines, les remises en suspension par les courants orbitaires de la houle. Etant donné que le déplacement sous marin, lié à une cubature importante, peut se poursuivre durant plus de dix années, il est préférable d'utiliser des sites à forte pente, en milieu circalittoral profond.

Il ne faut point oublier que pour des rejets effectués à plus de 300 m de profondeur, on relève des remontées très temporaires de fines, lors des grandes tempêtes, jusqu'à - 90 m : cas des boues alumineuses déversées en baie de Cassis : Canyon de la Cassidaigne (Bourcier, 1976). On se heurtera à d'importantes difficultés liées à notre connaissance insuffisante des courants de pentes ou de gradient à ces profondeurs.

### III - PREVOIR LE DEGRE DE RISQUE

Le projecteur, confronté à des problèmes littoraux, a le choix entre trois attitudes :

- 1) ne rien faire ; attitude commode, économique à très court terme, souvent dangereuse et fort coûteuse à long et moyen terme.
- 2) voir venir et agir éventuellement au coup par coup. Cette procédure est très employée.
- 3) agir après une information préalable correcte mais qui comporte toujours un certain degré de risque et d'incertitude (probabilité de 1 à 5 % par ex.).

On distinguera le cas des zones en projet d'aménagement et celui des espaces aménagés ou exploités.

1. ZONES EN PROJETS D'AMENAGEMENT : trois points de vues assez distincts sont à considérer :

1 - Aptitude des sites : cette partie de l'étude est probablement la plus importante pour la sécurité du littoral, par exemple :

- les émissaires situés en fond de baies ou en relation avec des circuits tourbillonnaires sont dangereux pour les littoraux adjacents.
- de longs épis transverses sont dangereux pour les plages et flèches sableuses fragiles par le fait d'une érosion active à la zone aval du transfert (cavitation).
- la présence d'un brise-lame frontal pourra efficacement protéger une portion de littoral menacée mais amènera un déplacement vers le large des zones de turbulence, d'où une érosion temporaire des fonds, (Bourcier et Picard, 1976 ; Blanc, 1975 ; Blanc et Jeudy de Grissac, 1978). Il y a un problème de choix.
- les *dumpings* et extractions en milieu infralittoral seront généralement dangereux pour les peuplements benthiques et pourront favoriser des envasements ou des reprises de l'érosion, etc...

Une étude pluridisciplinaire initiale, accompagnée d'une expertise biologique permettra d'accroître la marge de sécurité. Mais il ne faudra pas oublier qu'une portion littorale sableuse, équipée avec succès, amènera ensuite le déplacement latéral de la zone dangereuse aux dépens des communes adjacentes...

2 - Géométrie et modalités de réalisation des ouvrages ; choix des tranchées, étude des vagues pour différents régimes, profils des jetées, études en modèle réduit, choix des matériaux, etc... Par exemple :

- réflexions et interférences atténuées par des talus inclinés rugueux et absorbants.
- diffractions aux musoires, ergots d'épis, etc...
- décalages des ouvrages mixtes afin de permettre le renouvellement des eaux par upwelling.
- création d'avant-ports très bien étudiés afin de casser les houles incidentes engouffrées dans les passés, zones d'expansion et localisation des nodales de seiches, etc...

3 - Prévoir les *coups durs*, c'est-à-dire les tempêtes exceptionnelles (décennales) ou très exceptionnelles (centenaires), les événements fortuits (séismes, tsunamis) et toute élévation anormale, temporaire ou durable, du niveau de la mer. Une étude houlographique très soignée permettra de calculer une *houle maximale* et sa probabilité d'apparition (abaques et calculs de Grovel, 1970 ; Larras, 1957 ; Bonnefille, 1976). On se donnera une marge de sécurité acceptable en calculant des ondes fictives maximales, en comparant avec les houles réelles, puis en calculant les ouvrages, profils et défenses en conséquence. On pourra travailler avec une probabilité de risque de 1 % à 5 % selon les cas.

Certains risques paraissent imprévisibles en l'état actuel de nos connaissances.

## 2. ZONES AMENAGEES OU EXPLOITEES

Ici, nous bénéficions d'une expérience acquise et de nouvelles règles de sécurité seront définies ou améliorées : citons, par exemple :

- longueur des épis transverses jusqu'au niveau des premiers déferlements ; calcul de leur espacement en fonction des caractères du littoral et des paramètres de la houle,
- engrangement et érosions consécutifs aux édifications des jetées littorales entravant les transferts, problèmes de pollution à l'extérieur et à l'intérieur des bassins : les nodales des seiches sont le siège d'une accumulation de débris et des zones à sédimentation accélérée (cas des Marinas),
- position des *sea-lines*, remblais, émissaires,
- courants de fond, phénomènes de courants compensateurs et de résonances (cas des cordons festonnés),
- présence ou absence de rides littorales, etc...
- localisation très exacte des axes de courants sagittaux et des points neutres avant et après les aménagements (Hyères, Port Camargue, Fos....),

Les méthodes d'études devront être adaptées aux sites, au degré de protection, au temps et aux moyens disponibles.

### 3. MÉTHODES D'ÉTUDES

Plusieurs phases :

- 1 - Missions aériennes littorales annuelles ou semi-annuelles, à basse ou moyenne altitude (émissions panchromatique, ektachrome, aérocolor, I.F.). On appréciera l'évolution des plages, localisation des points neutres, des axes d'érosion, aires d'accumulations, d'interférences, dépôts liés aux nodales de seiches (côte des Maures, Camargue). Les données des satellites (E.R.T.S. : bande 5 : thermographie I.F. (8-14 $\mu$ ), LANDSAT 1. Equipes FRALIT (CNRS et ENS, CNES) apportent d'intéressants résultats, à une échelle généralement plus large que celles des problèmes locaux habituellement posés.
- 2 - Observations et mesures à la mer, sur le terrain ou en plongée. Les données sont codées (données quantitatives, semi-quantitatives ou qualitatives) à l'aide d'un incrément approprié : étude des profils littoraux, mesures des pentes et des espaces érodés (ou engrangés) à l'aide de repères. On établira des graphes de profils en fonction du temps ; un lissage des valeurs sera réalisé (méthode des moyennes mobiles, peignes glissants, variogrammes).

De ces mesures, on dégagera une tendance évolutive calculée (fonction : érosion - temps) que l'on confrontera avec les faits observés. La réponse de la plage obéit à une loi linéaire ou exponentielle (mesures en Camargue ; Faraman : 17 années d'observation), de la forme :  $y = ax + b$  ou  $y = ae^{bn}$ . On en tire une vitesse moyenne d'érosion (par ex.) et des données prévisionnelles pour un intervalle de temps raisonnable (quelques décennies) ; à la condition d'avoir une excellente série de mesures. Les variogrammes et les moyennes glissantes font ressortir des cycles à des degrés variés (annuels, 2 à 3 années, 12 à 25 années). (Blanc, recherches non publiées 1978-1979).

- 3 - Analyse des données. Les résultats codifiés et pondérés sont portés sur des tableaux (matrice des données), puis calculés en tableaux de probabilités pondérées (matrice stochastique). Ensuite, on effectue le calcul des matrices de corrélations à l'échelle des variables (paramètres = mode R) et des observations (sites = mode Q). On peut arrêter l'interprétation à ce niveau où les matrices apportent une quantité appréciable d'informations.

On peut, si le problème s'y prête, pousser l'interprétation au niveau de l'analyse factorielle des correspondances ou en composantes principales. Pour l'ordination des résultats, nous retiendrons généralement trois axes factoriels pour lesquels, le plus souvent, les variances demeurent significatives (fig.1). On pourra représenter sur un même graphe les résultats généraux pour les variables (mode R) et les sites littoraux (mode Q). Une dernière démarche utile sera le calcul de la contribution relative des paramètres mesurés et sites vis à vis des axes factoriels et la mesure de la distance du  $\chi^2$ . Celà permettra d'établir une hiérarchie ascendante des variables (facteurs dirigeants) ou des sites (classification des plages par exemple). On définira cette distance (probabiliste) à partir d'un pôle choisi qui sera, par exemple, l'érosion (degré codifié, incrément approprié), ou la sédimentation, ... ou le degré de pollution (défini par les spécialistes).

Cela permettra l'établissement d'un degré de risque, donnée quantitative et objective, pour une portion définie du littoral. On pourra agir alors selon une hiérarchie cohérente des urgences au niveau des localités et des facteurs dynamiques étudiés.

## CONCLUSION

Les interventions, sommairement exposées, concernant l'activité du Géologue marin au niveau des littoraux, traitent des trois thèmes principaux : approvisionnement en matériaux, protection de l'environnement et aménagement de l'espace littoral.

Il a été dégagé une méthodologie générale de ces interventions. Mais ces dernières devraient être entreprises avant la réalisation définitive des ouvrages, et notamment au stade du projet. Les coûts sont très modérés eu égard aux dégradations possibles des milieux naturels et des installations. Par ailleurs, il convient de protéger les sites naturels, non aménagés, des dégradations humaines (pollutions, extractions immodérées ou mal situées) et des attaques érosives au front de mer (recul du littoral camarguais, dégradation mécanique des herbiers, etc...).

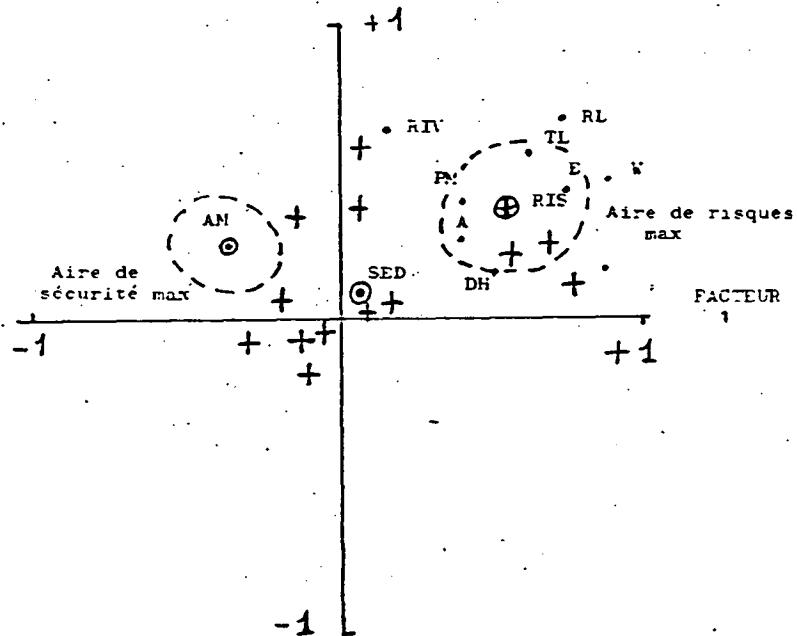
Enfin, il apparaît utile de souligner la nécessité d'une étroite collaboration avec les spécialistes de la Biologie marine et l'utilisation des données informatiques amenant une certaine prévision et hiérarchie dans le déroulement des phénomènes dynamiques littoraux.

## EXEMPLE de la CAMAROUÉ : 14 PLAGES OBSERVÉES

## ANALYSE FACTORIELLE des CORRESPONDANCES

### • VARIABLES + OBSERVATIONS

## FACTEUR 2



+: Plages observées et sites possibles

RIS : ZONE DE RISQUES MAX.

AM : SITUATION d'<sup>o</sup> un AMENAGEMENT

SED : ZONE de SEDIMENTATION MAXIMUM

## E : EROSION

PM : PENTE MOYENNE de C à - 20 M

A : PENTE AU SHAW

TL : TRANSFERT L

## RL : RIDE LITTORALE

## IV : SOMME des VENTS EFFICACES

REV : CONTRIBUTION des

## BIBLIOGRAPHIE

- ARNOUX (A.), CHAMLEY (H.) 1974 .- Minéraux des argiles et détergents des eaux interstitielles dans les sédiments superficiels du golfe du Lion .- *C.R. Acad. Sci. Paris*, (268), pp. 999-1002.
- BLANC (F.), BLANC (J.), CAZABAT (C.), DEMATHIEU (P.), LEVEAU (M.), ROUX (M.), VERNIER (E.) 1973 .- Intérêt de la thermographie aérienne infra-rouge pour l'interprétation des phénomènes hydrobiologiques et sédimentologiques dans le golfe de Fos .- *C.R. Acad. Sci. Paris*, (277), pp. 561-564.
- BLANC (J.) 1975 .- Recherches de sédimentologie appliquée au littoral rocheux de la Provence. Aménagement et Protection .- *C.N.E.X.O.*, 164 p.
- BLANC (J.) 1975 .- Recherches sur les gîtes de sables et agrégats sur la marge continentale de la Provence .- *Bull. Soci. Géol. Fr.*, (7), 27 ; n°4, pp. 521-526.
- BLANC (J.), JEUDY de GRISSAC (A.) 1978 .- Recherches de Géologie sédimentaire sur les herbiers à Posidonies du littoral de la Provence .- *C.N.E.X.O.*, 184 p.
- BONNEFILLE (R.) 1976 .- Cours d'hydraulique maritime .- *Paris: Masson*, 159 p.
- BOURCIER (M.) 1976 .- Economie benthique d'une baie méditerranéenne largement ouverte et des régions voisines en fonction des influences naturelles et humaines .- *thèse, Aix-Marseille II*, n°A012-150, 161 p. et annexes.
- FRALIT (Equipe) 1977 .- Télédétection du littoral océanique de la France .- *Collect. Ecol. Norm. Sup. Jeunes Filles*, n°11, 310 p.
- GROVEL (A.P.), JALLADEAU (P.J.) 1970 .- Prévision de la houle maximale en un point de la côte et son application à la région Lorient - Ile de Groix .- *Trav. Lab. Géol. Marine, Fac. Sci. Nantes*, 37 p.
- LARRAS (J.) 1957 .- Plages et côtes de sable .- *Paris : Eyrolles*, 117 p.
- PICARD (J.), BOURCIER (M.) 1976 .- Evolution sous influences humaines des peuplements benthiques des parages de La Ciotat entre 1954 et 1972 .- *Tethys*, (7), 2-3, pp. 213-222.
- RIVIERE (A.) 1951 .- Etudes de sédimentologie littorale .- *Proc. Intern. Congr. Sedimentol.*, Groningen-Wageningen (Netherl.), 5-12 juillet, pp. 211-218.
- ROUX (M.), VERNIER (E.) 1977 .- Répartition des minéraux argileux dans le golfe de Fos .- *Géologie Médit.*, (IV), 4, pp. 365-370.

ORDENACION DEL MEDIO LITORAL: ESTABILIDAD DE LA LINEA DE COSTA. EVOLUCION RE-  
CIENTE DEL LITORAL CATALAN.

M. A. MARQUES y R. JULIA

1. INTRODUCCION

El presente trabajo aborda la problemática del conocimiento y ordenación del medio litoral, concretamente en el aspecto de estabilidad de la línea de costa, es decir la erosión, acumulación o equilibrio. Los ejemplos citados se centran en el área mediterránea catalana.

En los últimos años el turismo en sus diversas formas ha sido una fuente de riqueza y al mismo tiempo un factor muy importante de transformación tanto en el paisaje como en las costumbres. La zona litoral ha centralizado de forma preferencial esta actividad. Ello ha provocado una intensa polución, en el sentido mas amplio de la palabra, puesto que ha introducido variaciones cuali y cuantitativas en los factores que controlan el sistema litoral. Estas variaciones o interferencias pueden ser intencionadas o no. En el caso de la costa catalana creemos que se puede afirmar que las primeras intervenciones no fueron intencionadas. Ahora bien, los efectos que produjeron han obligado a emprender nuevas modificaciones, con objetivos claros, pero no siempre adecuadas al fin propuesto y que en algunos casos han dado resultados opuestos a los esperados. Algunas de las transformaciones (fundamentalmente las que desembocan en una erosión de la playa o en el cegado de bocanas de puertos) preocupan u ocupan a algunos organismos oficiales o privados pero, por el momento, solo se intenta poner remedio o ejercer un ciego control a nivel muy puntual.

Es necesario tener clara conciencia que el litoral es un sistema integrado y que la introducción o la alteración de cualquier variable,

en cualquier punto, puede repercutir sobre el sistema como se verá en este trabajo con algunos ejemplos.

Un rápido análisis de la zona litoral catalana es suficiente para darse cuenta de la amplia problemática que plantea este medio; destacan por su importancia:

A) El progresivo deterioro de la calidad del agua del mar, con un notable incremento de las enfermedades de la piel. Este problema es tan sólo paliado, en parte a nivel particular, mediante la construcción de piscinas (por ejemplo en Masnou a 20 km de Barcelona, se pueden contabilizar en foto aérea cerca de 40 piscinas en una zona algo inferior a 2 km<sup>2</sup>).

B) Reducción progresiva de los depósitos de arena en la mayor parte del litoral. De hecho la fuerte demanda turística ha favorecido la construcción de puertos deportivos con fines lucrativos. Estos han modificado la dinámica marina de su entorno ampliándose la zona de arena en su alrededor y destruyendo totalmente las exigüas playas en zonas próximas.

C) El proteccionismo de la gestión particular o el favoritismo han marcado hasta el momento la política de ordenación de este medio metaes table, en el cual el beneficio de unos pocos ha incidido directamente en la baja calidad que actualmente puede ofrecerse al turismo, en su sentido más amplio. En esta situación se enmarca el estudio de una posible ordenación de la zona litoral; con una presión del capital para reconvertir su utilización (principalmente con la creación de nuevos fondeaderos de embarcaciones de recreo) y con una presión social para intentar mejorar las condiciones salubres y paisajísticas.

## 2. EL MEDIO LITORAL Y SIGNIFICADO DE LA LINEA DE COSTA

Tal como indica ZENKOVICH (1967), la zona costera es el escenario de la interacción entre la hidrosfera, litosfera, atmósfera y biosfera. Por lo tanto, dentro de este escenario, podemos considerar que la posición

de la linea de costa representa el estado de equilibrio para un momento dado, al igual que cualquier fenómeno geológico. Las distintas posiciones que adopta a lo largo del tiempo, reflejan, la adaptación sucesiva a nuevos estados o formas de equilibrio, debido a la variación de los factores que intervienen en su posicionamiento. Así, cuando la denudación marina sea mayor que los aportes sólidos del continente una linea de costa retrocederá y en caso contrario progradará. En líneas generales podemos considerar que mientras la dinámica marina tiende siempre a reducir la longitud de la costa, tanto los procesos externos que actuan en el continente, como la incidencia de la biosfera en la zona litoral tienden casi siempre a aumentar la longitud de ésta.

Para evaluar los sistemas de proceso-respuesta es importante identificar dentro del sistema litoral conjuntos en los cuales se pueden conocer las respuestas específicas a los distintos procesos físicos. La costa catalana tiene una serie de rasgos que permiten tratarla como un conjunto a escala pequeña, pero a mayor escala podríamos diferenciar dos unidades con respuestas claras. Por una parte se distinguen los sectores de costa acantilada, que representa una zona de estabilidad, a corto y medio plazo, y los de costa baja, con variaciones notables en cuanto a la posición de la línea de costa. Este último conjunto tiene una historia evolutiva común que permite englobarla como una zona progradativa hasta época reciente.

El modelo de la evolución consiste en la construcción de barras paralelas a la línea de costa, regidas por las corrientes litorales e interrumpidas por las corrientes de retorno. Estas barras se han ido anexionando sucesivamente al continente y han regido, hasta hace poco, el proceso constructivo de esta costa. En el delta del Llobregat se ha identificado claramente este proceso (MARQUES, 1975 y 1977) al igual que en la zona de Calafell-Vila nova i la Geltrú (JULIA y MARQUES, en prensa) o en el Maresme.

Esta evolución progradativa ha sido interrumpida recientemente por intervención antrópica, como queda patente en el delta del Llobregat y en otros puntos de la costa. La extracción de áridos, así como la construcción

incontrolada de puertos y espigones son las causas básicas de estas transformaciones.

### 3. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA SITUACION DE LA LINEA DE COSTA

Es difícil poder dar una clasificación estructurada de las distintas variables que intervienen en el funcionamiento de la línea de costa, dado que existe una fuerte interrelación entre ellas. Así, mientras que la estructura continental incide directamente en la estabilidad litoral a través de los movimientos eustáticos (corticales), de la sismicidad, de la litología, etc. a su vez también condiciona la estructura de la plataforma y por consiguiente parte de la dinámica marina relacionada con la atmósfera. Además, cada una de estas variables tendrá más o menos incidencia según la zona estudiada. De forma global los factores quedan esquematizados en la figura 1.

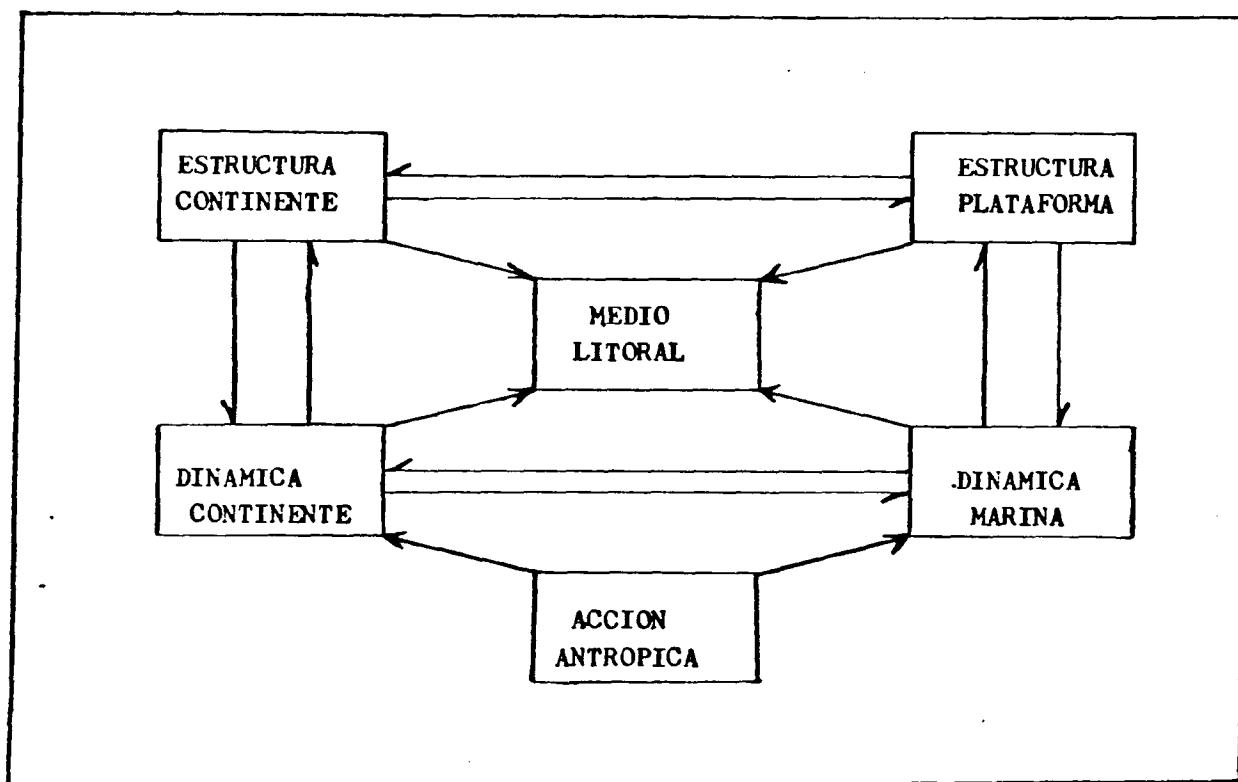


Figura 1.

Analizamos brevemente cada uno de estos factores, para establecer finalmente un esquema conceptual mas completo.

### 3.1. Características de la plataforma litoral

Las características de la plataforma litoral condicionan el equilibrio de la línea de costa fundamentalmente a través de sus dimensiones y de su morfología. La existencia de una plataforma ancha o estrecha, somera o profunda condiciona extraordinariamente la energía que llega a la costa y su distribución. Concretamente en el caso de la costa catalana, la plataforma es muy estrecha, con una anchura media de unos 25 km, y presenta una morfología con numerosos cañones o incisiones, en distintas fases de evolución y colmatación, que facilitan el transito de sedimentos hacia zonas mas profundas.

### 3.2. Dinámica litoral

La dinámica marina ejerce un control directo sobre los procesos costeros y es en extremo variable. En este sentido es necesario tener en cuenta las mareas, el oleaje y las corrientes. La existencia o no de mareas, importante en sí misma y dependiente de la morfología de la plataforma, condiciona además la acción del oleaje y de las corrientes, así como la redistribución de los sedimentos.

Las corrientes están generadas y controladas en su mayor parte por el régimen atmosférico. El sistema litoral y por ende la posición y estabilidad o no de la línea de costa, depende estrechamente en la mayoría de los casos de la dirección e intensidad de las corrientes y del oleaje. Desde el punto de vista de la erosión e acumulación de sedimentos son especialmente significativas las corrientes de deriva litoral (longshore currents) y las corrientes de retorno (rip currents). En la costa catalana existe una dirección general hacia el SE aproximadamente paralela a la costa, regida por el anticiclón del golfo de León, y otra también paralela a la costa pero de dirección contraria. Por otra parte los temporales de levante, poco frecuentes pero intensos

sos, inciden casi perpendicularmente a la costa y originan, a nivel general, corrientes de retorno con un poder erosivo que se suma a la propia destrucción causada por el fuerte oleaje generado por estos temporales.

Abordando el problema del oleaje cabe tener en cuenta, además de las características básicas de las olas, la dirección de incidencia y las frecuencias o períodos de retorno de cada tipo de oleaje. Las olas son fuerzas constantemente variables en el espacio y en el tiempo, que actúan sobre el material de la playa. Por ello, la linea de costa representa el estado de un sistema en perpetuo desequilibrio o bien, un equilibrio en un momento dado. La concepción de equilibrio varía según la escala temporal adoptada. En la costa catalana son conocidas incluso a nivel popular las variaciones estacionales asociadas a temporales que "traen" o "se llevan" arena ("temporal de las bo<sup>tas</sup>", "temporal de las habas" etc). Si no se tiene una perspectiva temporal mas amplia (en el caso catalán desde mediados de este siglo se aprecia un balance favorable a la erosión), a nivel estacional el resultado de la dinámica se presenta como un equilibrio, es decir lo que se acumula en ciertas épocas del año es erosionado en otros períodos.

### 3.3. Estructura continental

La estructura continental incide sobre el sistema litoral, y por tanto sobre la posición de la linea de costa, de dos formas fundamentales. Una es de tipo dinámico (tectónica) y la otra de tipo estático (litología y morfología).

Concretamente la zona mediterránea de la península Ibérica se <sup>o</sup>caracteriza tectónicamente por su elevada inestabilidad, puesto que corresponde a una zona de <sup>o</sup>ripping en el límite NW (Depresión Prelitoral catalana) y a una falla transformante en el sector SE (zona bética). No es de extrañar pues, que la evolución tectónica continental condicione por una parte los grandes rasgos del litoral mediterráneo (en Cataluña la fracturación del terciario superior es paralela a la costa) y, a mayor detalle, la estabilidad de la li

nea de costa a través de movimientos eustáticos o flexión continental (tal como puede apreciarse por ejemplo en el Golfo de Rosas).

En cuanto al aspecto estático ya hemos indicado que dentro del área catalana se pueden distinguir: a) mas zonas acantiladas constituidas por rocas competentes, de distinta litología y edad, y b) unas zonas de costa baja que coinciden con las depresiones neógenas, plataformas costeras o deltas y están constituidas fundamentalmente por materiales pliocuaternarios, generalmente incoherentes.

### 3.4. Dinámica continental

Los procesos externos, principalmente los relacionados con la evolución de las vertientes y el drenaje superficial, inciden muy directamente en la evolución de la linea de costa. Esta relación es todavía mas notable en el área mediterránea donde la acción de las mareas es mínima y no existe, en zonas tectonicamente estables ni estuarios ni rías.

Una de las características geomorfológicas principales de la región catalana es la alternancia de:

a) períodos de estabilidad de las vertientes, en los que predominan principalmente los procesos pedogenéticos, desarrollándose fundamentalmente los típicos suelos mediterráneos y potentes costras, y

b) períodos morfogenéticos de inestabilidad de las vertientes y desarrollo de los típicos conos aluviales que jalonan prácticamente toda la vertiente marítima de cataluña.

Durante estas etapas morfogenéticas en que predomina la denudación de las vertientes, el aporte de materiales detríticos hacia la línea de costa o el mar alcanza los valores mas altos y la plataforma litoral tiende a aumentar de amplitud, gracias a la dinámica marina que redistribuye los aportes fluviales. Estas etapas morfogenéticas pueden estar condicionadas por varios factores.

tores, climáticos, tectónicos y antrópicos.

Actualmente se observa que la inestabilidad de las vertientes viene condicionada por una parte a través de la presión antrópica la cual modifica constantemente la utilización del suelo y por otra por el régimen pluviométrico. Este se caracteriza por una distribución muy irregular y de tipo catástrofico (aguaceros de alta intensidad 28,3 mm en 10 min. en noviembre de 1971) que genera un flujo superficial de gran poder erosivo

#### 4. ESTABILIDAD DE LA LINEA DE COSTA Y PLANIFICACION TERRITORIAL

Tal como se ha indicado en apartados anteriores la posición de la línea de costa es una manifestación del estado del sistema litoral. La variación de esta posición a través del tiempo, que se traduce en una erosión o una progradación del espacio litoral, tiene un enorme valor y significado en la planificación territorial.

Puesto que es una manifestación del sistema litoral es necesario comprender este sistema en su conjunto, con sus entradas y salidas, así como cada una de las interacciones.(Figura 2.)

Una vez conocido el sistema, que implica una etapa analítica y descriptiva, es necesario abordar la cuantificación, es decir acotar las entradas y las salidas.

Esto se puede concretar en el cálculo de:

- a) Tasas de erosión o progradación de la costa, b) efectos de las acciones antrópicas litorales: construcciones y/o dragados, c) aportes sólidos procedentes del continente a través: de ríos, viento etc., d) tasas de aporte y/o redistribución de sedimentos o a lo largo del litoral, e) tasas de transporte de material hacia zonas profundas y f) movimientos verticales (eustáticos, tectónicos, etc.)

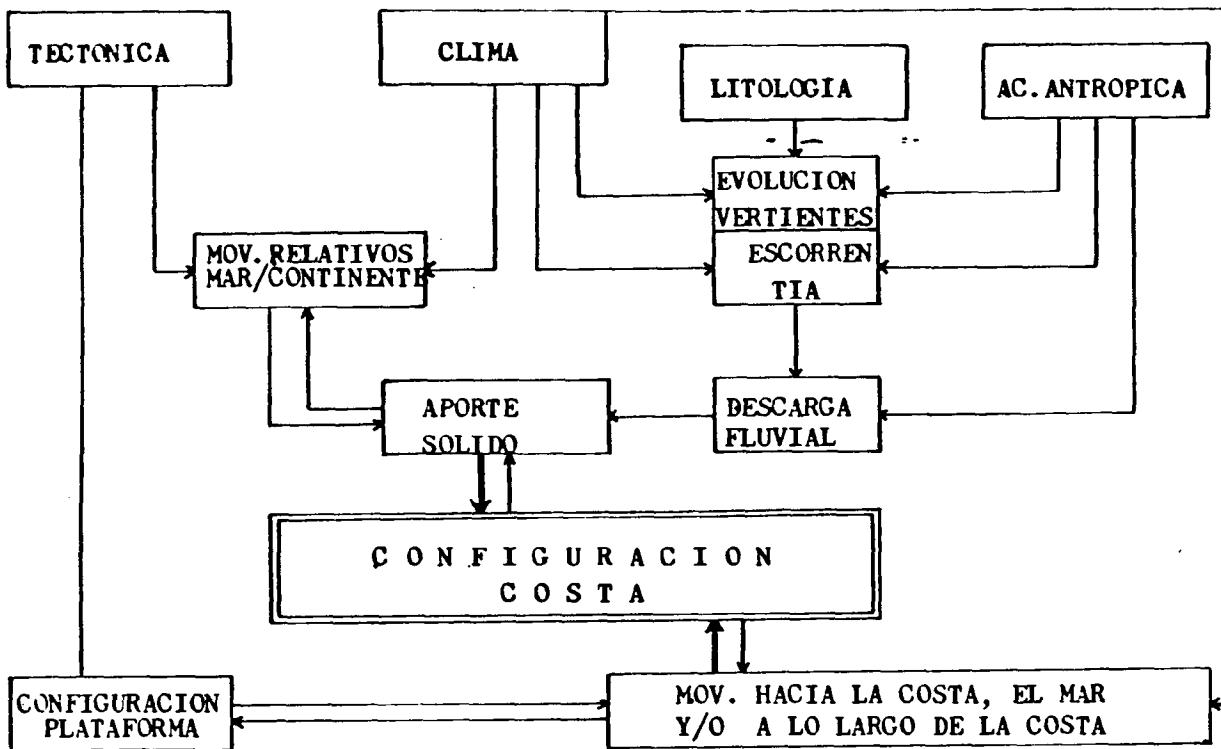


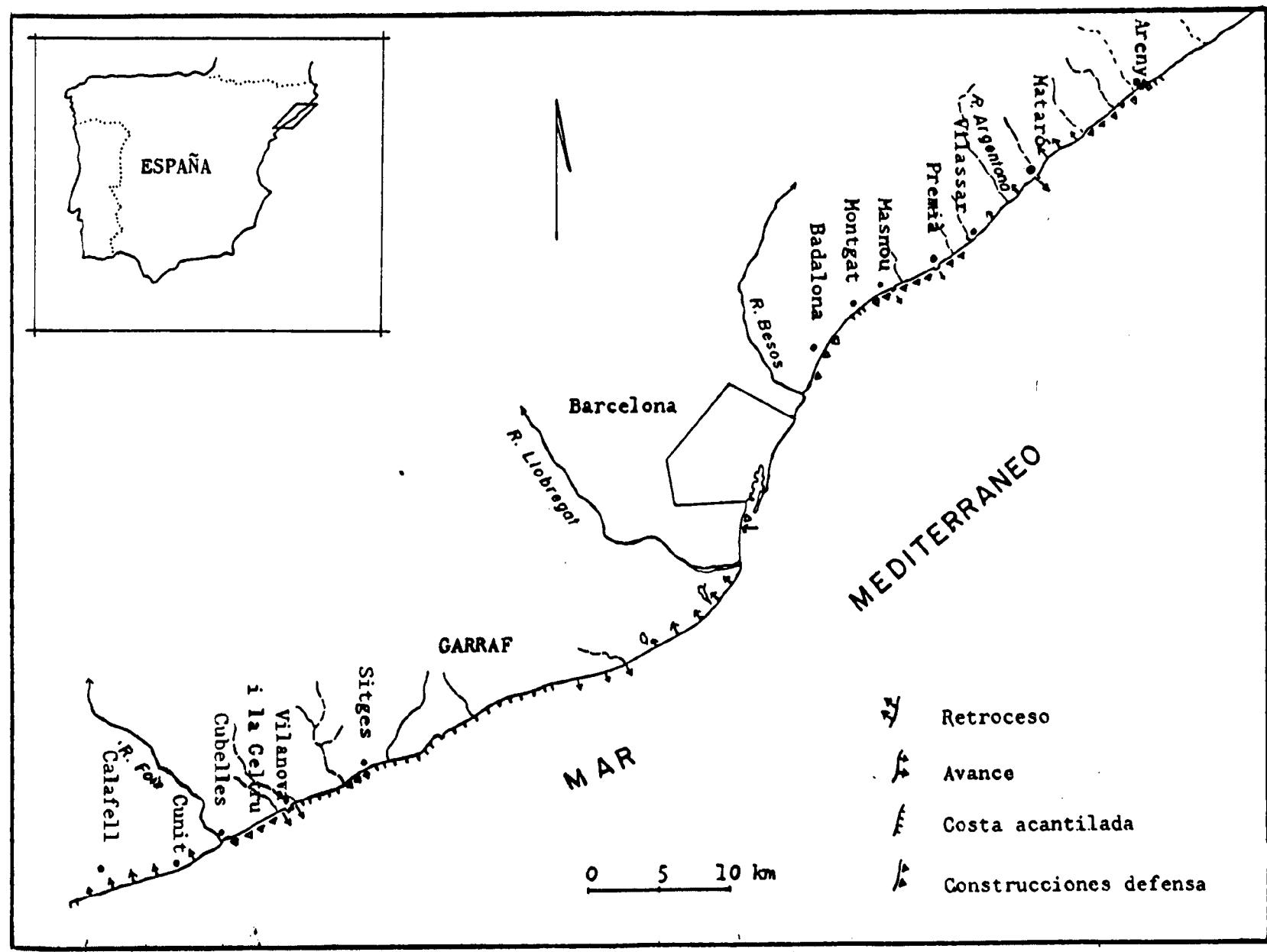
Figura 2.

Estos datos concretos deberán ser interpretados a la luz de las variables que los controlan y que deben ser tambien objeto de análisis y cuantificación. Es necesario en este sentido tener siempre presente la interrelación entre los procesos marinos y continentales para llegar al conocimiento del medio litoral y de la estabilidad de la linea de costa. Cabe insistir una vez mas, quizas porque puede aparecer mas alejado del ambiente marino, en la importancia de la utilización del suelo que influye sobre la dinámica de las vertientes y por ende en las cuencas de drenaje y los aportes que llegan al mar.

##### 5. DATOS SOBRE LA VARIACION DE LA LINEA DE COSTA EN EL SECTOR CATALAN

Hemos realizado un estudio de la variación de la línea de costa en

Figura 3.



un amplio sector del litoral catalán. Se puede comprobar que predomina la erosión sobre la acumulación. Aunque la exposición detallada de los resultados es capa al planteo de este trabajo daremos algunos datos a modo de ejemplo para poder comprender la magnitud de las transformaciones. En la figura 3 se reflejan las principales tendencias.

Como datos de retrocesos máximos podemos citar la correspondiente a la playa situada inmediatamente al S de la desembocadura del Llobregat que ha sido de unos 200 m entre 1950 -1968, que representa una tasa media de erosión para este período del orden de los 10 m/año y cuyas causas han sido ya analizadas (MARQUES, 1975 y 1977). Otra zona en franco retroceso corresponde al sector situado entre la desembocadura del Foix y Cubelles, donde para el período 1970-78 el retroceso ha sido del orden de los 100 m es decir unos 12.5 m/año.

En algunos sectores como la zona situada entre Vilassar y el N de Mongat la playa ha desaparecido casi completamente incluso se han construido defensas (muros de bloques) para evitar la afección de la vía férrea. El retroceso producido entre 1956 y el momento de construcción de las obras de protección es del orden de los 30 m como promedio.

En este sector sólo existen puntos muy localizados de crecimiento de la costa, asociados siempre a la construcción de puertos o espigones. Las acumulaciones de arena provienen de la acción de las corrientes de deriva litoral (longshore currents) que redistribuyen los aportes de las ríos que desembocan en esta costa y de la redistribución, por estas corrientes, de las arenas de otros puntos.

Las tasas de acumulación asociadas a obras de dirección prácticamente perpendicular a la costa (puerto de Premià, puerto de Masnou, etc) son mayores en la parte NE que en la SO.

Como ejemplo de las transformaciones sufridas en un sector del Maresme donde todavía queda playa por erosionar incluimos la figura 4 correspon-

diente a la zona situada al S de Mataro. Se puede apreciar el franco retroceso solo interrumpido cerca de las obras y que aceleran la erosión en los otros sectores.

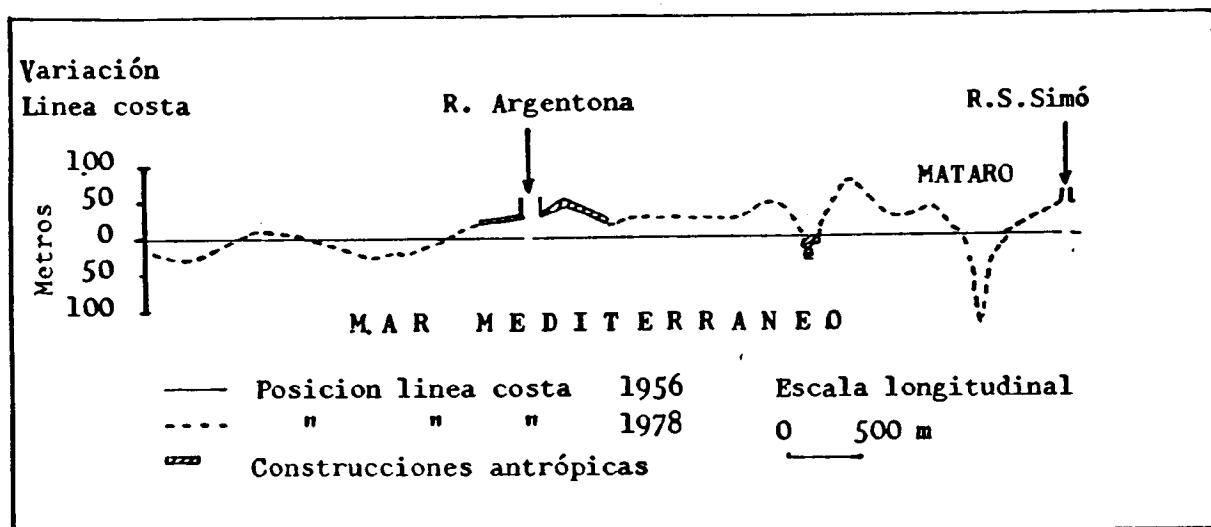


Figura 4.

En cuanto a la zona situada al S del macizo de Garraf también ha sufrido modificaciones importantes. La construcción del puerto de Vilanova i la Geltrú en los años 50, ha originado a ambos lados del puerto la acumulación de arena de forma triangular y la construcción de sendas playas, al mismo tiempo que ha desencadenado la erosión de las zonas emplazadas mas al S (zona entre Cubellas y Calafell). Ello se debe en parte a la retención de arenas en la zona adyacente al puerto, y a las variaciones de las corrientes que quedan modificadas por las obras que han disminuido las tasas de sedimento en las zonas meridionales. La superficie ganada al mar en el sector NE del puerto es del orden de los  $1900 \text{ m}^2/\text{año}$  entre 1956-1970 y casi mas del doble en el período 1970-78 ( $3.600 \text{ m}^2/\text{año}$ ). En el sector SW la superficie ganada entre 1956-70 es próxima a los  $4.000 \text{ m}^2/\text{año}$  y entre 1970-78 de casi  $7000 \text{ m}^2/\text{año}$ . El aumento de las tasas de acumulación en el segundo período se debe a las obras de ampliación del puerto. En este caso concreto cabe además señalar que justo a cada lado del puerto desemboca un torrente que tambien ha contribuido a su desarrollo.

La longitud actual de estas nuevas playas es del orden de los 550 m en el Sector NE y de 800 m en el sector SW.

Como ejemplos de los retrocesos de las zonas situadas al S del puerto de Vilanova i la Geltrú citaremos el sector comprendido entre la desembocadura del río Foix y la población de Cunit de una longitud de 2,5 km. Si bien entre 1956 y 1970 se mantuvo constante, a partir de este año hasta 1978 el retroceso ha sido espectacular perdiéndose  $145.000 \text{ m}^2$  de superficie de playa, lo que da una tasa de  $18.000 \text{ m}^2/\text{año}$ .

En la zona entre el puerto y el río Foix las sucesivas obras (de tipo espigón perpendicular a la costa) han, en cierto modo, estabilizado la costa. Los retrocesos y avances quedan aproximadamente compensados, pero hay una tendencia a la erosión, especialmente ligada a temporales que han destruido trozos del paseo colindante al mar.

Para un conocimiento de este sistema según el esquema propuesto en la figura 2 y de acuerdo con los puntos del apartado 4 se requiere una serie de datos de los que no se dispone en la actualidad. No existen estaciones de aforo en ninguna de las ríos que drenan esta zona (solo existen en el Besós y Llobregat), no hay datos de aportes sólidos y hay poquísimos sobre la dinámica litoral.

Estas deficiencias ponen una vez más de manifiesto la necesidad de una buena red de observaciones, de un banco de datos que centralice las informaciones y de un trabajo pluridisciplinar ya dentro el campo mismo de la Geología.

## 6. CONCLUSIONES

La posición de la línea de costa dentro del sistema litoral puede considerarse como un estado estacional (steady state) que refleja el balance entre los procesos marinos, los continentales y la acción antrópica que actúa sobre los dos anteriores.

El litoral catalán comprendido entre Arenys de Mar y Calafell (de 100 km de longitud) se caracteriza por un retroceso generalizado de la línea de costa desde mediados de este siglo. Alcanza en zonas puntuales valores de 100 a 200m, con promedios de retroceso del orden de los 10 m/año. Si bien la pérdida de la zona costera puede cuantificarse, la falta de datos sobre la evolución de las vertientes en el continente y de las características de las corrientes litorales, impide por el momento poder determinar con precisión el impacto que produce la acción antrópica, tanto en la misma costa como en las vertientes. En áreas muy localizadas puede también cuantificarse la acumulación progresiva de arenas debido a la construcción de puertos o espigones (del orden de los 5.000 m<sup>2</sup>/año de playa ganada en los últimos 8 años en Vilanova i la Geltrú), aunque estas obras provocan retrocesos (del orden de los 10 m/año) en zonas más alejadas. La falta de estos parámetros impide el poder llevar a cabo la ordenación racional de este medio y la problemática que plantea el retroceso generalizado de las playas, la deficiente calidad química y bacteriológica del agua, seguirá marcando las características de años venideros.

Las razones aducidas al deterioro físico de este medio han sido analizadas anteriormente por MARQUES (1977) y se centran sobre: cambios de la utilización del suelo en el continente, sobreexplotación de áridos tanto en las zonas costeras como en los aluviales recientes de los ríos de la zona, sobreexplotación de acuíferos que incide tanto en el descenso de la presión hidrostática de los sedimentos recientes con en la subsiguiente compactación, como en el descenso de los caudales superficiales, y en las construcciones litorales.

## 7. BIBLIOGRAFIA

JULIA, R. y M.A. MARQUES (en prensa) "Le Quaternaire marin littoral du NE de l'Espagne" Géol. Méditerranéenne, nº esp. "Lignes de rivage quaternaire en méditerranée" Aix-en-Provence.

MARQUES, M.A. (1975) "Las formaciones cuaternarias del delta del Llobregat".

Acta. Geol. Hispanica t. 1, nº 1, pp. 21-28. Barcelona.

MARQUES, M. A. (1977) "Algunas características del delta del Llobregat" Cuad. Arqueol. Hist. de la Ciudad. nº XVII, pp. 11-16. Barcelona (I Coloquio acerca del Pla de Barcelona).

ZENKOVICH (1967) "Processes of coastal development" 738 pp. Oliver & Boyd.



# Equilibrio de un talud rocoso con discontinuidades planas<sup>(\*)</sup>

Por MIGUEL FERNANDEZ BOLLO  
FERNANDO HACAR RODRIGUEZ  
JOSE MARIA HACAR RODRIGUEZ

*La estabilidad de taludes rocosos ha sido objeto de investigaciones concretadas en modelos de aplicación a diferentes casos. Con el presente estudio se aborda el problema de medios rocosos con diaclasado o estratificación plana y rotura por vuelco de bloques, presentándose un programa de cálculos en ordenador que se aplica a un ejemplo práctico.*

## 1. INTRODUCCION

Los fenómenos de inestabilidad taludes han sido objeto de estudio de notables investigaciones desde ya hace bastante tiempo. Podemos destacar como pioneros y muy importantes para la geotécnica los trabajos en 1773 de Charles Augustin Coulomb (véase el trabajo de Kerisel, 1974, con motivo del bicentenario del ensayo de Coulomb).

Por observaciones en campo se ha podido constatar que el colapso de un talud sucede de una u otra manera según sea el tipo de terreno (configuración geológica, características geotécnicas...). Con estas observaciones se han desarrollado una serie de modelos. Aplicando el que convenga en cada caso, podrá analizarse la estabilidad de la ladera en cuestión.

En la literatura geotécnica existen numerosos trabajos en los que se citan determinadas hipótesis respecto al modo en que sucede la rotura (véase por ejemplo Jiménez Salas, Justo, Serrano, 1976, y Kézdi, 1974) de acuerdo con los diferentes tipos de terrenos que comprenda el talud estudiado.

Es clásica la ordenación basada en métodos de cálculo aplicables a terrenos que se comportan como suelos y métodos de empleo en taludes rocosos. No es nuestro propósito entrar en la polémica sobre los diferentes casos en que resulta razonable aplicar uno u otro método, ni tampoco discutir los casos intermedios, como pueden ser taludes rocosos con gran erosión, en los que podría aplicarse con éxito un método típico de suelos o rocas, de acuerdo con las condiciones particulares

del talud objeto de estudio. En cualquier caso concreto debemos recurrir fundamentalmente a la observación y toma de datos en campo, que nos permiten definir con la precisión necesaria exigida por el estudio las características para un análisis de estabilidad, pudiendo entonces tomar la decisión de cuál es el método que más se ajuste al caso en cuestión, conociendo en todo momento sus limitaciones.

En el caso concreto de los taludes rocosos en medios con sistemas de diaclasado o estratificación plana, Goodman y Bray (1976) han desarrollado una tipología de casos de rotura. También son interesantes las aportaciones de otros autores, como Oyangueren (1980), Hoek, Bray (1977). Hemos considerado el modelo más característico del estudio de vuelco de bloques el presentado en la figura 1.

Como indican estos autores, la rotura por vuelco suele producirse a velocidades reducidas, pero sin embargo pueden verse involucrados grandes volú-

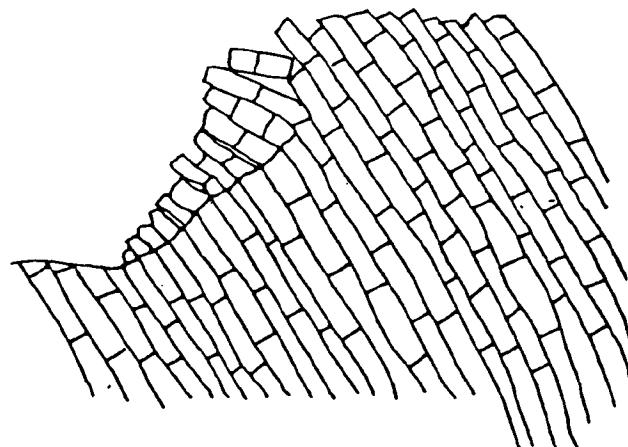


Figura 1.

(\*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de agosto de 1982.

menes, por lo que este tipo de rotura cobra gran importancia.

Cuando las litoclasas dividen a la masa rocosa en columnas, buzando hacia el interior del macizo, y si la roca es suficientemente rígida, la rotura, comenzando por la inestabilidad de las cortas columnas del pie (causada por excavaciones o por la erosión), hace que los bloques de más arriba se desplacen, terminando por ser los bloques del pie los que soportan a todo el talud. Este tipo de rotura es progresiva, pudiendo extenderse hasta afectar masas importantes.

Hemos considerado el método propuesto por Goodman y Bray para el estudio de la estabilidad por vuelco de bloques. Expondremos las bases de un programa de cálculo en ordenador, explicando con detalle algunos pormenores del mismo, pues permitirán comprender con mayor profundidad la filosofía de este método. Asimismo señalaremos los estudios que pueden hacerse para conseguir una mejor adaptación de este modelo a la realidad.

Queremos señalar que en el citado trabajo de Goodman y Bray (1976) se sintetizan los principales métodos para el análisis de los diferentes tipos de rotura por vuelco, indicando las referencias donde podrán consultarse (siendo de destacar los trabajos de Ashby, 1971, Cundall, 1971, 1975).

## 2. DEFINICION GENERAL DEL TALUD

Para la aplicación del método y del programa que hemos desarrollado, supondremos que el macizo es bidimensional y similar al indicado en la figura 2. Consideraremos una faja de 1 m. de anchura, definida por el ángulo del talud  $\Theta$ , el plano horizontal inferior, y el superior, inclinado un ángulo  $\mu$  con la horizontal. Asimismo lo supondremos dividido en columnas sensibles paralelas y de igual anchura, formados como consecuencia de la existencia de unas litoclasas con buzamiento  $\psi$ .

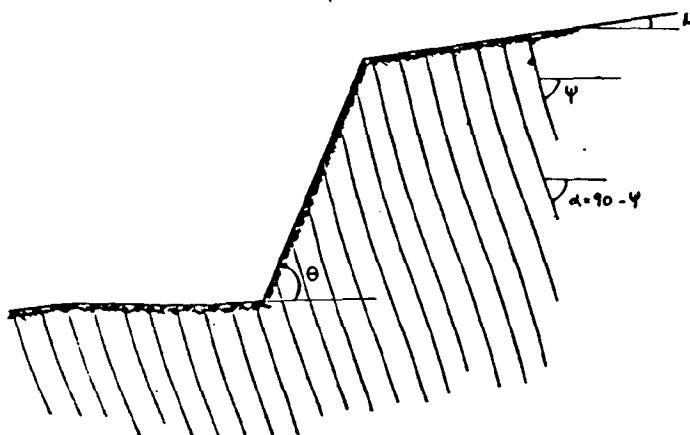


Figura 2.

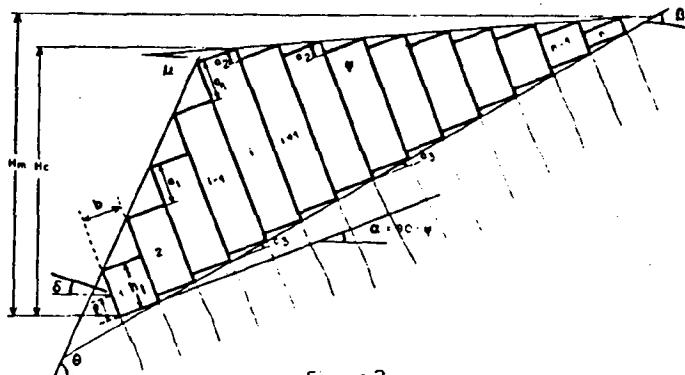


Figura 3.

Admitiremos la existencia de discontinuidades transversales en esas columnas, de manera que resulte un sistema de bloques prismáticos análogos al de la figura 3.

Este modelo geométrico resulta una aproximación razonable para ambientes similares al de la figura 1.

## 3. GEOMETRIA DEL TALUD

Queda definida con los siguientes datos de entrada:

$\Theta$  = Ángulo del talud.

$\mu$  = Ángulo del plano que limita superiormente al talud.

$b$  = Anchura de bloques (consideramos todos los bloques de igual espesor).

$\beta$  = Ángulo de la recta base de bloques. Es el que forma con la horizontal la recta que une los vértices de los escalones que sirven de apoyo a los bloques.

$\psi$  = Buzamiento de las discontinuidades que definen las columnas.

$h_1$  = Longitud del primer bloque.

$H$  = Altura del talud medida en campo (ver observaciones más adelante).

De la figura 3 se deduce:

$$a_1 = b \cdot \operatorname{tg}(\Theta - \alpha)$$

$$a_2 = b \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \mu)$$

$$a_3 = b \cdot \operatorname{tg}(\beta - \alpha)$$

Siendo

$$\alpha = 90^\circ - \psi$$

obsérvese que  $a_3$  representa la altura de los escalones de la base de bloques,  $a_1$  los escalones de la parte superior de los bloques hasta el  $j = i$  (llamando

## EQUILIBRIO DE UN TALUD ROCOSO CON DISCONTINUIDADES PLANAS

desde ahora i al bloque vértice, es decir, el que ocupa la arista superior exterior del talud), y  $a_2$  esos mismos escalones desde  $j = i$  hasta  $j = n$ .

Para los cálculos se va a suponer un número entero de bloques, es decir, hay que discretizar la geometría del talud, definida por los datos  $\Theta$ ,  $\mu$ ,  $b$ ,  $\beta$ ,  $y$ ,  $h_1$  y  $H$ . Hemos optado por el criterio de modificar mínimamente la altura real del talud, definiendo la «altura calculada», esto es, la que debe tener para comprender un número exacto de bloques (sin modificar ninguno de los restantes datos geométricos).

Por este motivo denominamos altura aproximada del vértice el valor medido en el campo, y  $H_c$  a la altura calculada. La diferencia entre ambas será pequeña y su trascendencia en el cálculo computable. Numeraremos los bloques de 1 a  $n$ , comenzando por el pie del talud. El lugar ocupado por el bloque vértice (que hemos convenido en llamar bloque  $i$ ), es:

$$i = \text{entero} \left[ \frac{H + (a_1 - h_1) \cdot \cos \alpha}{b \cdot \operatorname{sen} \alpha - a_1 \cdot \cos \alpha} + 0,5 \right]$$

Donde  $h_1$  es la altura del primer bloque.

La altura del talud, que hemos llamado altura calculada,

$$H_c = i \cdot b \cdot \operatorname{sen} \alpha + [h_1 + (i-1) a_1] \cdot \cos \alpha$$

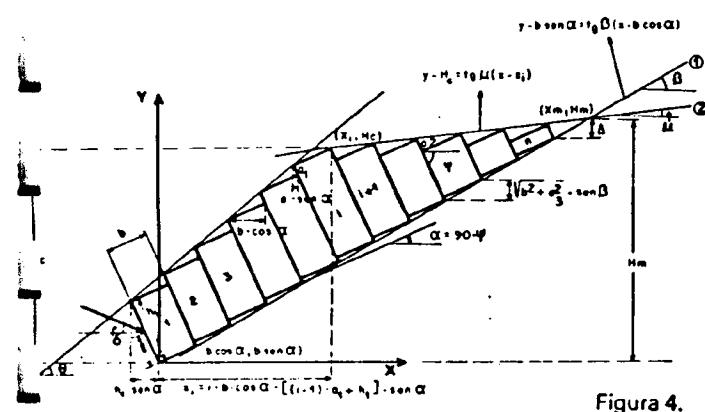
y el número total de bloques será:

$$n = \text{entero} \left[ \frac{H_m - b \cdot \operatorname{sen} \alpha}{\sqrt{b^2 - a_3^2} \cdot \operatorname{sen} \beta} + 1 \right]$$

Siendo  $H_m$  la altura máxima (véase la figura 3), igual a:

$$H_m = \frac{\operatorname{tg} \beta (x_1 \cdot \operatorname{tg} \mu - H_1) + b \cdot \operatorname{tg} \mu (\operatorname{sen} \alpha - \operatorname{cos} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta)}{\operatorname{tg} \mu - \operatorname{tg} \beta}$$

$$x_i = i \cdot b \cdot \cos \alpha - [(i-1) \cdot a_1 + h_1] \cdot \operatorname{sen} \alpha$$



Estas determinaciones pueden también deducirse del esquema de la figura 4.

Definida de esta manera la geometría del talud, podremos programar sencillamente su trazado.

### 4. ANALISIS DE LA ESTABILIDAD DE UN BLOQUE AISLADO

En algunos de los modelos propuestos en la bibliografía adjunta, la consideración del equilibrio del bloque prismático apoyado de un plano inclinado se realiza despreciando la resistencia a tracción en las juntas.

En la figura 5 se representa el bloque de anchura  $b$ , altura  $h$  y peso  $W$ . Si en la base de ese bloque el ángulo de rozamiento es  $\Phi$

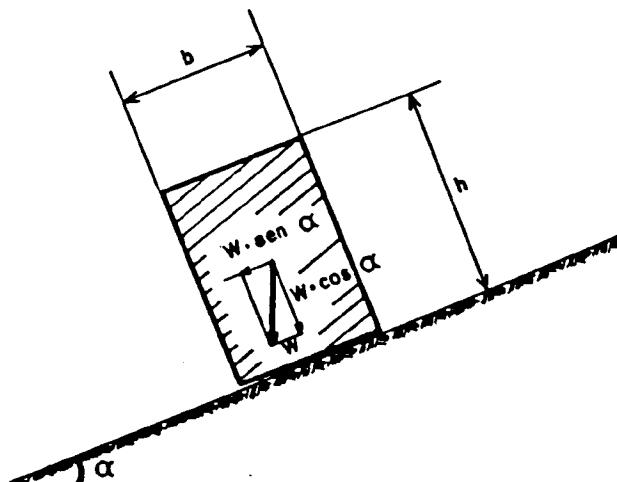


Figura 5.

(y no existe cohesión), por las ecuaciones elementales de la estática, tenemos:

$$\begin{aligned} W \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \Phi &= W \cdot \operatorname{sen} \alpha \dots & \operatorname{tg} \Phi &= \operatorname{tg} \alpha \\ W \cdot \cos \alpha \cdot h/2 &= W \cdot \operatorname{sen} \alpha \cdot b/2 & \operatorname{tg} \alpha &= b/h \end{aligned}$$

Estas dos ecuaciones permiten distinguir las situaciones siguientes:

$\Phi > \alpha$  no existe deslizamiento:

- $\operatorname{tg} \alpha < b/h$  no existe vuelco
- $\operatorname{tg} \alpha > b/h$  existe vuelco.

$\Phi < \alpha$  existe deslizamiento:

- $\operatorname{tg} \alpha < b/h$  no existe vuelco
- $\operatorname{tg} \alpha > b/h$  existe vuelco.

5. ESTABILIDAD DE UN CONJUNTO DE BLOQUES

En la figura 3 y 4 hemos indicado la metodología para discretizar el talud.

Considerando el conjunto de bloques (figura 4) en general, el bloque  $j$  estará sometido a las acciones que le ejercen los dos bloques adyacentes,  $j-1$  y  $j+1$ . Analizando todas las fuerzas que actúan sobre ese bloque, nos proponemos determinar si es estable, vuelca o desliza.

Según los tipos de contacto podemos distinguir, a efectos de programación, cinco categorías de bloques:

1. Bloque superior:  $j = n$  (libre de toda carga por su parte superior).
2. Bloques intermedios entre el superior y el bloque vértice:  $j > i, j \neq n$
3. Bloque vértice:  $j = i$ .
4. Bloques intermedios entre el bloque vértice y el bloque primero:  $j < i, j \neq 1$ .
5. Bloque primero:  $j = 1$ . Suponiendo que está sometido en su cara inferior a la acción de un anclaje.

En la figura 6 señalamos estos cinco casos mostrando claramente sus diferencias.

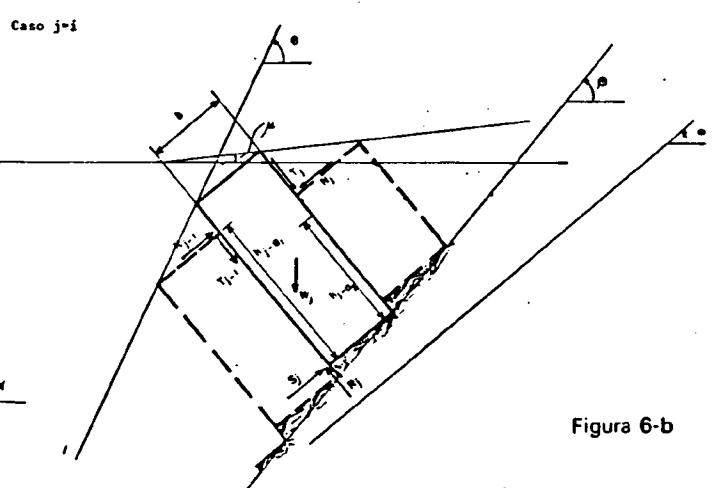
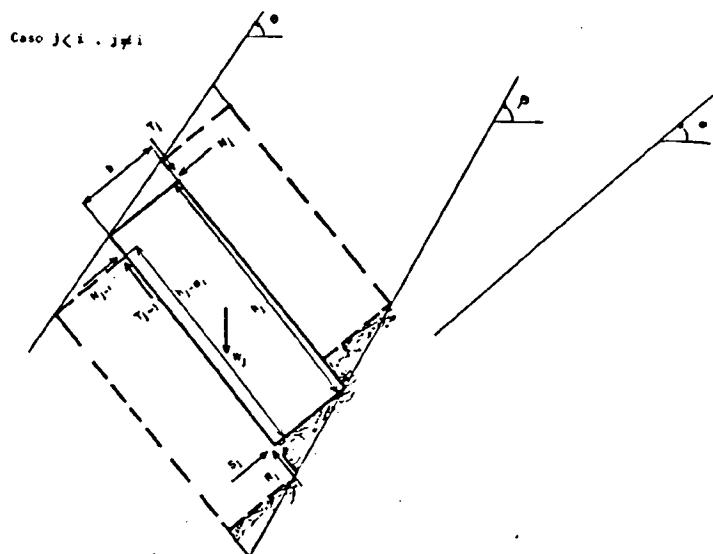


Figura 6-b

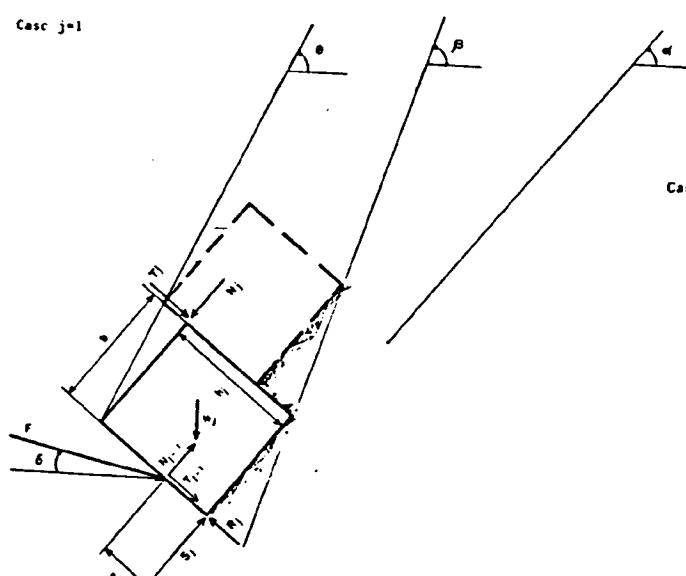


Figura 6-a

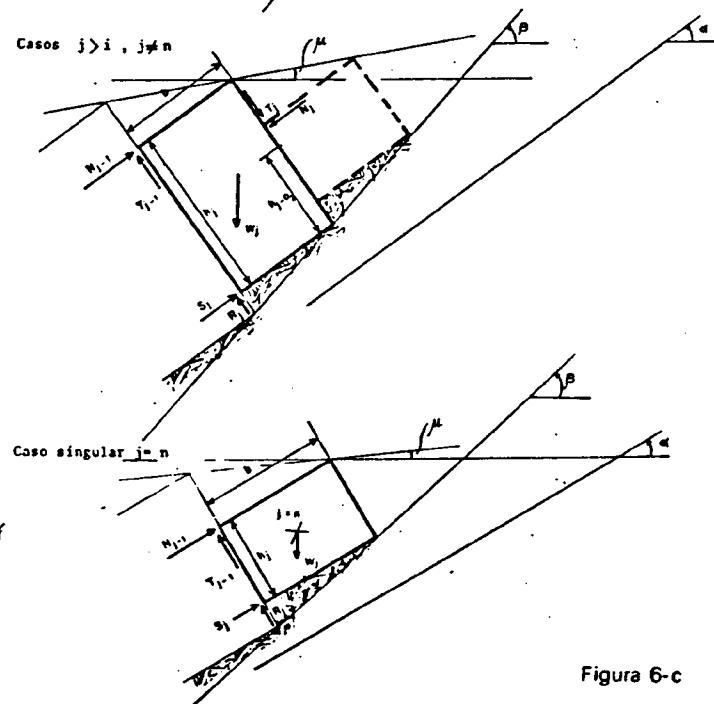


Figura 6-c

## EQUILIBRIO DE UN TALUD ROCOSO CON DISCONTINUIDADES PLANAS

Por tomar un ejemplo, consideremos un bloque cualquiera como el de la figura 7. En general, este bloque estará sometido a las siguientes fuerzas:

- Peso propio:  $W$ ,
- Acción ejercida en la base del bloque, que descompuesta en la normal y tangencial a esa base resulta  $R$ , y  $S$ , respectivamente.
- Acción ejercida por el bloque inferior,  $N_{i-1}$  y  $T_{i-1}$ .
- Acción ejercida por el bloque superior,  $N_i$  y  $T_i$ .

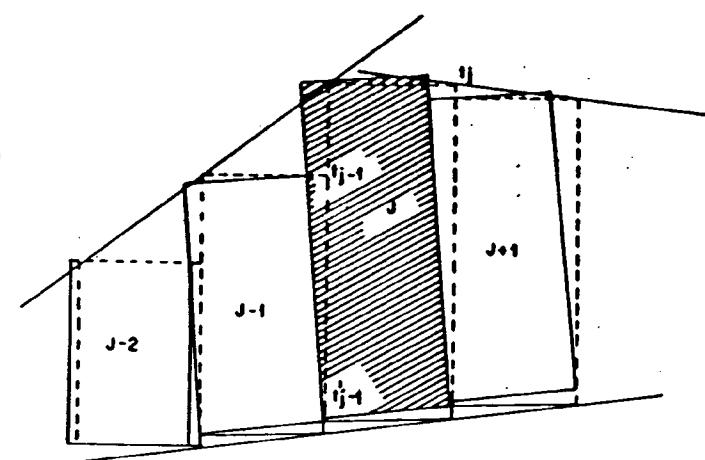


Figura 7.

Por el momento, vamos a suponer conocida la fuerza transmitida por el bloque superior, esto es,  $N_i$  y  $T_i$ .

A la vista de la figura 7, en la que se indica la geometría en caso de vuelco, si el bloque objeto de estudio vuelca, podemos suponer que las acciones en la base están concentradas en el vértice inferior de dicha base (punto  $t_{i-1}$ ), así como las acciones ejercidas por el bloque inferior podemos suponerlas aplicadas en el vértice superior de ese bloque (punto  $t_{i-1}$ ). Con esto resulta el bloque  $j$  solicitado por las fuerzas indicadas en la figura 8. Por las tres ecuaciones del equilibrio, resulta:

$$-\sum M_{t_{i-1}} = 0$$

$$N_{i-1,v} = \frac{N_i(b \cdot \operatorname{tg} \Phi - h) + W/2(b \cdot \operatorname{tg} \Phi - h)}{-h + a}$$

$$-\sum F = 0$$

$$R_i = \operatorname{tg} \Phi (N_i - N_{i-1,v}) + W_i \cdot \cos \alpha$$

$$S_i = (N_i - N_{i-1,v}) + W_i \cdot \operatorname{sen} \alpha$$

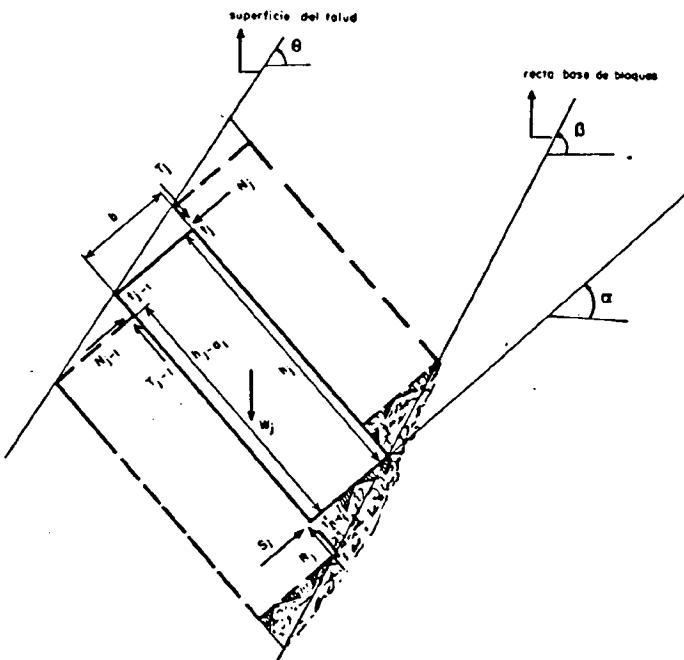


Figura 8.

Para calcular esas expresiones se ha supuesto:

$$T_{i-1,v} = N_{i-1,v} \cdot \operatorname{tg} \Phi$$

Hipótesis que puede admitirse considerando que antes de que se produzca el vuelco, debe ir precedido de un deslizamiento entre la cara inferior del bloque  $j$  y su adyacente del  $j-1$ .

De las expresiones anteriores obtenemos el valor de la figura  $N_{i-1,v}$  necesaria para el equilibrio al vuelco del bloque.

También deberá cumplirse que  $R_i > 0$ , así como  $S_i/R_i \ll \operatorname{tg} \Phi$ .

Por el contrario, si el bloque  $j$  desliza, las fuerzas en la base, así como las transmitidas por el bloque inferior ( $j-1$ ) ya no es exacto suponerlos aplicados en  $t_{i-1}$  y  $t_{i-1}$ , apareciendo como nuevas incógnitas los brazos de estas fuerzas. Suponiendo:

$$T_{i-1,D} = N_{i-1,D} \cdot \operatorname{tg} \Phi$$

obtenemos de la condición  $\sum F = 0$ :

$$R_i = \operatorname{tg} \Phi (N_i - N_{i-1,D}) + W_i \cdot \cos \alpha$$

$$S_i = (N_i - N_{i-1,D}) + W_i \cdot \operatorname{sen} \alpha$$

y si desliza podemos suponer  $S_i = R_i \cdot \operatorname{tg} \Phi$ , de donde obtenemos:

$$N_{i-1,D} = N_i - \frac{W_i(\cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \Phi - \operatorname{sen} \alpha)}{1 - \operatorname{tg}^2 \Phi}$$

# EQUILIBRIO DE UN TALUD ROCOSO CON DISCONTINUIDADES PLANAS

Así pues, si del análisis de un bloque cualquiera resultasen  $N_{-1,v}$  y  $N_{-1,h}$  negativos diremos que el bloque  $j$  es estable y no transmite fuerza alguna al siguiente bloque; si  $N_{-1,v} > N_{-1,h}$  el bloque  $j$  tiende a volcar, transmitiendo al siguiente bloque  $N_{-1,v}$ ; si  $N_{-1,v} > N_{-1,h}$  el bloque  $j$  tiende a deslizar y transmite al siguiente bloque  $N_{-1,h}$ .

## 6. ANCLAJE Y ESTABILIDAD DEL CONJUNTO DE BLOQUES

En el programa que hemos desarrollado, se ha considerado la existencia de un anclaje actuando directamente en el bloque del pie del talud (figura 4). Por la forma en que ha sido desarrollado el pro-

grama, la fuerza transmitida a este anclaje será la indicadora de la estabilidad del conjunto de bloques. El primer bloque transmitirá al anclaje una fuerza  $N_o$  (que es igual a la proyección de la fuerza del anclaje situado a una altura  $l$  y con un ángulo  $\delta$  con la horizontal, proyección con la normal a la cara exterior del bloque primero).

Esta fuerza es la mayor de las dos obtenidas  $N_o$  y  $N_o$ . Si el anclaje es capaz de soportar esa fuerza el talud se encontrará en equilibrio. Por esta razón, si la fuerza  $N_o$  es igual o menor que cero, el talud será estable (es decir, para mantenerlo estable no hará falta anclaje), y si resultase  $N_o$  mayor que cero el talud se mantendría estable sólo con un anclaje capaz de soportar la carga antes citada.

Figura 9.

DIENSIDAD	ANGULO	ANGULO	ANCHURA	ANGULO	NORMAL	LONGITUD	BLOQUE
ROCA	TALUD	BERMA	BLOQUES	BASE	BUZAM.	BLOQUE 1	VERTICE
2.55 75.00 10.00 10.00 45.00 30.00 7.63 4							
ANGULOS DE ROZAMIENTO INTERNO				ANCLAJE	ALTURA	ALTURA	ALTURA
INICIAL	FINAL	INCR.	REAL	DISTANCIA ANGULO	VERTICE	CALCULADA	MAXIMA
35.00	40.00	2.00	38.00	3.00	30.00	52.63	52.58 61.24
PHI= 35.00 NUMERO	NJ, V	NJ, D		R	S	S/R	TIPO
8	-84.88	-21.32		88.45	51.07	0.58	E
7	-44.60	-54.96		228.00	131.64	0.58	E
6	-4.32	-88.59		367.55	212.21	0.58	E
5	35.97	-122.23		481.92	256.81	0.53	V
4	150.57	-119.90		566.41	258.74	0.46	V
3	242.63	33.68		420.53	187.95	0.45	V
2	345.48	164.70		251.31	83.83	0.33	V
1	-118.89	70.60		525.86	368.21	0.70	D
RAZON ENTRE LAS TANGENTES DEL PHI REAL Y EL ENSAYADO: 1.11579							
PHI= 37.00 NUMERO	NJ, V	NJ, D		R	S	S/R	TIPO
8	-84.88	-36.06		88.45	51.07	0.58	E
7	-44.60	-92.96		228.00	131.64	0.58	E
6	-4.32	-149.86		367.55	212.21	0.58	E
5	35.97	-206.76		480.00	256.81	0.54	V
4	149.58	-227.69		561.04	259.74	0.46	V
3	234.72	-48.17		420.83	194.87	0.46	V
2	305.47	102.89		270.01	115.92	0.43	V
1	-177.46	44.91		469.64	353.90	0.75	D
RAZON ENTRE LAS TANGENTES DEL PHI REAL Y EL ENSAYADO: 1.03680							
PHI= 39.00 NUMERO	NJ, V	NJ, D		R	S	S/R	TIPO
8	-84.88	-59.72		88.45	51.07	0.58	E
7	-44.60	-153.94		228.00	131.64	0.58	E
6	-4.32	-248.17		367.55	212.21	0.58	E
5	35.97	-342.39		477.98	256.81	0.54	V
4	148.53	-400.64		555.50	260.79	0.47	V
3	226.47	-178.93		421.88	202.07	0.48	V
2	265.40	8.16		291.80	147.74	0.51	V
1	-224.33	22.39		415.36	336.35	0.81	D
RAZON ENTRE LAS TANGENTES DEL PHI REAL Y EL ENSAYADO: 0.96481							

## EQUILIBRIO DE UN TALUD ROCOSO CON DISCONTINUIDADES PLANAS

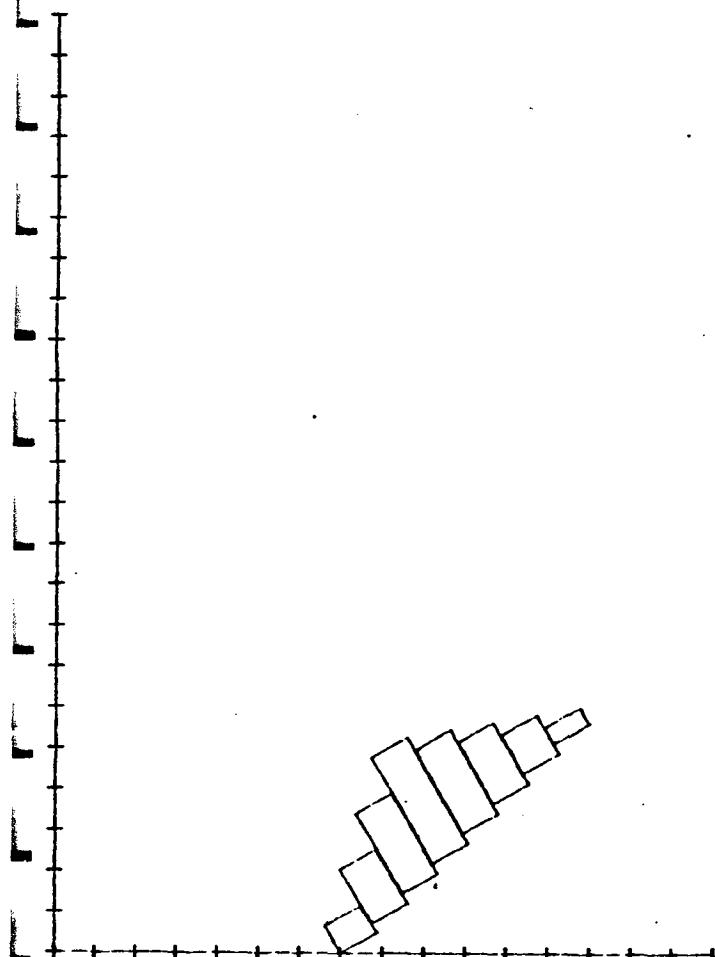
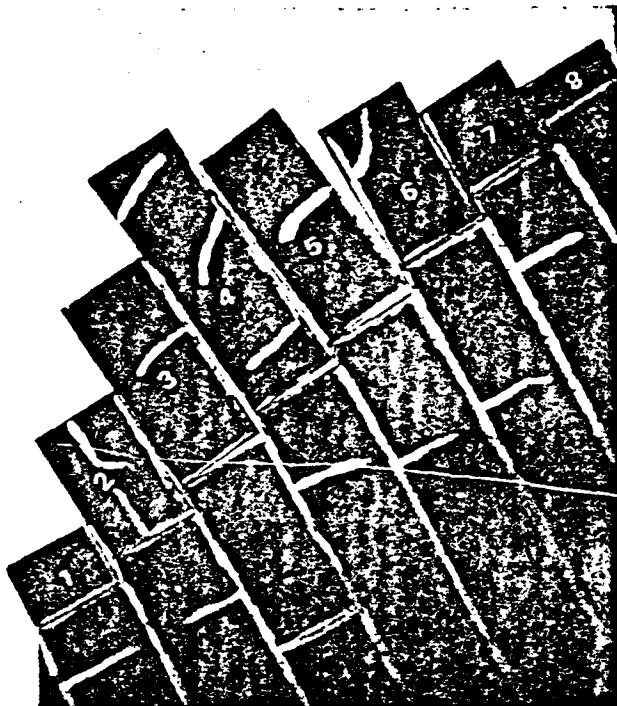


Figura 10

una disposición geométrica similar a la de la figura 4, siendo  $l = 3,00 \text{ m.}$  y  $\delta = 30^\circ$ .

En los tres casos tratados el talud resulta inestable. Para  $\phi = 35^\circ$  se requiere un anclaje capaz de transmitir una fuerza en proyección normal a la cara del bloque de  $70,60 \text{ Tm.}$ , descendiendo a  $22,39 \text{ Tm.}$  para  $\phi = 39^\circ$ .



### 7. EJEMPLO

Para contemplar el estudio realizado, se ha desarrollado un ejemplo numérico, cuyos resultados se indican en las figuras 9 y 10.

Se trata de un talud con una altura de 52,63 metros (altura medida en campo) ángulo de  $75^\circ$ , limitado en su parte superior por un plano inclinado  $10^\circ$  con la horizontal; la roca que compone el talud es de  $2,55 \text{ T/m}^3$ . El macizo presenta discontinuidades en un buzamiento de  $60^\circ$  y frecuencia de 10 metros.

Siendo el ángulo de razonamiento de las discontinuidades de  $38^\circ$ , se ha querido estudiar el comportamiento del macizo, suponiendo algunos otros valores de este ángulo dentro de un entorno de  $38^\circ$ ,  $37^\circ$  y  $39^\circ$  (figura 9).

En los cálculos se determina la resistencia mínima que debe de tener un anclaje con punto de aplicación en el bloque primero (pie del talud), con

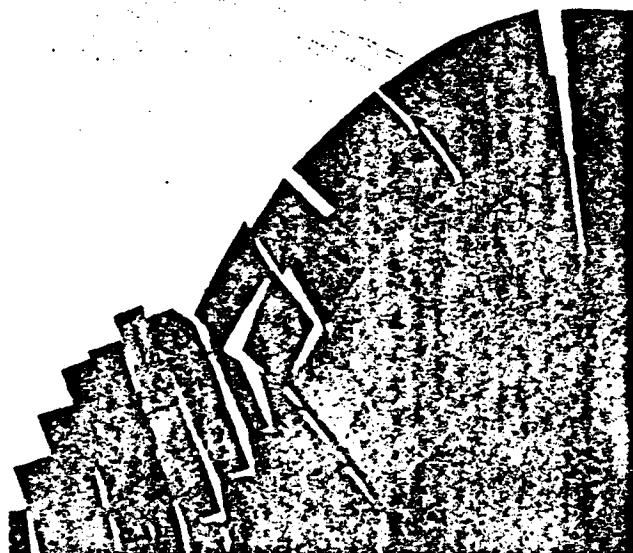


Figura 11.—Fotografía cortesía de Geoprín, S. A.

## PROPIEDADES GEOTECNICAS DE LAS MARGAS AZULES DE SEVILLA

S. URIEL  
C. OTEO

Drs. Ing. de C.C. y P. Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo. Madrid

### RESUMEN

Con motivo de las obras iniciales para la construcción del futuro Metropolitano de Sevilla, se ha llevado a cabo un detenido estudio de las propiedades geotécnicas de las margas azules de Sevilla. En esta comunicación se describen los estudios realizados que han consistido en ensayos de laboratorio sobre muestras inalteradas tomadas en sondeos y tomadas "in situ", ensayos de carga vertical y horizontal y reconocimiento "de visu" de la estratigrafía, estado natural, etc. También se analizan las medidas del levantamiento del techo del estrato de margas, al eliminar los 25 m. de terreno que las recubrían.

### I. INTRODUCCION

Los problemas planteados durante la realización del proyecto del futuro "Metro" de Sevilla, llevaron a la necesidad de realizar una serie de estudios sobre los terrenos que forman el sustrato de la ciudad, con objeto de fijar de una forma más completa sus propiedades geomecánicas. Principal atención debería prestarse a las margas azules, características del Valle del Guadalquivir, en las que se prevé discurrirá gran parte del tunel del ferrocarril metropolitano.

A estos efectos, se ha construido un pozo de 25 m. de diámetro y 35 m. de profundidad, en la Alameda de Hércules de la ciudad de Sevilla, que permitió alcanzar el estrato de margas azules. Dicho pozo se ha realizado al abrigo de una entibación circular de hormigón armado, ejecutada previamente a su excavación con la técnica de las pantallas continuas, reforzada a medida que se excavaba el interior del pozo. La pantalla circular fué instrumentada con células hidráulicas y extensómetros eléctricos para medir empujes de tierras y tensiones circunferenciales, así como con inclinómetros que permitieron medir los desplazamientos horizontales del terreno circundante. Detalles de esta instrumentación han sido dados por URIEL y OTEO (1976).

Los trabajos de reconocimiento, tanto previos a la excavación como durante ésta, permitieron establecer la clara estratigrafía de la zona, la cual puede definirse de la siguiente forma:

Nivel A.- Se trata de una formación cuaternaria constituida, principalmente, por limos arenosos y arenas

finas, con intercalaciones de arcillas limosas. Su espesor alcanza hasta unos 12 m., los tres primeros de los cuales está formado por tierra vegetal y rellenos. Los valores del ensayo SPT en esta capa varían de 27 a 43 golpes/30 cm.

Nivel B.- Constituido por una gruesa capa de gravas cuaternarias, con 13 m. de espesor. Todos los ensayos SPT, realizados con puntaza, dieron rechazo.

Nivel C.- Está formado por las "margas azules" del Mioceno, que alcanza, al menos, hasta unos 65 m. de profundidad.

El nivel freático estaba a una profundidad media de 4,50 m.

El Nivel C, o de "margas azules", es el que ha sido objeto de los más detallados estudios, los cuales se exponen en esta comunicación.

Antes de la excavación del pozo, fué instalado en su centro un dispositivo que permitía medir el levantamiento de las margas azules, a medida que iban eliminándose los materiales del interior del pozo. Dicho dispositivo, designado como "de entumecimiento", será descrito más adelante.

En esta operación se tomaron muestras inalteradas de las margas mediante el tomamuestras "Mazier", con una longitud de 1 m.

Durante los trabajos de excavación se llevó a cabo un amplio plan de investigación que tenía por objeto determinar los diversos parámetros geotécnicos que permitieran definir las características de los materiales de la zona. Este programa se compuso princi-

palmente de los siguientes trabajos:

- a) Reconocimiento "de visu" detallado, a fin de observar estratigrafía, fisuración, etc. Para ello se realizaron varias zanjas en el fondo de la excavación, a diversos niveles de profundidad.
- b) Medida de densidades y humedades "in situ".
- c) Toma de muestras inalteradas -bloques principales- para realizar ensayos de laboratorio (de identificación, de estado, de resistencia, deformabilidad, etc.).
- d) Ensayos de carga vertical y horizontal.
- e) Medida del entumecimiento de las margas azules al ir excavando el pozo.
- f) Reconocimiento del estrato de margas hasta 65 m. de profundidad, mediante toma de muestras inalteradas en sondeo.

A continuación se da cuenta de los resultados obtenidos, describiendo, en primer lugar, la estratigrafía detallada del estrato de margas, sus irregularidades, fisuras, etc. pasando, posteriormente, a comentar sus propiedades geotécnicas analizadas. Estas se han distribuido en cuatro grandes grupos: las determinadas mediante ensayos de identificación, las que definen su estado natural, las que permiten representar su deformabilidad y las que expresan su resistencia al esfuerzo cortante. Los resultados de ensayos de laboratorio correspondientes a estos dos grupos se han comparado con las medidas realizadas "in situ" en el dispositivo de entumecimiento y en los ensayos de placa de carga.

## II. RECONOCIMIENTO "DE VISU"

Como ya se ha mencionado anteriormente, al llegar la excavación a la zona de margas azules, se incrementaron los trabajos que venían realizándose en los estratos cuaternarios, aumentando el número de muestras inalteradas, determinación de humedades y densidades, placas de carga, etc.

En primer lugar, se procedió a observar la zona de contacto de las gravas con las margas miocenas, zona en que aparecía una capa de gravilla ennegrecida. El techo de las arcillas se presentaba relativamente blando, al menos en comparación con la consistencia que se esperaba encontrar a partir de las muestras extraídas en sondeos. Esta zona de contacto estaba, en general, muy húmeda, aunque en cuanto se excavaron unos 50-60 cm. en las margas, tanto la compactidad como la consistencia aumentaron y disminuyó, a simple vista, el contenido de humedad.

En el estrato se apreciaba con facilidad una marcada estratificación horizontal, con pequeñas fisuras que seguían esta dirección. La cota del techo de las margas variaba sensiblemente de unos puntos a otros del pozo, pudiendo aparecer con diferencias de hasta 3 m. en el contacto con la pantalla perimetral.

Dada la marcada estratificación o fisuración horizontal, la pala que realizaba la excavación podía efectuar su misión adecuadamente cuando acometía un frente aproximadamente vertical. Sin embargo, su rendimiento bajaba mucho cuando la excavación se tenía que llevar a cabo casi en horizontal, es decir, en frentes bastante tendidos.

Para efectuar los estudios especiales ya mencionados, no sólo se tomaron muestras inalteradas y se midieron densidades y humedades "in situ", sino que se dispuso la construcción de unas catas que permitieran observar la estratificación y grado de fisuración de las arcillas. Estas catas fueron, en realidad, dos zanjas perpendiculares que se cortaban en su punto medio, lo cual permitía observar las arcillas a lo largo de 8 paramentos. Estas zanjas se realizaron en número de 3, a diferentes niveles de profundidad (28, 60 m., 32,35 m. y 34,00 m.), según iba llevándose a cabo la excavación del pozo. En la fig. 1 puede verse la planta del pozo y la situación de la zanja más profunda, así como la situación de los ensayos de carga (2 verticales y 2 horizontales) realizados en ella.

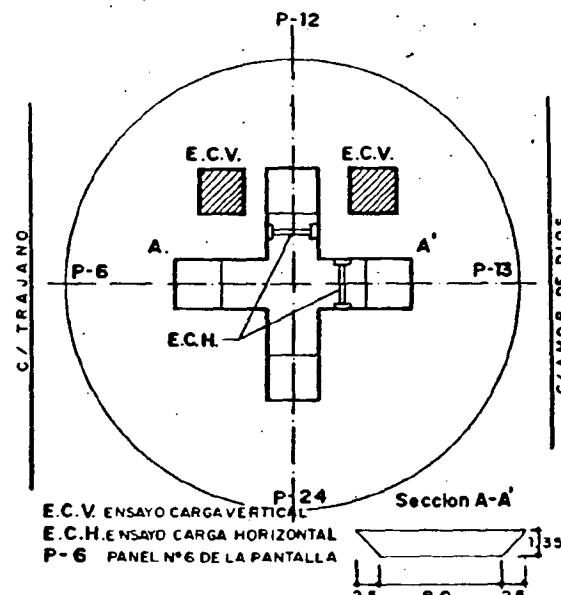


Fig.1. Planta del pozo con esquema de zanjas de reconocimiento (Profundidad 34,00 m.)

La coloración de las denominadas "margas azules", puede definirse como de gris azulado. En muchas ocasiones, al desprender algún bloque de margas, aparecen huellas circulares y radiales. También se encontraban restos conchíferos de apreciable tamaño, que alcanzaban hasta unos 2 cm. de máxima dimensión.

Una anomalía muy interesante de destacar fué la presencia de finas capas horizontales de un material que hemos calificado de limo arenoso, las cuales se presentaban con un espesor casi inapreciable a la vista

(menos de medio milímetro), pero que eran suficientes para producir verdaderas superficies de discontinuidad en el material arcilloso. El desarrollo horizontal de estas finas capas era, en general, muy clíero, aunque no de mucha superficie. Sin embargo, su frecuencia era elevada, puesto que en ocasiones aparecían cada 20 cm.

Dado que la descripción detallada de los paramentos de todas las zanjas (en total 24), ocuparía demasiado espacio, nos limitaremos a comentar su espectro. En general, puede decirse que se aprecia la presencia de una serie de fisuras de desarrollo horizontal, de una apertura del orden de 0,5 a 3 mm.; la separación entre estas fisuras suele ser de 20-30 cm. También aparecen fisuras verticales, pero con menor desarrollo y frecuencia.

Se observó también que en las paredes verticales se desprendían fragmentos de marga, a manera de lentejones, dejando en el paramento una superficie conoidea, con huellas radiales y, a veces, algo de brillo.

En muchos de los paramentos no se observa una clara fisuración horizontal en el seno de las margas azules, sino que se apreciaba una clara alternancia de capas de marga separadas por otras muy finas de los limos arenosos ya mencionados. Es decir, que las discontinuidades horizontales provienen tanto de fisuración del propio material margoso como de la presencia de las finas capas de limos.

En algunas de las finas capas de limo arenoso se pudo apreciar la presencia de agua, en pequeña cantidad, aunque no se detectó una verdadera continuidad de las capas que permitiera la circulación de agua. El desarrollo de estas capas de limo variaba en general entre unos 500 cm<sup>2</sup> y unos 2 m<sup>2</sup>.

En la solera de la zanja más profunda, se observó la afluencia de agua y gas, a juzgar por las burbujas que se apreciaban en el agua que cubría los diez centímetros del fondo de la zanja. Las burbujas desaparecieron al cabo de unos 5 días de abrir las calizatas.

### III. ENSAYOS DE IDENTIFICACION Y ESTADO

Todas las muestras tomadas en el pozo fueron enviadas al Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo para su examen y ensayo. En gran parte de las muestras tomadas en bloque o en sondeo se presentaban las finas capas de limo arenoso mencionadas, lo cual impidió en muchos casos tallar probetas, dado que, por no tener ninguna cohesión, la marga miocena quedaba separada fácilmente en dos bloques de pequeño tamaño. Su frecuencia de aparición, a veces, era alta, pues en algunas muestras de sondeo de 1 m. de longitud, se presentaban hasta cada 30 cm. Dado el fino espesor de estas capas no ha podido realizarse sobre ellas prácticamente ensayos de identificación.

Sobre las muestras de margas, como ensayos de iden-

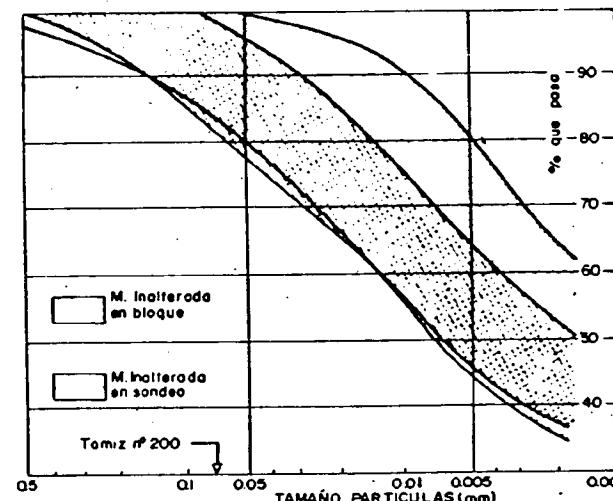


Fig. 2 Granulometria de las margas azules

tificación, se han realizado granulométricos completos, determinación de límites de Atterberg, contenido de carbonatos y sulfatos, determinación de peso específico de las partículas, mineralógico, etc. Además, para analizar el estado natural de las muestras, se determinaron contenidos de humedad y densidades secas y aparentes.

Comentaremos en primer lugar, la granulometría de los materiales ensayados. Las muestras de margas azules tomadas en sondeos, se extienden en un huso granulométrico muy uniforme (fig. 2) con un contenido de finos del 83 a 99 % y una fracción inferior a 0,002 mm. entre el 38 y 53 %. El huso deducido de ensayos sobre muestras tomadas "in situ", se ha representado también en la fig. 2. No se presentan prácticamente, diferencias granulométricas entre los dos tipos mencionados de muestras. Aunque en la fig. 2 resulta más amplio el huso "in situ", el 80 % de las muestras resultan muy agrupadas en la zona del interior del huso definido a partir de las muestras de sondes.

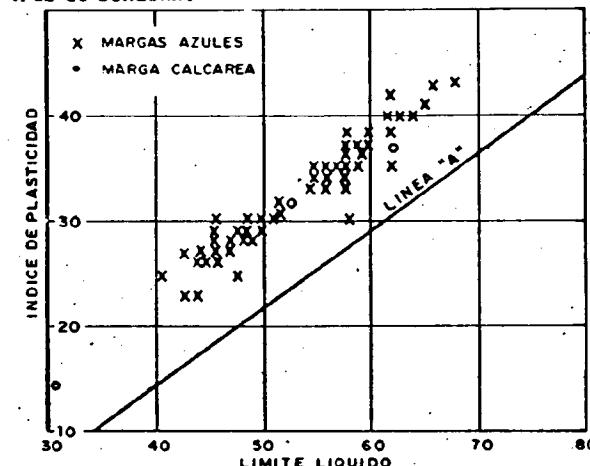


Fig. 3 Diagrama de plasticidad

Para definir la plasticidad de estas "margas azules" se han determinado los límites de Atterberg correspondientes. En la fig. 3 se han representado los resultados obtenidos sobre un gráfico de plasticidad de Casagrande. Las "margas" presentan una plasticidad media a alta, con límite líquido entre 40 y 68 %, e índice de plasticidad superior a 23. Todos sus puntos, como se aprecia en la figura citada, se agrupan en una banda paralela a la línea A, como suele ser habitual en suelos de análogo origen. En la fig. 3 también se ha representado tres puntos correspondientes a las fracciones arcillosas carbonatadas encontradas en las masas de "margas azules", una de las cuales posee muy poca plasticidad, mientras que las otras dos poseen plasticidad análoga a la de las "margas".

En algunas muestras -11 en total- se ha determinado el límite de retracción, el cuál oscila entre 14,6 y 17,7 %. No se aprecian diferencias entre muestras inalteradas y remoldeadas. El valor medio resulta ser 16,0 %.

La determinación del contenido de carbonatos -expresado en % de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ - resulta muy adecuado en estos materiales para definir su verdadera naturaleza. Para observar la distribución del contenido en carbonatos en las "margas", se ha representado el histograma de la fig. 4, en que puede verse el

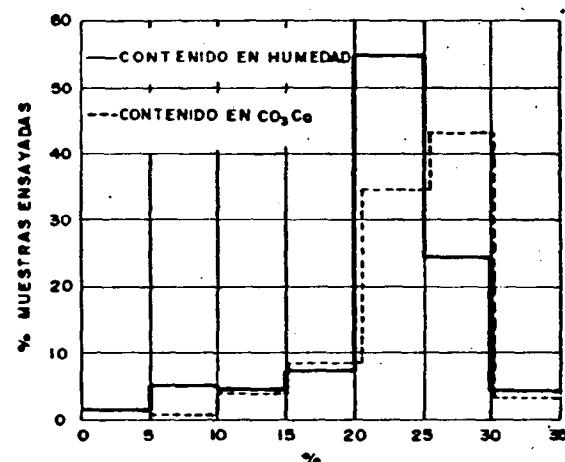


Fig. 4 Distribución del contenido de humedad y carbonatos en las muestras ensayadas.

% de muestras ensayadas que tienen el contenido en  $\text{CO}_3\text{Ca}$  entre los valores definidos. Como se aprecia, la mayor parte de las muestras (el 76 %) tienen carbonatos entre un 20 y un 30 %, correspondiendo la mayor acumulación al intervalo 25-30 %. Un valor medio del orden del 26 % en  $\text{CO}_3\text{Ca}$  es suficientemente representativo. De ahí que la denominación de "margas" es, a nuestro juicio, inadecuada para estos materiales miocénicos del interior del pozo. Ello está de acuerdo con el grado de plasticidad comentado anteriormente. Por ello, resul-

taría más adecuada la denominación de arcillas magosas grises azuladas.

Un 5,34 % de las muestras dan carbonatos en una proporción mayor del 35 %. Se trata del material carbonatado muy duro, que se encuentra intercalado en pequeños lentejones, entre las margas. Llegan a tener del orden del 80-84 % en  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , razón por la que se les ha denominado margas calcáreas (materiales ya mencionados con anterioridad).

En cuanto al contenido en sulfatos -expresados en % de  $\text{SO}_4$ - no supera, en general, al 0,15 %, salvo en un 8,5 % de las muestras ensayadas. La mayor parte de las muestras (79 %) contienen menos de un 0,075 % de  $\text{SO}_4$ , con un valor medio del orden de 0,040 %. Si bien se presentan contenidos mayores de estas magnitudes, es en un número muy restringido de muestras. En todo caso, el contenido en sulfatos no resulta suficiente como para esperar que el terreno sea agresivo a materiales de fábrica, como puede ser el hormigón.

El peso específico de las partículas, varía, en general, entre 2,74 y 2,78, aunque se ha obtenido valores que llegan a 2,63 y a 2,90. El valor medio de 2,77 resulta, pues, suficientemente representativo.

Por último, indicaremos que se ha realizado un análisis mineralógico de muestras de arcilla gris azulada, mediante difracción de Rayos X, que ha tenido como resultado la siguiente composición de la fracción arcilla: a) Montmorillonita, mucha; b) Mica, muy media; c) Caolinita, media. En la muestra total se aprecia, además, gran cantidad de cuarzo y calcita, junto a algo de dolomita y feldespatos.

En cuanto a los ensayos de estado, comentaremos, en primer lugar, los resultados de la determinación del contenido de humedad: los resultados obtenidos en Laboratorio presentan una clara acumulación de valores entre el 20 y 25 % (ver histograma de la fig. 4). Mas de la mitad de las muestras están comprendidas en dicho intervalo, y casi el 80 % entre 20 y 30 %. Los valores más bajos registrados -incluso inferiores al 5 %- corresponden a muestras de marga caliza. Como puede verse, por lo tanto, el valor medio de 24,5 % para la humedad resulta muy representativo.

En la fig. 5 se ha representado la variación de la humedad natural de las "margas" con la profundidad, incluyendo las humedades correspondientes al límite líquido y al plástico. Como se puede apreciar en dicha figura, la humedad natural se encuentra por encima del límite plástico, pero muy próxima a ella, con índices de fluides muy bajos, del orden del 10 %.

Las medidas "in situ" indican una variación de humedad entre el 22,7 y el 28,1 %, con un valor medio del orden de 25 %. Puede apreciarse, por lo tanto, la coincidencia de los valores determinados en laboratorio y en el campo.

La densidad aparente seca determinada en laborato-

rio varió entre 1,56 y 1,73. En la fig. 5 puede verse su variación con la profundidad. En algunas muestras se obtuvieron valores de 1,85 y mayores de 2,0 correspondiendo éstas a las margas calcáreas. En el campo el rango de valores obtenidos fué de 1,40 a 1,78, con valor medio algo inferior al de laboratorio. El considerar como densidad seca media, un valor del orden de 1,65 puede resultar suficientemente representativo.

Por último, mencionaremos que la densidad aparente húmeda, determinada por el método del mercurio, variaba entre 1,90 y 2,28 en laboratorio y entre 1,71 y 2,20 "in situ". Puede tomarse un valor medio del orden de 2,1.

#### IV. DEFORMABILIDAD DETERMINADA EN LABORATORIO.

Se han llevado a cabo ensayos de los que pueden obtenerse módulos que expresen, de alguna manera, las propiedades de deformabilidad del suelo. Dichos ensayos han sido los siguientes: a) Ensayos edométricos; b) Ensayos de hinchamiento libre; c) Ensayos de presión de hinchamiento; d) Ensayos Lambe; e) Ensayos de compresión triaxial.

Se ensayaron 15 muestras inalteradas en el edómetro. En ellas los índices de huecos variaron entre

0,579 y 0,849 (densidades secas entre 1,52 y 1,75, rango análogo al ya comentado), cuya relación con la profundidad puede apreciarse en la fig. 5. Los coeficientes de compresión,  $C_c$ , y de entumecimientos,  $C_e$ , determinados pueden relacionarse a través de representación semilogarítmica - con la humedad inicial,  $W$ , mediante las expresiones:

$$C_c = 1,35 \cdot W^{2,09}$$

$$C_e = 0,95 \cdot W^{1,95}$$

Las magnitudes medias de estos parámetros fueron:  $C_c = 0,114$  y  $C_e = 0,057$ .

Si la deformabilidad en carga se expresa en forma de módulos de compresibilidad,  $m_v$ , los valores medios resultan ser de  $5,48 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Kp}$  y de  $3,49 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Kp}$ , para intervalos de presión de 3 a 6 y de 6 a  $10 \text{ Kp/cm}^2$ , respectivamente. En la fig. 5 puede verse la variación de  $m_v$  con la profundidad, para ambos escalones de carga, pudiendo observarse que la dispersión máxima respecto de la media, es del orden del 20 %.

Los valores representados en la fig. 5 muestran, en general, una uniformidad apreciable con la profundidad, al menos en lo que se refiere a humedad, densidad seca inicial y módulo de compresibilidad. Por ello, parece suficientemente aproximado considerar

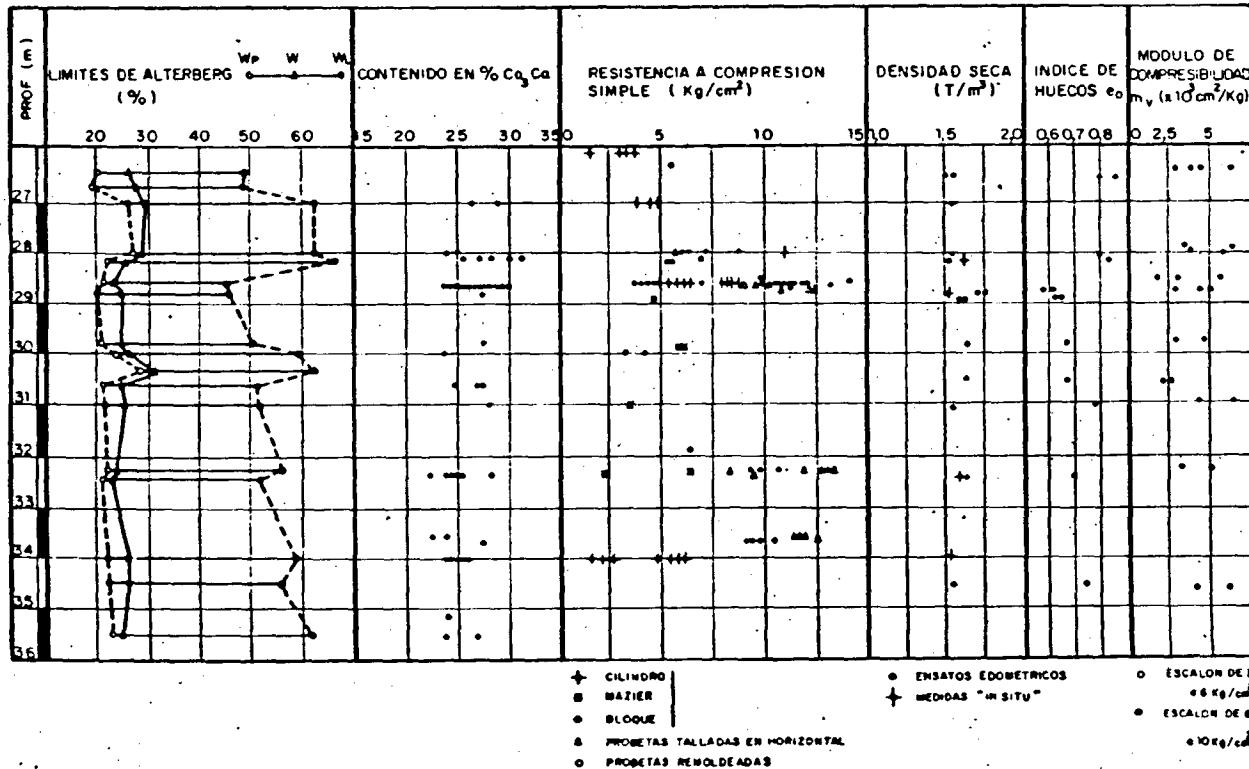


Fig. 5. Relación de diversas propiedades geotécnicas con la profundidad.

módulos de deformación constantes en la zona estudiada.

Si los valores comentados se expresan como módulos edométricos, el valor medio en carga resulta del orden de  $235 \text{ Kp/cm}^2$ . En descarga o entumecimiento, el módulo edométrico resulta del orden del doble:  $450 \text{ Kp/cm}^2$ .

Para medir propiedades de expansividad se han realizado ensayos de hinchamiento libre y presión de hinchamiento en el edómetro y ensayos Lambe. Los ensayos de hinchamiento libre indican hinchamientos del 1,75 al 4,42 %, que concuerdan con los resultados obtenidos en las ramas de descarga del edómetro. Con respecto a los ensayos de presión de hinchamiento, se obtuvieron presiones entre 0,5 y  $3,5 \text{ Kp/cm}^2$ . Salvo tres muestras que superan o igualan los  $3 \text{ Kp/cm}^2$  y otra que alcanza los  $2 \text{ Kp/cm}^2$  de presiones de hinchamiento, el resto dan valores entre 0,5 y  $0,9 \text{ Kp/cm}^2$ . Es decir, parece que existen dos rangos de presión de hinchamiento: alrededor de  $3 \text{ Kp/cm}^2$  y alrededor de  $0,8 \text{ Kp/cm}^2$ .

Se han llevado a cabo 12 ensayos de hinchamiento tipo LAMBE, con la fracción inferior a 2 mm. Los índices obtenidos indican cambios potenciales de volumen desde "no crítico" a "marginal" (en la zona próxima al calificado de "crítico"). La mayor parte de los valores obtenidos indican un cambio potencial de volumen calificado de "marginal".

Todo ello indica que, en general, no se deben esperar hinchamientos apreciables de la masa de "marga azul".

Los ensayos de compresión triaxial realizados permiten también medir la deformabilidad del material miocénico.

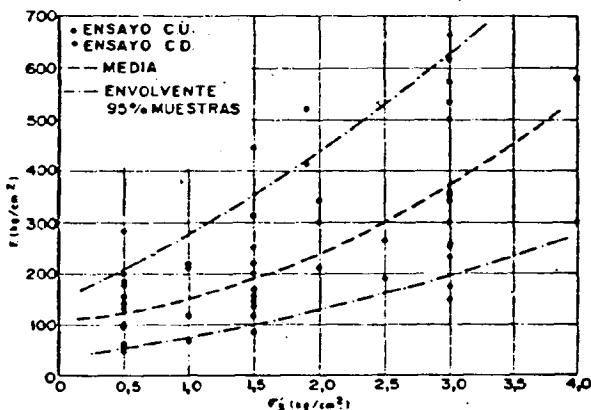


Fig.6. Módulo de deformación de ensayos triaxiales consolidados en función de  $\sigma_3'$ .

Los ensayos de compresión triaxial consolidados realizados permiten, también, medir la deformabilidad del material miocénico. En la fig.6 pueden

verse los valores del módulo de deformación,  $E$ , (correspondientes al 1 % de deformación longitudinal), en función de la presión efectiva  $\sigma_3'$  aplicada. Se observa en ella un aumento general de  $E$  con la presión lateral de confinamiento, pero la dispersión es considerable. En esta figura se han distinguido los valores correspondientes a ensayos C.U. (no drenados) y C.D. (drenados), pero, como se ve, los valores obtenidos y su dispersión es análoga en ambos casos. Puede decirse para valores de  $\sigma_3'$  inferiores a  $2,5 \text{ Kp/cm}^2$ , el valor medio de  $E$  es del orden de  $200 \text{ Kp/cm}^2$ , mientras que para valores de  $\sigma_3'$  superiores, el  $E$  medio es del orden de  $350 \text{ Kp/cm}^2$ .

En cuanto al módulo de deformación medido en ensayos U.U. (sin consolidación ni drenaje), aunque el número de valores disponibles es menor, puede decirse que el valor medio es del orden de  $560 \text{ Kp/cm}^2$ .

En todos los ensayos anteriores, es necesario señalar la importancia del efecto de decompresión durante la toma de muestras, perturbaciones debidas al tallado, etc. fenómenos que pueden afectar considerablemente los resultados de los ensayos edométricos y triaxiales, tanto en lo que se refiere a deformabilidad como a resistencia.

#### V. RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE

Para estimar los parámetros que determinan la resistencia al esfuerzo cortante en los suelos afectados por la excavación del pozo, en diferentes condiciones de drenaje y solicitud, se han realizado tres tipos de ensayos: a) Compresión simple; b) Compresión triaxial; c) Corte directo.

Los ensayos de compresión simple, se han llevado a cabo sobre muestras cilíndricas de  $\varnothing 3,75 \text{ cm}$ . y prismáticas de base  $4 \times 4 \text{ cm}$ . En la fig. 5 pueden verse representados los valores de las resistencias,  $q_u$ , obtenidas en función de la profundidad. Como puede apreciarse en dicha figura, la dispersión obtenida en las probetas de arcilla gris-azulada es considerable.

Los valores de  $q_u$  registrados en las "margas" van, en general, desde  $2,5$  hasta  $14 \text{ Kp/cm}^2$ . Para observar la distribución de estos valores se ha dibujado la fig. 7, en la que se puede ver que existen dos acumulaciones importantes con un 25 % de muestras cada una (entre  $4$  y  $6 \text{ Kg/cm}^2$  y entre  $10$  y  $12 \text{ Kg/cm}^2$ ). Sin embargo, entre  $6$  y  $10 \text{ Kg/cm}^2$  se agrupa otro 22 %, aunque el campo de variación es mayor.

A la vista de la fig. 5, no puede decirse que haya una variación clara de  $q_u$  con la profundidad, aunque parece que la tónica es la de aumentar entre  $25$  y  $29 \text{ m}$ . de profundidad, para después conservar los máximos valores alcanzados.

En esa fig. 5 se ha distinguido el procedimiento de toma de muestra (cilindro, tomamuestras Mazier y bloque), a fin de compararlos. Aunque los puntos de que se dispone en cada tipo no son muy numerosos, pueden clasificarse los procedimientos de toma de

muestras -en una escala de menor a mayor calidad de la forma que sigue: 1º) Mazier; 2º) cilindro; 3º) bloque.

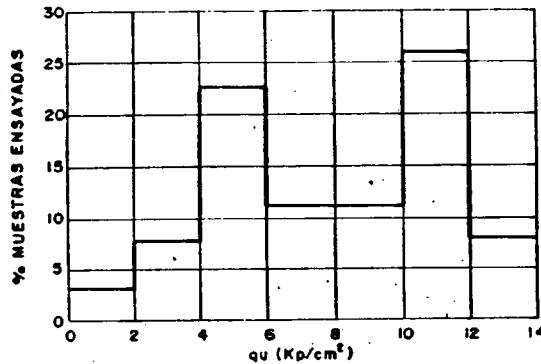


Fig. 7. Distribución de la resistencia a compresión simple en las muestras ensayadas.

En realidad la diferencia entre cilindro y bloque viene impuesta por la propia consistencia del terreno, ya que el criterio que se utilizaba para tomar la muestra en cilindro o en bloque estaba basado en la observación de dicha consistencia, empleándose el cilindro para las muestras que parecían más blandas.

El empleo del tomamuestras Mazier puede considerarse, por el contrario, independiente de la consistencia del terreno, puesto que es el utilizado en los sondeos realizados. A pesar de la calidad de las muestras que permite obtener, en algunos casos la inyección de agua para conseguir el avance de la corona a rotación (exterior al tubo tomamuestras) puede reblanquecer el terreno.

Si bien con la profundidad no se ha observado una clara correlación de  $q_u$  con la densidad seca,  $\gamma_d$ , parece que existe una dependencia de mayor grado. La línea de regresión que corresponde a la relación entre  $q_u$  y  $\gamma_d$ , resulta tener la expresión:

$$q_u = 46 \gamma_d - 67,7$$

en que  $q_u$  está expresada en  $\text{Kg/cm}^2$  y  $\gamma_d$  en  $\text{t/m}^3$ . Esta apreciable variación indica la necesidad de una buena toma de muestras, puesto que su decompresión, variación de humedad, etc. se traduce en apreciable decremento de la resistencia a compresión simple, si bien todo ello, como ya hemos indicado, puede adolecer de los efectos introducidos por la de compresión de la estructura original del suelo durante las operaciones de toma de la muestra.

Para estudiar la influencia de la dirección de tallado de la muestra se han representado las resistencias a compresión simple en sentido vertical y en horizontal obtenidas a partir de los mismos bloques de terreno (fig. 8). Como se puede ver de los 18 puntos representados, prácticamente 6 están en la línea que representa la equirresistencia en ambas direcciones,

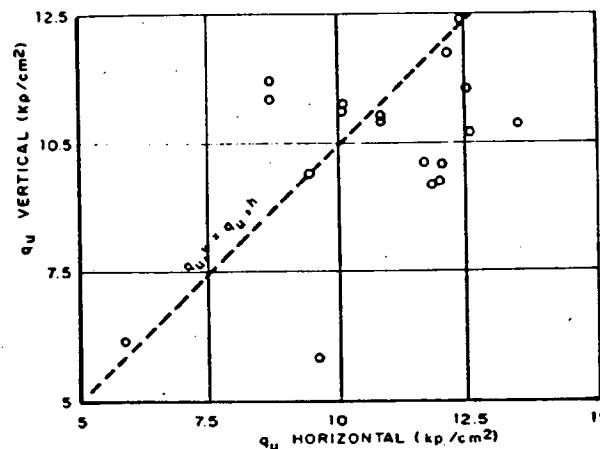


Fig. 8. Relación entre las resistencias a compresión simple vertical y horizontal.

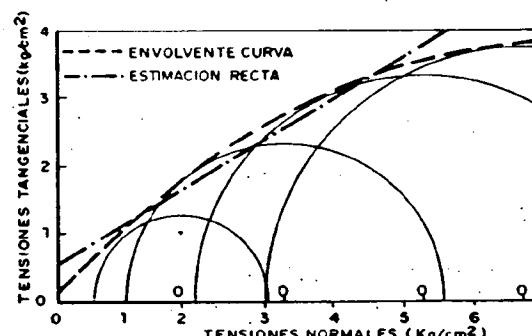


Fig. 9. Ensayo triaxial lento tipo

cuatro b están hacia la izquierda (mayor resistencia vertical) y 8 hacia la derecha. Parece, por tanto y dado que la separación hacia la derecha de la línea es de mayor grado que hacia la izquierda, que existe un pequeño incremento de resistencia en sentido horizontal, aunque poco acusada.

Como ya se ha indicado en el apartado anterior, se han realizado también ensayos triaxiales: consolidados y sin consolidar. Además se realizaron algunos ensayos con modalidades especiales dentro de la serie de ensayos C.D.

Los valores de la cohesión,  $c'$ , y del ángulo de rozamiento interno,  $\Psi'$ , se han obtenido en principio, suponiendo que la línea de resistencia intrínseca es una recta tangente a los círculos de Mohr (fig. 9). El valor del ángulo,  $\Psi'$ , en ensayos consolidados, varía entre  $23^\circ$  y  $34^\circ$ , con un valor medio del orden de  $29,8^\circ$ , alrededor del cual oscilan la mayor parte de los valores obtenidos. El intervalo que agrupa mayor volumen de valores (más del 70%) es el definido por  $27^\circ$  y  $32^\circ$ , por lo que el tomar un valor para  $\Psi'$ , del orden de  $30^\circ$  puede considerarse adecuado. La cohesión efectiva,  $c'$ , varía entre 0,1 y 0,8  $\text{Kp/cm}^2$  con un valor medio de  $0,35 \text{ Kp/cm}^2$ . Dados

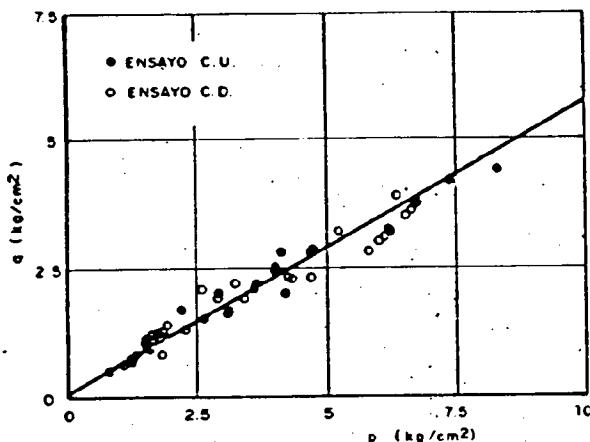


Fig. 10. Diagrama p-q de ensayos triaxiales consolidados.

los valores obtenidos, el medio puede considerarse representativo.

En la fig. 10 se ha representado un diagrama p-q, es decir, las coordenadas del punto más alto del círculo de Mohr de cada probeta ensayada. Como se aprecia, en los ensayos C.U. y C.D. se agrupan según la misma banda, sin que se aprecien diferencias en sus resultados. Si se traza la línea de regresión de todos los puntos de la fig. 10, dicha línea formaría un ángulo  $\alpha = 29,5^\circ$  con una ordenada en el origen,  $q_0$ , muy pequeña, del orden de  $0,1 \text{ Kg/cm}^2$ . Con estos valores la cohesión y rozamiento efectivo,  $c'_1$  y  $\psi'_1$ , que se obtienen son  $0,12 \text{ Kg/cm}^2$  y  $34^\circ$ , respectivamente.

Estos valores difieren de los obtenidos a partir del diagrama de Mohr (círculos de tensiones). Ello se debe a que, en realidad, la línea de resistencia intrínseca no se corresponde bien con una línea recta, sino que tiene una cierta incurvación (como se puede apreciar en la fig. 9) hacia el origen, con lo que para tensiones normales pequeñas el rozamiento interno resulta mayor que el determinado considerando la línea de resistencia intrínseca como recta. Con la envolvente curva, la cohesión efectiva tiende a ser muy pequeña. Este fenómeno queda patentizado de forma clara al emplear un diagrama p-q como el de la fig. 10.

En algunos de los ensayos triaxiales se han introducido variaciones con respecto a la forma habitual de realización. En vez de llevar a cabo una consolidación isotrópica —con la tensión vertical igual al valor de la tensión radial de consolidación,  $\sigma'_3$ — se realizó una consolidación anisotrópica. Ello se consiguió haciendo que la tensión radial,  $\sigma'_3$ , fuera la que se estimó que podría existir en el terreno a la profundidad de que se extrajo la muestra y haciendo que la tensión vertical,  $\sigma'_1$ , fuera la presión vertical efectiva que se supuso para dicha profundidad. Esta relación de tensiones se estimó suponiendo que el coeficiente de empuje en reposo venía dado por la fórmula de Jaky.

El desviador de consolidación se aplicó en tres es-

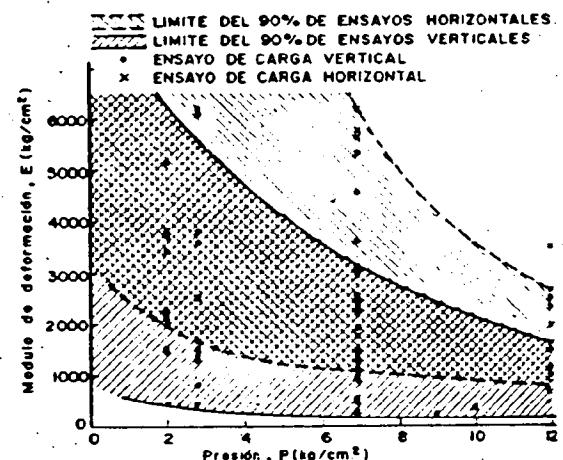


Fig. 11. Módulos de deformación medidos en ensayos de carga.

El desviador de consolidación se aplicó en tres escalones para no producir variaciones importantes de presiones intersticiales que pudieran originar roturas. Después de conseguir la consolidación anisotrópico, se aumentaba el desviador hasta alcanzar la rotura de la probeta.

Si bien en este tipo de ensayos los parámetros de resistencia al corte no presentan variaciones apreciables con que proporcionan los de consolidación isotrópica, los módulos de deformación (determinados como la relación entre incremento de desviador e incremento de deformación longitudinal), son algo menores que los determinados de la forma habitual. Dado que prácticamente en ambos casos se alcanzan los mismos círculos de rotura (partiendo de un mismo valor de  $\sigma'_3$ ) al comenzar la aplicación del desviador hacia rotura, después de la consolidación anisotrópica, el terreno se encuentra en un estado más deformable por su proximidad a la rotura, la cual se produce tras una deformación longitudinal que es análoga al del caso de consolidación isotrópica (teniendo en cuenta la originada durante la consolidación).

En los dos tipos de ensayos realizados los valores de  $\psi'_1$  y  $c'_1$  han sido análogos. Los de consolidación anisotrópica con tensiones análogas a las supuestas para el terreno dan círculos de rotura que tienden a disminuir el ángulo de rozamiento interno, por lo que parece más adecuado tomar para éste el valor dado por el diagrama  $\sigma'_3$ , mientras que para la cohesión, debido al estado de fisuración parece más razonable tomar la magnitud obtenida en el diagrama p-q.

Los ensayos de corte directo realizados (bien con la humedad natural, bien en condiciones de inmersión y consolidación), fueron orientados, principalmente, a determinar la resistencia al corte a lo largo de planos de fisuración o de discontinuidad. Ello implicaba operaciones cuidadosas de tallado que no siempre conseguían que la rotura se efectuase a lo largo de

matriz, mientras que los de deformación vertical representan a ésta afectada de algunas discontinuidades.

Para complementar el conocimiento de la deformación en sentido vertical, se había instalado el dispositivo de entumecimiento. Este estaba constituido por una varilla de Ø 25 mm., de 30 m. de longitud, ensamblada en tramos de 1 m. Dicha varilla se ancló en las margas, aislada del resto de los terrenos superiores, antes de comenzar la excavación. Al ir realizando ésta, se nivelaba la cabeza de la varilla, desmontando los tramos convenientes. En la fig. 12 puede verse en esquema el dispositivo instalado.

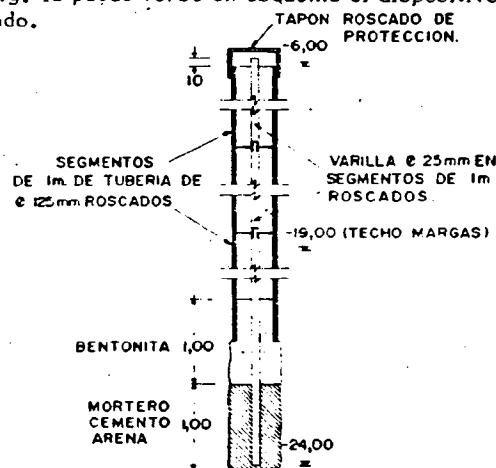


Fig. 12. Dispositivo de entumecimiento.

Debido a diversas dificultades, las nivelingaciones de la varilla, hasta que la excavación alcanzó los 20 m. de profundidad, fueron muy escasas. A partir de dicho punto pudo disponerse de abundantes mediciones (fig. 13). De estas mediciones se deduce que se habría producido un levantamiento del techo de las "margas" del orden de 50 mm. para 13 m. de excavación. Sin embargo, cuando ya se dispone de abundantes mediciones (a partir de 20 m. de profundidad), se observa que el levantamiento es inferior a 10 mm. y que va aumentando en forma progresiva hasta los 28,5 m. de excavación, en que el levantamiento es del orden de 45 mm.

La continuidad de las medidas obtenidas en esta segunda serie -má siable por mayor abundancia de dato-, nos llevaría a considerar que deben eliminarse las lecturas anómalas mencionadas.

Un análisis detallado del proceso constructivo nos ha llevado a considerar que las primeras mediciones están afectadas de un error considerable, motivados, principalmente, por golpes a la tubería durante la excavación del pozo.

Dado, que además, en cualquier terreno los entumecimientos son muy pequeños para descargas de hasta la mitad de la carga que soportan, parece más razonable eliminar las lecturas anómalas y tomar las

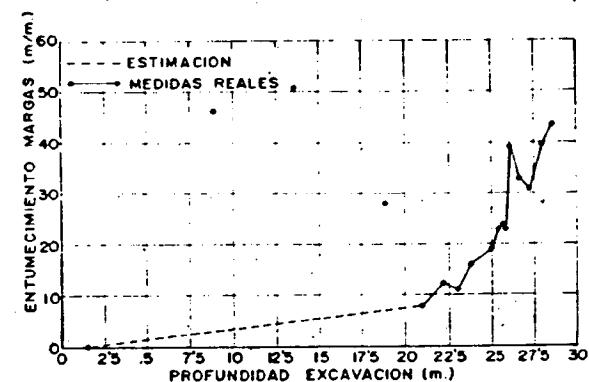


Fig. 13. Medida del entumecimiento de las margas azules en el centro del pozo en función de la profundidad excavada.

de la segunda etapa. Con ello resultaría que el levantamiento de las "margas" fué de unos 45 mm.

Para estimar el módulo de entumecimiento,  $E_e$ , que corresponde a este levantamiento, podemos utilizar una expresión análoga a la del ensayo edométrico  $E_e = \Delta p \cdot H / \Delta H$  ( $\Delta p$  = incremento de presión efectiva que se ha eliminado;  $\Delta H$  = levantamiento;  $H$  = espesor de terreno afectado).

Teniendo en cuenta la sobrecarga eliminada ( $\approx 58$  t/m<sup>2</sup>) y que el espesor de terreno afectado puede ser del orden de 15 m. (entre lo que faltaba por excavar de margas y el diámetro del pozo), resultaría:  $E_e \approx 1.900$  Kp/cm<sup>2</sup>.

En realidad el módulo así determinado representa un valor global definido por las situaciones inicial y final. Sin embargo, si se observa la fig. 13, en la que se aprecia que hasta que la descarga no fué la correspondiente a unos 21 m. de tierras el levantamiento no empezó a acelerarse, puede pensarse en definir dos módulos, representativos de dos etapas bien diferenciadas: 1º) Descarga correspondiente a 21 m. de tierras:  $E_{e1} \approx 6700$  Kp/cm<sup>2</sup> (el espesor de terreno tomado corresponde, aproximadamente, al que está cortado por la pantalla); 2º) Descarga entre 21 m. y 30 m. de tierras ( $E_{e2} \approx 4,40$  Kp/cm<sup>2</sup> (el espesor de terreno tomado en este caso ha sido de 9 m., ya que según la fig. 13, es la distancia a la zona de terreno en que empieza a tener efecto la descarga).

Por lo tanto, puede decirse que para decompresiones que no llegan a unos 2 Kp/cm<sup>2</sup> puede tomarse un módulo de entumecimiento de unos 6700 Kp/cm<sup>2</sup>, mientras que para decompresiones que lleguen a presiones inferiores a dicho límite, el módulo de entumecimiento cambia a unos 440 Kp/cm<sup>2</sup>.

Si se comparan los módulos de deformación deducidos en ensayos de campo con los de ensayos de laboratorio se aprecia una notable diferencia. Estos últimos son del orden de 2 veces menores, como mínimo. Ello se debe, principalmente, a los efectos ori-

ginados por la alteración de la estructura original del suelo que se produce durante la toma de muestra. Por esta razón y por el hecho de tener en cuenta las discontinuidades presentes en las "margas", los ensayos de laboratorio pueden indicar deformidades muy diferentes de las reales.

Por ello, los módulos de deformación a considerar, a efectos de cálculo, deben distinguir los fenómenos que afecten a la masa de arcillas a pequeña y a gran escala, ya que en los segundos no solo interviene el comportamiento de la matriz de las "margas", sino la presencia de fisuras, capas de limo, etc.

En los problemas de decompresión o recompresión a gran escala, a su vez, debe distinguirse la dirección principal de la solicitación, según sea normal o paralela a la estratificación. En el primer caso, los módulos de deformación pueden tomarse como los deducidos a partir del dispositivo de entumecimiento. En el segundo (acción paralela a los estratos), parece más adecuado que deba tomarse el módulo de deformación igual al correspondiente a las ramas de descarga y recarga de los ensayos de carga horizontal: 13.800 Kp/cm<sup>2</sup> para decompresión a valor superior a 2 Kp/cm<sup>2</sup>; 1.700 Kp/cm<sup>2</sup> para decompresión más allá de dicho límite; y 4.200 Kp/cm<sup>2</sup> para recarga.

En los problemas de decompresión o recompresión a pequeña escala pueden considerarse como representativos los resultados obtenidos en los ensayos de placa de carga verticales (del orden de 440 Kp/cm<sup>2</sup>).

### VIII. RECONOCIMIENTO EN PROFUNDIDAD

Desde el fondo del pozo se realizó un sondeo que alcanzó una longitud de 30 m., es decir, hasta 64 m. de profundidad con respecto a la superficie. El terreno afectado corresponde a la formación de arcillas margosas miocenas, con algunas intercalaciones de limo gris de muy pequeño espesor y una veta con marga calcárea de 1 m. de espesor, a los 12 m. de profundidad.

Con las muestras obtenidas, con ayuda del tomamuestras Mazier; se han realizado diversos ensayos de laboratorio: La humedad natural está, en general, próxima al límite plástico y con un valor entre el 25 % y el 30 %, aproximadamente igual que en las muestras extraídas en el pozo (fig. 5). Sin embargo, a unos 20 m. por debajo del fondo del pozo, aparece una zona más húmeda, con humedades entre el 40-50 %, quedando las más inferiores hasta 30 m. con humedad entre el 30 y el 40 %.

Los valores de los límites de Atterberg resultan similares a los obtenidos con muestras del pozo, aunque el líquido es algo superior (58 al 70 %, frente a la variación de 50-60 % de la fig. 5).

En cuanto a la resistencia a compresión simple, que se ensayaban dos probetas, al menos, de la misma

muestra, resultando, a veces, grandes diferencias entre ellas. Todos los valores de  $q_u$  resultan inferiores a 7 Kp/cm<sup>2</sup>, y en general, hasta los 20 m. de perforación, resultan comprendidos entre 2,5 y 4,5 Kp/cm<sup>2</sup>. Esta variación es similar a la ya registrada con muestras obtenidas en el primer sondeo (fig. 5). Por debajo de 20 m. de perforación las resistencias son más bajas, inferiores a 2 Kp/cm<sup>2</sup>, con valor medio del orden de 0,8 Kp/cm<sup>2</sup>.

En general, parece que la toma de muestras con el Mazier altera el terreno y conduce a resistencias inferiores a las de muestras talladas en bloque (como se pudo ver en la fig. 5). Además en algunas zonas, la inyección de agua para avance de la perforación puede reblanecer y humedecer el terreno (de hecho las muestras más profundas aparecían con agua suelta y zonas muy alteradas). Lo cual llevaría a la obtención en laboratorio de resistencias menores que las reales, sobre todo al ir aumentando la profundidad perforada.

Es decir, se considera que en el espesor de terreno prospectado la naturaleza del terreno es similar a la ya comentada anteriormente, aunque no son de descartar la presencia de zonas más blandas por mayor contenido de humedad.

Interesante resulta el comentar que, a partir de los 19 m. de perforación, se empezó a observar la salida de burbujas de gas por el sondeo. Esta situación continuó hasta varios meses después de terminar. Al principio se observó que daba agua y gas. Al cabo de varios días se paró la aportación de agua, pero no así la de gas. Se intentó en varias ocasiones tomar muestras de este gas y se procedió a diversos análisis sobre él. Aunque la toma de muestras no fué muy correcta, los análisis indicaron un contenido apreciable de metano, lo cual confirmaba la presencia de gases inflamables, ya deducido por la experiencia de haber hecho arder fácilmente el gas a su salida del sondeo.

### IX. CONCLUSIONES

A la vista de todo lo comentado pueden obtenerse las siguientes conclusiones:

- 1º) Las "margas azules" miocenas se presentan alteradas con finas capas de limos arenosos y lentejones de marga calcárea muy dura.
- 2º) Se han observado gran número de fisuras, en general horizontales, que alternan con las capas de limos arenosos.
- 3º) A la vista de la plasticidad y contenido en carbonatos de las "margas", cabe calificar a éstas de arcillas margosas.
- 4º) La resistencia a compresión simple está comprendida, en general, entre 5-6 Kp/cm<sup>2</sup> o entre 10-12 Kp/cm<sup>2</sup>. El primer intervalo es el mismo que el deducido a través de ensayos de placa de carga.
- 5º) La presencia de un contenido importante de carbo-

natos (24 %) implican en cierto grado de rigidización. Sin embargo las operaciones de toma de muestras y tallado pueden alterar la estructura original del terreno e introducir importantes perturbaciones.

6º) La anisotropía que indican los ensayos de carga se debe, principalmente, a los planos horizontales de discontinuidad.

7º) Para los módulos de deformación a considerar, se deben distinguir los fenómenos que afecten a la masa de "margas" a gran y pequeña escala y, al mismo tiempo, en dirección normal y paralela a la estratificación.

#### X. AGRADECIMIENTOS

Los estudios aquí descritos han sido financiados por

la Primera Jefatura de Construcción de la Dirección General de Transportes Terrestres (M.O.P.), cuyo permiso para publicarlos quieren agradecer los autores. También desean expresar su reconocimiento a la empresa M.Z.O.V. por su inestimable cooperación durante su realización, así como a todas aquellas personas del Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo a cargo de las operaciones de campo y gabinete.

#### XI. REFERENCIAS

URIEL, S. y OTEO, C.S. (1976).- "Stress and Strain Fields besides a Circular Slurry Trench Wall". Proc. 9th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. Tokyo. En prensa.

# approche pluridisciplinaire des problèmes posés par un glissement de terrain sur faible pente

215  
200

par

**A. Giraud**

I. R. I. G. M. (Université de Grenoble)

**J. P. Gourc**

I. R. I. G. M. (Université de Grenoble)

**L. Besson**

Direction Départementale de l'Agriculture de l'Isère

**D. Fabre**

I. R. I. G. M. (Université de Grenoble)

## 1 Généralités

Le glissement étudié s'est déclenché le 9 avril 1978 sur la commune de Monestier du Percy (Isère) au lieu-dit serre des Bayles. Des mouvements importants se sont encore produits ensuite pendant quatre jours, affectant une zone de pâtrages de pente faible, d'une superficie totale de 9 hectares.

L'observation des photographies aériennes antérieures (1956 et 1970) montre qu'il existait déjà à ces époques des indices de mouvement assez nets (petites niches d'arrachement fraîches, bourrelets...) surtout dans la partie NE. Cette zone n'a été que peu réactivée en 1978, les mouvements les plus spectaculaires se produisant surtout dans la partie SW sur une superficie d'environ 5 hectares.

### 1.1 Contexte géologique

Les « terres noires » du substratum de cette région (épaisse série de schistes sombres du Callovien et de l'Oxfordien) affleurent à l'amont et à l'aval du glissement dans le lit du torrent du Chapolet. Ces schistes sont pentés de  $40^\circ$  vers le SW alors que la vallée est orientée N30E et que la pente glissée (rive droite du torrent) plonge globalement vers le NW.

Sur ce substratum rocheux reposent des argiles glaciolacustres à litage horizontal qui présentent une alternance régulière de lits clairs silteux et de lits argileux plus sombres (épaisseur comprise entre 1 et 20 mm). Elles correspondent au remplissage d'un lac de barrage glaciaire datant de l'extension maximale du glacier de l'Isère au Würm II (fig. 1). Leur épaisseur qui peut atteindre 200 mètres ne doit pas dépasser quarante mètres à l'endroit du glissement, si l'on se réfère à la carte géologique à l'échelle du 1/2000 (fig. 3).

Enfin, on trouve, surmontant les argiles, une couche de un à deux mètres de formations alluviales et torrentielles, datées elles aussi du Würm.

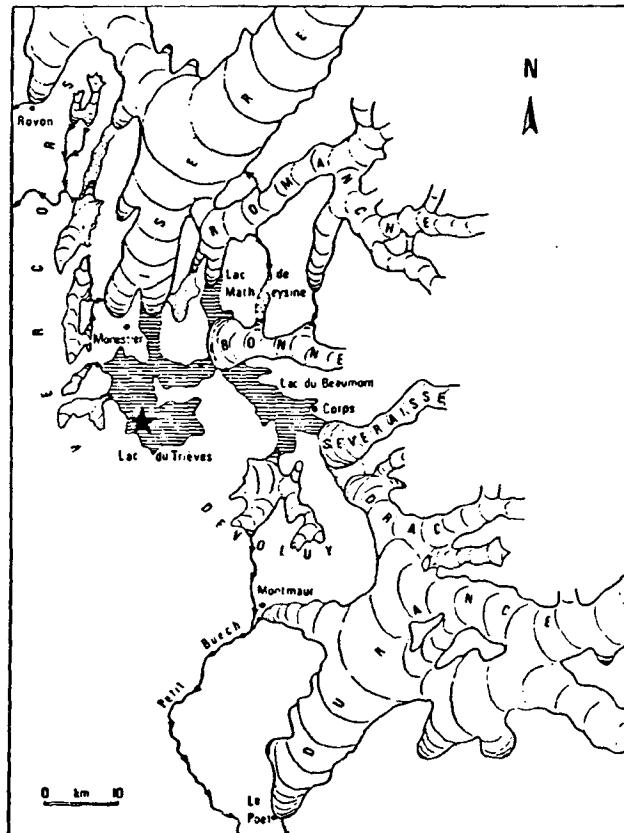


Fig. 1 Extension des glaciers au maximum du Würm et localisation du lac de barrage glaciaire du Trièves (d'après Monjuvent, 1973). Le secteur étudié est indiqué par une étoile

## 1.2 Conditions hydrologiques et climatiques

Avant le glissement, en amont de la zone instable, existait une zone marécageuse assez vaste dont les eaux devaient contribuer à l'alimentation de suintements observables dans la pente sur les photographies aériennes de 1956 et 1970.

Les données météorologiques analysées (fig. 2) montrent que la pluviométrie (surtout sous forme de neige) avait été forte pendant les deux mois consécutifs (203 mm en Février 1978 et 197 mm en Mars 1978) qui ont précédé le glissement. Après la fonte très rapide du manteau neigeux, liée à une période de dégel, le glissement s'est produit sous l'effet de l'augmentation des pressions interstitielles.

## 2 Description géologique du glissement

### 2.1 Cartographie

Une cartographie détaillée du glissement a été effectuée à l'échelle du 1/2000 à partir d'un orthophotoplan (fig. 3). Elle nous a permis de mettre en place certains détails importants (fissures principales, zones de rétention d'eau, lames d'argile apparentes...), de reporter la direction et le pendage du litage des varves après glissement et de situer avec précision les profils géologiques et les prélèvements d'échantillons.

Au niveau de la niche d'arrachement, nous trouvons sous vingt centimètres de terre végétale, une épaisseur de un mètre cinquante à deux mètres d'alluvions du Würm. Au contact des alluvions et des argiles varvées se produisent des suintements d'eau qui altèrent sur une vingtaine de centimètres le sommet des argiles.

Dans la partie supérieure du glissement comprise entre la niche d'arrachement et les restes du chemin, le litage est penté de 15 à 40° vers le NW. L'orientation du litage semble donc évoquer à ce niveau un glissement des blocs d'argile dans la pente.

Par contre, la surface du chemin et le litage des argiles dans tout le secteur situé en contrebas du chemin sont pentés de 20 à 40° vers le SE. La disposition de ce litage, l'aspect général de toute cette zone (basculement de blocs, effondrement locaux) suggèrent que toute la partie amont du glissement a été sujette à d'importantes distorsions. La partie basse de la zone déstabilisée semble avoir subi un écoulement plan généralisé avec des translations horizontales importantes (de l'ordre de 70 m en certains points). Enfin, en pied de glissement, une coulée a comblé le lit du ruisseau du Chapolet et en a décalé le cours d'une trentaine de mètres vers le NW. Un petit lac atteignant dix mètres de profondeur s'est formé derrière ce barrage naturel.

### 2.2 Recherche de la surface de rupture par géophysique

En l'absence de forage, plusieurs sondages sismiques ont été réalisés. Les résultats de cette campagne apportent quelques indications sur l'épaisseur des terrains remaniés. Ils sont cependant insuffisants pour tracer avec précision la surface de rupture la plus probable.

— Dans les argiles variées non remaniées (sondages d'étaffonnage I réalisés en amont de la niche d'arrachement) les vitesses mesurées sont comprises entre 1500 et 2000 m/s.

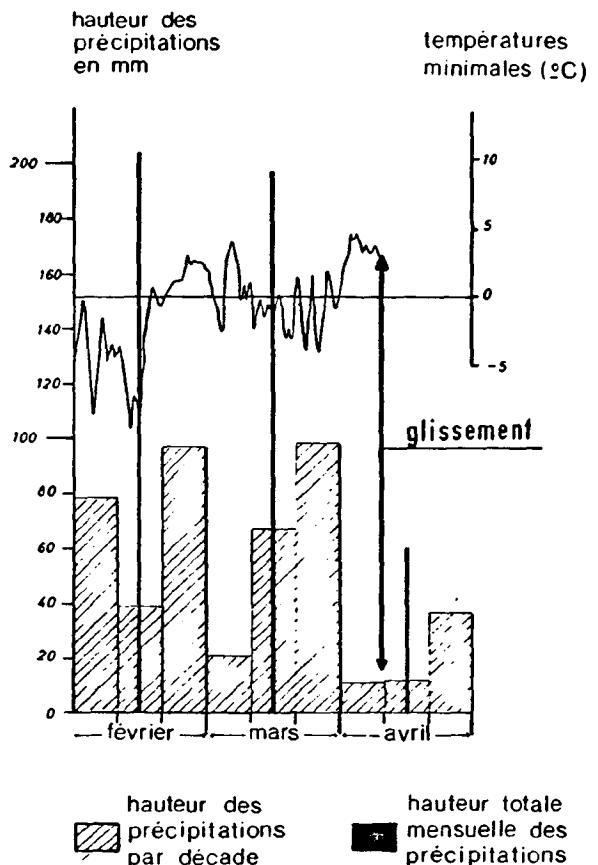


Fig. 2 Diagramme des précipitations et des températures au printemps 1978 (stations météorologiques de Lalleu et de Mens, Isère)

- Le profil III réalisé selon une horizontale dans le corps du glissement est à peu près symétrique. Il donne pour le terrain remanié une vitesse de 1300 m/s sur une épaisseur de six à huit mètres.
- Le profil en long II (fig. 4) est au contraire nettement dissymétrique. L'interprétation conduit à un schéma de réfracteur incliné d'environ 12° par rapport à la surface, soit 4° de contre-pente par rapport à l'horizontale. Dans la partie centrale du glissement la profondeur de la zone remaniée est d'environ 20 mètres. Les résultats de ces sondages ne permettent pas de dire où se trouve exactement le contact entre les argiles varvées et les terres noires. En effet, d'après les études menées dans la région sur le tracé voisin de la RN 75 (voir Kosseoglu 1977), les terres noires saines correspondent à une vitesse comprise entre 2600 et 3500 m/s, mais l'altération peut abaisser ces valeurs en dessous de 2000 m/s, ce qui introduit un risque de confusion avec les argiles varvées non remaniées.

### 2.3 Identification géologique des argiles varvées

Quelques essais d'identification ont été effectués sur les matériaux argileux du glissement.

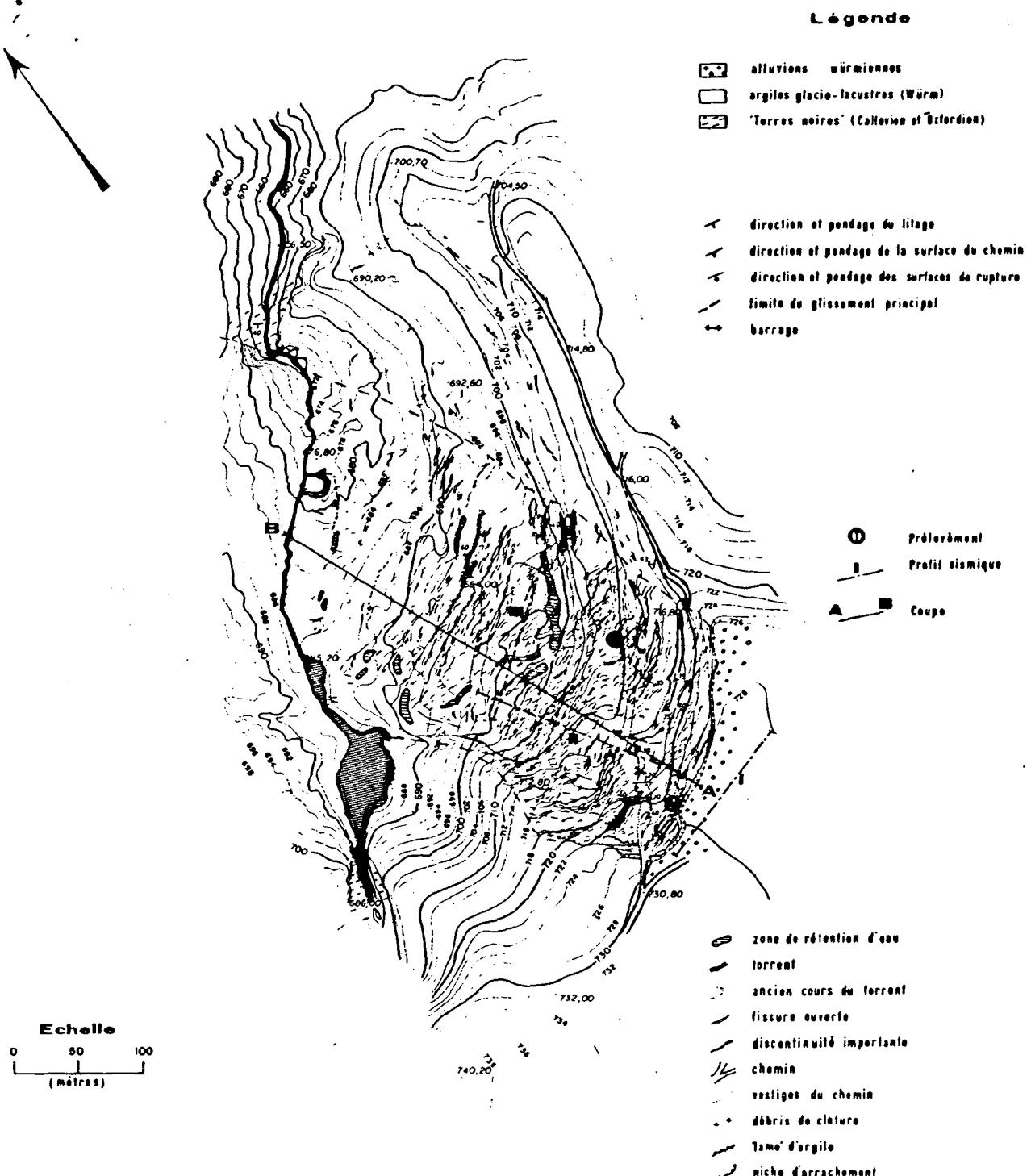


Fig. 3. Glissement de Monestier-du-Percy (Isère)

- La granulométrie indique une proportion d'argile assez forte dans les niveaux sombres (60 %  $< 2 \mu$ ) légèrement plus faible dans les niveaux clairs (40 %  $< 2 \mu$ ). Avec une limite de liquidité de 38 % et un indice de plasticité de 17, le matériau argileux sombre se classe parmi les argiles inorganiques de moyenne plasticité dans l'abaque de Casagrande.
  - Des analyses chimiques par calcimétrie et diffraction aux rayons X montre que la calcite prédomine largement dans les strates claires alors que les strates sombres comportent à parts à peu près égales la calcite, le quartz, l'illite et la chlorite.

Nature des minéraux	Strate claire	Strate sombre
Calcite	50 %	25 %
Quartz	10 %	20 %
Feldspaths	—	5 %
Illite	15 %	10 %
Chlorite	6 %	10 %
Kaolinite	6 %	5 %
Montmorillonite + I. M. C.	12 %	5 %

*Tableau 1 Composition minéralogique des niveaux clairs et sombres*

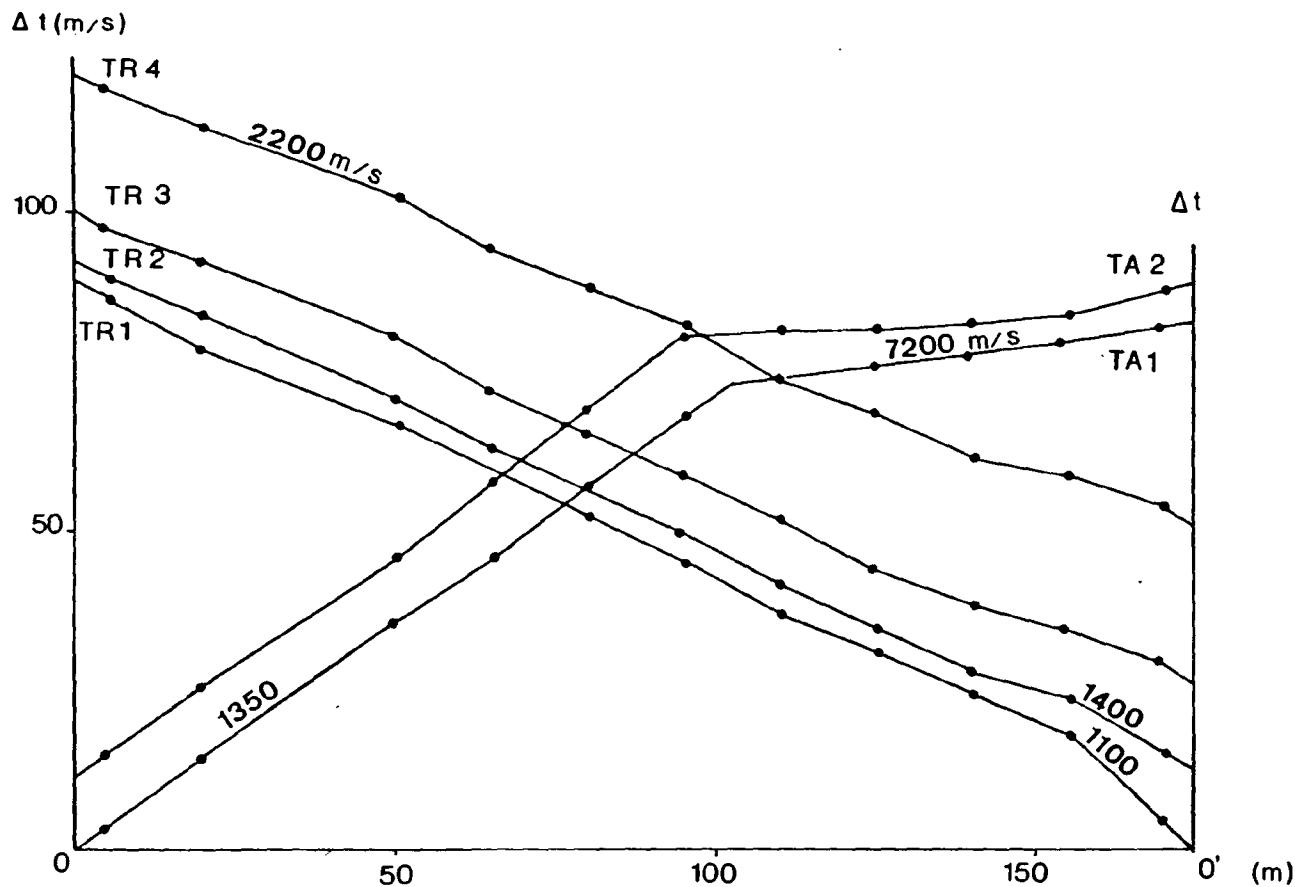


Fig. 4 Profil sismique n°II réalisé parallèlement à la direction du glissement. La vitesse apparente de 7200 m/s s'explique par l'inclinaison de l'interface (zone glissée – roche en place) par rapport à la surface topographique

Dans la fraction inférieure à  $2 \mu$ , on ne trouve, dans les deux cas, que des minéraux argileux (avec une fraction non négligeable de montmorillonite pour les strates claires).

L'interprétation de l'origine de ces argiles et de leur disposition en varves fait actuellement l'objet d'études complémentaires (comparaison avec la minéralogie des roches environnantes et avec celle des argiles d'Eybens, établissement de coupes en différentes localités de l'ancien lac...). Une synthèse en collaboration avec G. Monjuvent (Institut Dolomieu) doit être prochainement publiée.

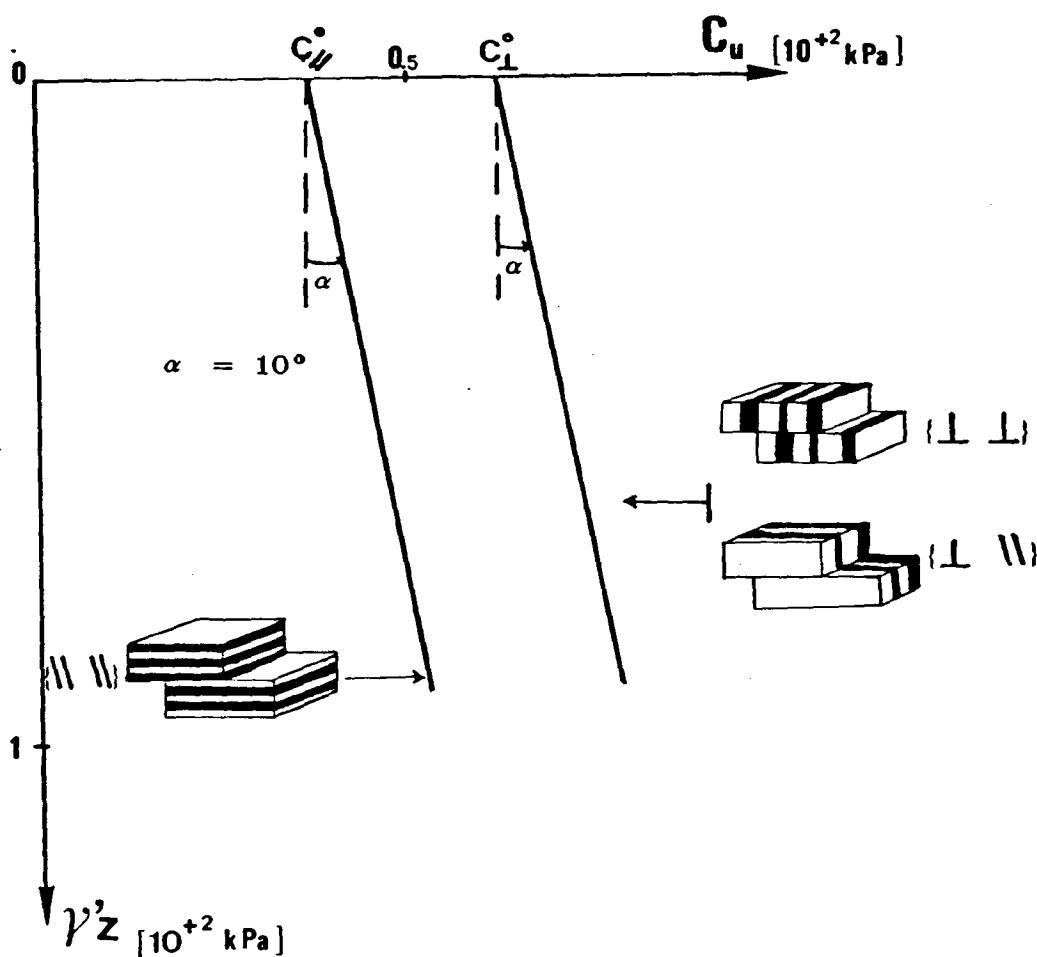
### 3 Analyse mécanique des conditions de glissement

A partir de données physiques limitées, nous avons fait une tentative de reconstitution du mode de glissement. Nous avons établi un programme de calcul, adapté aux stabilités de pentes dans des massifs à litages horizontaux, qui pourrait constituer un mode de reconnaissance rapide des zones critiques dans des sites comparables.

#### 3.1 Propriétés mécaniques de l'argile varvée

Le glissement s'est produit brusquement à une époque de forte humidité dans un massif saturé. On considérera donc la stabilité à court terme de la pente. Nous caractériserons le matériau par sa cohésion non drainée  $C_u$  ( $\emptyset_u = 0$ ) à la teneur en eau de saturation ( $w_{sat} = 28,5\%$ ).

La cohésion non drainée a été déterminée à partir d'essais de cisaillement rapide (essai Casagrande) et nous avons pris en compte la résistance mécanique résiduelle au palier, étant donnés les grands déplacements à considérer le long de la surface de glissement. Ces essais ont été effectués sur des échantillons à section carrée de 100 mm  $\times$  100 mm (vitesse de déplacement horizontal : 10 mm/minute) avec un bâti Casagrande classique, et sur des échantillons de largeur 250 mm et de longueur 400 mm (vitesse de déplacement horizontal : 20 mm/minute) avec un bâti spécialement conçu à l'I.R.I.G.M. pour des recherches sur le « rôle de l'échelle ». Ce boîtier de grandes dimensions a permis d'obtenir des surfaces de glissement d'aspect beaucoup plus conforme aux observations faites *in situ* : présence de stries et autres



parallèlement aux litages :

$$C_u = C_{\parallel}^0 + \gamma' z \operatorname{tg} \alpha$$

pour tout autre plan de cisaillement :

$$C_u = C_{\perp}^0 + \gamma' z \operatorname{tg} \alpha$$

$$C_{\parallel}^0 = 0,365 \cdot 10^{+2} \text{ kPa}$$

$$C_{\perp}^0 = 0,62 \cdot 10^{+2} \text{ kPa}$$

Fig. 5 Résistance au cisaillement anisotrope (argile varvée)

marqueurs de déplacement (« tectoglyphes » dus à des hétérogénéités locales), suivant le plan de glissement; formation d'un plan de cisaillement correct très difficile à engendrer dans un petit boîtier à cause du mouvement des blocs les uns par rapport aux autres, suivant le plan d'anisotropie.

De la série d'essais mécaniques effectués, on peut tirer les conclusions suivantes sur le massif d'argile varvée.

#### ★ Homogénéité horizontale

Le dépôt des couches d'argile s'étant effectué dans un lac de grandes dimensions et dans des conditions de sédimentation très calme, on peut compter sur une bonne homogénéité horizontale du matériau, malgré l'importance du glissement considéré (plus de 300 m de longueur pour le profil AB). Les essais mécaniques pour deux prélèvements (1 et 2, fig. 3), l'un au centre de la zone déstabilisée (2), l'autre au niveau de la niche d'arrachement (1), le confirment d'ailleurs.

#### ★ Variation de la cohésion avec la profondeur

Les difficultés d'accès n'ont pas permis d'effectuer des prélèvements à forte profondeur, mais une étude comparative avec les résultats obtenus au « vane-test » sur le site analogue de Ponsonnas (même matériau, valeurs de la cohésion concordantes avec celles de Monestier du Percy) nous ont permis de fixer une loi de variation de la cohésion avec la hauteur de sédiments susjacentes :

$$C_u = C_0 + \gamma' z \operatorname{tg} \alpha$$

$z$  étant la profondeur à partir de la crête (point A :  $z = 0$ , voir fig. 8).

#### ★ Anisotropie discontinue

L'essai Casagrande est le plus approprié pour un étude de la variation de la résistance au cisaillement avec l'orientation du plan de glissement, puisque dans cet essai, ce plan est imposé.

Nous avons effectué des essais de cisaillement suivant les trois plans principaux : plan horizontal des litages et les deux plans perpendiculaires (fig. 5). La structure de l'argile varvée se traduit, au point de vue mécanique, par une anisotropie discontinue : les plans de litage représentent les seuls « plans de faiblesse », la cohésion étant constante, à profondeur donnée pour toute autre orientation.

Les essais  $|\perp//|$  et  $|\perp\perp|$  qui donnent la même résistance mécanique sont dorénavant groupés sous l'appellation  $|\perp|$  et les essais  $|\//\//|$  deviennent essais  $|\//|$ . Dans les calculs on prendra :

- $C_u = C'_u$  pour un plan de cisaillement horizontal;
- $C_u = C''_u$  pour tout plan de cisaillement non horizontal.

### 3.2 Étude de stabilité

Nous avons effectué une étude de stabilité bidimensionnelle sur un profil « axial » du glissement, le profil AB (fig. 3 et fig. 11), pour lequel nous disposons de renseignements suffisants (topographie avant et après glissement — profils sismiques — rotations du litage) et où les effets de bords (remontée en surface des terres noires) n'apparaîtront pas.

#### a) Indication de surface sur la zone en glissement

Soit A le sommet du profil considéré, correspondant à la niche d'arrachement, et B le pied du glissement correspondant à la présence de lames d'argile.

L'examen comparatif avec des photos aériennes (1970) permet d'évaluer le déplacement de certains points : le chemin avant glissement se trouvait en crête, un buisson situé dans la partie médiane du profil a subi un déplacement horizontal de soixante dix mètres environ...

La pente avant glissement peut être considérée comme uniforme ( $\beta_1 = 11^\circ$ ). On assimilera également pour le calcul la pente finale à une pente uniforme ( $\beta_2 = 8^\circ$ ). Ceci est en accord avec le remblaiement important en aval du pied B du glissement et le décalage d'une trentaine de mètres du cours du ruisseau (voir § 2.1).

#### b) Indication en profondeur sur la zone en glissement

Les profils sismiques II (suivant le profil AB) et III (perpendiculairement au profil AB) permettent de caler les résultats théoriques en apportant une indication sur la profondeur de sol remanié (fig. 11).

Par ailleurs, le comportement anisotrope des argiles varvées suggère que le plan horizontal est une direction préférentielle de glissement. La méthode du cercle de glissement n'autorise pas la prise en compte d'une telle anisotropie. Nous supposerons donc une ligne de glissement polygonale avec mobilisation de la cohésion minimale  $C'_u$  (fonction de z) suivant le plan horizontal, et une cohésion  $C''_u$  (fonction de z) pour les plans de glissement inclinés (fig. 8).

Enfin, comme il s'agit d'un massif d'argile saturée en écoulement plastique, nous considérerons que le glissement se fait à volume constant (pas de fisionnement de la zone en mouvement).

#### c) Cinématique du glissement

L'ensemble des indications précédentes nous permet de supposer la cinématique suivante : la surface de glissement est polygonale avec un plan en pied tangent à la lame d'argile émergente ( $30^\circ$ ), et avec dans sa partie médiane, un plan parallèle aux litages horizontaux. Le glissement s'est traduit (fig. 6 et fig. 11), dans

la partie amont du profil par un effondrement avec distorsions locales (litages à  $15^\circ$  en crête et surface du chemin basculée de  $30^\circ$ ), et dans la partie aval par une translation horizontale non uniforme (fissures de traction nombreuses en surface). Cette translation est due au recul du pied B du glissement (translation  $\Delta L$ ), mettant en butée le massif de sol aval et décalant le cours du ruisseau.

#### d) Détermination de la surface de glissement initiale

L'originalité de cette étude de stabilité est de permettre de retrouver la géométrie avant glissement du massif de sol instable. Cette démarche a deux avantages :

- Il est évidemment plus logique d'étudier l'instabilité du massif juste avant glissement (suivant ce que nous appellerons la surface de glissement initiale) plutôt qu'après glissement (suivant l'état final de la surface de glissement ou surface de glissement finale). Ces deux surfaces se différencient dans la partie basse du glissement.
- Il est intéressant d'obtenir une estimation des déplacements ( $\Delta L$ ,  $\Delta H$ ) en pied du glissement.

La surface de glissement finale est déterminée, une fois connus les paramètres géométriques ( $D_1$ ,  $\theta$ ) (fig. 6). Le calcul de stabilité du paragraphe suivant va nous permettre d'en trouver les valeurs critiques.

La surface de glissement initiale (avant écoulement) correspondant à ces valeurs est reconstituée en écrivant la non-variation de volume du massif de sol en mouvement (fig. 7). On en déduit par ailleurs les déplacements  $\Delta L$  et  $\Delta H$  en pied de glissement.

#### e) Modalités du calcul

Nous appliquons la méthode des blocs avec résultante nulle au massif de sol « initial » avant glissement (fig. 8). Le coefficient de sécurité  $F$  est défini par :

$$C_u \text{ mobilisée} = \frac{C_u}{F}$$

Pour chaque élément plan de la surface de glissement, on prend en compte la cohésion  $C_u$  correspondant à la profondeur  $z$  moyenne de ce plan (fig. 8).

Pour chaque géométrie supposée de la surface de glissement finale ( $D_1$ ,  $\theta$  fixées), on détermine la surface de glissement initiale associée ( $\Delta H$ ,  $\Delta L$ ) et le coefficient de sécurité correspondant ( $F$ ).

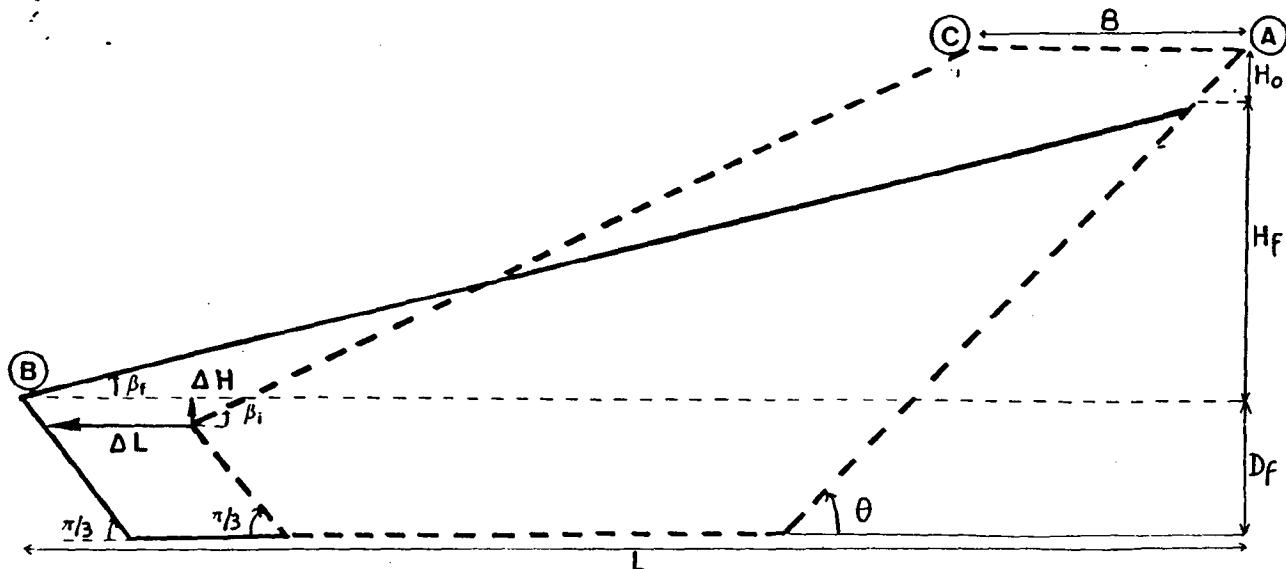
#### f) Résultats

Quelle que soit la profondeur  $D_1$ ,  $F$  passe par un minimum pour  $\theta = \theta$  critique =  $38^\circ$  (fig. 9).

Pour  $\theta = \theta$  critique,  $F$  diminue continûment avec la profondeur (fig. 10). On retrouve un résultat classique pour les sols cohérents purs : lorsque la résistance au cisaillement augmente peu avec la profondeur, on obtient toujours une rupture en profondeur.

#### g) Estimation de la surface de glissement réelle

Le coefficient de sécurité  $F = 1$  est atteint à partir d'une profondeur  $D_1 = 17$  m. Si l'on admet comme acceptables les hypothèses à la base de ce calcul, on admet qu'il s'agit de la profondeur de glissement réelle. Ceci rend plausible la présence des terres noires à cette profondeur ou du moins la présence d'un substratum plus consistant empêchant une rupture plus profonde. De plus, notons que  $D_1 = 17$  m est en accord avec les profils sismiques (fig. 4 et 11) et que le déplacement en pied correspondant ( $\Delta H = -0,5$  m;  $\Delta L = +27,5$  m) (fig. 10) est compatible avec les déplacements des points repères évalués dans le profil AB.



Paramètres fixés :

$$L = 229 \text{ m} \quad B = 31 \text{ m} \quad H_f + H_o = 35,5 \text{ m} \quad \beta_i = 11^\circ,6 \quad \beta_f = 8^\circ$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 2000 \text{ kN/m}^3$$

L'hypothèse de non variation de volume du massif de sol en glissement permet de déterminer

$$\Delta H \text{ } f(D_f, \theta)$$

$$\Delta L \text{ } f(D_f, \theta)$$

----- surface de glissement initiale (avant glissement)

——— surface de glissement finale (après glissement)

Fig. 6 Non variation de volume du massif de sol en glissement

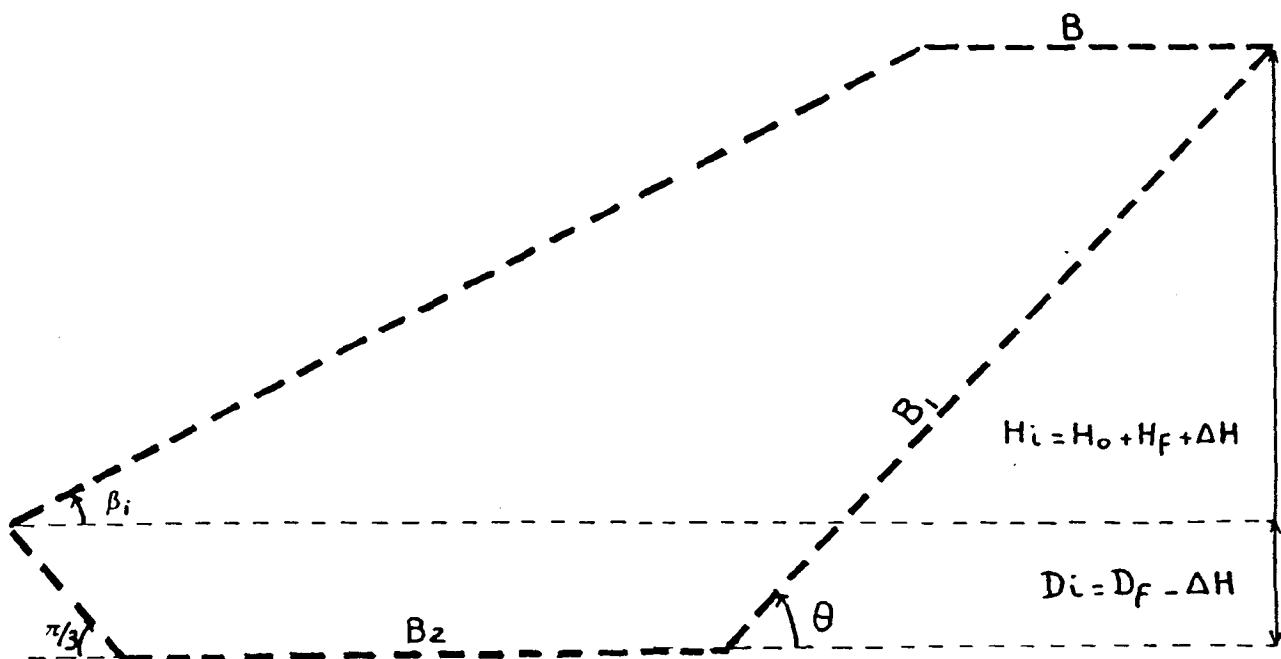
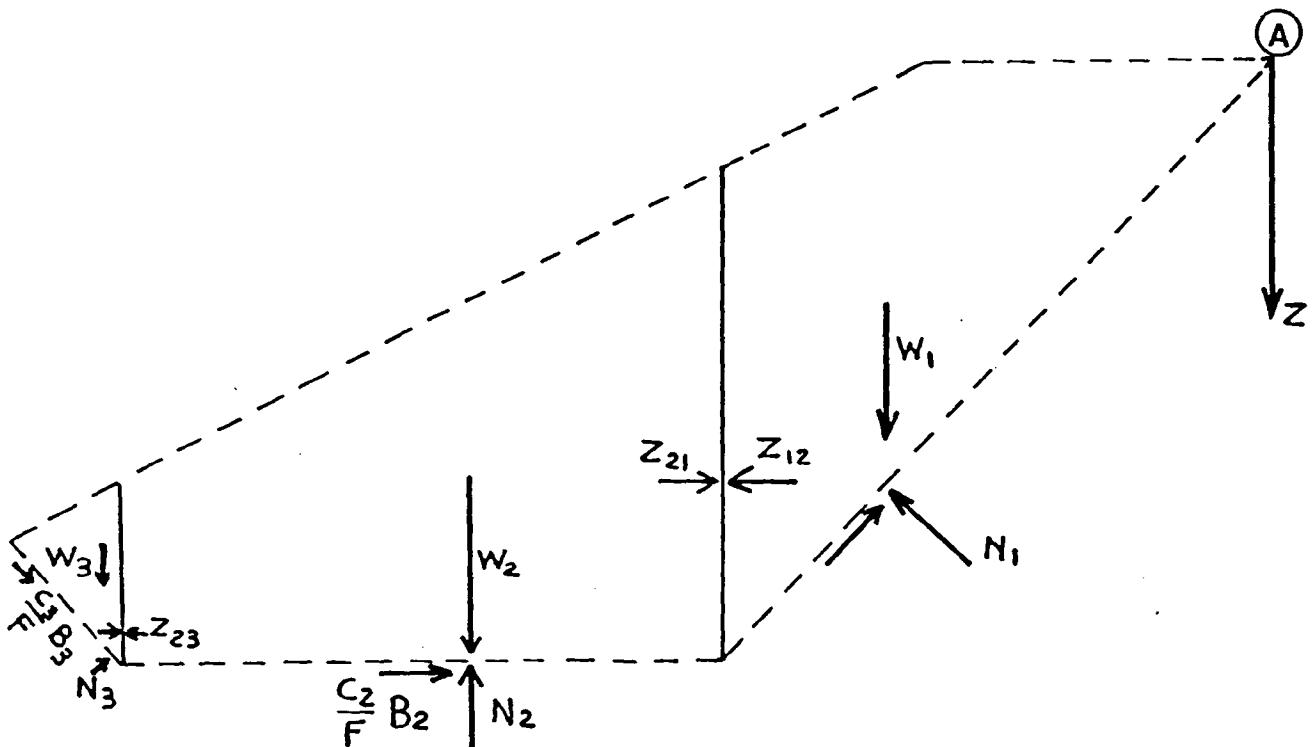


Fig. 7 Dimensions du massif de sol avant glissement (pour  $D_f$ ,  $\theta$  fixés)



Méthode de la résultante nulle :

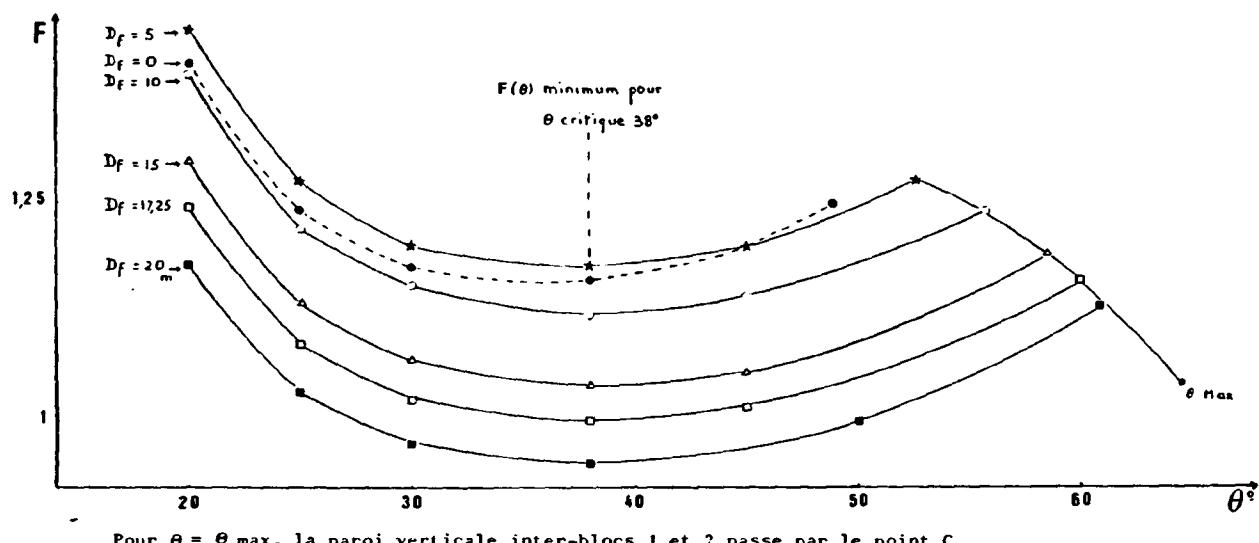
- Equilibre des forces pour chacun des trois blocs
- Efforts inter-blocs supposés horizontaux
- Cohésion non drainée prise en compte :
  - fonction de l'orientation de la base du bloc considéré
  - fonction de la profondeur moyenne de la base de ce même bloc

$$C_1 = C_{\perp}^o + \gamma' z_1 \operatorname{tg} \alpha = C_{\perp}^o + \gamma' \cdot \left[ \frac{D_i + H_i}{2} \right] \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$C_2 = C_{\parallel}^o + \gamma' z_2 \operatorname{tg} \alpha = C_{\parallel}^o + \gamma' \cdot [D_i + H_i] \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$C_3 = C_{\perp}^o + \gamma' z_3 \operatorname{tg} \alpha = C_{\perp}^o + \gamma' \cdot \left[ \frac{D_i}{2} + H_i \right] \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Fig. 8 Détermination du coefficient de sécurité



Pour  $\theta = \theta_{\text{max}}$ , la paroi verticale inter-blocs 1 et 2 passe par le point C

Fig. 9 Variation de F en fonction de  $D_f$  et  $\theta$

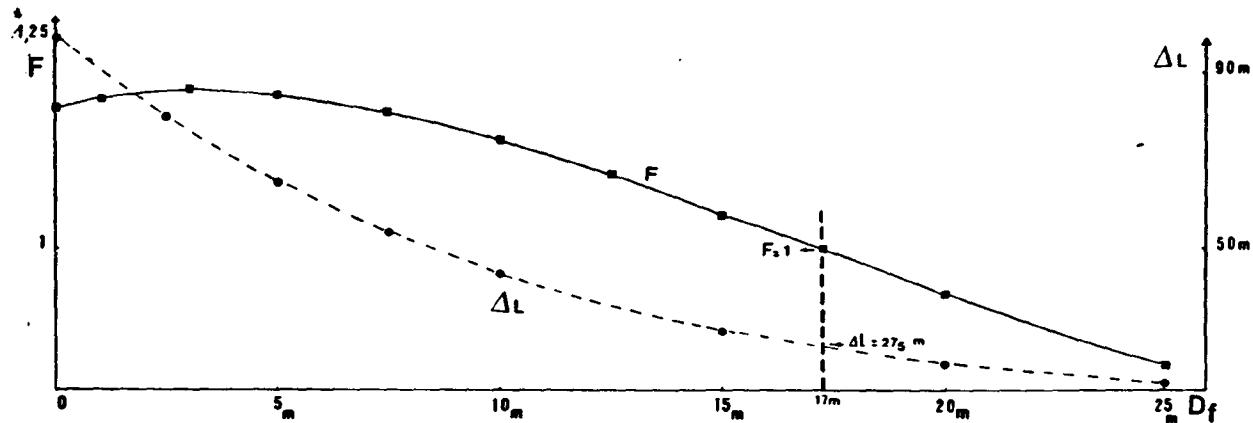


Fig. 10 Variation de  $F$  et  $\Delta L$  en fonction de  $D_f'$  pour  $\Theta = \Theta$  critique =  $38^\circ$

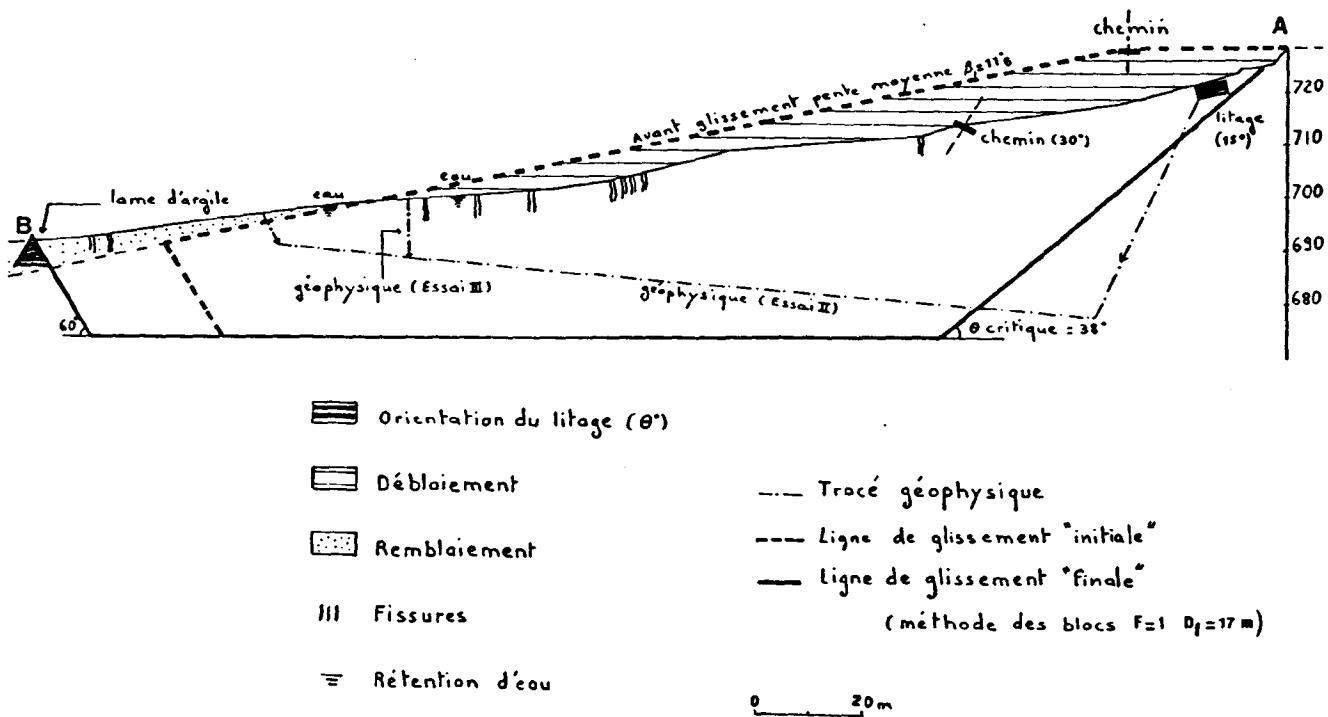


Fig. 11 Profil axial du glissement : observations, mesures et résultats de l'étude de stabilité

#### 4 Solutions envisageables et implications administratives

Il était financièrement exclu, étant données l'ampleur du glissement et la valeur des biens effectués, d'entreprendre une remise en état des terrains glissés pour les rendre à leur vocation première. Il importait donc de proposer des solutions simples pour empêcher l'extension du mouvement et restaurer les terrains glissés en leur trouvant une nouvelle vocation.

Cette tâche incomba à la Direction Départementale de l'Agriculture.

##### 4.1 Mesures immédiates

- Les premiers travaux envisageables devaient concerner l'assainissement des zones marécageuses situées à l'amont du glissement pour diminuer les possibilités d'infiltration des eaux vers la couche d'argile varvée.
- Par ailleurs, il fallait consolider un petit barrage situé en aval du glissement qui avait été endommagé par les remous du torrent et les coulées boueuses consécutives au glissement. Enfin, le chemin communal traversant le glissement devait être rétabli.

Pour ces travaux de drainage, de reprofilage du ruisseau, de consolidation du seuil et d'aménagement d'un nouveau chemin (devis global 200 kF) une subvention à 75 % du Département put être obtenue rapidement.

Simultanément aux travaux engagés, le Maire présenta, par l'intermédiaire de la D.D.A. un dossier au Comité Départemental d'Expertise des Calamités Agricoles. Bien que ce type de dégradation ne soit pas, en général, pris en compte par le Comité, l'importance des dégâts incitait à ouvrir un dossier. En effet, au cours de ces quatre jours, 9 ha de pâturages et de terres cultivables avaient été emportés et devenaient inutilisables. Étaient donc concernés par ce sinistre les propriétaires et les exploitants, puisque la plupart de ces terres étaient louées à des éleveurs.

Après examen, le sinistre fut retenu comme calamité agricole par arrêté interministériel, pris par les ministres de l'Agriculture et de l'Économie, en date du 14 juin 1979. L'indemnisation des propriétaires et des exploitants par le Fonds de Garantie des Calamités Agricoles était dès lors possible.

#### 4.2 Recherche d'une solution pour le reclassement des terrains glissés

A plus long terme se pose la question du devenir des surfaces glissées. Du point de vue économique et même technique, les observations faites sur l'importance du glissement (forte épaisseur de la zone remaniée, désorganisation complète de la topographie et du drainage naturel...) ne permettent pas d'espérer recréer des cultures, ni même des pâturages.

Pour ce type de terrain, une solution paraît être l'achat par l'État en vue de la création d'une série domaniale de Restauration des Terrains en Montagne (série R.T.M.). Elle présente l'avantage de soulager la commune des dépenses nécessaires pour assurer une certaine sécurité sur les 9 ha du glissement. Les opérations à mener dès lors par l'État sont, dans l'ordre, le drainage, la correction torrentielle, le réembroussaillement puis le reboisement des terres.

#### 4.3 Quelques réflexions

Le glissement de terrain de Monestier du Percy est un bon exemple de dégradation par l'érosion d'une zone fragile et peu peuplée du territoire national.

En dehors des conditions climatiques particulières, agissant le plus souvent comme élément aggravateur et déclencheur d'un phénomène déjà préprogrammé au niveau du terrain, on peut incriminer avant tout l'exode rural et la perte de main d'œuvre et de savoir-faire local. Les anciens connaissaient les techniques et l'intérêt de l'entretien des moindres éléments du réseau hydrographique naturel et artificiel!

On remarque une certaine prise de conscience des citoyens vis-à-vis de l'importance des facteurs déterminant notre environnement, mais paradoxalement, ceci se traduit par un transfert progressif de responsabilité sur les collectivités locales, puis sur l'Administration et l'État.

Au niveau des moyens mis en œuvre pour restaurer les terrains après dégradation naturelle, on doit noter enfin la faiblesse des budgets communaux et le relais indispensable des budgets départementaux, régionaux ou nationaux.

On peut penser raisonnablement que, selon le viel

adage « mieux vaut prévenir que guérir », l'action des collectivités locales et des services techniques départementaux pourrait être renforcée par la création d'un corps de surveillance et d'entretien des terres comme il en existe pour les routes et au moins partiellement pour les avalanches (observations nivométéorologiques et relevés topographiques effectués par les agents forestiers).

### 5 Conclusion

Les méthodes d'analyse des mouvements de terrain sont aujourd'hui bien au point. Mais pour aboutir, à partir de l'interprétation des phénomènes passés, à la prévision des mouvements ultérieurs et à l'évaluation de la sécurité des pentes naturelles, de nombreuses études « géomécaniques » seront encore nécessaire. La mise au point d'un programme de calcul adapté à un type de mouvement et à un matériau bien identifié passe par un étalonnage sur des mouvements réels comme celui que nous avons présenté dans cette étude pluridisciplinaire.

La collaboration engagée sur les glissements dans les argiles litées du Trièves, entre géologues et mécaniciens des sols d'un laboratoire universitaire et les services techniques départementaux (D.D.A., D.D.E.) doit être poursuivie. Ce type d'étude s'inscrit en complément logique de l'inventaire et de la cartographie systématique des mouvements de terrain réalisés à d'autres échelles au plan départemental (cartes communales de risques naturels) et au plan national (cartes Zermos).

### Références bibliographiques

- Antoine P. (1977). Réflexions sur la cartographie Zermos et bilan des expériences en cours. Bull. B.R.G.M., 2<sup>e</sup> série, section III, n° 1/2, p. 9-20.
- Antoine P., Biarez J., Desvarreux P. et Mougin J.P. (1971). Les problèmes posés par la stabilité des pentes dans les régions montagneuses. Géologie alpine, t. 47, p. 5-24.
- Gourc J.P. (1978). Cours de Stabilité des pentes. École Nationale des Travaux Publics de l'État, Lyon, 141 P.
- Huff W.D. (1974). Mineralogy and provenance of pleistocene lake clay in an alpine region. Geol. Soc. of Amer. Bull., vol. 85; p. 1455-1460.
- Koseoglu M. (1977). Étude géologique et géotechnique routière (route nationale 75 entre Vif et le col de la Croix Haute), thèse Docteur Ingénieur, Grenoble, 228 P.
- Monjuvent G. (1973). La transfluence Durance-Isère. Essai de synthèse du Quaternaire du bassin du Drac (Alpes françaises). Géologie alpine t. 49, p. 57-118.
- Sultan H.A. et Seed B. (1967). Stability of sloping core earth dams. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proceeding of the American Society of Civil Engineers, SM4 p. 45.
- Tachker Y. (1973). Méthodes utilisées dans le Département de l'Isère pour la délimitation des zones exposées à des risques naturels. Symposium Sol et Sous-sol et sécurité des Constructions, Cannes, 1, p. 377-388.

VIBRACIONES

## géotechnique et vibrations : effets sur l'environnement

Rapport général de

P. Chapot

Ingénieur, Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées, Nancy

Ph. Weber

Professeur, École Nationale Supérieure des Techniques Industrielles et des Mines d'Alès

Dans la variété des sujets abordés, les diverses communications et interventions apportent des éléments de réponse aux trois questions centrales de ce thème :

- Par quelles relations la source d'une vibration et son environnement sont-ils liés?
- Comment l'environnement modifie-t-il la vibration?
- Comment déceler, puis quantifier, la dégradation que la vibration inflige à son environnement?

Douze communications ont donc été présentées et discutées; de leur analyse, les rapporteurs généraux tirent tout d'abord deux commentaires préliminaires :

### Sur le choix d'un critère de nocivité

Si aucune communication n'apporte d'éléments réellement nouveaux concernant la justification, théorique ou expérimentale, du critère de nocivité en vitesse particulière, la plupart d'entre elles y font référence pour l'adopter : il semble en effet s'établir, ou se confirmer, un consensus sur le choix de ce critère, quitte à en moduler la valeur du seuil en fonction d'éléments liés à l'environnement.

### Sur la prise en compte du paramètre temps

Les sources de vibrations ont un caractère transitoire — généralement lié à la mise en œuvre de l'explosif — ou plus ou moins permanent — trafic routier, compactage, vibrofonçage. Or il apparaît que le problème de l'influence de la durée de la vibration et son incidence sur la dégradation éventuelle de l'environnement, n'est guère abordé. Ainsi, les critères de nocivité auxquels la plupart des auteurs se réfèrent concernent les vibrations de tir; il s'agit de phénomènes qui sollicitent l'environnement durant quelques dixièmes de seconde à quelques secondes avec une récurrence qui peut varier de quelques tirs par jour à un tir isolé; s'il est très probable que la répétitivité des tirs doit avoir une influence sur l'environnement, aucun

élément ne nous permet actuellement de l'appréhender; à la limite, vaut-il mieux fractionner un tir, quitte à solliciter plus longtemps l'environnement, ou au contraire lui infliger un seul train d'ondes d'amplitude plus élevée? Le choix d'un critère en vitesse peut conduire à retenir le premier terme de l'alternative, mais ce choix n'apparaît pas nécessairement le meilleur.

En ce qui concerne les vibrations à caractère plus ou moins continu, il n'apparaît aucune donnée nouvelle concernant l'effet de «fatigue dynamique» sur les terrains et les structures sollicitées.

L'essentiel des développements auxquels ce thème a donné lieu est regroupé sous quatre chapitres :

- les critères de nocivité,
- la propagation des vibrations,
- la dispersion des mesures,
- la métrologie.

### 1 Les critères de nocivité

Si aucune des communications présentées ne traite de la détermination, ou de la justification d'un critère de nocivité, toutes celles qui concernent des travaux en zone construite font référence à celui de la vitesse particulière maximale [(12), (22), (31), (42)]. Les nombreux exemples de travaux à l'explosif en site contraignant [(31), (41), (42)], témoignent que la référence à ce critère s'est faite à la satisfaction des utilisateurs.

La référence à ce critère pose évidemment le problème du choix du seuil : malgré l'optimisme affiché dans les diverses communications, le choix du seuil apparaît lié à une appréciation qualitative et intuitive des risques encourus, voire au contexte politique local ou à une estimation de la valeur des biens concernés. On notera à ce propos que la fourchette des valeurs seuil peut s'ouvrir de 5 mm/seconde à 50 mm/seconde (12).

Cette latitude dans le choix d'une valeur seuil a sans doute conduit à une trop grande prudence et à une limitation des charges unitaires à des valeurs beaucoup trop faibles, mais aucun élément ne permet de l'affirmer.

L'adoption quasi-générale de la vitesse maximum de vibration comme critère de nocivité est le résultat d'expériences systématiques effectuées en Suède, au Canada, aux États-Unis et en Tchécoslovaquie depuis une vingtaine d'années. Les expériences ont porté sur l'observation de dégâts provoqués sur des immeubles d'habitation courants et de hauteur limitée, par les vibrations dues à des tirs d'explosif, au total quelques dizaines de tirs sur quelques dizaines d'immeubles; les résultats de ces mesures ont permis de proposer des valeurs considérées comme «acceptables» pour les constructions : 70 mm/seconde en Suède, 50 mm/seconde en Amérique du Nord, 10 à 30 mm/seconde en Tchécoslovaquie.

Une étude plus fine, menée par le Bureau des Mines Américain a porté sur la discrimination entre un critère en accélération et un critère en vitesse particulière : la corrélation (dégâts - critère en vitesse) apparaît effectivement moins dispersée que la corrélation (dégâts - critère en accélération).

Par la suite, le développement des mesures de vibrations sur les chantiers en zone plus ou moins urbanisée a amené à moduler les valeurs limites et, au fur et à mesure de la parution des publications sur le sujet, on voit diminuer les seuils de nocivité retenus par les divers auteurs. Un consensus s'établit néanmoins actuellement sur une fourchette comprise entre 10 et 30 mm/seconde dans la plupart des cas.

Certains pays ont transformé ces recommandations en normes mais il semble qu'elles reflètent davantage l'expérience ou la notoriété de quelques spécialistes; un projet de norme internationale s'est d'ailleurs soldé par un échec. Parallèlement à cette recherche sur la détermination d'un seuil, une réflexion s'est développée, visant à prendre en compte d'autres paramètres : caractéristiques des terrains de fondation, fréquence de la vibration (rappelons à ce propos que le choix d'un critère en vitesse particulière constitue le corollaire du fait que les dégâts sont — ou semblent être — indépendants des fréquences mises en jeu). Cette réflexion n'a jusqu'à présent pas abouti.

Les principales interrogations qui subsistent actuellement, et auxquelles les communications n'apportent que peu d'éléments concernant :

- l'adaptation des critères de nocivité à d'autres structures que les habitations de type standard. La protection des tunnels se fait actuellement par la même démarche que celle qui est utilisée pour les habitations, bien qu'il s'agisse de structures totalement différentes, et probablement susceptibles d'absorber sans dommage des vibrations d'un niveau nettement plus important;

- l'adaptation des critères à des sources autres qu'explosives : vibrofonçage, compactage;

- la prise en compte plus fine des paramètres géotechniques et des données de l'environnement : qualité des terrains de fondation;

- la prise en compte du paramètre temps selon le caractère permanent, temporaire, occasionnel ou isolé dans le temps, de la vibration.

Malgré ces lacunes qui doivent susciter autant de pistes de recherche, il convient de souligner le

consensus qui se confirme sur le choix d'un critère de nocivité en vitesse particulière et la restriction des valeurs seuils dans la fourchette 10-30 mm/seconde pour les cas standards.

## 2 La propagation des vibrations

Deux approches différentes nous sont proposées par les intervenants. La première, purement empirique, consiste à modéliser l'amortissement de la vibration par une loi générale de la forme  $V = KD^{-\alpha}$  et à déterminer expérimentalement les valeurs du coefficient d'amortissement  $\alpha$  [(11, Figure 1), (22, Figure 2), (42)] la seconde consiste à déterminer l'expression mathématique de la loi propagatoire [(33), (34)] à partir d'hypothèses sur la source de vibration et le comportement du matériau; cette approche permet en particulier de mettre en lumière les contributions respectives des divers types d'ondes. Une étude sur modèle expérimental de laboratoire (13) montre que l'expression générale  $V = KD^{-\alpha}$  est parfois mise en défaut.

Si la nature des terrains sollicités intervient à l'évidence dans l'expression de l'amortissement, aucune donnée nouvelle ne permet d'appréhender cette influence : la disposition des diaclases, la stratification et l'anisotropie du matériau, la géométrie locale des terrains, la présence éventuelle de terrains de fondation plus raides, ... doivent contribuer à l'expression générale de la loi d'amortissement; il semble que la dispersion des résultats expérimentaux masque ces contributions dans la plupart des cas. Les communications (21) et (22, Figure 3) font néanmoins référence à l'influence d'une tranchée comme facteur de réduction des vibrations.

Le coefficient d'amortissement  $\alpha$  apparaît généralement compris entre 1,1 et 1,8 [(11), (12)] pour des distances variant entre quelques mètres et quelques centaines de mètres. Cette ouverture importante de la fourchette traduit, outre une dispersion des résultats expérimentaux (nous reviendrons sur ce point ultérieurement), une évolution complexe des vibrations superficielles dans laquelle doit s'opérer graduellement, à mesure de leur progression dans les terrains, une modification dans la contribution des divers types d'ondes qui composent la vibration. On se heurte là à une question concernant la nature des vibrations : s'agit-il d'ondes de compression, de cisaillement, de surface? On sait que les deux premières s'estompent progressivement pour laisser la place, de façon prépondérante, aux ondes superficielles. La référence à un coefficient d'amortissement unique est sans doute illusoire.

L'approche théorique présentée dans les communications (33) et (34, Figure 4) n'est applicable qu'à une source excitative harmonique et ne peut rendre compte que de phénomènes permanents (trafic routier).

L'une des difficultés fondamentales pour le calcul de l'effet vibratoire induit par l'explosif réside dans l'impossibilité actuelle à modéliser l'interaction entre l'explosif et le milieu environnant : les phénomènes développés durant la détonation conduisent à une dégradation des terrains telle qu'elle résiste à toute approche scientifique.

Néanmoins, et sur un plan pratique, on peut noter avec satisfaction que les nombreuses mesures effectuées sur des sites variés conduisent à des expressions cohérentes de la relation entre vitesse maximale,

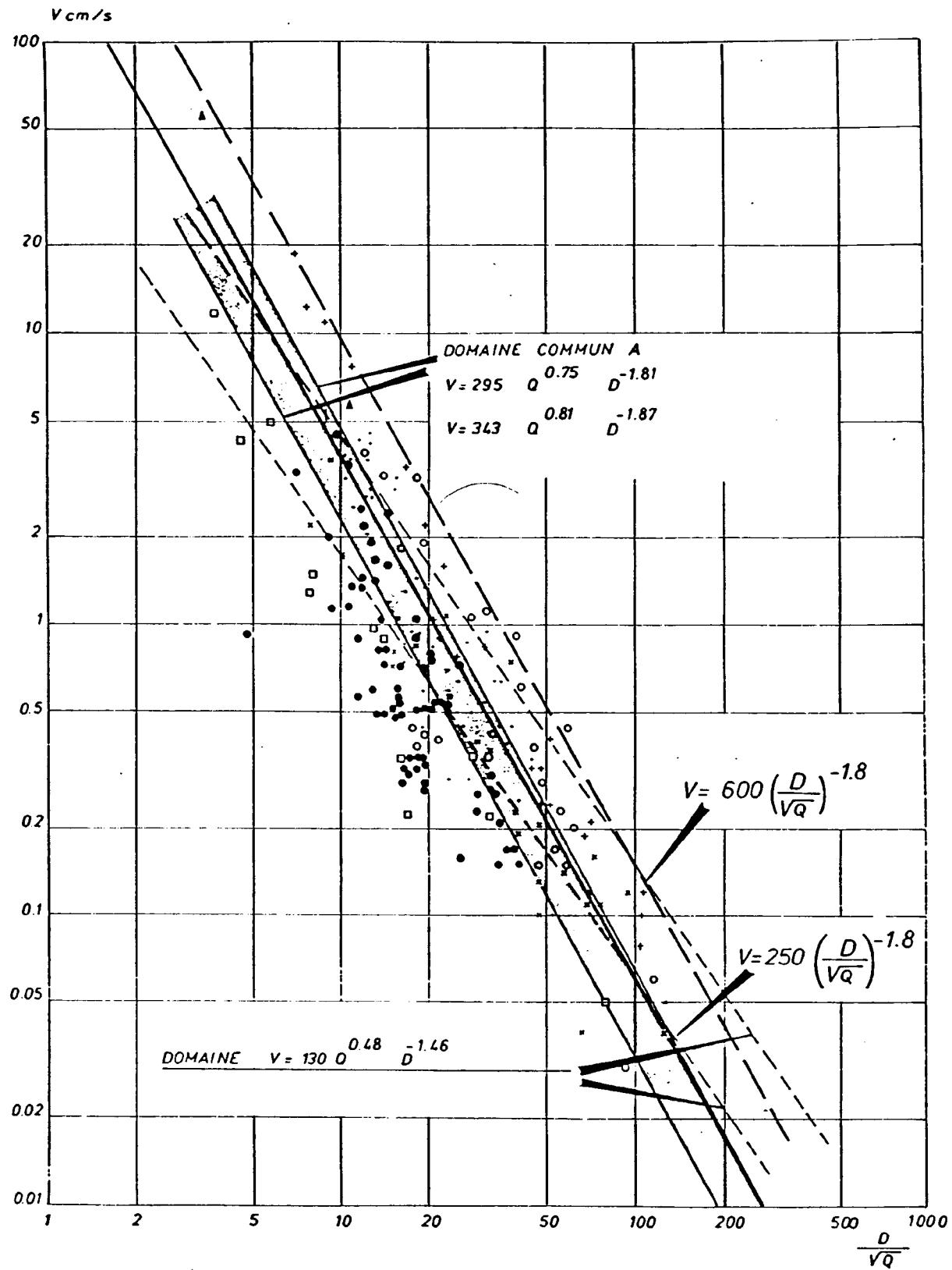


Fig. 1 Vitesse maximum de vibration en fonction de la distance réduite par la racine carrée de la charge

distance et charge unitaire [(11), (31), (42)]. Cette relation permet de définir, grossièrement, le niveau vibratoire escompté sur un site donné, pour des tirs en surface.

La notion de « distance réduite » ( $D/\sqrt{Q}$ ) est utilisée et permet de présenter la relation vitesse-distance-charge sous une forme simple (11, Figure 1).

### 3 La dispersion des mesures

Tous les intervenants soulignent l'importance de la dispersion des mesures de vibration consécutives au tir. Les raisons de cette dispersion sont multiples :

- Un essai de tir est par essence non reproductible, le site étant détruit chaque fois.

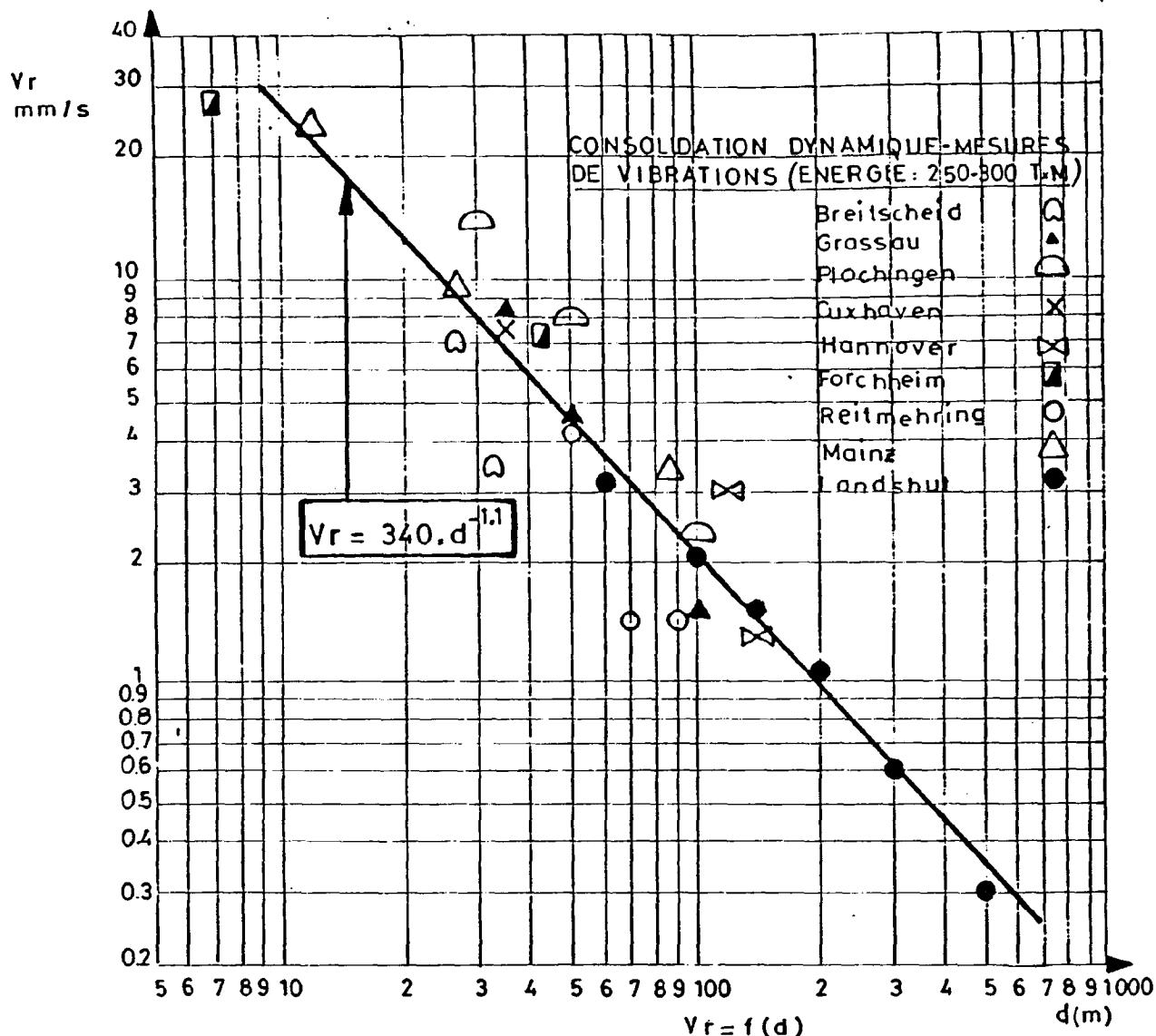


Fig. 2 Vitesse particulière  $V_r$  en fonction de la distance  $d$  d'un impact (pour un choc de 200 à 300  $t \cdot m$ )

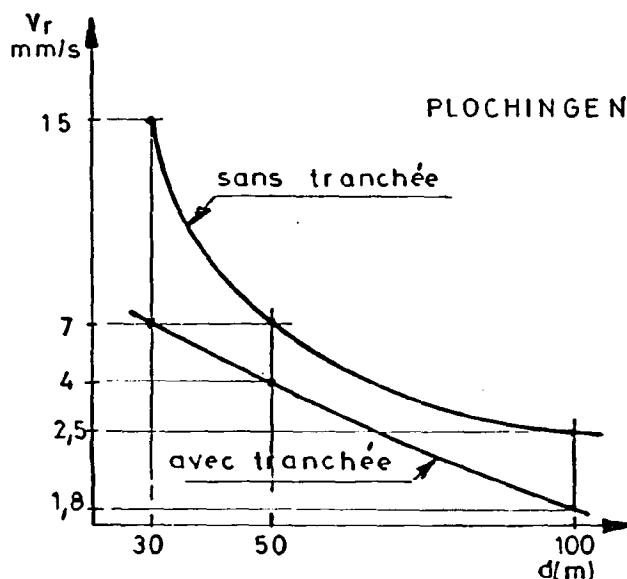


Fig. 3 Influence d'une tranchée de 2 m de profondeur environ sur les effets des ondes de Rayleigh

— Même dans des conditions de site parfaitement homogènes, et en réalisant le même plan de tir, on a noté un rapport 2,5 entre les amplitudes des vibrations extrémées. Il semble en effet que le phénomène de détonation en site confiné ne soit pas reproductible.

— Enfin, dans le cas de tirs d'abattage, on peut avoir toutes les nuances entre un tir confiné parfaitement bourré et un tir à l'air libre (pétardage d'un bloc par exemple); dans le premier cas, l'énergie sismique générée dans le massif rocheux est maximale — de l'ordre de 20 % de l'énergie totale libérée par la détonation —; dans le second cas, l'énergie sismique est quasi nulle. Il semble d'ailleurs, au vu des résultats expérimentaux, que la dispersion des mesures de vibrations soit plus forte « vers le bas » que « vers le haut » : on conçoit en effet que, pour une quantité donnée d'explosif, il existe un maximum théorique d'énergie sismique transmise au terrain, et par conséquent une amplitude maximale de la vibration; par contre, le minimum théorique est nul.

— Soulignons enfin une dernière source de dispersion liée à l'instrumentation utilisée et à l'adaptation de la bande passante de la chaîne aux fréquences engendrées par le tir.

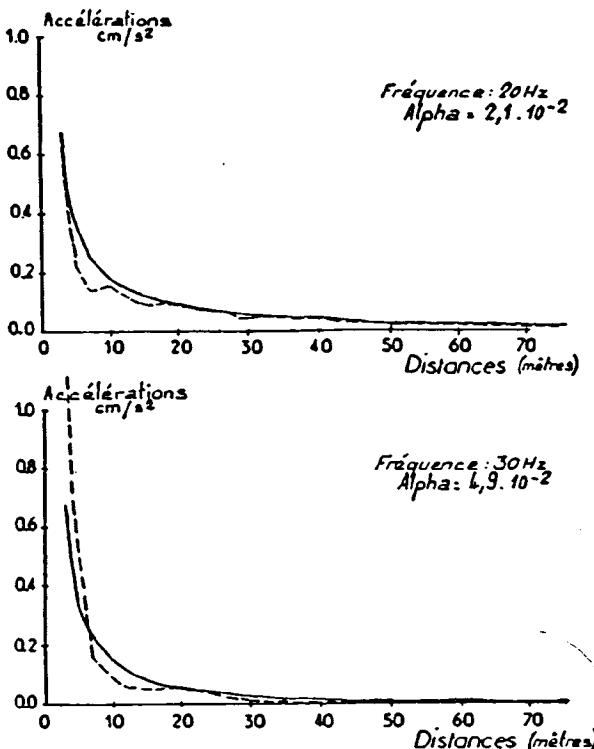


Fig. 4 Atténuation des ondes en fonction de la distance pour quelques fréquences sur du sable argileux  
— lissage du type  $(W_0/d)^{1/2} + (W_1/d^2) \exp(-\alpha d)$

Cette dispersion des résultats expérimentaux, inhérente à ce type de problèmes, masque partiellement l'origine des phénomènes observés et rend malaisée toute interprétation « fine » des résultats.

#### 4 La métrologie

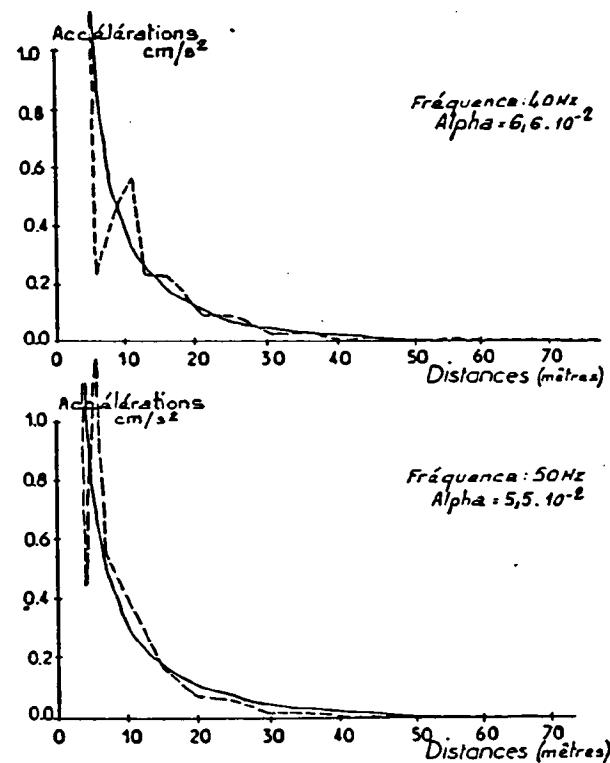
Sans revenir sur la grande variété des chaînes instrumentales utilisées, rappelons qu'elles sont de trois types :

- géophones + détecteur de crête;
- géophones + enregistreur et dépouillement en vitesse particulière maximale et fréquence associée;
- géophones (ou accéléromètres) + enregistreur avec analyse complète du signal.

#### Le choix de la bande passante

Les premières mesures de vibration ont été faites, il y a une vingtaine d'années, sans précaution particulière concernant le choix de la bande passante; celle-ci étant de l'ordre de 10 hertz à quelques centaines de hertz.

Il est apparu, à l'occasion d'enregistrements de tirs particuliers (tirs en terrains déconsolidés, enregistrement à grande distance) qu'il subsistait une énergie vibratoire significative à des fréquences de l'ordre de 1 hertz; inversement, lors d'enregistrements à faible distance du tir, il apparaît des fréquences supérieures à 1000 hertz. Dans quelle mesure les conclusions quant au choix d'un critère de nocivité, élaborées à partir d'enregistrements — probablement tronqués — sont-elles valables? Comment intégrer ces nouvelles données instrumentales au niveau du choix du critère? Faute de données sur la contribution éventuelle de ces composantes à fréquence très élevée, ou très basse, à la nocivité de la vibration, il convient d'être très



prudent : la tendance serait d'abaisser le seuil pour les composantes à basse fréquence, et de le rehausser pour les composantes à fréquence très élevée.

Une étude comparative des vibrations transrites au même point par un accéléromètre de large bande passante et un géophone de fréquence de résonance 4,5 hertz (21) confirme la perte d'information par le géophone au-dessous de sa fréquence de résonance.

Si l'on désire une information complète sur la vibration, il y a donc lieu d'adapter le capteur au contenu spectral de la vibration et de noter que la réponse transitoire d'un géophone distord le signal d'entrée jusqu'à des fréquences de l'onde de 10 fois sa fréquence de résonance.

Une recherche approfondie doit être conduite, tant sur les performances des divers types de capteurs en régime transitoire, que sur le contenu spectral des vibrations.

#### Le traitement de signal

Deux types de traitement nous sont proposés :

— le traitement le plus rustique consiste à ne mesurer que l'amplitude de la vibration, et, éventuellement, la fréquence associée [(11), (13), (31), (42)]; ce traitement conduit directement à la définition du critère de nocivité en vitesse particulière;

— un traitement plus complet est proposé dans les communications (21) et (32) notamment; il consiste à mettre en œuvre les techniques d'analyse harmonique et d'associer à la vibration son contenu spectral. Cette approche permet notamment :

- de corrélérer entre eux des signaux (21),
- de suivre l'évolution spectrale de la vibration (21),
- de définir une « signature sismique » d'un site déterminé (32).

- de discriminer une vibration transitoire d'une pollution sismique ambiante (32).
- de définir une fonction de transfert d'une structure (21).

Cette approche doit ouvrir la voie à des progrès décisifs, en matière de connaissance des phénomènes vibratoires. Mais pour être réellement opérationnelle, elle devra être complétée par des données nouvelles concernant les mécanismes de dégradation des structures.

L'ensemble des communications et des interventions de ce thème « Géotechnique, vibrations et environnement » constitue une photographie actualisée de l'état des connaissances en la matière. Les rapporteurs souhaitent, en guise de conclusion, dégager les pistes de recherches qui leur paraissent les plus judicieuses et les plus efficaces, pour aboutir à la définition d'un critère d'endommagement dynamique des structures :

- Il conviendrait tout d'abord de mener une recherche sur la « fatigue dynamique » des structures et sur l'effet répétitif et cumulatif des sollicitations vibratoires.
- Puis d'amplifier l'effort actuellement mené afin de « décoder » et d'interpréter une vibration pour en dégager les paramètres réellement significatifs vis-à-vis d'un éventuel endommagement.
- De développer toutes recherches, théoriques et expérimentales, sur les mécanismes de transfert d'énergie depuis la source excitatrice vers le milieu environnant.
- De poursuivre l'approche d'une définition probabilité du critère de nocivité, tenant compte du caractère dispersé et non répétitif de la vibration.
- Enfin et dans la mesure du possible, de mettre à disposition des divers laboratoires les informations et données de cas concrets afin de leur donner les moyens d'une interprétation de phénomènes d'endommagement réellement observés.

#### Références bibliographiques

Les références bibliographiques se rapportent aux communications présentées dans le thème II aux 2èmes journées nationales géotechniques, rassemblées dans le numéro 14 bis de la RFG. Le chiffre des dizaines des références renvoie au numéro du sous-thème et le chiffre des unités est le numéro d'ordre des articles dans le sous-thème. Le numéro 42 correspond à une présentation orale de MM. Chapot et Schwenzeier.

## LA MISE EN OEUVRE DES EXPLOSIFS DANS LES SITES URBAINS

par

Pierre MARTIN

Bureau d'Etudes Géotechniques, Marseille

80

Résumé - Les autorisations de mettre en oeuvre des explosifs pour effectuer des déblais rocheux en sites urbains, sont parfois subordonnées à des conditions beaucoup plus justifiées par leur effet dissuasif que par leur cohérence technique, et si restrictives qu'elles conduisent à recourir à d'autres méthodes plus onéreuses, sans être moins nuisibles ou dangereuses.

Pourtant, en informant les riverains, en mettant au point des plans de tirs de sécurité et en contrôlant rigoureusement les chantiers, de telles explosions ne produisent pratiquement aucune nuisance et ne présentent aucun danger.

Sauf graves imprudences, les vibrations dans le sous-sol sont rarement aussi nuisibles et dangereuses que d'autres effets des explosions. Mais facilement mesurables, elles constituent le meilleur paramètre d'essai, de réglage et de contrôle des tirs de sécurité. Imposer seulement des normes de vibrations reviendrait donc à confondre le moyen et la fin, qui est bien la mise en oeuvre de tels tirs.

• •

Il est rare que l'on demeure indifférent lors d'un tir d'abattage, car on assimile inconsciemment ses effets à ceux, destructeurs et meurtriers, des explosifs militaires, des explosions accidentelles et des armes à feu.

L'utilisation des explosifs pour l'abattage de matériaux rocheux en site urbain pose ainsi un problème à la fois technique et psychologique. Pour le résoudre, il est nécessaire d'une part, de procéder à une étude détaillée du site du terrassement, tant au point de vue géotechnique que des risques encourus, d'établir d'un commun accord entre le responsable de la sécurité, le maître d'ouvrage, le géotechnicien et l'entreprise, un protocole d'exécution, de procéder à des essais de tirs et de contrôler le chantier, et d'autre part, d'informer et de rassurer les habitants des alentours. En effet, des gens non informés ou même rabroués, créent toujours de nombreuses difficultés au chantier voisin de tirs, même parfaitement inoffensifs, et il s'ensuit souvent des procès sans fin, alors qu'il est extrêmement rare qu'un chantier, si apparemment dangereux soit-il, devienne l'objet de vindicte tenaces de la part de voisins à qui on a pris la peine d'expliquer que toutes les précautions ont été prises pour qu'ils ne risquent rien, même s'il subissent quelques nuisances passagères.

Les types de chantiers urbains de génie civil, au cours desquels sont susceptibles d'être utilisés les explosifs, sont très nombreux et très variés, depuis le creusement de quelques trous à poteaux jusqu'à l'ouverture d'une vaste fouille de parking, en passant par le percement d'une petite galerie de réseau ou d'un grand

tunnel routier. Ces chantiers sont toujours temporaires et itinérants. Leurs nuisances sont donc relativement de courte durée, mais peuvent affecter de très nombreuses personnes non habituées.

Les carrières d'agrégats, initialement situées à la périphérie des agglomérations et que celles-ci ont fini par englober, créent par contre des nuisances quasi permanentes mais affectant un nombre relativement restreint de personnes habituées.

Les moyens d'effectuer des déblaix rocheux, autres que les explosifs, ne sont pas très nombreux. Pour les petites quantités, on dispose du brise-béton manuel. Pour les quantités moyennes, du brise-roche sur engin, de l'éclateur à gaz et pour les grandes quantités, de la tronçonneuse à chaîne ou à dents, de la fraise et du tunnelier. A l'exception de ce dernier, qui par contre ne peut pas être employé dans n'importe quelle roche, et dans la plupart des cas, ils sont beaucoup plus lents et onéreux, sans être tellement moins nuisibles. Par exemple, il est loin d'être évident que deux ou trois tirs de sécurité par jour, qui chacun ne dure que quelques fractions de seconde, soient plus dangereux ou plus nuisibles que le fonctionnement continu, huit heures par jour, d'un brise-roche.

Le choix du moyen adapté à chaque cas, doit être fondé sur des critères de quantité, de coût et de nuisances réelles. La sécurité des personnes et des biens est évidemment primordiale. Il est toujours possible de l'assurer, même dans un site très encombré, si les tirs sont spécifiquement adaptés à la structure géologique et à l'encombrement de ce site.

La réglementation concernant le conditionnement, l'acquisition, le stockage, le transport et le détournement des explosifs, est très détaillée et très claire (arrêté du 21 septembre 1978). Celle qui concerne leur mise en oeuvre du point de vue de la sécurité du personnel de chantier, est plus vague mais encore assez rigoureuse pour les carrières permanentes dont l'exploitation est soumise au contrôle du Service des Mines. Elle est par contre assez floue et dispersée dans de nombreux textes, dont l'application relève de divers organismes, pour les chantiers de génie civil et les carrières temporaires qui, sauf à la suite d'un accident ou d'une plainte, échappent en fait sinon en droit, à tout contrôle.

Aucune réglementation générale n'existe pour assurer la sécurité des alentours. Certains maires ont promulgué des arrêtés municipaux imposant la demande d'urbanisation de tir sur le territoire de leur commune, qui fixe ou non de façon plus ou moins arbitraire, quelques règles techniques comme la nature de l'explosif et des artifices, la charge maximale autorisée, les heures de tirs et, depuis peu, la vitesse de vibrations maximales. C'est en particulier le cas de la ville de Marseille, dont l'arrêté, sans doute le plus ancien de ce genre, date de 1932.

Les plaintes des voisins conduisent généralement à modifier ou à retirer cette autorisation, ce qui n'est pas toujours justifié du strict point de vue technique, car sauf imprudence évidente, les effets psycho-physiologiques des explosions sur l'homme sont disproportionnés avec les dangers auxquels elles les exposent. Les litiges qui ainsi concernent beaucoup plus souvent des troubles de voisinage que des accidents, sont presque toujours portés devant un tribunal qui dispose rarement d'éléments d'appréciation objectifs, car calmée l'émotion causée par l'effet d'une explosion proche, on découvre généralement les nombreuses fissures qui affectaient depuis longtemps les cloisons et les plafonds de son appartement et que l'on attribue alors en toute bonne foi, aux vibrations ressenties, par références aux effets destructeurs des explosions militaires ou accidentelles ou à ceux des séismes. Et il est aussi difficile de prouver l'existence antérieure de ces fissures que le contraire.

Les risques de nuisances et d'accidents dus à la mise en oeuvre des explosifs sont beaucoup plus sérieux en génie civil qu'en carrière. Outre le fait que, nous l'avons dit, la carrière est un lieu habituellement bien contrôlé, il s'agit aussi

d'un chantier fixe, établi dans un site bien connu, où l'expérience sans cesse accrue des tirs effectués dans des conditions à peu près toujours semblables et auxquels les voisins sont habitués, garantit généralement de façon satisfaisante, la sécurité des environs. Il en va différemment des chantiers de génie civil qui sont mobiles et affectent ainsi une succession de sites plus ou moins bien connus, conditions qui rendent délicate l'extrapolation d'expériences trop spécifiques, de tirs effectués dans des conditions constamment variables et auxquels les voisins ne sont pas habitués.

Les accidents survenus durant la fabrication, le transfert, le stockage, la mise en place ou lors d'incidents techniques, comme les erreurs de plans de tirs, la mise à feu involontaire ou les ratages, ne seront qu'évoqués bien qu'ils fassent évidemment parti des risques dus à l'emploi des explosifs. En effet, ils résultent de faits fortuits qui doivent être absolument évités et non de défauts de mise en œuvre normale qui peuvent être facilement corrigés.

Les bruits aériens sont brefs mais très impressionnantes, car ce sont eux que l'on perçoit le mieux, avec les poussières et les fumées. Et ce sont là, les manifestations les plus connues des explosifs militaires et des armes à feu. Bien entendu, quand on les perçoit, le danger est passé, sauf projections lointaines. Il est facile de les éviter en chargeant correctement les forages qui ne doivent pas travailler en cratère, en les bourrant soigneusement, en disposant un tapis de protection à la surface de la zone de tirs et en proscrivant la mise à feu au cordeau détonnant à l'air libre. Cela ne veut pas dire qu'il faille interdire totalement l'usage du cordeau détonnant, comme le font certains arrêtés municipaux. Cet artifice est même absolument nécessaire en tir de sécurité. Il faut seulement le couper à une vingtaine de centimètres de profondeur et le relier au détonateur dans la partie haute, facilement accessible, du bourrage. En cas de ratage, la mine pourra être ainsi facilement désamorcée, ce qui ne serait pas le cas si l'on avait placé, ce que le règlement interdit du reste, le détonateur directement sur la charge en fond de forage. Pour supprimer une nuisance mineure, la proscription du cordeau entraînerait ainsi un sérieux risque d'accident.

L'onde de choc aérienne est un cas particulier du bruit aérien. Elle est perceptible là où la vitesse du son issu de l'explosion, est supérieure à la vitesse normale du son dans l'air, c'est-à-dire pour des tirs de génie civil ou de carrière, très près de l'explosion. Il est même rare qu'il s'en produise une, si le tir est correct. On sait que le passage d'une onde de choc, crée dans l'atmosphère une surprise puis une dépression importantes et rapides, accompagnées d'un claquement caractéristique. Cette brusque variation de pression atmosphérique s'amortit très vite. Elle ne peut donc entraîner des accidents que sur des personnes demeurées très proches de tirs importants, en fait dans la zone d'insécurité totale où elles risquent des lésions autrement plus graves qu'un claquement d'oreille ou même une déchirure de tympan. Le risque n'est réel qu'en galerie ; il s'agit alors d'un accident professionnel, en fait assez rare. L'effet de souffle sur les constructions, qui entraîne des bris de vitre, des désorganisations de toiture, voire des écroulements, ne peut être dû qu'à de fortes explosions aériennes, comme celles nécessaires à certaines démolitions et qui ainsi sortent de notre propos. On doit toutefois signaler que des litiges concernant des bris de vitre, sont souvent fondés sur la confusion de l'effet du passage du mur du son par un avion et de celui d'une explosion dans une carrière voisine. Il est extrêmement rare que cette explosion soit à l'origine de l'accident, car les tirs d'abattage, souterrains, ne produisent pas systématiquement une onde de choc aérienne, ou alors, elle s'amortit rapidement.

Les bruits souterrains se décelent encore très bien, notamment dans les appartements fermés et pour des tirs en galeries, quand les vibrations ne sont plus sensibles. On ne peut évidemment pas les considérer comme des nuisances car ils sont très brefs et, bien entendu, ne présentent aucun danger. Quand ils sont associés à des vibrations, ce sont elles que les gens remarquent essentiellement.

Les bruits tant aériens que souterrains, malheureusement inévitables et facilement remarqués, sont les manifestations les plus lointaines d'une explosion. C'est souvent sur leur perception, bien au-delà de la zone de nuisances mêmes mineures, que sont fondées les plaintes de voisins inquiets, qu'il suffit généralement de rassurer par de claires explications. L'habitude de tirer à heures fixes, connues du voisinage lointain, évite aussi bien des discussions.

Avec les projections, on aborde les véritables risques du tir en génie civil. Un tir raté peut en produire beaucoup et c'est à notre avis, le principal danger des tirs en sites urbains. De petits cailloux isolés peuvent être projetés fort loin et selon une trajectoire balistique, de sorte qu'un simple écran vertical ne constitue pas une protection suffisante. Les causes des projections sont multiples. La principale est la surcharge du forage qui travaille en cratère. Ce peut être aussi un bourrage défectueux ou bien la fragilité superficielle du matériau du sous-sol (terre caillouteuse, roche extrêmement fissurée, très hétérogène...). On peut les éviter par une bonne orientation du front, un réglage correct du tir et, quand il s'agit de sautages, de trous à poteau ou de tranchée, par la mise en place d'un tapis de protection efficace. Pour l'être réellement, un tel tapis doit être continu, solide, largement étalé et ne pas comporter d'éléments susceptibles de s'en détacher pour devenir eux-mêmes des projectiles. Tout le monde sait que des pneus posés sur un grillage peuvent en devenir de dangereux, ce qui n'empêche pas d'en employer à peu près partout.

On pense beaucoup moins aux échappements de gaz dans les fissures du sous-sol. Pour les réseaux enterrés ou les murs de caves, la brusque détente des gaz dans un vide ou dans une zone de matériaux peu compacts, est pourtant beaucoup plus dangereuse que les vibrations. Les déformations, les déboitages ou les ruptures des tuyaux métalliques d'eau ou de gaz et les fissures des ouvrages maçonnés ou en béton, consécutives à des explosions proches, en sont généralement le fait et non comme on le pense toujours, celui des vibrations. On évite ce genre d'accident assez fréquent, parce que presque toujours inattendu et mal interprété, en limitant évidemment les charges, mais aussi en utilisant des explosifs brisants à faible CUP et, surtout, en donnant au tir des surfaces de dégagement correctes vers lesquelles les gaz iront préférentiellement se détendre, en produisant seulement ainsi du travail utile. Ces surfaces peuvent être des fronts classiques, correctement dimensionnés et orientés pour les tirs d'abattement, ou des forages de décompressions pour les tirs de bouchons, de trous à poteau ou de tranchées. Le cas particulier de l'ouverture d'une tranchée parallèle et proche d'une plus ancienne, est à l'origine de nombreux accidents sur les réseaux existants. En effet, les tirs de la première tranchée ont généralement fissuré largement la roche voisine et les gaz des tirs de la seconde empruntent préférentiellement ces fissures, pour aller se détendre dans le remblai peu compact qui entoure la canalisation. Celle-ci peut alors se déformer sensiblement, sinon se rompre, bien que les mesures de vibrations effectuées sur elle, évidemment amorties par le remblai, aient fourni des valeurs tout à fait acceptables. Pour éviter ce type d'accident, il est recommandé de tirer des volées relativement courtes, à partir d'un front dégagé et d'établir systématiquement des trous de décompression assez rapprochés et nettement désaxés vers la tranchée ancienne.

Reste les vibrations, auxquelles on s'intéresse presqu'exclusivement depuis que l'on sait correctement les mesurer, parce que c'est bien le seul effet des explosions qui soit mesurable de façon significative. Elles constituent certainement des facteurs de nuisances dans la mesure où les hommes y sont particulièrement sensibles. Pourtant très brèves, comme celles que produisent les explosions de génie civil, de faibles vibrations sont désagréablement perçues. Et il est vrai que même averti, on a l'impression que le bâtiment, dans lequel on se trouve, va s'écrouler quand il subit effect des vibrations qui seraient loin de pouvoir y amorcer un début de fissuration. Le niveau de vibration qui présente un réel danger pour un immeuble même vétuste, est totalement insupportable pour un homme non habitué à ce type de sensation. Il est ainsi logique qu'en site urbain, le seuil de vibration acceptable soit celui au-delà duquel la plupart des gens non habitués est indisposée, et non celui au-delà duquel les immeubles environnant risquent de subir des désordres. Et ce d'autant plus que, selon le

loi de Weber-Fechner, les hommes apprécient très mal l'intensité absolue et les variations de leurs sensations. Relativement, ils ressentent ainsi beaucoup plus intensément les faibles vibrations que les fortes ce qui explique que, par exemple l'échelle sismologique qualitative de Mercalli comporte douze degrés en progression arithmétique, alors que les accélérations correspondantes sont en progression géométrique, d'ordre 2,5 environ, et que l'échelle des magnitudes de Richter est logarithmique.

Le résultat de cette déformation psycho-physiologique des effets des explosions, est souvent amplifié par des préoccupations politiques ou le soucis de ne pas engager de responsabilité, de sorte que l'on impose un seuil de vibrations tellement bas qu'il ne peut être respecté qu'en ne tirant pas, ce qui contente tout le monde, sauf l'entrepreneur et celui qui paie les terrassements et puis en définitive, tous ceux qui auront à supporter le fonctionnement particulièrement désagréable, voire dangereux, du brise-roche de remplacement.

L'effet d'une explosion est en fait celui d'un choc induisant dans le sous-sol une vibration de type aléatoire, qui ne dure que quelques fractions de seconde, et présente un spectre étendu de fréquences. Toutefois, par référence à l'oscillation harmonique monochromatique entretenue, la seule qu'on sait à peu près correctement manipuler, on la caractérise aussi par son amplitude et sa fréquence, ou en dérivant successivement l'amplitude par rapport au temps, par sa vitesse ou son accélération. La vitesse est actuellement le paramètre de référence, alors que l'on avait auparavant, utilisé l'amplitude puis l'accélération. Cela tient essentiellement au fait que les capteurs utilisés dans la décennie précédente, étaient des géophones électro-mécaniques dérivés de la sismique de prospection, qui délivrent une tension proportionnelle à la vitesse de leur noyau, alors qu'auparavant, on utilisait des capteurs mécaniques dérivés de la sismologie scientifique, qui délivrent directement soit l'amplitude, soit l'accélération, selon leur pulsation propre. On fait maintenant des accéléromètres piézo-électriques, beaucoup plus petits, moins fragiles et plus fidèles que les géophones, mais il est improbable que l'on revienne au paramètre d'accélération, car on peut facilement intégrer ou différencier électroniquement. Les appareils les plus récents délivrent donc, par simple commutation, l'amplitude, la vitesse ou l'accélération à partir d'un capteur électromécanique ou piézo-électrique. Or le paramètre vitesse est le plus facile à interpréter quand il s'agit de vibrations issues d'explosions provoquées. Il est en effet fonction de l'énergie de l'explosion, c'est-à-dire de la charge mise en œuvre, tandis que l'amplitude est une fonction de contrainte et l'accélération, une fonction de force, dont en l'occurrence on appréhende mal la signification. En un point donné, la vitesse n'est évidemment pas constante pendant toute la durée de la vibration. Elle ne varie pas non plus de façon monotone. On a donc coutume de retenir la valeur maximale de crête à crête de l'ensemble de la vibration, mais c'est en fait la valeur efficace qu'il faudrait utiliser, parce que c'est elle qui caractérise l'énergie transmise. Elle est pratiquement impossible à calculer à partir d'un enregistrement analogique, sauf à revenir à l'approximation harmonique, ce qui pour la totalité d'un enregistrement, est long et fastidieux ou pour un petit segment, inutile. On peut par contre obtenir facilement cette valeur par une transformation électronique et les appareils récents donnent par commutation la valeur de crête, la valeur efficace et même la valeur moyenne qui ne représente strictement rien, mais que l'on avait naguère l'habitude de considérer.

Sur des enregistrements analogiques obtenus avec des appareils anciens, il est assez simple, avec un peu d'habitude, de déterminer graphiquement la valeur efficace d'une vibration complète.

L'intensité de la vibration en un point du sol, caractérisée par la vitesse de vibration (V) mesurée en mm/s, dépend :

- de la structure géologique du site de l'explosion. Cette structure, évidemment complexe, peut être assez correctement schématisée par le modèle sismique établi au moyen de sondages à réfraction. Le phénomène de base, transmission d'une vibration induite dans le sous-sol, est en effet le même dans les deux cas. Seul le niveau d'énergie est différent ;

- de la position relative tir - point d'observation. Leur distance directe en est évidemment le paramètre représentatif. Ce n'est pas le seul, car selon la structure du site et la direction de la base de mesure, le chemin de la vibration, son rayon, présente une forme plus ou moins complexe, faite de réflexions et réfractions successives et donc une longueur qui peut être plus ou moins différente de la distance apparente ;
- de l'énergie libérée au cours du tir, elle-même fonction de la nature de l'explosif caractérisée de ce point de vue par son CUP et évidemment, de la quantité utilisée ;
- de la façon dont cette énergie est libérée, tir avec ou sans micro-retards, et de la façon dont elle est répartie entre les divers effets d'une explosion souterraine, bruits, projections, onde aérienne, onde de choc, température et vitesse des gaz, c'est-à-dire, de la géométrie de la volée et du plan de tir. Notons à ce propos que la pratique éventuelle du prédécoupage et l'usage de micro-retards qui se justifient pour d'autres raisons, n'influencent pas sensiblement l'intensité des vibrations.

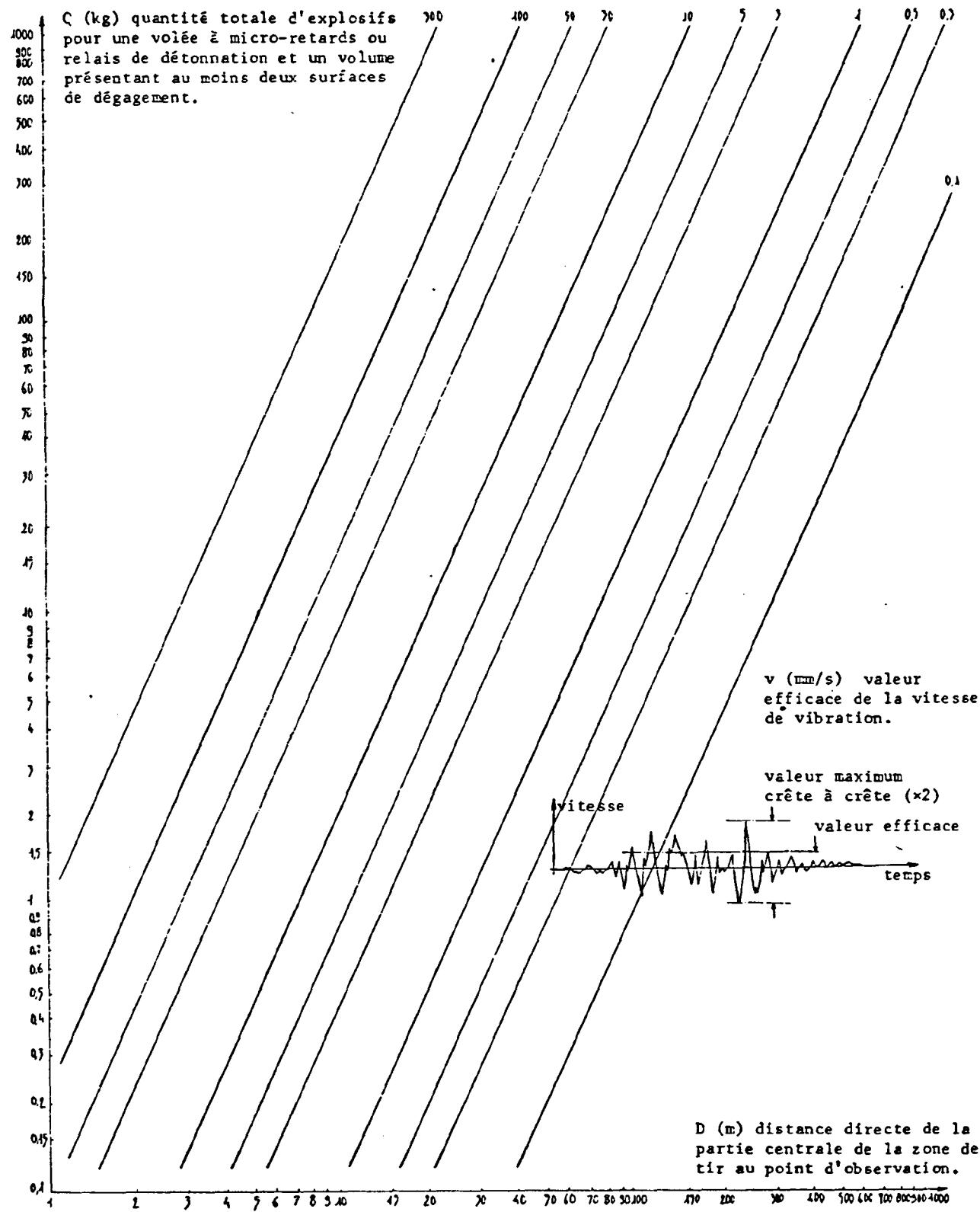
Il est clair que la vibration d'un point du sol est d'autant plus rapide

- que la roche de transmission est plus compacte, c'est-à-dire que sa vitesse sismique est plus grande ;
- que le chemin sismique tir-point d'observation est plus court, que la quantité d'explosif tiré est plus grande et que cet explosif est plus puissant ;
- que le volume miné présente moins de surfaces de dégagement ou bien que le tir est davantage sous-chargé.

Les formules de type  $v = k.Q^\alpha.D^\beta$ , que l'on propose habituellement en les compliquant plus ou moins pour introduire d'autres paramètres, ne peuvent donc être que très approximatives et il est inutile d'entreprendre ici une longue digression sur les valeurs des coefficients  $k$ ,  $\alpha$  et  $\beta$  ainsi que sur les moyens de les obtenir. Dans un même site, elles varient suffisamment au cours de tirs successifs pour qu'il soit inutile de s'y attacher trop. Il faudrait aussi préciser si la valeur ainsi calculée est la valeur maximale de crête à crête, ou bien la valeur efficace de l'ensemble de la vibration, ce que l'on ne fait bien entendu jamais, généralement parce que l'on ne s'est même pas posé la question.

En utilisant les résultats de mesures issues près de 200 tirs, de 0,1 à 3 500 kg d'explosifs divers, réalisés depuis une dizaine d'années un peu partout en France, avec des plans très variés, nous avons pu établir l'abaque ci-après qui n'est évidemment utilisable qu'en ordre de grandeur, 90 % des tirs d'étalonnage et de ceux réalisés depuis, conduisant à des imprécisions au plus égales à plus ou moins une demi-décade et à plus ou moins dix degrés. Ces imprécisions sont généralement expliquables dans chaque cas, en considérant l'influence de certains des facteurs négligés. Ainsi, cet abaque ne peut évidemment être utilisé que pour préparer une série de tirs d'essais, dont se sera précisément l'objet de préciser la relation spécifique vitesse/distance-charge. La valeur considérée est la valeur efficace de la composante verticale de la vibration.

Pour une vibration aléatoire mesurée à la surface du sol, cette valeur dépasse presque toujours assez nettement la valeur efficace de n'importe laquelle des autres composantes orthogonales en un même point ainsi que la valeur "réelle" calculée à partir de valeurs crête à crête de ces composantes, dont les maximums apparaissent rarement en phase. Les sismographes ayant toujours un nombre limité de canaux, deux à six, rarement douze, il est ainsi préférable de les utiliser avec des capteurs verticaux disposés en de nombreux points du site et de l'ouvrage, plutôt qu'avec des capteurs tridirectionnels placés en un petit nombre de points. Il est préférable de mesurer au niveau des fondations plutôt qu'en un point particulièrement sensible de la structure de l'ouvrage à protéger, parce que d'une part un tel point est rarement facile à trouver, et que d'autre part, sauf cas rarissimes de résonnance, la structure vibre beaucoup moins que le sol.



L'effet d'une vibration, c'est-à-dire sa nuisance et le danger qu'elle représente pour un ouvrage voisin d'une explosion, dépend :

- de l'émotivité des personnes qui l'occupent, du fait qu'elles aient ou non été informées du tir et de leur position vis-à-vis de l'opportunité des travaux entrepris ;
- du type de l'ouvrage et de son usage - un blockhaus est évidemment plus apte à supporter des vibrations que le pavillon de radiologie d'un hôpital ;
- de son mode de construction - un ouvrage massif bien chaîné, comportant une structure continue en béton armé est beaucoup moins sensible qu'un ouvrage léger, mal liaisonné, vétuste ;
- de son mode de fondations - les fondations superficielles sur sous-sol peu compact, susceptible de tasser, sont particulièrement fragiles.

On comprend ainsi qu'il soit bien difficile de fixer des normes de vitesse de vibrations à ne pas atteindre. Un grand nombre de gens s'y sont essayés. Selon l'appareil qu'ils utilisaient habituellement, certains ont adopté comme paramètre, la vitesse, d'autres, l'amplitude ou l'accélération, en faisant plus ou moins intervenir la fréquence. Et en tous cas, ils ont proposé des valeurs pour le moins dispersées. Cela se comprend très bien, étant donné le nombre de facteurs dont il faudrait tenir compte et dont souvent on n'apprécie pas l'influence exacte. Bien évidemment, celui qui a l'habitude de tirer des roches très compactes et parfaitement homogènes, supportant des constructions modernes, habitées par des anglo-saxons flegmatiques, sera beaucoup plus optimiste que celui qui a souvent tiré de mauvaises roches, très hétérogènes, dans des sites historiques, occupés par des gaulois râleurs.

Actuellement en France, on dispose des recommandations proposées par l'AFTES qui considère simultanément la vitesse sismique schématisant de façon plus que simpliste la structure du site, et l'état de l'ouvrage, pour définir une valeur de vitesse de vibrations acceptable. Elles ne précisent pas s'il s'agit de la valeur maximale de crête à crête ou de la valeur efficace. Par prudence, c'est généralement la première que l'on adopte. A l'expérience, les recommandations de l'AFTES apparaissent nettement hétérogènes, très pessimistes pour les faibles valeurs et à la limite de l'optimisme pour les fortes. Cela tient au fait que l'on y fait intervenir linéairement la vitesse sismique. Or d'une part, on rencontre beaucoup plus d'immeubles fondés sur des matériaux dont  $V < 1\ 000$  m/s que sur des matériaux dont  $V > 3\ 000$  m/s, de sorte que l'étendue pratique de l'abaque est faible, et d'autre part la compacité d'un matériau, caractérisée par sa résistance à la compression simple ou son module, et sa vitesse sismique ne sont pas en relation linéaire, mais d'ordre 1/2. On a donc dû relativement surestimer les faibles valeurs pour ne pas sous-estimer les fortes. Ces recommandations sont donc conformes à la loi de Weber-Fechner, plus psycho-physiologiques que physiques. Soulignons qu'elles paraissent définir des valeurs maximales, qu'il ne faudrait donc même pas atteindre, ce qui est manifestement pessimiste et ne laisserait aucune part à l'impondérable car, affecter ces valeurs d'un coefficient d'incertitude, reviendrait pratiquement à ne pas pouvoir utiliser les explosifs pour les plus faibles d'entre elles.

En fait, sans avoir eu le sentiment d'avoir pris de risque et sans qu'il en soit résulté un désordre, si mineur soit-il, nous avons couramment obtenu en valeur efficace, au niveau des fondations sur sols dont  $V < 1\ 000$  m/s, environ 7 mm/s pour des immeubles vétustes et particulièrement dégradés, 20 mm/s pour des immeubles traditionnels de construction ancienne (moellons au mortier maigre et poutres en bois) et 50 mm/s pour des immeubles modernes en béton armé, ce qui correspond sensiblement aux recommandations de l'AFTES, pour 4 500 m/s.

Partant de cette observation, nous utilisons maintenant ces recommandations de la façon suivante. La valeur de recommandation correspondant à un cas donné est choisie comme la vitesse de routine, qui doit résulter des conditions normales d'exécution des tirs. Elle peut être dépassée sans risque, mais il est préférable de revi-

Le plan de tir, si elle l'est fréquemment. Si la valeur double, choisie comme vitesse d'alerte, est occasionnellement atteinte, il est nécessaire d'envisager la modification du plan de tir. La valeur triple ou vitesse limite ne doit en aucun cas être atteinte ou, alors, il est nécessaire d'arrêter immédiatement le chantier. Il s'agit de valeurs efficaces, obtenues avec un capteur vertical. Cette méthode s'est avérée assez souple pour éviter les accidents sans trop perturber le déroulement normal des chantiers.

Enfin, nous insisterons sur le fait que, fixer une norme, même sévère, de vitesse de vibrations, ne garantit en rien que le tir ne sera pas nuisible ou dangereux. Par exemple, un forage travaillant en cratère, induit très peu de vibrations, mais produit des projections importantes. Par contre, un forage sous-chargé, que l'on recommande souvent parce qu'il produit peu de projections, induit beaucoup de vibrations et réalise un très mauvais travail. C'est bien la mise au point d'un plan de tir correct qui évitera toute nuisance et tout danger et la mesure des vibrations qui ne doit pas être considérée comme une fin, est le moyen le plus commode de la réaliser.

Le tir de sécurité est donc celui qui, dans un site donné, produira des nuisances au plus égales à celles normalement acceptables par les occupants et qui ne mettra en danger ni ces personnes, ni les ouvrages. Pour mettre au point un tel tir qui est donc spécifique d'un site et d'un type de chantier, on doit :

- avoir une connaissance géotechnique détaillée du site et en avoir notamment construit le modèle sismique - les performances des sismographes à chocs et à mémoire, permettent actuellement de procéder à des sondages sismiques réfraction dans les sites les plus bruyants et donc si nécessaire, en pleine ville ;
- avoir préalablement informé les riverains qui seront ainsi beaucoup mieux disposés à supporter des nuisances raisonnables ;
- avoir procédé à un inventaire détaillé des nuisances possibles et fixé éventuellement leur niveau, que l'on traduira par commodité en valeur de la vitesse de vibrations en un point donné ;
- avoir procédé à une expertise des ouvrages voisins - il est nécessaire que cette expertise soit contradictoire et éventuellement ait été faite sous le contrôle d'un huissier ;
- faire exécuter les travaux par une entreprise spécialisée, disposant à tous les niveaux, de personnel réellement compétent - en particulier, un titulaire du certificat d'aptitude au minage doit être réellement présent en permanence sur le chantier ;
- traiter à des prix corrects pour inciter et éventuellement pouvoir obliger l'entreprise à appliquer les normes nécessaires ;
- faire contrôler soi-même le chantier et non se décharger de ce contrôle sur l'entreprise, en considérant qu'il fait partie de ses prestations, ce qui est parfaitement fallacieux - le maître d'œuvre a ainsi intérêt à se faire assister par un géotechnicien compétent, depuis l'étude du projet, jusqu'à la réalisation du chantier.

La mise au point d'un plan de tir de sécurité est beaucoup plus affaire d'expérience que de calculs savants. L'objectif est d'utiliser le maximum d'énergie dégagée par l'explosion pour la fissuration et l'extraction d'un volume donné de roche donnée, toute déperdition étant à l'origine d'une nuisance ou d'un risque d'accident. On peut procéder selon le schéma suivant :

- La charge maximale d'une volée doit être d'abord estimée pour que ne soit pas atteinte en un point donné, la vitesse de vibration de routine que l'on s'est fixée en égard aux nuisances que l'on veut éviter. On peut pour cela utiliser l'abaque. On précise que le terme de volée concerne l'ensemble des forages tirés simultanément, même s'ils sont séparés entre eux par des micro-retards.

- Le type d'explosif est ensuite défini pour que sa vitesse de détonnation soit légèrement supérieure à la vitesse sismique de la roche à terrasser, afin qu'une onde de choc souterraine puisse effectivement s'y produire et briser la roche - un explosif rapide est tout aussi inadapté à une roche peu compacte, qu'un explosif lent l'est à une roche compacte.
- La charge spécifique doit être ensuite choisie selon le type de tir à effectuer et la compacité de la roche à abattre, bouchon de galerie  $\sim 2$  à  $3 \text{ kg/m}^3$ , trou à poteau, bouchon de tranchée, dégraissage de puits ou galerie  $\sim 1$  à  $2 \text{ kg/m}^3$ , tranchée, petit front de taille ( $h < 5 \text{ m}$ )  $\sim 0,6$  à  $1 \text{ kg/m}^3$ , grand front  $\sim 0,2$  à  $0,4 \text{ kg/m}^3$ ; dans chaque cas, la valeur retenue doit tenir compte de la nature et de la fracturation de la roche, c'est-à-dire en fait de sa vitesse sismique. La relation n'est pas simple et, contrairement à ce que l'on pourrait penser, ce sont souvent des roches peu compactes et très fissurées qui imposent les charges spécifiques les plus élevées, car les explosifs y ont un mauvais rendement. Dans de telles roches, les vibrations sont généralement faibles mais les risques de projections réels.
- Le rapport de la charge totale à la charge spécifique permet de fixer à peu près le volume de roche susceptible d'être abattu par une volée. On peut alors établir la géométrie de ce volume en tenant compte de la forme et des dimensions du trou à réaliser ainsi que l'orientation de la surface de dégagement qui doit être telle que les projections éventuelles se produisent dans les directions les moins sensibles.
- On détermine ainsi en particulier la hauteur ou la profondeur de la volée qui, pour un tir de sécurité, devra être relativement faible. On peut à peu près aller jusqu'à  $1,5 \text{ m}$  pour  $10$  à  $20 \text{ m}^3$  et à  $3 \text{ m}$  pour  $100$  à  $150 \text{ m}^3$ . En site suburbain, il est rare que l'on puisse tirer davantage en une seule volée.
- Le diamètre de foration doit être compatible avec de telles profondeurs. Jusqu'à  $2 \text{ m}$  de profondeur, on ne doit pas dépasser  $\varnothing 40 \text{ mm}$  et  $\varnothing 66 \text{ mm}$  jusqu'à  $6 \text{ m}$ . Dans ces limites, on adopte un diamètre qui est d'autant plus faible que la roche est plus compacte. Par contre, le diamètre des forages de décompression nécessaires pour les tirs de bouchon, de trou à poteau et de tranchée, qui présentent une seule surface de dégagement, doit être nettement plus grand, ce qui n'est pas toujours possible faute d'outil adéquat sur les petits chantiers.
- La charge par forage est déterminée suivant sa longueur, son diamètre et le type d'explosif, en utilisant une formule comme par exemple, celle de Chalon pour les petites longueurs et de Langefors pour les grandes. En gros, on peut indiquer que dans un forage  $\varnothing 40 \text{ mm}$ , la charge maximale est de  $0,15 \text{ kg}$  pour  $1 \text{ m}$ ,  $0,4 \text{ kg}$  pour  $1,5 \text{ m}$  et  $0,7 \text{ kg}$  pour  $2 \text{ m}$ .
- Le rapport de la charge totale de la volée à celle d'un forage, permet de définir le nombre de forages de la volée et selon la surface du volume à abattre, leur maille d'implantation, qui doit être compatible avec le diamètre de forage et respecter le fait que la distance entre forages parallèlement à la surface de dégagement et celle perpendiculaire à cette surface, doivent être dans le rapport  $1,25$  environ.

Bien entendu, les valeurs pratiques des dimensions de la maille, de la profondeur, du diamètre et de la charge de chaque forage, seront définies à partir des valeurs ainsi calculées, pour simplifier au mieux les opérations sur le chantier et tenir compte des caractéristiques des explosifs du commerce et de celles du matériel de foration dont on dispose.

Sauf pour le découpage des parois définitives qui impose d'autres dispositions, les forages seront chargés en pied et on utilisera du cordeau détonnant disposé comme nous l'avons déjà indiqué, pour assurer la liaison de la charge au détonateur. Le bourrage, de sable humide ou mieux au papier journal détrempé, sera particulièrement soigné. La mise à feu sera prévue au moyen de micro-retards électriques. Les numéros de ces derniers seront étagés à partir de la surface de dégagement. On veillera en particulier que, si elle doit constituer une paroi de l'excavation, la surface d'arrachement soit découpée avec des forages peu espacés, chargés sur toute leur longueur et tirée sur les derniers numéros, ce qui la rendra plus régulière et limitera

davantage les vibrations que si elle avait été tirée en pré découpage.

Nous insistons particulièrement sur ces détails techniques, parce qu'en général les nuisances ou les accidents provoqués par les explosions proviennent de la négligence de l'un d'entre eux et non au dépassement éventuel d'une valeur plus ou moins arbitraire de vitesse de vibration mal définie. Ainsi par exemple, le poste de foration étant de loin le principal dans le prix de revient d'un chantier d'abattage, il est beaucoup plus économique de placer la charge totale d'une volée dans un nombre limité de trous très espacés et de grand diamètre, ce que les entreprises dont les prix sont très bas, ne manquent pas de faire. C'est aussi la meilleure façon d'obtenir non seulement des vibrations assez élevées, mais aussi et surtout des projections abondantes et longues. Ainsi, en respectant la charge de la volée mais non la maille de forage, les vibrations pourront demeurer dans les limites acceptables mais le tir n'en sera pas moins très dangereux.

Bien entendu, il est hors de question de mettre directement en oeuvre dans des conditions de sécurité réduite, un tir ainsi projeté. Des essais sont nécessaires dont le but est de caler l'abaque et de préciser le niveau des principales nuisances par rapport à la vitesse de vibration qui servira ensuite de valeur de routine. Pour cela, dans le site étudié dont le modèle sismique aura été préalablement correctement bâti, on devra réaliser une série d'essais en faisant varier la charge de chaque volée et en mesurant à des distances variables. Trois ou quatre tirs suffiront si l'on dispose d'un sismographe à six postes. On peut mettre successivement en oeuvre la moitié de la charge prévue, puis cette charge, puis le double, en plaçant les géophones suivant une base à progression géométrique, centrée sur la distance moyenne tir-zone à protéger et bien entendu en jouant chaque fois sur le rapport charge-distance de telle sorte que chaque tir respecte largement la norme de sécurité. Pour les tirs très délicats, on peut aussi travailler sur les autres paramètres, diamètre et longueur des forages, maille, séquence de mise à feu... en étayant l'observation et la critique des résultats par des mesures de vitesse de vibration. Ce n'est qu'à la suite de ces essais, que les plans de tirs opérationnels pourront être arrêtés. Enfin, durant tout le chantier, il est indispensable qu'un sismographe de veille à défilement continu ou à démarrage automatique soit mis en place en un point du site, choisi pour sa représentativité. Sa présence insistera bien mieux que toute consigne ou toute surveillance, si impératives ou si pointilleuses soient-elles, l'entreprise à respecter les dispositions arrêtées pour réaliser les tirs.

Parce que cette méthode est de loin la plus commode, la mise au point et le contrôle des tirs de sécurité adaptés à chaque cas, à proximité immédiate d'immeubles occupés ou d'ouvrages particulièrement sensibles, passe par la mesure de vibrations du sous-sol. Mais il serait pour le moins imprudent de considérer comme devant être sans danger, des tirs en sites urbains qui produiraient des vibrations d'un niveau inférieur aux normes fixées, si l'ensemble des risques de nuisances et d'accidents résultant d'autres effets, n'a pas été soigneusement considéré.

Plutôt que de fixer des normes plus ou moins arbitraires, de paramètres plus ou moins représentatifs, des conditions d'exécutions, les autorisations de tirs en sites urbains devraient toujours être subordonnées à la justification puis à l'utilisation strictement contrôlée de plans de tirs de sécurité, établis par des spécialistes disposant d'études géotechniques détaillées de ces sites.