

REPUBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
SIMPOSIO SOBRE INGENIERIA GEOLOGICA

P10

Bogotá D.E. — 25 a 30 de Noviembre de 1968

Secretaría Gral.: INTERNACIONAL DE RELACIONES PUBLICAS

Dirección: AVENIDA JIMENEZ # 4-49 - PISO 2º - Tels. 42-23-13 y 43-21-93

Apartado Aéreo # 4894

GF

PRIMER SIMPOSIO SOBRE INGENIERIA GEOLOGICA

APLICACION DE LOS METODOS GEOFISICOS

AL ESTUDIO Y RECONOCIMIENTO DEL

TRAZADO DE UNA CARRETERA

EJEMPLOS DE APLICACION

Raymond V. Ferrandes  
Geólogo-Geofísico

COMPANIA DE PROSPECCION  
GEOFISICA FRANCESA

Noviembre 1968

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) J. LAKSHMANAN (C.P.G.F.): "TENDANCES ACTUELLES DE LA PROSPECTION SISMIQUE DES MASSIFS ROCHEUX" - Lero Congreso Internacional de Mecánica de Rocas - Lisboa (1966).
- (2) Y. BERTRAND (C.P.G.F.): "LA PROSPECTION ELECTRIQUE APPLIQUEE AUX PROBLEMES DES PONTS ET CHAUSSEES" - Boletín de Conexion de los Laboratorios de Carreteras - Ministerio del Equipo - Laboratorio Central de los "Ponts et Chaussées" (julio 1967).
- (3) J. BERTHIER : "RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUE DES TRACES D'AUTOROUTES" Boletín de Conexion de los Laboratorios de Carreteras - Ministerio del Equipo - Laboratorio Central de los "Ponts et Chaussées". (Janvier 1965).

## I.- INTRODUCCION: LUGAR DE LA GEOFISICA COMO METODO DE RECONOCIMIENTO

El reconocimiento geotécnico del trazado de una autopista comprende, en general, las tres etapas de estudio siguientes:

- 1.- Un estudio sumario de anteproyecto, que es ante todo geológico.
- 2.- El reconocimiento general, donde todos los métodos de reconocimiento sean empleados, a fin de clasificar y localizar los diferentes problemas.
- 3.- Estudios específicos de problemas aislados.

Los métodos geofísicos pueden intervenir en las etapas de estudio 2 y 3, teniendo en cuenta que ellos habrán sido en general precedidos de un levantamiento geológico lo más preciso posible que permita conocer los diferentes terrenos con los cuales se tiene que ver, los principales problemas, y en consecuencia, determinar los métodos geofísicos a emplear.

## II.- PRINCIPIOS DE APLICACION.

En función de los métodos geofísicos de aplicación, los más corrientes: sondeos eléctricos y sísmicos de refracción, podemos prever los tres casos de aplicación siguientes, que se encuentran en general a lo largo del trazado de una ruta:

1er caso: Capas flojas o blandas en general impermeables, y formadas por arcillas, limos, turbas, limos orgánicos, etc.

Estas capas - conducen bien la corriente eléc-

trica (por ejemplo  $\rho = 40$  a  $50 \Omega/m$  para una arcilla).

- Conducen mal las vibraciones (por ejemplo  $V = 500$  a  $1000$  m/seg. en terrenos esponjosos, limos orgánicos, arcillas blandas etc.

2do caso: Terrenos compactos y duros. (Permeables o no, formados por rocas sedimentarias o eruptivas duras como calizas, granitos, neises, etc.). Estas capas - Conducen mal la corriente eléctrica.

(por ejemplo  $\rho = 200$  a  $500 \Omega/m$  para una caliza

$\rho = 500$  a  $10.000 \Omega/m$  para un granito según el grado de alteración.

- Conducen bien una vibración (por ejemplo  $V = 3000$  a  $5000$  m/seg en un granito, según el grado de alteración).

### 3er Caso: Aluviones

- En sondeos eléctricos:
  - . Las arcillas o limos impermeables son conductores.
  - . Las gravas y arenas son resistentes
- en refracción sísmica:
  - . No hay distinción neta entre arcillas y arenas que pueden tener de  $1600$  a  $2000$  m/seg.

Ejemplos de aplicación de los diferentes métodos de electricidad

$\rho =$  Resistividad;

$V =$  Velocidad

dad o de sísmica- refracción en el caso de un trazado de ruta sobre aluviones.

1er caso: Aluviones sobre margas. No se empleará sino electricidad pues hay un contraste de resistividad entre aluviones (resistentes) y margas (conductoras).

2do caso: Aluviones sobre roca. Se empleará la sísmica- refracción ya que hay un contraste de velocidad entre aluviones (relativamente lentos) y roca (rápida).

3er caso: Aluviones sobre roca en una zona de préstamo de materiales.

- el método sísmico permite seguir la forma del substrato, más que el volumen de material disponible.
- El método eléctrico permite precisar la calidad de los aluviones.
- arenas y gravas permeables de resistividad tan elevada.
- arcillas y limos impermeables de resistividad tan débil.

Finalmente, la superposición en planta de los resultados de los dos métodos permiten ver la repartición en volumen y calidad del material de préstamo.

### III.- METODO GENERAL DE RECONOCIMIENTO DEL TRAZADO DE UNA RUTA.

Los métodos de reconocimiento geofísico siguiendo un trazado

de ruta se aplican en general de una manera lógica conforme a dos fases sucesivas:

- Una primera fase de reconocimiento preliminar y rápido, corresponde a la fase de reconocimiento general (cf. Capítulo I.- Introducción).
- Una segunda fase de reconocimiento más preciso, en función.
- de los problemas particulares descubiertos en la primera fase.
- de las diferentes obras especiales a lo largo del trazado (corte, relleno, entrada y salida de túnel, puente sobre río, etc.).

Se trata de la fase de estudios específicos (Cf. Capítulo I - Introducción).

1) Primera fase

- a) El método geofísico de aplicación más corriente es primero el "trainé électrique" (2)

Principio: Este método consiste en repetir a lo largo del trazado, y sobre el eje del proyecto, un dispositivo eléctrico (Wenner o Shlumberger) a profundidad de investigación constante.

- En los problemas de carreteras esta profundidad de investigación está generalmente comprendida entre 10 y 15 m.
- Pero se puede escoger una profundidad de investigación más exactamente adaptada al problema procediendo de la manera siguiente:

- 1) Se ejecutan primero 8 a 10 sondeos eléctricos regularmente repartidos todos a lo largo del trazado a estu-

diar (por ejemplo un sondeo eléctrico todos los kilómetros sobre 10 kilómetros - duración 1 a 2 jornadas máximo).

2) Se superponen enseguida las diferentes curvas de sondeos eléctricos con el fin de establecer experimentalmente la zona profunda, donde hay el máximo de variación de resistividad.

- Se obtiene finalmente sobre todo el trazado (velocidad de trabajo: 2 a 3 Km. por día, con un punto de medida cada 20 a 30 m) un gráfico de las variaciones de las resistividades, o perfil de resistividad.

b) A partir de este perfil de resistividades del "trainé électrique", es fácil distinguir las zonas homogéneas (sin variaciones notables de  $\rho$ ) de las zonas heterogéneas donde se tienen altos o bajos valores importantes de  $\rho$  (Ver figura 1 y figura 8).

Es suficiente entonces implantar los sondeos eléctricos en cada punto característico o particular del "trainé électrique" con el fin de tener en ese lugar la sección eléctrica de los diferentes terrenos en profundidad.

c) Al llevar sobre una sección topográfica los resultados de los diferentes sondeos eléctricos, es entonces fácil extrapolar la sección de interpretación de un sondeo a otro con ayuda de los resultados del "trainé électrique".

Ventaja del método Trainé + Sondeos eléctricos:

- fácil de poner en obra y rápido



- número de sondeos eléctricos limitado,  
en total: Economía

d) Notemos que al mismo tiempo que se realiza esta primera fase de reconocimiento geofísico rápido, se efectúan igualmente algunas perforaciones a mano (con taladro).

- Con el fin de completar la geología,
- Con el fin de tabular las medidas geofísicas superficiales.

e) Finalmente, esta primera fase de reconocimiento permite:

- obtener rápidamente una idea de la semejanza de la naturaleza de los diferentes terrenos a lo largo del trazado.
- Orientar el estudio de la segunda fase, poniendo en evidencia los principales problemas a resolver y aislar las zonas particulares donde los estudios más precisos deberán ser realizados.

Por ejemplo:

En una zona de corte:

- . las resistividades altas corresponden en general a los terrenos duros: problema de arabilidad.
- . las bajas resistividades corresponden en general a los terrenos blandos: problema de estabilidad de taludes, de drenaje, de deslizamiento.

En una zona de relleno:

- . las altas resistividades, ningún problema (excepcionalmente: cavernas).
- . las bajas resistividades: terrenos blandos - problema de asentamiento.

2) Entre la primera y la segunda fase se intercalan generalmente las perforaciones de reconocimiento geológico con tomas de muestras y algunos ensayos geotécnicos con el fin de ajustar y completar las primeras interpretaciones.

3) Segunda fase de estudio

Se emplearán en el curso de esta segunda fase todos los métodos de reconocimiento sobre los puntos particulares y los problemas puestos en evidencia para la primera fase.

- Métodos geofísicos . sondeos eléctricos
  - . sísmica-refracción
  - . eventualmente gravimetría
- Perforaciones de reconocimiento, pocas y a mediana profundidad, con toma de muestras para ensayos de laboratorio (contenido de agua en particular).
- Ensayos geotécnicos in situ: (penetrómetro estático y dinámico, etc.)

A) Problemas a ver por el método eléctrico (Cf. (2)).

1) Estudio de la cualidad de materiales en las zonas de préstamo (ejemplo tratado en el capítulo II).

2) Búsqueda de lechos compresibles:

Los lechos de terrenos flojos y muy compresibles corresponden en general a una resistividad muy baja.

Los sondeos eléctricos permiten entonces precisar:

- en profundidad, el número y el espesor de estos lechos,
- en planta, la repartición de estos mismos lechos.

3) Búsqueda del substrato:

(Ejemplo de aluviones sobre substrato margoso, ya visto en el capítulo II).

4) Búsqueda de cavidades:

Una cavidad corresponde a una resistividad prácticamente infinita. Desgraciadamente estas cavidades se encuentran en general en los terrenos duros generalmente con resistividades elevadas, y la anomalía de resistividad provocada por el vacío no es siempre fácilmente revelable. Se prefiere en este campo emplear otro método que ha dado resultados más valederos, la gravimetría.

5) Búsqueda de zonas fracturadas o de falla:

Una zona fracturada o una falla corresponde en general a una roca más alterada y se manifiestan por una disminución de la resistividad.

6) Búsqueda de lechos de drenaje:

Los lechos de drenaje tienen en general una más fuerte resistividad por lo permeables. Esta búsqueda es importante en los problemas de estabilidad de taludes o de deslizamientos.

7) Entrada y salida de túneles:

La resistividad es tanto más baja cuando la roca está más alterada. Este método puede aplicarse de manera conjunta con la sísmica refracción con el fin de buscar la mejor cimentación de la obra en la roca más sana.

B) Problemas a ver por sísmica-refracción (1)

1) Problemas de arabilidad:

En una zona de corte a través de rocas duras, es importante conocer el espesor de roca alterada que podrá ser removida directamente con buldozer, con relación a la roca dura que se deberá hacer volar con el explosivo.

El criterio geofísico (velocidad de propagación de la onda vibratoria) varía ciertamente en función de la naturaleza de la roca, lo mismo que de su estructura (disposición de las juntas, fracturas horizontales o verticales), e igualmente en función de la potencia de la máquina.

Ejemplo: Con un caterpillar D8, en las calizas clásicas en Francia, se tiene:

- arable sin problema:  $V < 1400$  m/s.
- medianamente a difícilmente arable  $1400 < V < 1800$  m/s
- no arable  $V > 1800$  m/s.

2) Búsqueda del espesor de lechos blandos (lodos).

En una zona margosa (ver figura No.5) con el fin de:

- determinar el mejor tipo de terraplén (flotante en el peor caso).
- el mejor trazado para la ruta (evitando las zonas más espesas de malos terrenos).

En ciertos valles bajos de río (ver figura No.6) con el fin de determinar los mejores emplazamientos y la profundidad de las pilas de la obra de arte.

En efecto, las zonas blandas corresponden a bajas velocidades (en general inferiores de 1000 m/s).

Notemos a este respecto que dos tipos de correlación se pueden tener en el mismo punto:

- Una correlación velocidad - geología - resistencia a

la penetración (ver figura No.2).

- Una correlación velocidad - contenido de finos en el interior del mismo lodo (Ver fig. No.3).

3) Espesor de alteración (o de fisuración) de la roca:

La velocidad de propagación es tanto más débil cuanto la alteración (o la fisuración) de la roca es más grande.

Esta propiedad encuentra una aplicación práctica.

- en una zona de corte, para la estabilidad del talud.
- en las zonas de entrada o salida de túnel con el fin de determinar las zonas de roca más sana.

4) En ciertos casos particulares los disparos en "abanico" permiten estudiar la calidad del núcleo rocoso que debe atravesar por ejemplo un túnel, (si se trata de la travesía de una cresta bastante reducida en longitud y altura).

c) Problemas a ver por sísmica-refracción + electricidad.

1) Zona de préstamo: (Ver capítulo 11)

2) Estudio de deslizamientos:

La sísmica-refracción permite seguir:

- el espesor de la capa de superficie completamente decomprimida, siguiendo el movimiento actual.
  - La posición de la superficie de rotura profunda si ella existe, pues los terrenos superiores están en general desorganizados con una velocidad más débil que el terreno subyacente.
  - La posición de una roca dura profunda si la hay.
- La electricidad permite buscar las zonas permeables

con el fin de asegurar el drenaje para estabilización.

NOTA: La sísmica refracción tiene un límite de aplicación importante que falta señalar: en efecto, solo las capas de velocidades crecientes con la profundidad pueden ser descubiertas. Por consiguiente una capa menos compacta y menos rápida bajo una capa muy dura no puede ser detectada. Así mismo una pequeña capa muy dura pero continua puede enmascarar el espesor total de un conjunto de terrenos blandos.

Esta observación subraya la necesidad de una interpretación conjunta de la geofísica con la geología.

#### IV.- CONCLUSIONES

- 1) Este informe muy general, y voluntariamente limitado a casos sencillos tenía por objeto mostrar los principios de aplicación y la utilidad de la geofísica, que, utilizada conjuntamente con los otros métodos de reconocimiento, permite:
  - a) obtener una sección de interpretación de las capas de sub-suelo, con sus disposiciones, formas, estructuras, accidentes conforme al trazado (ver figuras 7 y 8).
  - b) Hacer una correlación y una extrapolación de una perforación a otra.
  - c) Hacer ya un "pronóstico" de las cualidades de los diferentes terrenos, y así:
    - aislar las zonas sin problemas
    - para las zonas malas, situadas en particular en los cortes o los rellenos.
- 1/ Facilitar la escogencia del trazado

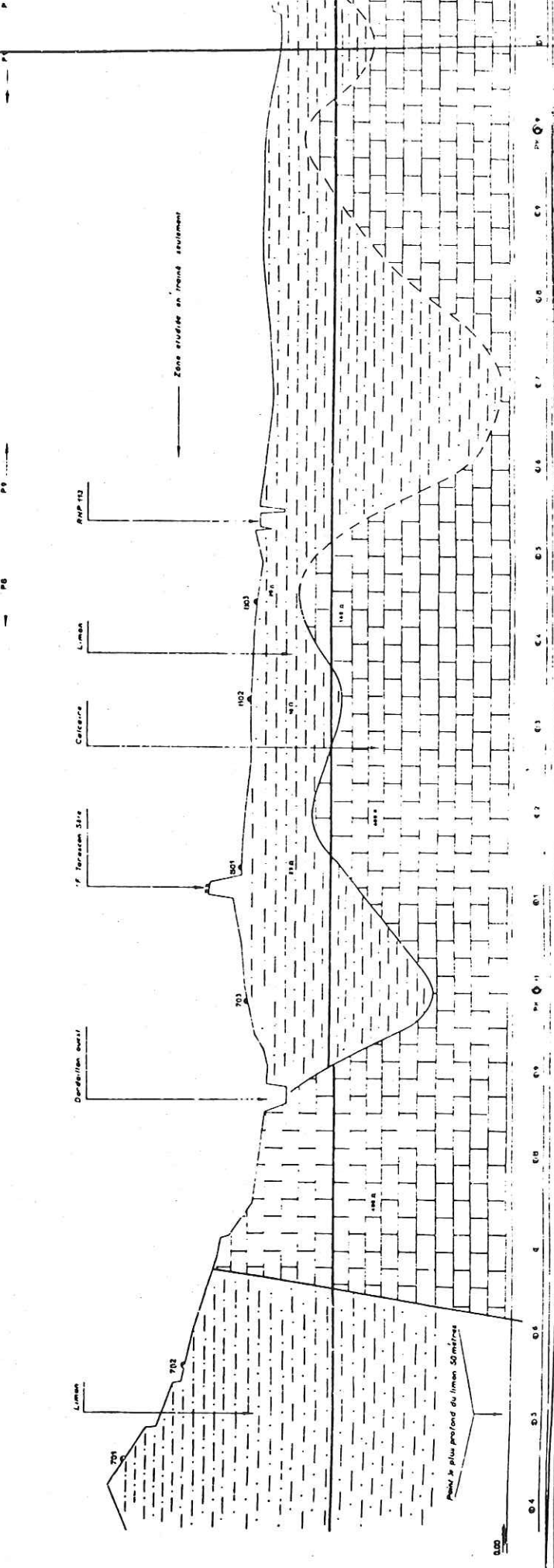
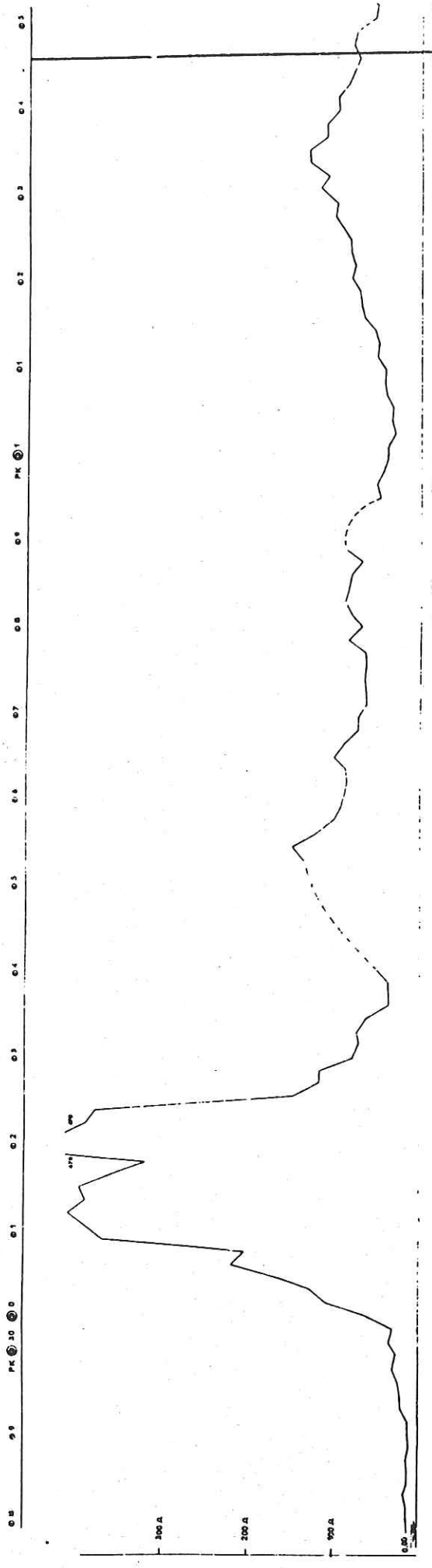
- 2/ Dar ya una idea de la solución a adoptar (tipo de terraplén, mejor cimentación de las pilas para un puente, ayudar a solucionar los problemas de taludes y de drenajes),
  - 3/ Precisar las zonas donde falta hacer perforaciones y medidas suplementarias para determinar las características mecánicas exactas del subsuelo (ensayos de laboratorio sobre muestras, ensayos geotécnicos in situ),
  - 4/ Extender (con precaución) a un conjunto el mismo criterio geofísico, una cualidad mecánica obtenida sobre una muestra en el laboratorio (ver figura No.4).
- 2) El segundo punto sobre el cual falta insistir es que la naturaleza geológica de las capas es generalmente más complicada que los ejemplos sencillos presentados, y por consiguiente la geofísica es frecuentemente de aplicación y de interpretación relativamente difíciles.

Es necesario saber entonces que si la geofísica es un instrumento muy útil a nuestra disposición, sobre todo para un reconocimiento preliminar, de una parte estos métodos tienen igualmente sus límites de aplicación; por otra parte, el geofísico debe saber aplicar e interpretar en función de la experiencia; en síntesis, la interpretación debe hacerse directamente en relación con la geología, la cual solo permite unir entre ellos criterios geofísicos, naturaleza, y cualidades de los diferentes terrenos.

- 3) En resumen, la geofísica asociada a todos los otros métodos de reconocimiento de un trazado de ruta, permite:

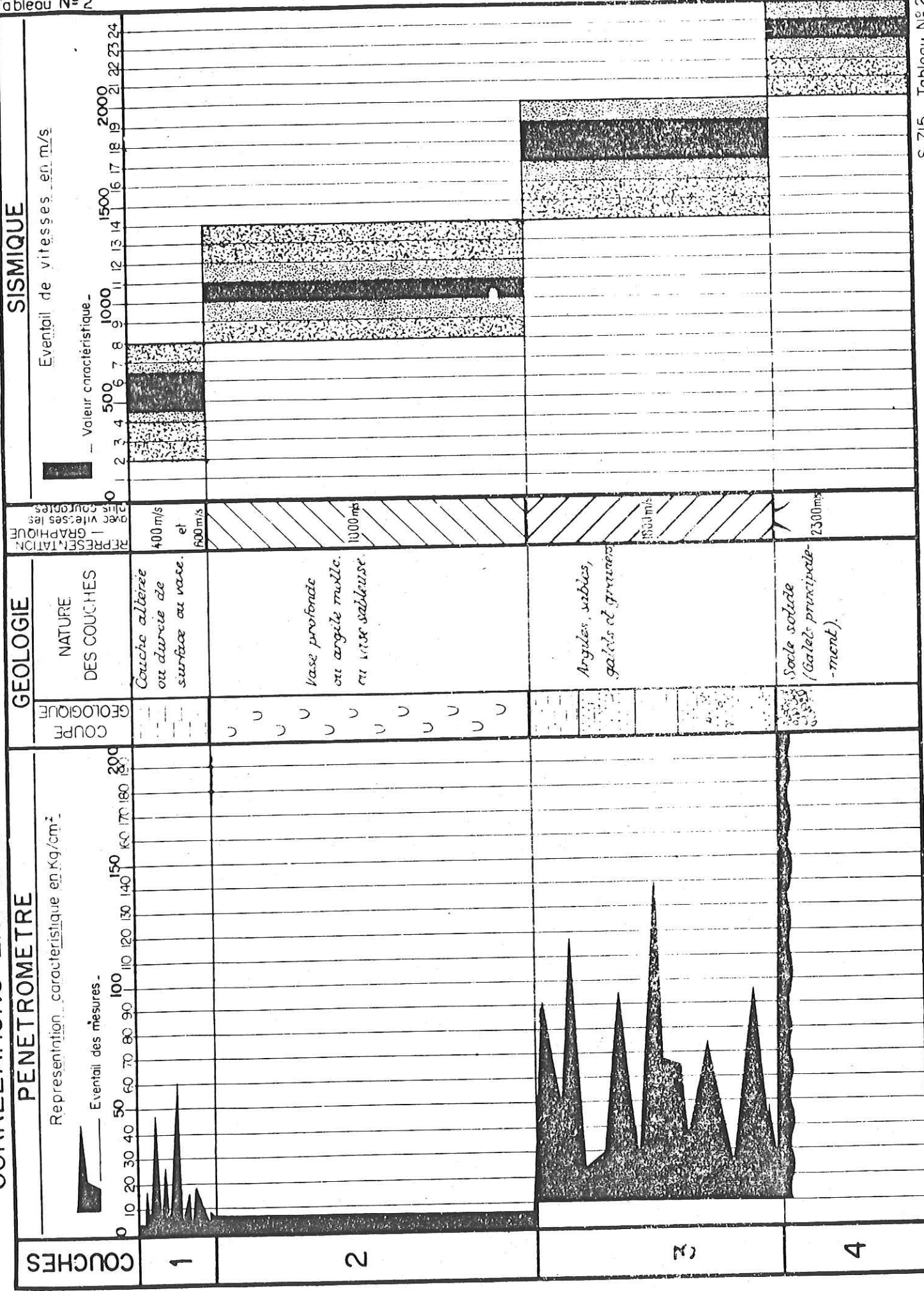
- efectuar un estudio racional, lógico y científico
- que corresponde igualmente a la manera más económica de trabajar.





# CORRELATIONS ENTRE LA GEOLOGIE LA GEOTECHNIQUE ET LA GEOPHYSIQUE

Tableau N° 2



PONTS ET CHAUSSEES

Service Spécial d'Etudes Maritimes et de Génie Civil

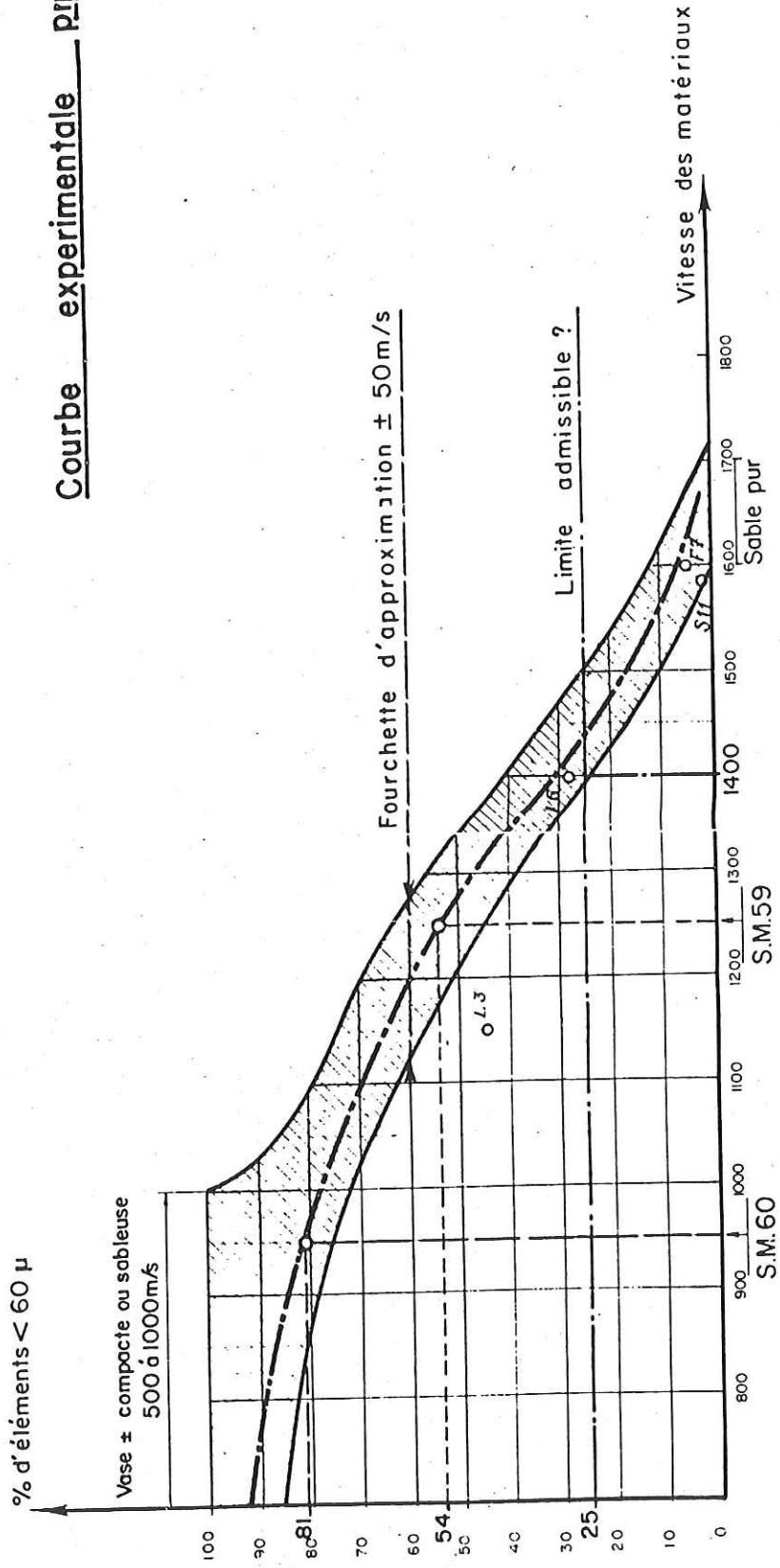
UNITE TOURISTIQUE - GRAU DU ROI - PALAVAS

C.P.G.F.

S - 750.03

CORRELATION ENTRE LA VITESSE ET LE  
POURCENTAGE EN ELEMENTS < 60 μ

Courbe expérimentale provisoire

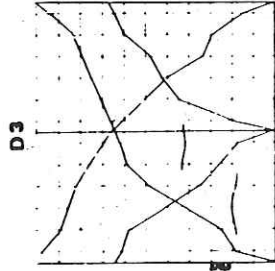
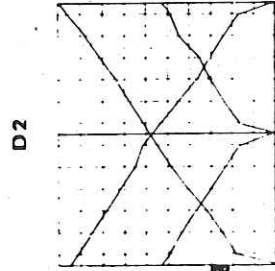
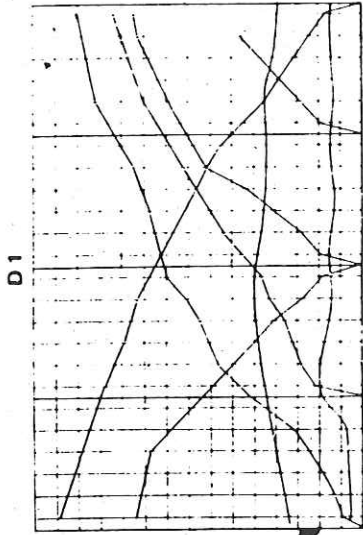
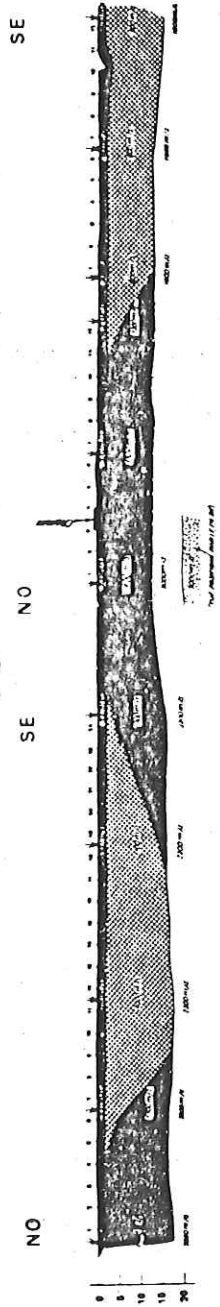


· CLASIFICACION GEOTECNICA VISUAL Y  
PRONOSTICO DE LOS MODULOS DE ELASTICIDAD

Indice	Descripción Geológica	Velocidad Longitudinal m/seg.	Módulo Estático bar	Permeabilidad en unidades Lugeon
G 0	Granito muy alterado, cohesión débil o nula	600 - 1200	5000	10 a 100
G 1	Granito con feldespatos muy alterados, fisuras abiertas o llenas de G 0	1500 - 2000	10 000 a 20 000	5 a 10
G 2	Granito poco alterado con fisuras ligeramente abiertas (muestras de 10 - 30 cm.)	2500 - 3500	50 000 a 100 000	1 a 3
G 3	Granito sano (muestras de 50 - 100 cm)	4700 - 6000	200000	0,1

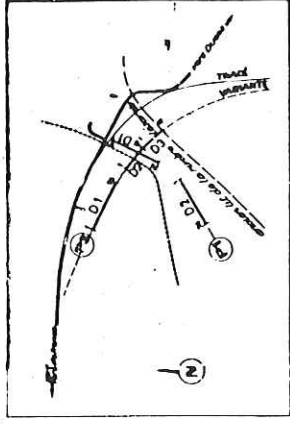
Sobre otros sitios graníticos, esta correlación permite formular, en el estado de anteproyecto, los pronósticos geotécnicos a partir de observaciones puramente geológicas.

PROFIL EN LONG  
P3

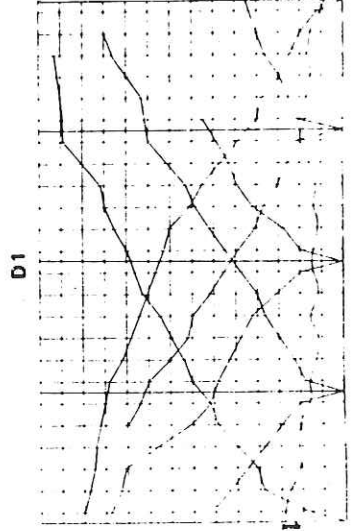
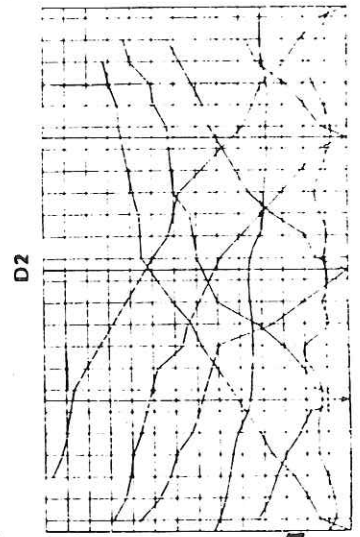
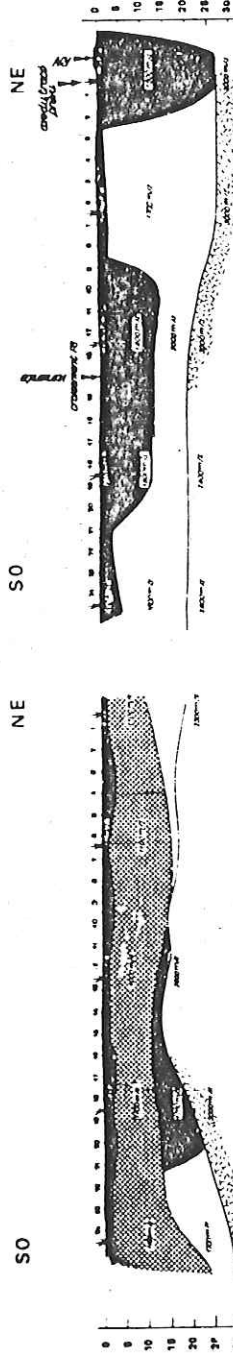


PLAN DE SITUATION  
(ancien lit de la rivière Lezarde)

ECHELLE 1/10000



P1



PONTS ET CHAUSSEES DE LA MARTINIQUE

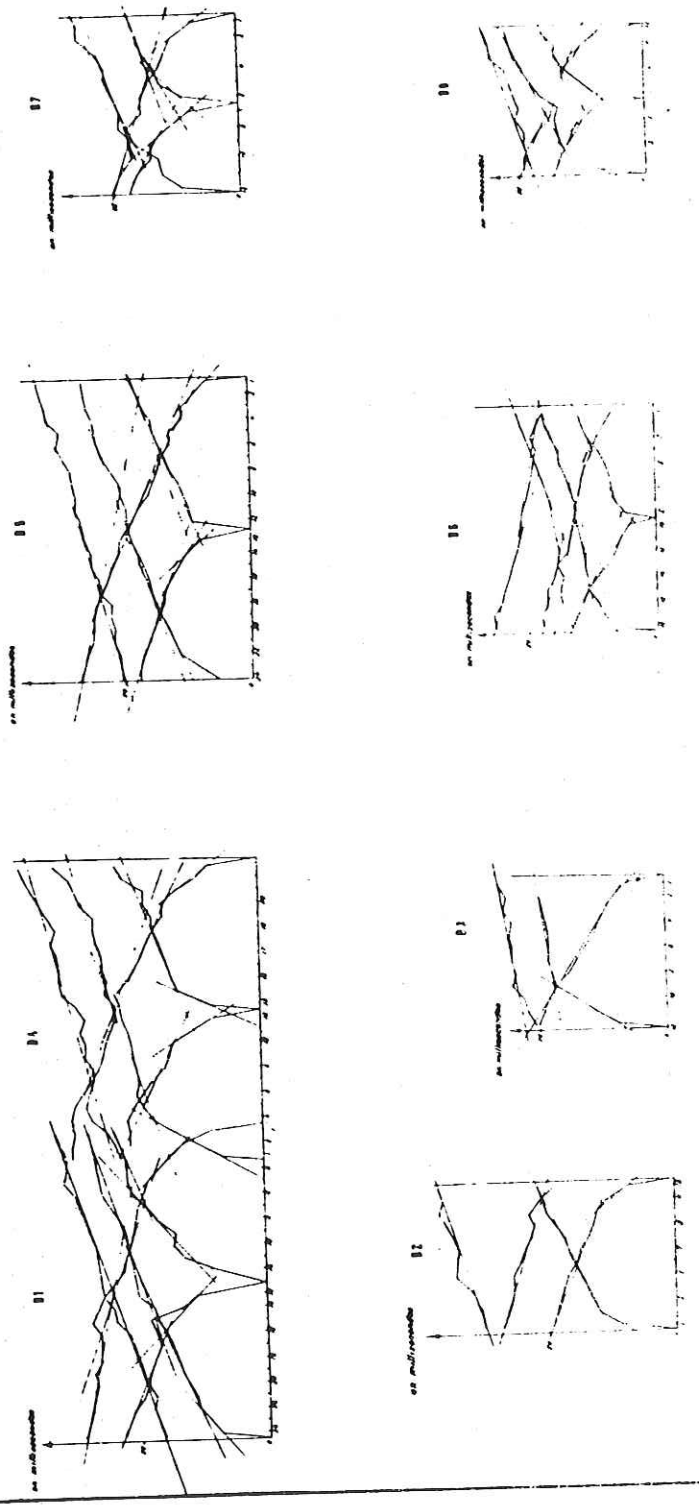
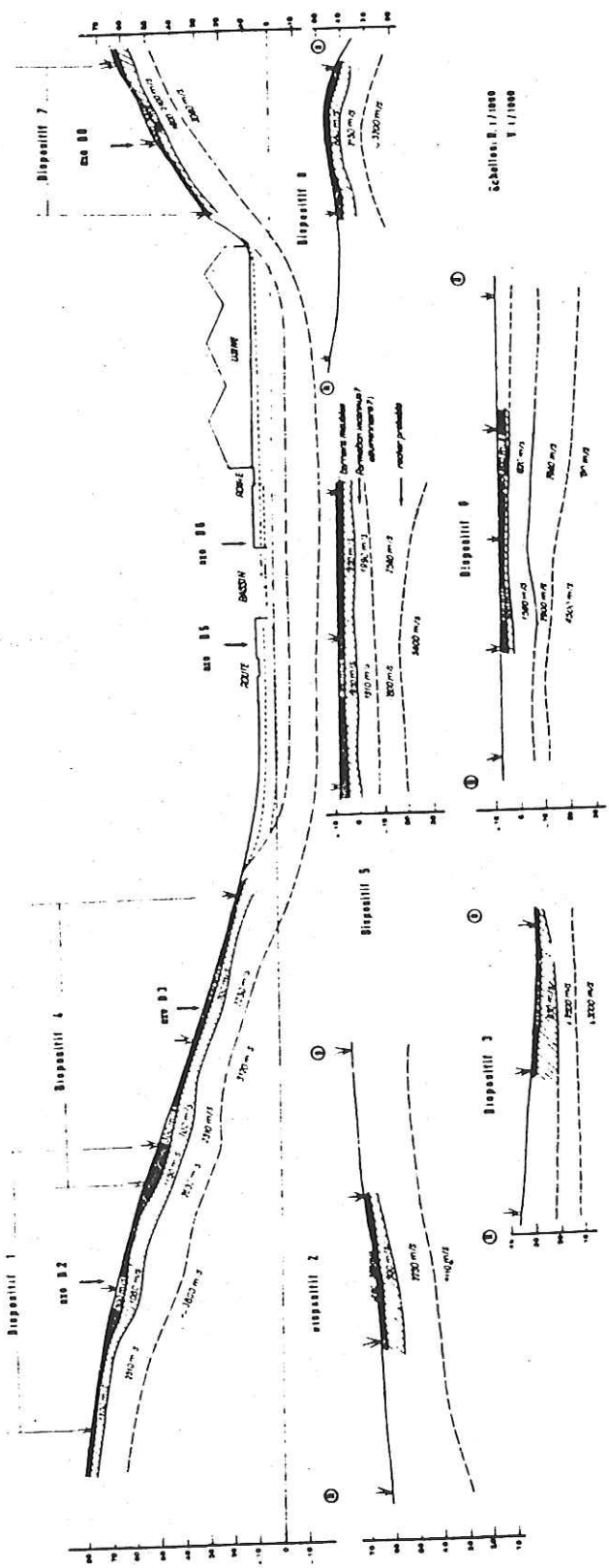
AUTOROUTE SUD

(Tronçon Lamentin-Rivière salée)

COUPES D'INTERPRETATION  
GEOSIMIQUES  
(Profils P3 et P1)

ECHELLE  
VERT 1/500  
HOR 1/1000

Part de franchissement de l'axe  
 Coupes d'interprétation  
 et Dromochroniques



Échelle 1/1000  
 1/1/1000

