



**HAL**  
open science

## Essai d'interprétation géotechnique de la région de Serres (Hautes Alpes) - Alpes françaises

Roberto Castro

► **To cite this version:**

Roberto Castro. Essai d'interprétation géotechnique de la région de Serres (Hautes Alpes) - Alpes françaises. Géologie appliquée. Université de Grenoble, 1971. Français. NNT : . tel-00749381

**HAL Id: tel-00749381**

**<https://theses.hal.science/tel-00749381>**

Submitted on 7 Nov 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Doctorat de 3<sup>ème</sup> Cycle

N° d'ordre:

205142

1971

35

UNIVERSITE DE GRENOBLE  
Faculté des Sciences

205.142

1971

35

Double

## ESSAI D'INTERPRETATION GEOTECHNIQUE DE LA REGION DE SERRES

par Roberto CASTRO

Ingénieur Civil - Ecole Technique d'Ingénieurs  
Quito - ECUADOR

Thèse présentée pour obtenir le grade  
de DOCTEUR DE 3<sup>ème</sup> CYCLE

BIBLIOTHEQUE  
GRENOBLE-SCIENCES  
UNIVERSITAIRE

Soutenue le                    devant la Commission d'Examen

Messieurs:

R. BARBIER	Professeur	Président
J. BIAREZ	Professeur	Examineurs
P. ANTOINE	Maître-Assistant	

Doctorat de 3<sup>ème</sup> Cycle  
N° d'ordre:

UNIVERSITE DE GRENOBLE  
Faculté des Sciences

205142  
1971  
35

# ESSAI D'INTERPRETATION GEOTECHNIQUE DU QUATERNAIRE DE LA REGION DE SERRES.

(Hautes Alpes)

par Roberto CASTRO

Ingénieur Civil - Ecole Technique d'Ingénieurs  
Quito - ECUADOR

Thèse présentée pour obtenir le grade  
de DOCTEUR DE 3<sup>ème</sup> CYCLE

T. 71/655

BIBLIOTHEQUE  
GRENOBLE-SCIENCES  
UNIVERSITAIRE

Soutenu le devant la Commission d'Examen

Messieurs:

R. BARBIER	Professeur	Président
J. BIAREZ	Professeur	Examineurs
P. ANTOINE	Maître-Assistant	



0520346771

"Car ce n'est pas assez d'avoir  
l'esprit bon, mais le principal  
est de l'appliquer bien".

René DESCARTES

## AVANT-PROPOS

Cette thèse marque la fin de mes études universitaires et me donne l'occasion d'exprimer toute ma gratitude envers les personnes qui d'une façon ou d'une autre m'ont permis de mener ce travail à son terme.

Mes premiers remerciements vont, tout d'abord, à tous les membres de l'Institut Dolomieu, professeurs, maîtres de conférences, maîtres-assistants, assistants et chercheurs qui m'ont aidé dans toute la mesure de leur temps disponible.

Je me permets tout d'abord de dire toute ma reconnaissance envers Monsieur R. BARBIER, professeur à la Faculté des Sciences et à l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique de Grenoble et membre du Comité Technique Permanent des Grands Barrages, qui a bien voulu m'accueillir en D. E. A. de Géologie Appliquée au Génie Civil pour m'initier à cette spécialité et par la suite me confier cette étude.

Je remercie aussi très vivement Monsieur J. BIAREZ, professeur de Mécanique des Sols à la Faculté des Sciences de Grenoble et à l'Ecole Centrale de Paris, qui m'a prodigué son enseignement au cours de l'année de D. E. A. et a accepté de faire partie du Jury de cette thèse.

Je ferai une mention toute spéciale pour Monsieur P. ANTOINE, maître-assistant en Géologie qui, malgré la préparation de sa thèse a trouvé le temps de suivre le déroulement de mon travail. Ses conseils sur le terrain, la bibliographie qu'il m'a indiquée, sa grande patience et son extrême gentillesse m'ont été d'un grand secours pour venir à bout de ce travail. Qu'il sache que mon amitié dépasse largement le cadre de cette étude et que je garderai de lui beaucoup de souvenirs agréables.

Je remercie également Monsieur P. GIRAUD, professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble qui a toujours su m'aider avec son dévouement habituel au cours de tout mon séjour à Grenoble.

Je remercie très sincèrement mon camarade de D. E. A. Patrick D'APOLITO qui, malgré son travail personnel a eu le temps et la gentillesse de participer à la mise au point de cet ouvrage. Qu'il sache toute ma gratitude.

Que Mademoiselle M. GROVES qui m'a grandement aidé en dactylographiant toute cette thèse sache que mon amitié et mes remerciements lui seront toujours acquis.

Je remercie aussi mon camarade et ami Lucien TRON pour toute l'aide qu'il m'a apportée par sa connaissance de l'hydrogéologie de la région de Serres.

Je suis également très reconnaissant envers Madame TELMAT et Monsieur CHABERT qui avec une grande compétence ont permis la réalisation matérielle de cet ouvrage.

Je voudrais aussi dire tous mes remerciements à Monsieur B. FAUCHER, directeur de l'Institut Français du Pétrole en Equateur car c'est grâce à lui que j'ai pu venir en France.

Je remercie également le Gouvernement équatorien et le Gouvernement français qui par l'intermédiaire du Centre International des stages m'ont permis de venir compléter mes études en France.

Enfin je mentionnerai ici mes camarades de troisième cycle qui ont su m'accepter parmi eux avec beaucoup de cordialité et m'ont aidé à apprécier la géologie et surtout leur amitié et à qui je dis un cordial "au revoir" en espérant pouvoir leur être à mon tour utile lorsqu'ils viendront en Equateur.

ESSAI D'INTERPRETATION GEOTECHNIQUE  
DU QUATERNAIRE DE LA FEUILLE SERRES 7 - 8  
(HAUTES ALPES)

SOMMAIRE

	<u>Pages</u>
<u>AVERTISSEMENT</u>	
I. - INTRODUCTION	3
II. - ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	17
III. - METHODOLOGIE	55
IV. - INTERPRETATION GEOTECHNIQUE DE LA FEUILLE SERRES 7 - 8	92
V. - CONCLUSIONS	204
VI. - RESUME EN QUATRE LANGUES	208
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES FIGURES	
LISTE BIBLIOGRAPHIQUE	213

LISTE DES FIGURES

<u>N°</u>		<u>Pages</u>
1	Classification granulométrique (avec légende) .....	23-24
2	Nature minéralogique et caractères physico-chimiques (d'après NIGGLI) .....	25
3	Classification triangulaire (d'après FERRET) .....	27
4	Classification suivant la limite de liquidité .....	32
5	Classification suivant l'indice de plasticité .....	32
6	Diagramme d'Hogentogler, classement d'un sol argileux en fonction des valeurs de sa limite de liquidité et de l'indice de plasticité .....	36
7	Coupe de sondage .....	37
8	Abaques de la méthode des indices de groupe .....	45
9	Classification de Casagrande .....	47
10	Abaque de plasticité de la classification unifiée .....	47
11	Principe de la sismique de réfraction .....	66
12	Rippabilité et vitesse sismique. (d'après Géophysical Specialities Company) .....	68
13	Dromochronique et ses échelles .....	73
13'	Données et interprétation du sondage sismique n° 39 .....	86
14	Normogramme appliqué à la fig. 15 pour le calcul des épaisseurs des couches .....	74
15	Abaque de calcul des épaisseurs des couches (d'après R. CASTRO) .....	75
16	Abaque de calcul des résistivités apparentes des couches (d'après R. CASTRO) .....	83
17	Interprétation du sondage électrique N° E-6 .....	88
18	Situation géographique de la région de Serres .....	103
19	Diagramme pluvio-thermique d'après GAUSSEN .....	106
20	Régime interannuel des pluies à Serres .....	106
21	Courbes isohyètes de l'année la plus sèche (1929) .....	107
21bis	Courbes isohyètes de l'année la plus pluvieuse (1935) .....	108
22	Fréquence (%) des directions du vent (au sol) .....	111
23	Diagramme logarithmique des analyses des eaux .....	124
24	Granulométrie des calcaires utilisés dans la réparation des routes .....	128
25	Glissement de reptation à la Combe du Guers (Valanginien) .....	131
26	Glissement de reptation à Louriou (Valanginien) .....	131
27	Glissement au Plan (Valanginien) .....	131
28	Talus des pentes naturelles (Berriasien) .....	131
29	Origine des sources entre la terre noire et les éboulis .....	133
30	Granulométrie des terrasses .....	137
31	Granulométrie des dépôts d'origine glaciaire locale probable (remaniés ?) .....	143
32	Granulométrie des anciennes coulées boueuses .....	147
33	Granulométrie des éboulis cryoclastiques .....	151
34	Passage du dépôt d'origine glaciaire locale probable (remanié ?) à l'argile "lacustre", probable .....	154
35	Substratum de l'argile "lacustre" probable .....	154
36	Granulométrie de l'argile "lacustre" probable .....	156
37	Ancienne surface à cailloutis argileux .....	159
38	Vieille surface .....	159
39	Granulométrie des argiles caillouteuses .....	161

N°		Pages
40	Granulométrie (sédimentation) des terres noires altérées .....	165
41	Représentation graphique des sondages sismiques .....	179
42	Représentation graphique des sondages électriques .....	187

LISTE DES ANNEXES

A	Programmation pour ordinateurs du calcul des épaisseurs des couches .....	78
B	Cartes perforées .....	78
C	Transcription des données .....	79
D	Résultats obtenus avec l'ordinateur .....	80

LISTE DES TABLEAUX

N°		Pages
I	Des classifications granulométriques .....	23-24
II	Nature minéralogique et caractères physico-chimiques (d'après NIGGLI) .....	25
III	Classification des grains en fractions (d'après l'A. B. E. M.) .....	25
IV	Valeurs de $W_L$ , $W_P$ et $I_P$ des différents sols (d'après l'American Highway Research Board) .....	29
V	Matériaux composés à 100 % d'éléments inférieurs à 2 u (d'après ENDELL-LOOS) .....	30
VI	Valeurs de $W_L$ , $W_P$ et $I_P$ des échantillons hollandais et des Indes néerlandaises (d'après Von MOOS) .....	30
VII	Valeurs de $W_L$ , $W_P$ et $I_P$ des sols belges (d'après le Laboratoire de l'Institut Géotechnique de l'Etat) .....	31
VIII	Valeurs de $W_L$ , $W_P$ et $I_P$ des sols français (d'après les Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics de Paris) .....	31
IX	Dénominations rapportées à l'indice de plasticité .....	33
X	Classification des sols fins (grains inférieurs à 2 mm), contenant plus de 10 % d'éléments inférieurs à 0,06 mm, et dont les teneurs en matières organiques et en chaux sont insignifiantes .....	34
XI	Base de départ pour la qualification des sols tourbeux .....	34
XII	Base de départ pour la qualification des sols calcaireux .....	34
XIII	Classification de l'U. S. Bureau of Public Roads (d'après J. BATEMAN) .....	39
XIV	Classification de la Public Roads Administration (d'après H. ALLEN) .....	40-41
XV	Classification de la AASHO .....	43
XVI	Classification unifiée des sols avec appréciations pour les routes et aérodromes (d'après Waterways Experiment Station) .....	48
XVII	Utilisation en Génie Civil suivant la classification unifiée (d'après l'U. S. Bureau of Reclamation) .....	50
XVIII	Classification des sols (organiques, grenus et fins) .....	53
XIX	Classification des sols (d'après le Laboratoire des Ponts et Chaussées de Paris) avec appréciation pour les autoroutes .....	54

N°		Pages
XX	Rippabilité et vitesse sismiques (d'après Géophysical Specialities Company) .....	68
XXI	Exemple d'application de calcul des épaisseurs des couches (avec l'abaque de la fig. 15) ...	76
XXII	Données du sondage électrique E-6 .....	87
XXIII	Pluviométrie de la région de Serres obtenu par interpolation .....	105
XXIV	Température à Serres obtenue par interpolation .....	109
XXV	Fréquence (%) des directions du vent (au sol) .....	110
XXVI	Sources de la région de Serres .....	120
XXVII	Puits de la région de Serres .....	122
XXVIII	Analyses chimiques des principales sources de la région .....	124
XXIX	Classification des sols grenus .....	138
XXX	Localisation des glissements .....	172
XXXI	Coordonnées et épaisseurs des sondages sismiques .....	175
XXXII	Tableau de correspondance entre la Géologie et la Géotechnique en la région de Serres.	201

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES .....

N°		Pages
1	Vallée de la Blaisance - .....	191
2	Lit majeur du Buech, au niveau de Lagrand .....	191
3	Dépôts glaciaires locaux probables (remaniés ?) .....	192
4	Le Haut Chevalet : ancienne coulée boueuse accompagnée de glissements superficiels .....	192
5	Les affleurements de terres noires (photo prise à l'aval de Orpierre) .....	193
6	Eboulis cryoclastiques (Haut Chevalet) .....	193
7	Carrière ouverte dans la terrasse fluviatile (Champ-Levrier, entre Lagrand et Orpierre) .....	194
8	Haute terrasse fluvio-glaciaire de Lagrand .....	194
9	Détail de la Haute terrasse fluviatile de Champ-Levrier) .....	195
10	Haute terrasse fluvio-glaciaire de Lagrand .....	195
11	Haute terrasse fluviatile de Champ-Levrier .....	196
12	Matériaux cryoclastiques (Orpierre) .....	196
13	Ancienne coulée boueuse visible au Bas Chevalet .....	197
14	Coupe naturelle de dépôts glaciaires locaux probables (remaniés ?)(Bas Chevalet) .....	197
15	Haute terrasse fluvio-glaciaire de Lagrand .....	198
16	Ancienne coulée boueuse, d'épaisseur supérieure à 20 m (Bas Chevalet) .....	198
17	Argile "lacustre" probable (entre Orpierre et Lagrand) .....	199
18	Eboulis cryoclastiques au Sud de Trescléoux .....	199
19	Glissement de terrain à Montjay .....	200
20	Même glissement mais vu dans l'autre sens. ....	200

## AVERTISSEMENT

### Résumé des différents chapitres développés dans la thèse

Chapitre I - Dans ce chapitre, nous traitons de l'établissement de la carte géotechnique, son importance, son histoire, et de ses variantes, en fonction du type de terrain et de l'échelle. Ensuite nous avons expliqué les exigences des cartes géotechniques ; nous avons rappelé quelques exemples de travaux antérieurs.

Chapitre II - Ce chapitre se présente comme une recherche de bibliographie pour la classification géotechnique des sols suivant les critères adoptés par les différents pays. Ceci permet une grande souplesse d'interprétation des différentes cartes géotechniques en provenance des pays étrangers.

Ce chapitre est important pour le présent travail parce qu'il montre qu'à partir d'essais très simples, on arrive à bien caractériser tous les sols. A partir de cette caractérisation des sols, nous avons établi des tableaux dans lesquels les avantages et les inconvénients de l'utilisation des différents sols sont expliqués en détail.

Chapitre III - Expose la méthodologie pour la confection de notre carte géotechnique dans laquelle nous avons fait allusion aux aspects suivants :

- hypothèse de départ,
- liste d'opérations mises en œuvre et appareils nécessaires,
- essais sur le terrain et au laboratoire,
- application de la géophysique (méthodes sismiques et électriques) à notre travail.

Nous avons consacré beaucoup d'efforts à ce travail, car il était impossible de connaître l'épaisseur des couches, autrement, absence de sondages mécaniques. Nous avons ainsi préparé des abaques et des programmes pour les ordinateurs. Les abaques et les programmes que nous avons utilisés pourront faciliter un travail similaire à l'avenir.

Chapitre IV - C'est la confection de la carte géotechnique de la région de Serres n° 7 - 8, dans laquelle nous avons mis en jeu toutes les données que nous avons pu obtenir pour son établissement. Ici nous avons mentionné les données suivantes :

- la situation géographique, etc.
- données géologiques,
- données hydrologiques,
- description de terrain
- classification et définition géotechnique des sols de la région avec leurs aptitudes pour les différents travaux.

Chapitre V - Se présente sous forme de conclusion et réflexion de la thèse rédigée.

Chapitre VI - Ici, nous avons fait un résumé général en quatre langues : anglais, espagnol, allemand et italien.

Le présent ouvrage comprend enfin, outre la table des matières, une liste des tableaux, une liste des illustrations, une notice bibliographique, diverses annexes, et la carte géotechnique.

CHAPITRE I

---

INTRODUCTION

---

	<u>Pages</u>
1. - <u>ETABLISSEMENT DE LA CARTE GEOTECHNIQUE</u>	
1.1 - Généralités	7
- facile et rapide à établir	7
- peu onéreuse	7
1.2 - Conclusions	7
2. - <u>IMPORTANCE DES CARTES GEOTECHNIQUES</u>	8
- avantages	8
- inconvénients	8
- conclusions du point de vue réalisation des travaux.	8
3. - <u>HISTORIQUE DES CARTES GEOTECHNIQUES EUROPEENNES</u>	9
- Allemagne	
- Tchécoslovaquie	
- Pologne	
- Belgique	
- Suisse	
- France	
4. - <u>OBJET DES RECONNAISSANCES EN FONCTION DU TYPE DE TERRAIN</u>	9
a. - Terrains rocheux	9
b. - Terrains meubles	10
5. - <u>CHOIX D'UNE ECHELLE EN FONCTION DE :</u>	10
- la nature des études	10
- les problèmes rencontrés	10
- les conditions économiques	11
- Conclusions	11

	<u>Pages</u>
6. - <u>EXIGENCES DES CARTES GEOTECHNIQUES</u>	11
7. - <u>CARTES D'INTERPRETATION GEOTECHNIQUE SELON LES DIFFERENTS AUTEURS</u>	12
- description et interprétation des auteurs	12
- interprétation géotechnique de la feuille de Serres	15
- conclusions	16

## 1. - ETABLISSEMENT DE LA CARTE GEOTECHNIQUE

### 1.1 - Généralités

Au sens large du terme, et dans l'esprit de J. GOGUEL le terme géotechnique désigne "l'application de la géologie aux travaux de l'ingénieur, excepté tout ce qui concerne la recherche et l'exploitation de matières premières minérales (minerais, charbon ou pétrole)."

Il peut également avoir un sens plus restreint et ne comporter que l'application de la géologie aux travaux de génie civil, constituant ainsi, selon C. BORDET, un "trait d'union entre la connaissance géologique d'une part, et les techniques de conception et de génie civil d'autre part". Il faut avouer que cette définition est celle qui vient le plus souvent à l'esprit quand on traite de la géotechnique.

Pour ce qui nous concerne, il faut voir dans la conception des cartes géotechniques des grands centres urbains ou des zones en voie de le devenir, l'acceptation du terme "géotechnique" dans son sens le plus large, et nous débordons même sur la conception de J. GOGUEL.

Dressés à grande échelle, ces documents sont avant tout des cartes de reconnaissance qui, en elles-mêmes, doivent explorer les domaines touchant à toutes les sciences de la terre (géologie, géographie, mécanique des sols, hydrologie, etc.). Ces domaines fournissent les éléments indispensables pour la confection de la carte géotechnique. Ceci entraîne qu'une telle carte devient peu lisible de par la quantité de données qui doivent y être portées. Ceci nous a fait conclure : pour qu'une carte géotechnique soit claire et facile à interpréter, elle doit être traitée par cartes de "thèmes" isolés, et une carte des unités géotechniques qui constitue la synthèse de l'ensemble utilisé dans les travaux de l'ingénieur.

Pour l'établissement de la carte géotechnique, on doit donc prendre en considération l'apport des différentes options. Il faut aussi remarquer de façon très importante, que cette carte doit être faite d'une façon "facile et rapide", et qu'elle doit aussi devenir "peu onéreuse". Comme cela est logique, on doit ces conditions au fait que cette carte est le point de départ de tous les travaux préliminaires de l'ingénieur.

Pour la confection de la feuille géotechnique de Serres, nous avons confectionné quatre cartes. Chacune de ces cartes fait référence à plusieurs chapitres explicatifs.

- Ainsi la carte n° 1 prend en considération l'Hydrogéologie - esquisse structurale -
- La carte n° 2 considère la Lithologie - Géophysique - Morphologie.
- La carte n° 3, ou carte des unités géotechniques, regroupe les ensembles des sols qui ont des caractéristiques très voisines, pour l'emploi dans les travaux de l'ingénieur.
- Enfin, la carte n° 4 représente des coupes géotechniques.

Le lecteur se rendra ainsi compte de la grande importance de l'établissement de la carte géotechnique. Il est très nécessaire de reconnaître les nombreux champs d'application de la géologie dite "technique", car elle permet une meilleure orientation des options à prendre, ou des travaux à poursuivre dans le cadre plus restreint soit de la construction, soit de la recherche d'eau ou de matériaux, soit même encore de l'urbanisme, comme une meilleure connaissance des sites naturels à préserver ou à utiliser.

### 1.2 - Conclusion

Après l'expérience acquise dans la confection de notre propre carte, il faut indiquer que ce type de carte peut être établi par un ingénieur ayant des notions de géologie et mécanique des sols, ou par un géologue ayant des notions de mécanique des sols et de génie civil, de façon à ce qu'elle soit établie facilement, à bon marché et rendue au moment opportun.

## 2. - IMPORTANCE DES CARTES GEOTECHNIQUES

Ajoutons certains points, pour faire mieux comprendre l'importance des cartes géotechniques.

La conception de constructions de plus en plus importantes et audacieuses crée de grands problèmes pour choisir les emplacements les plus avantageux, c'est-à-dire les terrains les plus favorables.

Cela oblige à établir des cartes géotechniques qui aideraient aux travaux des ingénieurs, architectes et entrepreneurs, souvent confrontés actuellement avec de multiples problèmes nouveaux, à la fois techniques, sociaux et économiques. Citons ceux-ci par exemple, et sans que cette liste soit limitative :

- les concepts pour définir les types de fondations à employer dans l'avant-projet des divers travaux ;
- les spécifications pour l'urbanisme et tous les travaux de l'ingénieur ;
- l'augmentation du coût des terrains ;
- les problèmes de la main-d'œuvre : recrutement, salaires, etc. ;
- l'utilisation de matériaux ;
- etc. etc.

Ces problèmes des sols d'une part, et d'autre part l'existence des documents classiques dont on peut disposer, mais qui presque tous sont :

- sans mise à jour régulière,
- à une échelle peu pratique,
- sans renseignements valables pour les couches superficielles (cartes géologiques),
- sans indications pour les zones habitées, ni au-delà de deux ou trois mètres de profondeur (cartes pédologiques),
- parfois mal classés ou introuvables.

Malgré tout, les études de terrains prennent de jour en jour plus d'importance, d'où la nécessité de créer des documents mieux adaptés aux besoins de la construction et des problèmes de sols en particulier.

Par conséquent, nous pourrions citer les avantages que doivent présenter à nos yeux certains types de cartes géotechniques.

- Facilité pour entreprendre tous les travaux de l'ingénieur.
- Peu onéreuses et relativement rapides à établir.

Des avantages décrits antérieurement découlent aussi d'autres inconvenients qui sont :

- la nécessité d'avoir plusieurs documents pour leur assemblage ;
- des connaissances et aussi des critères suffisants et variés des diverses spécialités, pour l'utilisation des données des différents cadres pour l'établissement de la carte géotechnique.

### Conclusion

De l'analyse des avantages et des inconvenients, du point de vue réalisation des travaux, les cartes géotechniques, pourraient apporter un gain de temps sur les points suivants :

- une réduction économique, par gain de temps, très considérable dans les études d'avant-projets, projets et exécutions des travaux ;
- un ensemble d'opérations bien adaptées au terrain ;
- la rapidité dans l'interprétation de la région intéressée ;
- la localisation des "passages difficiles" ou "points durs" pour le choix de la solution au problème ;
- la facilité pour définir l'équipement des techniciens nécessaires pour la solution des différents problèmes posés ;
- le dégrossissage rapide du problème afin de demander assez tôt les études spécifiques ;
- la connaissance de l'équipe mécanique et de la main-d'œuvre qui doivent être employées à l'exécution du travail de l'entreprise ;
- cartes géotechniques. Elles demandent à être précisées par des recherches locales en fonction des difficultés propres à chaque réalisation (cartes à une échelle plus détaillée).

## 3. - HISTORIQUE DES CARTES EUROPEENNES

C'est en Allemagne qu'apparaissent les premières cartes géotechniques (LANGEN, 1913). Mais c'est à partir des années 1950 - 1960 que des travaux plus importants sont réalisés.

A partir de ce moment, les travaux sont faits en :

- ALLEMAGNE, dans les régions de : Altenburg, Erfurt, Frankfurt, Danzig, Stuttgart, Marke, Stremme, Ostendorff, Hildesheim, Hulm, Bremen, Aachen, Gottingen, Freiberg, de 1913 à 1960 ; elles ont été faites par LANGEN, (1913) MOLDENHAUER, (1919), GROSCHOPF, (1951), BREDDIN, (1960), GWINNER, (1956), WAMSER, (1956), MULLER, (1938), BENZ (1951), (Ref. 1-2-3).
- TCHECOSLOVAQUIE, cartes faites par PASEK et RYBAR (1947-1959), SIMEK (1959) ; (Ref. 1-2).
- POLOGNE, carte de Varsovie faite par STAMATELLO (Ref. 1).
- BELGIQUE, cartes de Liège, Mons, faites par CALEMBERT (1955), DEBAILLE (1969), GHISTE (1969) ; (Ref. 1).
- SUISSE, cartes de Bellinzona et Saint-Moritz, faites par QUERVAIN et FREY en 1967 ; (Ref. 1).
- FRANCE, cartes récentes faites par le B.R.G.M., et des travaux de l'Université de Besançon sous la direction des professeurs DREYFUSS et THIEBAUT (1969 ; (Ref. 1-2-4-5).

Toutes ces cartes sont "des études locales" envisagées pour résoudre des problèmes bien définis, comme par exemple :

- zones inondables, niveau phréatique, rivières, pompes, puits, débits, terrains de construction, nature de terrains, mines, carrières, glissements, tassements, force portante, épaisseur des couches. Il faut remarquer que presque tous les travaux précédents sont basés, entre autres, sur des sondages préliminaires nombreux.

## 4. - OBJET DES RECONNAISSANCES EN FONCTION DU TYPE DE TERRAIN

Nous avons classé les sols en deux types :

- rocheux,
- meubles.

En fonction de cette classification, les reconnaissances que nous avons poursuivies, dans chacune de ces subdivisions, pour la confection de la carte géotechnique, sont différentes.

### a) - Terrains rocheux

Nous avons observé ce type de terrain de façon superficielle, parce qu'il est en dehors du sujet de notre étude.

Cependant nous avons mentionné les points suivants :

- Description pétrographique, terrains :
  - calcaires,
  - calcaires marneux ; marno-calcaires,
  - marneux,
- Aperçu structural :
  - accidents qui affectent la zone (plis, décrochements),
- Description de leur état d'altération,
- Reconnaissances géophysiques qui ont permis d'apprécier la vitesse sismique,
- Contrôle des sources,
- chantiers.

b) - Terrains meubles

Les reconnaissances à mettre en œuvre pour ce type de terrain diffèrent beaucoup de celles établies pour les terrains précédents. Elles ont ici surtout pour but, l'identification des terrains et la détermination de quelques propriétés mécaniques.

Nous avons dirigé notre attention vers :

- la granulométrie - sédimentologie,
- la limite de liquidité,
- la limite de plasticité,
- la limite de retrait,
- l'hydrologie :
  - rivières,
  - sources,
  - puits,
  - analyses chimiques,
  - températures,
  - résistivité,
- la résistivité et les vitesses de propagations,
- le choix des engins de terrassements et de leur puissance,
- l'épaisseur des couches,
- la stabilité des talus et glissements,
- la classification et dénomination géotechnique des ensembles des sols,
- les matériaux de construction.

5. - CHOIX D'UNE ECHELLE

L'échelle utilisée pour la représentation des résultats dans la carte géotechnique, est fonction directe :

- de la nature de l'étude des travaux envisagés (exemple : implantation générale, implantation industrielle, site urbain, etc.) ;
- des problèmes rencontrés,
- des conditions économiques.

En fonction de la nature de l'étude et des problèmes rencontrés, les échelles à adopter sont :

- 1/50 000 - pour l'avant-projet sommaire des travaux de l'ingénieur,
- 1/25 000 - pour certaines variations de l'avant-projet sommaire,
- et - pour l'avant-projet détaillé (reconnaissance générale),
- 1/20 000 - pour les implantations générales des travaux de l'ingénieur (Génie Civil, Hydraulique, Urbanisme), avec coupes géotechniques sommaires et un rapport géotechnique,
- 1/10 000 - pour les implantations générales des travaux de l'ingénieur avec coupes géotechniques détaillées et un rapport géotechnique aussi détaillé,
- pour les études spécifiques des travaux de l'ingénieur, pendant l'avant-projet détaillé, pour la construction de bâtiments, ponts, routes, autoroutes, aérodromes, barrages, eaux souterraines, canaux, drains, etc.
- 1/5 000 - pour les mêmes études spécifiques précédant l'avant-projet détaillé, lorsque dans la zone d'étude on trouve des passages difficiles ou complexes ;
- 1/2 000 et 1/1 000 - pour expliquer clairement certaines zones difficiles, qui jouent un rôle important dans l'implantation des ouvrages et qui ne sont pas bien lisibles sur les cartes précédentes.

Dans toutes les coupes qui se présentent dans les cartes géotechniques, les dilatations à faire subir à l'échelle des hauteurs par rapport à l'échelle des longueurs variera de 2,5/1 à 10/1 suivant le relief de la région. On a intérêt à limiter le nombre des décrochements, mais il faut d'autre part pouvoir distinguer facilement les différentes couches, malgré leur faible épaisseur. Il est bon d'établir, en plus des coupes précédentes dont l'échelle est dilatée, une coupe avec la même échelle en abscisse et en ordonnée.

De façon à bien situer les travaux de la région, les documents précédents seront complétés par un plan de situation à une échelle plus petite, 1/200 000 par exemple :

- Les conditions économiques

En considérant les différentes échelles, on peut dire qu'une carte à une échelle plus petite est moins onéreuse qu'une carte plus grande, par exemple à 1/2 000, qui nécessite plus de sondages mécaniques ou géophysiques, et des analyses au laboratoire plus nombreuses. Ainsi les conditions économiques peuvent jouer un rôle important dans le choix de l'échelle et du type de carte géotechnique.

Mais souvent, les problèmes financiers sont partiellement résolus en supprimant une grande partie, si ce n'est pas la totalité, des crédits prévus pour l'étude des terrains. Les sommes restantes sont alors trop fréquemment mal utilisées, faute d'avoir valablement précisé au départ les problèmes de base.

Conclusion

D'après l'analyse des paragraphes précédents, l'échelle à laquelle doit être faite une carte géotechnique, dépendra essentiellement des critères judicieusement choisis par le géotechnicien, qui seront faits selon la nature de l'étude, des problèmes rencontrés, des types de travaux envisagés et des conditions économiques.

Pour l'établissement de notre carte géotechnique, nous avons choisi l'échelle 1/20 000, considérant que celle-ci est la plus apte à garder la meilleure harmonie entre : le but recherché, les problèmes rencontrés, les conditions économiques et le temps disponible.

6. - EXIGENCES DES CARTES GEOTECHNIQUES

L'examen des divers travaux sur les "cartes géotechniques" nous amène à poser un certain nombre d'exigences pour l'élaboration de celles-ci.

- Adaptation du type de carte à la nature des formations géologiques.
- Echelle : 1/5 000, 1/10 000 ou 1/20 000.
- Conception simple, lecture aisée, même pour des personnes ayant une formation peu poussée en mécanique des sols.
- Subdivisions : carte géologique, carte des formations superficielles, cartes hydrogéologiques, cartes d'interprétation géotechnique livrées avec indications des sondages et essais, coupes.
- Nombre suffisant de sondages : de 20 à 50 par km<sup>2</sup>.
- Essais de géophysique (sismique et électrique).
- Notice explicative de la carte géotechnique, qui peut porter des "conseils" pour l'orientation des études complémentaires sur certains points de détail.

Il est très important de remarquer qu'en aucun cas l'usage de la carte géotechnique ne peut dispenser l'utilisateur d'effectuer des essais "in situ" et au laboratoire.

Pour notre carte géotechnique, nous avons exigé que celle-ci soit adaptée. Il est enfin nécessaire que ces cartes soient établies, avant tout, par des géotechniciens avec la collaboration d'ingénieurs, d'architectes, de géologues et d'hydrauliciens.

Pour notre carte géotechnique, nous nous sommes proposé que celle-ci soit adaptée au Quaternaire de la région, à l'échelle 1/20 000, de conception simple, avec les subdivisions indiquées dans le sous-chapitre 1.1, basées sur essais de laboratoire et de terrain, et une notice explicative.

7. - CARTES D'INTERPRETATION GEOTECHNIQUE SELON LES DIFFERENTS AUTEURS

Les critères sont excessivement variables suivant les auteurs, les terrains, les problèmes rencontrés et les buts recherchés.

Nous citerons ci-dessous les diverses interprétations données par différents auteurs en accord avec les buts cherchés :

LANGEN (Allemagne) - 1913 (ref. 1-2)

Cartes : couleurs + symboles

- zones inondables
- nappe aquifère dans la tranche superficielle (de 0 à 1 m sous la surface)
- mines, carrières

Tableaux des forages

MOLDENHAUER (Allemagne) - 1919 (réf. 1-2)

Les épaisseurs des diverses formations identifiées sont figurées suivant les classes suivantes :

- 0 - 2 m
- 2 - 4 m
- 4 - 6 m
- 6 - 10 m

à l'aide de teintes conventionnelles.

Carte géotechnique

Carte des sondages

STREMME et OSTENDORFF (Allemagne) - 1932 (réf. 1 - 2-3)

3 cartes géologiques : - hydrogéologique

- lithologique

- terrains de construction.

Carte géotechnique en fonction de

- taux de travail

- teneur en eau

- glissements.

Carte des forages, avec couleurs différentes suivant leur longueur

- < 5 m
- de 5 à 10 m
- > 10 m.

GROSCOPF (Allemagne) - 1951, échelle 1/10 000 (réf. 1-2-3)

Les épaisseurs des diverses formations sont représentées de la façon suivante :

- < 2 m : couleurs

- > 2 m : symboles (en surcharge)

Carte des sols : représentation des épaisseurs de la même façon que précédemment :

- < 4 m : couleurs

- > 4 m : chiffres coloriés

Carte des sondages.

Carte hydrologique :

- niveaux

- dates

- débits.

Carte des taux de travail.

Carte de la vitesse des tassements.

BREDDIN (Allemagne) - 1960, échelle 1/50 000, 1/25 000, 1/2 000 (réf. 1-2)

Carte géologique :

0 - 2 m : signes

2 - 5 m : couleurs

> 5 m : bandes.

coupes : l'intensité des couleurs = résistance.

PASEK, RYBAR (Tchécoslovaquie) - 1947 à 1959 (réf. 1-2)

Cartes géologiques :

- cartes superficielles.

- cartes du substratum : 0, 8 - 2 m

2 - 5 m

5 - 10 m

représentées en bandes :

largeur = épaisseur

couleur = nature

symboles conventionnels.

ZEBERA (Tchécoslovaquie) - 1947 (réf. 1-2)

Idem aux auteurs précédents sauf : largeur = profondeur.

de QUERVAIN, FREY (Suisse) - 1967, échelle 1/200 000 (réf. 1)

Carte géologique en fonction des problèmes de la construction

CALEMBERT (Belgique) - 1955, échelle 1/75 000 (réf. 1)

Carte lithologique.

Carte des influences minières.

Carte de classement des zones.

DEBAILLE, GHISTE (Belgique) - 1969, échelle 1/10 000 (réf. 1)

Carte des forages.

Carte hydrologique : - piézométrique

- niveau du sol

Cartes géologiques : - superficielles

- substratum.

MULLER et BENZ (Allemagne) - 1938, 1951 (réf. 1-2)

Carte d'interprétation.

Carte hydrologique.

Carte des traitements pour amélioration.

Carte de planification

Carte des sols, divisée en classes :

- Classe I sols de bonnes qualités, ( $> 2,5 \text{ kg/cm}^2$ ), représentés par la couleur jaune.
- Classe II qualités moyennes ( $2 \text{ à } 4 \text{ kg/cm}^2$ ) couleur orange.
- Classe III peu favorable ( $1,5 \text{ à } 3 \text{ kg/cm}^2$ ), conditions hydrologiques variables, couleur orange, hachuré.
- Classe IV mauvais terrains ( $0,75 \text{ à } 1,9 \text{ kg/cm}^2$ ), fondations spéciales, remblais, marécages, pentes raides, couleur rouge.
- Classe V  $0,3 \text{ à } 0,8 \text{ kg/cm}^2$ .  
(hachures et symboles pour propriétés caractéristiques).

SIMEK (Tchécoslovaquie) - 1959, échelle 1/5 000 (réf. 1-2).

Carte géologique : - substratum  
- superficielle.

Carte hydrologique :  
- piézométrie  
- agressivité  
- perméabilité.

Carte de documentation.

Carte géotechnique.

Fichiers, tableaux.

GWINNER (Allemagne) - 1956, (réf. 1-2)

Carte des sols :

- Classe I roche favorable, sable, sable argileux.
  - Classe II  $> 2 \text{ m}$  argile, loess, sols très humides, marnes.
  - Classe III couches superficielles compressibles, tourbe, vase.
  - Classe IV argiles et marnes sur pentes fortes.
- les données physiques sont étroitement liées aux données géologiques.

UNIVERSITE de BESANÇON (France) - de 1962 à 1966 (réf. 1-4-5)

Carte des sols :

- Classe I bonne portance  $F = 20$
- Classe II portance assez bonne  $F = 10 \text{ à } 20$
- Classe III portance médiocre  $F = 2,5 \text{ à } 10$
- Classe IV portance très mauvaise  $F < 2,5$ .

Le facteur de portance est calculé d'après le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Paris.

Sols fins : 75 % passage à 0,42 mm

$$\begin{aligned} \text{si } I_p < 5 & \quad F = 20 \\ I_p > 5 & \quad F = \frac{4250}{w_L \cdot I_p} \leq 20 \end{aligned}$$

Sols grossiers :

$$\text{si } m = \frac{\text{poids du } \% 0,42 \text{ mm}}{\text{poids total}}$$

$$m > 75 \quad F = F_m \text{ (voir ci-dessous)}$$

$$75 > m > 25 \quad F = F_m \left( 2,5 - \frac{m}{50} \right)$$

$$m < 25 \quad F = 40 - \frac{2m}{25} \quad (20 - F_m)$$

$F_m$  est le facteur de portance du mortier, c'est-à-dire des éléments passant au tamis 0,42 mm (sols fins).

Nous avons résumé très sommairement quelques unes des cartes géotechniques selon les différents auteurs.

Après cette description des cartes, nous pouvons remarquer les aspects suivants :

- presque toutes les cartes sont faites en fonction d'un travail spécifique, généralement à l'échelle 1/10 000 ;
- la confection des cartes géotechniques est basée surtout sur les cartes géologiques, hydrologiques et les sondages ;
- la représentation sur la carte est généralement faite en couleur avec des symboles, qui aident beaucoup l'interprétation ;
- la représentation des différentes couches de terrains est faite en fonction des propriétés mécaniques et de leur utilisation ;
- toutes les cartes ne sont ni complètes ni parfaites. Elles demandent à être précisées en fonction des problèmes propres à chaque travail envisagé ;
- enfin, presque toutes les cartes géotechniques remplissent leur fonction, c'est-à-dire, fournissent des connaissances à l'ingénieur pour ses travaux.

Pour notre travail, nous avons essayé d'utiliser presque toutes les interprétations des divers auteurs, et de les adapter à notre problème. Ainsi, nous avons confectionné quatre cartes à l'échelle 1/20 000.

1. - Carte hydrogéologique - esquisse structurale :

- Géologie (symboles + lettres) :
  - superficielle
  - substratum
- Hydrographie (symboles + chiffres) :
  - rivières
  - ligne de partage des eaux
  - sources
  - puits
  - analyses chimiques.

2. - Carte lithologique - Géophysique - Morphologique (symboles + lettres + chiffres) :

- Lithologie (symboles + lettres) ;
- Géophysique (symboles + chiffres) :
  - sismique (profondeur des couches)
  - électrique (résistivités)
- Morphologie (symboles).

3. - Carte géotechnique (symboles + lettres + chiffres)

- substratum (simplifié)
  - nature
  - vitesses sismiques
- Quaternaire (symboles + lettres + chiffres), appliqué aux travaux de l'ingénieur, représentation faite de trois couches :
  - couches superficielle en fonction de :
    - la nature (signes hachurés)
    - les épaisseurs (séparation entre signes) :
      - 0 - 2 m
      - 2 - 5 m
      - 5 - 10 m
      - > 10 m
  - deuxième couche en fonction de :
    - la nature (symboles)
    - les épaisseurs (grandeur des symboles) :
      - 0 - 2 m
      - 2 - 5 m
      - 5 - 10 m
      - > 10 m.

- troisième couche en fonction de :
  - la nature (lettres)
  - le niveau du toit de couche (chiffres).

4. - Coupes géotechniques.

- Annexes.

- Les épaisseurs choisies pour notre représentation sont celles que nous avons considéré comme les mieux adaptées au contexte local.
- Le mode de représentation ci-dessus nous a permis d'éviter l'emploi de couleurs.
- Lorsque les signes hachurés sont très rapprochés et les symboles très petits, ils marquent des épaisseurs très faibles (le substratum est très proche).
- A l'inverse, les signes hachurés plus éloignés, les symboles plus grands indiquent que les épaisseurs sont plus fortes, c'est-à-dire que le substratum est plus profond.
- Les lettres, ainsi que les chiffres choisis pour la troisième couche, ont l'avantage de représenter la nature (généralement le substratum), et aussi la profondeur du toit de la couche, qui est aussi l'épaisseur totale de la première et de la deuxième couche.
- Le manque de couleur pour la confection de notre carte nous a amené à cette forme de représentation, qui est imparfaite mais acceptable. Dans l'avenir, nous recommandons que la confection soit faite en couleurs, pour être plus lisible.

Conclusion

Pour la confection de notre carte, la classification utilisée par les différents sols est basée sur la bibliographie établie dans le chapitre II de ce travail, c'est-à-dire, est appliquée aux travaux de l'ingénieur.

La même carte peut servir à établir des cartes spécifiques en rapport avec le travail envisagé et basé sur les tableaux du même chapitre II. C'est-à-dire, par exemple, deux ensembles de terrains différents peuvent avoir les mêmes caractéristiques pour un travail spécifique, ce qui amène à utiliser la même représentation pour les deux terrains. Mais, par contre, ces deux terrains auront des caractéristiques complètement différentes pour un autre travail spécifique, ce qui amènera à la confection de cartes différentes.

Envisagé de cette façon, nous considérons le présent travail comme étant de grande importance, pas seulement par l'application à la confection de la feuille géotechnique de Serres, mais aussi comme un guide pour d'autres travaux de géotechnique dans l'avenir.

CHAPITRE II

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

SOMMAIRE

<u>DENOMINATION ET CLASSIFICATION GEOTECHNIQUE DES SOLS</u>		<u>Pages</u>
1. - <u>INTRODUCTION</u>		21
2. - <u>GENERALITES</u>		21
3. - <u>CLASSIFICATION BASEE SUR LA GRANULOMETRIE</u>		22
a) - Avantages		22
b) - Inconvénients		22
c) - Conclusion		28
4. - <u>SIGNIFICATION DE LA PLASTICITE AU POINT DE VUE DE LA CLASSIFICATION DES SOLS</u>		29
5. - <u>CLASSIFICATION DE L'A. B. E. M.</u>		33
6. - <u>CLASSIFICATION DE L'U. S. B. P. R.</u>		38
7. - <u>CLASSIFICATION DE L'A. A. S. H. O</u>		42
a) - Méthode de classification		42
b) - La méthode des indices de groupe		42
c) - Description des groupes de sols de la classification A. A. S. H. O.		44
8. - <u>CLASSIFICATION UNIFIEE DES ETATS-UNIS</u>		46
a) - Description des groupes de sols		49
b) - Définition des termes silt et argile		51
c) - Classification basée sur l'analyse chimique		51
9. - <u>CONCLUSION</u>		51
a) - Avantages		51
b) - Inconvénients		52
c) - Classification adoptée dans notre travail.		52

## DENOMINATION ET CLASSIFICATION GEOTECHNIQUE DES SOLS

### 1. - INTRODUCTION

La question de la dénomination et de la classification des sols est, à priori, assez complexe. Les mots "sable", "argile", "limon", etc. sont des mots employés couramment et qu'il est assez difficile de définir d'une façon simple, et ne donnant pas lieu à confusion.

Si l'on veut, du langage courant passer au langage scientifique, la question se complique parce que les terrains sont étudiés selon des points de vue qui diffèrent suivant les disciplines scientifiques particulières envisagées : géologie, minéralogie, chimie, science du sol en agronomie, enfin mécanique des sols ou géotechnique.

Cependant, le plus souvent l'examen sommaire d'un échantillon à l'état naturel permet de le classer dans l'une des grandes catégories définies par la pétrographie.

La connaissance de quelques notions élémentaires de minéralogie et de pétrographie suffit pour donner une dénomination qualitative correcte à tous les sols que l'on rencontre communément. Ces sols sont de composition minéralogique assez uniforme, bien que leur composition granulométrique soit très variable.

Dans certains cas, un doute ou une confusion est possible, car il existe des termes de passage entre les différents types pétrographiquement bien définis. En réalité, cela ne présente pas une grande difficulté : il suffit d'accoler un qualificatif au nom de la roche dont l'échantillon se rapproche le plus : par exemple : sable argileux, argile sableuse, sable calcaire, etc.

Mais, comme on va le montrer, à chaque type pétrographique ne correspondent pas nécessairement des caractéristiques physiques et mécaniques uniformes. Il est donc difficile de faire une classification des sols en tenant compte de toutes leurs propriétés. Une uniformisation parfaite des dénominations nécessiterait l'énoncé d'un nombre tellement important de propriétés diversifiant l'échantillon considéré que le langage en serait alourdi et de ce fait, rendu inutilisable. Le problème doit donc être simplifié au maximum et l'intérêt d'une dénomination des sols doit résider uniquement dans la recherche d'une facilité d'énoncé. La classification et la dénomination des sols proposées dans cette thèse sont celles adoptées par la Commission de Mécanique des Sols de l'Association Belge pour l'Etude et l'Essai des Matériaux (A. B. E. M.), et aussi par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées du Ministère de l'Equipement français.

Il devra être entendu que les termes seront choisis dans ce seul but et que toute discussion sur leur signification ne pourra se faire que sur cette base.

### 2. - GENERALITES

On a déjà dit qu'en mécanique des sols, on a l'habitude de grouper sous la dénomination "terre" les matériaux constitués par un ensemble de fragments ou de grains minéraux ou organiques dont les espaces interstitiels peuvent être remplis d'eau et de gaz. Le "sol" est un massif de terre se trouvant dans un état de compacité et de structure déterminé.

Les études du sol, au point de vue du constructeur, sont conditionnées par la connaissance de caractéristiques bien déterminées : le frottement interne et la cohésion, la compressibilité, la perméabilité et les inter-réactions avec l'eau.

Sans procéder à un examen approfondi, on a indiqué que l'on pouvait classer les terrains en deux grandes catégories : les massifs pulvérulents et les massifs cohérents.

Les premiers sont perméables et formés de gros grains indépendants les uns des autres et facilement séparables, leur équilibre résulte seulement du frottement mutuel des différents grains en contact.

Les seconds sont faiblement perméables, formés de grains de dimensions microscopiques, doués de cohésion.

Dans les deux cas, les grains sont en général séparables par des moyens qui n'altèrent ni leurs dimensions, ni leurs formes.

On peut en conclure que la composition granulométrique est une caractéristique susceptible de diversifier les sols, et par conséquent, de les classer. C'est cette méthode qui a été introduite dès 1898 par UDDEN (réf. 7) et qui fut, par la suite, adoptée pour les classifications étrangères. On l'étudiera dans ce qui suit. La discussion montrera cependant que cette classification présente certaines insuffisances. On sera ainsi amené à introduire à côté de la classification basée sur les dimensions des parties solides des sols et sur leur nature minéralogique, une caractéristique tenant compte de leur plasticité.

3. - CLASSIFICATION BASEE SUR LA GRANULOMETRIE

a) - Avantages

Les avantages que présente une classification basée sur la granulométrie peuvent se résumer de la façon suivante :

1. - Cette méthode a été adoptée par la plupart des commissions nationales et internationales qui se sont occupées du problème de la classification des sols.
2. - Le tracé de la courbe granulométrique se fait aisément au moyen de mesures relativement précises.
3. - Les courbes granulométriques permettent aisément la détermination des caractéristiques définies au chapitre IV, tels que coefficient d'uniformité, coefficient de courbure, surface spécifique relative, etc.
4. - Le principe de la classification et de la dénomination des sols qui découle de l'analyse granulométrique est particulièrement simple. On divise, par des droites verticales, le diagramme granulométrique en un certain nombre de fractions auxquelles correspondent des chiffres et des noms. Les noms sont choisis parmi ceux qui sont employés pour désigner couramment les terrains. Un échantillon est alors indiqué par le chiffre ou le nom de la fraction prépondérante et pour bien indiquer qu'il s'agit d'une dénomination correspondant à une propriété granulométrique, on fait suivre ce chiffre des lettres "gr" (abréviation de granulométrie).

b) - Inconvénients

Les inconvénients que présente, à côté des avantages que l'on vient de signaler, la classification basée sur la granulométrie sont les suivants :

1. - La première difficulté consiste à faire un choix convenable des limites des fractions. En général, les limites des fractions proposées sont très différentes et entraînent des classifications variées. Le tableau de la figure 1 indique les limites des fractions et la terminologie d'un certain nombre de classifications.

L'examen du tableau I (fig. 1), montre que la plupart des classifications diffèrent surtout par le choix des limites des diamètres des grains séparant les diverses catégories des sols. Ce tableau est à comparer avec le tableau II de la figure 2, extrait d'un mémoire du professeur P. NIGGLI. Le tableau de M. NIGGLI est intéressant en ce sens qu'il rattache la classification granulométrique à la nature minéralogique et aux caractères physico-chimiques des sols.

Dès 1905, ATTERBERG avait proposé comme limite des diverses catégories, une progression géométrique de raison 10.

- de 2 000 à 200 mm : blocs
- 200 à 20 mm : cailloux
- 20 à 2 mm : graviers
- 2 à 0,2 mm : sable grossier
- 0,2 à 0,02 mm : sable fin
- 0,02 à 0,002 mm : limon
- en dessous de 0,0002 mm : argile.

Chaque limite devait correspondre à une modification de certaines propriétés physiques du sol considéré :  
2 mm est la limite des particules pouvant être portées par l'eau ;  
0,2 mm est la limite inférieure des sables rudes au toucher ;  
0,02 mm est la limite inférieure des grains individuels visibles à l'œil nu ;  
0,002 mm correspond au commencement d'intervention des mouvements browniens dans le déplacement des particules en suspension.

La classification de ATTERBERG a été adoptée par l'Association Internationale de la Science des Sols.

Le choix des limites séparant la sable fin du limon et le limon de l'argile a donné lieu à de nombreuses discussions.

Un limon humide est plastique, ce qui indique que ses grains ont des dimensions telles qu'ils possèdent un pouvoir agglomérant ; un sable n'est pas plastique. Les dimensions réalisant le pouvoir agglomérant sont relativement petites et il semble, d'après divers auteurs, que cette limite soit située entre 15 µ et 20 µ (microns). ATTERBERG (réf. 8) et le professeur NIGGLI (réf. 9) donnent 20 µ comme limite supérieure des grains des sols argileux et ce chiffre semble pouvoir être retenu ; il est bien situé dans l'échelle des dimensions et correspond à une limite supérieure donnant toute sécurité, car les grains de dimensions supérieures à 20 µ n'ont plus le pouvoir agglomérant caractéristique des limons et des argiles.

La limite supérieure de la fraction argile est encore plus difficile à fixer.

Le tableau I de la figure 1, montre que certaines classifications la font partir de 5 µ et même de 10 µ . Le professeur NIGGLI (fig. 2) admet que les minéraux d'argile apparaissent à partir de 2 µ , se développent à partir de 5 µ et sont abondants à partir de 2 µ , mais que les minéraux de sable peuvent subsister en dessous de ces dimensions. ATTERBERG a adopté 2 µ .

L'analyse granulométrique est insuffisante pour trancher tous les cas.

Une analyse minéralogique ou chimique doit être faite. Ce fait a été mis en évidence par des essais effectués à l'Université de Liège, par Monsieur le professeur CAMPUS (réf. 10).

La légende du tableau I (fig. 1) est la suivante :

1. - Loos (Bangrundsuntersuchungen)	-----	Allemagne
2. - Bureau of soils U. S. A. (Kimball)	-----	U. S. A.
3. - M. I. T. (Kimball)	-----	U. S. A.
4. - International Classification (Kimball)	-----	U. S. A.
Terzaghi (Erdbanmechanik)	-----	U. S. A.
Buisson (Etude des fondations)	-----	France
Centre d'Etudes et de Recherches géotechniques	-----	Belgique
5. - U. S. Bureau of Reclamation	-----	U. S. A.
6. - Deutsche Gessellschaft für Bauwesen	-----	Allemagne
7. - Eidgenossische Technische Hochschule (E. T. H.)	-----	Allemagne
8. - Seger d'après MALETTE (analyses et essais des matériaux de construction)	----	France
9. - Centro Geotecnico Napoli	-----	Italie
10. - ATTERBERG 1905	-----	Suède
11. - Brit. cast iron research assoc. Pub. 2 1934	-----	Grande-Bretagne
12. - Wentworth Journ. geology vol. 30, p. 377 - 1922	-----	U. S. A.

Figure n° 1, Tableau n° I - DES CLASSIFICATIONS GRANULOMETRIQUES

	8 6 4 (2) 8 6 4 (2) 8 6 4 (2) 8 6 4 (2) 8 6 4 (2) 8 6 4 (2)													
1	Gravier		Sable			MO		Schluff		Argile		LOOS		
2	Gravier		Sable			Silt		Argile		Colloïdale		B.S.U.S.A.		
3	Gravier		Sable			Silt		Argile				M.I.T.		
4	Gravier		Sable			MO		Silt		Argile		C.E.R.G.		
5	Gravier		Sable			Silt à argile						U.S.B.R.		
6	Pierres		Gravier			MO		Schluff		Argile		D.G.B.		
7	Psefite		Psammite			Pélite		Schlamm				E.T.H.		
8	Sable grossier		Sable fin			Limon		Argile				S.E.G.E.R.		
9	Blocs		Gravier			Sable			Limon		Colloïdale		C.G.M.	
10	Gravier		Sable gros			Sable fin		Limon		Argile		ATTERBERG		
11	Gravier		Sable			Limon		Argile				B.C.I.R.A.		
12	Boulder	Cobble	Cailloux	Sable			Silt		Argile		W.J.G.			
13	Blocs		Gravier			Sable		Limon		Argile		C.M.S.		
14	Cailloux		Gravier			Sable			Limon		Argile		DIN	
15	Cailloux		Gravier			Sable gros		Sable fin		Limon		Argile Ultra-Argile		L.C.P.C.
16	Cailloux		Gravier			Sable		Sable fin		Fines (silt ou argile)		A.S.T.M.		
17	Gravier		Sable			Limon		Argile				B.S.		
18	Cailloux		Gravier			Sable gros		Sable fin		Limon		Argile		A.B.E.M.

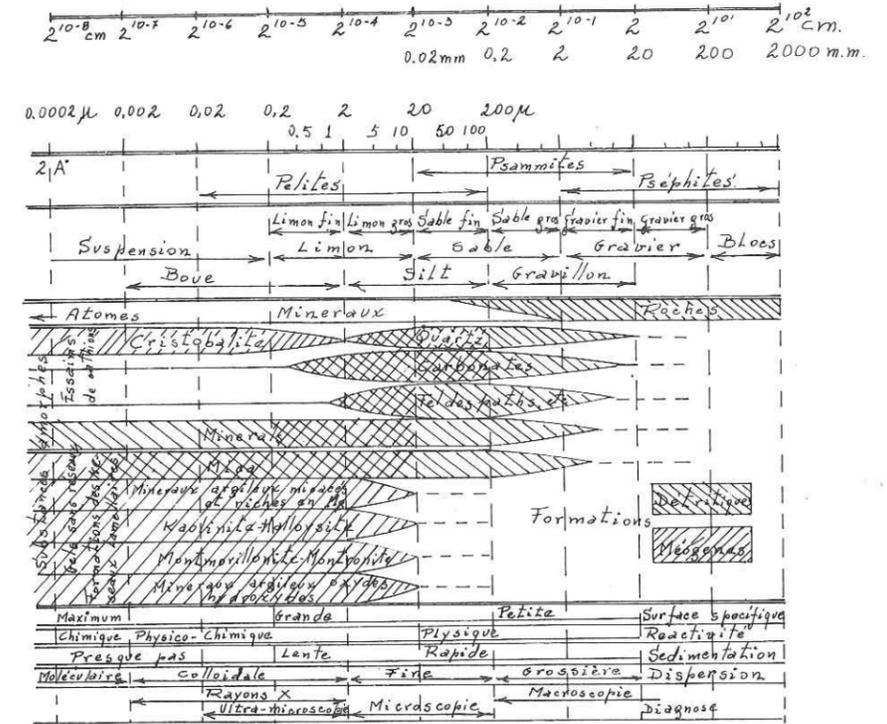


Figure 2 - Nature minéralogique et caractères physico-chimiques (d'après NIGGLI)

TABLEAU N° III

	Dénomination	Diamètres	Méthode analytique à employer
Fraction VI	Cailloux	> 20 mm	par tamisage
Fraction V	Graviers	20 mm à 2 mm	
Fraction IV	Sable grossier	2 mm à 0,2 mm	
Fraction III	Sable fin	0,2 mm à 0,06 mm	
Fraction II	Limon	60 μ à 2 μ	par lévigation ou sédimentation
Fraction I	Argile	< à 2 μ	

Classification des grains en fractions (d'après l'A.B.E.M.)

- 13. - Comm. Mat. Stradali del C. N. R. ----- Italie
- 14. - Kohler (Din 4022-4023) ----- Allemagne
- 15. - Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris ----- France
- 16. - American Association of Stages Highway Officials ----- U. S. A.
- 17. - British Standards Institution and Road Research Laboratory ----- Grande-Bretagne
- 18. - Association Belge pour l'Etude, l'Essai et l'Emploi des Matériaux ----- Belgique

La notion exprimée par le mot argile ne correspond pas à un critère purement granulométrique, de nature géométrique, mais bien à un caractère minéralogique, c'est-à-dire structural, de nature physico-chimique ou chimique. La définition géotechnique de l'argile doit être la même que sa définition pétrographique ou minéralogique. En d'autres termes, le caractère granulométrique n'y joue pas un rôle décisif.

Au point de vue pratique, il est important de ne pas oublier ce fait particulier. Pour certains ouvrages ou certains usages relevant de la géotechnique, les cahiers des charges prescrivent l'emploi de terres contenant une certaine proportion d'argile. A défaut de spécification précise de l'argile, une telle prescription est dénuée de toute signification. Il existe des cas, non dépourvus d'importance, dans lesquels, pour la raison qui vient d'être indiquée, l'effet que les prescriptions voulaient et devaient assurer n'a pas été réalisé. Il est donc indispensable et important, pour de telles applications, de substituer des spécifications réelles et mesurables à des notions non définies et incontrôlables, ou dont le contrôle est fallacieux.

Le choix des limites relatives aux fractions séparant les sables et les graviers est beaucoup plus facile ; il ne prête pas à discussion et doit simplement être fait de manière à correspondre aux terrains que l'on rencontre le plus souvent dans nos régions.

En tenant compte des remarques précédentes et des réserves faites quant à l'argile, la Commission de Mécanique des Sols de l'A. B. E. M. a proposé d'adopter la subdivision suivante, en fraction, avec la terminologie indiquée au tableau III.

Une variante de ces classifications est celle de l'U. S. Bureau of Public Roads convenant pour les sols ne comprenant pas de gros éléments (graviers).

Cette classification utilise la représentation triangulaire de FERRET (réf. 11).

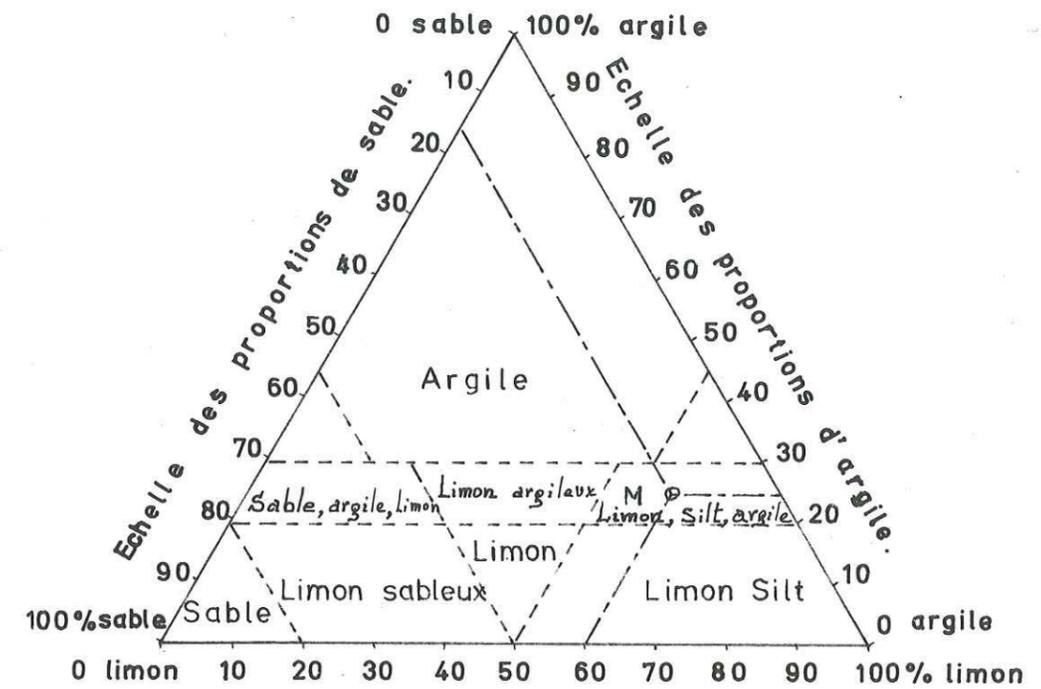
Un triangle équilatéral est partagé en zones conventionnelles qui portent des appellations spéciales, compte tenu du pourcentage des trois fractions : sable (2 à 0,05 mm), limon (0,05 à 0,005 mm), argile (< 0,005 mm) qui les constituent. La figure 3 donne la définition de cette classification.

2. - La classification basée sur l'analyse granulométrique est discontinue. Elle ne peut pratiquement pas classer les grains par ordre de diamètres individuels, mais seulement par catégories comprises entre certaines limites.

La courbe granulométrique donne une idée générale du matériel et des indications approchées sur ses propriétés, mais elle ne suffit pas à préciser les propriétés mécaniques. Celles-ci dépendent d'autres facteurs qui sont, par ordre d'importance la composition chimique ou minéralogique et la structure, c'est-à-dire la répartition spatiale variable des grains, leur forme, leur position réciproque, la dimension et la répartition des vides et enfin la teneur en eau. On pourra utilement compléter, à ce point de vue, les indications données par les courbes granulométriques en constatant si on a affaire à des grains roulés, anguleux ou déchiquetés. Les grains d'argile ont une forme aplatie.

3. - L'examen des courbes granulométriques d'échantillons quelconques fait apparaître une difficulté particulière : celle du classement et de la dénomination des sols naturels qui sont en général composés en proportions variables des fractions dont les limites et les dénominations ont été établies. Pour parer à cette difficulté, certaines normes ont recommandé l'emploi d'expressions complémentaires suivant la proportion de chaque fraction donnée.

Par exemple, on aura affaire à un gravier peu sableux et très limoneux suivant les proportions que l'on peut définir des fractions II et III qui composent un échantillon de gravier considéré. On peut également, ce qui est plus scientifique, recourir au diagramme triangulaire qui est utilisé couramment dans l'étude de la granulométrie en



Echelle des proportions de limon

M: point représentatif d'un mélange contenant:

- 15 % sable
- 60 % limon
- 25 % argile

Fig. 3. CLASSIFICATION TRIANGULAIRE (d'après FERRET).

général. Mais quels que soient les perfectionnements introduits, une discussion montrerait facilement que ces méthodes ne peuvent envisager tous les cas.

On en conclut qu'elles ne donnent pas une solution parfaite du problème, tout en le compliquant et en alourdissant le langage et le texte des rapports.

Il paraît évident que, pour ces cas, l'examen de la courbe granulométrique donne le maximum de renseignements et le maximum de précisions possibles. Elle ne doit être accompagnée d'aucun autre document graphique, car elle se suffit à elle-même. En théorie, on pourrait convenir que le nom de l'échantillon correspond au nom de la fraction dominante suivante, employée adjectivement, pour autant que sa proportion atteigne 10 %. Les fractions dominantes et suivantes pourraient se déduire aisément de l'histogramme. Ces noms seraient suivis des lettres "gr", abréviation de granulométrique, pour bien insister sur le caractère conventionnel de la définition adoptée. On aurait ainsi, suivant les cas, des sables limoneux (gr), des argiles sableuses (gr), des sables graveleux (gr), des graviers sableux (gr), etc.

Du point de vue de la Mécanique des Sols, cette méthode peut donner lieu à des malentendus. En effet, il peut arriver qu'un sol contenant par exemple 40 % d'argile et 60 % de sable, et qui devrait donc être appelé sable argileux (gr), ait nettement du point de vue géotechnique, les propriétés d'une argile. On devrait donc l'appeler argile sableuse, ce qui serait en contradiction avec la dénomination granulométrique. C'est pour cette raison que l'analyse devra être complétée par la mesure de la plasticité, comme il sera indiqué au n° 4 de ce chapitre.

4. - Enfin, on remarque que, dans la terminologie et les fractions adoptées, les noms de certains sols ne sont pas mentionnés. Pour ces sols, la classification granulométrique est en effet impossible, car les caractéristiques qui les différencient n'ont rien à voir avec le diamètre des grains. Le tableau en question ne s'applique qu'aux sols argilo-quartzeux. La tourbe, le loess notamment sont caractérisés par leur composition chimique et par leur formation géologique. On devra donc les définir par la proportion de certains composés chimiques ou de certaines matières organiques.

Cependant, les sables et argiles glauconifères sont englobés dans les sols susceptibles d'être classés par la méthode granulométrique.

c) - Conclusion

La discussion qui précède montre que la classification des sols, basée sur la granulométrie, convient bien pour les graviers et les sables.

Elle est insuffisante pour les argiles et les limons, parce que leurs propriétés dépendent en outre de la composition chimique et minéralogique. Le mot argile n'a pas une signification purement granulométrique parce que cette roche est une association de silicates hydratés aluminiques, d'alumines magnésiens ou ferriques, douée de propriétés particulières.

La classification granulométrique est inadéquate pour les tourbes, les marnes et les craies car il n'y a pour ces roches, pratiquement aucune relation entre la granulométrie et la composition chimique.

4. - SIGNIFICATION DE LA PLASTICITE DU POINT DE VUE DE LA CLASSIFICATION DES SOLS

La courbe granulométrique n'a trait qu'aux diamètres des grains et elle ne suffit pas à caractériser la partie solide d'un échantillon. En principe, il y a une relation entre les dimensions et la composition minéralogique, mais cette relation ne peut s'exprimer par une fonction utilisable dans la pratique.

Pour les sables, limons et argiles, la relation granulométrique - composition minéralogique semble relativement simple. Ainsi des particules inférieures à 2 µ sont en général formées de minéraux entrant spécifiquement dans la composition des argiles "kaolin", montmorillonite, beidellite, nontronite, etc. Mais, d'autre part, entre 20 µ et 2 µ un grain de dimension donnée peut aussi bien être du quartz que du kaolin.

Il en résulte que pour une même granulométrie, les propriétés physico-chimiques et par la suite mécaniques, peuvent différer complètement. Il est donc nécessaire de compléter l'étude granulométrique par un essai simple tenant compte, à la fois, de la forme et de la composition chimique des grains. Un tel essai consiste à déterminer les limites d'Atterberg et l'indice de plasticité qui en découle. Ces essais sont faciles à exécuter avec une certaine pratique.

On va montrer que les limites d'Atterberg sont susceptibles de préciser la dénomination des sols. Il est cependant évident qu'on ne pourra se base uniquement sur les limites d'Atterberg pour donner un nom aux échantillons, car un échantillon de terre n'est jamais composé d'un seul minéral, mais en contient toujours plusieurs. Cette hétérogénéité a comme conséquence que les limites d'Atterberg sont influencées par des facteurs pouvant à la fois ajouter et retrancher des effets. Ainsi, la présence d'un faible pourcentage de matières humiques a comme conséquence d'augmenter notablement les limites de liquidité et de plasticité et d'influencer l'indice de plasticité. La présence de chaux peut avoir un effet inverse. La montmorillonite et la beidellite ont des indices de plasticité excessivement élevés. De faibles pourcentages de ces minéraux mélangés à des grains nettement sableux (par exemple, de dimensions supérieures à 1 mm) suffisent pour produire un indice de plasticité élevé.

On en conclut que les limites d'Atterberg peuvent, par conséquent, servir de critère éliminatoire, mais non de critère nécessaire et suffisant. Elles doivent toujours être complétées par des critères granulométriques et chimiques (ou minéralogiques).

A l'étranger, l'attention des chercheurs a déjà été attirée sur l'emploi des limites d'Atterberg, en vue de la dénomination et de la classification des sols.

On trouvera, dans ce qui suit, les résultats des études faites par divers auteurs sur les limites de plasticité et de liquidité, ainsi que leur influence sur la dénomination des sols.

L'ingénieur de BOECK, dans "Contribution à l'étude des sols - La stabilisation des routes au Congo belge" donne le tableau suivant, repris par l'American Highway Research Board.

TABEAU IV

Sols	Limite de liquidité $w_L$	Limite de plasticité $w_p$	Indice de plasticité $I_p$
Sable	10 à 25	néant	néant
Silt (limon)	20 à 35	10 à 30	5 à 15
Argile	40 à 150	15 à 50	20 à 100
Colloïdes	150	50	100

ENDELL - LOOS (Allemagne-Degebo) a dressé l'intéressant tableau suivant :

TABLEAU V

Matériaux composés à 100 % d'éléments inférieurs à 2 $\mu$	Limite de liquidité $w_L$	Limite de plasticité $w_P$	Indice de plasticité $I_p$
Quartz de Dorentrop	28	28	0
Calcite	48	30	18
Muscovite	78	55	23
Kaolin de Settitz	84	42	42
Kaolin de Sarospatsch	120	43	77
Ca Bentonite (et Endell)	141	50	91
Na Bentonite (et Endell)	475	47	428

On constate que pour des minéraux spécifiquement argileux, la limite de liquidité est supérieure à 48 (elle atteint même 475), la limite de plasticité varie entre 42 et 55 et l'indice de plasticité est supérieur à 23.

L'ingénieur Von MOOS (Suisse) donne un tableau indiquant qu'un mélange de 50 % de kaolin et 50 % de quartz a des indices de plasticité variant, d'après la granulométrie du constituant "quartz", entre 19,1 et 16,1.

Enfin, on voit ci-dessous quelques chiffres trouvés pour des échantillons hollandais et des Indes néerlandaises (d'après Von MOOS).

TABLEAU VI

Sols	Limite de liquidité $w_L$	Limite de plasticité $w_P$	Indice de plasticité $I_p$
Argile sableuse de Rotterdam	38,20	15,80	22,40
Argile + sable Wiikbij Duurstede	38,20	24,70	13,50
Argile de Rotterdam	75,10	33,80	41,30
Argile et tourbe de Rotterdam	99,80	40,90	58,90
Argile Wiikbij Duurstede	112,30	38,00	73,40
Argile + tourbe idem	226,00	91,50	34,50
Tourbe Rotterdam	457,50	407,00	50,50
Argile Pladjoe (I. N.)	155,00	29,90	81,10

On remarque que la présence de matières humiques augmente les limites de liquidité et de plasticité ainsi que l'indice de plasticité.

Pour les sols belges, les chiffres suivants ont été obtenus au Laboratoire de l'Institut géotechnique de l'Etat.

TABLEAU VII

Sols	Limite de liquidité $w_L$	Limite de plasticité $w_P$	Indice de plasticité $I_p$
Sable rupélien R 2b d'Einzenbilsen	24,2 à 24,9		
Sable yprésien Ydm de Schepdael	35,75		
Sable de Jabbeke-Zandvoorde	20,6		
Argile Panisélienne Pim de Schepdael	133,0	34,8	98,2
Argile de Boom (Hoboken)	90,25	31,45	58,8
Argile de Boom (Duffel)	85,5	31,1	54,4
Argile rupélienne R 2c (Lanaeken)	83,0	37,9	45,1
Limon d'alluvions (Neermeerschen Gand)	37,6	25,3	12,3

Pour les sols français, les chiffres suivants ont été obtenus aux Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics de Paris.

TABLEAU VIII

Sols	Limite de liquidité $w_L$	Limite de plasticité $w_P$	Indice de plasticité $I_p$
Vase de Seine à Grand Couronne	46	38	8
Limon du plateau de Villejuif	36	17	19
Marne verte de la région parisienne	92	25	67
Argile plastique de la région parisienne	92	24	68
Marne sous la Garonne à Clairac :			
jaune	36	19	17
verte	51	26	25
Vase de Tunis	89	34	55

Les comparaisons des divers tableaux et les remarques qui sont faites à leur sujet permettent de conclure que la plasticité est influencée, non seulement par la dimension des grains, mais aussi par leur forme et leur composition chimique.

Les limites d'Atterberg, quoique définies arbitrairement, donnent des indications assez précises en ce qui concerne la plasticité des sols, tout en étant facilement déterminables. Elles permettent donc, d'une manière simple, de différencier des échantillons de même composition granulométrique, mais différant par la composition chimique.

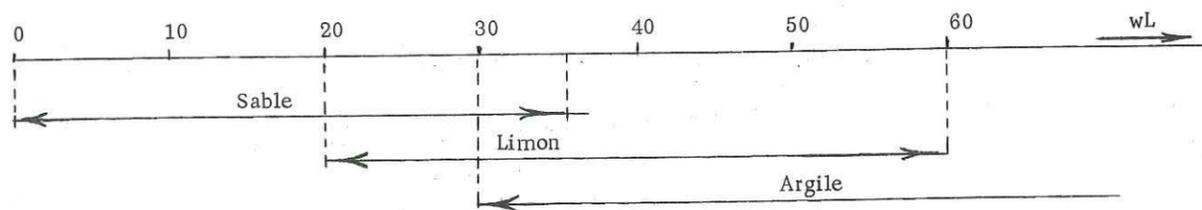
Cette différenciation est surtout intéressante pour définir plus exactement les sables, limons et argiles. Pour la tourbe et les calcaires la courbe granulométrique, complétée par les limites d'Atterberg, ne peut encore suffire à dénommer les échantillons. On devra, dans ces cas recourir nécessairement à des analyses chimiques qui devront cependant être aussi simples que possible. Mais pour différencier ce que l'on entend par les mots sables, limons, argiles, qui appartiennent au langage courant, et que la courbe granulométrique seule ne permet pas de définir exactement, on pourra donc faire appel à la notion des limites d'Atterberg.

Il faudra toutefois définir, pour ces limites, des valeurs extrêmes assez écartées et se chevauchant largement, afin de pouvoir englober tous les cas et ne pas tomber en flagrant désaccord avec le sens usuel donné aux mots. Les valeurs seront choisies avec prudence, et des zones beaucoup plus étendues que celles du Highway Research Board seront à envisager.

En effet, on remarque que le H. R. B. exige un indice de plasticité supérieur à 20 pour une argile et que le sable a une limite de liquidité inférieure à 25. Le tableau relatif aux sols belges donne, pour le sable yprésien, une limite de liquidité de 35, alors que ce sol est, en général, appelé "sable" et non "limon" ou "argile".

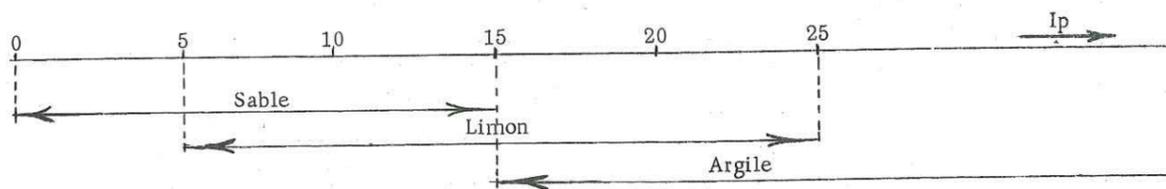
Enfin, la plupart des sols sont, à l'état naturel, des mélanges de différents minéraux et la classe "sable" comprend tous les sables quel que soit leur degré d'impureté ; donc sables limoneux, argileux, tourbeux ou ligniteux, calcaireux, glauconeux ; de même, pour la classe "limon", ; limon sableux, argileux, tourbeux, calcaireux, etc.

S'il est évident qu'un seul sable pur n'a pas d'indice de plasticité, le choix des valeurs extrêmes de la classe sable devra cependant englober les sables limoneux et argileux.



Sable :  $wL < 35$   
 Limon :  $20 < wL < 60$   
 Argile :  $wL > 30$

Figure 4 - Classification suivant la limite de liquidité -



Sable :  $15 > Ip$   
 Limon :  $5 < Ip < 25$   
 Argile :  $Ip > 15$

Figure 5 - Classification suivant l'indice de plasticité -

On peut admettre dans ces conditions, comme base de départ provisoire les valeurs suivantes de l'indice de plasticité : (fig. 5).

Il paraît inutile de compléter ce critère restrictif par l'utilisation des limites adoptées pour la limite de liquidité (fig. 4). La raison en est qu'un sol satisfaisant l'une des dernières conditions, satisfait généralement aussi aux premières.

TABLEAU IX

Caractère dominant	Indice de plasticité
Sableux	$Ip < 15$
Limoneux	$5 < Ip < 25$
Argileux	$Ip > 15$

Il faut insister sur le fait que les limites ainsi choisies ne suffisent pas pour définir, à elles seules, un sol. Ainsi, un sol avec  $wL = 40$  et  $Ip = 16$  n'est certainement pas un sable, mais pourra être un limon ou une argile, sans qu'il soit possible de définir, en se basant uniquement sur les indices de plasticité, s'il s'agit d'un limon argileux, d'une argile limoneuse ou d'une argile sableuse, etc. C'est la courbe granulométrique qui permettra de préciser la nature de l'échantillon considéré.

5. - CLASSIFICATION DE L'A. B. E. M.

Il résulte des considérations qui précèdent, que l'on peut préciser, conventionnellement, dans la majorité des cas, la dénomination des sols en fonction des propriétés qui intéressent le constructeur.

En effet, l'analyse granulométrique offre un premier critère pour la différenciation des principaux sols que l'on rencontre. On obtient ainsi six fractions auxquelles correspondent les dénominations des sols naturels (voir tableau III de ce chapitre).

Comme en général, on a affaire à des sols hétérogènes composés de plusieurs fractions, le résultat de l'analyse granulométrique sera complété par la détermination des limites d'Atterberg (limites de liquidité et indice de plasticité) auxquelles correspondent les dénominations du tableau IX rapportées à l'indice de plasticité.

On conviendra de donner à l'échantillon le nom ou les noms obtenus par la classification granulométrique, et sur le diagramme donnant la courbe granulométrique, une place sera réservée aux valeurs des limites de liquidité et de l'indice de plasticité. Cette indication complètera et précisera la dénomination granulométrique du point de vue des propriétés mécaniques de l'échantillon considéré. La dénomination définitive sera celle qui résulte de la comparaison entre les différentes valeurs obtenues et les conventions précédentes.

De plus, dans certains cas on tiendra compte des remarques suivantes :

- 1) - Lorsqu'il s'agit de sols fins (grains inférieurs à 2 mm), contenant plus de 10 % d'éléments inférieurs à 0,006 mm et dont les teneurs en matières organiques et en chaux sont insignifiantes, on peut dans la majorité des cas, les classer de la manière suivante :

TABLEAU X

Indice de plasticité	Caractère dominant	Critères granulométriques		Dénomination du sol
		Fractions prédominantes	Rapport des fractions IIa* et I.	
25 < Ip 15 < Ip < 25	Argileux Argileux ou limoneux	--- II (+ de 50 %) III + IV (+ de 50 %)	--- ---	Argile Limon Argile sableuse
5 < Ip < 15	Limoneux ou sableux	II III + IV III + IV	--- I > IIa I < IIa	Limon Sable argileux Sable limoneux
Ip < 5	Sableux	--- ---	I > IIa I < IIa	Sable peu argileux Sable limoneux

\* - La fraction IIa désigne la partie fine de la fraction II (limon) comprise entre 0,002 et 0,02 mm.

2) - De même, on peut encore proposer d'autres limites comme base de départ pour la qualification des sols tourbeux ou calcaireux.

TABLEAU XI

Sols tourbeux

Teneurs en matières organiques	Qualification du sol
> 50 %	tourbe
de 50 à 10 %	très tourbeux
de 10 à 5 %	tourbeux
de 5 à 0,5 %	peu tourbeux
< 0,5	---

TABLEAU XII

Sols calcaireux

Teneur en chaux	Qualification du sol
> 75 %	Craie, calcaire...
de 75 à 25 %	Marne*
de 25 à 10 %	Très calcaireux
de 10 à 5 %	ou marneux
de 5 à 2 %	calcaireux
< 2 %	peu calcaireux

\* - La proportion craie - argile variant de 4 à 0,25.

On constate que la classification et la dénomination des sols du point de vue géotechnique sont basées sur la granulométrie et sur les limites d'Atterberg. En fait; ces deux bases sont concrètes et définies en elles-mêmes. Elles ont une signification intrinsèque suffisante et indépendante de tout vocabulaire. Les noms auxquels elles correspondent ont, dans ces conditions, une importance secondaire ; ils ont simplement pour but de faciliter l'expression et la rédaction des rapports.

Les dénominations adoptées ont un caractère conventionnel et doivent être suivies, en indice, par l'abréviation (gr.) lorsqu'elles découlent de la courbe granulométrique. Les indications données par les limites d'Atterberg, qui tiennent compte des propriétés complexes de la matière, ont un caractère complémentaire et éliminatoire. Le diagramme de Hogentogler (fig. 6) donne le classement qui définit un sol argileux d'après la place qu'il occupe en fonction des valeurs de sa limite de liquidité et de l'indice de plasticité. Il est à noter que les droites qui correspondent aux divers sols témoins utilisés par HOGENTOGLER se situent dans l'axe des zones.

Aussi est-il indispensable d'exiger, lorsque l'on procède à un sondage, qu'à côté de la coupe du terrain figurent, pour chaque échantillon qui a été prélevé à l'état intact, la courbe granulométrique, la teneur en eau de l'échantillon à l'état naturel et les limites d'Atterberg (fig. 7). On pourra en déduire de nombreuses indications sur les propriétés mécaniques des sols rencontrés et décider ensuite quels sont les essais de laboratoire qui doivent, éventuellement, être faits, compte tenu de l'application que l'on a en vue.

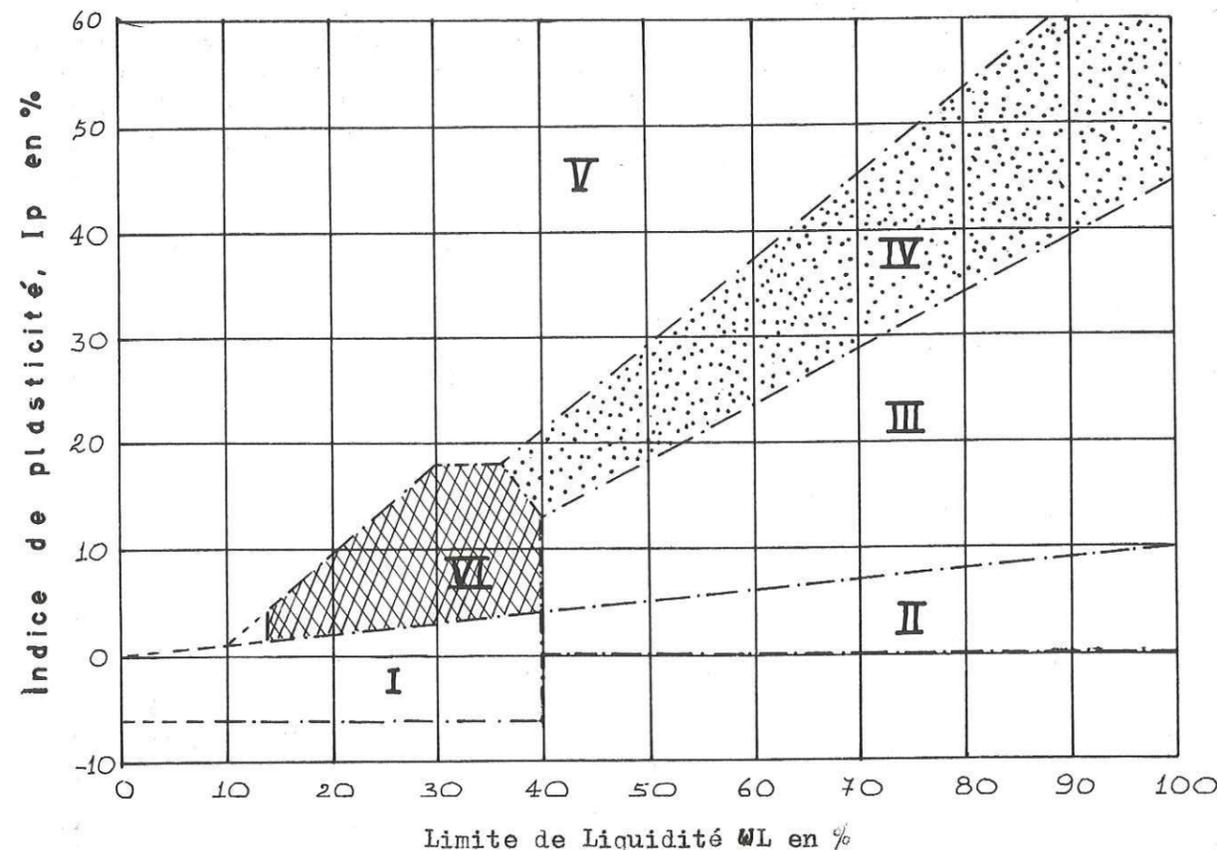
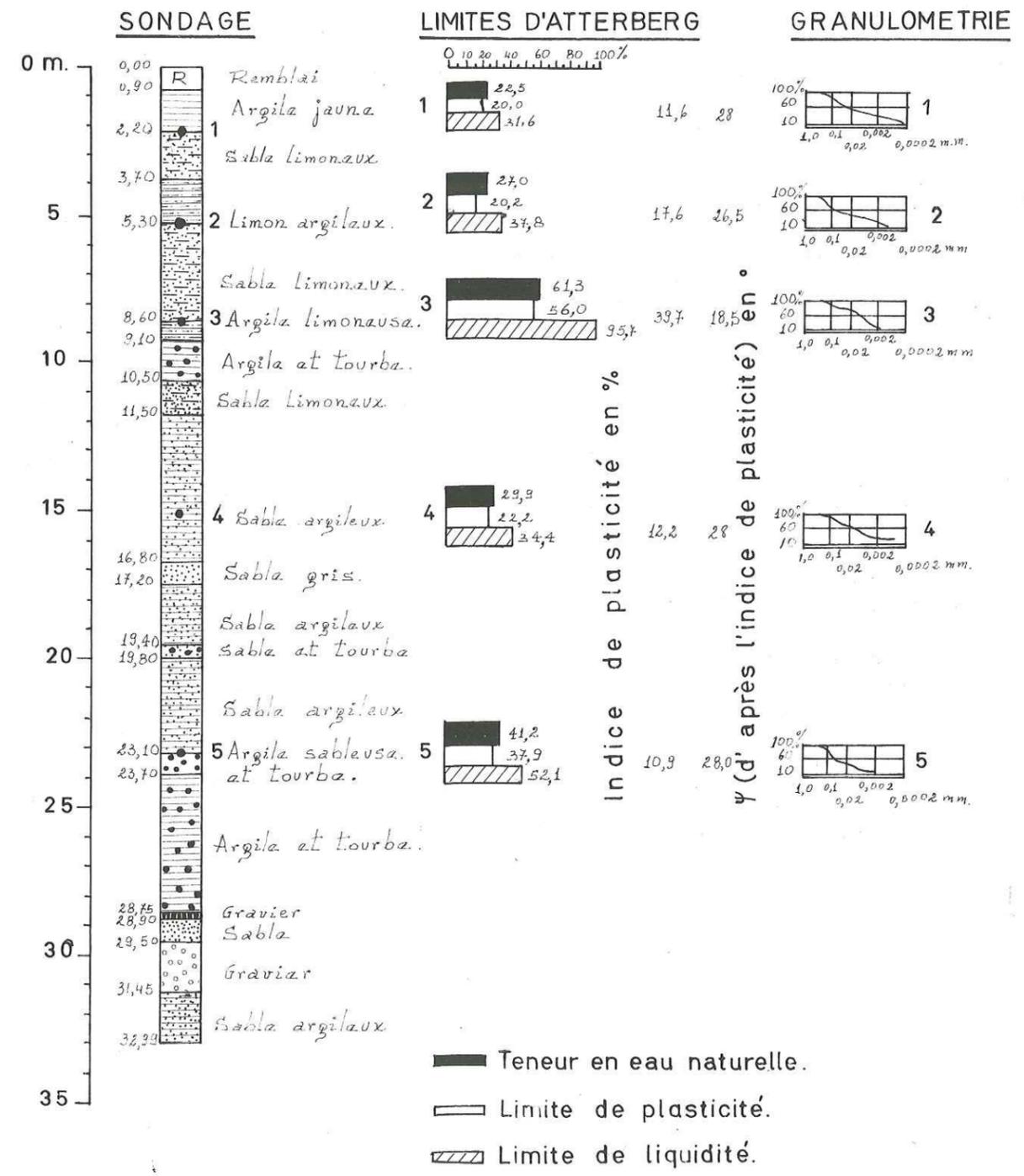


Fig. 6. - DIAGRAMME D'HOGENTOGLER

Zône I: Sol pulvérulent, plasticité relative nulle ou négative.  
 Zone II: Sol friable, plasticité relative très faible.  
 Zone III: Sol peu plastique, plasticité relative faible.  
 Zone IV: Sol moyennement plastique, plasticité relative moyenne.  
 Zone V: Sol très plastique, plasticité relative forte.  
 Zone VI: Indétermination.

Fig. 7 - COUPE DE SONDAGE



■ Teneur en eau naturelle.  
 □ Limite de plasticité.  
 ▨ Limite de liquidité.

6. - CLASSIFICATION DE L'U. S. B. P. R.

La classification de l'U. S. Bureau of Public Roads, range les sols du point de vue de leurs aptitudes comme sols de fondations de routes, comme par exemple : stabilité sous la charge des véhicules et comportement sous l'effet du gel et de l'imbibition. Elle ne s'applique qu'aux sols passant au tamis ASTM n° 10 (2 mm).

Sous une première forme, la classification partageait les sols en deux groupes A et B. Le groupe A comprenait les sols susceptibles de donner un support continu à la chaussée alors que le groupe B comprenait les sols ne donnant pas de support continu à la chaussée.

Les exigences des routes modernes ayant fait abandonner le groupe B, seul le groupe A est resté et la dénomination A n'a pas d'autre sens.

Le groupe A est divisé en huit sous-groupes notés de A1 à A8. Le tableau XIII résume les caractéristiques des groupes de sols ainsi que leur comportement. Comme on peut le constater, cette classification est basée sur la granulométrie et les propriétés plastiques. Elle ne tient pas compte des propriétés mécaniques des sols ni de l'effet de mises en charges répétées et d'effets dynamiques.

Les groupes de la classification de l'U. S. B. P. R. reflètent certaines propriétés physiques et mécaniques importantes. Par exemple, les groupes A1, A2 et A3 ont des angles de frottement élevés. Correctement mis en œuvre, ils doivent pouvoir donner une fondation résistante.

Les sols du groupe A1 donnent des remblais stables et sont susceptibles de tassements négligeables. Les sols du groupe A2 sont plus sensibles à l'action de l'humidité que les sols du groupe A1 parce qu'ils ont une fraction fine de moins bonne qualité.

Les sols du groupe A3 ont peu de grains < 0,005 mm et ont donc peu de cohésion. Par contre, ils subissent peu de retrait et ne sont pas plastiques.

Les sols du groupe A4 sont des silts, c'est-à-dire des sols classés par leur granulométrie dans les limons mais sans propriétés plastiques. Ils ont peu de frottement et peu de cohésion. Généralement, on considère qu'ils sont sensibles au gel et qu'ils ne résistent pas sous des revêtements flexibles.

Les sols du groupe A5 ont des angles de frottement de valeurs variées et sont peu compacts, déformables et élastiques. Ils sont également sensibles au gel.

Le groupe A6 est celui des argiles. Ses propriétés sont proches de celles du groupe A5 mais sans élasticité.

Le groupe A7 est celui des argiles élastiques. Les groupes A6 et A7 rassemblent des sols ayant des propriétés plastiques.

Le groupe A8 est celui des tourbes, lignites et autres sols organiques. Ils ont des angles de frottement faibles et peu de cohésion. Ils sont mous et très compressibles et ne peuvent servir de base à des chaussées sans stabilisation préalable.

Pour tenir compte de ces éléments, la classification de l'U. S. B. P. R. a été revue. La classification qui en est dérivée est celle de la Public Roads Administration, représentée par le tableau XIV. Il y a lieu de faire quelques remarques supplémentaires concernant ce tableau :

1. - Si l'on désire mettre un revêtement mince flexible sur un sol A1, l'indice de plasticité et la limite de liquidité ne doivent pas dépasser respectivement 6 et 25.
2. - Le groupe A4 est très sensible au gel.
3. - Les groupes A5 et A6 ne conviennent pas pour les chaussées minces flexibles.

TABLEAU XIII

CLASSIFICATION DE L'U. S. BUREAU OF PUBLIC ROADS

(d'après J. BATEMAN)

Groupe	Sols considérés	Caractéristiques	Propriétés
A1	Granulométrie continue Sable, silt ou argile Bon liant	Frottement élevé Cohésion élevée Pas de retrait, gonflement, capillarité ou élasticité nuisibles.	Très stable sous les charges de roues quelles que soient les conditions d'humidité. Peut être simplement traité en surface.
A2	Matériau grossier et fin. Granulométrie discontinue ou mauvais liant.	Frottement et cohésion élevés dans certaines conditions seulement il peut y avoir des retraits, gonflements, capillarité ou élasticité nuisibles	Très stable dans des conditions relativement sèches. Susceptible de se ramollir sous l'effet des précipitations ou des remontées capillaires ou de devenir poussiéreux et sans consistance dans des conditions de sécheresse complète.
A3	Sable sans liant	Frottement élevé. Pas de capillarité ou d'élasticité nuisibles	Manque de stabilité sous les charges de roues mais n'est pas affecté par les conditions d'humidité. Insensible au gel. Bon support pour les chaussées flexibles d'épaisseur modérée et pour les chaussées rigides peu épaisses
A4	Silts sans cohésion Peu d'argile colloïdale	Frottement variable Pas de cohésion. Pas d'élasticité ; capillarité importante	A tendance à absorber beaucoup d'eau et à perdre sa stabilité. Sec ou légèrement humide présente une surface ferme peu élastique. Susceptible de provoquer des fissures dans les chaussées rigides par effet de gel et dans les chaussées souples par manque de résistance.
A5	Silts micacés et diatomés et sables	Semblable à A4 mais avec de l'élasticité	Semblable à A4 mais remonte après enlèvement des charges, même à sec. Difficile à compacter à cause de l'élasticité.
A6	Argiles cohérentes	Peu de frottement, cohésion élevée à faible teneur en eau Pas d'élasticité. Susceptible de gonfler ou d'avoir du retrait nuisible	Dans l'état compact raide ou légèrement plastique est susceptible d'absorber de l'eau, s'il est manipulé. Peut atteindre l'état liquide et remonter dans les interstices de la chaussée ou provoquer la rupture de hauts remblais. Ne constitue un bon support que s'il est compacté dans l'état raide ou légèrement plastique. Susceptible de provoquer des fissures sous l'effet de cycles d'humidité.
A7	Argiles micacées diatomées ou flocculées. Peuvent contenir du calcaire ou des composés susceptibles de flocculer.	Semblable à A6 mais avec de l'élasticité	Semblable à A6 mais à certaines teneurs en eau se déforme rapidement sous les charges et remonte appréciablement comme le groupe A5. Les cycles d'humidité produisent encore plus de dégâts que pour le groupe A6.
A8	Tourbes et sols organiques.	Peu de frottement. Peu de cohésion. Susceptibles de gonfler ou d'avoir du retrait nuisible.	Très mou. Incapable de supporter une chaussée sans avoir été compacté au préalable.

TABLEAU XIV

CLASSIFICATION DE LA PUBLIC ROADS ADMINISTRATION

Propriétés ou caractéristiques	A 1	A 2	
		Friable	Plastique
Propriétés générales de stabilité	Très stable dans toutes les conditions	Stable à sec Peut raviner	Bon Matériau stable
Constantes physiques et mécaniques. Frottement interne Cohésion Retrait	Elevé Elevé Pas nuisible	Elevé Faible Peu importante	Elevé Elevé Nuisible à granulométrie serrée.
Gonflement Capillarité Elasticité	Nul Nulle Nulle	Nul Nulle Nulle	Très faible Très faible Très faible
Caractéristiques granulométriques	Granulométrie étendue Excellent liant	Granulométrie discontinue Mauvais liant	Granulométrie discontinue Très mauvais liant
Pourcentages granulométriques Sable (%) Limon (%) Argile (%)	70 - 85 10 - 20 5 - 10	55 - 80 0 - 45 0 - 45	55 - 80 0 - 45 0 - 45
Caractéristiques physiques wL Ip ws	14 - 35 4 - 9 14 - 20	≤ 35 0 - 3 15 - 25	≤ 35 3 - 15 ≤ 25
Caractéristiques de compactage γ <sub>d</sub> max (T/m <sup>3</sup> ) w <sub>opt</sub> (%) γ <sub>d</sub> /γ <sub>d</sub> max. réalisé en chantier Utilisation pour des remblais inférieurs à 15 m Utilisation pour des remblais supérieurs à 15 m Epaisseur de chaussée (cm)	≥ 2,1 9 90 Excellent Bon 0 - 15	1,9 - 2,1 9 - 12 90 Bon Bon à moyen 0 - 15	1,9 à 2,1 9 à 12 90 Bon Bon à moyen 5 - 20

... (d'après H. ALLEN)

A3	A4	A5	A6	A7	A8
Support idéal s'il est maintenu	Satisfaisant à sec. Perte de stabilité sous humidité ou gel	Difficile à compacter. Stabilité douteuse.	Bonne stabilité lorsqu'il est bien compacté	Bonne stabilité lorsqu'il est bien compacté	Incapable de supporter.
Elevé Nulle Peu importante	Variable Variable Variable	Variable Faible Variable	Faible Elevée Nuisible	Faible Elevée Nuisible	Faible Faible Nuisible
Faible Faible Nulle	Variable Nuisible Variable	Elevée Elevée Nuisible	Elevée Elevée Nulle	Nuisible Elevée Elevée	Nuisible Nuisible Nuisible
Matériau grossier seul. Pas de liant	Sable fin Sils sans cohésion et argiles friables	Micacées et diatomées	Argile cohérente et défloculée	Argile floculée drainante	Tourbes et sols organiques
75 - 100 0 - 10	≤ 55 Beaucoup Peu	≤ 55 Moyennement Peu	≤ 55 Moyennement ≥ 30	≤ 55 Moyennement ≥ 30	≤ 55 Peu importante
0 0 Peu déterminante	20 - 40 0 - 15 20 - 30	≥ 35 0 - 60 30 - 120	≥ 35 18 6 - 14	≥ 35 ≥ 12 10 - 30	35 - 400 0 - 60 30 - 120
1,9 à 2,1 9 à 12 90 Bon Bon à moyen 0 - 15	1,75 - 1,9 12 - 17 95 Bon à mauvais Moyen à mauvais 22 - 46	1,3 à 1,6 22 à 30 100 Mauvais à faible Moyen à mauvais 22 - 61	1,3 à 1,75 17 à 28 100 Moyen à mauvais Très mauvais 30 - 61	1,3 à 1,75 17 à 28 100 Moyen à mauvais Très mauvais 30 - 61	Impossible Impossible

7. - CLASSIFICATION DE L'AASHO

Le système de classification de l'American for State Highway Official est dérivé de celui de la Public Roads Administration.

a) - Méthode de classification

La classification de l'AASHO est basée sur l'analyse granulométrique, la limite de liquidité et l'indice de plasticité.

Le tableau XV résume la classification. En ce qui concerne l'utilisation de ce tableau, il y a lieu de faire les remarques suivantes :

1. - Lorsqu'on est en possession des résultats d'essais nécessaires pour le classement, on examine les groupes de gauche à droite en procédant par éliminations successives. Le premier groupe, le plus à gauche est le groupe recherché.
2. - L'indice de plasticité du sous-groupe A7-5 est wL-30.  
L'indice de plasticité du sous-groupe A7-6 est wL-30.
3. - L'indice de groupe est calculé par la méthode exposée ci-après. Habituellement on le note entre parenthèses après le symbole du groupe. Par exemple : A2-6 (3) ou A7-5 (17).

b) - Méthode des indices de groupe

Cette méthode, purement empirique a été mise au point par le "HIGHWAY RESEARCH BOARD" aux Etats-Unis. Elle se propose de définir la portance d'un sol en partant des essais d'identification de celui-ci.

On calcule un indice de groupe Ig à partir des résultats des essais suivants : analyse granulométrique, limite de liquidité wL et indice de plasticité Ip :

$$I_g = 0,2a + 0,005a.c + 0,01bd$$

où a, b, c et d ont des définitions suivantes :

- 1) soit x le pourcentage du sol passant au tamis de 74 microns (en France 80 microns).

$$\begin{aligned} \text{si } x < 35 & a = 0 \\ \text{si } 35 < x < 75 & a = x-35 \\ \text{si } x > 75 & a = 40 \end{aligned}$$

- 2) x ayant la même définition que ci-dessus,

$$\begin{aligned} \text{si } x < 15 & b = 0 \\ \text{si } 15 < x < 55 & b = x-15 \\ \text{si } x > 55 & b = 40 \end{aligned}$$

- 3)

$$\begin{aligned} \text{si } wL < 40 & c = 0 \\ \text{si } 40 < wL < 60 & c = wL - 40 \\ \text{si } wL > 60 & c = 20 \end{aligned}$$

- 4)

$$\begin{aligned} \text{si } I_p < 10 & d = 0 \\ \text{si } 10 < I_p < 30 & d = I_p - 10 \\ \text{si } I_p > 30 & d = 20 \end{aligned}$$

L'indice de groupe, calculé est arrondi au nombre entier le plus proche. Par exemple, pour un sol tel que :

$$x = 45 \quad wL = 45 \quad I_p = 15$$

on trouve :

$$\begin{aligned} a &= 10 \\ b &= 30 \\ c &= 5 \\ d &= 5 \end{aligned}$$

TABLEAU XV - CLASSIFICATION DE L'AASHO

Classification générale	Matériaux granuleux Passant N° 200 (74 μ) ≤ 35 %				Matériaux limo-argileux Passant N° 200 (74 μ) > 35 %				
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A7-5 A7-6	
Classification par groupes	A1a	A2-4	A2-5	A2-6	A2-7	A4	A5	A6	A7
Analyse granulométrique, pourcentage de passant :	≤ 50 ≤ 30 ≤ 15	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 36	≤ 36	≤ 36	≤ 36
Caractéristiques de la fraction passant par le tamis N° 40	≤ 6	≤ 40 ≤ 10	≥ 41 ≤ 10	≤ 40 ≥ 11	≥ 41 ≥ 11	≤ 40 ≤ 10	≥ 41 ≤ 10	≤ 40 ≥ 11	≥ 41 ≥ 11
Indice de groupe	0	0	0	≤ 4	≤ 8	≤ 12	≤ 16	≤ 20	
Type habituel de matériaux caractéristiques du groupe	Pierrailles, graviers et sables	Sable fin	Graviers et sables limoneux ou argileux	Sols limoneux	Sols argileux				
Comportement général	Excellent à bon	Moyen à faible							

d'où  $I_g = 0,2 \times 10 + 0,005 \times 10 \times 5 + 0,01 \times 30 \times 5 = 3,75$  soit 4. L'indice de groupe est un nombre variant de 0 à 20, les plus faibles indices de groupe correspondent aux meilleurs sols.

Le calcul de l'indice de groupe est facilité par l'utilisation des abaques de la figure 8. L'abaque n° 1 sert à déterminer la portion de l'indice de groupe qui dépend du passant n° 200 et de la limite de liquidité. L'abaque n° 2 sert à déterminer la portion de l'indice de groupe qui dépend du passant n° 200 et de l'indice de plasticité. L'indice de groupe est la somme des valeurs obtenue par les deux abaques.

L'indice de groupe peut servir, d'une part, à préciser la classification des sols, d'autre part à évaluer les épaisseurs des couches de fondations de chaussées.

Comme l'a indiqué M. PELTIER, cette méthode d'évaluation, imaginée par l'ingénieur américain STEELE, est présentée par lui-même avec des réserves.

"Toutes les méthodes d'identification actuelles du sous-sol présentent des insuffisances et on court le risque que les tables ou les courbes d'épaisseur soient utilisées telles quelles, sans tenir compte des conditions locales et du comportement des revêtements. Il est recommandé de bien examiner ces conditions locales, ce qui exige de l'ingénieur une expérience et une habileté qu'aucune table ou courbe ne saurait remplacer".

c) - Description des groupes de la classification A.T.A.S.H.O.

1. - Sols A-1

Les sols A-1 sont des mélanges à granulométrie étalée avec un mortier ou liant non plastique ou faiblement plastique ; ils comprennent donc des mélanges de fragments de pierres ou graviers, de sable et de fines.

2. - Sols A-3

Le matériau type des sols A-3 est le sable fin des plages et des déserts sans fines argileuses ou limoneuses. Ce groupe comprend aussi les sables fins de rivière à granulométrie serrée. La caractéristique principale de ces sols est qu'ils ne présentent pas de plasticité.

3. - Sols A-2

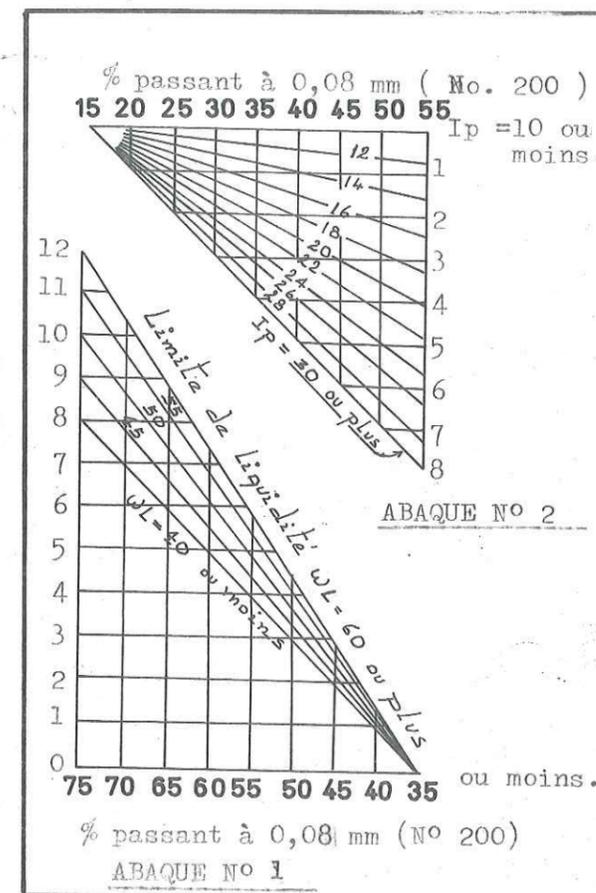
Ils comprennent tous les matériaux dont le tamisage au tamis n° 200 atteint tout au plus 35 %, et qui ne peuvent être classés A-1 ou A-3, à cause de leur teneur en "fines", ou de leur plasticité.

Les sous-groupes A-2-4 et A-2-5 comprennent divers matériaux granulaires dont 35 % tout au plus passent le tamis n° 200. Ces sous-groupes renferment des matériaux tels que le gravier ou le gros sable avec limon.

Les sous-groupes A-2-6 et A-2-7 comprennent des matériaux semblables à ceux décrits dans les sous-groupes A-2-4 et A-2-5, sauf que la proportion d'argile plastique qu'ils contiennent a les caractéristiques des groupes A-6 et A-7. Les indices de groupe variant de 0 à 4. Certains sols du groupe A-2 sont sensibles au gel.

3. - Sols A-4

Le matériau type de ce groupe est un limon de plasticité faible ou nulle comportant 75 % ou plus de passant au tamis n° 200. Ce groupe comprend des mélanges de limon fin, et jusqu'à 64 % de sable et de gravier retenus au tamis n° 200. L'indice de groupe diminue de 8 à 1.



L'indice de groupe est la somme des lectures sur les échelles verticales des deux graphiques à dessus.

Fig. 8 ABAQUES DE LA METHODE DES INDICES DE GROUPES.

5. - Sols A-5

Ce matériau est semblable à celui décrit au groupe A-4, mais il est généralement composé de matériau provenant de diatomées ou de mica. Présente des propriétés élastiques considérables, et une faible stabilité. L'indice de groupe varie de 1 à 12.

6. - Sols A-6

Le matériau type de ce groupe est une argile plastique dont plus de 75 % traverse le tamis n° 200. Ces matériaux subissent des variations de volume importantes en passant de l'état sec à l'état humide et vice versa. Les indices de groupe varient de 1 à 16. Par temps sec, ces sols sont caractérisés par des fissures de retrait.

7. - Sols A-7

Le matériau type de ce groupe est semblable à celui décrit au groupe A-6 sauf qu'il présente les caractéristiques de haute limite de liquidité du groupe A-5 et peut être élastique et sujet à un gonflement important. Les indices de groupe varient de 1 à 20.

Le sous-groupe A-7-5, indice de plasticité modéré par rapport à la limite de liquidité. Ces sols peuvent être très élastiques et sujets à des changements de volume considérables.

Le sous-groupe A-7-6, indice de plasticité élevé par rapport à la limite de liquidité. Ils sont sujets à des changements de volume très importants.

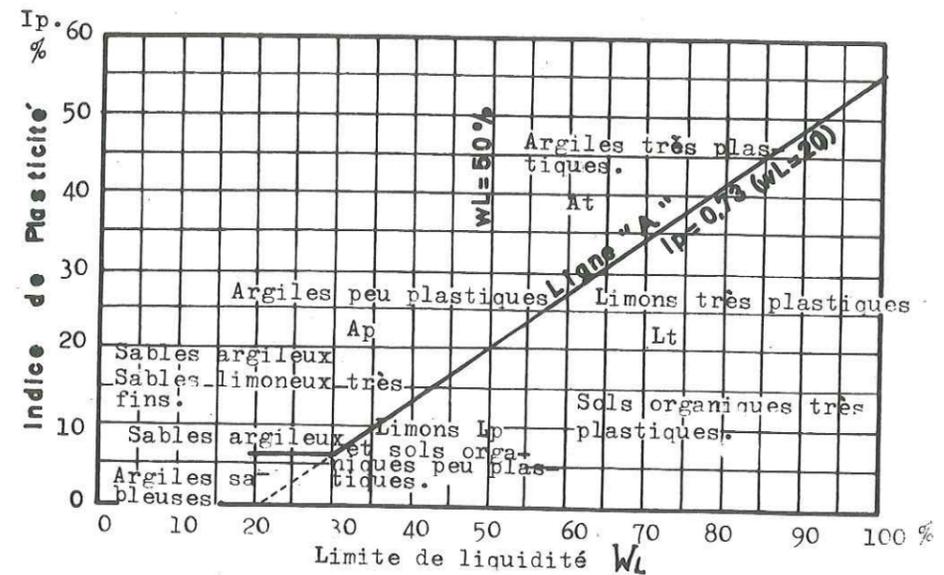
8. - CLASSIFICATION UNIFIEE DES ETATS-UNIS

Cette classification issue de celle de CASAGRANDE, représentée à la figure 9 a été adoptée par l'U. S. Corp. of Engineers et par l'U. S. Bureau of Reclamations.

Le système de classification unifié se base sur la classification granulométrique et sur la limite  $w_L$ , et l'indice de plasticité  $I_p$ . Les éléments essentiels de ce système sont donnés dans le tableau XVI, tous les sols sont classés en 15 groupes, chaque groupe étant désigné par deux lettres qui sont les abréviations de certaines caractéristiques des sols :

- G : gravier
- S : sable
- M : sols fins non plastiques ou de faible plasticité
- C : sols fins plastiques
- Pt : tourbe, humus, sols marécageux
- O : organiques
- W : granulométrie continue
- P : granulométrie discontinue
- L : faible limite de liquidité
- H : haute limite de liquidité.

Elle est complétée par la position des sols dans un abaque de plasticité (fig. 10). Les qualités constructives des groupes de sols sont données au tableau XVII.



Classification de laboratoire des sols fins par les limites d'ATTERBERG ( D'après CASAGRANDE )

Fig. 9. CLASSIFICATION DE CASAGRANDE.

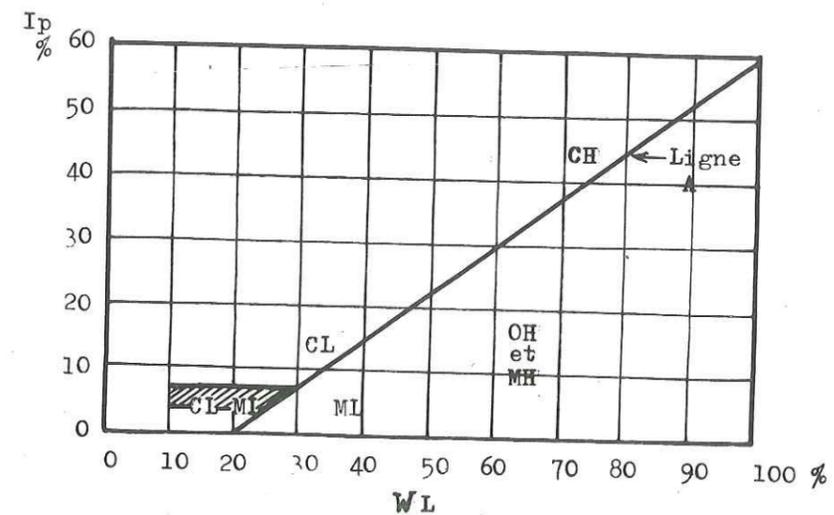


Fig. 10. ABAQUE DE PLASTICITE DE LA CLASSIFICATION UNIFIEE.

TABLEAU XVI - CLASSIFICATION UNIFIEE DES SOLS AVEC APPRECIATIONS POUR LES ROUTES ET AERODROMES

(d'après Waterways Experiment Station).

Divisions importantes		Symboles	Dénomination	Valeur comme plate-forme sans effet de gel	Valeur comme sous-fondation sans effet de gel	Valeur comme fondation sans effet de gel	Effets du gel	Caractéristiques de drainage	
Sols à grains grossiers	Graviers et sols graveleux	GW	Graviers ou mélanges graviers sables à granulométrie étalée. Peu ou pas de fines	Excellent	Excellent	Bon	Aucun ou très faibles	Excellents	
		GP	Graviers ou mélanges graviers sables à granulométrie étroite. Peu ou pas de fines	Bon à excellent	Bon	Médiocre à bon	Aucun ou très faibles	Excellents	
		GM	D	Graviers silteux. Mélanges gravier - sable - silt.	Bon à excellent	Bon	Médiocre à bon	Faibles à moyens	Quelconques à mauvais
					U	Bon	Médiocre	Mauvais à très mauvais	Faibles à moyens
		GC	Gravier sableux, mélanges gravier, sable, argile	Bon	Médiocre	Mauvais à très mauvais	Faibles à moyens	Mauvais à pratiquement imperméables	
	Sables et sols sableux	SW	Sables ou sables graveleux à granulométrie étalée. Peu ou pas de fines	Bon	Médiocre à bon	Mauvais	Nuls à faibles	Excellents	
		SP	Sables ou sables graveleux à granulométrie étroite. Peu ou pas de fines	Médiocre à bon	Médiocre	Mauvais à très mauvais	Nuls à faibles	Excellents	
		SM	D	Sables silteux, mélanges sables - silt	Médiocre à bon	Médiocre à bon	Mauvais	Faibles à élevés	Médiocres à mauvais
					U	Médiocre	Mauvais à médiocre	Très mauvais	Faibles à élevés
		SC	Sables argileux. Mélanges sable - argile	Mauvais à médiocre	Mauvais	Très mauvais	Faibles à élevés	Mauvais à pratiquement imperméables	
Sols à grains fins	Silt et argiles dont $w_L < 50$	ML	Silt inorganiques et sables très fins, mouture de roche, sables fins silteux ou argileux avec légère plasticité	Mauvais à médiocre	Très mauvais	Très mauvais	Moyens à très élevés	Médiocres à mauvais	
		CL	Argiles inorganiques à plasticité faible à moyenne. Argiles	Mauvais à médiocre	Très mauvais	Très mauvais	Moyens à élevés	Pratiquement imperméables	
		OL	Silt organiques et argiles silteuses organiques de faible plasticité.	Mauvais	Très mauvais	Très mauvais	Moyens à élevés	Mauvais	
	Silt et argiles dont $w_L < 50$	MH	Silt inorganiques, Sols sableux fins micacés ou diatomés et silteux. Silt élastiques	Mauvais	Très mauvais	Très mauvais	Moyens à très élevés	Médiocres à mauvais	
		CH	Argiles inorganiques de plasticité élevée. Argiles grasses	Mauvais à médiocre	Très mauvais	Très mauvais	Moyens	Pratiquement imperméables	
		OH	Argiles organiques de plasticité moyenne à élevée. Silt organiques	Mauvais à très mauvais	Très mauvais	Très mauvais	Moyens	Pratiquement imperméables	
Sols très organiques	Pt	Tourbes et autres sols très organiques	Très mauvais	Très mauvais	Très mauvais	Moyens	Médiocres à mauvais		

a) - DESCRIPTION DES GROUPES DE SOLS

1. - Groupes GW et SW

Ces groupes comprennent des sols graveleux et sableux à granulométrie continue contenant moins de 5 % de fines non plastiques passant le tamis n° 200 (74  $\mu$ ). Dans les régions sujettes au gel, le matériau ne doit pas contenir plus de 3 % de grains plus fins que 0,02 mm.

2. - Groupes GP et SP

Ces groupes sont des graviers et des sables à granulométrie discontinue contenant moins de 5 % de fines non plastiques. Les matériaux de ce dernier type sont parfois appelés à granulométrie à trous ou à marches.

3. - Groupes GM et SM

En général, ces groupes comprennent les graviers et les sables qui contiennent plus de 12 % de fines ayant peu ou pas de plasticité. Points en dessous de la ligne A du diagramme de plasticité. Les sols à granulométrie continue et discontinue y sont inclus. Certains sables et graviers de ces groupes peuvent avoir un liant ou mortier composé d'agent cimentant naturel en proportion telle que le mélange présente peu de gonflements et de retraites. La fraction fine de matériaux non cimentés peut être composée de silts de poudre de roche ayant peu ou pas de plasticité et le mélange ne présentera pas de résistance à sec.

4. - Groupes GC et SC

Ces groupes comprennent des sols graveleux ou sableux avec plus de 12 % de fines ayant une plasticité faible ou élevée. Points situés au-dessus de la ligne A de l'abaque de plasticité. L'uniformité de la courbe granulométrique n'est pas importante. La fraction fine est généralement composée d'argiles.

5. - Groupes ML et MH

Ces groupes comprennent les sols à prédominance de silt de sols micacés et de sols à diatomées. Les sols de ces groupes sont des silts sableux de sols argileux ou des silts inorganiques à plasticité relativement faible.

6. - Groupes CL et CH

Les groupes CL et CH comprennent des argiles avec des limites de liquidité respectivement faibles et élevées. Ce sont principalement des argiles inorganiques.

7. - Groupes OL et OH

Les sols de ces groupes sont caractérisés par la présence de matière organique et comprennent les silts et les argiles organiques. Ils ont une gamme de plasticité correspondant aux groupes ML et MH.

8. - Groupe Pt

Les sols à forte teneur en matières organiques (la tourbe, l'humus, sols marécageux) qui sont très compressibles et ont des caractéristiques de construction indésirables sont classés en un groupe avec le symbole Pt.

Des morceaux de feuilles, d'herbes, de branches ou d'autres matières fibreuses végétales sont des composés communs de ces sols.

9. - Classification limite

Les sols GW, SW, GP, SP sont des matériaux non plastiques et à moins de 5 % dépassant le tamis n°200, tandis que les sols GM, SM, GC et SC ont plus de 12 % dépassant le n° 200. Lorsque ces matériaux à gros grains contiennent entre 5 et 12 % de fines, ils sont classés comme limites et sont désignés par un symbole double tel que GW-GM, etc.

TABLEAU XVII - UTILISATION DES SOLS EN GENIE CIVIL SUIVANT LA CLASSIFICATION UNIFIEE  
(d'après l' U. S. Bureau of Reclamation)

Symboles	Propriétés importantes				Ordre de préférence pour divers usages									
	Perméabilité après compactage	Résistance aux contraintes tangentielles après compactage et saturation	Compressibilité après compactage et saturation	Ouvrabilité comme matériau de construction	Fondations		Remblais			Barrages en terre compactée		Canaux		
					L'écoulement a de l'importance	L'écoulement n'a pas d'importance	Gonflement dû au gel pas possible	Gonflement dû au gel possible	Surfaçage	Barrage homogène	Noyau	Massif de butée	Résistance à l'érosion	Revêtement en terre compactée
GW	perméable	excellente	négligeable	excellente	--	1*	1	1	3	--	--	1	1	--
GP	très perméable	bonne	négligeable	bonne	--	3	3	3	--	--	--	2	2	--
GM	semi-perméable à imperméable	bonne	négligeable	bonne	1	4	4	9	5	2	4	--	4	4
GC	imperméable	bonne à médiocre	très faible	bonne	2	6	5	5	1	1	1	--	3	1
SW	perméable	excellente	négligeable	excellente	--	2	2	2	4	--	--	3 si graveleux	6	--
SP	perméable	bonne	très faible	médiocre	--	5	6	4	--	--	--	4 si graveleux	7 si graveleux	--
SM	semi-perméable à imperméable	bonne	faible	médiocre	3	7	8	10	6	4	5	--	4 si graveleux	5 érosion dangereuse
SC	imperméable	bonne à médiocre	faible	bonne	4	8	7	6	2	3	2	--	5	2
ML	semi-perméable à imperméable	médiocre	moyenne	médiocre	6	9	10	11	--	6	6	--	--	6 érosion dangereuse
CL	imperméable	médiocre	moyenne	bonne à médiocre	5	10	9	7	7	5	3	--	9	3
OL	semi-perméable à imperméable	mauvaise	moyenne	médiocre	7	11	11	12	--	8	8	--	--	7 érosion dangereuse
MH	semi-perméable à imperméable	médiocre à mauvais	élevée	mauvaise	8	12	12	13	--	9	9	--	--	--
CH	imperméable	mauvaise	élevée	mauvaise	9	13	13	8	--	7	7	--	10	8 changement de volume dangereux
OH	imperméable	mauvaise	élevée	mauvaise	10	14	14	14	--	10	10	--	--	--
Pt	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

\* - Les numéros vont en croissant lorsque les qualités et propriétés citées en référence deviennent moins bonnes -

De même, les sols à gros grains ayant moins de 5 % dépassant le tamis n° 200, mais qui ne sont pas librement drainants ou dans lesquels la fraction fine provoque de la plasticité, sont aussi classés comme limites et sont dotés d'un symbole double. Il existe encore un autre type de classification limite, lorsque la limite de liquidité d'un sol à grains fins est inférieure à 29 et que l'indice de plasticité se trouve dans la gamme comprise entre 4 et 7. Ces limites sont indiquées par la zone hachurée de l'abaque de plasticité (fig. 10). Lorsque la limite de liquidité et l'indice de plasticité donnent un point dans cette zone-là, on désigne le sol par un symbole double tel que ML-CL.

#### b) - DEFINITION DES TERMES SILT ET ARGILE

Les termes silt et argile ont été utilisés pour désigner certaines gammes de dimensions de particules du matériau sol. Dans le système unifié, ces termes sont utilisés pour décrire les sols dont les limites d'Atterberg donnent des points au-dessous et au-dessus de la ligne A de l'abaque de plasticité (fig. 10) ; les adjectifs "silteux" et argileux peuvent être utilisés pour décrire les sols dont les limites se trouvent près de la ligne A. Par exemple, un sol argileux dont  $w_L = 40$  et  $I_p = 16$  peut être appelé une argile silteuse.

#### c) - CLASSIFICATION BASEE SUR L'ANALYSE CHIMIQUE

Pour les marnes et les tourbes, seule l'analyse chimique est indicative. Le nom devra être suivi de la teneur en chaux, en humus, etc.. On admet, en général, la dénomination de "marne" pour tout échantillon de sol dont la proportion craie-argile varie de 4 à 0,25, et celle de "tourbe" pour tout échantillon de sol dont la teneur en humus atteint au moins 50 %.

On ne dispose pas actuellement d'un nombre suffisant de résultats d'essais pour définir, avec précision, les limites des teneurs en chaux et en humus.

Comme on l'a montré précédemment, il sera nécessaire, dans certains cas, de faire une analyse chimique de l'argile. On y procédera par la méthode dite rationnelle qui consiste à fractionner l'échantillon en groupes minéralogiques de propriétés voisines. Le principe de cette méthode repose sur les résistances différentes que présentent les divers groupes minéralogiques à l'attaque d'agents chimiques convenablement choisis.

### 9. - CONCLUSION

La classification adoptée dans ce chapitre, basée sur des essais de granulométrie et les limites d'Atterberg a les avantages et les inconvénients suivants :

#### a) - Avantages :

- elle utilise un langage international qui est adopté par d'autres pays ;
- elle est assez complète, et arrive à retenir jusqu'à 15 types de sols ;
- sa représentation est assez simple, deux lettres ou couleurs ;
- le système de classement des sols est assez simple ;
- la terminologie couramment utilisée est connue par l'ingénieur ;
- le langage est clair et concis, sans longues descriptions ni analyses détaillées ;
- son utilisation après quelque temps de pratique est relativement simple ;
- en rapport avec la géologie, géophysique (ou sondages), hydrogéologie, elle donne d'excellents résultats pour le travail de l'ingénieur ;
- chaque système de classification des sols donne des caractéristiques spécifiques différentes - une "utilisation intelligente" de celle-ci, donne une grande amplitude du point de vue caractéristiques typiques des sols ;

- assez grande souplesse pour la confection de C.G. spécifiques ;
- elle permet de classer les sols, dans lesquels la granulométrie autant que la plasticité des éléments fins jouent un rôle.

b) - Inconvénients :

- il faut faire attention aux limites de granulométrie du système utilisé ;
- tous les tableaux, abaques et limites adoptés ne sont pas suffisants. L'expérience du géotechnicien est nécessaire ;
- il faut une certaine pratique pour sa bonne application ;
- pour certains sols la classification basée sur la granulométrie et les limites d'Atterberg, n'est pas suffisante ; il faut des analyses chimiques.

D'après tout ce qui a précédé, nous concluons que :

- les classifications établies sont assez bonnes (elle ne sont pas parfaites), mais nous les considérons comme les plus adéquates ;
- avec ces classifications, on arrive à établir des cartes géotechniques assez complètes ;
- la classification adoptée donne seulement la "nature des sols" - pour leur épaisseur ou les phénomènes qui les affectent, il faut toujours se rapporter à la géologie ;
- nous avons adopté ces classifications pour la confection de notre feuille géotechnique de Serres, parce que nous les considérons comme les plus aptes, et nous les recommandons dans l'avenir.

c) - Classification adoptée dans notre travail

Pour notre travail, nous avons retenu "la classification unifiée des Etats-Unis", qui nous paraissait la plus satisfaisante. Les raisons pour lesquelles nous l'avons choisie sont les suivantes :

- cette classification, qui retient 15 types de sols, était, de notre point de vue, suffisamment complète ;
- elle est adoptée par d'autres pays européens : Allemagne, Suisse, Autriche, France... ; ce qui donne une grande facilité de lecture et d'interprétation de notre carte dans les autres pays ;
- la représentation des sols (symboles), est la même que celle utilisée par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Paris, et l'ingénieur français y est bien habitué ;
- dans la légende, sous chaque symbole (L.C.P.C.), est situé entre parenthèses le symbole correspondant à la classification unifiée des Etats-Unis ;
- pour une meilleure compréhension de notre classification adoptée, voir le tableau XVIII. Voir aussi le tableau XIX (d'après le laboratoire des Ponts et Chaussées de Paris), utilisé du point de vue de l'application aux routes et autoroutes.

TABLEAU XVIII  
CLASSIFICATION DES SOLS

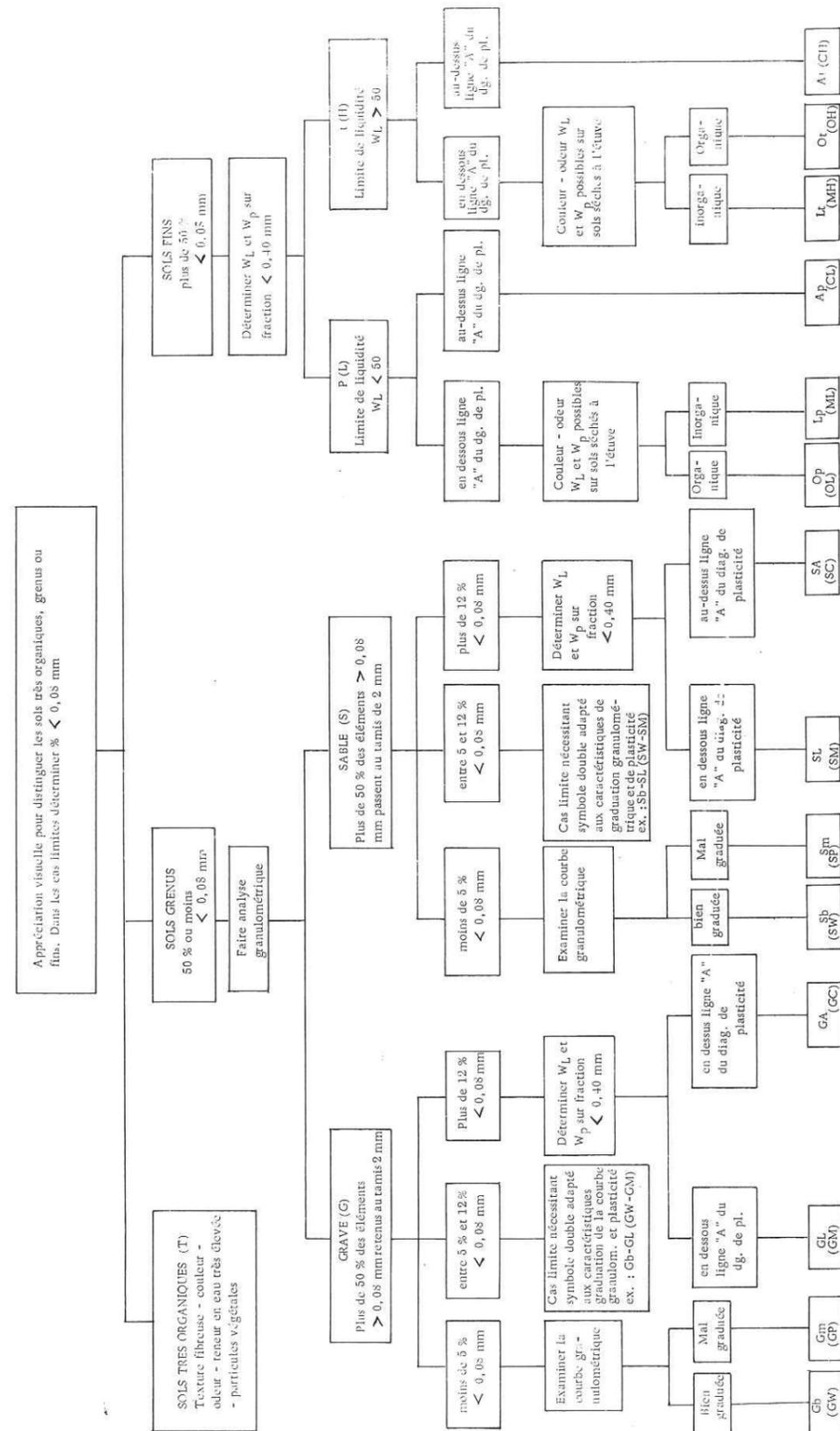


TABLEAU XIX  
(d'après L. C. P. C.)

		Symboles	Dénomination	Sol de fon- dation lorsque l'ac- tion du gel n'est pas à craindre	Couche de fondation lorsque l'ac- tion du gel n'est pas à craindre	Couche de base quand l'action du gel n'est pas à craindre	Géivité	Possibilité de tassement et de gonflement	Caractéristiques drainantes	Engins de compactage	Densité sèche moyenne	C. B. R.	Module de réaction du sol naturel (Kg/cm <sup>2</sup> )	
SOLS GRENUS	graves et sols graveleux	Gb (GW)	Grave ou mélange gravier-sable bien gradué avec peu ou pas de fines	excellent	excellent	bon	aucune ou très faible	aucune	excellentes	Tracteurs à chenilles, rouleaux à pneus - rouleaux lisses	2,00 à 2,22	40-80	7 à 14	
		Gm (GP)	Grave ou mélange gravier-sable mal gradué avec peu ou pas de fines	bon à excellent	bon	passable à bon	aucune ou très faible	aucune	excellentes	Tracteurs à chenilles - rouleaux à pneus - rouleaux lisses	1,76 à 2,22	30-60	7 à 14	
		GL (GM)	Grave limoneuse mélange gravier-sable-limon	id bon	id passable	id médiocre à inutilisable	faible à moyenne id	très faible faible	passable à médiocre médiocre à pratiquement im- perméable	Rouleaux à pneus - à pieds de moutons étroite surveillance Rouleaux à pneus - à pieds de mouton	2,00 à 2,32 1,84 à 2,16	40-60 20-30	id 5 à 14	
		GA (GC)	Grave argileuse mélange gravier-sable-argile	id	id	médiocre à inutilisable	id	id	id	id	id	2,08 à 2,32	20-40	5 à 14
	Sables et sols sableux	Sb (SW)	Sable ou sable graveleux bien gradué peu ou pas de fines	id	passable à bon	médiocre	aucune ou très faible	aucune	excellentes	Tracteurs à chenilles - rouleaux à pneus	1,76 à 2,08	20-40	5 à 10	
		Sm (SP)	Sable ou sable graveleux mal gradué peu ou pas de fines	passable à bon	passable	médiocre à inutilisable	id	id	id	id	1,68 à 2,16	10-40	4 à 10	
		SL (SM)	Sables limoneux mélange sable-limon	id passable	passable à bon médiocre à passable	médiocre inutilisable	faible à élevée id	très faible faible à moyenne	passables à médiocres médiocres à pratiquement im- perméables	Rouleaux à pneus - à pieds de mouton étroite surveillance W Rouleaux à pneus - à pieds de mouton	1,92 à 2,16 1,60 à 2,08	15-40 10-20	4 à 10 3 à 5	
		SA (SC)	Sables argileux mélange sable argile	médiocre à passable	médiocre	id	id	id	id	id	id	1,60 à 2,16	5-20	3 à 5
	SOLS FINS	Limos et argiles à WL > 50	LP (ML)	Limon non organiques et sables très fins - sables fins limoneux ou argileux peu plastiques	id	inutilisable	id	moyenne à très élevée	id	passable à médiocre	Rouleaux à pneus - à pieds de mouton - étroite surveillance W	1,44 à 2,08	15 ou moins	3 à 5
			AP (CL)	Argiles non organiques de plasticité faible à moyenne - argiles graveleuses - argiles sableuses - argiles limoneuses - argiles maigres.	id	id	id	id	moyenne	pratiquement imperméables	Rouleaux à pneus - à pieds de mouton	1,44 à 2,08	15 ou moins	1,5 à 4
Op (OL)			Limos organiques et limon argile organique de faible plasticité	médiocre	id	id	id	moyenne à élevée	médiocres	id	id	1,44 à 1,68	5 ou moins	1,5 à 3
Limos et argiles à WL < 50		Lt (MH)	Limos non organiques - sols sableux fins ou limoneux	id	id	id	id	élevée	passables à médiocres	id	id	1,28 à 1,68	10 ou moins	1,5 à 3
		At (CH)	Argiles non organiques de plasticité élevée - argile grosse	médiocre à passable	id	id	moyenne	id	pratiquement imperméables	id	id	1,44 à 1,84	15 ou moins	1,5 à 4
		Ot (OH)	Argiles organiques de plasticité moyenne à élevée - limons organiques	médiocre à très médiocre	id	id	id	id	id	id	id	1,28 à 1,76	5 ou moins	0,7 à 3
Sols très organiques	T	Tourbe et autres sols très organiques	inutilisable	id	id	faible	très élevée	passables à médiocres	Compactage impossible					

CHAPITRE III

---

METHODOLOGIE ADOPTEE

---

SOMMAIRE

Pages

DEFINITION D'UNE METHODOLOGIE ADAPTEE AUX CONDITIONS IMPOSEES ET LES MOYENS MIS EN OEUVRE

<u>INTRODUCTION</u>	61
1. - <u>HYPOTHESE. DE DEPART</u>	61
1.1 - Conditions existantes	61
- cartes topographiques	61
- carte géologique	61
- photographies aériennes	61
- temps disponible	61
- manque de certains éléments	62
1.2 - Moyens de travail	63
- divers laboratoires	63
- divers appareillages	63
1.3 - Conclusions	63
2. - <u>ESTIMATION DES MOYENS SUSCEPTIBLES D'ETRE MIS EN OEUVRE</u>	63
2.1 - Introduction	63
2.2 - Etude préliminaire	63
2.2 1 - photographies aériennes	63
2.2 2 - cartes géologique et topographique	64
2.2 3 - ...	
2.3 - Essais de laboratoire	64
2.3 1 - granulométrie	64
2.3 2 - limites d'Atterberg	64
2.3 3 - autres limites	64
2.3 4 - conclusions	64
2.4 - Investigations sur le terrain	64
2.4 1 - carte détaillée du Quaternaire	64
- reconnaissance générale	64
- cartographie	64
- prise d'échantillons	65
- certains contrôles des sources et des puits	65
- glissements	65
- tests rapides sur le terrain avec le pénétromètre et le scissomètre de poche	65
- prospection géophysique	65

2.4 2 - Moyens complémentaires	65
2.4 2.1 - prospection sismique	65
- généralités	65
- utilisations	65
- limites	67
- conclusions	67
2.4 2.2 - prospection électrique	67
- généralités	67
- utilisations	69
- limites	69
- conclusions	69
2.4 3 - Conclusions générales de travail avec les appareils sismique et électrique	69
3. - <u>TRAVAIL COMPLEMENTAIRE</u>	70
3.1 - Sismique de réfraction (calcul des épaisseurs)	70
3.1 1 - calcul numérique	70
3.1 2 - utilisation des abaques	70
- dromochroniques	70
- base de départ	70
- normogramme	74
- abaque	75
- exemple avec l'abaque	76
- simplification de calcul	72
3.1 3 - Emploi de calculateur électronique	77
3.1 4 - Comparaison des méthodes du point de vue d'application géotechnique	77
3.1 5 - Conclusions	81
3.2 - La méthode électrique (calcul des résistivités apparentes)	82
- Utilisation de l'abaque	82
- rappel théorique	82
- abaque	83
3.3 - Exemple d'application avec les deux méthodes (sismique et électrique)	84
- valeurs mesurées	84
- valeurs calculées	85
- interprétations	89
4. - <u>RÉCHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE</u>	89
4.1 - Pour l'étude des cartes géotechniques existantes	89
4.2 - Pour l'étude sur la classification géotechnique des sols	89
4.3 - Pour l'adaptation des moyens mis à notre disposition	89
4.4 - Pour l'obtention des données complémentaires pour notre carte géotechnique	90
- météorologie	
- hydrogéologie	
4.5 - Conclusions	90

5. - <u>ETABLISSEMENT DE LA CARTE GEOTECHNIQUE</u>	90
5.1 - Cartes hydrogéologiques - esquisse structurale	90
- Carte lithologique - géophysique - morphologie	
- Carte géotechnique proprement dite	
- Carte des coupes géotechniques	
5.2 - Mémoire explicatif	91
5.3 - Carte topographique au 1/20 000 sans couleurs	
6. - <u>CONCLUSIONS</u>	

DEFINITION D'UNE METHODOLOGIE ADAPTEE AUX CONDITIONS IMPOSEES  
ET LES MOYENS MIS EN OEUVRE

---

INTRODUCTION

La présente thèse a pour but : "L'étude géotechnique du Quaternaire de la région de Serres 7-8".  
Pour expliquer clairement la méthodologie suivie, nous la diviserons en six sous-chapitres, qui sont :

- 1 - Une hypothèse de départ, qui a conditionné la méthodologie à suivre dans notre travail.
- 2 - Les opérations et les moyens mis en œuvre dans le laboratoire et sur le terrain.
- 3 - Les travaux complémentaires.
- 4 - Les recherches bibliographiques.
- 5 - La confection de la carte géotechnique de Serres 7-8.
- 6 - Conclusions.

1. - HYPOTHESE DE DEPART

Dès le début de notre travail les conditions suivantes nous ont été imposées :

- 1 - Conditions existantes
- 2 - Moyens de travail

1.1 - Conditions existantes

- Cartes topographiques :

feuille Serres au 1/50 000

feuilles Serres 7-8, au 1/20 000, publiées par l'Institut Géographique National et utilisées pour la connaissance du fond topographique de la région.

- Carte géologique :

feuille Serres, de la Carte géologique de la France au 1/50 000. Utilisée pour la connaissance du substratum, les données stratigraphiques et tectoniques.

Elle est insuffisante en raison de son échelle pour l'étude détaillée du Quaternaire.

- Photographies aériennes

Publiées par l'Institut Géographique National, elles ont été utilisées pour l'interprétation de la zone de notre travail.

- Temps disponible

En raison de sujétions diverses nous ne disposons que d'une année pour ce travail.

J'indiquerai ci-dessous le programme de travail prévu au début de l'année - août 1969, (ligne pointillée) et le programme suivi pendant notre travail (ligne continue) par rapport au temps.

ACTIVITES	1969				1970											
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Initiation au sujet proposé	[Dotted line from Aug 1969 to Sep 1969]															
Observation du terrain	[Dotted line from Aug 1969 to Sep 1969]															
Détermination du travail spécifique	[Dotted line from Aug 1969 to Sep 1969]															
Préparation de la documentation pour la thèse	[Dotted line from Aug 1969 to Sep 1969]															
Travail sur le terrain	[Solid line from Aug 1969 to Sep 1969; Dotted line from Oct 1969 to Dec 1969; Solid line from Jan 1970 to Jun 1970]															
Travail en laboratoire	[Dotted line from Oct 1969 to Dec 1969; Solid line from Jan 1970 to Jun 1970]															
Elaboration des cartes	[Dotted line from Aug 1969 to Sep 1969; Solid line from Oct 1969 to Jun 1970]															
Exploitation de la bibliographie	[Dotted line from Aug 1969 to Sep 1969; Solid line from Oct 1969 to Jun 1970]															
Travail de vérification sur le terrain	[Dotted line from Aug 1969 to Sep 1969; Solid line from Oct 1969 to Jun 1970]															
Révision générale du travail effectué	[Dotted line from Oct 1969 to Dec 1969; Solid line from Jan 1970 to Jun 1970]															
Correction de la thèse	[Dotted line from Oct 1969 to Dec 1969; Solid line from Jan 1970 to Jun 1970]															
Impression de la thèse	[Dotted line from Oct 1969 to Dec 1969; Solid line from Jan 1970 to Jun 1970]															
Présentation de la thèse	[Dotted line from Oct 1969 to Dec 1969; Solid line from Jan 1970 to Jun 1970]															

Le programme de mon travail est en retard d'un mois et demi. Ceci est dû au manque de bibliographie suffisante sur la géotechnique et à la difficulté à écrire le français. Un hiver particulièrement long a rendu plus difficile notre travail sur le terrain.

D'un autre côté, il y a certains éléments qui nous ont fait défaut :

- les sondages mécaniques. Dans la mesure du possible nous avons pallié ce défaut par l'emploi de la géophysique ;
- l'absence de données précises sur les caractéristiques mécaniques des sols de la région ;
- des puits en nombre suffisant pour connaître le niveau de la nappe aquifère ;
- d'une station météorologique dans notre région ;
- d'une carte topographique au 1/20 000 imprimée uniquement en noir et blanc.

### 1.2 - Moyens de travail

Pour notre travail, nous avons utilisé :

- le laboratoire de sédimentologie de l'Institut Dolomieu, Faculté des Sciences de Grenoble, pour les analyses de granulométrie, sédimentologie et calcimétrie ;
- le laboratoire de Mécanique des Sols, de la Faculté des Sciences de Grenoble, pour certaines mesures des propriétés physique des sols ;
- les appareils de géophysique portatifs de l'Institut Dolomieu, pour connaître les vitesses de propagation et les résistivités des couches ;
- une voiture.

### 1.3 - Conclusions

Ces conditions générales nous ont amené à suivre une méthodologie particulière dans ce travail ; pour cette raison nous devons porter notre attention sur :

- l'utilisation la plus efficace des moyens disponibles ;
- la recherche d'un maximum de bibliographie ;
- la supposition que "le substratum est connu et bien cartographié". Il est nécessaire d'indiquer que nous n'aurons pas toujours une carte géologique, et que par conséquent, il serait nécessaire de faire une étude géologique régionale générale sur le substratum, basée surtout sur l'étude spécifique orientée selon l'utilisation à donner à la carte géotechnique ;
- pour notre travail, la carte géologique au 1/50 000, et la carte topographique au 1/20 000 sont suffisantes et assez précises.

## 2. - ESTIMATION DES MOYENS SUSCEPTIBLES D'ETRE MIS EN ŒUVRE

### 2.1 - Introduction

Comme nous l'avons dit dans le sous-chapitre précédent, le but de notre travail est d'établir la "Carte Géotechnique du Quaternaire de la région de Serres (7-8)". Nous nous sommes limités à des zones généralement situées dans les vallées et sur les terrasses, les seules intéressantes sur le plan pratique.

Pour comprendre clairement les opérations mises en œuvre, nous donnerons une explication en trois parties séparées, qui sont les suivantes :

- étude préliminaire
- essais de laboratoire
- investigations sur le terrain.

### 2.2 - Etude préliminaire

2.2.1 - Photographies aériennes, qui ont l'intérêt de nous permettre une observation du terrain comme il se présente en réalité. Leur interprétation est particulièrement intéressante, parce qu'elle nous a permis de préciser la carte géologique du point de vue, surtout "morphologique", c'est-à-dire en fonction des différences de cohésion et de dureté des terrains et non plus en fonction de leur âge.

La végétation et l'humidité apparente du sol, éléments très visibles sur les photos aériennes, nous ont donné de précieux renseignements quant à la nature du substratum. Les photographies utilisées sont celles publiées par l'Institut Géographique National.

2.2 2 - La carte géologique au 1/50 000 et la carte topographique au 1/20 000, décrites dans le sous-chapitre précédent (1.1) qui, en rapport avec les photographies aériennes, nous ont permis de :

- tracer les limites des différents ensembles du terrain, du point de vue de sa morphologie et de sa nature ;
- prévoir la prise d'échantillons ;
- prévoir les sites pour les sondages géophysiques.

Tous les travaux de laboratoire (interprétation des photos aériennes, mesures diverses, etc.) ont été confrontés avec l'observation et l'interprétation sur le terrain.

### 2.3 - Essais de laboratoire

Les essais que nous avons effectués à l'Institut Dolomieu et au laboratoire de Mécanique des Sols, de la Faculté des Sciences de Grenoble, ont eu pour but de connaître certaines propriétés mécaniques des sols. Ce sont :

2.3 1 - la granulométrie, qui a été généralement effectuée par tamisage à l'eau, car la plupart des sols sont mélangés avec d'autres sols grenus et fins. L'essai a été effectué pour connaître la courbe granulométrique établie sur des coordonnées semi-logarithmiques.

- la sédimentométrie, qui a été réalisée pour mieux connaître la courbe granulométrique.

2.3 2 - Les limites d'Atterberg, mesurées sur la fraction de matériau qui a été passée au tamis de 0,40 mm, et qui peut se présenter sous différents états suivant sa teneur en eau.

2.3 3 - Les limites de retrait et calcimétrie, effectuées pour aider à mieux caractériser certaines propriétés des sols. Ces essais ne sont pas strictement nécessaires pour notre travail. Pour cette raison, nous n'en avons fait qu'un petit nombre.

### 2.3 4 - Conclusion

Les essais faits en laboratoire, basés surtout sur la granulométrie et les limites d'Atterberg, nous ont permis de classer la "nature" des sols, du point de vue géotechnique, suivant la classification décrite sur la figure n° 11 du chapitre II. Ces essais sont suffisants et précis pour classer un sol, dans la méthode que nous avons adoptée. Ils ne sont pas compliqués, mais par contre, ils demandent beaucoup de temps et de patience. Avec une pratique assez continue, on peut arriver à classer les sols d'un coup d'œil, mais ce classement ne sera jamais précis. Nous recommandons, pour cette raison, que les essais soient toujours effectués en laboratoire.

### 2.4 - Investigations sur le terrain

Pour bien expliquer les investigations faites sur le terrain, nous les diviserons en deux parties :

- une carte détaillée du Quaternaire,
- les moyens complémentaires.

2.4 1 - Carte détaillée du Quaternaire ; nous avons effectué les opérations suivantes :

- "reconnaissance générale", en vue d'obtenir une idée générale des différentes formations du Quaternaire, et aussi du substratum (terres-noires).

- "cartographie des formations du Quaternaire", dans laquelle nous avons délimité différents ensembles de terrains en fonction de leur nature. Nous avons adopté les subdivisions suivantes :

- terres-noires (substratum),
- altération argileuse de terres-noires,
- coulée boueuse ancienne (épaisseurs > 20 m et < 20 m),
- formations cryo-clastiques,

- argile lacustre,
- glacis,
- terrasses,
- alluvions,
- cailloutis argileux et vieilles surfaces, ainsi que les phénomènes qui les affectent.

- "prise d'échantillons typiques", de chaque ensemble de terrains, pour faire les essais correspondants en laboratoire.

- "certaines contrôles des sources et puits".

- "recherche systématique de glissements", afin d'étudier la fréquence en fonction de formations lithologiques affectées.

- "certaines essais avec le pénétromètre et le scissomètre de poche" sur les argiles pour connaître la résistance à la compression simple, et la résistance au cisaillement de celles-ci. Ces mesures sont très approchées, et n'ont qu'un caractère relatif.

- "prospection géophysique", pour trouver les épaisseurs des couches. Dans les travaux effectués, deux méthodes ont été employées : la sismique de réfraction et l'électrique. Pour notre travail nous avons réalisé 190 sondages dont les plus nombreux ont été faits par la sismique. Nous avons pu interpréter facilement la nature des différents terrains en fonction de la vitesse de propagation des ondes et aussi faire une étude comparative peu approfondie par rapport aux résistivités apparentes de celles-ci, pour les raisons expliquées antérieurement. Ce travail de géophysique marque une phase très importante dans notre travail, et nous l'avons développé en raison de l'inexistence de sondages mécaniques dans la région.

Il faut remarquer d'un autre point de vue qu'une carte géotechnique du Quaternaire ne pourra jamais être bien établie sans une connaissance assez approfondie des épaisseurs des couches, qui généralement doivent dépasser 10 m environ.

2.4 2 - Moyens complémentaires. Les moyens complémentaires utilisés pour l'investigation sur le terrain sont :

- la prospection sismique,
- la prospection électrique,

dont nous parlerons ci-dessous.

### 2.4 2.1 - "Prospection sismique"

#### Généralités :

Pour ce travail, nous avons utilisé l'appareil "Terra-Scout" modèle R-150, fabriqué par la Soil-Test.

L'appareil comporte :

- un "émetteur" d'ondes sismiques, produites par coups de marteau ;
- un "récepteur" constitué par un géophone, qui transforme l'impulsion mécanique due au passage de l'onde, en impulsion électrique ;
- un "enregistreur" qui permet de mesurer le temps pendant lequel les ondes sonores traversent le sous-sol. Il est aussi possible d'observer la forme des ondes transmises à l'aide d'un tube cathodique sur un écran.

La figure n° 11 donne une image de la propagation des ondes dans le sous-sol d'une façon simple, ainsi que les relations entre la distance foyer-émetteur et le récepteur, ainsi que la durée de parcours des trains des ondes.

#### Utilisations

Nous avons utilisé cette méthode pour obtenir :

- les célérités des différents sols par rapport à leur compacité ;
- la forme des dromochroniques qui, dans la plupart des cas, nous a permis de déterminer les épaisseurs des couches, avec une "bonne approximation" dans les conditions d'opération ;
- "la profondeur du substratum" (terres-noires) dans la plupart des cas. La seule exception que l'on a rencontré est dans le glacis, où la profondeur dépasse 12 mètres ;

# PRINCIPE DE LA SISMIQUE REFRACTION.

- ① TERRE VEGETALE.
- ② ROCHE ALTEREE PAR LES INTEMPERIES.
- ③ ROCHE DE FOND.

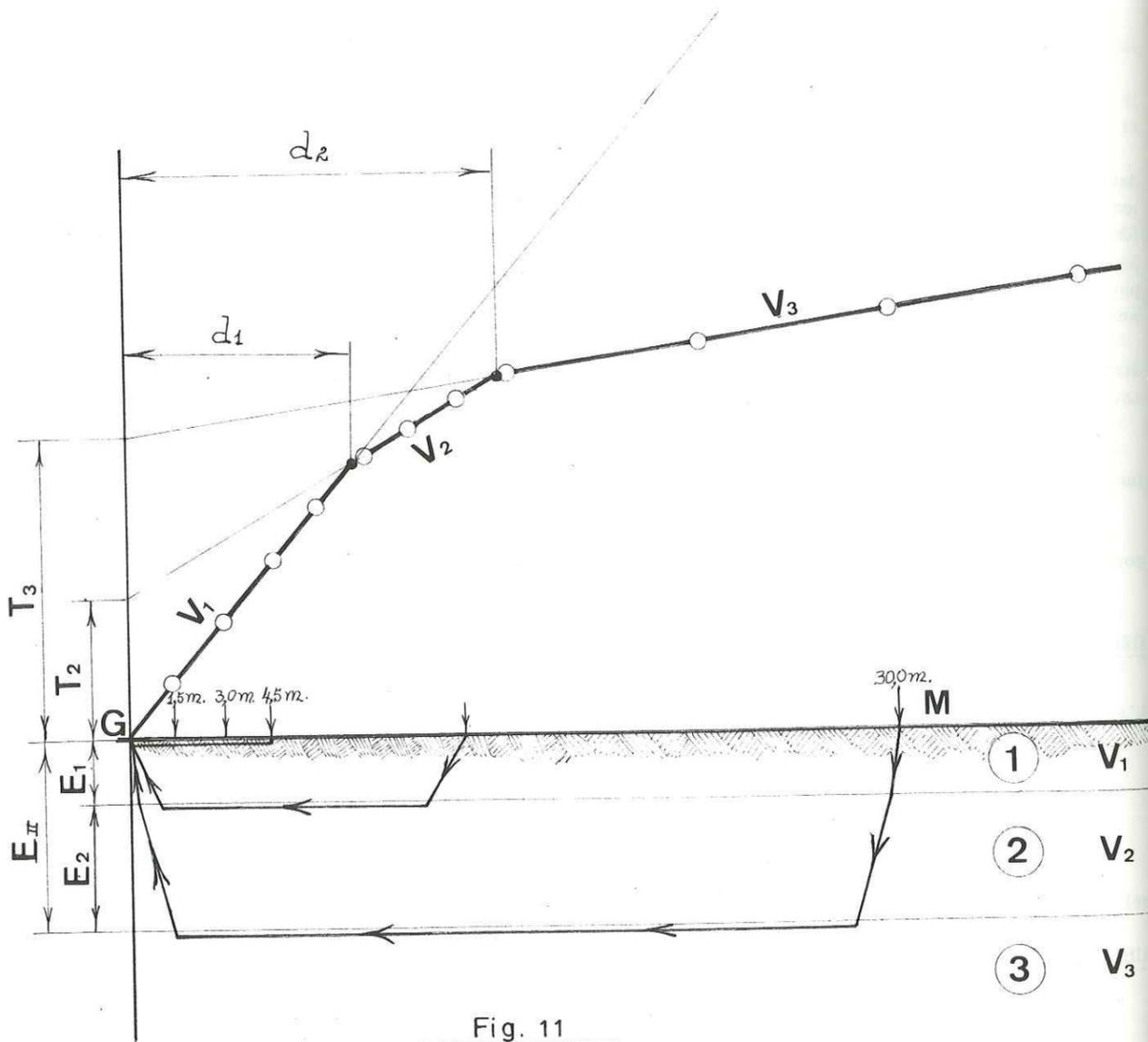


Fig. 11

- la présence d'eau libre dans les graviers ;
- "les vitesses sismiques des roches", qui nous ont permis de déterminer l'aptitude au terrassements, en fonction de la "rippabilité", conformément au tableau XX (d'après Geophysical Specialities Company).

### Limites

Ces limites sont :

- les limites d'exploration sont comprises approximativement entre 20 et 30 % de la longueur du dispositif, ce qui dans notre cas correspondait à des épaisseurs variant entre 8 et 15 m (longueur maximale de ligne de l'ordre de 40 m), ce qui nous amène à dire que la longueur de la ligne utilisée est "relativement courte" mais "suffisante" pour notre travail.
- il n'y a eu généralement que deux ou trois terrains ; s'il y en a plus cela devient un problème difficile pour le calcul des épaisseurs des couches.
- le rôle de la topographie est négligeable dans le travail. Nous avons pris la précaution de faire tous les sondages sur des surfaces topographiques relativement horizontales. En raison de la longueur de la ligne relativement courte, les résultats obtenus sont assez précis. Nous n'avons pas fait de corrections par dénivellation des surfaces.
- l'assimilation à des interfaces horizontales, adoptée dans notre travail est valable. Nous n'avons pas trouvé d'interfaces en pente qui soient remarquables ; la plupart des couches trouvées sont pratiquement horizontales.
- dans le chapitre IV, nous avons inclus quelques exemples des "dromochroniques".

### Conclusion

Comme résultat à l'application de la prospection sismique à notre travail, nous pourrions tirer les conclusions suivantes :

- c'est une méthode non destructive, rapide et peu onéreuse par rapport aux sondages mécaniques, qui permet de connaître les épaisseurs des couches qui ne dépassent pas 15 m de profondeur, ce qui est suffisant pour notre travail ;
- elle permet aussi de connaître la nature des couches, prenant comme base les vitesses de propagation des ondes ;
- elle fournit des résultats plus précis que l'électrique ;
- il faut confectionner la dromochronique sur place, afin de bien interpréter les inégalités ;
- il faut une bonne connaissance de la géologie de la région ;
- en raison de la densité importante de stations de mesure qu'il faut réaliser, ce qui demande beaucoup de temps, nous recommandons, s'il est possible, l'acquisition d'un appareillage portatif à multipistes.

### 2.4 2.2 - "Prospection électrique"

#### Généralités

Pour notre travail nous avons utilisé l'appareil "Strata-Scout", modèle R-40 (Soil-Test). Cette méthode électrique, ou méthode des résistivités a permis de différencier les terrains d'après leur plus ou moins grande conductibilité, en fonction surtout de la teneur en eau du sol. La profondeur explorée a été fonction de la distance que nous avons donnée aux électrodes plantées sur la surface du sol. La distance maximale a été de 94 mètres, mesurée entre A et B. La quantité de courant que l'on injecte dans le sol à l'aide de deux électrodes A et B, dépend des inégalités de conductibilité des terrains sous-jacents. Lorsque la distance entre A et B croît, un terrain plus grand va être intéressé par la circulation du courant, et le calcul des résistivités apparentes donnera une moyenne de résistivités réelles pour des tranches de terrain, de plus en plus épaisses. En portant sur un graphique, les résistivités apparentes en fonction des longueurs de ligne d'émission, nous aurons une image de la répartition des résistivités en profondeur.

TABLEAU XX - RIPPABILITE ET VITESSE SISMIQUE \*

(d'après Geophysical Specialities Company)

Figure n° 12 -

Vitesse d'onde en m/s	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000
Sol aéré		████████											
Argile			████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Moraine			████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Roches ignées				████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Granite				████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Basalte				████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Trapp				████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Roches sédimentaires				████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Ardoise				████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Grès				████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Grès fin				████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Marne				████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Conglomérat				████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Brèches				████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Caliche				████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Calcaire				████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Roches métamorphiques				████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Schiste				████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Quartzite				████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Gneiss				████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Ardoises					████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Minerais						████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Charbons						████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Fer							████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████

Rippable ██████████      Limite du rippable ██████████      Non rippable ██████████

\* - Echelle valable pour un tracteur de 320 C.V. muni d'un ripper hydraulique porté à une dent.  
 Observations des auteurs de ces recommandations :  
 1°) Pour un ripper à une dent monté sur un tracteur de 380 C.V. les chiffres précédents sont à majorer de 10 %  
 2°) Pour un ripper à une dent monté sur un tracteur de 230 C.V., les chiffres sont à diminuer de 15 %.  
 3°) Dans la zone intitulée limite du rippable, l'utilisation du ripper n'est en principe pas rentable.  
 Il est alors recommandé :  
 - Soit de pousser le ripper avec un tracteur auxiliaire.  
 - Soit d'effectuer des tirs légers d'ébranlement qui fissurent la roche à défoncer.

Utilisations

Malheureusement, nous n'avons pas beaucoup pu utiliser la méthode électrique dans notre travail car l'appareil est tombé en panne (une fusée spéciale s'est cassée) ; ceci malgré le fait que nous avons adapté notre travail du point de vue géotechnique.

De toutes façons, nous croyons qu'il est intéressant d'inclure cette étude dans la thèse, en raison du fait que l'on peut envisager son utilisation éventuelle dans l'avenir.

Ainsi cette méthode est utilisée pour :

- connaître les résistivités apparentes des couches, par rapport à leur conductibilité et leur teneur en eau ;
- connaître le graphique des résistivités apparentes du sondage électrique. Celui-ci nous permet de calculer, dans la plupart des cas, les épaisseurs des couches à l'aide des abaques théoriques calculées par la Compagnie Générale de Géophysique (C. G. G.), et aussi d'estimer leur nature ;
- trouver le niveau de la nappe aquifère ;
- aider à résoudre quelques problèmes de la méthode sismique.

Limites

Les limitations de cette méthode sont les suivantes :

- avec le petit matériel utilisé, la profondeur d'investigation maximale est de 25 mètres, ce qui était suffisant ;
- elle permet de fournir des résultats moyennement précis, en raison de la variation de l'eau dans le sous-sol ;
- l'efficacité dépend de l'épaisseur des couches et des contrastes des résistivités ;
- quand la résistivité de la couche à étudier est intermédiaire, entre celle des terrains situés au-dessus et au-dessous d'elle, très souvent, la méthode électrique ne permettra pas de déterminer la nature de cette couche. Il faudra que l'épaisseur soit assez importante pour qu'elle puisse être décelée ;
- dans le cas d'une bi-couche, la méthode peut théoriquement être utilisée sans limites ; il suffit de donner à la ligne A B une longueur suffisante. On sera limité seulement par la puissance de l'appareillage ;
- dans la plupart des cas, la référence aux abaques permettra de savoir si une formation peut être décelée et de choisir la longueur de la ligne A B.

Conclusions

A partir de la méthode électrique nous pourrions mentionner les conclusions suivantes :

- c'est une méthode non destructive et peu onéreuse par rapport aux sondages mécaniques ;
- qui permet de garder des avantages pour la reconnaissance générale ;
- de connaître les résistivités des couches pour le calcul des épaisseurs et l'estimation de leur nature ;
- elle fournit des résultats relativement précis par rapport à la méthode sismique ;
- une bonne connaissance de la géologie de la région est nécessaire pour exécuter le travail ;
- il faut au moins deux personnes pour travailler (éventuellement une seule personne peut travailler).

2.4 3 - Conclusions générales de travail avec les appareils sismique et électrique

D'après les conclusions partielles que nous venons d'établir, on peut tirer certaines conclusions générales suivantes :

- un matériel léger est suffisant pour les besoins de cartographie géotechnique courants ;
- l'économie apportée par l'utilisation des deux méthodes dans la reconnaissance de notre région a été substantielle. Ces méthodes d'investigation ont été indispensables pour mener à bien des études postérieures, dans des délais convenables, et moyennant des frais minimes ;
- elles permettront de réduire de façon notable le nombre de sondages mécaniques, en donnant des renseignements de continuité entre les forages, qui pourront dès lors être moins nombreux ;
- l'utilisation des deux méthodes sur le terrain a été assez rapide, le travail réduit au minimum (deux personnes ont été suffisantes) ;
- le rôle de la topographie est négligeable. L'assimilation des limites des couches à des interfaces horizontales était ici valable, en raison tout à la fois des longueurs de lignes assez courtes employées et de la faible pente des interfaces naturelles ;
- le travail effectué nous a donné une bonne vue d'ensemble de la région considérée ;

- la sismique bien appliquée (bonne différenciation des vitesses) nous a fourni des résultats plus précis que l'électrique. Elle a été utilisée pour presque tout notre travail de géophysique dans la région ;
- il n'y a jamais eu, ou bien rarement, plus de deux ou trois terrains ;
- la connaissance de la géologie a été fondamentale pour la bonne interprétation des résultats ;
- l'efficacité de la méthode sera augmentée par l'emploi d'un appareil de sismique portatif à multipistes.

### 3. - TRAVAIL COMPLEMENTAIRE

Ayant développé la géophysique dans notre travail (de la carte géotechnique), et étant donné que nous la considérons comme fondamentale, nous avons essayé de l'adapter à la géotechnique, de façon à ce que cela soit facile et rapide d'opérer dans les délais les plus convenables.

Nous avons eu un nombre assez considérable de sondages géophysiques, dont les calculs exigent généralement beaucoup de temps (problème de toujours). Pour cette raison nous avons fait certains abaques et aussi des programmes pour l'utilisation des calculateurs électroniques (ordinateurs).

Ainsi nous avons fait une division en deux parties :

- pour la sismique de réfraction,
- et pour la méthode électrique.

#### 3. 1 - Sismique de réfraction

Le but est le calcul des épaisseurs des couches. Pour ceci nous avons employé trois méthodes :

- le calcul numérique (opérations faites avec la règle de calcul),
- l'utilisation des abaques,
- le calculateur électronique,

L'utilisation de ces méthodes a été en fonction du temps disponible et aussi de la précision du calcul recherché.

##### 3.1 1 - Calcul numérique

Le calcul numérique des épaisseurs des couches que nous avons suivi pour notre travail est conseillé par les constructeurs. Il est précis, mais par contre, il demande beaucoup de temps.

Nous n'avons pas beaucoup utilisé ce calcul ; cependant il a été très utile pour la confection des abaques et du programme pour le calculateur électronique.

##### 3.1 2 - Utilisation des abaques

Le calcul des épaisseurs avec les abaques est une méthode assez rapide, donnant une grande précision. Cette précision dépend largement de la façon dont on utilise les abaques et la bonne utilisation des abaques nécessite quelque entraînement, ce qui est logique.

Les abaques ont été effectués à différentes échelles. Pour faciliter la lecture de ces abaques, on peut utiliser une règle ou un simple bord de papier. Nous avons confectionné l'abaque de la figure 15. Pour bien le lire (calcul des épaisseurs), il faut opérer de la façon suivante :

- connaissant les distances et les temps obtenus, on trace la "dromochronique" à l'échelle indiquée sur le graphique de la figure 13 :
- axe des abscisses 1 cm = 2 mètres ;
- axe des ordonnées 1 cm = 5 millisecondes.

ensuite avec la dromochronique (fig. 13) et le graphique des vitesses (fig. 15), on trouve les vitesses des couches (V 1, V 2, V 3) et les distances critiques (d 1 et d 2). Ces données sont la "base de départ" pour notre calcul des épaisseurs.

Avec les valeurs V 1, V 2, V 3, d 1 et d 2, on utilise l'abaque de la figure 15, en prenant en considération les

étapes indiquées dans le normogramme de la figure 14, où se trouvent les nombres suivants :

#### Légende du normogramme

- nombres I à XII, qui représentent les dénominations des courbes dans l'abaque (fig. 15) ;
- nombres de 1 à 3 qui représentent la dénomination de la première, deuxième et troisième couche. Ainsi :

I 2 = Célérité réelle de la deuxième couche en m/s (V 2)

II 1 = Célérité réelle de la première couche en m/s (V 1)

III 2-1 = Rapport de V 2/V 1

IV = Courbe pour trouver la constante K

$$V 1 = \text{Valeur de la constante } K 1 = 1/2 \sqrt{\frac{V 2 - V 1}{V 2 + V 1}}$$

VI 1 = Distance critique d 1

① = Epaisseur de la première couche

I 3 = Célérité réelle de la troisième couche (V 3)

II 1 = Célérité réelle de la première couche (V 1)

III 3-1 = Rapport de V 3/V 1, qui doit être transporté à VIII

VIII = Courbes pour trouver la constante Q en fonction du rapport V 3/V 1 (transporté) et le rapport V 2/V 1

(qui vient de III), pour passer à IX

$$IX = \text{Valeur de la constante } Q = 1 - \frac{V 2 \sqrt{V 3^2 - V 1^2} - V 3 \sqrt{V 2^2 - V 1^2}}{V 1 \sqrt{V 3^2 - V 1^2}}$$

VI ① = Valeur de l'épaisseur de la première couche

X = Produit de VI 1 avec IX

II 2 = Célérité réelle de la deuxième couche

III 3-2 = Rapport de V 3/V 2

$$V 2 = \text{Valeur de la constante } K 2 = 1/2 \sqrt{\frac{V 3 - V 2}{V 3 + V 2}}$$

VI 2 = Distance critique d 2

VII = Produit de VI 2 avec V 2, et qui doivent être transportés à VII'

XI = Addition de X avec VII'

1' = Valeur de l'épaisseur de la première couche (transporté)

XII = Epaisseur de la deuxième couche, et comme c'est évident, représente le niveau supérieur de la troisième couche

Note : l'abaque n° 15, peut être employé pour le calcul des épaisseurs avec la sismique de réfraction en utilisant n'importe quel appareil.

Pour mieux comprendre cette méthode, voici un exemple :  
Données avec le Terra-Scout

Distance en mètres	Temps en millisecondes
1,5	5,0
3,0	8,0
4,5	8,5
6,0	11,8
7,5	12,9
9,0	14,3
10,5	14,0
12,0	15,4
13,5	16,4
15,0	16,3
16,5	18,1
18,0	18,2
21,0	18,3
24,0	19,6
27,0	19,9
30,0	20,0

Avec ces données, on trace la dromochronique (fig. 13) ; les vitesses  $v$  sont trouvées avec le rapport :

$$V_x = \frac{\text{distance en mètres} \times 1\,000}{\text{Temps en millisecondes}} = \text{m/s}$$

ou avec le graphique des vitesses de la figure 15. La suite du calcul est indiquée dans le tableau XXI, et sur le graphique avec couleurs (rouge, bleu, vert, noir) dans la figure 15, pour sa meilleure compréhension.

Simplification de calcul

Le calcul précédent peut être simplifié en prenant en considération les aspects suivants :

- on fait le calcul normal pour trouver l'épaisseur de la première couche (couleur rouge dans notre exemple, fig. 15) ;
- on fait le calcul normal pour trouver la valeur de  $K \times d \times d$  (couleur bleue sur la figure 15) ; c'est-à-dire que nous considérons seulement les couches deux et trois sans considérer la première. La valeur trouvée de  $K \times d \times d$  sur la courbe VII doit être réduite de 5 % (approximativement) et, cette valeur est directement l'épaisseur de la deuxième couche (E 2).

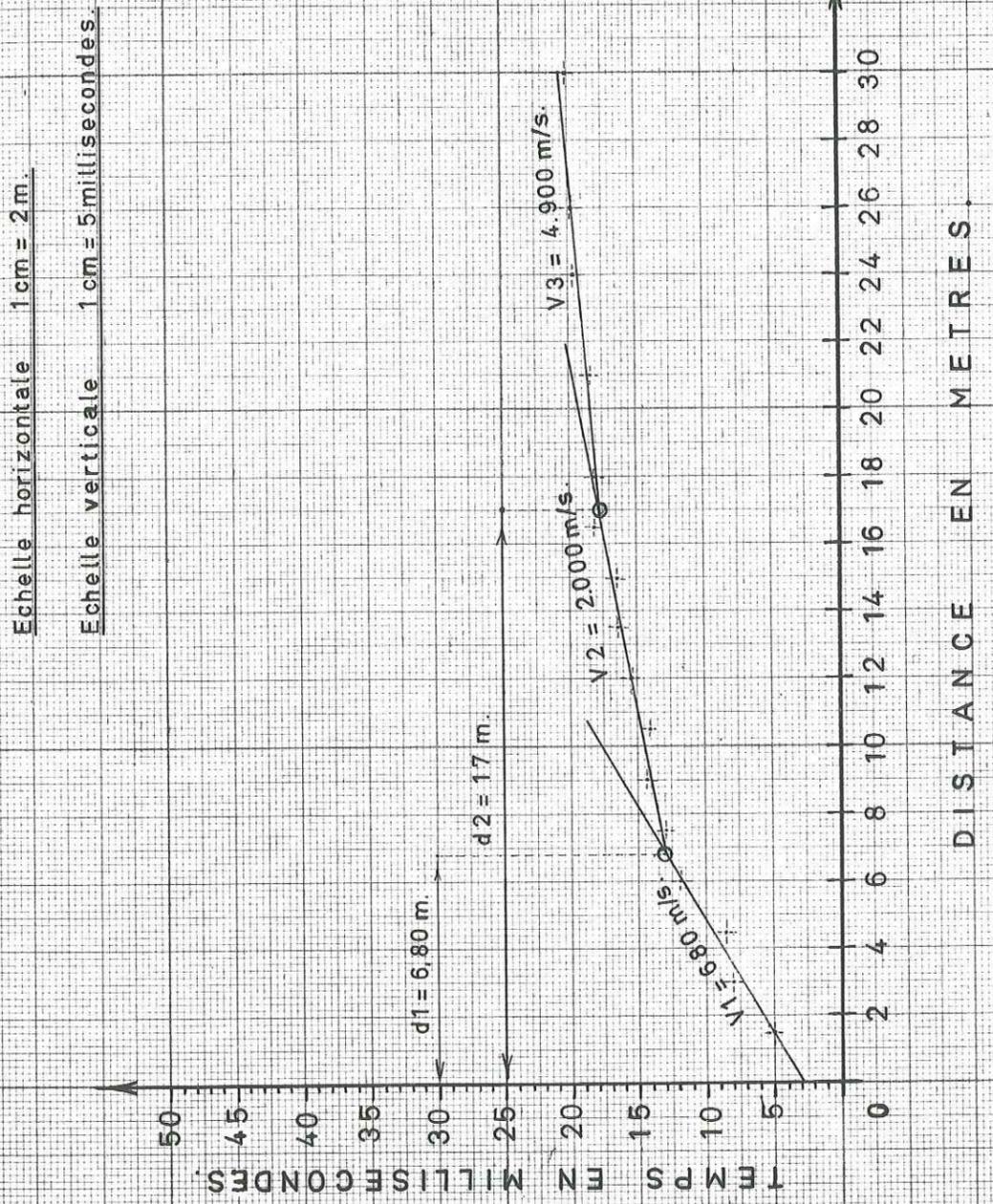
Avec ce calcul nous pouvons avoir une erreur de  $\pm 50$  cm que nous considérons comme une erreur admissible pour notre travail.

Nous avons établi ces faits à partir d'une statistique, faite sur 190 sondages sismiques dans notre région. L'application de la simplification de calcul dans notre exemple précédent sera :

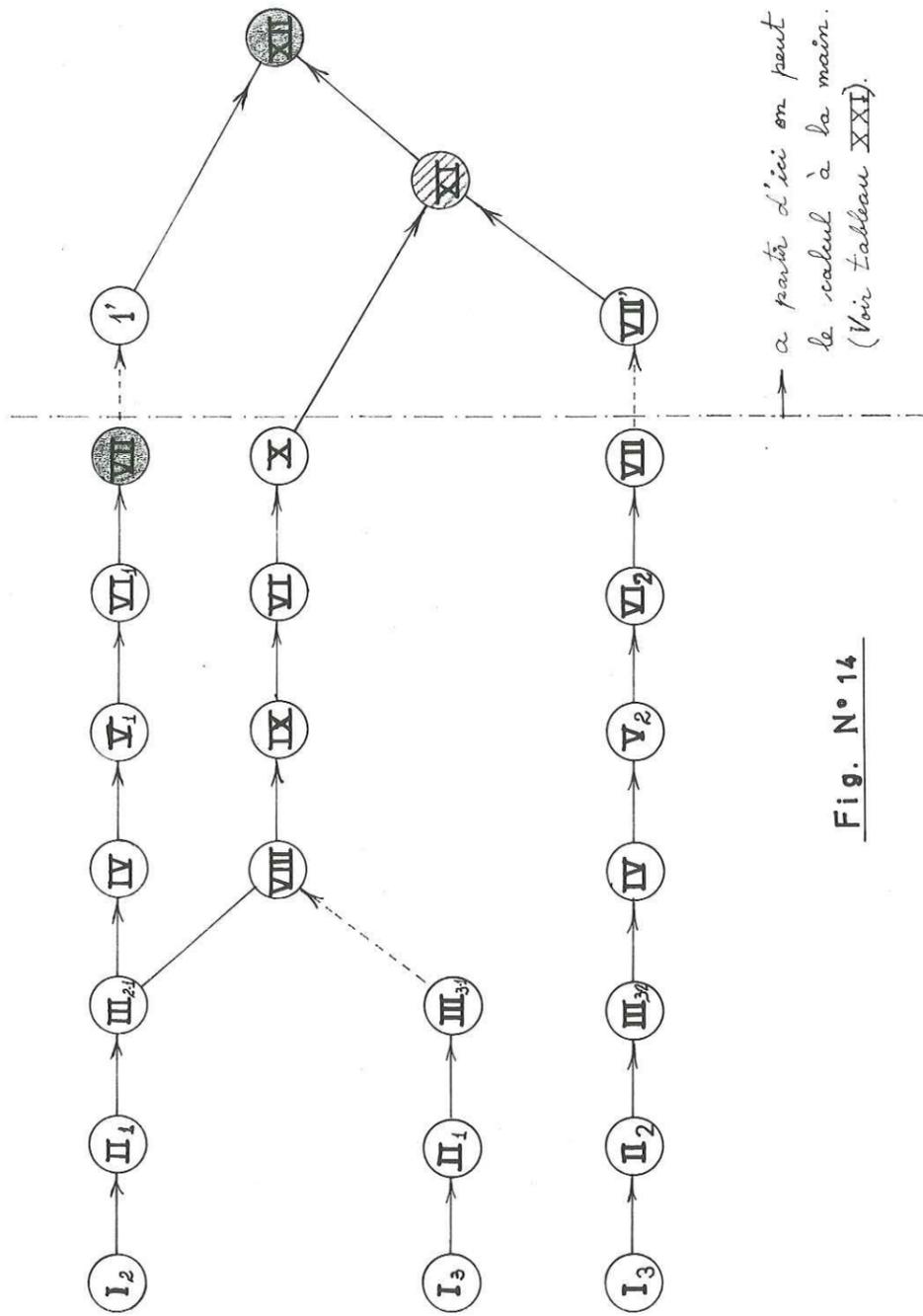
	EPAISSEURS EN METRES	
	1 re couche	2e couche
Calcul normal	2,4	5,12
Calcul simplifié	2,4	$d \times d \times K = 5,52$ - 5 % de 5,52 (0,28) = 5,24
Erreur	0,0	+ 0,12

L'erreur de +12 cm que nous avons trouvée, nous la considérons comme acceptable.

**Fig.13 - DROMOCHRONIQUE**



NORMOGRAMME APPLIQUEE A LA FIGURE N°15 POUR LE  
CALCUL DES EPAISSEURS DES COUCHES.

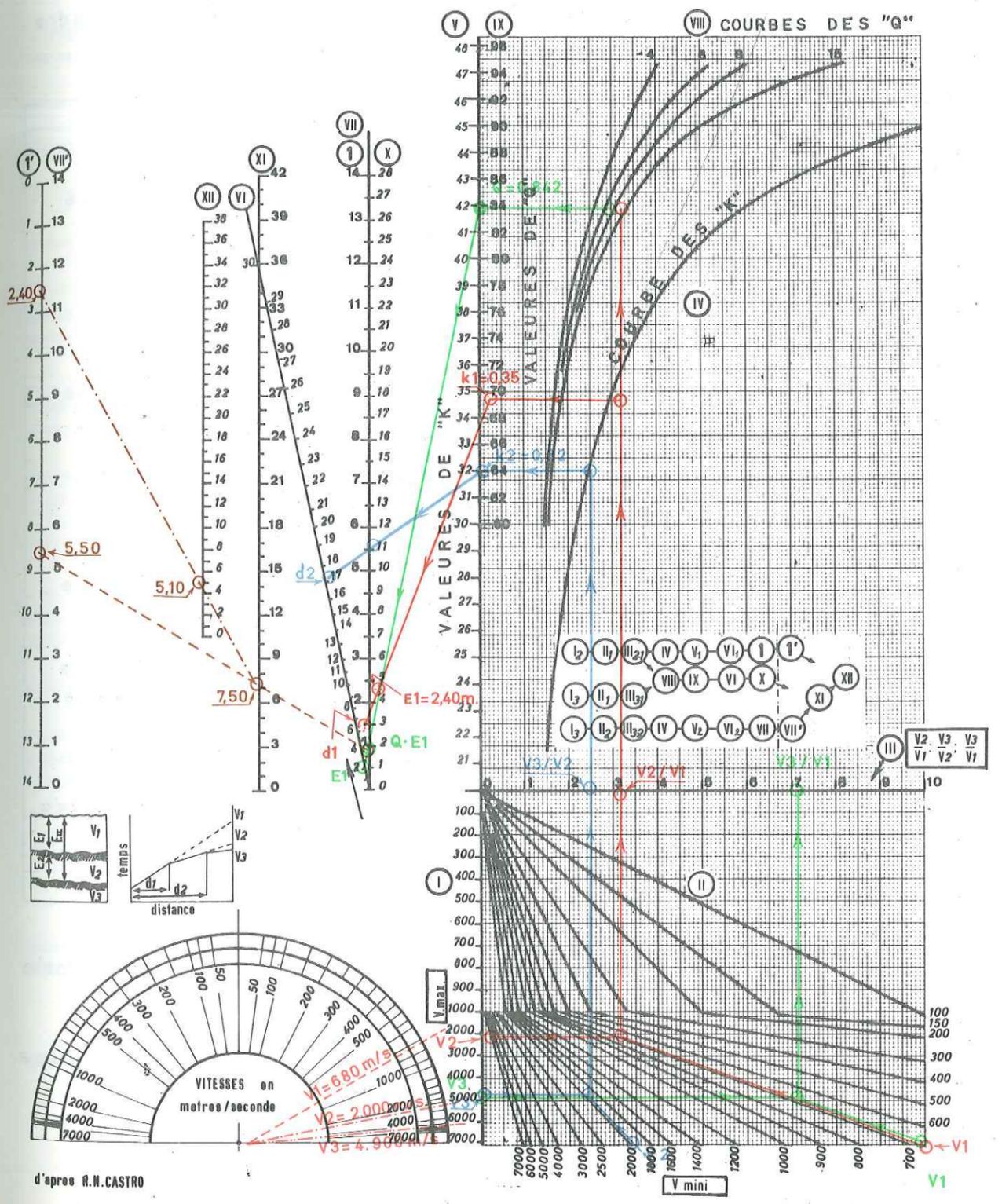


a partir d'ici on peut faire  
le calcul à la main.  
(Voir tableau XXI).

Fig. N° 14

TERRA-SCOUT modele R150  
CALCUL DES EPAISSEURS DE COUCHES

Fig. 15



d'apres R.N. CASTRO

**TABLEAU N° XXI SISMIQUE DE REFRACTION.**

**CALCUL DES EPAISSEURS.**

(Voir les couleurs dans la fig.15 pour comprendre mieux la suite du calcul).

Données			Diagramme										
x	V <sub>1</sub>	680											Rouge
x	V <sub>2</sub>	2.000											"
x	V <sub>3</sub>	4.900											"
	V <sub>2</sub> /V <sub>1</sub>	2,94											"
x	d <sub>1</sub>	6,80											"
	E <sub>1</sub>	2,40											"
	V <sub>3</sub> /V <sub>2</sub>	2,45											"
x	d <sub>2</sub>	17,0											"
	E <sub>2</sub>	5,52											"
	V <sub>3</sub> /V <sub>1</sub>	7,2											"
	Q	0,84											"
	Q x E <sub>1</sub>	2,00											"
	E <sub>11</sub>	7,52	"										
	E <sub>2</sub>	5,12	"										

à partir d'ici, il est recommandable de faire le calcul à la main.

I à XII Nombre de courbe dans l'abaque.

1 à 3 Nom de la couche.

3.1 3 - Emploi de calculateur électronique

Le calcul des épaisseurs des couches peut être réalisé avec les abaques dont nous venons de parler, et aussi avec l'emploi de calculs automatiques au moyen de calculateurs électroniques. La méthode à adopter sera fonction directe de la précision, du temps disponible et de la quantité de travail à réaliser.

Pour le calcul des épaisseurs, nous avons utilisé l'ordinateur IBM 360/65 avec le langage PL/I. Cependant on peut effectuer le même calcul avec un calculateur plus simple que celui que nous avons utilisé. Le programme a été effectué à partir des formules dont nous avons parlé pour la confection de l'abaque de la figure 15. Les résultats ont été obtenus plus vite et plus précis, ce qui est normal.

La programmation utilisée est expliquée dans l'annexe A, et peut être mise au point pour n'importe quel type de calculateur, sous réserve d'être traduit dans le langage que celle-ci utilise.

Le programme est donné sous forme de cartes perforées (annexe B) qui représente la suite des opérations pour le passage des données sur l'ordinateur.

En général, les calculs automatiques exigent une précision plus rigoureuse des données, car l'ordinateur n'a pas de sens critique. Les différentes données proviennent de la dromochronique (fig. 13) avec les épaisseurs trouvées et permettront au géotechnicien une interprétation plus exacte du terrain. Une dromochronique avec un segment ondulé selon le critère du géotechnicien indiquera une certaine forme de terrain, mais pour l'ordinateur il s'agira d'une droite.

Les seules données qui seront nécessaires pour l'ordinateur sont :

- les vitesses des ondes de propagation (V 1, V 2 et V 3)
- et les distances critiques (d 1 et d 2).

Ces données sont inscrites sur les feuilles de l'annexe C, à partir desquelles les cartes sont perforées (annexe B).

Les unités utilisées sont :

- les vitesses V 1, V 2 et V 3 par nombre de quatre entiers, sans décimales ;
- les distances critiques d 1 et d 2 par nombre de deux entiers avec deux décimales ;
- le nombre de courbe en nombre ordinal, sans décimales.

Le programme de l'ordinateur soulignera les erreurs logiques, ou les cartes mal perforées, et aussi (dans certains cas), la suite logique des données ; par contre il ne pourra pas décider de la validité des données de base ; il faut donc que l'utilisateur soit absolument certain de l'exactitude des données avant de commencer les calculs sur la machine.

Quand les données sont valables, ou quand toutes les erreurs sont corrigées, les calculs fournissent des résultats cohérents.

Les résultats obtenus sont comparables à ceux que l'on peut avoir au tableau XXI. Dans celui-ci, E 1 et E 2 sont les épaisseurs des première et deuxième couches exprimées au centimètre près. "E T" est l'épaisseur totale considérée par rapport à la longueur de la ligne mesurée en surface, exprimée aussi au centimètre près. Cette épaisseur totale est considérée de la façon suivante :

- quand d 1 n'est pas connu E T = 0,25 x 30 m
- quand E 1 ≠ 0 et d 2 n'est pas connu E T = E 1 + 0,25 (30-d 1)
- quand E 1 ≠ 0, E 2 ≠ 0 et d 2 > 30 m. E T = E 1 + E 2
- quand E 1 ≠ 0, E 2 ≠ 0 et d 2 < 30 m. E T = E 1 + E 2 + 0,25 (30-d 2).

La forme de sortie des résultats avec l'ordinateur est donnée dans l'annexe D, où on trouve les nombres des sondages, les vitesses (V 1, V 2, V 3), les distances critiques (d 1, d 2) et les épaisseurs (E 1, E 2 et E T) qui, représentées de cette façon, aideront le géotechnicien à vérifier certaines interprétations.

3.1 4 - Comparaison des méthodes du point de vue d'application géotechnique

Nous faisons une comparaison des méthodes de calcul des épaisseurs des couches, du point de vue d'application géotechnique, en prenant en considération les échelles suivantes :

- 1 = très avantageuses
- 2 = avantageuses
- 3 = moyennement avantageuses
- 4 = à ne pas utiliser,

ANNEXE A - Programmation pour ordinateurs du calcul des épaisseurs des couches -

```

*JBB CASTRO FORTRAN
*ASSIGN S DF1Y SI CR B0 DF1Y BI DF1Y L0 LP1Y .
AREWIND B0
*FORTRAN B0, LB.
1 C
2 C
3 C
4 C
5 C
6 C
7 C
8 C
9 C
10 C
11 C
12 C
13 C
14 C
15 9
16 9
17 9
18 9
19 10
20 10
21 10
22 12
23 12
24 15
25 15
26 15
27 15
28 15
29 15
30 15
31 15
32 15
33 25
34 30
35 35
36 40
37 45
38 50
39 60
40 60
41 70
42 80
43 80
44 80
45 90
46 90
47 100
48 120
49 121
50 122
51 123
52 124
53 125
54 126
55 127
56 128
57 129
58 129
59 129
60 130
61 150
62 160
63 160
64 160

```

PROGRAM ALLOCATION

```

00041 IMAX      00042 I          00043 V1      00045 V2
00047 V3      00051 D1      00053 D2      00055 E1
00057 E2      00061 EPS      00063 ETOTAL

```

SUBPROGRAMS REQUIRED

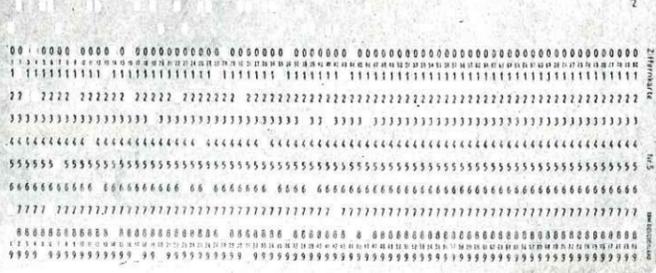
```

SQRT      ABS      EXIT
THE END

```

ANNEXE B - Cartes perforées

\*ASSIGN S DF1Y SI CR B0 DF1Y BI DF1Y L0 LP1Y .



ANNEXE C

IMAG

FEUILLE DE données

Page sur

Nom : Tél. Poste

	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
31	016000	017000	018000	019000	020000	021000	022000	023000	024000	025000	026000	027000	028000	029000	030000	031000	032000	033000	034000	035000	036000	037000	038000	039000
32	030000	031000	032000	033000	034000	035000	036000	037000	038000	039000	040000	041000	042000	043000	044000	045000	046000	047000	048000	049000	050000	051000	052000	053000
33	050000	051000	052000	053000	054000	055000	056000	057000	058000	059000	060000	061000	062000	063000	064000	065000	066000	067000	068000	069000	070000	071000	072000	073000
34	070000	071000	072000	073000	074000	075000	076000	077000	078000	079000	080000	081000	082000	083000	084000	085000	086000	087000	088000	089000	090000	091000	092000	093000
35	090000	091000	092000	093000	094000	095000	096000	097000	098000	099000	100000	101000	102000	103000	104000	105000	106000	107000	108000	109000	110000	111000	112000	113000
36	110000	111000	112000	113000	114000	115000	116000	117000	118000	119000	120000	121000	122000	123000	124000	125000	126000	127000	128000	129000	130000	131000	132000	133000
37	130000	131000	132000	133000	134000	135000	136000	137000	138000	139000	140000	141000	142000	143000	144000	145000	146000	147000	148000	149000	150000	151000	152000	153000
38	150000	151000	152000	153000	154000	155000	156000	157000	158000	159000	160000	161000	162000	163000	164000	165000	166000	167000	168000	169000	170000	171000	172000	173000
39	170000	171000	172000	173000	174000	175000	176000	177000	178000	179000	180000	181000	182000	183000	184000	185000	186000	187000	188000	189000	190000	191000	192000	193000
40	190000	191000	192000	193000	194000	195000	196000	197000	198000	199000	200000	201000	202000	203000	204000	205000	206000	207000	208000	209000	210000	211000	212000	213000
41	210000	211000	212000	213000	214000	215000	216000	217000	218000	219000	220000	221000	222000	223000	224000	225000	226000	227000	228000	229000	230000	231000	232000	233000
42	230000	231000	232000	233000	234000	235000	236000	237000	238000	239000	240000	241000	242000	243000	244000	245000	246000	247000	248000	249000	250000	251000	252000	253000
43	250000	251000	252000	253000	254000	255000	256000	257000	258000	259000	260000	261000	262000	263000	264000	265000	266000	267000	268000	269000	270000	271000	272000	273000
44	270000	271000	272000	273000	274000	275000	276000	277000	278000	279000	280000	281000	282000	283000	284000	285000	286000	287000	288000	289000	290000	291000	292000	293000
45	290000	291000	292000	293000	294000	295000	296000	297000	298000	299000	300000	301000	302000	303000	304000	305000	306000	307000	308000	309000	310000	311000	312000	313000
46	310000	311000	312000	313000	314000	315000	316000	317000	318000	319000	320000	321000	322000	323000	324000	325000	326000	327000	328000	329000	330000	331000	332000	333000
47	330000	331000	332000	333000	334000	335000	336000	337000	338000	339000	340000	341000	342000	343000	344000	345000	346000	347000	348000	349000	350000	351000	352000	353000
48	350000	351000	352000	353000	354000	355000	356000	357000	358000	359000	360000	361000	362000	363000	364000	365000	366000	367000	368000	369000	370000	371000	372000	373000
49	370000	371000	372000	373000	374000	375000	376000	377000	378000	379000	380000	381000	382000	383000	384000	385000	386000	387000	388000	389000	390000	391000	392000	393000
50	390000	391000	392000	393000	394000	395000	396000	397000	398000	399000	400000	401000	402000	403000	404000	405000	406000	407000	408000	409000	410000	411000	412000	413000
51	410000	411000	412000	413000	414000	415000	416000	417000	418000	419000	420000	421000	422000	423000	424000	425000	426000	427000	428000	429000	430000	431000	432000	433000
52	430000	431000	432000	433000	434000	435000	436000	437000	438000	439000	440000	441000	442000	443000	444000	445000	446000	447000	448000	449000	450000	451000	452000	453000
53	450000	451000	452000	453000	454000	455000	456000	457000	458000	459000	460000	461000	462000	463000	464000	465000	466000	467000	468000	469000	470000	471000	472000	473000
54	470000	471000	472000	473000	474000	475000	476000	477000	478000	479000	480000	481000	482000	483000	484000	485000	486000	487000	488000	489000	490000	491000	492000	493000
55	490000	491000	492000	493000	494000	495000	496000	497000	498000	499000	500000	501000	502000	503000	504000	505000	506000	507000	508000	509000	510000	511000	512000	513000
56	510000	511000	512000	513000	514000	515000	516000	517000	518000	519000	520000	521000	522000	523000	524000	525000	526000	527000	528000	529000	530000	531000	532000	533000
57	530000	531000	532000	533000	534000	535000	536000	537000	538000	539000	540000	541000	542000	543000	544000	545000	546000	547000	548000	549000	550000	551000	552000	553000
58	550000	551000	552000	553000	554000	555000	556000	557000	558000	559000	560000	561000	562000	563000	564000	565000	566000	567000	568000	569000	570000	571000	572000	573000
59	570000	571000	572000	573000	574000	575000	576000	577000	578000	579000	580000	581000	582000	583000	584000	585000	586000	587000	588000	589000	590000	591000	592000	593000
60	590000	591000	592000	593000	594000	595000	596000	597000	598000	599000	600000	601000	602000	603000	604000	605000	606000	607000	608000	609000	610000	611000	612000	613000

INSTITUT DALBMIFU  
GRENOBLE

ROBERTO CASTRO

SISMIQUE DE REFRACTION DE LA REGION SERRES 7-8

TERRA-SCOUT

NR	V1 CM/SEG	V2 CM/SEG	V3 CM/SEG	D1 M	D2 M	E1 M	E2 M	ETOTAL M
61	800.00	1100.00	.00	30.80	.00	6.12	.00	5.919
62	740.00	2500.00	.00	24.50	.00	9.03	.00	10.404
63	790.00	1000.00	1600.00	7.00	15.00	1.20	4.30	9.252
64	650.00	2300.00	.00	14.80	.00	5.53	.00	9.334
65	520.00	1200.00	1600.00	8.00	15.80	2.52	5.11	11.176
66	530.00	1600.00	2300.00	6.00	19.00	2.13	5.89	10.763
67	700.00	2600.00	.00	8.00	.00	3.04	.00	8.535
68	580.00	1600.00	2500.00	9.20	29.20	3.15	9.53	12.873
69	770.00	2100.00	.00	15.00	.00	5.11	.00	8.856
70	400.00	1900.00	.00	3.00	.00	1.21	.00	7.961
71	430.00	1400.00	2600.00	7.00	26.60	2.55	9.49	12.891
72	850.00	1350.00	2800.00	4.50	12.80	1.07	4.51	9.886
73	1050.00	.00	.00	30.00	.00	15.00	0000.00	15.000
74	300.00	1300.00	3000.00	15.00	19.10	3.66	8.51	14.891
75	190.00	2000.00	.00	16.00	.00	7.27	.00	10.773
76	750.00	1250.00	.00	9.00	.00	2.25	.00	7.500
77	450.00	1150.00	2500.00	5.60	8.10	1.85	3.98	11.304
78	270.00	1950.00	2750.00	3.40	17.20	1.48	4.95	9.633
79	800.00	1150.00	1900.00	10.00	34.00	2.12	9.83	11.945
80	680.00	1700.00	2800.00	14.50	34.00	4.75	12.35	17.098
81	1050.00	1600.00	3500.00	12.00	24.00	2.73	9.12	13.357
82	720.00	1700.00	.00	17.80	.00	5.66	.00	8.714
83	410.00	1000.00	2050.00	4.70	20.40	1.52	7.22	11.137
84	1950.00	.00	.00	30.00	.00	15.00	0000.00	15.000
85	1100.00	1900.00	.00	30.00	.00	7.75	.00	7.746
86	620.00	1050.00	2000.00	7.00	28.60	1.78	9.25	11.375
87	1050.00	2300.00	.00	30.00	.00	9.16	.00	9.163
88	320.00	1900.00	3000.00	18.90	36.60	5.95	13.56	19.513
89	880.00	1600.00	2500.00	18.00	30.00	4.85	10.72	15.569
90	960.00	2600.00	.00	8.50	.00	2.88	.00	8.260

et les critères suivants :

Calculs des épaisseurs en fonction de :	Méthodes des calculs employés				
	Numérique	Abaques		Ordinateur (1)	
		Normal	Simplifié		
rapidité	4	3	2	1	
facilité de calcul	4	3	2	1	
facilité de vérification	4	3	2	1	
précision des résultats	2	3	4	1	
quantité de sondages	assez (2)	4	3	2	1
	moyen (3)	4	1	2	3
	peu	3	1	2	4
TOTAL	25	17	16	12	

(1) = à condition qu'il y ait une personne pour perforer les cartes et aussi la disponibilité de la machine

(2) = plus de 150 sondages

(3) = de 50 à 150 sondages.

### 3.1 5 - Conclusions

D'après les analyses que nous venons de réaliser, nous pouvons remarquer que l'emploi des calculateurs électroniques présente de nombreux avantages dans tous les domaines pour tous les calculs. On ne dispose cependant pas toujours de semblables appareils.

Leur utilisation sera recommandée lorsque le travail de calcul est important. Si le géotechnicien a besoin de ces résultats lorsqu'il se trouve sur le terrain (le cas le plus normal) loin d'un ordinateur, il sera obligé d'utiliser les abaques.

Le calcul numérique n'est recommandé que pour certaines vérifications de calcul.

Nous pouvons mentionner, également, l'existence d'une méthode graphique pour le calcul des épaisseurs des couches, que nous n'avons pas utilisée parce que nous la considérons plus longue et plus gênante pour travailler (exception faite sur le calcul numérique). De toute façon, le géotechnicien prendra sa décision en connaissance de cause après avoir pesé les avantages et les inconvénients des différentes méthodes. Pour notre travail nous avons utilisé :

- le calcul numérique pour l'établissement des abaques et le programme pour l'ordinateur ;
- les abaques sur le terrain
- et le calculateur électronique au bureau.

### 3.2 - La méthode électrique

Le but est le calcul des résistivités apparentes des couches. Nous avons employé la méthode de Schlumberger en supposant que le sol soit homogène et isotrope de résistivité  $\rho_a$ .

Pour le calcul de la résistivité apparente, nous avons utilisé un abaque que nous expliquerons par la suite.

#### Utilisation de l'abaque

Nous avons confectionné l'abaque de la figure 16 pour la "méthode dite de Schlumberger" ; elle est caractérisée par le fait que la ligne de mesure MN, est assez courte par rapport à la ligne AB (électrodes d'injection de courant électrique).

Pour la confection de l'abaque, nous avons employé le calcul numérique en utilisant le rapport suivant :

$$AB/2 = AO = OB = a$$

$$MN/2 = MO = ON = b$$

$$V_M - V_N = \Delta V = \frac{\rho_a I}{\pi} \times \frac{2b}{a^2 - b^2}$$

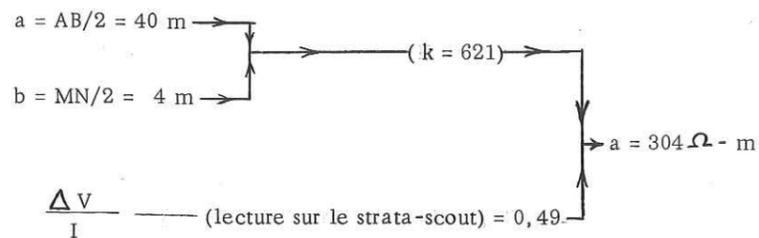
$$\text{d'où : } \rho_a = \pi \frac{\Delta V}{I} \times \frac{a^2 - b^2}{2b}$$

$$\text{et } \rho_a = k \times c$$

$$\text{en posant : } k = \pi \frac{a^2 - b^2}{2b}$$

$$c = \frac{\Delta V}{I} = \text{lecture sur notre appareil en ohms.}$$

La lecture de l'abaque se fait au moyen de lignes droites. Pour mieux comprendre son utilisation, nous donnerons un exemple de son application (voir la ligne rouge dans l'abaque de la figure 16), ainsi :



Quand les valeurs de  $\Delta V/I$  sont plus grandes que 10, il faut situer la valeur dans le "numéro" correspondant dans l'échelle, et ensuite ajouter au résultat les zéros que nous avons enlevé.

Exemple :

$\Delta V/I = 79$   
 dans l'échelle situer 7,9  
 résultat :  $\rho_a = 94,8$  et ensuite multiplier par 10  
 soit :  $\rho_a = 948 \Omega \cdot \text{m}$

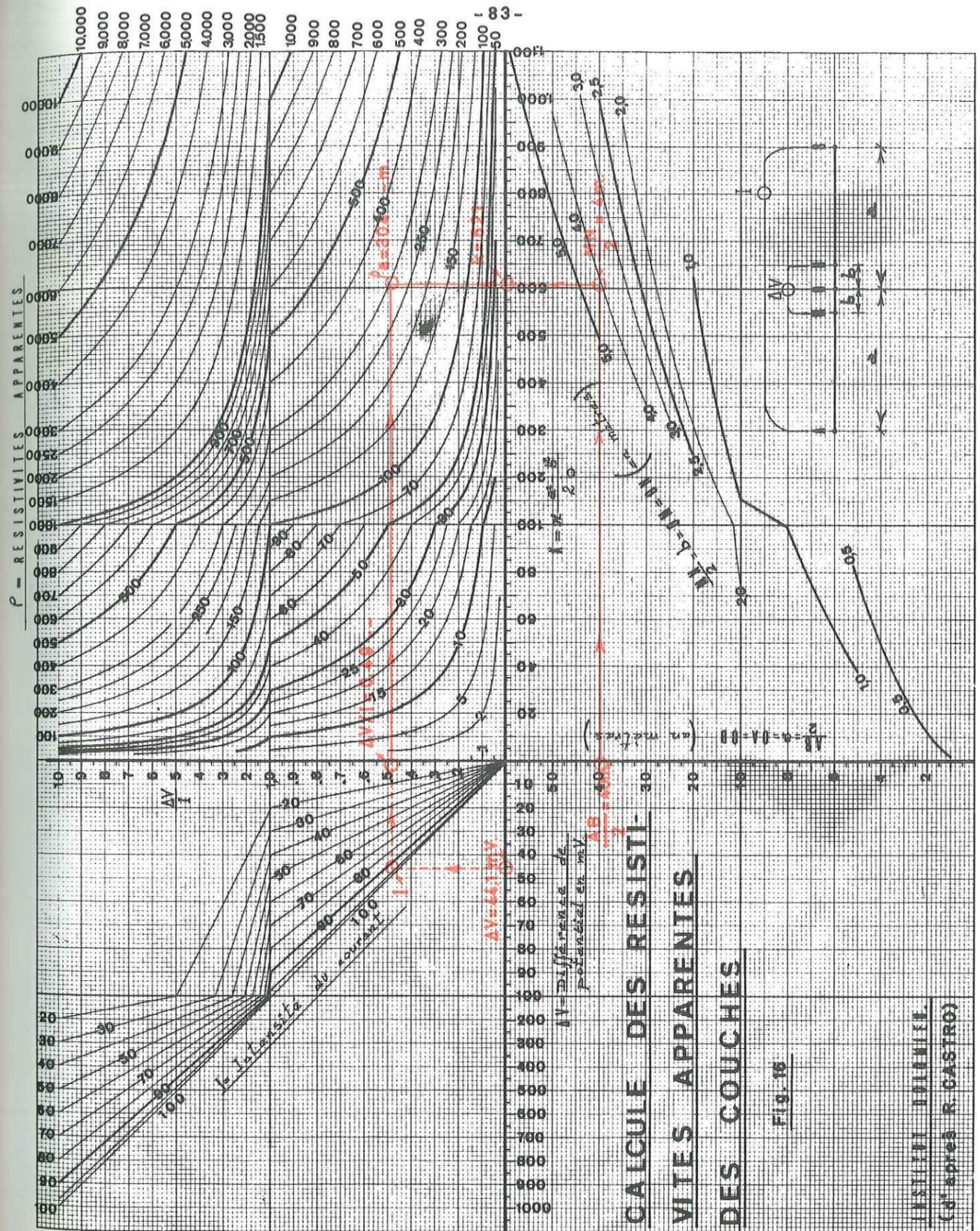
Le même abaque peut être utilisé par d'autres appareils, où on ne peut pas lire directement les valeurs de  $\frac{\Delta V}{I}$ . On verra dans notre exemple (lignes pointillés) :

$$\Delta V \text{ (différence de potentiel en mV.)} = 44,1$$

$$I \text{ (intensité de courant)} = 90 \rightarrow \frac{\Delta V}{I} = 0,49 \Omega$$

Avec la valeur de  $\rho_a$  trouvée, on trace la courbe :

$$\rho_a = f\left(\frac{AB}{2}\right) \text{ sur du papier logarithmique.}$$



L'allure de cette courbe permet généralement de connaître la résistivité apparente des différentes couches. Elle permet aussi de connaître les épaisseurs des couches (cette profondeur varie en moyenne entre  $\frac{AB}{10}$  et  $\frac{AB}{3}$  suivant la nature des couches successives), à l'aide des abaques du professeur CAGNIARD, ou les abaques faits pour la Compagnie Générale de Géophysique (C. G. G.).

Dans notre travail, cette méthode a été utilisée seulement pour connaître les résistivités des couches ; nous avons éliminé le calcul des épaisseurs que nous considérons comme imprécis à l'échelle de nos travaux.

Les mesures de résistivités apparentes ont été faites pour les valeurs suivantes de "a" et "b" (que nous considérons les mieux adaptées à notre travail) (voir tableau XXII).

b = 0,5 m	a = 2 m, 3 m, 4 m, 5 m
b = 1,0 m	a = 5 m, 6 m, 8 m, 10 m
b = 2,0 m	a = 10 m, 12 m, 15 m, 20 m, 30 m
b = 4,0 m	a = 30 m, 40 m
b = 5,0 m	a = 40 m, 47 m.

L'emploi de l'abaque dans les cas normaux sera suffisant et assez précis.

### 3.3 - Exemple de l'application avec les deux méthodes

Nous prenons un exemple de notre région : le sondage sismique n° 39 correspondant au sondage électrique E-6. Les valeurs mesurées sont :

SISMIQUE			ELECTRIQUE		
Distance en mètres	Temps en millisecondes		Distance en mètres		Valeurs en ohms, données sur l'appareil
	aller	retour	a	b	
1,5	11,7	10,7	2	0,5	7,90
3,0	14,8	14,8	3	0,5	3,60
4,5	18,2	18,8	4	0,5	2,05
6,0	19,2	19,5	5	0,5	1,25
7,5	18,4	20,3	5	1,0	3,50
9,0	18,5	21,1	6	1,0	2,42
10,5	19,4	22,2	8	1,0	1,32
12,0	20,7	22,2	10	1,0	0,80
13,5	23,1	23,4	10	2,0	1,62
15,0	24,5	24,0	12	2,0	1,10
16,5	25,2	23,9	15	2,0	0,675
18,0	26,0	23,6	20	2,0	0,306
21,0	27,5	25,2	30	2,0	0,109
24,0	29,1	27,7	30	4,0	0,226
27,0	30,7	29,9	40	4,0	0,079
30,0	31,6	31,4	40	5,0	0,097
			47	5,0	0,0574

Les valeurs calculées sont les suivantes :  
pour la sismique (par rapport à la figure 15)

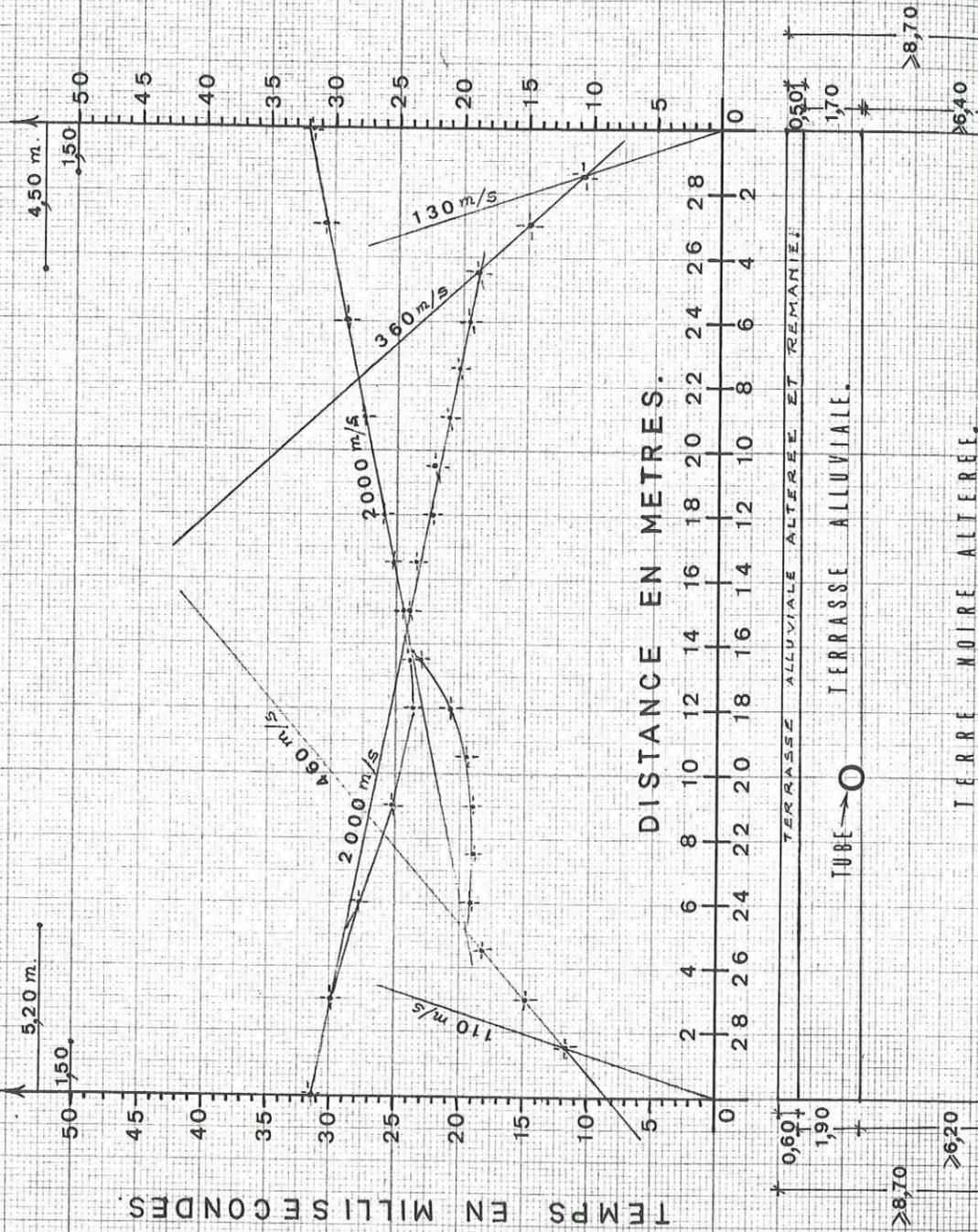
- établissement de la dromochronique figure 13' (avec distances critiques d 1 et d 2) ;
- vitesses trouvées avec le graphique de vitesses de la figure 15.

<u>aller</u>	<u>retour</u>
$V_1 = 110$ m/s	$V_1 = 130$ m/s
$V_2 = 460$ m/s	$V_2 = 360$ m/s
$V_3 = 2000$ m/s	$V_3 = 2000$ m/s.

utilisant l'abaque de la figure 15, comme nous l'avons déjà expliqué, on trouve :

	<u>ALLER</u>		<u>RETOUR</u>	
	Calcul normal	Simplifié	Normal	Simplifié
1	$V_2/V_1 = 4,18$	4,18	2,77	2,77
2	$k_1 = 0,391$	0,391	0,338	0,338
3	$d_1 = 1,5$	1,5	1,5	1,5
4	$E_1 = 0,59$	0,59	0,51	0,51
5	$V_3/V_2 = 4,35$	4,35	5,56	5,56
6	$k_2 = 0,395$	0,395	0,415	0,415
7	$d_2 = 5,2$	5,2	4,5	4,5
8	$k_2 \times d_2 = 2,05$	2,05	1,86	1,86
9	$V_3/V_1 = 18,2$	5 % moins de	15,4	moins de 5 % de 1,86 = - 0,09
10	$Q = 0,781$	2,05 = - 0,10	0,802	
11	$Q \times E_1 = 0,46$		0,41	
12	$E_{II} = (11 + 8) = 2,51$		2,27	
13	$E_2 = (E_{II} - E_1) = 1,92$	1,95	1,76	1,77

Fig. N° 13' - SONDAGE SISMIQUE N° 39



LES PAPIERS CANSON France

TABLEAU N° XXII

INSTITUT DOLOMIEU.

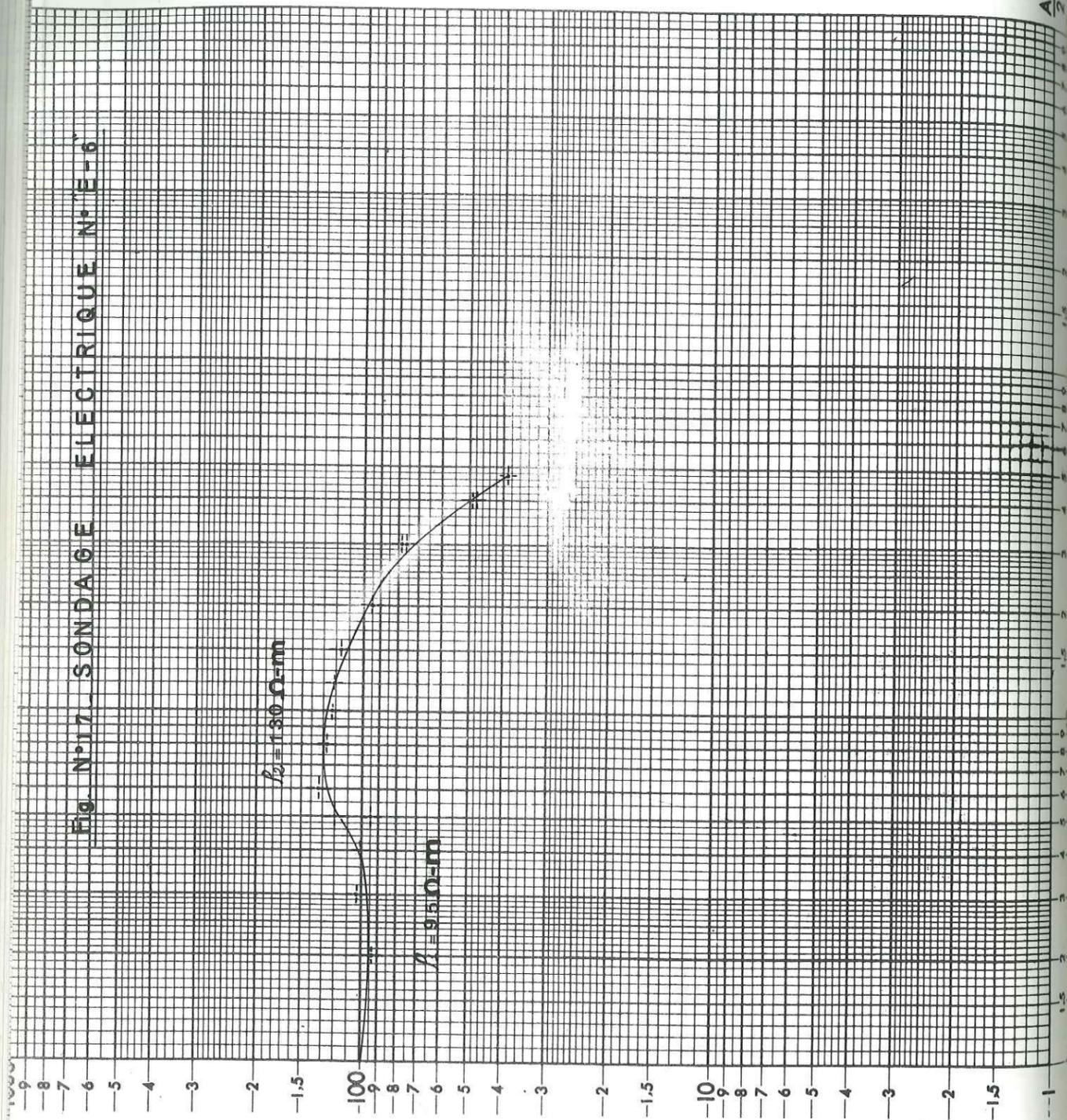
# SONDAGE ELECTRIQUE.

CHANTIER: Appareil: Strata-Scout.  
 Date: 15 VIII-1970  
 Operateur: R. CASTRO

Point central: E-6 Orientation: W-E

a(m)	b(m)	$\Delta v/I$	échelle I	$\Delta V/I$	k	$\rho_a(\Omega m)$	Observ
2 <sup>Pieds</sup> 6,58	.5 <sup>Pieds</sup> 1,64	7,9	1	7,9	12,0	94,8	
3 9,85	.5 1,64	3,6	1	3,6	28,0	102,5	
4 13,10	.5 1,64	20,5	0,1	2,05	49,4	100,5	
5 16,40	.5 1,64	12,5	0,1	1,25	76,0	95,0	
5 16,40	1 3,29	31,6	0,1	3,16	38,0	120,0	
6 19,70	1 3,29	24,2	0,1	2,42	55,0	133,0	
8 26,20	1 3,29	13,2	0,1	1,32	99,0	128,0	
10 32,90	1 3,29	8,0	0,1	0,8	152,0	121,5	
10 32,90	2 6,58	16,2	0,1	1,62	76,0	121,5	
12 39,40	2 6,58	11,0	0,1	1,10	110,0	121,0	
15 49,30	2 6,58	67,5	0,01	0,675	175,0	118,0	
20 65,80	2 6,58	30,6	0,01	0,306	310,0	95,0	
30 98,50	2 6,58	10,9	0,01	0,109	700,0	76,2	
30 98,50	4 13,10	22,6	0,01	0,226	350,0	78,0	
40 131,30	4 13,10	7,9	0,01	0,079	618,0	49,0	
40 131,30	5 16,40	9,7	0,01	0,097	495,0	48,0	
47 154,50	5 16,40	57,4	0,001	0,0574	680,0	39,0	

Fig. N°17. SONDAGE ELECTRIQUE N°E-6



$$E_3 \geq \frac{1}{4} (30 \text{ m} - 5,2)$$

$$E_3 \geq 6,2$$

$$E_T \geq 8,7 \text{ m}$$

$$E_3 \geq \frac{1}{4} (30 \text{ m} - 4,5)$$

$$E_3 \geq 6,4 \text{ m}$$

$$E_T \geq 8,7 \text{ m}$$

Pour l'électrique, voir tableau n° XXII et fig. 17.

L'interprétation est la suivante :

Pour la sismique (voir fig. 13')

- une couche de 0,6 m de matériaux, altérée et remaniée de terrasse alluviale (très aérée et peu dense) ;
- une couche de 1,90 m de terrasse alluviale non remaniée ;
- une couche supérieure à 6 m d'épaisseur, "de terre noire" altérée ;
- un tube d'écoulement (+ 1,0 m de diamètre) d'un vieux moulin, sur la terre noire altérée, et à 2,3 m (approximativement) sous la surface du sol.

Pour l'électrique :

- une couche superficielle de terrasse alluviale altérée et remaniée de 95  $\Omega$ -m de résistivité ;
- une couche de terrasse alluviale non remaniée de 130  $\Omega$  -m de résistivité ;
- une couche de terre noire altérée et humide.

#### 4. - RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Dans la méthodologie suivie pour notre travail, nous pouvons citer la recherche bibliographique, qui a été faite en fonction de quatre considérations :

##### 4. 1 - Etude des cartes géotechniques existantes

Nous avons revu divers types de "cartes géotechniques" établies par des auteurs de divers pays, afin de recenser les critères généralement utilisés et la constitution des notes explicatives.

Une synthèse de cette étude bibliographique a été mentionnée dans le premier chapitre de cette thèse (Introduction).

##### 4. 2 - Etude sur la classification géotechnique des sols

Après avoir confronté de nombreuses classifications nous avons adopté les meilleurs pour notre travail.

Cette étude est décrite d'une façon assez détaillée dans le deuxième chapitre de la thèse (Classification géotechnique des sols).

##### 4. 3 - Adaptation des moyens mis à notre disposition

Ceci nous a conduit à nous familiariser avec la pratique de la géophysique à laquelle nous n'étions pas spécialement entraîné.

Notre but a été de simplifier au mieux le travail sur notre terrain par la confection d'abaques.

Nous avons également noté pour l'avenir, toutes les difficultés rencontrées et les problèmes concrets posés.

4. 4 - Obtention des données complémentaires pour l'établissement de notre carte géotechnique

La recherche bibliographique a été effectuée pour connaître :

- la météorologie de la région (il n'existe pas un seul poste de météorologie dans notre région ; les valeurs trouvées sont par interpolations).

- climat
- température
- pluviométrie
- nébulosité
- vents

Pour la météorologie, nous avons utilisé les annales météorologiques à Montélimar, Gap, Grenoble - Institut de Géographie.

- l'hydrogéologie :

- rivières
- sources
- puits
- analyses chimiques des eaux.

Pour l'hydrogéologie, nous avons utilisé les travaux faits par la direction générale du Génie Rural et de l'Hydraulique Agricole, les rapports de l'Université de Grenoble (Faculté des Sciences, Institut Dolomieu), et les travaux faits par Monsieur Lucien TRON.

Toutes ces données sont insuffisantes mais ont contribué à la réalisation de la carte géotechnique.

4. 5 - Conclusions

La recherche bibliographique a été suivie dans les endroits suivants :

- à la bibliothèque de l'Institut Dolomieu,
- à la bibliothèque de l'Institut de Géographie,
- à la bibliothèque du Laboratoire de Mécanique des Sols,
- à la bibliothèque de la Faculté des Sciences à Grenoble,
- au Laboratoire central des Ponts et Chaussées à Paris,
- aux documents des professeurs, et aux livres particuliers,
- et enfin, dans les librairies en France et en Espagne.

5. - ETABLISSEMENT DE LA CARTE GEOTECHNIQUE

Nous avons pu établir notre carte géotechnique en fonction de l'analyse bibliographique des divers exemples des cartes géotechniques, des analyses faites en laboratoire, et des travaux effectués sur le terrain.

5. 1 - La carte géotechnique comporte :

- une carte hydrogéologique - esquisse structurale,
- une carte lithologique - géophysique - morphologie,
- une carte géotechnique proprement dite,
- des coupes géotechniques.

5. 2 - Mémoire explicatif

En dehors des cartes établies dans le quatrième chapitre, il y a un mémoire explicatif assez détaillé des considérations et des données que nous avons adoptées pour notre travail.

5. 3 - Carte topographique au 1/20 000 sans couleurs

Etant donné que nous avons seulement des cartes topographiques au 1/20 000 colorées, nous avons établi une carte topographique au 1/20 000 (basée sur celle qui existe). Elle a été faite sans couleur, et nous a servi de base pour l'établissement de notre carte géotechnique. Par contre, ne pouvant disposer de couleurs pour l'impression de notre carte géotechnique, nous avons utilisé une représentation en noir et blanc. Comme nous l'avons déjà expliqué dans le premier chapitre, nous recommandons que la carte soit faite en couleurs pour être plus lisible.

6. - CONCLUSION

En conclusion sur ce chapitre de la méthodologie adaptée aux conditions imposées et les moyens mis en œuvre, nous pouvons dire que :

- les conditions de départ ont été insuffisantes,
- il y a eu un manque de sondages mécaniques, ce qui nous a orienté vers la géophysique,
- les essais faits en laboratoire sont très simples et courants (granulométrie et les limites d'Atterberg surtout),
- les travaux faits sur le terrain ont été facilités, en raison de l'existence de routes et chemins assez nombreux, ainsi que de la topographie facile sans beaucoup de végétation et la variété des sols ; ceci nous a donné un bon entraînement pour la confection de ces types de cartes ;
- un hiver anormalement long nous a empêché de poursuivre plus rapidement les travaux sur le terrain ;
- un manque de personnel pour l'application de la géophysique qui s'est fait ressentir au début ;
- l'appareillage utilisé pendant les travaux est assez bon, surtout celui utilisé pour la sismique, qui donne généralement des résultats assez précis. Nous avons recommandé l'acquisition d'un appareil de sismique portatif à multipistes afin que son application soit plus rapide et plus facile ;
- les travaux complémentaires faits pour le calcul des épaisseurs et résistivités des couches sont assez bons et précis quand ils sont adaptés aux conditions imposées dans notre calcul. Pour l'application des travaux dans l'avenir il faut faire attention aux mêmes conditions imposées ;
- pour l'établissement de la carte géotechnique il faut partir des cartes topographiques sans couleurs et avoir des couleurs pour sa représentation. Pour notre part, nous avons fait l'inverse ; cependant, nous avons adapté ces conditions à ce travail.

CHAPITRE IV

---

INTERPRETATION GEOTECHNIQUE DE LA FEUILLE SERRES N° 7-8

---

SOMMAIRE

	<u>Pages</u>
<u>INTERPRETATION GEOTECHNIQUE DE LA FEUILLE SERRES N° 7-8</u>	
1. - <u>INTRODUCTION</u> .....	101
1. 1. - Présentation de la région .....	101
1. 2. - Documents existants .....	101
2. - <u>DONNEES GEOGRAPHIQUES</u> .....	101
2. 1. - Aperçu géographique .....	101
2. 2. - Climatologie .....	104
2. 2. 1. - La pluviométrie .....	104
2. 2. 2. - La température .....	104
2. 2. 3. - Les précipitations neigeuses .....	104
2. 2. 4. - Nébulosité, insolation .....	109
2. 2. 5. - Les vents .....	110
2. 3. - Population et urbanisme .....	110
3. - <u>DONNEES GEOLOGIQUES ET MORPHOLOGIQUES</u> .....	112
3. 1. - Introduction .....	112
3. 2. - Aperçu structural .....	112
- les plis : .....	113
- anticlinaux .....	113
- synclinaux .....	113
- les décrochements .....	113
3. 3. - Les paysages .....	113
3. 3. 1. - La zone montagneuse .....	113
3. 3. 2. - Les plateaux .....	114
3. 3. 3. - Les vallées .....	114
3. 4. - Descriptions des terrains .....	114
3. 4. 1. - Le bedrock .....	114
3. 4. 2. - Les terrains de couverture .....	115
1 - Eboulis actuels .....	115
2 - Eboulis caillouteux de vieilles surfaces .....	115
3 - Eboulis cryoclastiques .....	115
4 - Dépôts d'origine glaciaire locale probable (remaniés ?) .....	116
5 - Coulées boueuses anciennes .....	116
6 - Argiles d'origine "lacustre" (probable) .....	116

7 - Haute terrasse fluvio-glaciaire	116
8 - Basse terrasse fluvio-glaciaire	116
9 - Haute terrasse fluviale	117
10 - Basse terrasse fluviale	117
11 - Terrasse alluviale	117
12 - Lit majeur des grands cours d'eau	117
13 - Terre noire altérée	117
14 - Terre noire sub-affleurante	117
15 - Cônes de déjections torrentiels	117
16 - Eroulement rocheux	117
17 - Glissements rocheux en masse	117
<b>4. - DONNEES HYDROGEOLOGIQUES</b>	<b>118</b>
4. 1. - Recherches hydrogéologiques	118
4. 2. - Les terrains aquifères	118
4. 2.1. - Les terrains de couverture	118
4. 2.2. - Les terrains argileux	118
4. 2.3. - Les terrains rocheux	118
4. 3. - Les sources	118
4. 4. - Les puits	122
4. 5. - Les canaux	122
4. 6. - Température des eaux	122
4. 7. - Hydrochimie	123
4. 8. - Utilisation des eaux	125
4. 9. - Perspectives d'avenir à Serres	125
<b>5. - ETUDE GEOTECHNIQUE</b>	<b>125</b>
- Définition	125
- Classification	125
- Méthodologie	125
- L'étude géotechnique	125
- Représentation	125
- Importance	125
5. 1. - Description des terrains	125
a) <b>LE BEDROCK</b>	<b>126</b>
a1) <b>Les calcaires</b>	<b>126</b>
1 - Lithologie	126
2 - Morphologie et évolution actuelle	126
3 - Hydrogéologie	126
4 - Considérations sur :	126
- la fracturation	126
- l'altérabilité	127
- la stabilité	127
5 - Utilisations :	127
- matériaux de construction	127
- sols de fondation	127
6 - Données complémentaires	127

a2) <b>Formations calcaréo-marneuses</b>	<b>129</b>
1 - Lithologie	129
2 - Morphologie et évolution actuelle	129
3 - Hydrogéologie	129
4 - Considérations sur :	129
- la fracturation	129
- l'altérabilité	130
- la stabilité	130
5 - Mesures de vitesses	130
6 - Données complémentaires	130
a3) <b>Les "Terres Noires" locales</b>	<b>132</b>
1 - Lithologie	132
2 - Morphologie et évolution actuelle des versants	132
3 - Hydrogéologie	132
4 - Considérations sur :	132
- la fracturation	132
- l'altérabilité	134
- la stabilité	134
5 - Mesures de vitesses	134
6 - Données complémentaires	134
<b>b) LES TERRAINS DE COUVERTURE</b>	<b>135</b>
b1) <b>Les terrasses</b>	<b>135</b>
1 - Localisation	135
2 - Lithologie	135
3 - Morphologie	136
4 - Hydrogéologie	136
5 - Caractéristiques physiques et mécaniques	136
6 - Mesures des vitesses et des résistivités	139
7 - Propriétés des sols pour les travaux de l'ingénieur	139
b2) <b>Les dépôts d'origine glaciaire locale probable (remaniés ?)</b>	<b>141</b>
1 - Localisation	141
2 - Lithologie	141
3 - Morphologie	141
4 - Hydrogéologie	142
5 - Caractéristiques physiques et mécaniques	142
6 - Mesures des vitesses sismiques et des résistivités	144
7 - Propriétés des sols pour les travaux de l'ingénieur	144
b3) <b>Les anciennes coulées boueuses</b>	<b>145</b>
1 - Localisation	145
2 - Lithologie	145
3 - Morphologie	145
4 - Hydrogéologie	146
5 - Caractéristiques physiques et mécaniques	146
6 - Mesures des vitesses sismiques	148
7 - Propriétés des sols pour les travaux de l'ingénieur	148
b4) <b>Les éboulis cryoclastiques</b>	<b>149</b>
1 - Localisation	149
2 - Lithologie	149

3 - Morphologie .....	149
4 - Hydrogéologie .....	150
5 - Caractéristiques physiques et mécaniques .....	150
6 - Mesures des vitesses sismiques .....	152
7 - Propriétés des sols pour les travaux de l'ingénieur .....	152
b5) Les argiles "lacustres" (probables) .....	153
1 - Localisation .....	153
2 - Lithologie .....	153
3 - Morphologie .....	153
4 - Hydrogéologie .....	153
5 - Caractéristiques physiques et mécaniques .....	153
6 - Mesures des vitesses sismiques .....	155
7 - Propriétés des sols pour les travaux de l'ingénieur .....	155
b6) Les argiles caillouteuses .....	158
1 - Localisation .....	158
2 - Lithologie .....	158
3 - Morphologie .....	158
4 - Caractéristiques physiques et mécaniques .....	160
5 - Propriétés des sols pour les travaux de l'ingénieur .....	160
b7) Les produits d'altération des "Terres Noires" .....	163
1 - Localisation .....	163
2 - Lithologie .....	163
3 - Morphologie .....	163
4 - Hydrogéologie .....	163
5 - Caractéristiques physiques et mécaniques .....	164
6 - Mesures sismiques .....	164
7 - Propriétés des sols pour les travaux de l'ingénieur .....	164
b8) Les lits majeurs des cours d'eau principaux .....	167
1 - Localisation .....	167
2 - Utilisation pour les travaux de l'ingénieur .....	167
b9) Les cônes de déjection torrentiels .....	168
1 - Localisation .....	168
2 - Précautions pour les travaux de l'ingénieur .....	168
b10) Les écoulements rocheux .....	169
1 - Localisation .....	169
2 - Morphologie .....	169
3 - Précautions pour les réalisations des travaux de l'ingénieur .....	169
b11) Les glissements en masse .....	170
1 - Localisation .....	170
2 - Précautions pour les réalisations des travaux de l'ingénieur .....	170
b12) Les "Terres Noires" sous faible recouvrement .....	171
1 - Propriétés pour les travaux de l'ingénieur .....	171
6. - GLISSEMENTS .....	171
6. 1. - Introduction .....	171
6. 2. - Localisation .....	171
6. 3. - Morphologie .....	171
6. 4. - Surfaces de glissements .....	173

- 6. 5. - Mode de glissement des matériaux
- 6. 6. - Propositions et remèdes susceptibles de stabiliser les glissements

- a. - Drainage des eaux de surface
  - 1 - Du point de vue préventif
  - 2 - Du point de vue correctif
- b. - Stabilisation des mouvements profonds

- Tableau de correspondance entre la Géologie et la Géotechnique
- Tableau de sondages sismiques (localisation et épaisseurs)
- Figures des sondages sismiques et électriques
- Planches photographiques.



## 1. - INTRODUCTION

Ce chapitre comporte, suivant le plan de ce mémoire, l'étude géotechnique du secteur couvert par la carte I. G. N. de Serres 7-8 au 1/20 000.

### 1. 1. - Présentation de la région

Dans le choix du secteur soumis à la présente étude géotechnique on a tenu compte des critères suivants :

- 1 - La gamme des sols, par sa nature très variée, permet une étude relativement complète de la région et constitue, en outre, un terrain particulièrement riche du point de vue de la géotechnique.
- 2 - La majeure partie du secteur étudié (14 000 ha) est parcourue de routes et de chemins qui ont grandement facilité nos déplacements et permis l'acheminement du matériel nécessaire aux investigations géotechniques.
- 3 - La végétation sauvage est souvent réduite par l'extension des cultures vivrières et n'entrave que très peu les déplacements.
- 4 - La zone quaternaire (5 000 ha environ) - qui fait l'objet de cette étude - reste très peu pentue bien que la topographie de la région soit, de façon générale, relativement accidentée.
- 5 - L'existence, à l'intérieur de la même carte topographique, de deux zones géomorphologiques bien différenciées :
  - la partie occidentale rocheuse et accidentée,
  - la partie orientale, essentiellement quaternaire, qui constitue l'objet principal de cette étude géotechnique.

### 1. 2. - Documents existants

Dans la réalisation de la carte géotechnique nous avons pu utiliser les documents suivants :

- a) Cartes topographiques (I. G. N.)
  - Feuille de Serres au 1/50 000.
  - Feuille de Serres 7-8 au 1/20 000, utilisée comme fond topographique.
- b) Cartes géologiques :
  - Feuille de Serres au 1/50 000. Nous en avons extrait les données géologiques relatives au substratum : la stratigraphie et la tectonique, qui ne constituaient pas l'objet de ce travail.
- c) Photographies aériennes (I. G. N.), principalement utilisées dans l'interprétation morphologique du secteur.
- d) Divers ouvrages de géotechnique qui nous ont permis de mieux orienter nos recherches.

## 2. - DONNEES GEOGRAPHIQUES

### 2. 1. - Aperçu géographique

La présente étude intéresse une région située dans la partie la plus méridionale du département des Hautes-Alpes, aux confins des Basses-Alpes et de la Drôme, comprise approximativement entre le Buech à l'Est, la montagne de Chabre au Sud et les villages de Villebois-les-Pins, de Montjay et de Chanousse à l'Ouest et au Nord. Pour plus de commodité cette étude a été limitée, artificiellement, à la superficie couverte par la carte topographique de Serres 7-8 au 1/20 000 (cf. fig. 18). Le périmètre étudié couvre une superficie de 143 km<sup>2</sup>, dont 50 km<sup>2</sup> environ ont été l'objet de l'étude géotechnique.

Les coordonnées géographiques sont les suivantes :

- longitude : 03° 75' E.
- latitude : 49° 23' N.
- altitude moyenne : 660 m pour les vallées et 900 m pour les versants.

Les coordonnées Lambert aux extrémités de la carte sont :

	X	Y
N. E.	872,51	235,64
S. E.	872,90	226,68
N. W.	858,18	235,10
S. W.	858,56	225,10

Les caractères physiques qui singularisent cette région sont le propre d'un pays semi-montagneux à affinités alpestres très nettes qui montre encore, cependant, quelque influence méditerranéenne. A de nombreux égards, cette région constitue une zone de transition entre la Provence et les Alpes : les reliefs s'affirment, les conifères tels que les sapins couvrent la partie haute des versants, tandis que dans les vallées on rencontre encore de nombreuses espèces méditerranéennes.

C'est une région sauvage, peu peuplée, (environ 7 habitants au km<sup>2</sup>) au relief prononcé, couverte d'une abondante végétation, mais qui bénéficie, une grande partie de l'année, d'un ensoleillement appréciable et la luminosité de l'atmosphère lui confère un charme indéniable.

La population se répartit dans les villages et hameaux échelonnés le long des deux vallées principales : celle du Céans au Sud et celle de la Blaisance au Nord, qui constituent l'essentiel de notre étude.

Le Céans s'écoule selon une direction moyenne WSW - ENE. Dans son cours supérieur, jusqu'au niveau du hameau de Laborel son régime est torrentiel, puis la vallée s'élargit progressivement, remblayée par des alluvions actuelles ou récentes. Le Céans reçoit, chemin faisant, les eaux de nombreux torrents qui ravinent les versants selon une direction générale perpendiculaire au cours des rivières citées plus haut. En rive droite les torrents de la Rivière, de Veillanne, de Bagnols grossissent les eaux du Céans à l'amont d'Orpierre. En rive gauche, les ruisseaux descendant de la Crête de Januard (1107 m) sont moins nombreux et intermittents, le principal affluent est le St Cyrice qui se jette dans le Céans un kilomètre environ à l'amont d'Orpierre. Puis le lit majeur du Céans s'élargit encore, recevant les eaux des torrents du Chevalet, du Grand Béal, de l'Ollagnier, avant d'aller se jeter dans le Buech.

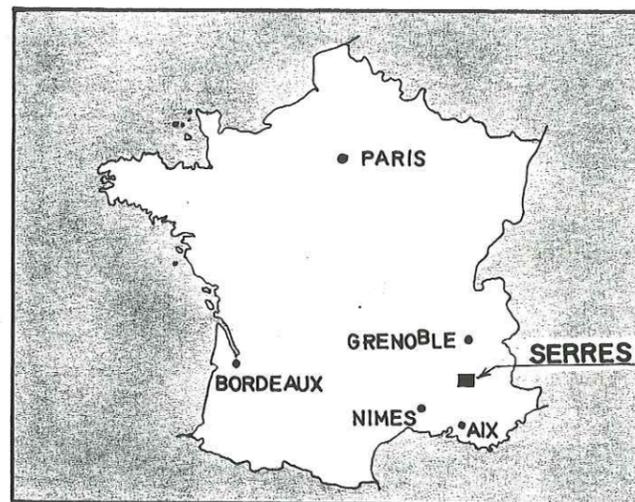
Plus au Nord, la vallée de la Blaisance constitue un deuxième ensemble géographique avec, dans le sens de l'écoulement de la rivière, d'Ouest en Est, les villages de Montjay, Chanousse, Trescléoux et Lagrand. De même que le Céans, la Blaisance reçoit les eaux de nombreux torrents entre Montjay et son confluent avec le Buech : torrents du Monard, du Merdary, de Reynechard, de Font-Sabatier, de Merdaric en rive gauche ; de l'Oubron, des Teissonnières, du Verger, de Chauvet, d'Auriac en rive droite.

Ces deux cours d'eau drainent donc la totalité des eaux de la région entre les crêtes de la montagne de Chabre (1 300 m d'altitude en moyenne) au Sud et les contreforts constitués par la Crête Granet (1 359 m) et les Rochers d'Aumage (1 060 m) au Nord.

Le Céans et son affluent le St Cyrice et la Blaisance isolent un secteur central au relief tourmenté où l'on remarque les sommets du bois d'Estève (1 281 m) et de La Fayée (1 294 m) dans la montagne de Lèbre-Cuite à l'Ouest. Au Nord d'Orpierre le Suillet constitue le point culminant du massif (1 324 m).

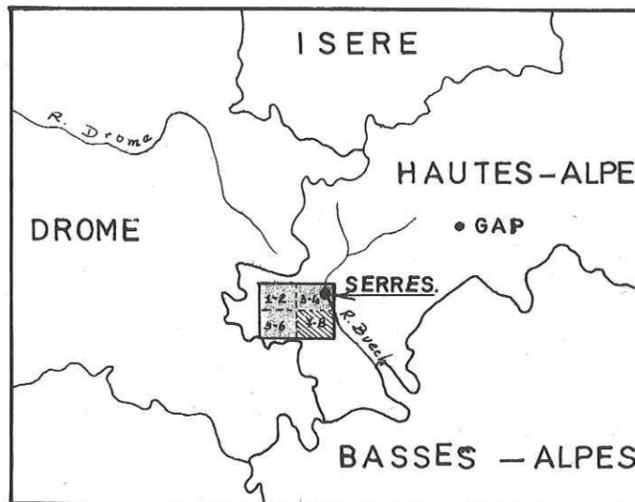
La topographie actuelle est l'œuvre conjuguée des torrents et rivières déjà cités et des glaciers quaternaires dont on retrouve la trace dans les basses vallées du Céans et de la Blaisance, ainsi que entre le Buech et la Blaisance. Comme nous le verrons ultérieurement la tectonique et la lithologie de la région jouent un rôle important dans la morphologie actuelle.

Fig.18. Situation géographique de la région de SERRES.



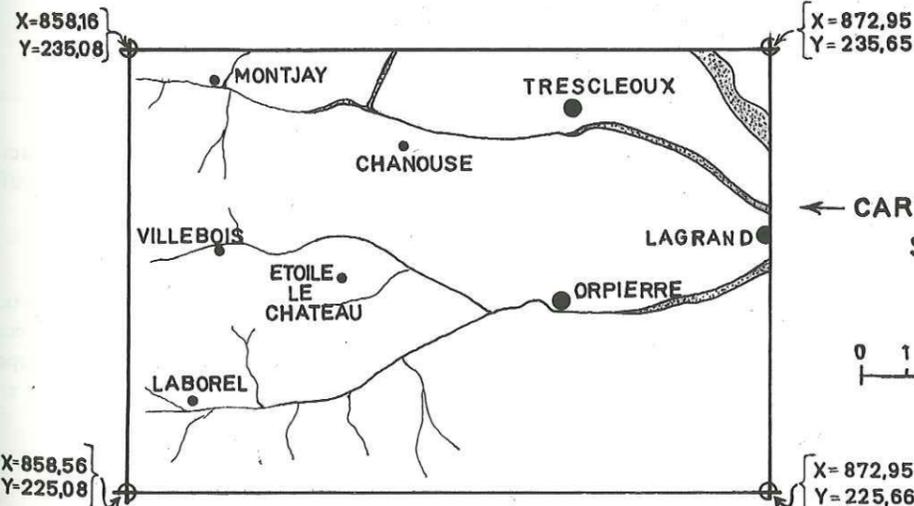
← Situation générale.

ECHELLE :  
0 200 400 Km.



← Situation départementale.

ECHELLE :  
0 20 40 Km.



← CARTE TOPOGRAPHIQUE  
SERRES N° 7-8

ECHELLE :  
0 1 2 3 4 Km.

X=858,16  
Y=235,08

X=872,95  
Y=235,65

X=858,56  
Y=225,08

X=872,95  
Y=225,66

2. 2. - Climatologie

La région de Serres ne possède aucune station météorologique qui puisse fournir des données précises. Les chiffres que nous avons portés dans la présente étude sont le résultat "d'interpolations" à partir des données fournies par les différentes stations météorologiques voisines de notre secteur. Nous avons pu utiliser ainsi les informations des stations suivantes :

- Séderon,
- Laragne,
- Gap,
- Nyons,
- Montauban-sur-Ouvèze,
- Buis-les-Baronnies,
- Montélimar.

Ces mesures sont assez nombreuses et ont été réalisées sur des périodes de 10 à 30 ans. Par conséquent, il leur est statistiquement possible de rendre une description approximative du climat.

2. 2 1. - La pluviométrie

Le secteur de la région de Serres est assez bien arrosé puisque les hauteurs moyennes calculées au cours d'une période de 33 ans (1928 - 1951 et 1959 - 1968) atteignent 850 mm par an (tableau XXIII).

Les directions principales que suivent les fortes précipitations se regroupent en un faisceau ouest-est avec de faibles écarts en direction NNW - SSE. Les précipitations sont mal réparties sur l'ensemble de l'année.

De façon générale et utilisable on peut dire que :

- les pluies hivernales sont suffisantes,
- les pluies printanières sont suffisantes, avec un maximum de précipitations en mars,
- les pluies d'été sont insuffisantes, en particulier du 1er juillet au 30 août,
- les pluies automnales sont très abondantes et très marquées, en particulier pendant les mois de septembre et novembre où la hauteur d'eau tombée est la plus importante par rapport à la pluviométrie annuelle.

De ce régime pluvial résulte une "saison" humide qui dure une grande partie de l'année, à l'exception des mois de juillet et d'août, caractérisés par la sécheresse.

Une certaine périodicité semble exister dans la répartition pluriannuelle des précipitations : en effet, une année sur trois est nettement plus humide. On remarque, en outre, pour des années humides successives une décroissance du total pluviométrique (fig. 20). De même, les périodes sèches le sont de plus en plus, et semblent annoncer pour l'avenir des conditions défavorables pour les cultures et la vie économique de toute la région. A titre documentaire nous donnons deux cartes des courbes isohyètes représentant :

- 1 année particulièrement sèche : 1929 (fig. 21),
- 1 année particulièrement humide : 1935 (fig. 21 bis).

2. 2 2 - La température

Les températures reflètent un climat à caractère essentiellement continental et montagneux.

Les températures extrêmes relevées dans la région sont de -22°C et de +37°C. Le régime thermique se caractérise par des températures moyennes assez basses et une forte amplitude annuelle. Les plus basses températures se manifestent en janvier, les plus hautes au mois de juillet.

2. 2 3 - Les précipitations neigeuses

La région de Serres est enneigée pendant la période hivernale. Les chutes de neige sont maximales en janvier et février, et ne dépassent jamais le mois de mars. La niviosité comme les autres facteurs climatologiques varie d'une année à l'autre : 1969 fut une année particulièrement neigeuse. Nous avons remarqué, à l'examen des relevés disponibles, que l'enneigement d'un hiver anormalement neigeux est approximativement le triple de celui enregistré en une année anormalement sèche.

TABLEAU XXIII

PLUVIOMETRIE

Altitude moyenne -----	660 m	
Latitude -----	49° 23' N	
Période d'observation -----	1959 - 1968	
Nombre d'années d'observation -----	10	
Moyenne annuelle calculée sur les années d'observation (en mm) -----	850	
Moyennes pluviométriques mensuelles (en mm)	Décembre -----	65,8
	Janvier -----	47,3
	Février -----	71,5
	Mars -----	74,8
	Avril -----	63,3
	Mai -----	63,1
	Juin -----	62,1
	Juillet -----	31,7
	Août -----	73,1
	Septembre -----	106,2
	Octobre -----	86,1
	Novembre -----	105,0
Indice pluviométrique le plus élevé observé -----	1 205	
Indice pluviométrique le plus faible observé -----	484	

Fig. 19. Diagramme PLUVIO-THERMIQUE d'après Gaussen pour les périodes 1,959-1,968.

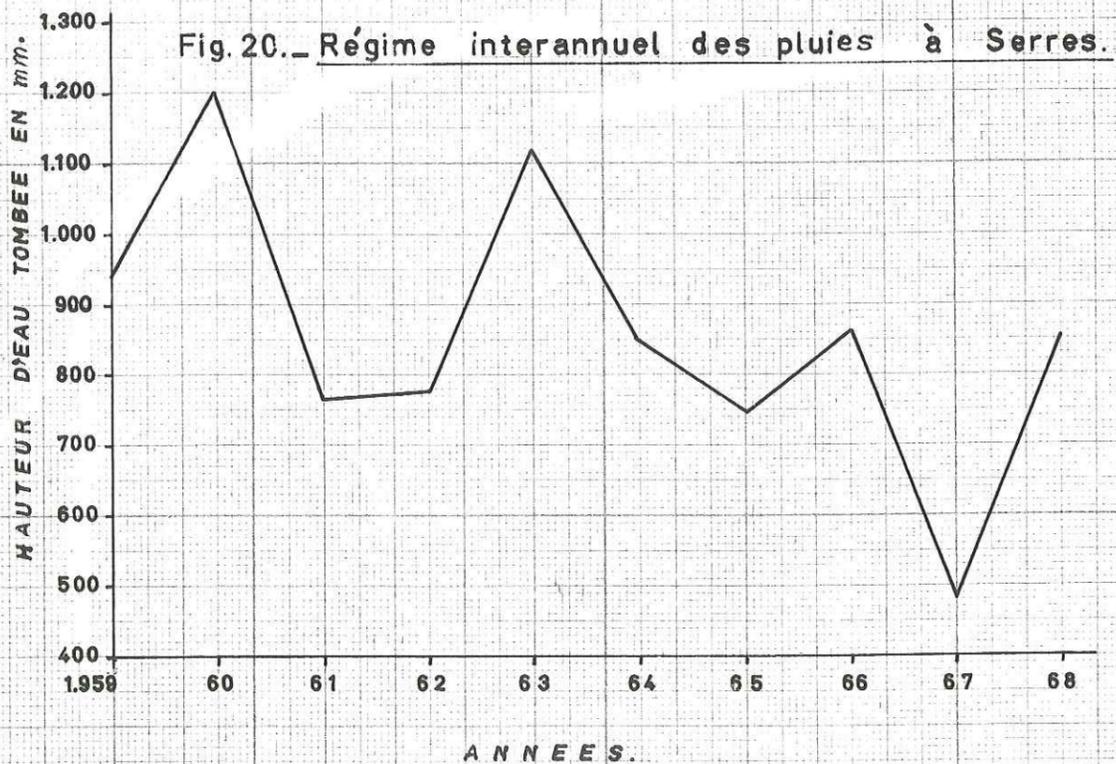
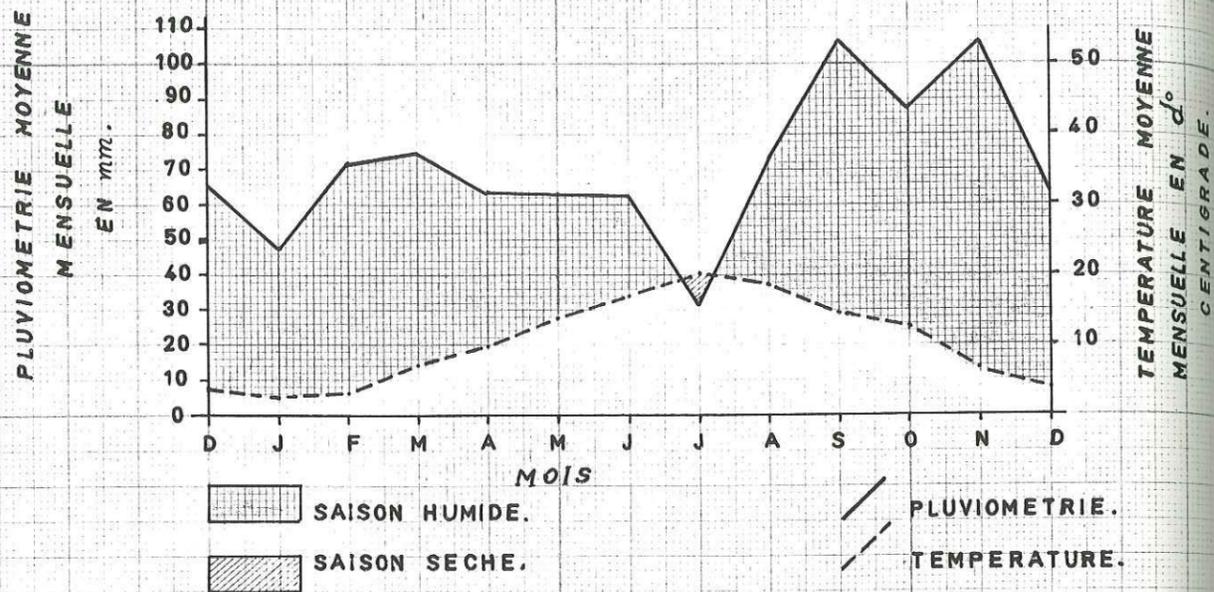


Fig. 21. Courbes Isohyètes, ANNEE SECHE: 1,929

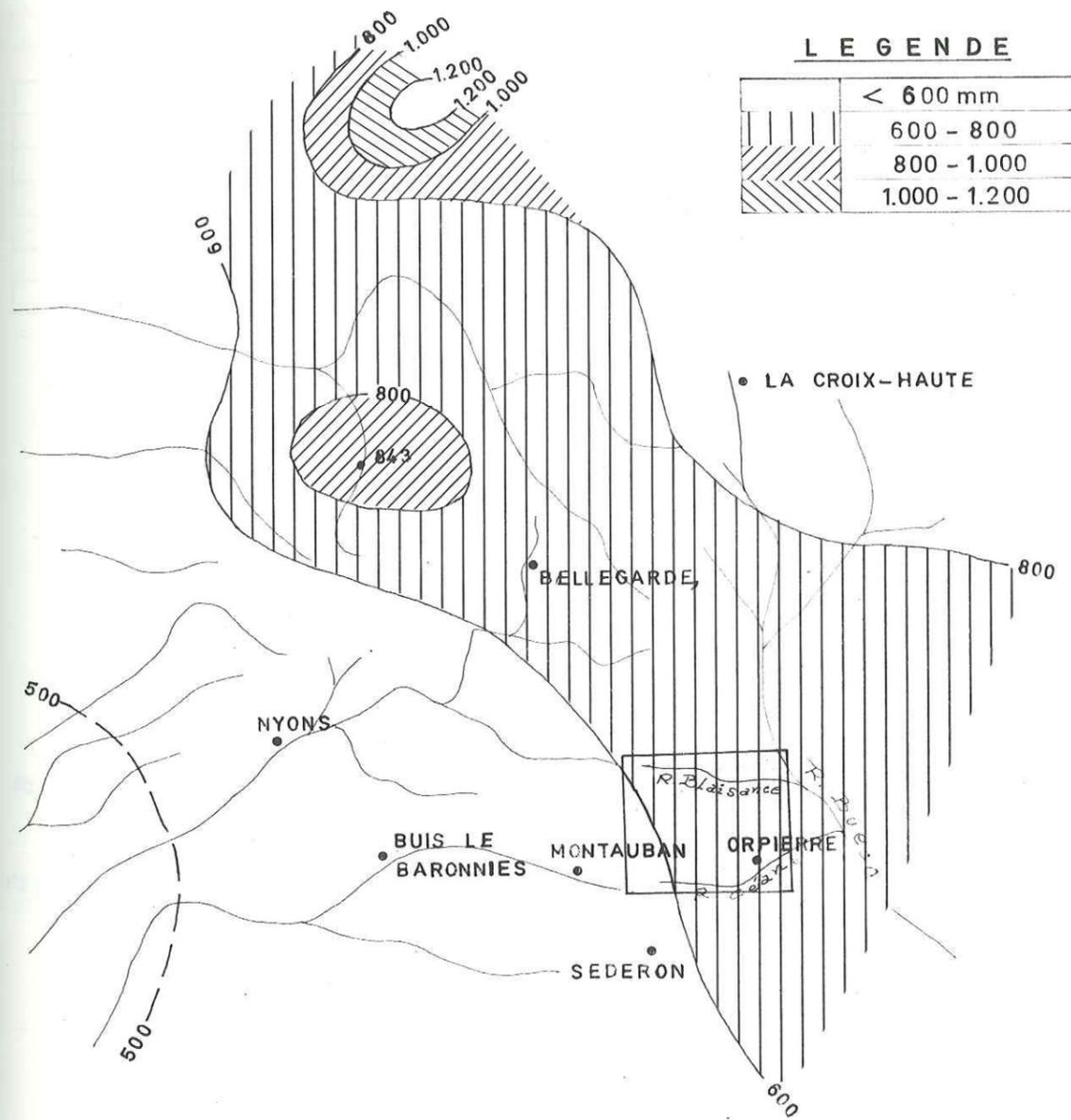
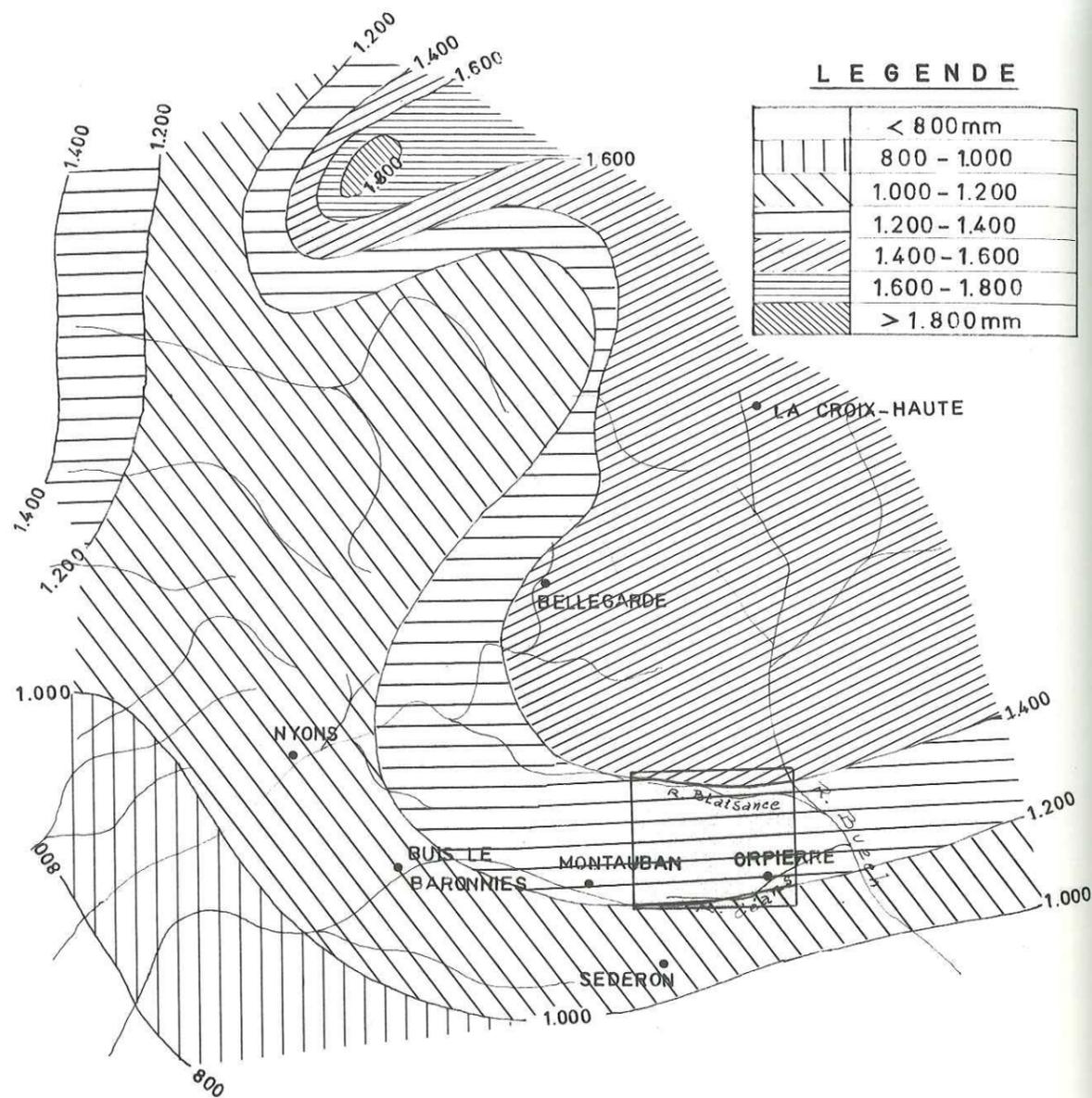


Fig. 21 bis. — Courbes Isohyètes, ANNEE PLUVIEUSE : 1.935



TABEAU XXIV

TEMPERATURE (obtenue par interpolation)  
(valeurs exprimées en degrés centigrades)

Période retenue : 1964 - 1968 (à Buis-les-Baronnies, Nyons et Serres)  
15 années à Gap.

MOIS	MOYENNE MENSUELLE (fig. 19)
Janvier	2,7
Février	3,0
Mars	7,0
Avril	9,5
Mai	13,5
Juin	16,9
Juillet	20,0
Août	18,7
Septembre	14,9
Octobre	12,9
Novembre	6,9
Décembre	3,7
Température moyenne maximale	34,8
Température moyenne minimale	-13,3
Moyenne annuelle	10,8

L'enneigement le plus important a été enregistré au cours de l'hiver 1941 - 1942 avec 66 jours de neige ; le plus faible en 1936 - 1937 avec 15 jours de neige seulement. A titre indicatif la fréquence des journées neigeuses est :

- janvier : 3
- février : 2
- mars : 1
- décembre : 2.

2. 2 4 - Nébulosité - Insolation

A titre indicatif nous retiendrons les valeurs suivantes, relatives à la période de 1965 à 1968 :

- la nébulosité a une fréquence annuelle de 27 jours ;
- l'insolation moyenne annuelle en fractions décimales de la durée théorique du jour est de 0,288.

2. 2 5 - Les vents

Les principaux vents sont :

"La Marine", porteur de pluies, qui souffle du Sud.

"La Lombarde", vent d'Est, en provenance d'Italie et qui pénètre profondément dans les vallées de la Blaisance et du Céans. C'est un vent violent qui souffle surtout l'hiver.

"La Bise", vent du Nord, moins violent que le précédent mais plus fréquent. C'est un vent froid et sec.

"La Brise", vent d'Ouest, surtout ressenti dans les vallées qui, comme celles que nous avons mentionnées plus haut, sont orientées Ouest-Est. On distingue la "Brise montante" et la "Brise descendante".

Pour chaque direction cardinale, nous avons, utilisant des statistiques réalisées sur une période de 21 années (1944 - 1960 et 1965 - 1968), obtenu, par interpolations des valeurs de fréquence que nous rassemblons dans le tableau suivant (fig. 22 et tableau XXV) :

TABLEAU XXV

Orientation	Fréquence (%) des vents au sol
Nord	41,6
Nord Est	8,2
Est	3,8
Sud Est	1,6
Sud	12,8
Sud Ouest	4,6
Ouest	2,5
Nord Ouest	2,5
Calmes	22,4

Ces vents sont généralement forts et turbulents, durant les mois de décembre à février et en quelques rares périodes en mai et juin. Les vitesses extrêmes mesurées au sol sont celles des vents provenant du Nord et du Nord Est qui peuvent atteindre 166 km/h. Ces vents sont mesurés au sol et leur vitesse est le plus souvent exprimée en m/s.

Les vents calmes sont fréquents en mai, septembre et spécialement en octobre où ils favorisent la formation de brouillards ou brumes et le dépôt d'une abondante rosée.

2. 3 - Population et urbanisme

La région sur laquelle porte notre étude est peu habitée (approximativement 7 habitants au km<sup>2</sup>).

La population active est surtout concentrée dans les vallées où elle est répartie dans des hameaux qui ne comptent jamais plus de 300 âmes : Orpierre, Trescléoux, Lagrand, Etoile-le-Château, Montjay.

Le relief a une grande influence sur la répartition humaine en imposant un certain isolement entre chaque village.

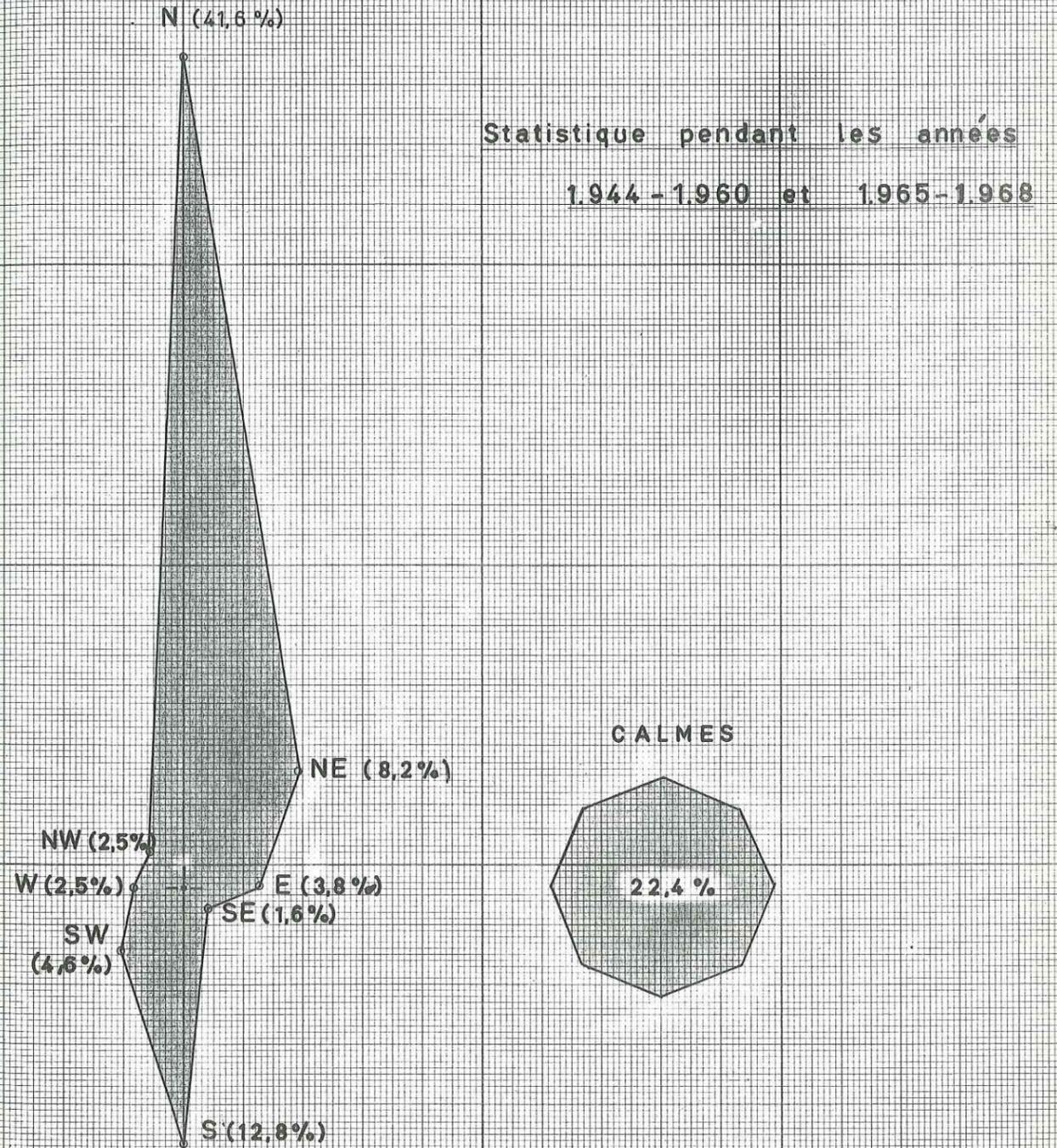
L'exode des populations jeunes vers les grandes villes (Gap, Aix, Grenoble, Marseille) en quête de travail ou de centres universitaires, constitue un problème crucial pour la région, où seules demeurent les personnes âgées.

La population est essentiellement agricole, elle se partage entre l'élevage des ovins et les cultures vivrières : arbres fruitiers, vigne, blé, avoine. La lavande occupe, en outre, une grande part dans l'économie de la région.

Le développement du tourisme commence à prendre de l'ampleur, notamment à Orpierre, situé sur la route des "Princes d'Orange" qui compte des hôtels, un camping et une piscine.

Tout ceci dans l'odeur fraîche des lavandes et sous le soleil d'été concourt à attirer l'attention des estivants à la recherche d'une ambiance calme et reposante.

Fig. 22. Fréquence (%) des DIRECTIONS DES VENTS (au sol).



Les types d'habitation se partage en deux groupes nettement différenciés :

- un premier groupe constitué par les vieilles habitations, dont quelques unes ont été réparées ou rénovées pour la location aux estivants. Les murs de toutes ces maisons portent des lézardes plus ou moins ouvertes, dues à des efforts cisailants créés par des déplacements différentiels du sol ;
- un deuxième groupe, constitué de maisons neuves, construites de façon mixte (ciment armé et pierres de taille), utilisées de façon générale comme résidences secondaires. Là comme dans le groupe précédent, mais à un degré moindre, on peut observer le même type de fissures occasionnées par les glissements en masse du sol de fondation.

A l'heure actuelle on entreprend à Orpierre la construction de 180 habitations, dans le groupe "le Paradis", situé sur le versant nord du Céans. L'ensemble sera fondé sur du matériel cryoclastique perméable, qui repose lui-même sur des "terres noires" imperméables. Ceci donne à prévoir un certain danger de glissements de tout le matériel cryoclastique, dans lequel on a déjà noté quelques mouvements même sans surcharges artificielles.

Un plan général d'aménagement régional devra s'appuyer sur des études géographiques, géologiques, sociales, démographiques et économiques. L'urbaniste devra se référer à la carte géotechnique, document indispensable à la connaissance de la géographie physique régionale. Ce travail de recherche géotechnique pourra donc servir, de façon générale ou détaillée, à tous les travaux d'aménagement, et c'est là qu'il trouvera sa première application. C'est aussi une façon de débiter et de faciliter l'élaboration prochaine d'un plan d'urbanisme régional et d'affirmer la nécessité de travailler en équipes pluridisciplinaires.

### 3. - DONNEES GEOLOGIQUES ET MORPHOLOGIQUES

#### 3. 1. - Introduction

Les lignes de crêtes principales sont formées par les calcaires et correspondent aux flancs des grands anticlinaux. Telles sont, du Sud au Nord et de l'Ouest à l'Est, les crêtes de la montagne de Chabre, la montagne de Pierre Vesce, Crête de Juanard, le Château, sommet du Bois d'Esteves, montagne de Levre-Cuite, Crête de la Plaine, Blache Garelle, côte Granet.

Le point culminant de la région est la montagne de Pierre-Vesce (1364 m) entre la montagne de Tuen et le village de Villebois.

Les vallées qui séparent ces reliefs, sont tributaires du bassin Buech-Durance à l'Est, et naissent dans la partie occidentale de notre secteur, dans les reliefs qui surplombent les villages de Montjay et Villebois.

Les principaux cours d'eau du bassin du Buech sont, du Sud au Nord, le Céans, la Blaisance. Le point le plus bas de la région se situe dans la vallée du Buech, à la cote 600 m. Des cluses plus ou moins étroites marquent le passage de ces vallées à travers les assises calcaires de la région : à Orpierre, à Trescléoux, à Chanousse.

La dépression du Buech, d'orientation approximative nord-sud, correspond à la partie nord-occidentale du grand anticlinorium de "terres noires" de Laragne vers lequel se relèvent et viennent se perdre les plis des chafons des Baronnies.

La vallée du Buech et les basses vallées de ses affluents (Blaisance et Céans) montrent en outre toute une série de terrasses emboîtées où l'on peut reconnaître trois terrasses fluviales, étagées de 3 à 30 m environ, et de deux terrasses fluvio-glaciaires s'élevant approximativement à 80 et 120 mètres.

#### 3. 2. - Aperçu structural

La région présente une structure complexe, de style souple, qui résulte des efforts auxquels ont été soumis les dépôts, essentiellement plastiques de la "fosse vocontienne".

La série des assises représentées sur la feuille un indique que, au moins depuis le Bathonien supérieur et jusqu'au Turonien inclus, ce secteur de la fosse vocontienne a appartenu sans interruption au domaine maritime et a été le siège d'une sédimentation continue.

Toutefois, les différences de nature et d'épaisseur des dépôts témoignent des conditions paléogéographiques et paléobathymétriques variables qui ont présidé, au cours de cette longue période, à la fourniture - ou à la formation - et à l'accumulation des sédiments.

Malgré leur rigidité, qui leur confère un rôle important dans la morphologie, les barres calcaires du Tithonique et même l'épaisse série des calcaires turoniens paraissent avoir subi à peu près passivement les déformations structurales et c'est à la masse des "terres noires" ainsi qu'à l'ensemble des assises principalement marneuses du Crétacé inférieur que la région doit son style tectonique particulier.

Les accidents qui affectent le territoire de la feuille sont de deux types : d'une part des plis, d'autre part des décrochements, (feuille 1).

Les plis de formes extrêmement variées, sont tous orientés grossièrement ouest-est et présentent un net relèvement axial en direction de l'anticlinorium de Laragne dans lequel ils se fondent.

Pour les anticlinaux (feuille 1) certains ne montrent pas, ou montrent seulement à la faveur de leur relèvement oriental, les "terres noires" de leur axe, qui constituent un large bombement à peine marqué qu'affectent seulement quelques fractures transversales.

Les "terres noires" participent largement à la constitution des anticlinaux. Dans la partie sud est de la feuille Serres 7-8, l'anticlinal largement ouvert du Chevalet ou du bas Céans constitue un diverticule de l'anticlinorium de Laragne. Bien que son flanc nord ouest soit fortement affecté par le décrochement nord est - sud ouest d'Orpierre et ses satellites, ce pli demeure encore relativement simple et régulier.

Les autres anticlinaux se situent au Sud Ouest et centre Ouest de la carte ; le Puy - Crête de Juanard et les Peylans - Le Penas en constituent les axes structuraux.

Les synclinaux (feuille 1), offrent aussi des formes variées et montrent, comme les anticlinaux, un relèvement axial important en direction de l'Est, les synclinaux de la feuille sont étroits et creux et sont occupés de ce fait, au moins en partie, par les assises du Crétacé supérieur.

Le synclinal d'Etoile-le-Château - Saint-Cyrice - Les Meyronnes - Le Riabie, dont le flanc nord est chevauché par l'anticlinal de Peylan - Le Penas et le flanc sud par l'anticlinal Le Puy-Crête de Juanard.

L'autre synclinal de Laborel - Les Begues de direction ouest-est, change d'axe en direction nord est pour se confondre au Meyronnes avec le précédent. Au Nord Ouest de la région, entre le Moulin de Roux et la Baume se situe un autre synclinal de direction ouest-est.

Les décrochements (feuille 1), qui affectent les plis de la région présentent deux directions orthogonales très nettes, l'une Nord Ouest - Sud Est, l'autre Nord Est - Sud Ouest.

Les principaux décrochements nord ouest - sud est, sont ceux de Villebois (le plus important), de Chacogne, de Saint-Cyrice et de la Montagne qui tronçonnent la plupart des formes structurales situées à l'Ouest.

Tous ces décrochements ont pour effet de provoquer le déplacement relatif vers le Sud, des compartiments orientaux et la surélévation relative des compartiments occidentaux.

Les décrochements nord est - sud ouest sont ceux de Sainte-Colombe - Orpierre, Chanouse, qui ont un effet de laminage plus marqué que le décrochement proprement dit.

Les décrochements nord ouest - sud est, bloquent généralement ou décrochent les accidents nord est - sud ouest, tandis que les uns et les autres affectent les plis ouest-est qui leur sont par conséquent antérieurs. Cette "règle" souffre cependant une exception qui correspond au "décrochement" nord est - sud ouest d'Orpierre, contre lequel s'arrêtent les décrochements nord ouest - sud est de Villebois, Chacogne, Saint-Cyrice, la Montagne.

#### 3. 3. - Les paysages (les reliefs, les plateaux et les vallées)

Les paysages qui s'offrent au regard dans cette région sont très différenciés et l'on peut en général distinguer trois zones bien définies :

- la zone montagneuse,
- les "plateaux",
- les vallées.

##### 3. 3 1 - La zone montagneuse

Les sommets sont constitués par des formations rocheuses escarpées, en falaises abruptes au-dessus des vastes talus marneux, souvent recouverts d'éboulis, que sont les versants. Les versants sont couverts de sapins et autres conifères.

3. 3 2 - Les plateaux

Nous rassemblons sous ce terme toute la zone située topographiquement entre la zone montagneuse et les vallées. Ils sont constitués en majeure partie de hautes terrasses, de dépôts d'origine glaciaire ; et de formations détritiques périglaciaires. Les dépôts glaciaires proprement dits et périglaciaires sont parfois interrompus par des éboulis de vieilles surfaces, des argiles lacustres ou encore des argiles caillouteuses.

3. 3 3 - Les vallées

Elles sont encaissées dans la zone montagneuse, parfois sans transition, et comprennent le domaine inférieur des "plateaux". Deux vallées principales sont à noter : celle du Céans et celle de la Blaisance, séparées dans leur partie la plus orientale par le promontoire de Lagrand, avant leur confluent commun avec le Buech. Ces vallées d'origine fluviale sont orientées Ouest-Est.

3. 4. - Description des terrains

Nous diviserons cette description en deux parties :

- le bedrock,
- les terrains de couverture.

3. 4 1 - Le bedrock

Nous nous référons essentiellement à la description donnée par J. FLANDRIN (1956), en empruntant seulement les grandes lignes. Ces terrains que nous rassemblons sous le terme de bedrock, couvrent pratiquement la moitié de la carte et s'étagent du Bathonien au Turonien :

C3. - Turonien (290 - 130 m). Il est représenté par trois termes lithologiques distincts, de la base au sommet, des calcaires clairs à interlits marneux, des calcaires clairs à silex terminés par des lits gréseux glauconieux, des calcaires crayeux gris à spicules abondants.

C 2. - Cénomanién (150 - 200 m). Est représenté par une alternance assez monotone de calcaires gris à patine jaunâtre et de marnes grises ou noires finement sableuses.

C 1-n 6. - "Marnes bleues". Dans le synclinal de Etoile - Le Château - Saint-Cyrice, la présence très constante de nombreux bancs repères des calcaires marneux permet de distinguer le contact Albien - Gargasien.

n 5. - Bédoulien (20 à 40 m). On le rencontre affleurant au centre et au Nord Ouest de la région étudiée, où il est représenté par une alternance de bancs calcaires de 0,40 m à 1 m d'épaisseur et de niveaux marneux de 0,10 à 0,30 m, avec des intercalations de lits organo-détritiques.

n 4. - Barrémien (120 à 160 m). Cet étage essentiellement calcaire détermine ici des ressauts dans la topographie, où il est généralement bien reconnaissable. Il est riche en niveaux marneux où les glissements synsédimentaires perturbent la stratification normale.

n 3. - Hauterivién (200 m environ). Il affleure largement dans la zone centre-ouest de notre secteur. Il est essentiellement représenté par une alternance de bancs calcaires (0,25 à 0,50 m) et marno-calcaires (0,15 à 0,40 m), dont la stratification est assez souvent troublée à différents niveaux par des slumpings spectaculaires.

n 2. - Valanginién (100 - 120 m). Il intéresse la zone centrale et septentrionale de notre secteur ; composé d'une alternance régulière de couches calcaires-marneuses et marno-calcaires, avec un épisode nettement marneux à mi-étage, il se traduit dans la topographie par des dépressions bien marquées.

n 1. - Berriasien (100 à 120 m). Il occupe le quart supérieur et le quart inférieur de la carte jusqu'à Blaisance au Nord et jusqu'au Céans au Sud. Il débute par des calcaires sublithographiques en gros bancs (0,4 à 2 m) à pâte claire, n'admettant que de rares et très minces intercalations marno-calcaires. Au-dessus, les intercalations marno-calcaires

deviennent progressivement plus importantes, en même temps que diminue l'épaisseur des bancs calcaires, et au sommet de l'étage les calcaires et les marnes constituent des bancs d'égale épaisseur (0,10 à 0,20 m). La diminution d'épaisseur des bancs calcaires s'accompagne, dans la partie supérieure de l'étage, d'une augmentation de leur pourcentage en argile.

J 9. - Tithonique (60 à 100 m). Puissante barre calcaire constituant le trait morphologique et structural dominant de tout le paysage. Les calcaires, à pâte sublithographique beige clair ou gris clair, sont généralement massifs ou en gros bancs. Cependant, lorsque le pendage vertical des strates favorise l'action de l'érosion différentielle, ils peuvent se présenter sous forme de bancs durs, relativement peu épais, faisant saillie, séparés par des bancs plus tendres.

J 8. - Kimméridgien inférieur, Séquanien et Rauracien (80 à 100 m). Ces étages correspondent à une alternance de calcaire à pâte fine, gris ou beige, en bancs généralement bien lités de 15 à 50 cm et de marno-calcaires, les assises calcaires plus serrées et plus épaisses, déterminent une petite barre qui se distingue généralement bien, en dessous des étages plus marneux.

J 5. - Argovién (50 à 180 m). Marnes gris foncé admettant des intercalations de calcaires marneux à pâte sombre et patine jaunâtre rousse, se délitant en plaquettes dont les bancs augmentent en nombre et en épaisseur vers le haut. La puissance de l'ensemble croît du Sud au Nord. Dans les 20 à 30 derniers mètres les calcaires intercalés dans les marnes deviennent plus durs et plus francs.

J 4. - Base de l'Argovién, Oxfordien et Callovién supérieur (500 à 600 m). Ensemble de marnes schisteuses de teinte sombre. A 30 ou 40 m en dessous de son toit, cette formation admet quelques petits bancs de calcaires argileux rougeâtres. En dessous de cet horizon viennent environ 450 mètres de marnes schisteuses.

J 3. - Callovién moyen et inférieur (environ 250 m). Cet étage est caractérisé par la présence au sein des marnes, d'abondantes plaquettes de calcaires brun jaunâtre, de 2 à 10 cm d'épaisseur, qui déterminent dans le paysage de légers reliefs ; un terme inférieur marneux (environ 150 m).

J 2. - Bathonien supérieur (environ 1 000 m). Ensemble très puissant et monotone de marnes schisteuses sombres. Ces marnes montrent, à différents niveaux, de rares et minces intercalations calcaréo-marneuses et admettent à leur sommet, plusieurs gros bancs (10 à 50 cm) de calcaires gréseux à patine rousse.

3. 4 2 - Les terrains de couverture

Ils occupent la plupart la zone orientale de notre secteur, et constituent généralement les sols des plateaux, vallées et versants.

Ces mêmes terrains couvrent une surface importante dans le Nord de notre secteur, dans la vallée du Céans, constituant un paysage ouvert contrairement au secteur nord où la vallée de la Blaisance est beaucoup plus étroite.

Nous donnerons une description rapide des terrains de couverture rencontrés dans la région (cf. description détaillée sous-chapitre V).

1. - Eboulis actuels : ils présentent un faible développement au pied des falaises calcaires (montagne de Chabre, Crête de Boutin, côte Granet).

2. - Eboulis caillouteux de vieilles surfaces : témoins de l'existence d'une ancienne morphologie, ils sont de teinte ocre, riches en galets oxydés de calcaire du Jurassique supérieur et gros blocs hétérométriques, inclus dans une matrice argileuse. Leur épaisseur maximale est de 10 m. On les rencontre au Nord de Bas Chavalet, Chante-Duc, Bauregard, Pige-Bouin, le Pousin et la Berche, toujours juchés sur les buttes de "terres noires" qui ont de ce fait, résisté à l'érosion.

3. - Eboulis cryoclastiques : ils recouvrent la plupart des versants dominés par des falaises, mais se rencontrent plus fréquemment dans la partie orientale de notre région selon un axe nord-sud. Ce sont des éboulis très perméables, nés de la fracturation des roches sous les effets alternés et répétés du gel et du dégel.

4. - Dépôts d'origine glaciaire locale probable (remaniés ?) : de reliefs très modestes (pente moyenne 11 %), ils sont formés d'éléments hétérométriques, plus gros au sommet de la formation qu'à la base. La partie supérieure est de couleur grise, et on y rencontre quelques pentes assez marquées, contrairement à leur partie inférieure, constituée de matériel fin de couleur jaune, très faiblement pentée.

Ces dépôts, relativement étendus entre les falaises de la Côte Granet et la Blaisance, sont de moindre importance entre les hauteurs de la montagne de Chabre et le lit du Céans.

5. - Coulées boueuses anciennes : composées d'éléments calcaires du Jurassique avec d'abondants blocs de forte taille, désordonnés, situés généralement à la base de la coulée boueuse. De nombreux blocs atteignent un volume de plusieurs dizaines de m<sup>3</sup>.

La matrice est constituée d'argile très plastique, qui permet d'importants glissements sur toute la surface couverte par cette formation.

On distingue deux types de coulées boueuses :

- celles dont l'épaisseur atteint 20 m, reboisées, et actuellement stabilisées;
- d'autres, moins épaisses sont très sujettes aux glissements. Elles sont couvertes de pâturages ou d'arbres fruitiers. On y rencontre fréquemment des arbres fortement inclinés, des chemins déformés, des constructions détruites. On observe ce type de formation à Bas-Chevalet et Haut-Chevalet, aux Bouissettes, à Saint-Avons, la Saulce et Combeau.

6. - Argiles d'origine "lacustre" probable : de couleur jaunâtre, avec une épaisseur qui atteint 12 m. Cette formation se caractérise par la présence d'un volume important de concrétions calcaires enrobant des débris végétaux.

En période de sécheresse on y observe de nombreuses fissures de retrait, mais elles deviennent très plastiques une fois humides.

Cartographiquement il paraît y avoir une relation entre l'existence de ce type de formation, et la présence des importants glacis alluviaux de la rive droite du Céans. Les profils sismiques ont montré (fig. 34) que le front de ces glacis est marqué par un "seuil" au niveau du substratum de "terres noires". Par contre, les formations argileuses à débris organiques occupent des dépressions situées au-delà de ce seuil. On peut donc penser qu'elles sont le résultat d'une sédimentation en eau plus calme des produits terrigènes apportés par les ruisseaux divaguant à la surface du glacis. C'est pour cela que nous employons le terme d'argiles "lacustres", sans vouloir exprimer par là que la vallée du Céans ait été occupée par un véritable lac.

7. - Haute terrasse fluvio-glaciaire : constituée par des éléments très hétérométriques généralement pas ou peu cimentés, on y trouve une forte proportion d'éléments d'origine "alpine" (granite, quartzites, grès), notamment des galets de quartzite. On trouve cette haute terrasse au Nord Est, dans la "Serres du Deves".

8. - Basse terrasse fluvio-glaciaire : cette terrasse, largement développée en rive droite du Buech (Lagrand), atteint une épaisseur de 30 à 40 mètres.

Elle est de couleur grisâtre. Elle est formée d'éléments arrondis hétérométriques, mal classés et mal lités. Elle comprend deux ensembles bien différenciés :

- la partie supérieure est fortement cimentée par des dépôts calciteux sur une épaisseur de 10 à 15 mètres, où dominent nettement les galets calcaires de la série locale parmi lesquels on reconnaît néanmoins quelques éléments d'origine "alpine".

La plupart des éléments ont un diamètre compris entre 2 et 5 cm, mais on peut rencontrer quelques blocs erratiques de 40 à 50 cm. Les éléments inférieurs à 2 cm de diamètre sont les mieux cimentés. Ils sont généralement usés et aplatis, mais on compte cependant 30 à 40 % d'arrondis.

- la partie inférieure, non cimentée est constituée pour 40 % environ de matières argileuses, les galets formant le reste. Ces derniers sont souvent usés et surtout arrondis ; leur diamètre varie de 2 à 7 cm. On y trouve en plus grande proportion des blocs dépassant 7 cm que dans la partie supérieure.

Cette basse terrasse est très cultivée (fruits, légumes...).

9. - Haute terrasse fluviale : cette terrasse est de couleur jaunâtre et est très largement développée, intéressant pour l'essentiel, les rives du Buech, du Céans et de la Blaisance. Elle est formée de deux ensembles :

- un "ensemble supérieur", de 1 m d'épaisseur, de couleur café et recouverte d'une fine couche altérée;
- un "ensemble inférieur", de 9 m d'épaisseur environ, constitué par une matrice argileuse (30 % environ) qui forme quelques poches, et par des éléments calcaires, dont 7 % ont un diamètre de 8 à 40 cm, 43 % un diamètre de 2 à 8 cm et 20 % sont inférieurs à 2 cm.

Ils sont en majorité usés et allongés et ne comptent que très peu d'éléments très arrondis. L'ensemble n'est pas cimenté et le litage apparaît parfois nettement, soulignant un litage entrecroisé.

Cette formation se prête à la culture des arbres fruitiers et des céréales.

10. - Basse terrasse fluviale : située à l'extrémité nord est de notre secteur, sur les rives du Buech, elle apparaît gris clair, constituée en sa majeure partie par des galets calcaires et du matériel argileux.

11. - Terrasse alluviale : elle occupe le fond des vallées du Buech, de la Blaisance et du Céans. Elle est de faible épaisseur et essentiellement constituée de matériel argileux et de galets calcaires. Elle se prête fort bien à la culture fruitière.

12. - Lit majeur des grands cours d'eau : les lits du Buech, du Céans et de la Blaisance, sont constitués de galets et d'argiles sableuses.

13. - Terre noire altérée : elle couvre une grande partie de notre secteur, et apparaît de couleur gris jaunâtre. Elle constitue la couverture altérée des "terres noires" en place, son épaisseur moyenne est de 5 m environ et peut passer localement à 7 m. Cette couverture altérée se rencontre surtout sur les versants et les plateaux à relief peu prononcé.

Seule une végétation pauvre et basse les recouvrait à l'état sauvage, et ses terres sont souvent utilisées dans la culture de la lavande ou du blé, ou encore comme pâturage maigre pour l'élevage des ovins.

14. - Terre noire sub-affleurante : représentée par une mince couverture de "terre noire" remaniée et ravivée, d'une épaisseur inférieure à 1 m parfois mélangée à des cailloutis. Pins et lavande couvrent ces surfaces.

15. - Cônes de déjections torrentiels : situés au Sud de Trescléoux, au lieu-dit "les Gravières", au débouché des torrents d'Auriac et Chauvet.

16. - Eroulements rocheux : particulièrement importants au pied des falaises calcaires, ils se caractérisent par la forte taille des éléments. On observe un éroulement important à l'Est d'Orpierre, au Rocher du Quiquillon dont les éléments atteignent un volume de plusieurs centaines de m<sup>3</sup>.

17. - Glissements rocheux en masse : à l'Est du Suillet ils couvrent une superficie de 14 ha environ et sont constitués en majorité de roches calcaires.

Des pans rocheux détachés de falaises ont glissé sans basculer sur les terres noires, et se sont arrêtés à mi-pente (décoiffements).

4. - DONNEES HYDROGEOLOGIQUES

4. 1. - Recherches hydrogéologiques

Comme nous l'avons expliqué antérieurement, nous avons utilisé pour notre étude les travaux réalisés par la Direction Générale du Génie Rural, les rapports de l'Institut Dolomieu, ainsi que les travaux récents de L. TRON.

Les premières études datent de 1948, et nous en avons utilisé une partie. La majorité des données que nous indiquerons correspond aux recherches menées en 1969 et 1970 par les organismes cités plus haut.

Les formations rencontrées sur notre secteur d'étude comportent plusieurs horizons aquifères, mais aucun de ceux-ci ne constitue une "ressource" suffisamment importante du point de vue hydrologique. Ceci, soit à cause d'une perméabilité trop faible, soit une structure défavorable des terrains, ou le plus souvent de la trop faible extension latérale ou verticale de l'aquifère.

4. 2. - Les terrains aquifères

La connaissance des eaux de la région est liée à la distinction de trois types de sols (du point de vue hydrogéologique).

4. 2 1 - Les terrains de couverture

Ils sont généralement perméables et donnent naissance à de nombreuses sources (70 % du total régional). Leur perméabilité relativement importante, leur confère un intérêt hydrologique certain, tout au moins dans la mesure où le volume de l'aquifère est suffisant.

Les alluvions retiennent au niveau des terrasses fluviales, des nappes réduites qui alimentent les fermes de la vallée du Buech, du Céans et de la Blaisance.

4. 2 2 - Les terrains argileux

Essentiellement formés de "terres noires" imperméables de par leur nature lithologique, ils constituent le substratum sur lequel s'écoule la nappe phréatique.

4. 2 3 - Les terrains rocheux

Selon leur extension, leur puissance, leur structure géologique et leur degré et mode de fracturation ils donnent naissance à 30 % des sources.

Les différents horizons proviennent des calcaires tithoniques, bédouliens et valanginiens, qui ne sont jamais karstifiés en profondeur et qui ne possèdent, par conséquent, qu'une perméabilité négligeable.

4. 3 - Les sources

L'absence d'essais de débit à l'intérieur des puits existants ne permet pas de connaître la valeur de la perméabilité des différents horizons aquifères, de même les estimations à partir des débits de sources ne peuvent être qu'approchées, en l'absence de données précises.

Dans l'ensemble de la région étudiée, "le débit total moyen" estimé de façon approchée est de l'ordre de 140 l/s, ce qui est faible.

Les sources sont localisées pour 63 % dans le secteur du Céans, pour 35 % dans le secteur de la Blaisance et pour 2 % dans le secteur du Buech. Ces sources naissent dans les formations suivantes :

Localisation	Nombre des sources	Débit total l/s	Débit moyen l/s	Pourcentage (%)
Terrasse	5	24,0	4,8	17
Terrasse/terre noire	2	2,9	1,4	2
Terrasse/marno-calcaire	1	2,0	1,0	1
Terrasse/calcaire	1	25,0	25,0	18
Eboulis	8	17,0	2,13	12
Eboulis/terre noire	7	14,0	2,0	10
Eboulis/marno-calcaire	1	13,5	13,5	10
Formations calcaréo-marneuses	7	12,0	1,72	9
Fracturation rocheuse (failles)	3	30,0	10,0	21
Total	35	140,4	61,55	100

Les variations annuelles ou interannuelles feront varier le niveau de la nappe phréatique dont nous n'avons pas suffisamment de renseignements pour tracer la surface piézométrique. Il importerait de dater ces mesures.

A chaque source (feuille 1) a été rapporté un numéro et une valeur du débit.

Dans le tableau XXVI des sources de la région nous portons les indications suivantes :

- (1) - Nom de la commune,
- (2) - Nom de la source
- (3) - Numéro de la source
- (4) - Situation de la source en coordonnées Lambert (X, Y) avec l'altitude (Z).
- (5) - Date de la mesure
- (6) - Débits en l/s
- (7) - Température en degrés centigrades
- (8) - Résistivité de l'eau à 18°C.

TABEAU XXVI

SOURCES DE LA REGION DE SERRES 7-8

(1) Commune	(2) Nom	(3) N°	(4) Coordonnées			(5) Date	(6) Débit l/s	(7) °TC	(8) 18°
			X	Y	Z				
TRESCLEOUX	Chauvet	1	868,35	232,35	785	24.3.70 17.7.70	8,0 2,5	7°6 8°2	5840 4530
	De la place	2	868,66	233,86	689	17.11.69 20.8.70	0,66 0,40	12°5 11°6	2080
	Du coin de ville	3	868,60	233,70	710	17.11.69 20.8.70	0,20 0,15	9°5 12°0	5735
	Plan du Buech	4	871,46	235,58	619	27.2.70 27.8.70	7,0 1,5	10°0 13°0	4300 2850
	Le Moulin	5	866,65	233,56	708	20.8.70	1,9	10°8	4200
SAINTE-COLOMBE	Vieille Fontaine	6	869,18	227,32	847	13.5.70 13.8.70	1,3 0,15	9°8 11°5	8380 3955
	Village Sainte-Colombe	7	865,75	225,63	950	30.3.70 17.7.70	10,0 1,0	7°4 7°5	5160 5190
	De Segovia	8	864,94	227,30	890	13.5.70 13.8.70	0,9 0,25	9°8 14°7	8880 4380
	Village Cheval	9	869,08	227,27	867	13.5.70 13.8.70	1,8 0,25	9°8 11°4	4320
	Les Clots	10	866,08	225,61	973	31.3.70 13.5.70	5,5 5,0	7°4 7°	6710 7520
	De la Treille	11	866,51	227,03	915	24.6.70 13.8.70	0,5 0,15	9°2 7°8	3644
	Bergerie Blanc	12	867,08	225,94	1058	13.5.70 13.8.70	2,1 0,15	6°6 7°8	6770 4890
	Bonne Fontaine Begue	13	863,72	227,66	795			11°	2285
ETOILE LE CHATEAU	Village	14	862,46	229,3	900	18.7.70		10°7	4400
ETOILE St CYRICE	De gorge	15	863,35	230,66	775	13.5.70	25,0	9°5	3975
						22.9.70	2,5	11°5	3700
						1.5.48		10°	2775

SOURCES DE LA REGION DE SERRES 7-8 (suite)

(1) Commune	(2) Nom	(3) N°	(4) Coordonnées			(5) Date	(6) Débit l/s	(7) °TC	(8) 18°
			X	Y	Z				
CHANOUSSE	Village	16	863,6	233,4	880	17.7.70	0,15	10°6 9°0	4036 2632
	La Baume	17	865,24	233,74	710	24.1.70 17.7.70	10,0 20	10°8 10°6	4680 5150
	Des Chabanas	18	864,2	233,22	830	17.7.70 17.7.70 1.6.48	0,25 0,15	10°4 13°0 10°5	3782 3700 2121
ORPIERRE	Pont Chevalet	19	869,32	229,42	650	17.7.70 13.8.70	0,35 10,0	12°2 13°8	4050 3190
	Châstel	20	865,56	227,34	785	17.7.70 13.8.70	0,9 0,95	9°3 9°5	4870 4550
	Du Torrent	21	867,29	229,25	690	24.6.70 18.8.70 18.8.70	5,5 3,4 0,0	10°2 10°5 18°	3420 3707 2970
	Les Douces	22	867,58	228,92	710	1.4.70 20.2.70 1.6.48	9,4 0,76	9°4 10°0 9°5	3886 3800 2138
	Le Bachas	23	868,68	229,64	720	13.5.70 22.9.70	1,4 0,6	12°2 13°5	4380 3610
	Tavile	24	870,68	227,94	790	13.8.70	0,3	10°7	2340
	MONTJAY	Chèvre	25	860,08	234	784	21.9.70	2,0	9°4
Gresillon		26	860	234,2	770	21.9.70		9°4	4050
Chapaisses		27	860,27	231,77	970	25.1.70 20.8.70	2,3 0,8	7°2 9°6	5500 3563
Oubriou		28	860,8	232,8	890	25.1.70 20.8.70	13,5 0,21	6°5 9°3	6220 4650
Belle Feville		29	859,87	232,37	880	25.1.70 20.8.70	1,0 0,4	7°3 11°2	5700 3850
BENEVENT	Espatallié	30	871,74	229,44	679	24.8.70	1,5	9°9	2990
	Ravel	31	871,84	229,78	658	24.8.70	1,2	11°6	3322
	Pierravons	32	870,99	228,2	760	24.8.70	1,7	9°6	3564
LABOREL	Cheval	33	859,35	225,29	965	27.8.70	0,5	9°7	5400
	Fondaye	34	859,58	225,8	860	27.8.70	0,3	10°5	6950
	Darboux	35	860,2	226,35	818	27.8.70	1,5	11°2	4650

4. 4. - Les puits

Les puits sont relativement peu nombreux et répartis comme suit :

- 55 % dans le secteur de la Blaisance
- 36 % dans le secteur du Céans
- 9 % dans le secteur du Buech.

Tous ces puits sont creusés dans les terrasses.

Le niveau de l'eau au-dessous du terrain naturel varie de 0,0 à 4,76 m avec une moyenne de 1,90 m.

Les mesures effectuées pour la seule année 1970 ne permettent pas de mettre en évidence les cycles de variations de la nappe phréatique. Une étude statistique future pourra en donner une idée plus précise.

TABLEAU XXVII

PUITS DE LA REGION DE SERRES 7-8

Commune	Nom	N°	Coordonnées			Date	Hauteur au niveau du sol	°TC	18°
			X	Y	Z				
CHANOUSSE	Marou	1	864,15	234,42	750	6.5.70	4,1	7°6	5918
	La Beaume	2	865,32	233,82	720	6.5.70	4,87	7°0	5220
St COLOMBE	André	3	872,22	232,9	605	7.5.70	3,24	9°2	6640
	Almeroz	4	865,35	227,75	721	14.5.70	0,50	8°3	4518
TRESCLEOUX	Huget	5	871,74	235,12	616	17.5.70	1,05	10°5	2782
	Dans le champ	6	870,66	234,10	648	7.5.70	0,10	9°0	4910
	Hongord	7	870,12	233,98	647	7.5.70	2,07	9°7	4620
ORPIERRE	Armiste	8	865,86	228,61	702	14.5.70	2,65	9°2	3130
	Jouve	9	865,52	229,34	720	14.5.70	0,08	9°7	3960
	Orpierre (pompage)	10	867,26	229,25	687	1.4.70	0,75	9°6	4343
	Brabus	11	870,90	233,84	638	7.5.70	4,76	9°2	4260

A chaque puits (feuille 1) est ajoutée la profondeur de l'eau sous le terrain naturel, ce qui est une indication directement utilisable.

4. 5. - Canaux

Deux canaux de faible importance amènent les eaux du Buech dans notre secteur. Le premier, partant de Saint-Sauveur, passe par le Plan, puis au pied de la Serre-du-Deves dans la haute terrasse du Buech et après une boucle de 7,5 km, il alimente la Bourboute. Ce canal est essentiellement voué à l'irrigation des vergers de La Blache et de La Bourboute.

Le second canal part du vallon des Lunasses et court parallèlement au Buech pour alimenter Lagrand.

4. 6. - Température des eaux

Il a été procédé à des mesures de température sur tous les points d'eau (sources et puits) de la région (cf. tableaux XXVI et XXVII).

Les températures minimales enregistrées sont de 6°C. Les maximales sont de 18°C, avec une moyenne de 10,5°C. Les températures semblent dépendre principalement de celle de l'air, par conséquent, il s'agit là d'eaux circulant à faible profondeur, ce qui semble prouver leur caractère phréatique.

Leur température moyenne fait entrer ces eaux dans la catégorie des eaux dites "froides".

4. 7. - Hydrochimie

La nature des formations aquifères conditionne le faciès chimique des eaux. Le tableau XXVIII rapporte quelques analyses chimiques représentatives des principales sources de la région avec leurs caractéristiques majeures. Le diagramme logarithmique (fig. 23) et le diagramme d'analyses des eaux (d'après PIPER) permettent de constater que toutes ces eaux sont assez semblables et qu'elles appartiennent à la même famille chimique. Toutes sont calcitiques, se subdivisant en "sulfatées calciques" et "chlorurées calciques", ce qui nous autorise à conclure que la nature calcaire des horizons aquifères, dans leur ensemble, a marqué la composition chimique de ces eaux.

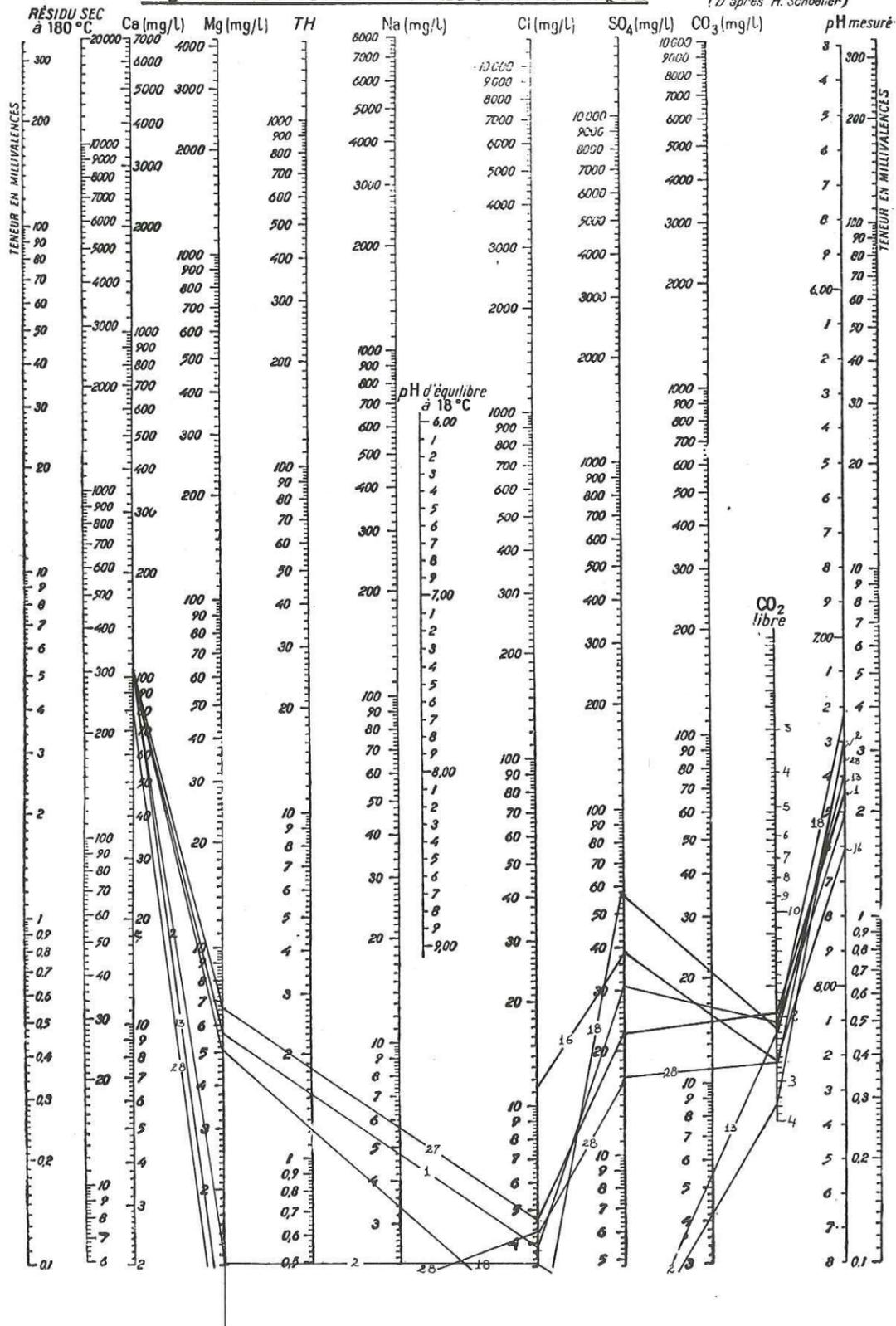
TABLEAU XXVIII

ANALYSES CHIMIQUES DES PRINCIPALES SOURCES DE LA REGION DE SERRES 7-8

N°	Date	°C	18°	Ph	TAC	DHT	DHP	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	Classification des eaux	
													Groupes	Température
1	17.10.46	12°5	2080	7,5	248,6	26°	9°	103	5,62	3,9	31,2	4,8	Sulfate calcique	Froide
2	3.11.48	11°	3508	7,3	147,0	25°5	6°	102	1,2	3,54	0	0	Chlorurée calcique	Froide
3	3.11.48	12°	3597	7,6	142,1	18°	7°5	65	0	3,15	0	0	Chlorurée calcique	Froide
7	11.6.48	8°5	2937	7,4	181,3	20°5	9°5	80	1,2	2,21	0	0	Chlorurée calcique	Froide
13	11.6.48	11°	2285	7,4	237,4	27°	8°5	110	0,6	1,77	0	0	Chlorurée calcique	Froide
15	1.5.48	10°	2775	7,4	183,7	26°	9°	2,7	0	1,77	0	0	Chlorurée calcique	Froide
16	1.5.48	9°	2632	7,6	11,5	21°5	8°			11,2	39,0	0	Sulfatée	Froide
18	1.6.48	10°5	2121	7,2	257,2	20°	8°	96	4,86	1,77	57,6	0	Sulfatée calcique	Froide
22	1.6.48	9°5	2138	7,2	259,7	34°5	6°	138	0,9	2,26	0	0	Chlorurée calcique	Froide
27	20.8.70	9°6	1950	7,35	167,7	27°5	5°	108	6,69	4,61	22,0	0	Sulfatée calcique	Froide
28	20.8.70	10°	2700	7,5	126,5	21°	5°	80	0,6	4,26	17,0	0	Sulfatée calcique	Froide

Fig. 23 DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

(D'après H. Schoeller)



4. 8. - Utilisation des eaux

a) - Utilisation domestique : les eaux de la région sont en général de bonne qualité, et sont utilisées directement pour la consommation, sans traitement spécial. Une étude statistique régionale donne les résultats suivants :

- 43 % des eaux sont bonnes
- 23 % des eaux sont médiocres
- 32 % des eaux sont polluées
- 2 % sans précision.

Les villages et les secteurs peuplés utilisent les eaux de source. Leur débit apporte :

- 14,9 l/s à Orpierre
- 13,5 l/s à Montjay
- 10 l/s à Sainte-Colombe,

ces sources doivent être pompées du fait qu'elles se situent en contrebas des villages. Les fermes utilisent indifféremment les eaux de sources ou de puits.

b) - Irrigation : dans l'ensemble, l'eau disponible est bien utilisée dans toute la région. Le mode d'arrosage employé couramment est l'aspersion, qui fournit un rendement appréciable.

Les périodes sèches s'accompagnant d'un déficit des eaux d'irrigation, il en résulte un grave problème pour l'agriculture régionale.

5. - ETUDE GEOTECHNIQUE

- La définition de "géotechnique" que nous avons adoptée dans cette étude, est dans son sens large, indiquée au chapitre I (p. 7).

- La classification géotechnique que nous avons retenu est la classification unifiée des Etats Unis, pour les raisons indiquées au chapitre II (p. 52).

- La méthodologie suivie et expliquée au chapitre III (p. 55 à 91).

- L'étude géotechnique à laquelle nous avons procédé se rapporte essentiellement aux terrains de couverture (p. 10). Le bedrock a fait l'objet d'une courte étude complémentaire.

- Le mode de représentation choisi pour la carte géotechnique est commenté au chapitre I (p. 15 et 16).

- L'importance de ces cartes géotechniques est expliquée au chapitre I (p. 8).

Afin de donner plus de clarté à l'exposé de ce sous-chapitre, chaque formation fait l'objet d'un développement particulier, en paragraphes distincts. Ceux-ci sont consacrés aux différents aspects suivants : caractéristiques géologiques, mécanique et physique du terrain, lithologie, morphologie, évolution actuelle des versants, hydrogéologie, mesures des vitesses, résistivités, altérabilité, stabilité, et enfin utilisations dans les différents travaux de l'ingénieur.

5. 1. - Description des terrains

Du point de vue géotechnique la région se divise en deux parties :

- le bedrock,
- les terrains de couverture.

La carte géotechnique du "bedrock" est représentée sur la feuille 2.

Les terrains de couverture sont cartographiés sur les feuilles 2, 3 et 4.

Nous avons volontairement divisé la région en deux parties (orientale et occidentale), dont nous ne conserverons que la partie orientale, qui comprend la presque totalité des terrains de formations quaternaires. Pour cette raison, les feuilles suivantes sont consacrées à cette seule partie.

a. - LE BEDROCK

La description géologique qui s'y rapporte a été faite dans le sous-chapitre précédent (3).  
Selon des critères géotechniques nous l'avons subdivisé en :

- zone des calcaires
- zone des calcaires argileux et des marnes,
- zone des "terres noires".

a.1 - Les calcaires ("C" cf. nomenclature géotechnique).

Stratigraphiquement elle comporte les formations suivantes (cf. feuilles 1 et 2) :

- Crétacé supérieur - Turonien (C-3)
- Tithonique (J-9)
- Jurassique - Kimméridgien inférieur, Séquanien et supérieur Rauracien (J-8).

Cet ensemble affleure de manière bien délimitée à l'Est de Trescléoux ; entre Trescléoux et Orpierre, à la montagne de Chabre, au Nord Ouest de Saint-Cyrice et au Nord de Laborel.

1 - Lithologie

Ce sont des calcaires de couleur grise qui dominent le paysage et couronnent les sommets. Constitués de bancs massifs, compacts et bien lités, ils présentent parfois quelques bancs de faible puissance.

2 - Morphologie et évolution actuelle

Les calcaires constituent des reliefs les plus accusés de par leur plus grande résistance à l'érosion, et forment une grande corniche qui se développe en direction du Sud Est. Dans leur partie haute, les vallées s'encaissent dans ces imposantes falaises calcaires pour former de véritables gorges ; on peut voir de telles gorges à Orpierre, Chanousse et Saint-Cyrice, où le lit de la rivière, réduit à quelques dizaines de mètres de largeur est enserré entre deux murailles verticales de plus de cent mètres de hauteur.

Ces falaises calcaires, sont parfois le théâtre de grands écroulements rocheux ou de glissements en masse, sous l'action alternée et longuement renouvelée du gel et du dégel, sous l'effet des eaux d'infiltration ou de la fuite des niveaux argileux sous-jacents. De tels phénomènes sont observables au Nord Est d'Orpierre et aux Turcs ; ils constituent bien entendu un danger pour toute construction et tous travaux de Génie civil.

3 - Hydrogéologie

Les calcaires fissurés ou faiblement karstifiés de la région, offrant une certaine perméabilité à grande échelle donnent lieu à un écoulement rapide des eaux d'infiltration, en particulier durant la saison humide. Cependant, du fait de leur faible étendue en affleurements horizontaux et de l'altitude à laquelle ils affleurent, ils ne revêtent pas une grande importance immédiate du point de vue de l'hydrogéologie, ne recevant que très peu d'eau. Ces formations calcaires constituent quelques bassins à des profondeurs comprises entre 200 et 800 m, dont nous n'avons aucune étude précise.

Seules les fractures présentent un intérêt hydrogéologique : elles donnent naissance à de nombreuses sources, parfois importantes comme à Orpierre (9,4 l/s) et Chanousse (20 l/s).

4 - Considération sur :

- La fracturation

A cause de leur compacité et de leur masse imposante en bancs puissants les calcaires ne sont pas affectés par la fracturation. Seule leur partie supérieure est parcourue de quelques diaclases peu importantes et peu profondes. Les rares fissures et fractures que l'on y observe sont colmatées par des dépôts calciteux. Ces calcaires ont donc un aspect sain.

- L'altérabilité

La roche est peu altérée. Les traces d'érosion différentielle rencontrées ne s'accompagnent jamais d'une altération notable du matériel calcaire.

- La stabilité

Le fait que les falaises et corniches sont souvent utilisées dans les sports d'escalade montre la solidité et la "propreté" de ces calcaires dans la mesure où ils ne sont pas fissurés. En revanche, les failles existantes, de grande extension, sont à l'origine de grands écroulements rocheux et de glissements en masse.

5 - Utilisation

Les calcaires sont intéressants en Génie Civil ou pour la construction à deux égards : comme matériaux de construction et comme sols de fondation.

- Matériaux de construction

Les calcaires ont été utilisés pour la construction dans la région de Serres, où ils constituent la presque totalité des édifices. Ils apportent une bonne isolation thermique, mais demandent une consommation élevée de pierres de taille. Ils sont extraits en blocs irréguliers des carrières d'Orpierre et de Sainte-Colombe. Ce tout-venant est ensuite concassé à Eyguens puis calibré.

Actuellement ce matériel est utilisé dans la réfection des routes. La granulométrie en est représentée (fig. 24, p. 128). Ce sont aussi d'excellents matériaux de maçonnerie, de bonne résistance et de perméabilité moyenne, peu sensibles aux eaux météoriques. Leur dureté et leur abondance font qu'ils sont encore utilisés comme bordure de trottoir.

Nous ne connaissons pas leur coefficient d'usure par frottement (coefficient Deval), ni leur comportement sous l'effet de chocs répétés (coefficient Los Angeles), ce qui ne nous permet pas de prévoir leur tenue dans le macadam routier, ainsi que leur aptitude à fournir des granulats pour le béton.

Ces calcaires entrent aussi dans la fabrication de dalles de revêtement de sols.

- Sols de fondation

De notre point de vue, la résistance à la compression de ces calcaires devrait être supérieure à 50 kg/cm<sup>2</sup>, ce qui ne laisse présager aucun problème pour ces fondations.

6 - Données complémentaires

Pour la réalisation de sondages dans ces formations calcaires nous indiquerons l'utilisation du matériel suivant (à titre indicatif).

- Carottier rotatif simple

Entraînement :

- sondeuse rotative légère
- sondeuse rotative lourde

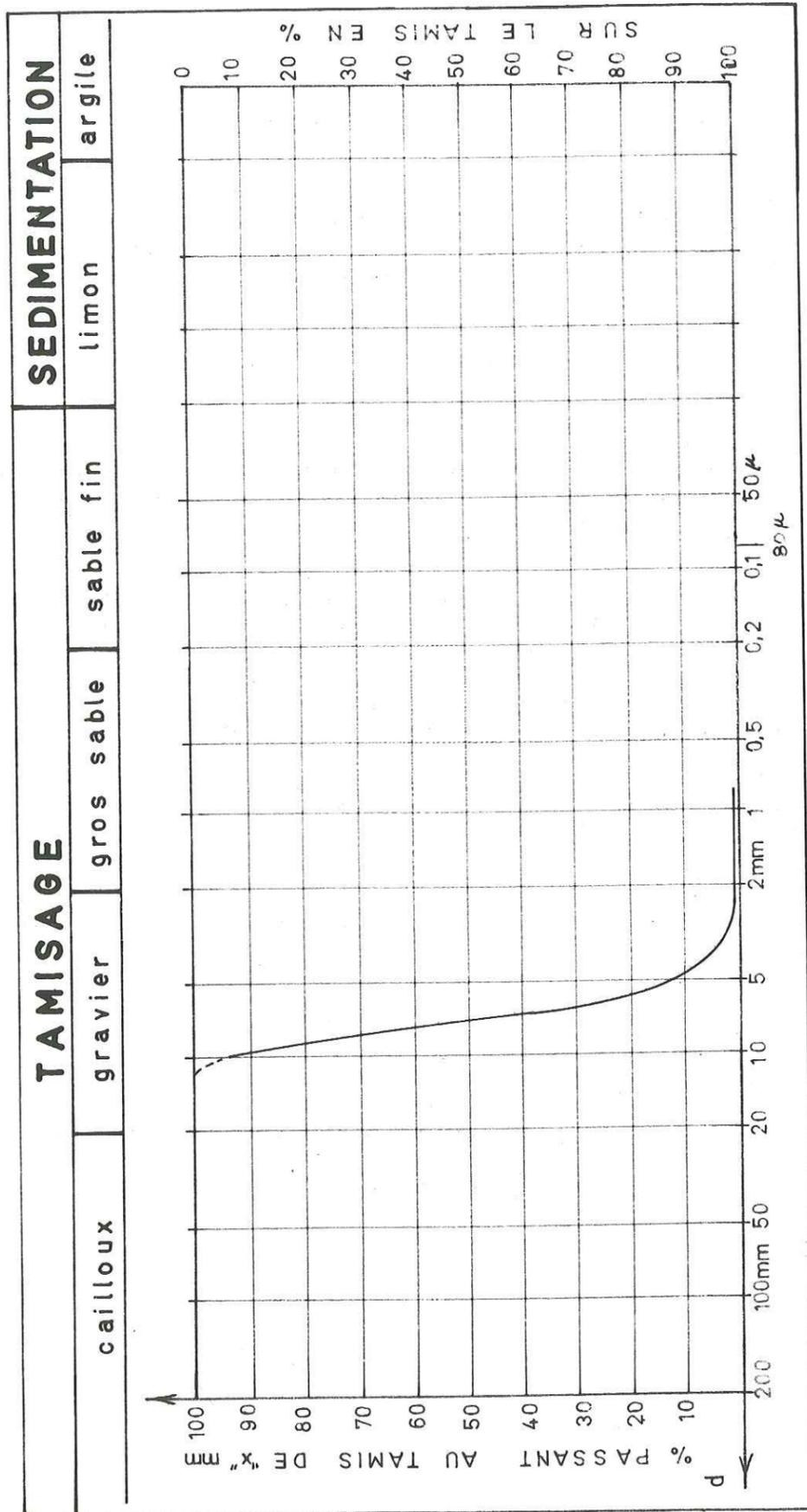
Rendement :

- moyen (2 à 6 m/h).
- très variable suivant les machines et les dimensions des couronnes.

Utilisations principales :

- carottage de roche dure et non fissurée.

Fig. 24.- Granulométrie des CALCAIRES utilisés dans la réparation des routes.



## a.2 - Formations calcaréo-marneuses

Du point de vue stratigraphique ces formations comprennent (cf. feuilles 1 et 2) :

Crétacé supérieur	{	Cénomaniens (c2) Bédoulien (n-5)
Crétacé inférieur	{	Barrémien (n-4) Hauteriviens (n-3) Valanginiens (n-2) Berriasien (n-1)

Surmontant les "terres noires", cette zone couvre approximativement la moitié occidentale de notre secteur (8 000 ha environ). Une grande partie est recouverte d'éboulis, produits par l'érosion des couches argileuses, sous-jacentes, entraînant l'effondrement des niveaux calcaires sus-jacents.

## 1 - Lithologie

Ces formations, constituées par l'alternance de bancs calcaires et de bancs marneux, d'épaisseur variable, comportent tous les intermédiaires lithologiques entre les calcaires et les marnes.

Ces niveaux sont de couleur généralement gris jaunâtre, plus gris quand les marnes sont plus abondantes et plus jaune quand les calcaires prédominent.

Les bancs calcaires ou calcaires argileux constituent le matériel le plus cohérent de la série, et leur épaisseur atteint 50 centimètres, ils sont fréquemment parcourus par des diaclases qui favorisent leur débit en blocs irréguliers.

Les marnes et marnes calcaires assez consistantes sont plus facilement érodées par les eaux et l'on observe quelques glissements des couches supérieures qui peuvent affecter aussi les éboulis qui les recouvrent.

## 2 - Morphologie et évolution actuelle

La zone des calcaires et calcaires argileux, moins sujette au ravinement, présente des versants mieux structurés que les collines de la zone des "terres noires". On y trouve des pentes régulières qui varient de 15 à 50 % où le pendage des couches est généralement faible et orienté vers l'Ouest. Ces terrains sont couverts presque entièrement par une végétation peu fournie de sapins, variant selon l'altitude et l'orientation des versants. En altitude les versants nord portent une végétation plus fournie que les versants sud. Cette formation, à cause des alternances calcaire - argile, se prête aux glissements et reptations par gravité. Ces glissements sont dus à l'action des eaux de pluie qui pénètrent les bancs calcaires par l'intermédiaire des diaclases et atteignent aussi les couches marneuses qui se transforment en de véritables "couches savon" et produisent des glissements importants.

## 3 - Hydrogéologie

Les caractéristiques hydrogéologiques de ces formations sont de faible importance. Si les bancs calcaires diaclasés présentent une perméabilité notable, leur épaisseur généralement faible et les couches argileuses intercalées diminuent considérablement l'importance hydrogéologique de ces formations, lesquelles restituent les eaux d'infiltration sous la forme de petites sources dont le débit ne dépasse jamais 3 l/s (cf. feuille 1).

La majeure partie de ces sources est utilisée pour l'irrigation et la consommation par de petits villages comme Laborel, Les Bégues, Chanousse.

## 4 - Considérations sur :

## - La fracturation

Elle n'affecte que les couches calcaires supérieures, qui présentent des diaclases disparaissant en profondeur. La disparition progressive des diaclases en profondeur, semble due à la présence de bancs argileux intercalés et compacts.

- L'altérabilité

Elle est directement fonction du degré de fracturation et de ce fait, seules les couches superficielles montrent une altération par l'effet des eaux météoriques. Les traces d'altération disparaissent avec les diaclases et à cause des couches marneuses plus imperméables.

- La stabilité

Elle est assez bonne, par la compacité des couches calcaires et celle à un degré moindre, des argiles. La stabilité est étroitement liée à l'altérabilité des couches supérieures comme à leur pendage.

Dans cette formation les niveaux appartenant au Valanginien (n-2) et au Berriasien (n-1), sont sujets aux phénomènes de reptation sous l'effet de l'humidité. Les autres niveaux sont stables.

Des glissements par reptation se rencontrent aux endroits suivants (cf. feuille 1) :

- au Sud Ouest de "Les Bégues", dans la combe de Guers, se trouvent d'anciens glissements stabilisés avec des pentes qui varient de 10 à 20° suivant une direction W 45° W, passant à 45° environ dans le fond du ravin (fig. 25).
- au Sud Ouest de "Les Bégues", à Lourion, on note la présence d'un autre glissement du même type dont l'axe principal de déplacement suit une direction S 80° E avec des axes secondaires est et ouest. La surface est stabilisée entre 8° et 30° environ, et l'on y note aussi quelques niches d'arrachement (fig. 26).

Des glissements se produisent aussi suivant une direction normale au pendage des couches comme on peut l'observer au ravin de la Rivière à quelques 1 600 mètres au Sud Est de Le Plan. Les premières traces de décrochage sur des pentes à 40°, et dès 50° se produisent de véritables glissements dont la zone de rupture est marquée sur le terrain par une niche d'arrachement (fig. 27). Sur les talus naturels que forme le Berriasien (n-1) on a pu observer des glissements en fonction du pendage des couches. Avec un pendage de 10° les pentes se stabilisent entre 45° et 75° suivant l'angle que forment les couches et le talus (fig. 28). De tels glissements s'observent au Sud Ouest de Laborel, à l'Est de la Praderie et de Chanousse (cf. feuille 1).

5 - Mesures des vitesses

Les vitesses sismiques dans ces formations ont une valeur moyenne de 2 300 m/s, ce qui, d'après le tableau XX (p. 68) les place dans la catégorie des matériaux "à la limite du rippable", où l'utilisation d'une "ripper" aura un effet nul. Il est recommandé d'effectuer des tirs légers d'ébranlement qui fissurent la roche à défoncer.

6 - Données complémentaires

Pour la réalisation de sondages dans ces formations, nous conseillons, à titre documentaire, d'utiliser le matériel suivant :

- Couronne à pastilles de carbure de tungstène

Entraînement :

Carottier rotatif simple

Carottier rotatif double à pivot

Rendement :

avance moyenne 3 à 5 m/h dans des terrains de dureté moyenne ou en rocher tendre.

Utilisations principales :

Carottage en roches tendres où les diamants sont inefficaces par suite de leur gommage.

- Trépans à lames et à molettes

Entraînement :

sondeuse rotative lourde

Rendement :

moyen 3 à 8 m/h, le facteur principal de la vitesse d'avancement est le poids appliqué sur l'outil.

Inconvénient :

des déviations sont souvent à craindre.

N. B. - Un facteur habituellement secondaire, le débit du fluide de circulation, devient prépondérant.



Fig. 25. - Glissement de reptation à "Combe du Guers"



Fig. 26. - Glissement de reptation à "Louriou"

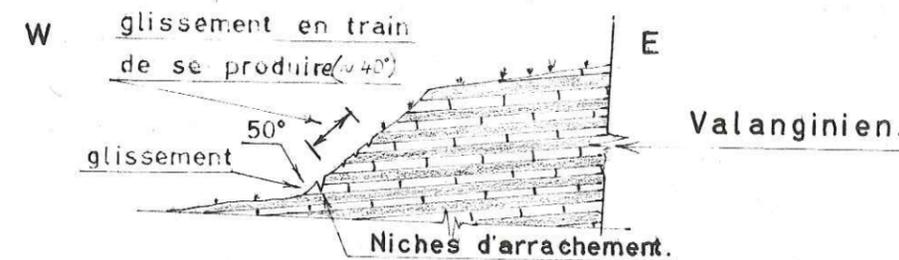


Fig. 27. - Glissement à "le Plan"

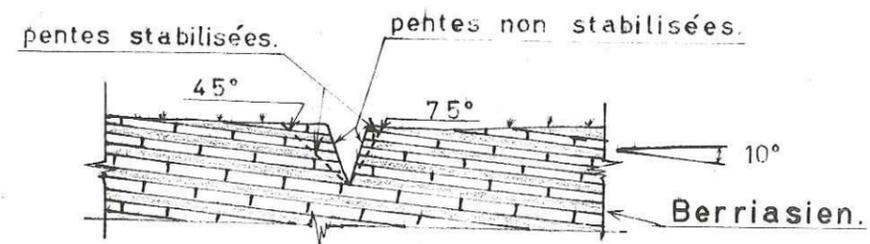


Fig. 28. - Talus de pentes naturelles.

a. 3 - Les "Terres noires"

Cette zone comprend les séries stratigraphiques suivantes : (cf. feuilles 1 et 2)

Crétacé supérieur	{	Albien (c - 1)
		Gargasien (n - 6)
Jurassique moyen et supérieur	{	Argovien (j - 5)
		Callovien supérieur Oxfordien (j - 4)
		Callovien moyen et inférieur (j - 3)
		Bathonien supérieur (j - 2)

Bien que situées à deux époques distinctes, ces séries, à cause de leur nature argileuse, constitueront une même zone sur notre carte géotechnique. L'ensemble des "Terres noires" crétacé (Albien, Gargasien) affleure dans les parties centrale et occidentale de la carte et couvre une superficie de 770 ha environ. Ces terrains ont une structure synclinale (cf. feuilles 1 et 5). Le deuxième ensemble affleure sur 70 ha environ et constitue le substratum des terrains quaternaires de couverture de la partie orientale de la carte. Il se prolonge à l'Est sous la zone des calcaires marneux et des marno-calcaires.

1 - Lithologie

Ce sont des terrains gris sombre intensément ravinés. Les affleurements portent assez souvent une couche de matériel altéré en surface, de teinte jaunâtre et souvent remaniée.

2 - Morphologie et évolution actuelle des versants

De façon générale ces formations constituent des collines peu élevées, entaillées par des ravins, offrant un paysage monotone et accidenté. Le réseau hydrographique est de type dentelé, et les ravins sont fortement encaissés. Dans leur partie supérieure ces ravins ont une pente qui avoisine 75 %. Aucune végétation ne pousse, même sur les replats. Dans la partie haute de ces formations subsistent souvent de vieilles surfaces d'érosion, et plus bas il n'est pas rare de trouver des épandages caillouteux. Vers la base, enfin, une rupture de pente marque le début des terrains de couverture (Quaternaire).

En été, cette zone se caractérise par sa grande sécheresse. En saison humide, sous l'action de pluies violentes et parfois continues, on y observe un ruissellement intense ; les fentes de dessiccation se referment rapidement, l'infiltration devient pratiquement nulle et les eaux convergent vers les ravins, augmentant considérablement le débit et incisant profondément le fond de leur lit.

Ravinées quand elles sont à nu, les "Terres noires" peuvent donner lieu à des glissements de solifluxion lorsqu'elles sont recouvertes d'éboulis, en fonction de la nature de ces éboulis et de leur pente. Ceci pose le problème de la protection des sols et des terrains de construction.

3 - Hydrogéologie

Par leur nature argileuse les "Terres noires", imperméables, ne contiennent aucun niveau aquifère. En revanche, au contact d'éboulis possédant une petite nappe et sous une faible pente, les "Terres noires" provoquent des glissements de ces éboulis qui donnent naissance à des sources (fig. 29).

La "Terre noire", en relation avec les terrains de couverture a une grande importance puisqu'elle constitue un substratum imperméable sur lequel circulent ou restent prisonnières les eaux souterraines.

4 - Considérations sur :

- La fracturation

Par sa nature lithologique, la roche plastique, absorbe l'essentiel des mouvements auxquels elle est soumise et demeure dans son ensemble une roche saine.

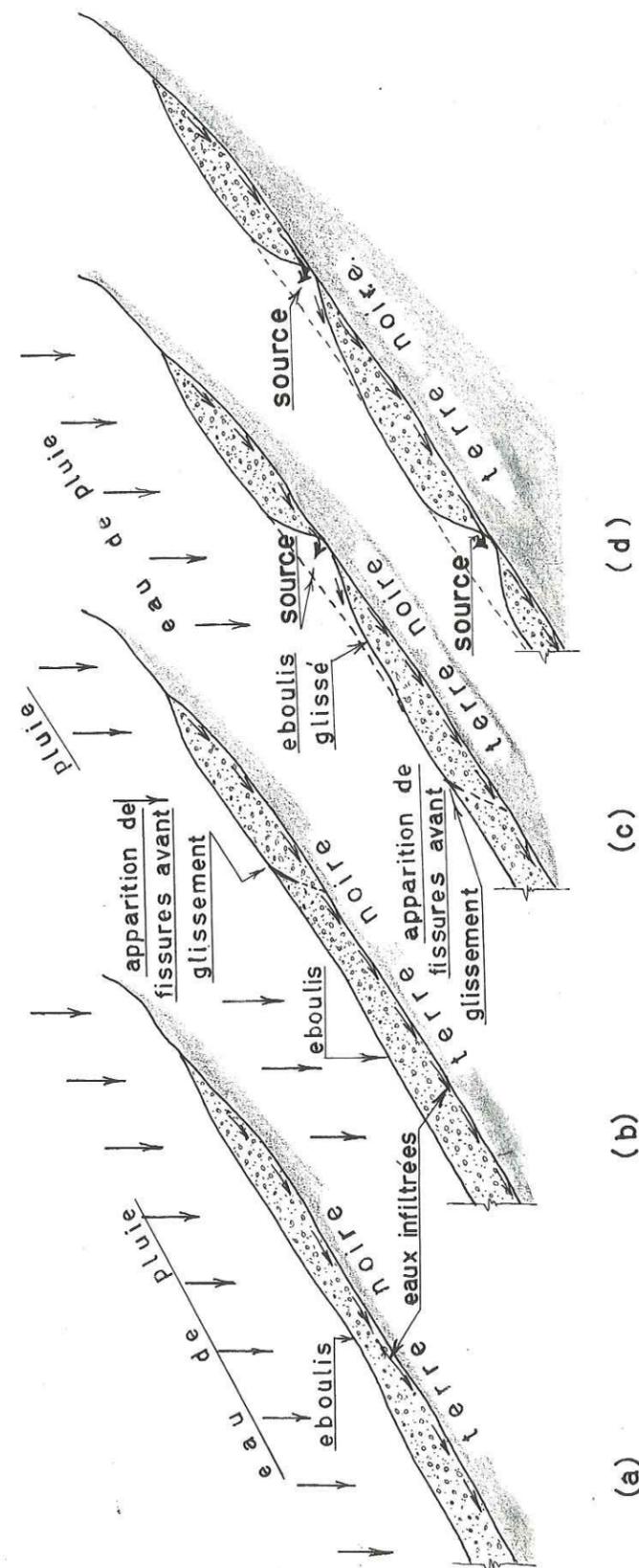


Fig. 29. — Origine des sources entre la terre noire et les éboulis.

- L'altérabilité

Cette formation est très souvent altérée. En se rapportant aux feuilles 2, 3 et 4 où une grande partie des "terres noires" est cartographiée sous le nom de "terres noires altérées". La couche altérée dépasse, en certains endroits, 9 m de profondeur (cf. sondages géophysiques) ; ces terres d'altération prennent une couleur jaunâtre et les vitesses sismiques sont, en moyenne inférieures de 700 m/s aux vitesses enregistrées dans la roche saine.

- La stabilité

La roche, en elle-même, est très stable mais peu résistante à l'érosion superficielle qui provoque le creusement de talwegs et ravine leurs bords.

Au contraire, la stabilité des terrains qui la recouvrent est très précaire et constitue même, en certains points, un véritable danger. Cette instabilité qu'occasionne les "Terres noires" aux terrains de couverture est directement fonction de leur perméabilité et de leur teneur en éléments fins.

Des glissements importants dont ces causes sont à l'origine, sont observables à Etoile-le-Château, Villebois, Laborel, Pré de Mians, Saint-Cyrice, Chevalet-le-Haut, Bas Chevalet, Saint-Avons, les Bouissettes, Courriau. Ce sont des zones à glissements par reptation et solifluxion où l'on observe des arbres fortement inclinés, des routes déformées, des ouvrages d'art rompus, des édifices (anciens et récents) détruits (cf. planches photographiques).

5 - Mesures de vitesses

Les vitesses de propagation sismique mesurées sont comprises entre 2 000 et 2 800 m/s, avec une valeur moyenne de 2 300 m/s. Le tableau XX (p. 68) place ces formations à la "limite du rippable" et on y recommande :

- soit de pousser le ripper à l'aide d'un tracteur auxiliaire (dans le cas d'un tracteur de 320 CV muni d'un ripper hydraulique à une dent) ;
- soit d'effectuer des tirs légers d'ébranlement.

6 - Données complémentaires

Pour la réalisation de sondages on pourra utiliser le matériel suivant :

- Couronne type Widit

Entretien :

Carottier double à pivot

Rendement :

moyen, 3 à 5 m/h

Utilisations principales :

outils d'attaque des carottiers doubles travaillant dans les argiles. L'injection peut être considérablement réduite sans risquer de détériorer la couronne.

- Couronne diamantée.

b. - LES TERRAINS DE COUVERTURE

Ils occupent essentiellement la moitié orientale de la carte (feuilles 2, 3 et 4), et comprennent les 17 types de sols décrits au sous-chapitre 3.

Ces terrains de couverture sont regroupés selon des critères géotechniques par affinités, en accord avec la classification décrite au chapitre II.

b.1 - Les terrasses

1 - Localisation

Situées pour la plus grande part dans les vallées et sur les versants du Buech, de la Blaisance et du Céans, ou surélevées comme à Lagrand, la Flachière et Serres du Deves.

La zone des terrasses comprend les formations quaternaires suivantes :

- haute terrasse fluvio-glaciaire
- basse terrasse fluvio-glaciaire
- haute terrasse fluviale
- basse terrasse fluviale
- terrasse alluviale.

2 - Lithologie

Les terrains sont généralement de couleur jaunâtre à grisâtre. Sur le front de taille de la carrière de Champ Lébrier (X = 872, 0 ; Y = 231, 8 et Z = 621, 0), située sur le versant nord du Céans, nous avons relevé la coupe suivante :

- la couche superficielle de 1 m d'épaisseur, brune, est entièrement altérée ;
- la couche inférieure, qui dépasse 9 m d'épaisseur (voir sondage géophysique n° 87), est constituée par :
  - une matrice argileuse (30 %) qui forme parfois des poches,
  - des éléments calcaires dont 90 % ont un diamètre inférieur à 8 cm, et 10 % un diamètre compris entre 8 et 40 cm. Parmi les premiers on distingue nettement deux groupes : 65 % des éléments ont un diamètre compris entre 2 et 8 cm et 25 % sont inférieurs à 2 cm.

Ces éléments dans leur majorité, sont usés, aplatis et allongés (photo n° 10). Les éléments ronds sont peu nombreux et appartiennent au second groupe.

On note la présence de litage entrecroisé. Le litage est parfois bon ; il n'existe pas de cimentation.

Une deuxième coupe a été relevée sur un autre front de taille à Lagrand (X = 872, 5 ; Y = 232, 5 ; Z = 650, 0) (photo n° 15) où on distingue clairement deux ensembles.

a) - Un ensemble supérieur très hétérométrique, sans classement, cimenté par une matrice calciteuse. De couleur grisâtre, les éléments sont en général usés et aplatis et 30 à 40 % d'entre eux sont arrondis. Cet ensemble est constitué par :

- 5 % de matériel argileux
- 7 % à 8 % de ciment (CO<sub>3</sub> Ca)
- 87 % d'éléments calcaires et "alpins".

La plupart des éléments ont un diamètre de 2 à 5 cm, et sont mêlés à des blocs plus gros qui atteignent 40 à 50 cm. Les éléments d'un diamètre inférieur à 2 cm sont les mieux cimentés. La cohésion est relativement forte dans toute la formation. Le litage peu marqué.

b) - Un ensemble inférieur (photo n° 9) non cimenté est constitué de :

- 40 % environ de matières argileuses,



TABEAU XXIX

CLASSIFICATION DES SOLS GRENUS (d'après le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)  
(plus de 50 % des éléments > 0,08 mm)

Définitions		Symboles	Conditions	Appellations	
GRAVES	plus de 50 % des éléments > 0,08 mm ont un diamètre de > 2 mm	moins de 5 % d'éléments < 0,08 mm	Gb (GW)	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ et $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ compris entre 1 et 3	grave propre bien graduée
			Gm (GP)	Une des conditions de Gb non satisfaite	grave propre mal graduée
		plus de 12 % d'éléments < 0,08 mm	GL (GM)	Limite d'Atterberg au-dessous de A	grave limoneuse
			GA (GC)	Limite d'Atterberg au-dessus de A	grave argileuse
SABLES	plus de 50 % des éléments > 0,08 mm ont un diamètre < 2 mm	moins de 5 % d'éléments < 0,08 mm	Sb (SW)	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ et $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ compris entre 1 et 3	sable propre bien gradué
			Sm (SP)	Une des conditions de Sb non satisfaite	sable propre mal gradué
		plus de 12 % d'éléments < 0,08 mm	SL (SM)	Limite d'Atterberg au-dessous de A	sable limoneux
			SA (SC)	Limite d'Atterberg au-dessus de A	sable argileux
Lorsque 5 % < % inférieur à 0,08 mm < 12 % → on utilise un double symbole					

Les caractéristiques physiques et mécaniques de ce sol sont :

- tableau XIX (p. 54)
  - densité sèche moyenne = 1,76 à 2,32
  - C. B. R. = 30 à 60
  - module de réaction du sol naturel = 5 à 14

- tableau XIV (p. 40), sol A-1 et A-6
  - frottement interne = variable
  - cohésion = moyenne
  - retrait = variable
  - gonflement = peu important
  - capillarité = très faible
  - élasticité = nulle

6. - Mesures des vitesses sismiques et des résistivités

Les vitesses sismiques sont de l'ordre de 530 m/s pour les plus faibles et peuvent atteindre 1 100 m/s, avec des valeurs moyennes de 650 m/s. Dans les terrasses à niveaux phréatiques les vitesses peuvent atteindre 1 350 m/s. Les vitesses sismiques apparentent les terrasses aux catégories des sols "rippables" où l'utilisation d'un tracteur de 320 cv: armé d'un ripper à une dent est suffisante, on pourrait éventuellement dépenser une énergie moindre en utilisant un tracteur de 280 cv. Dans le cas particulier de Lagrand où la terrasse est cimentée, il faudra recourir aux explosifs afin de désagréger les éléments avant le défonçage, ou bien employer un tracteur auxiliaire.

Les résistivités apparentes des terrasses varient de 32 à 125 Ω-m (cf. sondages électriques).

7. - Utilisation de ces sols en Génie Civil

Cette formation cataloguée comme "grave propre mal graduée - grave limoneuse" est représentée dans les tableaux par les symboles suivants :

Gm - GL ou GP - GM ou A-1 - A-6

Ce sont des sols granulaires, très stables sous les charges, susceptibles d'absorber de l'eau, et constituent de bons supports s'ils sont compactés à l'état raide ou légèrement plastique. Ils sont susceptibles de se ramollir sous l'effet de précipitations ou de remontées capillaires.

Les tableaux XIX (p. 54), XVII (p. 50) et XIV (p. 40), indiquent :

- de bons à excellents sols de fondation lorsque l'action du gel n'est pas à craindre ;
- de bonnes couches de fondation lorsque l'action du gel n'est pas à craindre ;
- des couches de base bonnes à passables quand l'action du gel n'est pas à craindre ;
- une faible gélivité ;
- aucune à très faible possibilité de tassement et de gonflement ;
- des caractéristiques drainantes excellentes à passables ;
- engins de compactage :
  - tracteur à chenilles,
  - rouleaux à pneus,
  - rouleaux lisses,
  - à pieds de mouton (étroite surveillance d'eau) ;
- semi-perméable après compactage ;
- bonne résistance aux contraintes tangentielles après compactage et saturation ;
- compressibilité négligeable après compactage et saturation ;
- bonne ouvrabilité comme matériau de construction ;
- utilisation dans les travaux de Génie Civil (voir indication \* tableau XVII) ;

- 0. - l'écoulement a de l'importance ;
  - 3. - l'écoulement n'a pas d'importance ;
  - 4. - gonflement impossible des remblais par le gel ;
  - 6. - gonflement possible des remblais par le gel ;
  - 0. - surfaçage des remblais ;
  - 0. - barrages homogènes en terre compactée ;
  - 0. - noyau des barrages en terre compactée ;
  - 8. - massif de butée des canaux ;
  - 3. - résistance à l'érosion ;
  - 0. - revêtement des canaux en terre compactée.
- bonne utilisation pour des remblais inférieurs à 15 m ;
  - moyenne à mauvaise utilisation pour des remblais supérieurs à 15 m ;
  - épaisseur des chaussées : 15 à 50 cm ;
  - très stable lorsqu'il est bien compacté ;
  - bon comportement général.

La carrière de Champ-Lébrier, dont nous avons fait antérieurement la description lithologique, fournit le matériel pour la réfection des routes voisines. Le prélèvement est fait à l'aide de chargeuses mécaniques, puis les matériaux sont acheminés par camion à une station de concassage qui fournira le "gravier roulé" nécessaire à la voirie. Aucune installation de type industriel, capable d'effectuer à la fois le concassage, le criblage serré et éventuellement le lavage n'est installée sur place.

b.2 - Les dépôts d'origine glaciaire locale probable (remaniés ?)

1. - Localisation

Ils occupent certaines basses pentes dans les vallées du Céans et de la Blaisance vers la montagne de Chabre et au Nord de Trescléoux.

Les coordonnées Lambert du centre des principaux affleurements sont les suivantes :

N°	X	Y	Z
1	870,2	229,2	669,0
2	870,8	229,2	690,0
3	872,1	229,0	730,0
4	868,9	234,3	755,0

Les limites de leur dépôt sont assez nettes, marquées par une légère rupture de pente. Cette formation est appuyée sur la terre noire qui constitue le substratum, parfois altéré.

2. - Lithologie

Nous avons pu lever une coupe de cette formation dans le ravin du torrent du Chevalet, (X = 870,06 ; Y = 229,0 ; Z = 678,0), composée d'éléments calcaires et parfois de marnes, de couleur grise ou jaune et d'éléments argilo-sableux brun clair (voir photo n° ). La stratification est visible, avec un léger pendage vers le Nord, inférieur à 5°. Les matériaux constitutifs appartiennent au Jurassique de la montagne de Chabre.

Le front de taille de la coupe montre :

- une couche superficielle, peu épaisse, de 40 à 50 cm, elle est composée d'éléments calcaires arrondis ou anguleux, inclus dans une matrice argileuse ;
- une couche de 1 à 1,5 m d'épaisseur, où prédominent des blocs arrondis de diamètre supérieur à 40 cm ;
- vient ensuite une alternance de lits argilo-sableux avec quelques éléments de dimensions inférieures à 2 cm, et de lits composés d'éléments plus grossiers d'un diamètre supérieur à 5 cm, où figurent accidentellement des blocs isolés. L'épaisseur de ces deux ensembles est variable, par suite d'une disposition parfois lenticulaire ; elle est, généralement de 1,20 m pour le premier ensemble, et de 20 à 30 cm pour le second.

Nous noterons la présence, dans les lits grossiers :

- de lentilles sableuses de faible importance,
- d'éléments calcaires du Jurassique (surtout) dont 70 % sont anguleux et 30 % environ, arrondis.

Il n'y a pas de cimentation, mais la forte cohésion qui existe entre les différents éléments fait que les pentes naturelles des talus atteignent des valeurs de 80°, inspirant un pré-compactage. On remarque que les éléments fins occupent la totalité des vides laissés par les galets calcaires. La base de la coupe, peu protégée par les éboulis de pente provenant du glaciaire est érodée et montre des pentés négatives de 20 à 25°, parfaitement stables et sans provoquer d'écroulements des niveaux surplombants.

3. - Morphologie

Avec des pentes moyennes au sommet, s'amortissant progressivement vers la base, ces dépôts glaciaires déterminent des paysages larges, ouverts et uniformes.

Ils sont situés au front de décrochement des falaises jurassiques de la montagne de Chabre (fig. 31). La partie supérieure de teinte sombre, se caractérise par la présence majoritaire de matériaux grossiers, plus perméables, où les pentes ont une valeur moyenne de 18 %, vers le bas les matériaux s'affinent, s'éclaircissent, et les pentes moyennes sont de 7 %.

Les sondages géophysiques effectués ont permis de bien connaître l'épaisseur de ces dépôts (cf. feuille 4 et sondages géophysiques). Les formations de type glaciaire local remanié situées à l'Est et à l'Ouest, au Sud du Céans, montrent une direction de plus grande profondeur orientée Nord-Sud et on remarque, dans leur partie centrale, une bosse probablement due à la présence de bancs plus résistants, intercalés dans les terres noires (cf. feuille 4).

Les deux affleurements orientaux, situés au Sud du Céans, montrent un changement de direction de leur plus grande profondeur vers l'Est (cette direction marque l'alignement des points situés à une profondeur dépassant 5 m). Tous ces dépôts d'origine glaciaire supposée ont la particularité de se terminer contre un ressaut de la terre noire, qui suit une direction générale nord est, en restant à 2 mètres au moins au-dessous du sol (voir feuille n° 4).

4. - Hydrogéologie

La perméabilité y est relativement faible, exception faite des niveaux à gros blocs de la zone superficielle. Cette perméabilité insuffisante, est due au litage du matériel argileux, provenant de l'évolution de la "terre noire" et surtout du colmatage des vides par les matériaux argileux.

On trouve des sources de faible importance (n° 30 et 31, feuille 1) à "la Priora" et à 200 m au Nord Ouest de Pige-Bouin, avec des débits respectifs de 1,5 et 1,2 m/s.

Les eaux utilisées pour la consommation et l'irrigation proviennent des sources qui se trouvent dans la partie supérieure des dépôts glaciaires au contact des terres noires et des éboulis actuels. Ces rares sources semblent essentiellement dues aux eaux qui circulent dans un niveau à éléments grossiers, présent sur l'ensemble de ces dépôts.

5. - Caractéristiques physiques et mécaniques

On ne rencontre fort peu de construction sur ces formations, et l'on ne connaît pas leur qualité du point de vue du Génie Civil.

L'analyse de 5 échantillons du matériel glaciaire, a apporté les résultats suivants :

- Granulométrie (fig. 31)

matériel non retenu aux tamis de :	Pourcentage de matériel passant aux mailles suivantes :
2 mm = 20,5 %	10 % = 0,1 mm
0,08 mm = 9,5 %	30 % = 5,8 mm
	60 % = 16,0 mm

- Limites d'Atterberg

- Limite de liquidité = 40,1
- Limite de plasticité = 20,6
- Indice de plasticité = 19,5

- Limite de retrait du matériel fin : 20,3
- Analyse de calcimétrie = 36,0 %.

Les tableaux XVIII et XXIX donnent les valeurs suivantes de Cu et Cc :

Cu (coefficient d'uniformité) = 160,0 > 4
Cc (coefficient de courbure) = 21,1 > 3

qui cataloguent ce sol comme une "grave propre mal graduée" Gm (GP), le pourcentage de matériel non retenu par le tamis de 0,08 mm (9,5 %) nous oblige à utiliser un double symbole, sachant que les particules fines peuvent jouer un rôle important.

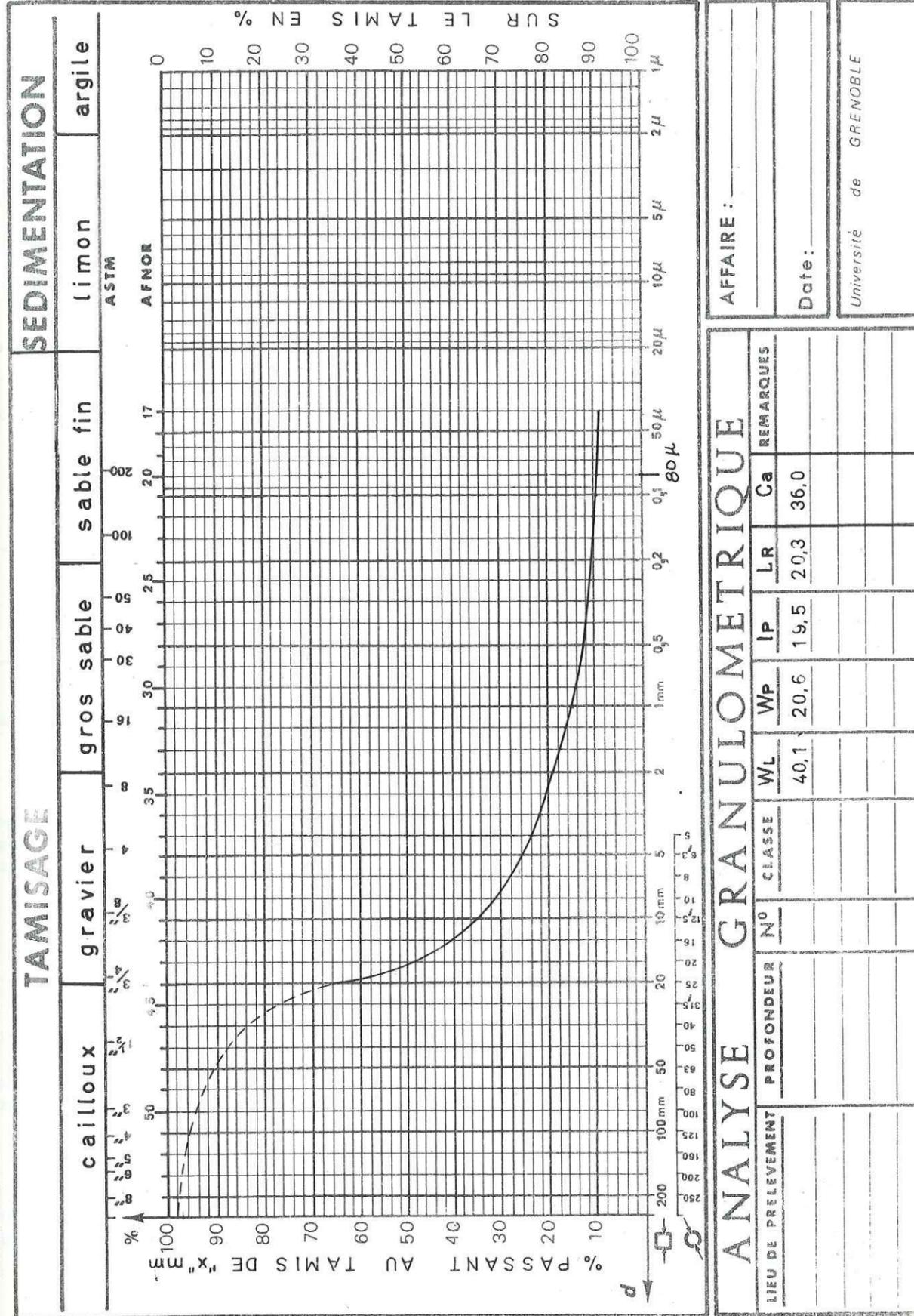
La limite de liquidité et l'indice de plasticité situent cette formation au-dessus de la ligne "A" de l'abaque de plasticité (fig. 9 et 10, p. 47), en faisant une "grave argileuse" GA (GC).

La formation sera, en conséquence, représentée par Gm-GA (GP-GC), en accord avec la convection adoptée, page 52.

D'après le tableau XIV (p. 40), les propriétés physique et mécanique sont celles de sols catalogués en A-1 (granulométrie) et A-5 (matériaux fins). Ce sont :

- frottement interne = variable
- cohésion = faible à élevée
- retrait = peu important

Fig.31.- Granulometrie des DEPOTS d'origine glaciaire locale probable (remanies ?).



- gonflement = peu important
- capillarité = nulle à variable
- élasticité = variable

D'après le tableau XIX (p. 54) :

- densité sèche moyenne = de 1,76 à 2,32
- C. B. R. = de 20 à 60
- module de réaction du sol naturel (KG/cm<sup>2</sup>) = de 5 à 14

6. - Mesures de vitesses sismiques et des résistivités

Les vitesses sismiques, mesurées dans ces formations détritiques glaciaires, ont des valeurs comprises entre 430 et 800 m/s, atteignant parfois 1 200 m/s en la présence d'eaux souterraines ; les valeurs moyennes sont de l'ordre de 650 m/s.

D'après le tableau XX (p. 68), c'est un sol rippable au tracteur de 320 cv muni d'un ripper hydraulique porté à une dent.

Les résistivités apparentes de cette formation varient de 40 à 280 Ω·m (cf., sondages électriques).

7. - Propriétés des sols dans les travaux de l'ingénieur

Les utilisations que l'on peut faire en Génie Civil de cette formation cataloguée comme "grave mal graduée - grave argileuse" Gm-GA (GP-GC), sont les suivantes :

Par référence aux tableaux XIX (p. 54), XVII (p. 50) et XIV (p. 40) :

- bon à excellent sol de fondation lorsque l'action du gel n'est pas à craindre ;
- bon à passable, comme couche de fondation lorsque l'action du gel n'est pas à craindre ;
- passable, comme couche de base, quand l'action du gel n'est pas à craindre ;
- faible gélivité ;
- faible possibilité de tassement et de gonflement ;
- médiocres caractéristiques drainantes ;
- engins de compactage :
  - tracteurs à chenilles,
  - rouleaux à pneus,
  - rouleaux lisses,
  - à pieds de mouton;
- faible perméabilité après compactage ;
- bonne à médiocre résistance aux contraintes tangentielles après compactage et saturation ;
- bonne ouvrabilité comme matériau de construction ;
- ordre de préférence pour divers usages (voir indications \* tableau XVII).
  2. - pour les fondations où l'écoulement a de l'importance.
  5. - pour les fondations où l'écoulement n'a pas d'importance.
  4. - pour le gonflement des remblais, même en l'absence de gel.
  4. - pour le gonflement des remblais dus au gel possible.
  1. - pour le surfaçage des remblais.
  1. - pour les barrages homogènes en terre compactée.
  1. - pour le noyau des barrages en terre compactée.
  2. - pour les massifs de butée des canaux.
  3. - pour la résistance à l'érosion des canaux.
  1. - pour le revêtement des canaux en terre compactée.
- bonne utilisation pour les remblais inférieurs à 15 m
- moyenne utilisation pour les remblais supérieurs à 15 m
- épaisseur de chaussées : 15 à 40 cm
- assez bon comportement général.

b.3 - Les anciennes coulées boueuses

1. - Localisation

Surtout sises dans le torrent du Chevalet, au Sud et au Nord du Céans et moins développées au Nord de la Blaisance.

Les coulées anciennes sont observables en neuf endroits différents et couvrent une superficie approximative de 100 ha. Les coordonnées Lambert du centre de chacune d'entre elles sont :

NOMS DES LIEUX	N°	COORDONNEES			SURFACE en ha (environ)
		X	Y	Z	
Chevalet-le-Haut	1	869,0	227,0	850,0	16,0
Bas Chevalet	2	869,5	227,8	770,0	8,5
Sud Beauregard	3	871,6	228,8	720,0	9,0
Saint-Avons	4	870,4	230,4	670,0	18,0
Flandres	5	869,7	230,0	720,0	1,5
Couriau	6	869,1	230,0	750,0	2,5
Les Bouissettes	7	868,0	229,0	710,0	28,0
La Saulce	8	869,0	234,4	720,0	2,5
Combau	9	870,3	235,2	800,0	15,0
TOTAL :					101,00 ha

Les épaisseurs sont presque toujours inférieures à 20 m, sauf à Chevalet-le-Haut et Bas Chevalet sur une zone située au Sud du torrent où les épaisseurs dépassent 20 m.

2. - Lithologie

On peut relever une assez bonne coupe au torrent de Chevalet (X = 869,7 ; Y = 228,0 ; Z = 740,0), où la coulée boueuse est composée de matériel argileux et d'éléments calcaires hétérométriques. La base est surtout constituée de gros blocs calcaires, dont certains atteignent 120 m<sup>3</sup> (cf. photo n° ). Ces éléments ne sont pas répartis de manière uniforme et l'on peut observer des passées argileuses, parfois verticales en contact avec les éléments calcaires.

La formation montre deux ensembles bien distincts :

- un ensemble constitué d'éléments calcaires (30 %) dont certains ont un diamètre compris entre 2 et 6 cm, et d'autres, anguleux, inférieurs en majeure partie à 2 cm ;
- un ensemble totalement argileux, constituant la matrice de la coulée, représente 70 % environ du volume total.

L'observation de ces formations nous amène à supposer qu'elles se sont produites sous l'influence prépondérante des eaux en concentration suffisante pour annihiler les forces de cohésion du matériel préexistant.

Puis, quand la pente n'a plus été suffisante ou que la concentration en eau d'imbibition a diminué, la coulée boueuse s'est arrêtée à l'endroit où nous la trouvons et il a pu alors se produire une sédimentation progressive par gravité des éléments calcaires qui a fait se déposer les éléments les plus gros dans la partie inférieure de la coulée stabilisée.

3. - Morphologie

Ces formations donnent un relief "moutonné" au paysage où on observe des glissements récents de solifluxion. Ces déformations se répercutent sur les constructions, les fondations et les chaussées et provoquent une inclinaison notable des arbres.



6. - Mesures des vitesses sismiques

Les vitesses sismiques sont comprises entre 270 à 450 m/s avec une valeur moyenne de 400 m/s, et permettent de considérer ces sols comme "rippables" où l'utilisation d'un tracteur de 230 c.v. équipé d'un ripper à une dent est suffisante.

7. - Propriétés des sols pour les travaux de l'ingénieur

La coulée boueuse, cataloguée comme "grave argileuse", ou un mélange de "gravier - sable - argile" GA (GC) avec d'énormes blocs à la base, peut être considérée de la façon suivante par l'ingénieur :

- extrêmement sujette aux glissements quand l'épaisseur de la formation est inférieure à 20 m de sorte que les glissements sont d'autant plus probables que l'épaisseur diminue.

D'après les tableaux XIX (p. 54), XVII (p. 50) et XIV (p. 40) nous avons :

- bon sol de fondation, lorsque l'action du gel n'est pas à craindre ;
- couche de fondation passable même lorsque l'action du gel n'est pas à craindre ;
- couche de base médiocre à inutilisable, même quand l'action du gel n'est pas à craindre ;
- faible à moyenne géllivité ;
- faible possibilité de tassement et de gonflement ;
- caractéristiques drainantes : médiocres ;
- engins de compactage :
  - rouleaux à pneus,
  - à pieds de mouton ;
- imperméable après compactage ;
- bonne à médiocre résistance aux contraintes tangentielles après compactage et saturation ;
- bonne ouvrabilité comme matériau de construction ;
- ordre de préférence pour divers usages (les numéros vont en croissant lorsque les qualités et propriétés citées en référence deviennent moins bonnes).
  2. - l'écoulement par les fondations a de l'importance.
  6. - l'écoulement par les fondations n'a pas d'importance.
  5. - gonflement des remblais dû au gel non possible
  5. - gonflement des remblais dû au gel possible.
  1. - surfaçage des remblais.
    1. - barrage homogène en terre compactée.
    1. - noyau des barrages en terre compactée.
    0. - massif de butée pour les canaux.
    3. - résistance à l'érosion pour les canaux.
    1. - revêtement des canaux en terre compactée.
- moyenne à mauvaise utilisation pour des remblais inférieurs à 15 m
- très mauvaise utilisation pour des remblais supérieurs à 15 m.
- épaisseur des chaussées : 30 à 61 cm.
- faible comportement général.

Il est important de signaler la présence de gros blocs calcaires à la base de ces formations, fichés dans la terre noire, qui ne doivent pas être considérés comme des affleurements de calcaire.

b.4 - Les éboulis cryoclastiques

1. - Localisation

On les trouve généralement sur les versants des rivières Céans et Blaisance. Il y a cinq affleurements dans la région, ils couvrent une surface d'environ 267 ha. Les coordonnées Lambert du centre des affleurements sont les suivantes :

NOMS DE LIEUX	N°	COORDONNEES			SURFACE en ha
		X	Y	Z	
Chevalet-le-Haut	1	868,7	227,0	960,0	20,0
Flonsaine	2	868,2	228,9	700,0	27,0
Flandres	3	869,4	230,1	800,0	132,0
Sud Trescléoux	4	869,4	233,3	700,0	66,0
Languissard	5	868,2	235,0	1030,0	22,0
TOTAL :					267,0 ha

2. - Lithologie

On peut observer sur la route de Chevalet et Sainte-Colombe, une coupe de la formation, dont les coordonnées sont X = 868,6 ; Y = 226,9 ; Z = 980,0 et où les matériaux comprennent deux couches :

- une couche épidermique, de 1,5 m environ, constituée d'un sol brun rouge, peu épais et d'un ensemble inférieur blanchâtre, relativement bien cimenté par Ca CO<sub>3</sub>, composé d'un peu de matériau argileux et surtout d'éléments calcaires, et où peuvent se trouver à l'occasion des blocs calcaires de 1 m<sup>3</sup> environ ;
- une couche inférieure, de couleur brun très clair, où les éléments calcaires dominent très nettement (plus de 90 %) sur le matériau argileux.

En général les diamètres des éléments se situent entre 0,5 et 5 cm et il existe très peu de diamètres inférieurs à 0,5 cm et supérieurs à 5 cm, quelques blocs se trouvent disséminés dans l'ensemble.

Les éléments calcaires, de couleur légèrement patinée, sont tous anguleux. On observe aussi une sorte de classement granulométrique latéral. Il n'existe pas de cimentation. La cohésion est médiocre, où il y a seulement des éléments calcaires et élevée lorsque le matériau argileux est mêlé aux éléments calcaires de diamètre inférieur à 0,5 cm.

La formation est située sur la terre noire.

3. - Morphologie

La formation se caractérise par une morphologie assez uniforme, aux pentes variables, toutes situées sur les versants.

La formation est couverte d'une végétation rare ; cela est dû à la grande porosité des éléments calcaires qui empêche la rétention des eaux de pluie, ajoutée à la pente de la surface dont les valeurs varient de 20 à 50 %.

4. - Hydrogéologie

La formation, malgré sa grande porosité, n'a pas beaucoup d'importance du point de vue hydrogéologique. Cela est dû :

- d'une part, à la cimentation plus ou moins avancée de la couche épidermique, qui empêche la pénétration des eaux de pluie ;
- d'autre part, à sa largeur réduite qui l'empêche de retenir une quantité d'eau importante ;
- enfin, à l'inclinaison du substratum, vers les parties basses, qui empêche la formation de bassins.

L'unique source importante qui se trouve dans la formation est celle de Bachas (source n° 23) située à 1 200 m à l'Est d'Orpierre dont le débit est de 1,4 l/s.

5. - Caractéristiques physiques et mécaniques

Voici quelles sont les données moyennes des analyses réalisées sur trois échantillons typiques :

- Granulométrie (fig. 33)

matériau retenu dans les tamis de :

2 mm = 95,0 %  
0,08 mm = 97,2 %

Pourcentage du matériau qui passe dans les diamètres suivants :

10 % = 4,6 mm  
30 % = 10,0 mm  
60 % = 18,5 mm

- Limites d'Atterberg

- limite de liquidité = 34,4
- limite de plasticité = 21,3
- indice de plasticité = 12,1

- limite de retrait = 20,15

- analyse de calcimétrie = 68,4

En accord avec les tableaux XVIII (p. 53) et XXIX (p. 138), le sol est catalogué comme "grenu" (97,2 % > 0,08 mm), mais comme le pourcentage de matériau qui traverse le tamis de 0,08 mm est 2,8 % < 5 %, on le catalogue comme "grave propre" (le matériau fin ne joue aucun rôle).

L'étude de la courbe granulométrique donne :

- Cu (coefficient d'uniformité) = 4,02 > 4
- Cc (coefficient de courbure) = 1,17 compris entre 1 et 3 qui la caractérise comme "grave propre bien graduée", Gb (GW).

Les caractéristiques physiques et mécaniques de ce sol sont :

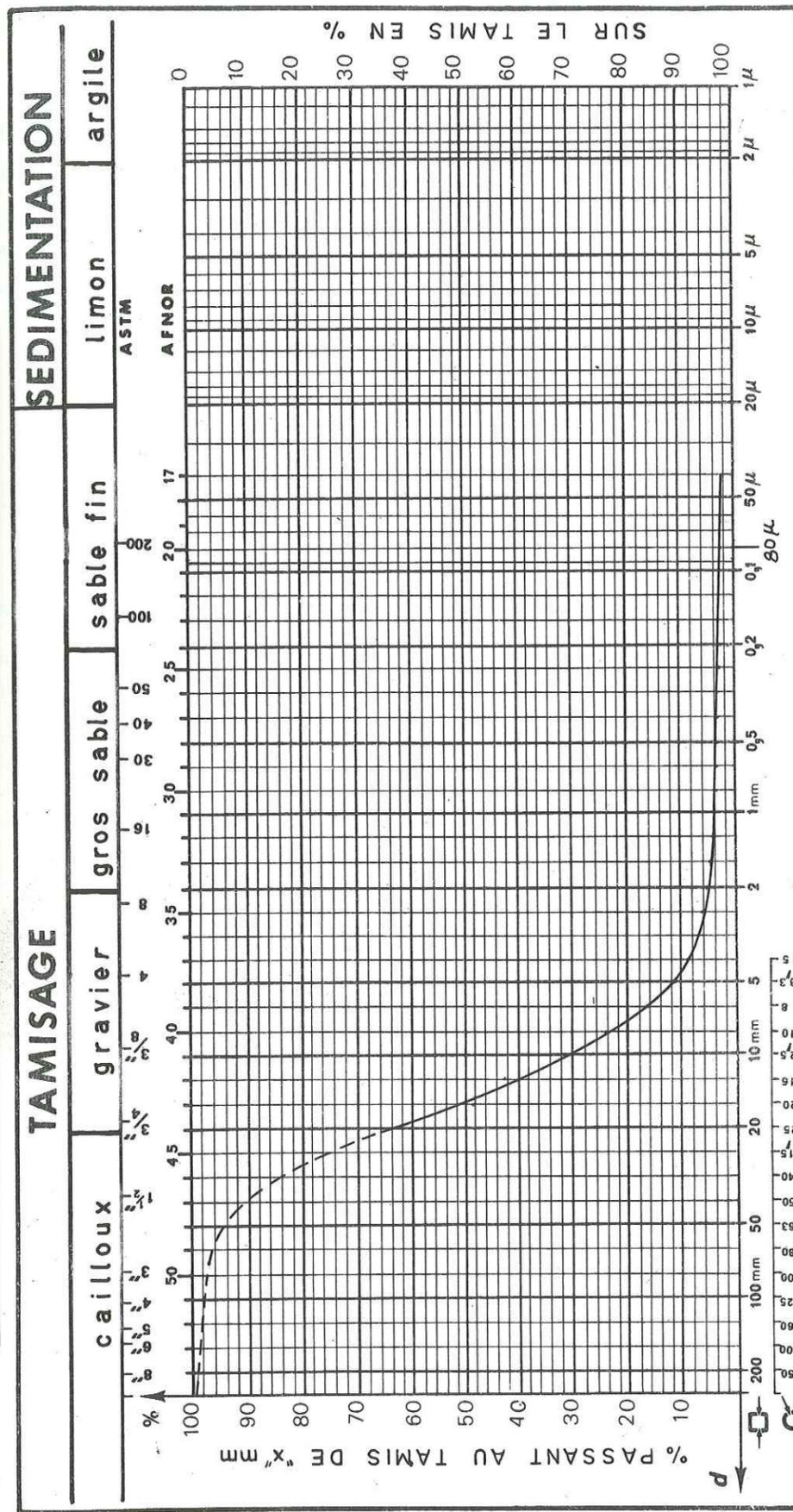
- tableau XIX (p. 54), comme Gb :

- densité sèche moyenne = 2,0 à 2,22
- C. B. R. = 40 à 80
- module de réaction du sol naturel (kg/cm<sup>2</sup>) = 7 à 14

- tableau XIV (p. 40), sol A-1 :

- frottement interne = élevé
- cohésion = moyenne
- retrait = nuisible
- gonflement = nul
- capillarité = nulle
- élasticité = nulle.

Fig. 33. - Granulométrie des éboulis GRYO CLASTIQUES.



<b>ANALYSE GRANULOMETRIQUE</b>	
LIEU DE PRELEVEMENT	REMARQUES
PROFONDEUR	CLASSE
N°	WL
	WP
	IP
	LR
	Ca
	Cb
	68,4

AFFAIRE : \_\_\_\_\_

Date : \_\_\_\_\_

Université de GRENOBLE

6. - Mesures des vitesses sismiques

Les valeurs des vitesses sismiques sont de l'ordre de 550 m/s à 750 m/s, avec des valeurs moyennes de 650 m/s. Ce sol est catalogué comme rippable ; donc l'utilisation d'un tracteur de 230 c. v. muni d'un ripper à une dent est suffisante.

7. - Propriétés des sols pour les travaux de l'ingénieur

Ce sol catalogué comme "grave propre bien graduée" Gb (GW), par les travaux de l'ingénieur peut être utilisé de la manière suivante :

Voir tableaux XIX (p. 54), XVII (p. 50), XVI (p. 48), XIV (p. 40).

- sol de fondation excellent lorsque l'action du gel n'est pas à craindre ;
- couche de fondation excellente lorsque l'action du gel n'est pas à craindre ;
- bonne couche de base quand l'action du gel n'est pas à craindre ;
- gélivité : aucune ou très faible ;
- aucune possibilité de tassement et de gonflement ;
- engins de compactage :
  - tracteurs à chenilles,
  - rouleaux à pneus,
  - rouleaux lisses ;
- perméable après compactage ;
- résistance excellente aux contraintes tangentielles après compactage et saturation ;
- ouvrabilité excellente comme matériau de construction ;
- ordre de préférence pour divers usages (cf. tableau XVII) :
  0. - l'écoulement par les fondations a de l'importance ;
  1. - l'écoulement par les fondations n'a pas d'importance ;
  1. - gonflement des remblais dû au gel non possible ;
  1. - gonflement des remblais dû au gel possible ;
  3. - surfacage des remblais ;
  0. - barrage homogène en terre compactée ;
  0. - noyau des barrages en terre compactée ;
  1. - massif de butée des canaux ;
  1. - résistance à l'érosion des canaux ;
  0. - revêtement des canaux en terre compactée.
- utilisation excellente pour les remblais inférieurs à 15 m ;
- utilisation bonne pour des remblais supérieurs à 15 m ;
- épaisseurs des chaussées : 0 à 15 cm ;
- excellent comportement général.

b. 5 - Les argiles "lacustres" (probables)

1. - Localisation

Formation située entre la base des dépôts d'origine glaciaire locale probable (remaniés ?) et la terrasse de la rivière Céans, qui a comme substratum la terre noire.

Les coordonnées Lambert du centre de ces formations sont :

NOMS DES LIEUX	COORDONNEES			SURFACE en ha
	X	Y	Z	
Turin	870,7	229,5	650,0	19,0
Est de "les plaines"	872,2	230,3	640,0	13,0

2. - Lithologie

Formation de couleur gris foncé sujette au ravinement en surface, où l'on remarque la présence d'un important volume de concrétions calcaires, enrobant des débris végétaux.

A la limite dépôts d'origine glaciaire locale probable (remaniés ?)-argile lacustre, on peut observer la présence de terre noire, non loin de la surface, qui forme une surélévation séparant les deux formations de couverture, où l'argile lacustre peut atteindre des épaisseurs relativement importantes, (jusqu'à 10 m), fig. 34.

On peut remarquer aussi que la surface de contact entre l'argile "lacustre" et la terre noire se traduit par une pente plus forte du côté est que du côté ouest. C'est pourquoi à l'Est de la formation on trouve généralement des profondeurs plus grandes qu'à l'Ouest (fig. 35), cela est peut-être dû à la direction générale d'érosion Ouest-Est.

3. - Morphologie

La caractéristique de la formation est qu'elle présente une surface complètement ravinée où l'on observe la présence d'une végétation moyenne de sapins, qui la différencie nettement des formations voisines.

La pente moyenne de la formation est de 7,5 %, située à une altitude moyenne de 650 m.

4. - Hydrogéologie

Ces argiles, caractérisées par leur imperméabilité, n'ont aucune importance du point de vue hydrogéologique.

5. - Caractéristiques physiques et mécaniques

Voici quelles sont les données moyennes des analyses réalisées sur trois échantillons typiques :

- Granulométrie (fig. 36)

Matériau retenu dans les tamis de :

2 mm = 0,2 %

0,08 mm = 3,5 %

- Limites d'Atterberg

- limite de liquidité = 51,2

- limite de plasticité = 31,1

- indice de plasticité = 20,1

- Limite de retrait = 17,35

- Analyse de calcimétrie = 30,0

En accord avec le tableau XVIII (p. 53, le sol est catalogué comme "sol fin" (96,5 % < 0,08 mm), où le matériau fin joue un rôle très important.

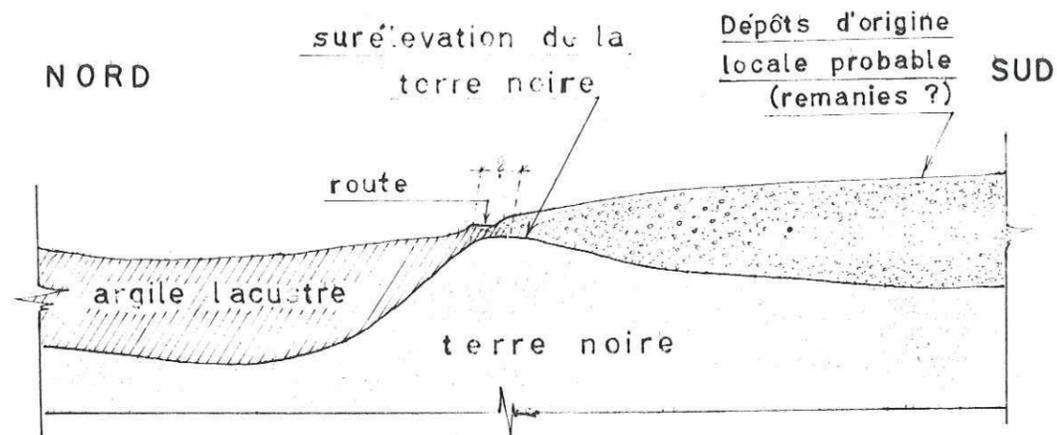


Fig. 34. — Passage du glaciaire à l'argile lacustre.

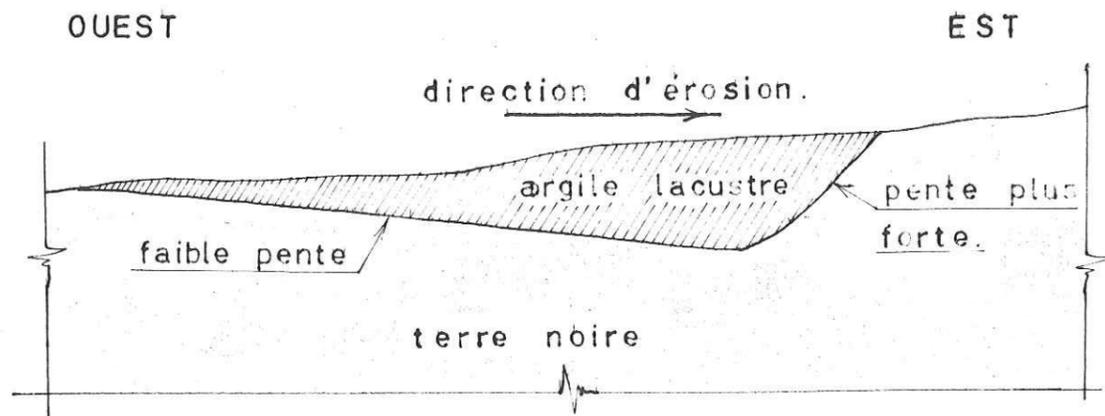


Fig. 35. — Substratum de l'argile lacustre.

La limite de liquidité (supérieure à 50) et l'indice de plasticité le situent sous la ligne "A" de l'abaque de plasticité (fig. 9 et 10, p. 47) et cataloguent le sol comme "argile organique de plasticité élevée, représenté par "Ot" ou "OH".

Les caractéristiques physique et mécanique de ce sol sont les suivantes :

- tableau XIX (p. 54)
  - densité sèche moyenne = 1,28 à 1,76
  - C. B. R. = 5 au moins
  - module de réaction du sol naturel ( $\text{kg/cm}^2$ ) = 0,7 à 3
- tableau XIV (p. 40), sol A-7
  - frottement interne = faible
  - cohésion = élevée
  - retrait = nuisible
  - gonflement = nuisible
  - capillarité = élevée
  - élasticité = élevée

#### 6. - Mesures des vitesses sismiques

D'après les sondages sismiques effectués, les valeurs des vitesses sismiques sont de l'ordre de 300 m/s à 600 m/s avec des valeurs moyennes générales de 480 m/s.

Ce sol est catalogué comme rippable et adapté à l'utilisation d'un tracteur de 320 c. v. muni d'un ripper hydraulique porté à une dent.

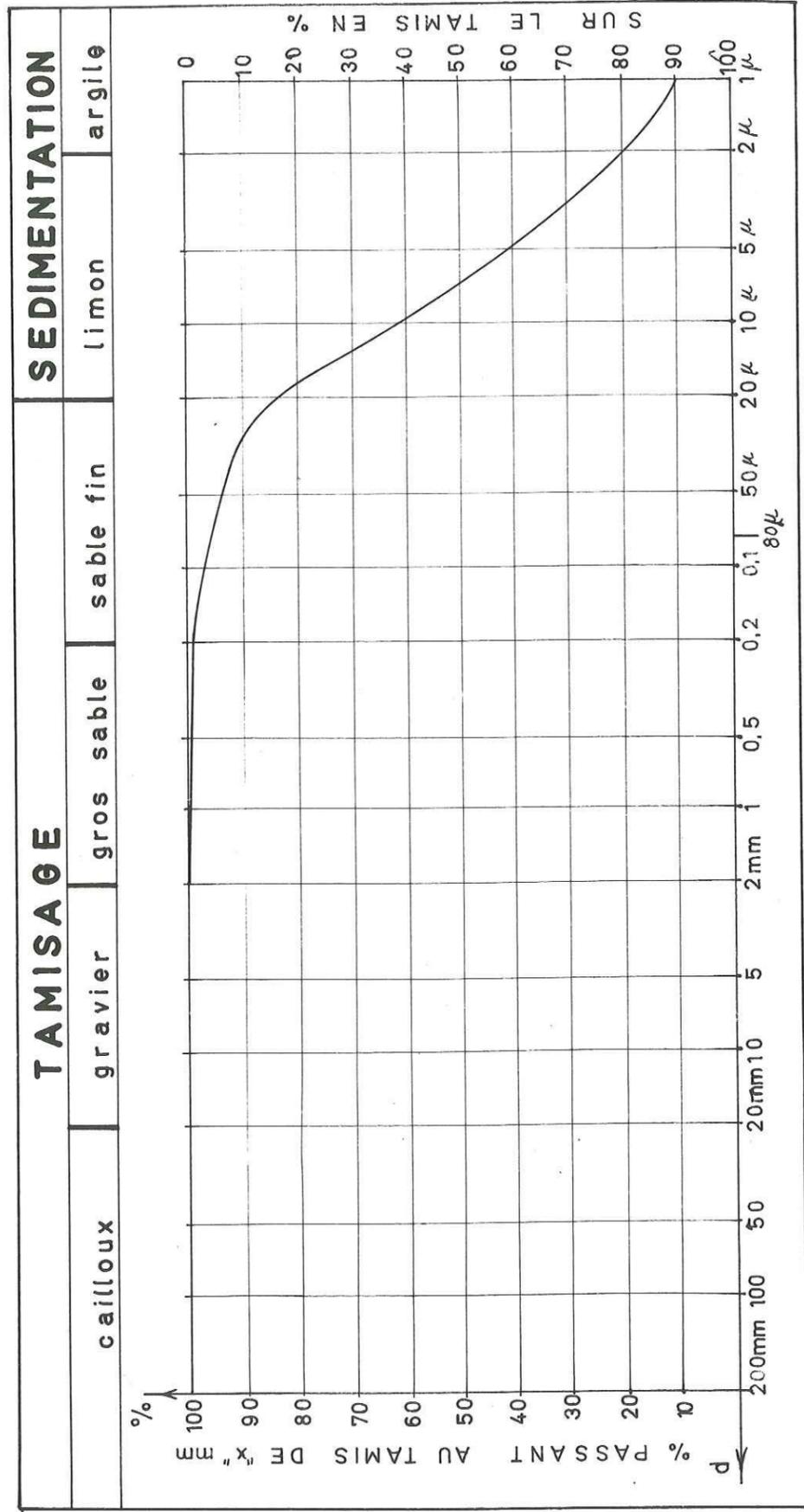
#### 7. - Propriétés des sols pour les travaux de l'ingénieur

Sol catalogué comme "argile organique de plasticité élevée", et représenté dans les tableaux comme "Ot", "OH" ou "A-7" et pour les travaux de l'ingénieur peut être utilisé de la manière suivante :

(voir tableaux XIV (p. 40), XVI (p. 48), XVII (p. 50), XIX (p. 54).

- sol de fondation très médiocre même lorsque l'action du gel n'est pas à craindre ;
- inutilisable comme couche de fondation même lorsque l'action du gel n'est pas à craindre ;
- inutilisable comme couche de base même quand l'action du gel n'est pas à craindre ;
- gélivité moyenne ;
- possibilité de tassement et de gonflement élevé
- caractéristiques drainantes : imperméable ;
- engins de compactage :
  - rouleaux à pneus,
  - à pieds de mouton
- imperméable après compactage ;
- mauvaise résistance aux contraintes tangentielles après compactage et saturation ;
- compressibilité élevée après compactage et saturation ;
- mauvaise ouvrabilité comme matériau de construction ;
- ordre de préférence pour divers usages (cf. tableau XVII) :
  - 10. - l'écoulement des fondations a de l'importance
  - 14. - l'écoulement des fondations n'a pas d'importance
  - 14. - gonflement des remblais dû au gel non possible
  - 14. - gonflement des remblais dû au gel possible
  - 0. - surfaçage des remblais ;
  - 10. - barrage homogène en terre compactée
  - 10. - noyau des barrages en terre compactée
  - 0. - massif de butée des canaux
  - 0. - résistance à l'érosion

Fig. 36. Granulometrie des ARGILES "LACUSTRES" probables.



<b>WL</b>	<b>WP</b>	<b>IP</b>	<b>LR</b>	<b>Ca</b>
51,2	31,1	20,1	17,35	30,0

- 0. - revêtement des canaux en terre compactée.
- mauvaise utilisation pour des remblais inférieurs à 15 m
- très mauvaise utilisation pour des remblais supérieurs à 15 m
- très faible comportement général.

b. 6 - Les argiles caillouteuses

1. - Localisation

Il y a 15 zones, situées au Sud et au Nord de la rivière Céans et au Nord de la rivière Blaisance, qui constituent une surface d'environ 84 ha.

La localisation du centre des affleurements est la suivante :

NOMS DES LIEUX	N°	COORDONNEES			SURFACE en ha
		X	Y	Z	
Le Darère	1	872,7	230,5	690,0	11,0
Pige-Bouin	2	872,3	229,7	730,0	20,0
Beauregard	3	871,3	229,3	700,0	17,0
Le Thon	4	869,2	229,0	750,0	1,5
Berche	5	871,2	230,6	690,0	1,5
Berche	6	871,4	231,0	690,0	1,0
Bas Chevalet	7	870,0	228,0	780,0	20,0
Le Pousin	8	868,8	235,2	880,0	5,5
Les Bellons	9	869,4	234,8	720,0	1,5
Grique	10	870,9	232,3	750,0	1,0
L'aiguille	11	871,8	231,3	665,0	0,5
Chante Duc	12	870,6	228,6	800,0	0,7
Nord Chevalet	13	869,2	228,1	950,0	0,4
Nord Chevalet	14	869,3	228,2	870,0	0,4
Gaurissard	15	869,9	228,8	710,0	2,0
TOTAL :					84,0

Les six derniers affleurements correspondent à de vieilles surfaces ; elles se trouvent à des altitudes assez élevées, d'une valeur moyenne de 790 m, où les surfaces de couverture sont très petites, 5 ha environ. Nous les avons classées dans les argiles caillouteuses, car leurs matériaux sont assez semblables entre eux ; et ensuite, parce qu'elles constituent une très petite surface difficilement utilisée par l'ingénieur.

2. - Lithologie

On peut distinguer deux ensembles dans la formation :

- l'un constitué de cailloutis calcaires comportant beaucoup d'argile, situés sur la terre noire et formant des surfaces considérables, 79 ha environ (fig. 37) ;
- l'autre situé sur les crêtes, où la présence de blocs calcaires est considérable, par rapport au premier (fig. 38).

3. - Morphologie

La formation constitue des surfaces situées sur les élévations, avec des pentes qui varient entre 5 % et 22 %, généralement recouvertes d'une végétation pauvre en sapins.

Les vieilles surfaces d'érosion que nous trouvons dans les parties élevées constituent des vestiges de dépôts alluviaux qui ont été fortement érodés.

On peut imaginer que les couches alluviales ont été déposées en des temps éloignés, suivant une direction ouest-est, semblable à celle que suivent actuellement les rivières Céans et Blaisance, mais avant, elles coulaient à une altitude plus élevée de 80 à 280 m environ, pour arriver à l'endroit où se trouve aujourd'hui la rivière Buech, où elles changent de direction vers le Sud.

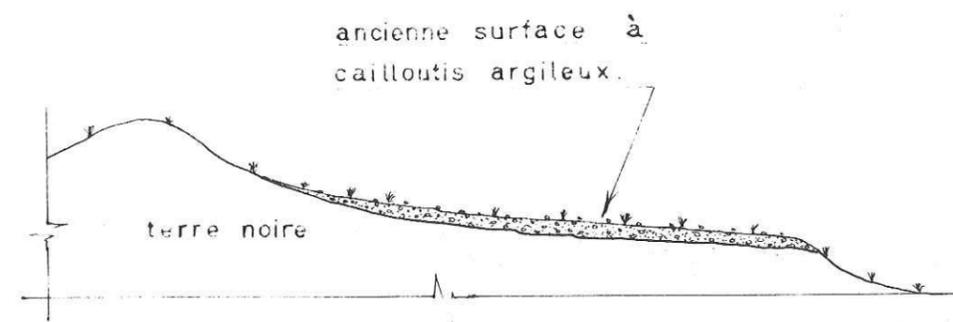


Fig. 37. - Ancienne surface à cailloutis argileux.

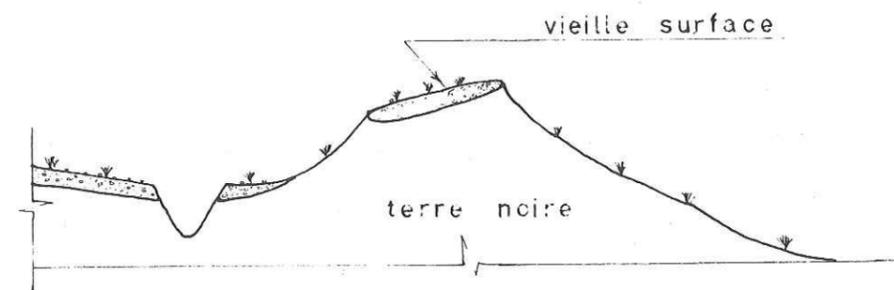


Fig. 38. - Vieille surface.

4. - Caractéristiques physique et mécanique

Voici quelles sont les données moyennes des analyses réalisées sur trois échantillons typiques :

- Granulométrie (fig. 39)

Matériau retenu dans le tamis de :

- 2 mm = 39 %
- 0,08 mm = 48,5 %

- Limites d'Atterberg

- limite de liquidité = 37,6
- limite de plasticité = 19,8
- indice de plasticité = 17,8

- Limite de retrait = 17,5

En accord avec le tableau XVIII (p. 53) le sol est catalogué comme "fin" ( $51,5 \% < 0,08 \text{ mm}$ ), où le matériau fin joue le rôle principal.

La limite de liquidité inférieure à 50 et l'indice de plasticité (17,8) le situe sur la ligne "A" de l'abaque de plasticité, qui le catalogue comme "argile graveleuse", AP (CL).

Les caractéristiques physique et mécanique de ce sol sont :

- tableau XIX (p. 54) :

- densité sèche moyenne = 1,44 à 2,08
- C. B. R. = 15 ou moins
- module de réaction du sol naturel ( $\text{kg/cm}^2$ ) = 1,5 à 4

- tableau XIV (p. 40) : sol A-7

- frottement interne = faible
- cohésion = élevée
- retrait = nuisible
- gonflement = élevé
- capillarité = élevée
- élasticité = nulle.

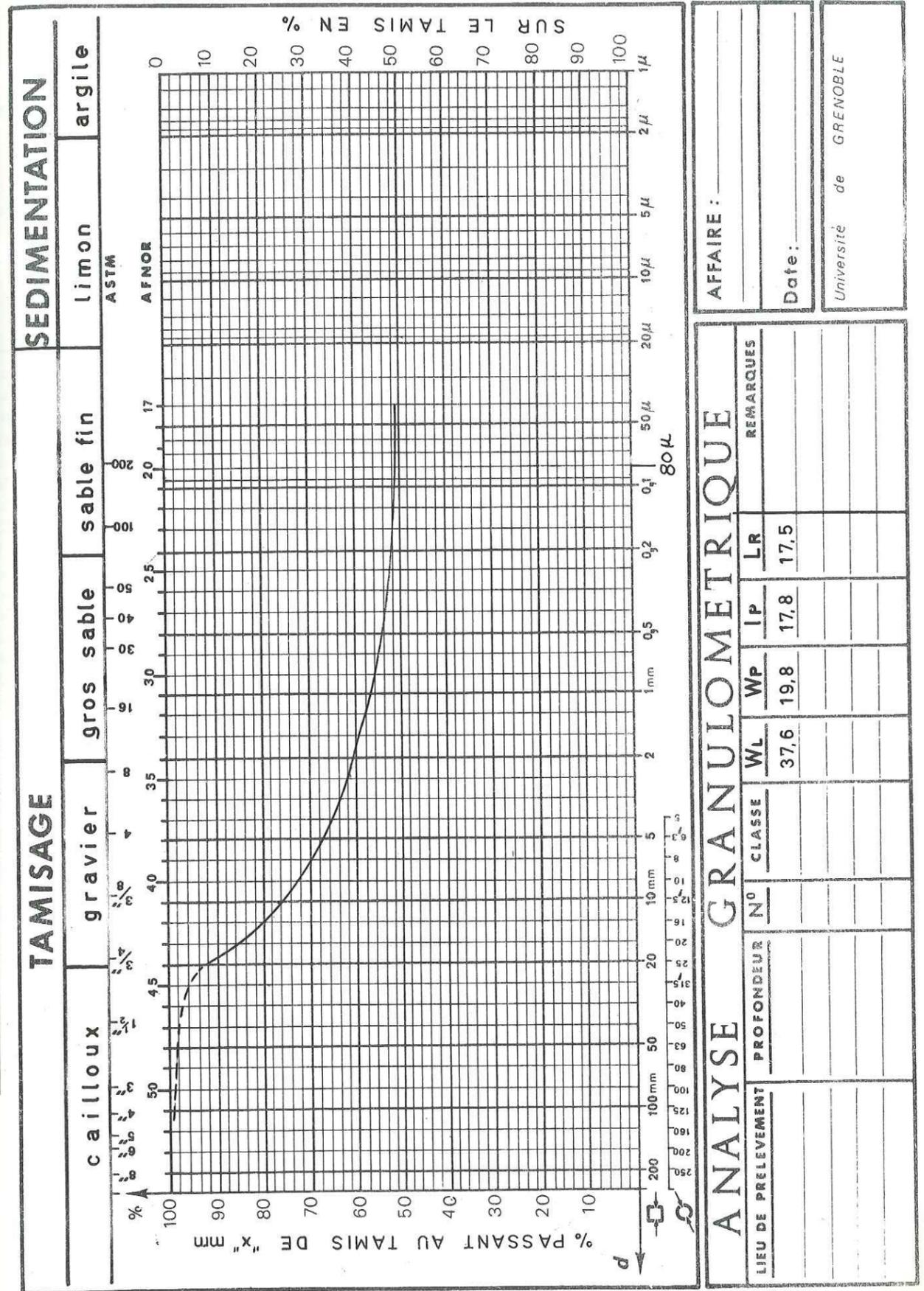
5. - Propriétés des sols pour les travaux de l'ingénieur

Ce sol catalogué comme "argile graveleuse", pour les travaux de l'ingénieur peut être utilisé de la manière suivante :

Voir tableaux XIX (p. 54), XVII (p. 50), XVI (p. 48), XIV (p. 40).

- sol de fondation médiocre à passable lorsque l'action du gel n'est pas à craindre ;
- inutilisable comme couche de fondation même lorsque l'action du gel n'est pas à craindre ;
- inutilisable comme couche de base même quand l'action du gel n'est pas à craindre ;
- gélivité moyenne ;
- possibilité de tassement et de gonflement moyen ;
- caractéristiques drainantes : pratiquement imperméable ;
- engins de compactage :
  - rouleaux à pneus
  - à pieds de mouton
- imperméable après compactage ;
- résistance médiocre aux contraintes tangentielles après compactage et saturation ;
- ouvrabilité médiocre comme matériau de construction ;
- ordre de préférence pour divers usages (cf. tableau XVII) :
  5. - l'écoulement par les fondations a de l'importance ;
  10. - l'écoulement par les fondations n'a pas d'importance ;

Fig.39. - Granulometrie des ARGILES CAILLOUTEUSES.



- 9. - gonflement des remblais dû au gel non possible ;
- 7. - gonflement des remblais dû au gel possible ;
- 7. - surfaçage des remblais ;
- 5. - barrage homogène en terre compactée ;
- 3. - noyau des barrages en terre compactée ;
- 0. - massif de butée des canaux ;
- 9. - résistance à l'érosion des canaux ;
- 3. - revêtement des canaux en terre compactée ;
- utilisation mauvaise pour des remblais inférieurs à 15 m ;
- utilisation très mauvaise pour des remblais supérieurs à 15 m ;
- épaisseur des chaussées : 30 à 61 cm ;
- faible comportement général.

b. 7 - Les produits d'altération des "Terres Noires"

1. - Localisation

Les produits d'altération sont situés sur les "Terres Noires" fraîches et en place, répartis sur toute la région ; ils couvrent une grande étendue (400 ha environ).

La localisation du centre des affleurements est la suivante :

NOMS DES LIEUX	N°	COORDONNEES			SURFACE en ha
		X	Y	Z	
Le Plan	1	871,0	229,0	700,0	17,0
Les Tuiles	2	870,4	228,3	750,0	12,0
Gaurissard	3	869,5	228,4	820,0	9,0
Sambuc	4	869,5	229,2	680,0	16,0
Le Bachas	5	869,1	229,5	685,0	12,0
Maigre	6	869,8	229,8	680,0	11,0
L'Adrech	7	870,0	230,8	760,0	32,0
Champ Jouvent	8	871,4	231,5	650,0	84,0
Saint-Grique	9	871,3	232,5	650,0	60,0
Le Riable	10	871,0	233,1	650,0	19,0
Le Pousin	11	869,0	234,9	780,0	18,0
Nord Le Pousin	12	868,7	235,4	845,0	17,0
La Rochette	13	870,0	235,4	720,0	25,0
Sud Serre-du-Deves	14	871,0	234,1	660,0	42,0
Deves	15	872,0	234,4	650,0	28,0
TOTAL :					402,0 ha

2. - Lithologie

L'altération de la terre noire en place, de couleur gris jaunâtre se compose d'un matériau totalement argileux, moins dur et moins cohérent que la terre noire originelle.

Les épaisseurs varient en fonction de la topographie, qui est soumise à l'érosion de surface. Celles-ci atteignent parfois 9 m environ.

La roche altérée se présente comme une masse compacte sur laquelle se trouvent à l'occasion d'autres formations de couverture.

3. - Morphologie

La formation présente un paysage de végétation rare, situé généralement sur les versants et qui donne lieu à une érosion superficielle très réduite.

Les pentes varient entre 12 % et 37 %, ce qui lui donne un caractère de transition entre la terre noire des élévations et les parties les plus basses constituées de dépôts d'origine glaciaire locale probable (remaniés ?) et de terrasses. On trouve couramment dans cette formation, des cultures de lavande.

4. - Hydrogéologie

En raison de sa nature argileuse, la formation est totalement imperméable, et par sa situation géographique, elle n'a aucune importance du point de vue hydrogéologique.

De même que la terre noire elle constitue une partie du substratum imperméable.



- couche de fondation inutilisable même lorsque l'action du gel n'est pas à craindre ;
- couche de base inutilisable même quand l'action du gel n'est pas à craindre ;
- gélivité moyenne ;
- possibilité de tassement et de gonflement élevée ;
- caractéristiques drainantes : pratiquement imperméables ;
- engins de compactage :
  - rouleaux à pneus
  - à pieds de mouton ;
- imperméable après compactage ;
- résistance mauvaise aux contraintes tangentielles après compactage et saturation ;
- compressibilité élevée après compactage et saturation ;
- mauvaise ouvrabilité comme matériau de construction ;
- ordre de préférence pour divers usages (cf. tableau XVII) :
  9. - pour les fondations l'écoulement a de l'importance ;
  13. - pour les fondations l'écoulement n'a pas d'importance ;
  13. - pour les remblais, gonflement dû au gel non possible ;
  8. - pour les remblais, gonflement dû au gel possible ;
  7. - pour les barrages en terre compactée
  7. - pour les noyaux des barrages en terre compactée
  0. - comme massif de butée des canaux ;
  10. - résistance à l'érosion par les canaux ;
  8. - revêtement en terre compactée par les canaux (changement de volume dangereux) ;
- utilisation moyenne à mauvaise pour des remblais inférieurs à 15 m
- très mauvaise utilisation pour des remblais supérieurs à 15 m ;
- épaisseur des chaussées : 30 à 61 cm
- bonne stabilité lorsqu'il est bien compacté
- faible comportement général.

b. 8 - Lits majeurs des cours d'eau principaux (Buech, Blaisance et Céans)

1. - Localisation

Dans la région, les lits majeurs des cours d'eau principaux couvrent une superficie qui atteint environ 80 ha et ils sont répartis de la manière suivante :

- Buech	42 ha
- Blaisance	9 ha
- Céans	29 ha

2. - Utilisation pour les travaux de l'ingénieur

Compte tenu de leur situation dans les rivières, il est seulement possible de les utiliser comme matériel de construction.

Aucune exploitation méthodique n'a été réalisée et l'extraction est très artisanale. La qualité des matériaux sera fonction de leur pourcentage de matériaux fins, et elle varie selon les lieux d'emprunt et les saisons, en accord avec la quantité de limons et d'argile que le Buech, le Céans et la Blaisance transportent.

Ils peuvent fournir des pierres, des graviers roulés et des sables. La principale utilisation doit s'effectuer après le concassage, le criblage serré et éventuellement le lavage.

Les différentes utilisations de ces matériaux sont les suivantes :

- soit comme matériau de granulométrie étalée, pour les couches de base des chaussées ;
- soit sous la forme de sables et de graves ;
- éventuellement, comme matériau pour renfoncer de petits murs de contention et de soutènement.

b. 9 - Les cônes de déjection torrentiels

1. - Localisation

Il y a trois cônes de déjection dans la région, tous situés au Sud de Trescléoux (voir carte géotechnique). Ils couvrent une surface de 25 ha environ.

Les coordonnées des cônes de déjection sont les suivantes :

NOMS DE LIEUX	N°	COORDONNEES			SURFACE en ha
		X	Y	Z	
Panrien	1	868,2	233,1	680,0	9,0
Ouest les Gravier	2	869,0	233,5	665,0	10,0
Est les Gravier	3	869,5	233,6	650,0	6,0
TOTAL :					25,0 ha

2. - Précautions pour les travaux de l'ingénieur

Compte tenu de leur situation et de leur faible étendue, ils n'ont pas beaucoup d'importance pour les travaux de l'ingénieur.

Cependant, il y a quelques précautions à prendre :

- des petits mouvements différentiels peuvent se produire en direction de la rivière Blaisance, capables d'affecter surtout les tunnels ;
- des chutes de pierres et de blocs sont possibles dans le secteur mentionné, en raison de sa nature.

Il est recommandé d'éviter ces cônes de déjection, au cas où l'on envisagerait quelques constructions à l'avenir.

b. 10 - Les écoulements rocheux

1. - Localisation

Les écoulements rocheux, qui se trouvent dans la région sont localisés à 900 mètres au Nord Est d'Orpierre, et ont les coordonnées : X = 868,3 ; Y = 229,6 ; Z = 790,0, et embrassent une superficie de 6,5 ha.

2. - Morphologie

Les écoulements rocheux se présentent comme d'énormes blocs calcaires dont certains atteignent plusieurs centaines de m<sup>3</sup>, et constituent une surface d'une pente moyenne de 38 % vers la rivière Céans.

Ces blocs sont retenus sur les éboulis cryoclastiques, où ils sont parvenus après la fracturation de la couche de calcaire du Thitonique.

3. - Précautions pour la réalisation des travaux de l'ingénieur

Pour la réalisation des travaux dans cette zone, il faut prendre certaines précautions en tenant compte des aspects suivants :

- Il est possible de trouver de grands blocs calcaires rocheux, peu éloignés de la surface du sol ; il ne faut pas confondre avec la roche en place. Aucune couche calcaire n'est proche de la surface du sol dans tout ce secteur.
- Des écoulements rocheux qui affecteraient les ouvrages de l'ingénieur sont possibles.

Pour les travaux de Génie Civil, il est recommandé d'éviter, dans la mesure du possible cette zone, car elle est considérée comme dangereuse, ou au contraire, il faut prendre de sérieuses mesures de sécurité qui, par conséquent, seraient nuisibles à l'économie.

b. 11 - Les glissements en masse

1. - Localisation

Les glissements en masse affectent des volumes de calcaires tithoniques, situés au Nord de la rivière Céans et à l'Est de la montagne du Suillet, et couvrent une surface de 20 ha environ.

Les coordonnées Lambert, du centre de ces glissements sont les suivantes :

NOMS DES LIEUX	N°	COORDONNEES			SURFACE en ha
		X	Y	Z	
Sud Ouest les Turcs	1	869,2	230,8	1 020	4,0
Sud Est les Turcs	2	869,7	231,2	890	4,7
Grandes Blaches	3	870,2	231,8	850	12,0
TOTAL :					20,7 ha

2. - Précautions pour la réalisation des travaux de l'ingénieur

Parce que ce sont de grands glissements en masse, et que, actuellement ils sont pratiquement stabilisés, il est recommandé de considérer que :

- les travaux de peu d'importance ne seraient pas beaucoup affectés dans leur stabilité ;
- les travaux moyennement importants pourraient être affectés dans leur stabilité, puisqu'ils pourraient être l'origine de mouvements qui affecteraient essentiellement la verticalité des ouvrages ;
- pour les travaux importants, il est préférable d'éviter cette zone.

Il faut prendre des précautions dans les travaux qui seront réalisés dans les contacts de la masse glissée avec le sol stable. Toutes les structures doivent être flexibles et avoir des limites de sécurité suffisantes.

b. 12 - Les Terres Noires sous faible recouvrement

1. - Propriétés pour les travaux de l'ingénieur

En raison de la faible épaisseur de la couche qui ne dépasse pas un mètre, les Terres Noires sous faible recouvrement auraient les mêmes caractéristiques que la terre noire en place. Si un travail est susceptible d'y être réalisé on doit obligatoirement procéder à une excavation jusqu'à ce que l'on trouve le sol sain. Pour cette raison, nous nous abstenons de donner plus de détails sur cette zone.

6. - GLISSEMENTS

6.1 - Introduction

Une étude séparée des glissements de terrains a été effectuée, car il s'agit d'un phénomène important qui affecte plusieurs zones localisées dans la région.

Cette étude du point de vue géotechnique a pour objet :

- de signaler les risques d'étendue d'un glissement ;
- l'évolution probable d'un versant ;
- la modification du versant dans les constructions d'ouvrages.

6.2 - Localisation

Les centres de glissements qui se trouvent dans la région sont représentés par les coordonnées Lambert X et Y et l'altitude par Z. On indique aussi la nature, le lieu des formations et les diverses catégories de danger (voir tableau n° XXX).

6.3 - Morphologie

La surface totale des glissements est d'environ 290 ha, et ils sont répartis de la manière suivante :

- 30 % coulée boueuse sur terre noire
  - 31 % marno-calcaires
  - 25 % couverture altérée sur terre noire
  - 14 % couverture altérée sur marno-calcaires
- d'où l'on peut observer que 69 % affectent les terrains de couverture (à dominante argileuse) dont 55 % sont des glissements sur les terres noires (voir feuille 2). Les glissements sur les marno-calcaires atteignent le pourcentage le moins élevé (31 %).

L'orientation que prennent les versants où se produisent les glissements ont la relation suivante, en fonction du nombre de glissements (voir tableau XXX).

- 6 % Nord
- 23 % Nord Est
- 12 % Est
- 18 % Sud Est
- 23 % Sud
- 18 % Nord Ouest

d'où on peut observer que 53 % ont une direction vers l'Est, et ceux-ci, dans leur quasi totalité sont des éboulis (coulée boueuse) glissés sur la terre noire.

TABLEAU N° XXX

LOCALISATION DES GLISSEMENTS

NOMS DES LIEUX	N°	COORDONNEES			NATURE	Surface en ha (environ)	Orientation du versant	Très dangereux
		X	Y	Z				
Chevalet-le-Haut	1	869,0	227,4	850,0	coulée boueuse sur terre noire	16,0	E	x
Sud Beauregard	2	871,6	228,8	720,0	coulée boueuse sur terre noire	9,0	NE	
Les Bouissettes	3	868,0	229,2	710,0	coulée boueuse sur terre noire	28,0	N	
Saint-Avons	4	870,4	230,4	670,0	coulée boueuse sur terre noire	18,0	S	x
Les Combes	5	862,0	226,0	800,0	marno-calcaire	42,0	NW	
Le Ruinas	6	859,6	226,2	900,0	éboulis sur calcaire argileux - marnes	7,2	NW	
Sud Villebois	7	860,8	228,8	950,0	éboulis sur terre noire	52,0	NE	x
Nord Villebois	8	861,4	229,7	950,0	éboulis sur calcaire argileux - marnes	31,0	S	
Etoile-le-Château	9	862,6	229,0	850,0	éboulis sur terre noire	22,0	SE	x
Pré de Mians	10	859,0	233,2	820,0	éboulis sur terre noire	10,0	NE	
Sud Chanousse	11	864,4	233,4	800,0	calcaires	8,0	NE	
Sud Laborel	12	863,5	226,0	900,0		32,0	NW-SE	x
Bas Chevalet	13	869,5	227,8	770,0	coulée boueuse sur terre noire	8,5	E	x
Couriau	14	869,1	230,0	750,0	coulée boueuse sur terre noire	2,5	S	x
Flandres	15	869,7	230,0	720,0	coulée boueuse sur terre noire	1,5	S	x
Combau	16	869,3	235,0	800,0	coulée boueuse sur terre noire	2,0	S	x
TOTAL :						289,7 ha		

La direction prédominante des glissements de couches marno-calcaires, est vers le Nord Ouest suivant le sens général des pendages. Ainsi donc les glissements les plus dangereux sont localisés dans les zones de coulées boueuses sur terre noire de faible épaisseur de couches.

Les zones instables commencent à la cote 650 m pour s'achever à la cote 980 m en fonction de leur morphologie. Les mouvements successifs ont laissé des traces bien visibles et nettes. La surface du sol est bosselée et présente des successions typiques de bourrelets et de replats ; ces bourrelets continuent régulièrement en arcs de cercles, suivant la ligne de la plus forte pente, dans le sens général du mouvement.

Généralement dans la partie basse des glissements ceux-ci s'amortissent considérablement, après avoir été disposés en forme de gradins tout au long de la pente.

Les pentes moyennes des glissements dans les diverses formations sont les suivantes :

- 12° coulée boueuse sur terre noire
- 19° calcaires argileux - marnes
- 13° éboulis sur terre noire
- 14° éboulis sur marno-calcaire.

Ceux-ci forment ce que nous appellerions zone de solifluxion, où se trouvent des déplacements notables, qui ont été enregistrés d'après l'inclinaison des arbres, les fissures des œuvres d'art, l'effondrement et le glissement des routes, les fractures importantes dans les bâtiments.

Nous analyserons par la suite les glissements qui se situent dans le secteur spécifique de notre étude (région du Quaternaire) et qui se réfèrent aux coulées boueuses sur terre noire.

6.4 - Surfaces de glissement

Nous donnerons seulement des hypothèses sur les types de glissements et leurs relations avec les surfaces, essentiellement parce qu'il n'existe aucune étude du contrôle des glissements, ni des vitesses des mouvements, ni une statistique complète des études du contrôle des sources. Cela nous amène à considérer en principe deux types de surfaces de glissements :

- un type de surface de glissement situé à peu de profondeur, qui a une relation directe avec l'eau de surface, et permet une solifluxion de la coulée boueuse suivant la configuration topographique de la région;
- un autre type de surface de glissement comprend la totalité de la couche de la coulée boueuse sur la terre noire, activée par l'inclinaison de la zone de contact des deux formations, en direction de la partie basse des versants et aussi par la perméabilité de la couche de couverture qui permet l'infiltration de l'eau.

6.5 - Mode de glissement des matériaux

Les matériaux peuvent glisser de différentes manières, selon les lieux, qui faciliteront ou retarderont leur mouvement. Actuellement ces mouvements sont très lents, mais ils sont l'origine d'une solifluxion généralisée de la coulée boueuse sur la terre noire, en relation directe avec les apports de l'eau d'infiltration superficielle. Ces niveaux argileux se désagrègent au contact de l'eau (qui joue un rôle très important dans l'instabilité du terrain de couverture) et il lui arrive même de constituer de véritables "couches-savon" au toit du substratum, se transformant ainsi en un glisseur, qui a l'inconvénient d'avoir une surface inclinée selon la configuration topographique, c'est-à-dire se dirigeant vers les rivières et les ravins.

L'eau d'infiltration de la couche supérieure arrivera jusqu'au toit du substratum, à partir duquel l'eau coulera selon la pente de la couche. Le danger de la couche supérieure sera encore plus grand si nous la surchargeons (en plus de l'eau d'infiltration) en y plaçant des blocs d'habitations ou des ouvrages lourds du Génie Civil, qui seraient sérieusement menacés par d'importantes ruptures, dans un futur immédiat.

On peut déduire qu'il existe de brusques variations du coefficient de perméabilité qui occasionnent la réactivation des glissements. La présence de la coulée boueuse plus ou moins argileuse, avec les coefficients de perméabilité variables, permet à l'eau de s'accumuler, occasionnant l'humidification de la limite supérieure, qui cause les glissements en surface.

La partie inférieure de la coulée boueuse constituée généralement de grands blocs qui lui donnent une grande

perméabilité, occasionne aussi l'accumulation de l'eau, qui au contact direct avec la terre noire et la pente de celle-ci, est l'origine du déclenchement du mouvement de solifluxion. L'existence des ruissellements des sources est néfaste en général à ce type de glissement.

L'aggravation périodique des conditions climatiques (pluies, brouillards, orages, neige, eaux superficielles et souterraines) de la région, provoque la réactivation nette de mouvements périodiques, qui en général, se traduit par un comportement néfaste, additionné à l'absence de points d'observation piézométriques.

Cette cinématique de mouvement est difficile à contrôler, car il n'y a pas de dispositifs de mesures dans la région et par conséquent il n'y a pas de fréquence de mesures, puisqu'une fréquence de mesures scrupuleusement respectée, permet d'obtenir des corrélations, entre les chutes de pluie et les déplacements horizontaux et verticaux, afin de calculer et de contrôler l'évolution des vitesses.

Tout cela nous permet de conclure que le problème des glissements de sols dans la région, est directement fonction du comportement de la coulée boueuse et de la terre noire, vis-à-vis de l'eau.

6. 6 - Propositions de remèdes susceptibles de stabiliser les glissements

Etant donné la cause des mouvements des terrains, l'action de l'eau, comme facteur essentiel d'instabilité, il est nécessaire d'empêcher la pénétration de celle-ci dans les zones de glissement et de modifier le régime de circulation d'eau lui-même.

On peut considérer le drainage des eaux de surface et la stabilisation des mouvements profonds comme deux remèdes aux glissements.

a) Drainage des eaux de surface

1 - Du point de vue préventif

- Tout arrosage ou tout rejet liquide intempestif sera interdit dans les zones de glissement.
- Les eaux de ruissellement doivent être canalisées au moyen de caniveaux étanches, véhiculant l'eau en dehors de la zone sensible.

2 - Du point de vue correctif

Bien que la couche superficielle en solifluxion soit difficilement stabilisable, plusieurs moyens peuvent être envisagés :

- système de drainage superficiel par tranches drainantes, il faut utiliser des matériaux souples (ciment à proscrire) qui peuvent supporter des déformations ;
- exécution du réseau de drain superficiel à ciel ouvert, en dehors des zones actives ;
- captage des sources les plus importantes.

b) Stabilisation des mouvements profonds

Ajoutée au drainage de l'eau contenue dans la coulée boueuse, mais qui nécessite une étude plus poussée de l'infrastructure hydraulique et la perméabilité des terrains. Plusieurs solutions peuvent être retenues :

- rabattement de la nappe de la coulée boueuse en amont des glissements au moyen d'une batterie de forages et de puits ;
- la même opération dans les glissements ;
- puits à drains rayonnants (drains implantés à différents niveaux) raccordés à une galerie creusée dans la coulée boueuse pour éviter la mise en charge de la nappe. Cette galerie rejeterait l'eau directement dans les rivières, en dehors de la zone sensible.

Ces ouvrages devront permettre de repérer les mouvements de terrain et la stabilisation serait très sérieusement contrôlée.

Notre étude des glissements de la région, bien imparfaite certes, se révèle d'ailleurs négligeable devant les dépenses et dommages causés par le déclenchement d'un glissement de terrain. C'est pour cela que notre étude des glissements dans la Géotechnique, sujet envisagé dans notre travail, sera une aide précieuse pour tous les travaux postérieurs de Génie Civil, qui doivent tenir compte des glissements de terrain.

TABLEAU XXXI

COORDONNEES ET EPAISSEURS DES SONDAGES SISMIQUES

N°	COORDONNEES			EPAISSEURS			
	X	Y	Z	E 1	E 2	E 3	E total *
1	870,13	228,61	701,0	7,1	7,2	1,0	15,3
2	870,12	229,17	672,0	4,1	7,3	1,5	12,9
3	870,03	229,11	673,0	2,2	8,0		10,2
4	869,85	229,35	661,0	2,3	3,3	5,0	10,6
5	869,94	229,42	661,0	1,0	7,2	2,5	11,6
6	870,61	229,50	672,0	2,4	10,2	1,0	13,6
7	872,30	230,42	638,0	5,6	4,0		9,6
8	869,25	229,41	658,0	2,4	4,4	3,0	10,5
9	869,18	229,51	668,0	2,3	5,5	2,5	10,3
10	870,11	229,09	673,0	6,8	3,0		9,8
11	870,16	229,09	672,5	6,4	3,6		10,0
12	870,19	229,07	672,0	3,3	6,0		9,3
13	870,23	229,06	672,0	4,2	5,5		9,7
14	870,25	229,07	671,0	5,4	3,0		8,4
15	870,28	229,07	670,4	6,6	2,8		9,4
16	870,15	228,88	682,0	9			9,0
17	870,09	228,88	682,0	9			9,0
18	870,20	228,87	680,0	9			9,0
19	870,24	228,87	679,5	9			9,0
20	870,25	228,87	689,5	7,2	2,0		9,2
21	870,19	228,59	690,0	6,8	3,0		9,8
22	870,05	228,54	704,0	6,2	3,0		9,2
23	870,12	228,44	718,0	5,2	3,5		8,7
24	870,27	228,34	734,0	4,4	5,0		9,4
25	870,27	228,10	762,0	2,6	7,0		9,6
26	870,10	228,24	731,0	1,8	9,0		10,8
27	869,81	228,16	728,0	1,7	9,0		10,7
28	869,62	227,73	758,0	9,0		9,0	
29	869,48	227,62	774,0	0,8	3,5	5	9,3
30	869,58	227,46	768,0	3,5	5,0		8,5
31	868,67	227,00	980,0	1,5	8,6	2	12,1
32	868,78	226,82	940,0	1,3	3,7	5,0	10,0
33	868,06	229,01	675,0	1,1	2,8	6,0	9,9
34	868,84	229,16	680,0	1,7	3,8	5,0	10,5
35	868,43	229,16	670,0	1,6	7,4	2,5	11,5
36	868,10	229,12	684,0	1,1	3,1	5,5	9,7
37	868,53	229,45	712,0	3,7	6,6	2,0	12,3
38	868,60	229,25	667,0	4,8	4,5		9,3
39	869,16	229,35	655,0	1,9	6,8		8,7
39'	869,20	229,35	655,0	2,1	6,8		8,9

\* Supérieur à

COORDONNEES ET EPAISSEURS (suite)

N°	X	Y	Z	E 1	E 2	E 3	E total
40	869,05	229,45	672,0	2,0	7,0	2,0	11,0
41	869,43	229,37	652,0	1,9	7,0		8,9
42	869,67	229,33	655,0	2,6	6,0		8,6
43	870,02	229,34	664,0	2,8	4,1	3,5	10,4
44	870,27	229,09	671,0	2,0	6,0		8,0
45	870,21	229,09	672,0	1,8	6,0		7,8
46	870,48	229,00	685,0	1,8	6,5		8,3
47	870,61	229,14	680,0	4,2	5,0		9,2
48	870,87	228,92	710,0	4,5	6,3	1,8	12,6
49	871,06	228,28	770,0	2,6	4,8	3,5	10,9
50	870,62	229,30	671,0	2,0	2,2	5,0	9,2
51	870,75	229,32	668,0	1,5	4,3	3,0	8,8
52	871,03	229,59	644,0	0,8	6,8	2,5	10,1
53	871,00	229,43	662,0	9,0			9,0
54	871,20	229,94	628,0	1,3	3,0	5,0	9,3
55	871,50	230,20	625,0	1,0	2,3	5,0	8,3
56	871,51	229,88	640,0	3,1	6,0		9,1
57	872,22	230,40	637,0	1,5	6,0	4,5	12,0
58	871,85	230,37	627	3,0	5,7	2,2	2,2
59	871,85	230,31	628	3,3	5,5		8,8
60	872,15	229,32	699,0	5,6	3,5		9,1
61	872,05	229,00	728,0	6,2	1,0		7,2
62	872,18	228,81	759,0	9,0	1,5		10,5
63	872,07	228,59	767,0	4,6	4,8	2,0	11,4
64	872,16	228,28	748,0	5,4	4,0		9,4
65	871,73	229,15	697,0	2,2	3,0	3,5	8,7
66	869,47	229,52	652,0	2,1	4,0	2,5	8,6
67	869,81	229,69	648,0	3,2		5,5	8,7
68	870,42	229,97	645,0	3,2	6,8	1,0	11,0
69	870,89	230,10	643,0	5,2		3,8	9,0
70	871,02	229,88	627,0	1,2	7,0		8,2
71	871,77	229,68	662,0	2,5	7,3	1,0	10,8
72	872,12	230,80	626,0	1,2	3,7	4,5	9,4
73	872,54	231,25	615,00	4,0			4,0
74	872,62	231,52	608,0	3,7	6,5	2,5	12,7
75	869,58	229,80	688,0	7,1		3,5	10,6
76	869,44	230,06	760,0	2,3		4,9	7,2
77	870,29	230,49	677,0	1,8	2,4	5,4	9,6
78	870,45	230,46	663,0	1,5	3,3	3,0	7,8
79	870,62	228,02	645,0	2,2	8,2		10,4
80	870,67	229,91	637,0	4,9	7,6		12,5
81	870,90	230,22	648,0	2,8	7,2	2,0	12,0
82	871,23	230,26	641,0	5,7		3,0	8,7
83	871,25	230,78	646,0	1,5	5,6	2,5	9,6
84	871,46	230,51	638,0	9			9,0
85	871,74	230,68	630,0	8,0			8,0
86	872,36	231,50	615,0	1,9	7,70	1,0	10,6

COORDONNEES ET EPAISSEURS (suite)

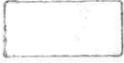
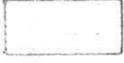
N°	X	Y	Z	E 1	E 2	E 3	E total
87	872,32	231,76	820,0	9,3			9,3
88	872,63	232,15	617,0	6,1	7,4		13,5
89	872,49	232,44	661,0	4,4	7,6		12,0
90	872,13	232,21	661,0	2,9	5,5		8,4
91	872,01	232,38	662,0	1,1	6,1	3,0	10,2
92	871,27	232,29	659,0	2,2	3,8	2,0	8,0
93	871,54	232,81	634,0	1,3	4,0	4,0	9,3
94	871,93	232,82	607,0	1,2	3,5	3,5	8,2
95	872,41	232,91	615,0	0,7	7,7	1,5	9,9
96	871,82	231,57	633,0	2,1	3,3	2,5	7,9
97	871,22	231,76	658,0	2,4	6,0		8,4
98	872,49	233,27	622,0	6,0	5,6		11,6
99	872,58	233,56	604,0	1,4	6,5	2,4	10,3
100	872,02	234,44	618,0	2,2	3,4	3,4	9,0
101	872,10	234,47	611,0	2,4	3,4	3,4	9,2
102	871,78	235,29	605,0	4,2	2,5		6,8
103	871,83	235,29	605,0	1,2	1,5	6,0	8,7
104	871,42	235,14	621,0	1,4	2,6	4,0	8,0
105	871,10	235,22	623,0	2,0	2,5	5,0	9,5
106	871,45	235,50	614,0	3,6	5,0		8,6
107	871,74	234,77	615,0	3,3	6,5		9,8
108	870,70	235,20	687,0	3,2	5,0		8,2
109	870,93	234,65	703,0	2,7	5,5		8,2
110	870,47	235,21	686,0	1,9	6,4		8,3
111	870,19	234,78	662,0	1,0	3,0	5,0	9,0
112	871,67	233,91	678,0	2,5	9,7		12,2
113	871,59	233,79	677,0	2,4	3,8	3,3	9,5
114	872,18	233,46	670,0	0,8	2,5	5,4	8,7
115	871,28	233,60	634,0	1,5	3,5	4,4	9,4
116	870,27	234,03	641,0	2,6	2,9	4,5	10,0
117	871,91	233,18	621,0	1,7	8,7		10,4
118	871,85	233,04	616,0	1,5	6,5		8,0
119	870,78	233,74	635,0	1,8	4,2	4,0	10,0
120	870,56	233,69	632,0	1,0	3,2	4,8	9,0
121	870,06	233,75	639,0	1,4	2,6	5,6	9,6
122	870,10	233,92	645,0	2,3	4,8	1,0	8,1
123	869,82	234,44	666,0	3,2	5,5		8,7
124	870,19	234,33	652,0	4,6	7,2		11,8
125	869,56	233,90	653,0	0,8	5,4	4,1	10,3
126	869,46	233,51	648,0	0,8	5,1	6,0	11,9
127	864,16	234,52	768,0	9,0			9,0
128	863,93	234,36	743,0	3,8	5,0		8,8
129	863,89	234,18	735,0	2,4	6,0		8,4
130	860,48	233,88	795,0	1,0	4,6	4,0	9,6
131	861,23	234,80	790,0	10,0			10,0
132	871,54	235,55	606,0	3,4	9,0		12,4

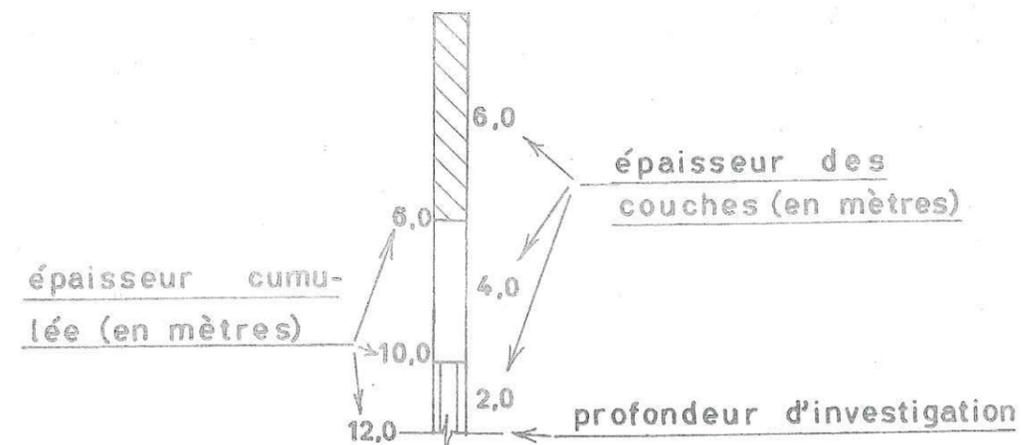
N°	X	Y	Z	E 1	E 2	E 3	E total
132'	871,62	235,70	606,0	2,0	9,0		11,0
133	871,66	235,57	606,0	1,2	7,2	1,0	9,4
134	864,27	229,70	738,0	1,5	6,5		8,0
135	863,60	230,33	759,0	2,2	2,8	4,5	9,5
136	862,84	230,66	810,0	9,0			9,0
137	863,73	229,38	745,0	1,0	9,0		10,0
138	860,02	226,46	825,0	1,0	1,7	6,0	8,7
139	867,23	229,21	685,0	2,2	2,1	5,5	9,8
140	861,13	226,54	797,0	1,2	8,3	1,0	10,5
141	861,71	226,32	785,0	9,4	2,2		11,6
142	862,73	226,41	761,0	0,7	5,5	3,6	9,8
143	864,19	226,94	736,0	3,3	5,5		8,8
144	864,80	227,25	728,0	1,7	4,4	3,1	9,2
145	865,00	228,71	709,0	0,5	2,9	3,4	8,8
146	866,60	229,21	701,0	1,3	2,6	5,6	9,5
150	870,66	230,18	649,0	0,6	4,3	4,0	8,7
150'	870,66	230,12	647,0	1,2	5,3	3,5	10,0
151	870,66	230,03	642,0	3,0	5,7	2,4	11,1
151'	870,66	229,98	641,0	9,0			9,0
152	870,67	229,96	639,0	2,7	3,7	3,4	9,8
152'	870,67	229,93	639,0	4,1	3,9	3,5	11,5
153	870,67	229,85	635,0	0,9	3,7	5,0	9,6
153'	870,67	229,82	634,0	1,0	2,7	5,2	8,9
154	870,68	229,80	634,0	2,2	5,6		7,8
154'	870,68	229,76	634,0	1,5	9,5	1,0	12,0
155	870,66	229,70	635,0	1,6	5,8	2,0	9,4
155'	870,66	229,66	636,0	1,7	3,1	5,1	9,9
156	870,67	229,64	640,0	2,2	6,8		9,0
156'	870,67	229,61	642,0	2,0	5,6		7,6
157	870,71	229,58	648,0	2,2	4,0	3,5	9,7
157'	870,71	229,54	650,0	1,1	2,6	3,6	7,3
158	870,65	229,50	652,0	2,7	6,8	1,0	10,5
158'	870,65	229,47	652,0	1,0	3,5	5,1	9,6
159	870,59	229,28	671,0	2,5	5,6		8,1
159'	870,59	229,24	673,0	3,0	5,1		8,1

# SONDAGES SISMIQUES.

Roberto CASTRO.

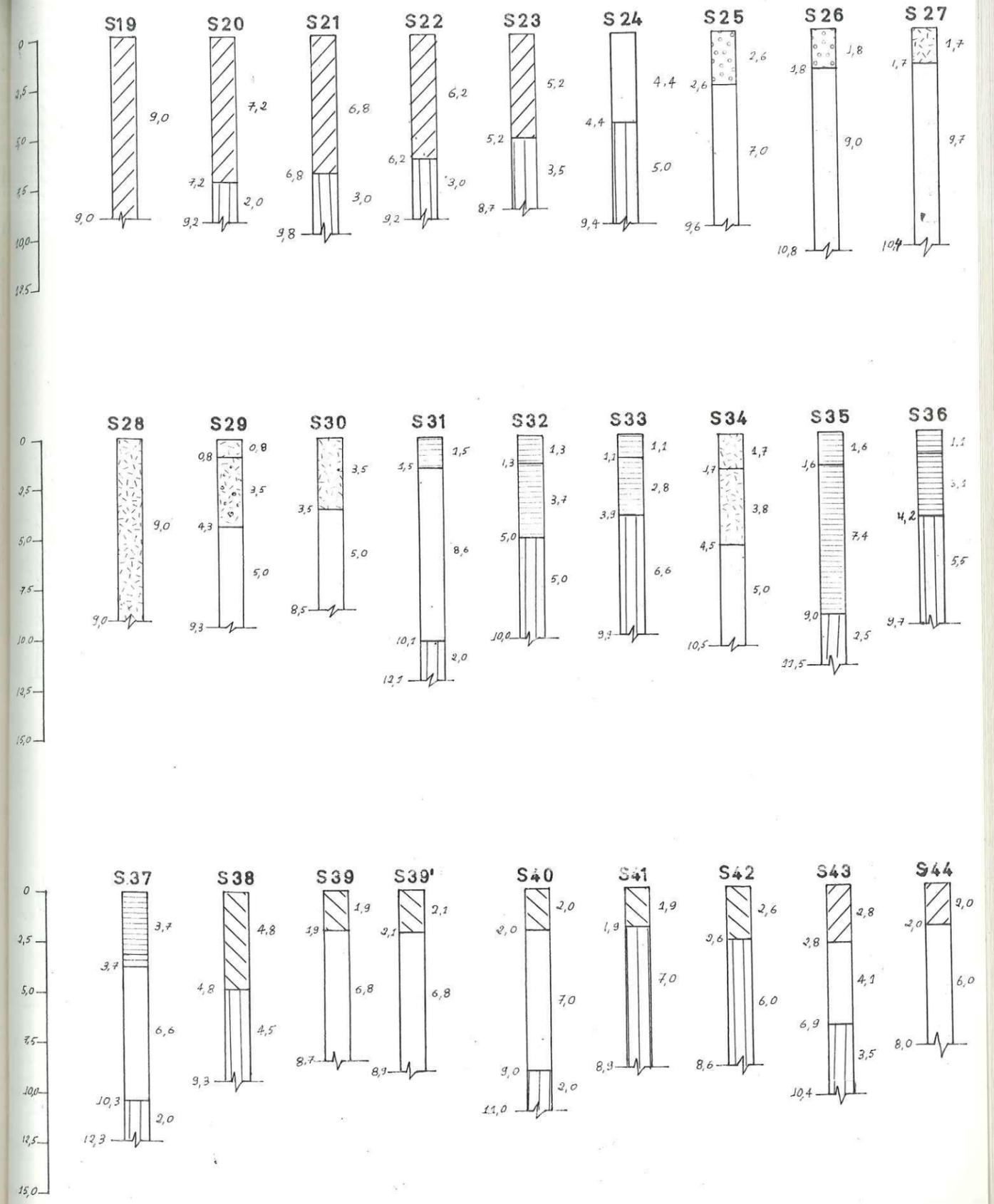
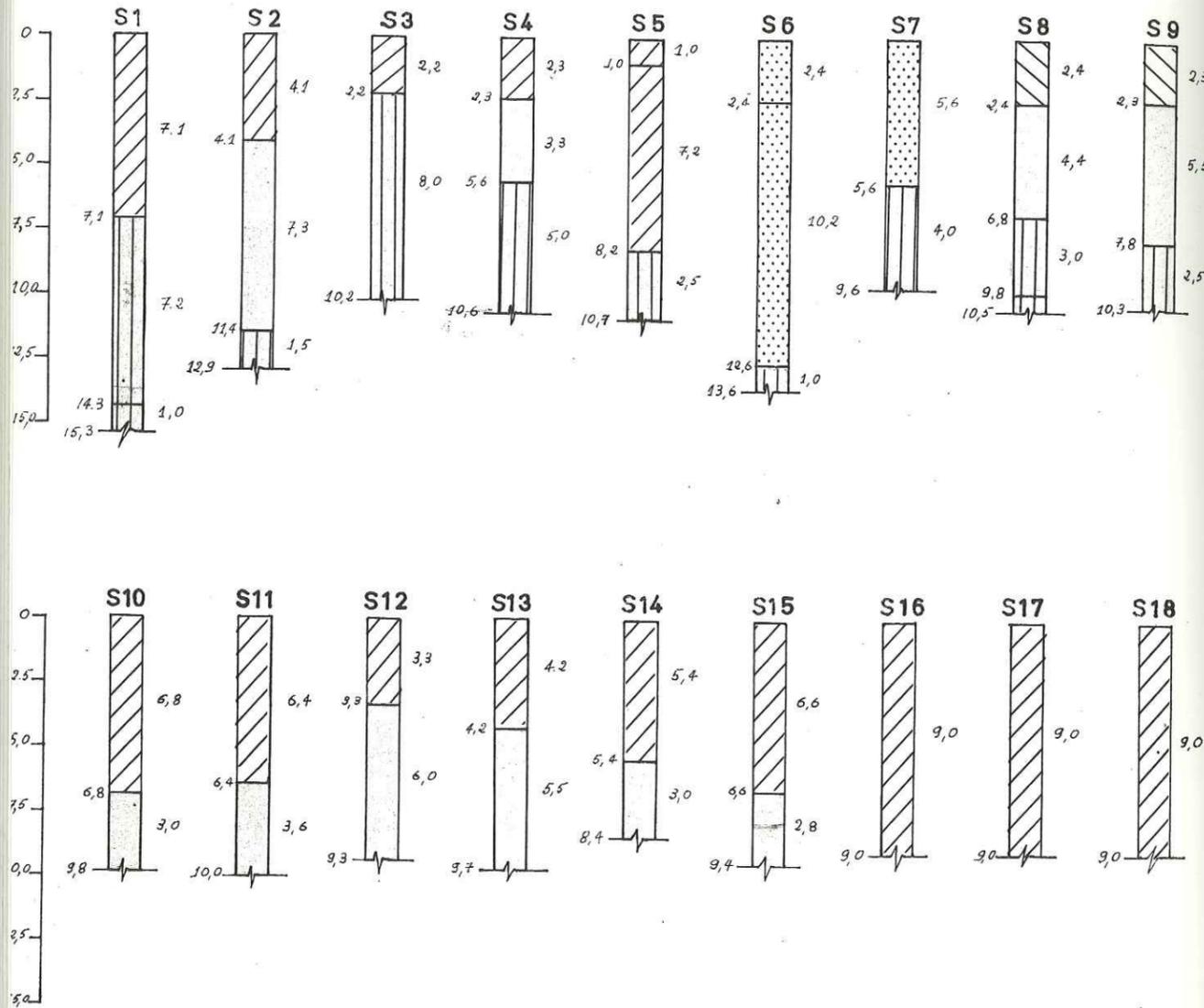
## LEGENDE.

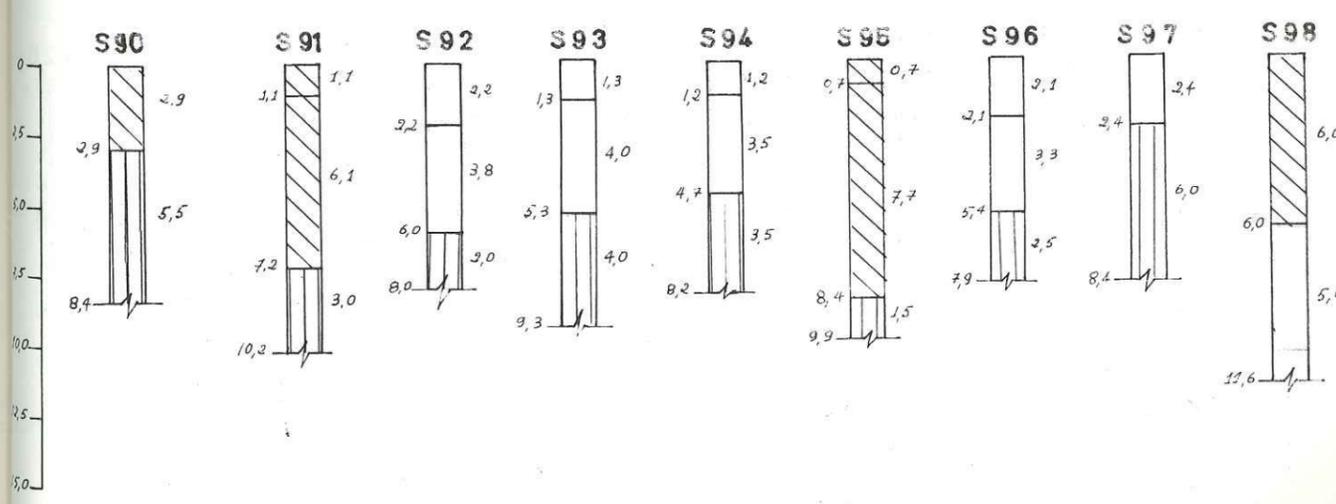
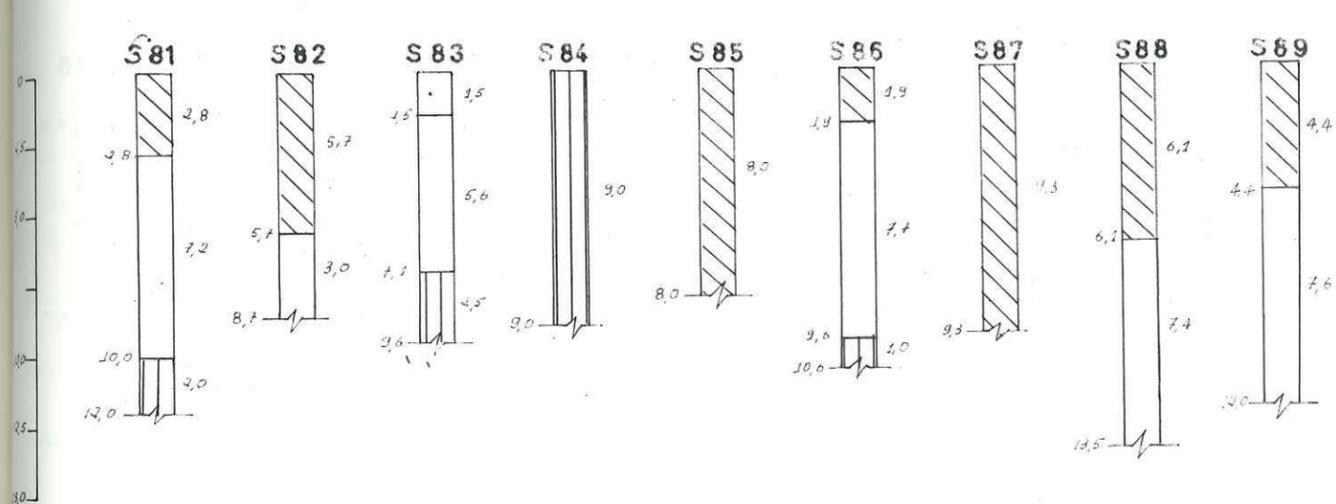
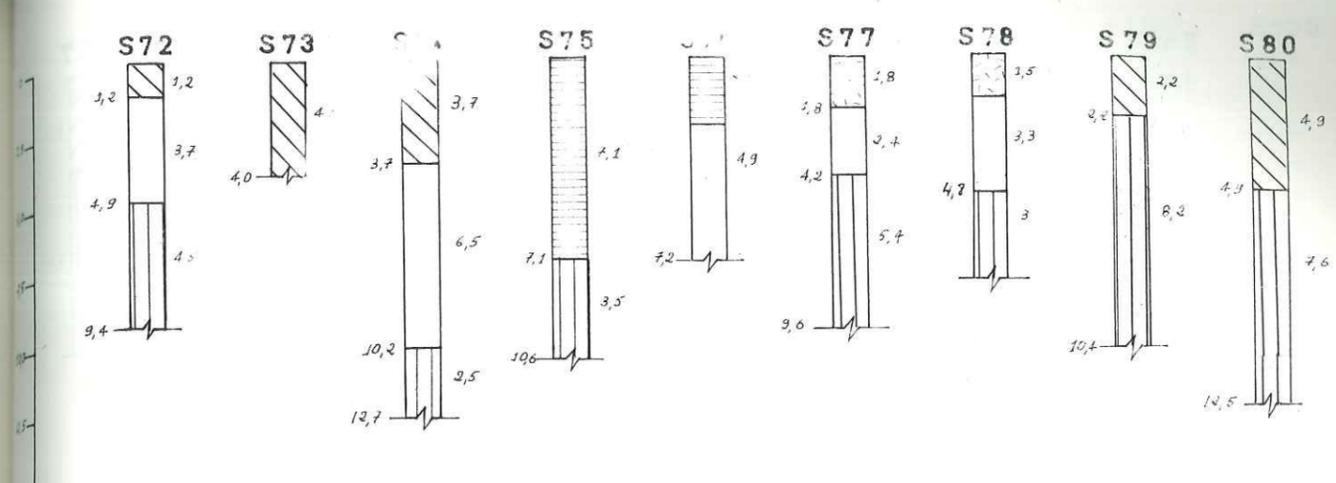
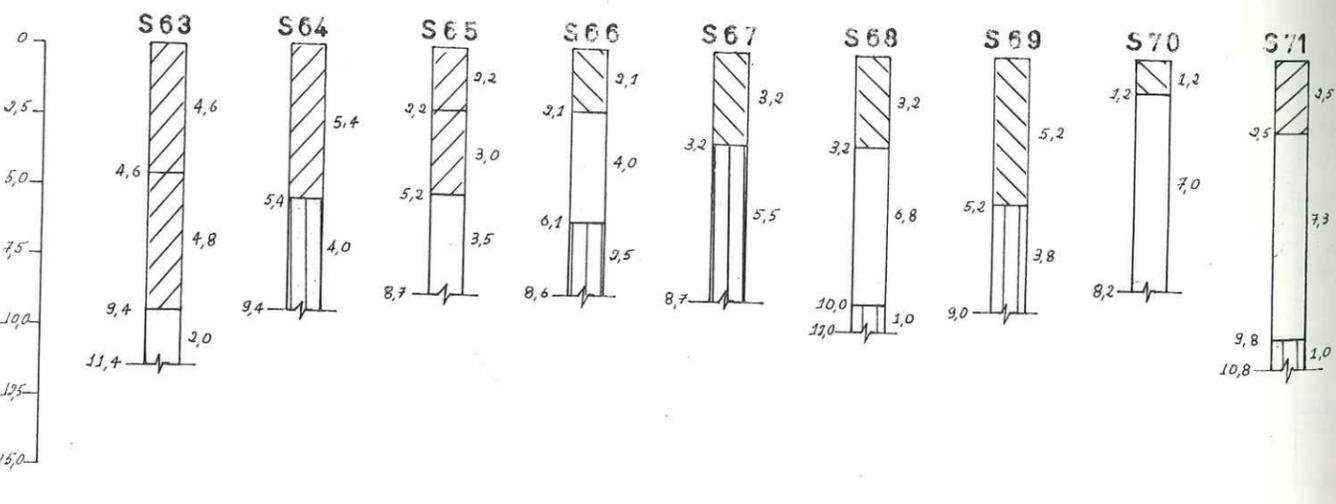
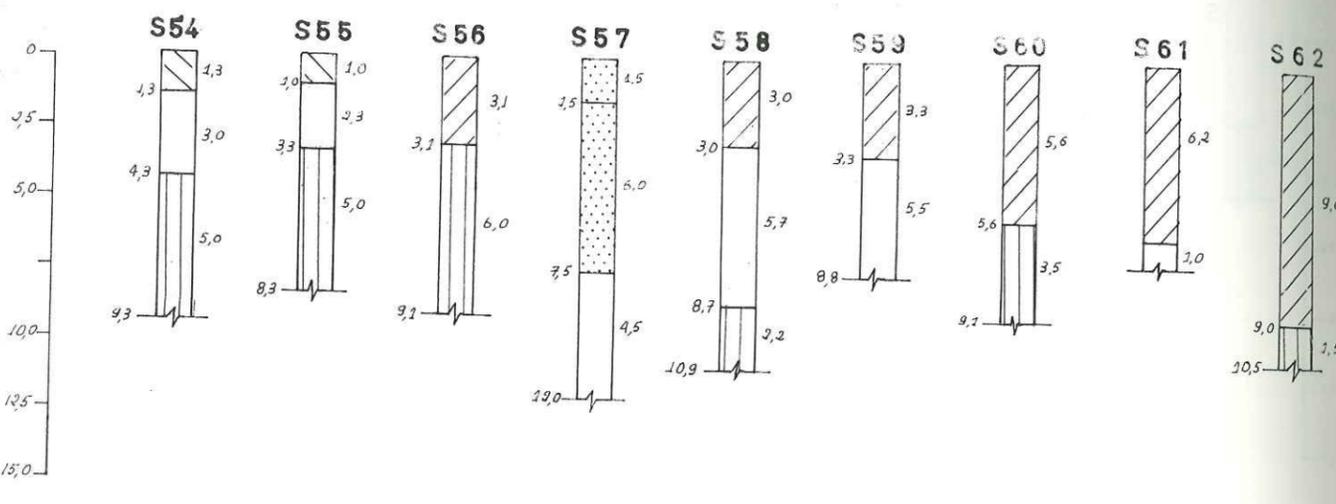
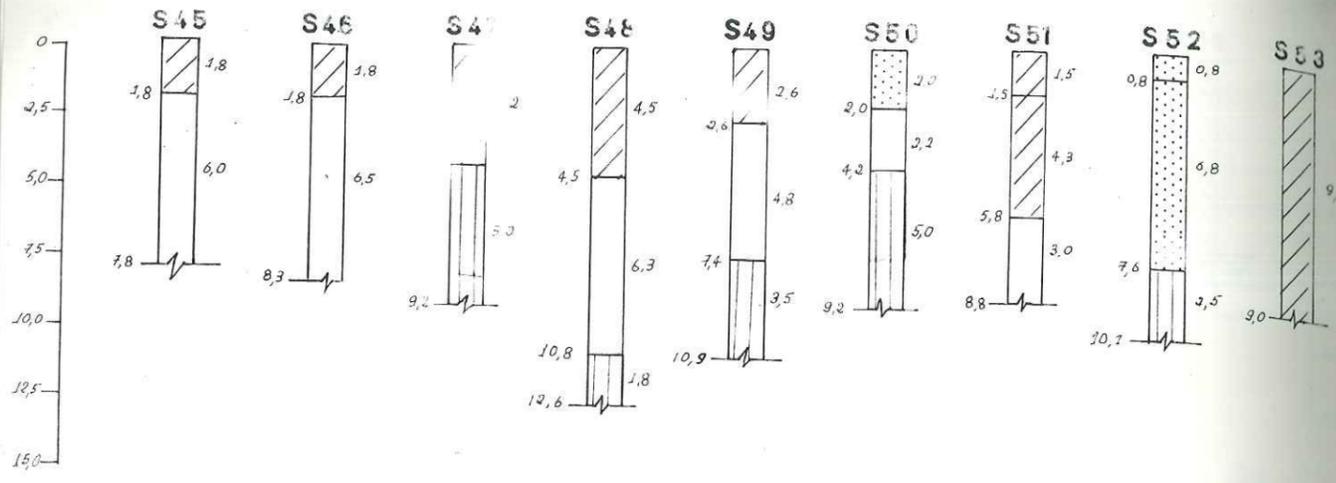
-  Terrasses
-  Argile caillouteuse
-  Eboulis cryoclastiques
-  Dépôts glaciaires locaux probables (remanies ?)
-  Anciennes coulées boueuses
-  Argiles "lacustres" probables
-  Produits d'altération des terres noires
-  Terre noire

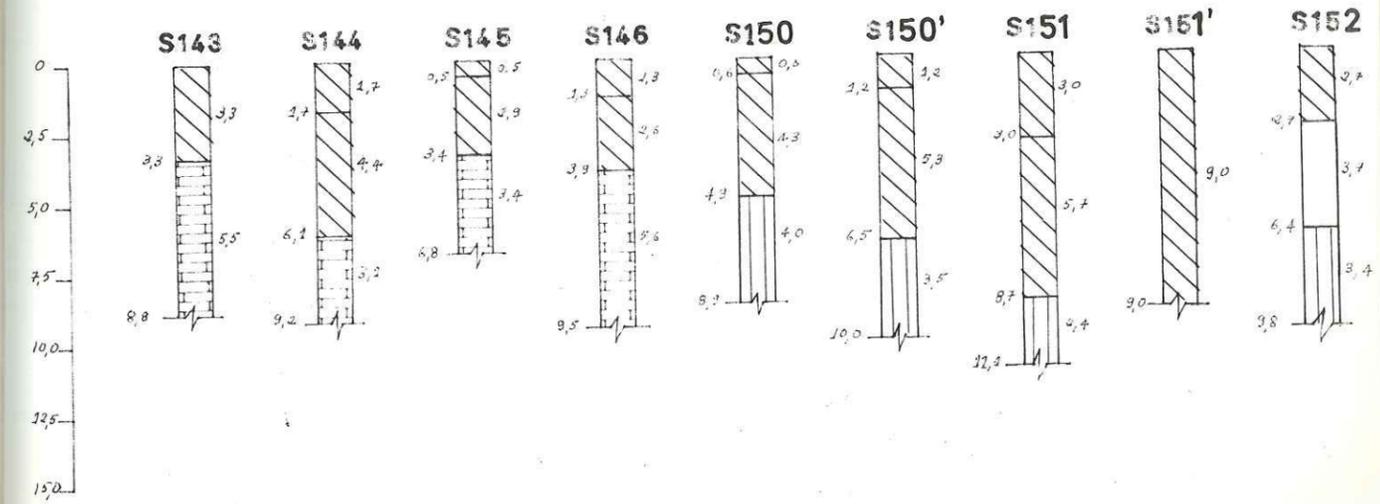
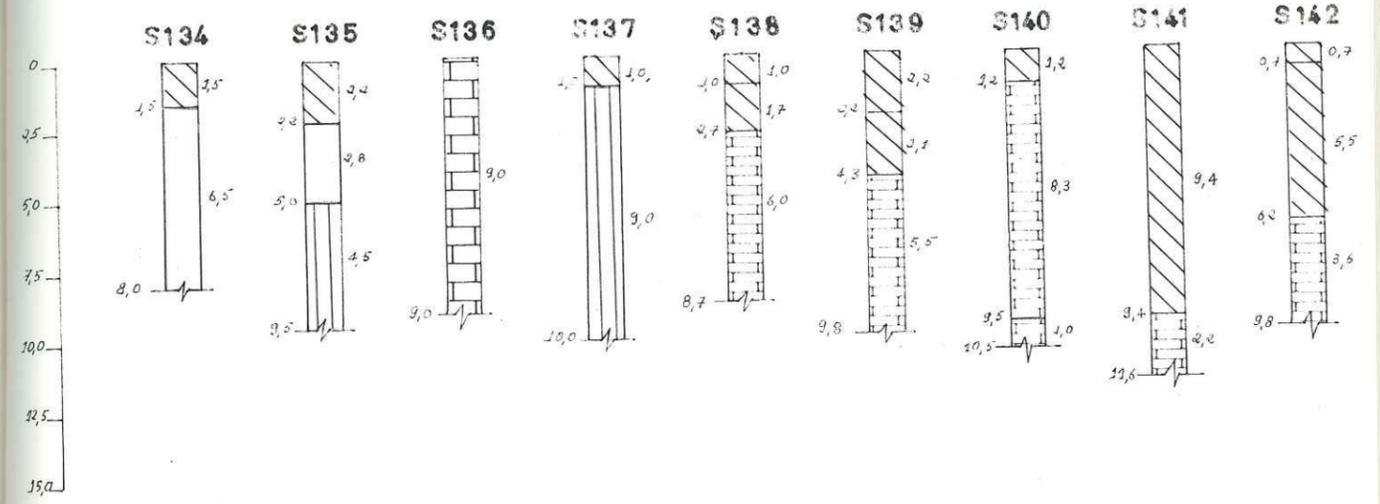
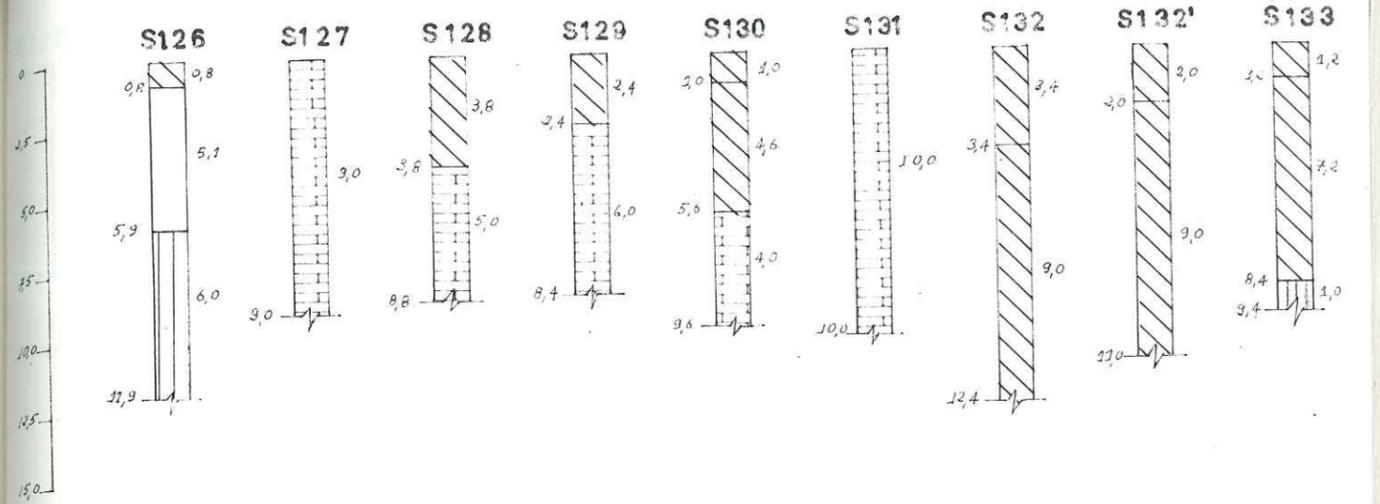
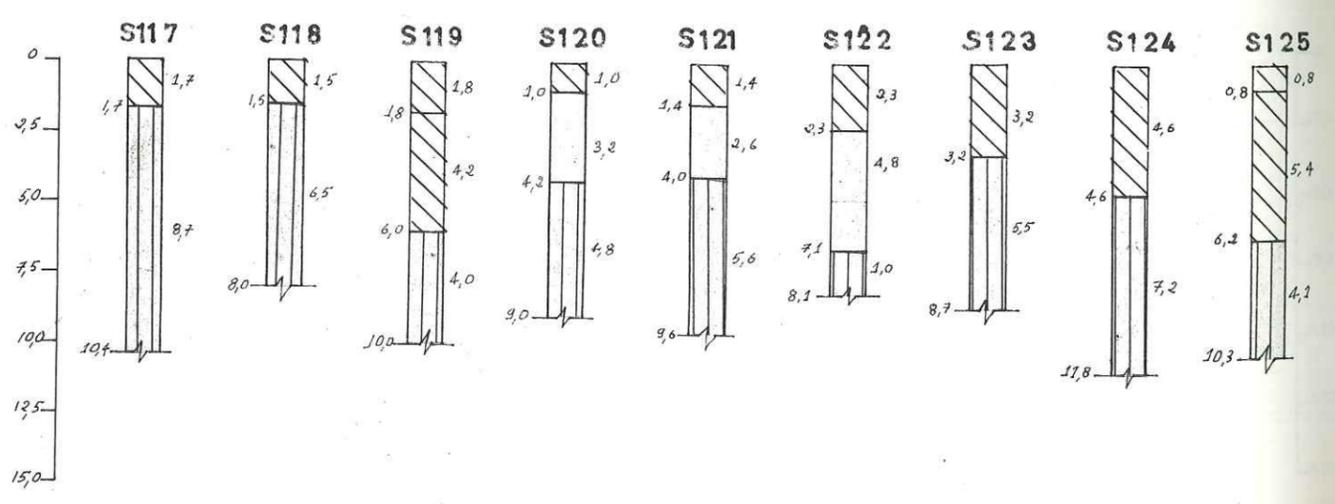
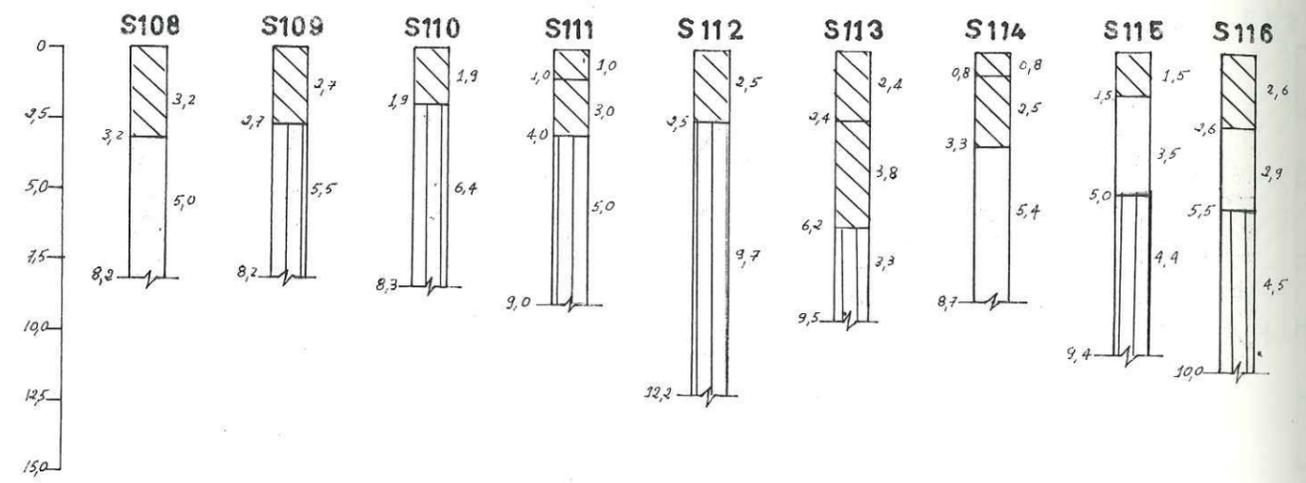
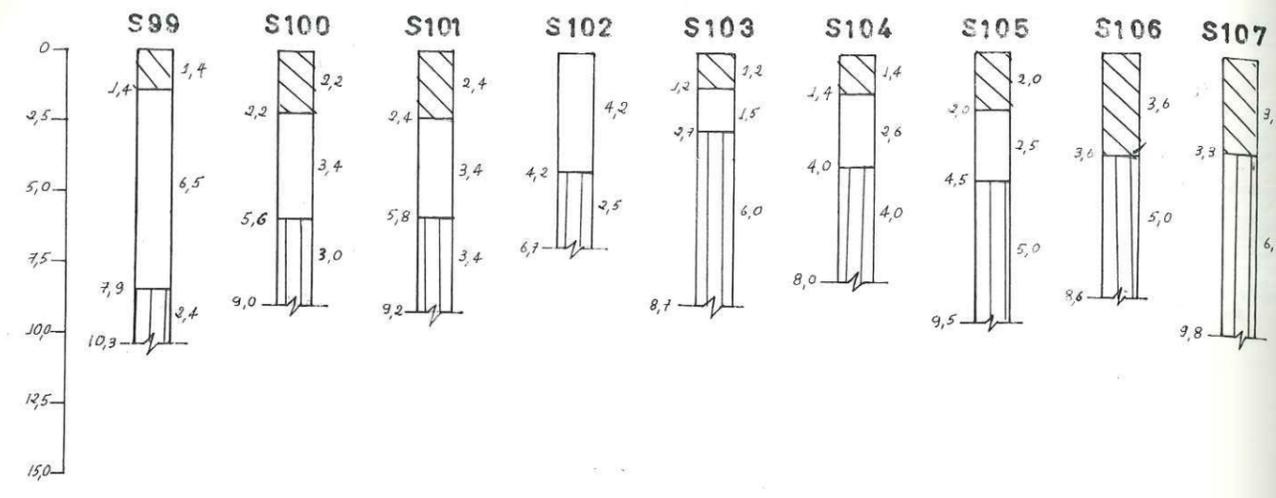


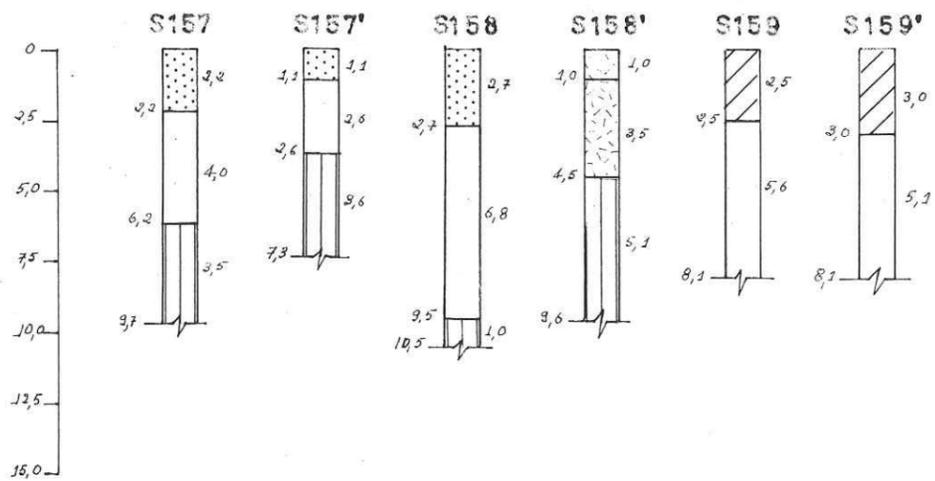
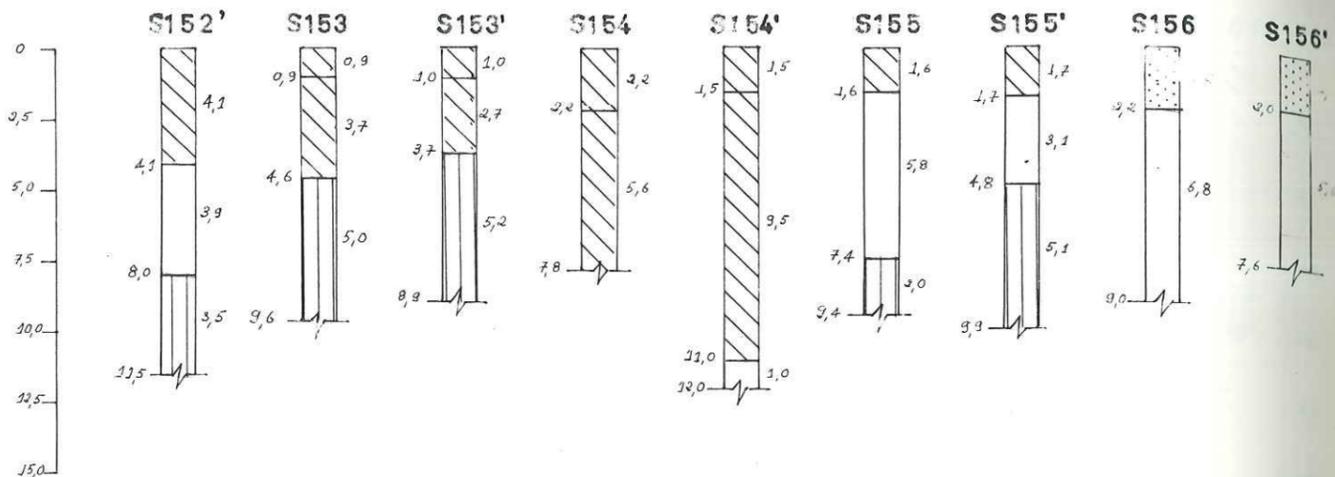
# Fig.4 2. SONDAGES SISMICOS.

ROBERTO CASTRO.



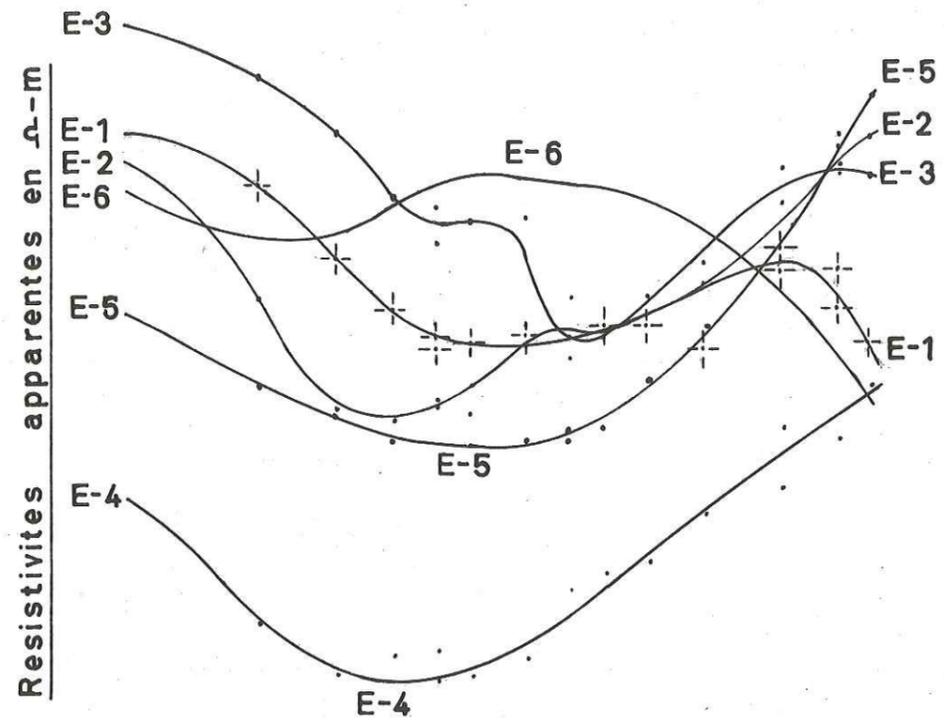






# SONDAGES ELECTRIQUES

Resistivites apparentes.



Distance AB/2 en metres

*[Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page]*

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES





N° 3 - Dépôts glaciaires locaux probables (remaniés ?). Dans le fond de la photo, vallée du Céans et falaise calcaire tithonique du Suillet. -



N° 4 - Le Haut Chevalet : ancienne coulée boueuse accompagnée des glissements superficiels. -

N° 5 - Les affleurements de terres noires  
montrent une partie supérieure altérée sur  
quelques mètres (couleur gris clair). A  
l'arrière-plan, on observe des écroule-  
ments rocheux dans la falaise tithonique,  
classée par deux systèmes de failles s'en-  
croisant (photo prise à l'aval d'Orpierre).

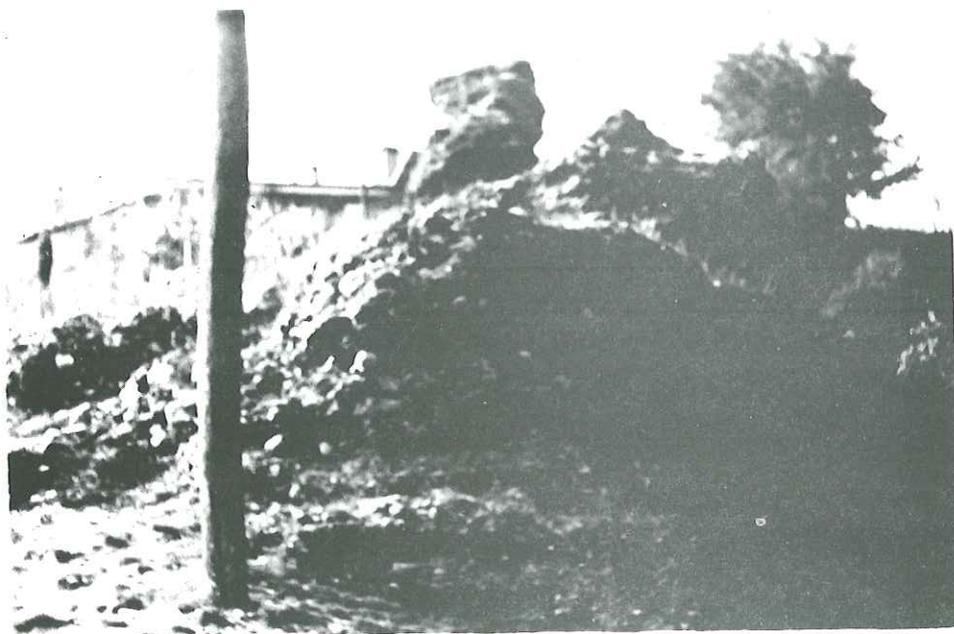


N° 6 - Eboulis cryoclastique (Haut Chevalet)





N° 7 - Carrière ouverte dans la terrasse fluviale (Champ - Levrier, entre Lagrand et Orpierre) -



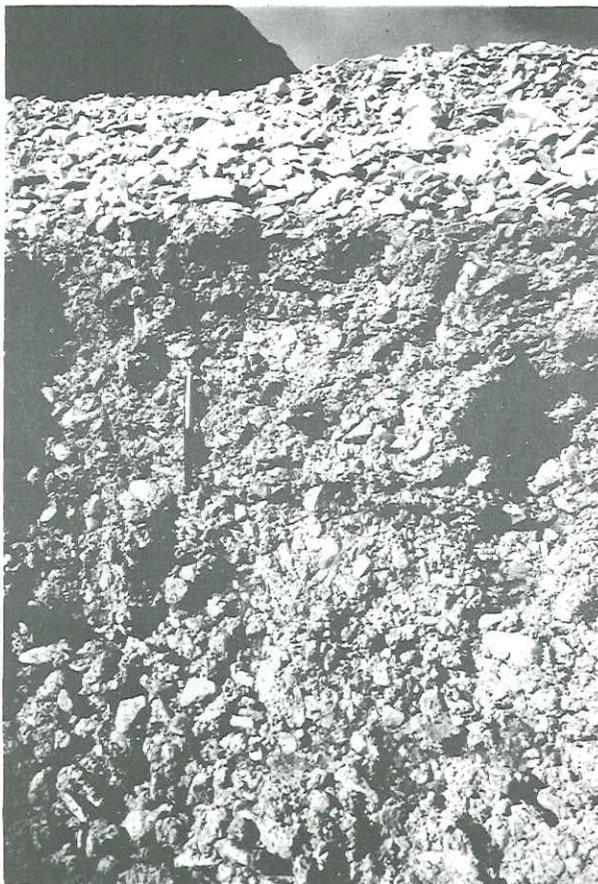
N° 8 - Haute terrasse fluvio-glaciaire de Lagrand, partie supérieure cimentée -

N° 9 - Détail de la haute terrasse fluviale de Champ-Levrier -



N° 10 - Haute terrasse fluvio-glaciaire de Lagrand, partie inférieure non cimentée -





N° 11 - Haute terrasse fluviale de Champ-Levrier. Dans la partie superficielle, la fraction argileuse a été entraînée par les eaux des pluies et seule demeure en place la fraction détritique grossière -



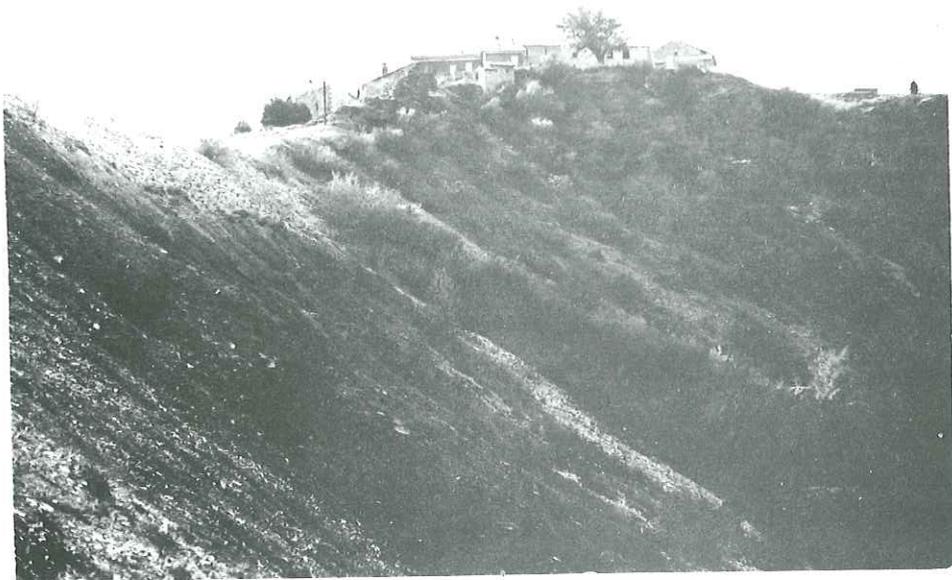
N° 12 - Matériaux cryoclastiques à fraction argileuse importante (Orpierre) -



N° 13 - Ancienne coulée boueuse visible au Bas Chevalet.  
Le bloc visible sur la partie droite de la photo mesure  
plusieurs mètres cubes.



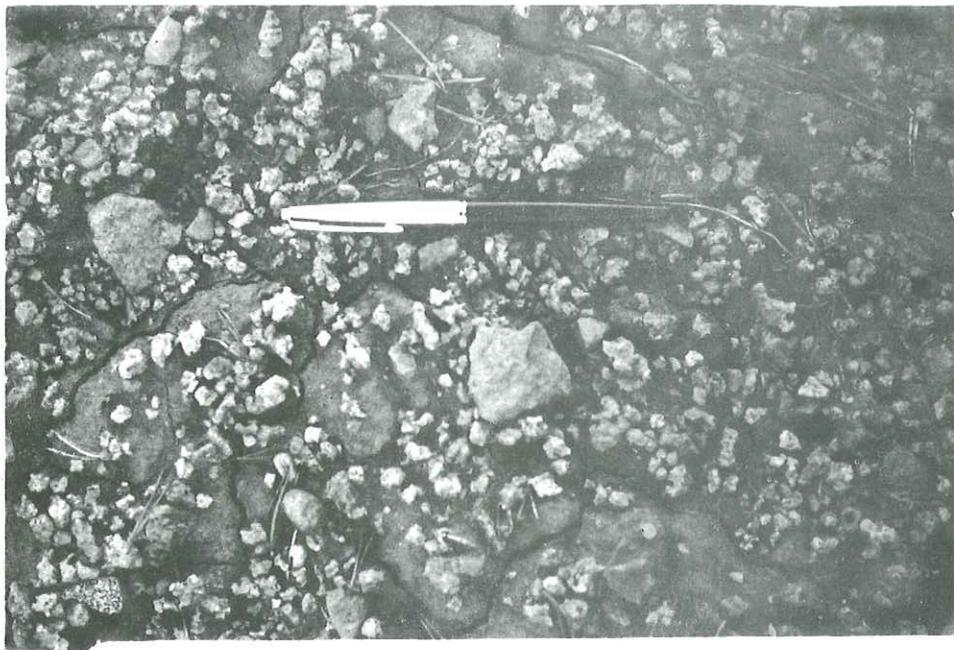
N° 14 - Coupe naturelle de dépôts glaciaires locaux probables  
(remaniés ?) observée dans le ravin du ruisseau du Bas Chevalet.



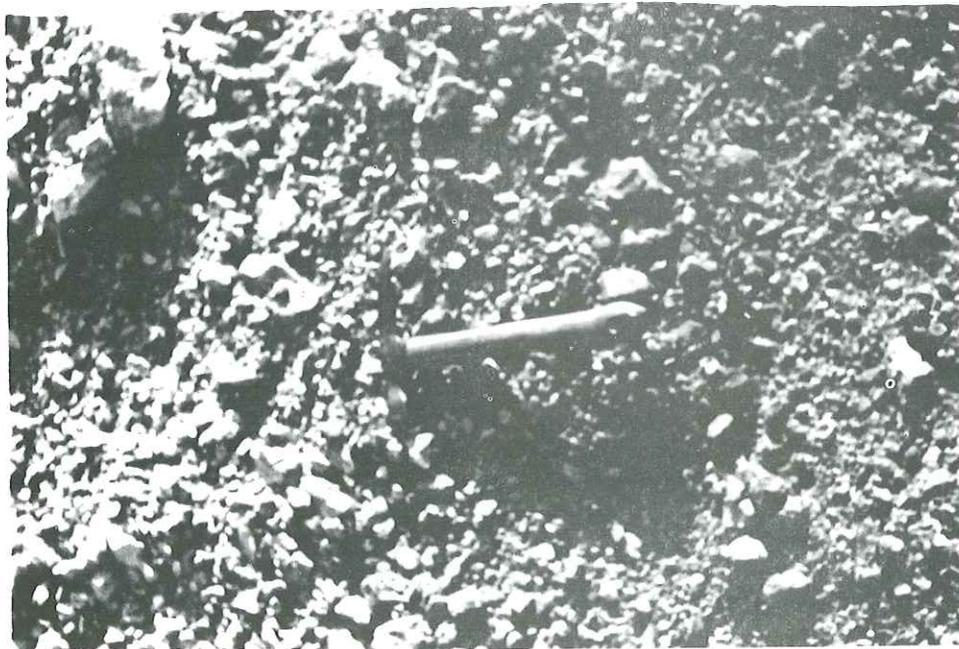
N° 15 - Haute terrasse fluvio-glaciaire de Lagrand, reposant en discordance sur les terres noires altérées (visible dans le coin gauche de la photo, sous une mince pellicule d'éboulis). Le village de Lagrand est construit sur la partie supérieure cimentée de la terrasse. La partie inférieure (meuble) affleure dans la pente.



N° 16 - Ancienne coulée boueuse, d'épaisseur supérieure à 20 mètres (Bas Chevalet) -

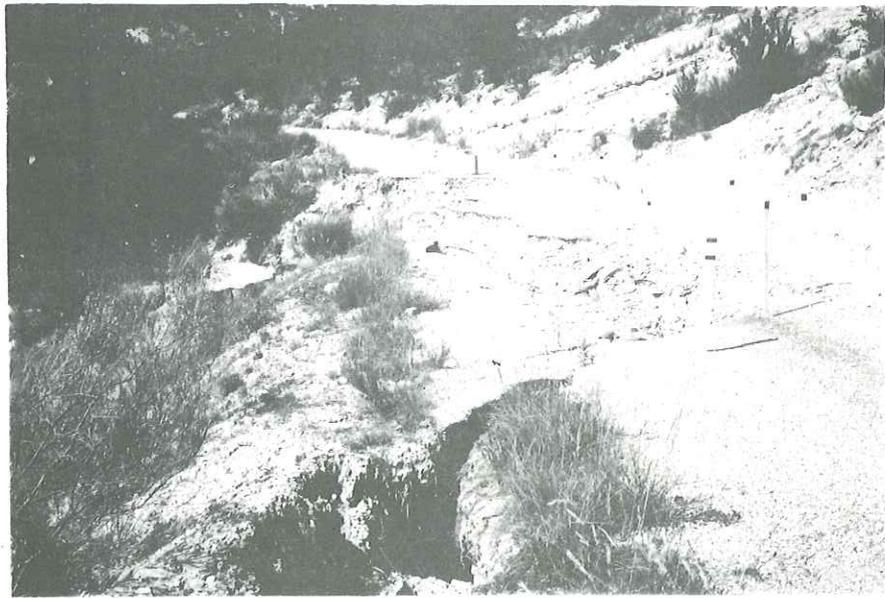


N° 17 - Argile "lacustre" probable, montrant en surface des fissures de retrait. Les masses irrégulières visibles sont des débris végétaux enrobés de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  (entre Orpierre et Lagrand).



N° 18 - Eboulis cryoclastiques au Sud de Trescléoux.

N° 19 - Glissement de terrain à Montjay, dans  
les produits d'altération calcaréo-marneux



N° 20 - Même glissement, mais vu dans l'autre sens.



CHAPITRE V

---

CONCLUSIONS GENERALES

## CONCLUSIONS GÉNÉRALES

En cette ultime partie nous ne porterons que des conclusions d'ordre général, considérant que les conclusions techniques partielles ont été énoncées à la fin de chaque sous-chapitre.

Nous nous bornerons donc à rappeler quelles furent nos principales préoccupations dans l'élaboration de ce travail et les raisons générales qui l'ont motivé.

Cette étude a été conduite de façon à pouvoir être consultée sans difficulté par ceux qui ont à résoudre les problèmes de Génie Civil : ingénieurs, hydrauliciens, architectes, urbanistes et géologues ; nous avons donc évité, aussi bien les développements mathématiques complexes, que l'étude géologique trop spécialisée des terrains intéressés. Les données géologiques relatives aux formations quaternaires ont été analysées, et, complétées par les investigations géophysiques.

Ces données géophysiques, obtenues par expérimentation sur le terrain, ont été comparées avec les classifications existantes afin d'en dégager les indications géotechniques nécessaires. Nous avons procédé ensuite à un essai de normalisation des dénominations géotechniques de chaque formation. Les symboles adoptés constituent de nouveaux indices cartographiques, portés sur les cartes géotechniques. Nous avons proposé comme exemple ce mode de cartographie qui peut s'appliquer à toutes sortes de terrain de couverture à condition de disposer de données numériques suffisantes et de se conformer à la nomenclature indiquée au chapitre II. Ce type de carte, encore fort peu développé, devrait être normalisé pour répondre à un besoin réel de la part de nombreux utilisateurs. Elles sont d'une grande importance dans la compréhension professionnelle mutuelle de l'ingénieur et du géologue de Génie Civil.

De plus, par leur situation géographique (alluvions fluviales des larges vallées, ou des formations recouvrant les parties basses des reliefs) les formations quaternaires constituent très souvent le support des aménagements de zones d'habitation. Il semble opportun, de ce fait, de proposer qu'à l'avenir, ces terrains soient cartographiés en y adjoignant leurs principales caractéristiques géotechniques parallèlement à la nomenclature géologique déjà en vigueur.

D'autre part, le mode d'élaboration des cartes géotechniques à partir d'investigations géophysiques moins coûteuses que les sondages mécaniques et, souvent plus facilement réalisables, constitue une économie appréciable dans une étude générale d'aménagement.

Enfin, de même qu'un ingénieur de Génie Civil peut réaliser ce type de carte géotechnique en observant attentivement les formations géologiques, le géologue arrivera au même résultat à condition de chiffrer les résultats obtenus par des méthodes simples de mécanique des sols et d'utiliser la dénomination géotechnique des sols expliquée au chapitre II, qui sans être parfaite, est assez complète.

Nous présentons ce modeste travail avec l'espoir qu'il aura contribué au développement d'une certaine conception de la géotechnie, souvent traitée d'une manière insuffisante et permis d'établir un langage technique compréhensible pour chacune des disciplines intéressées par le Génie Civil.

CHAPITRE VI

---

RESUME EN QUATRE LANGUES

ATTEMPT AT THE GEOTECHNICAL INTERPRETATION OF THE QUATERNARY  
OF THE TOPOGRAFICAL MAP OF SERRES N° 7-8  
(HIGH ALPS)

Resume of the different chapters developped in the thesis.

Chapter I :

This chapter concerns the elaboration of the geotechnical map, its importance, its history and its variations depending on the type of land and scale. An explanation of the requirements of the geotechnical maps follows chapters. A certain number of examples of work carried out in different countries by different authors on this type of map, have been quoted.

Chapter II

The second chapter is presented as a bibliographical study of the geotechnical classification of soils according to criteria adopted by different countries. This allows a great flexibility in the interpretation of different geotechnical maps coming from foreign countries. This chapter is important in the development of this work because it shows that one can characterize all soils from the simplest of methods.

After characterising the soils we established tables in which the advantages and the inconvenients of the utilisation of different soils are explained in detail.

Chapter III

Explains the methodology followed for making our geotechnical map in which we made reference to the following aspects :

- hypothesis at the start
- list of operations and equipment used
- tests carried out in the field and in the laboratory
- application of Geophysics to our work (sismic and electric methods). We spent a lot effort on this as, due to the absence of mechanical soundings, we were unable to find out the thickness of the layers. In view of this, we prepared abacuses and programs for the ordinators. The abacuses and programs used will facilitate similar work in the future. *Really?...*

Chapter IV

Concerns the actual making of the geotechnical map of the region of Serres N° 7-8 in which we outlined all the data that we could obtain for its establishment. We mentioned the following facts :

- the geographical location
- geological facts
- hydraulic facts
- description of the land
- geotechnical definition of the soils in the region and their aptitude for the different types of work.

Chapter V

This chapter is a conclusion and presents reflections on the thesis.

SAGGIO D'INTERPRETAZIONE GEOTECNICA DEL QUATERNARIO  
DELLA CARTA SERRES 7-8  
(ALTI ALPI)

Riassunto dei diversi capitoli sviluppati nel corso della tesi.

Capitolo I - Introduzione

In questo capitolo, è trattata l'elaborazione della carta geotecnica, la sua importanza, la sua storia e tutte le sue varianti, secondo il tipo di terreno e della scala presi in esame. Di seguito vengono spiegate le esigenze delle carte geotecniche; a questo proposito sono citati alcuni esempi di lavori effettuati in precedenza.

Capitolo II - Studio bibliografico

Questo capitolo si presenta come una ricerca bibliografica in materia di classificazione geotecnica dei suoli, secondo i criteri adottati nei vari paesi. Ciò permette una grande elasticità d'interpretazione delle diverse carte geotecniche elaborate in paesi stranieri. Detto capitolo è di massima importanza per il presente lavoro, perché dimostra che, pur partendo da prove molto semplici, si arriva a ben qualificare tutti i suoli. Prendendo come spunto tale classificazione dei suoli, sono state elaborate delle tavole, dove tutti i vantaggi e gli inconvenienti della utilizzazione dei diversi tipi di suolo vengono spiegati nei minimi dettagli.

Capitolo III - Metodologia

Qui, viene esposta la metodologia adottata per la preparazione della nostra carta geotecnica, nella quale viene fatta allusione ai seguenti aspetti:

- Ipotesi di partenza;
- Elenco delle operazioni eseguite e degli apparecchi necessari;
- Prove sul terreno e al laboratorio;
- Applicazione a questo lavoro della geofisica (metodi sismici e elettrici). Alla realizzazione di questo lavoro sono stati necessari molti sforzi perché sarebbe stato altrimenti impossibile conoscere lo spessore degli strati, causa l'assenza totale di sondaggi meccanici. Sono stati dunque approntati degli abachi e dei programmi per i computers elettronici. Tali abachi e programmi qui utilizzati, potranno facilitare nel futuro un lavoro simile a questo.

Capitolo IV - Interpretazione geotecnica della carta Serres 7-8

In questo capitolo, si tratta dell'elaborazione di una carta geotecnica della regione di Serres 7-8, carta nella quale sono stati messi in gioco tutti i dati disponibili, utili al nostro lavoro. Sono stati quindi menzionati i dati seguenti:

- la posizione geografica,
- dati geologici,
- dati idrologici,
- descrizione del terreno,
- classificazione e definizione geotecnica dei suoli di detta regione, con loro idoneità per lavori diversi.

Capitolo V - Conclusioni

Questo quinto parte è una conclusione e riflessione sulla tesi si redatta.

DEUTSCH

VERSUCH ZUR AUSDENTUNG DES QUATERNÄRS DES SERRES -GEBIETES  
BEI GEOTECHNISCHE METHODEN - KARTE N° 7-8

Zusammenfassung der verschiedenen Kapitel, in der Abhandlung entwickelt.

Kapitel I

In diesem Kapitel behandeln wir die Erstellung der geotechnischen Karte, ihre Bedeutung, ihre Geschichte, ihre Veränderungen, die Funktion der verschiedenen Bodentypen sowie ihren Massstab. Dann erklären wir die Erfordernis der geotechnischen Karten und erinnern uns dabei an einige Beispiele von vorangegangenen Arbeiten.

Kapitel II

Dieses Kapitel stellt sich wie eine bibliographische Untersuchung für die geotechnische Klassifizierung der Erdbereiche gemäss den angenommenen Kriterien der verschiedenen Länder dar. Dies gestattet eine grosse Biagsamkeit in der Auslegung der einzelnen geotechnischen Karten mit der Herkunft von fremden Ländern. Es ist wichtig für die gegenwärtige Arbeit, da es zeigt, dass man vom einfachen Versuch an bis zur guten Charakterisierung von den ganzen Erdarten gelangen kann. Von dieser Charakterisierung der Erdarten haben wir Verzeichnis- se erstellt, wo die Vor- und Nachteile der Nutzbarkeit von den verschiedenen Erdarten einzeln erklärt sind.

Kapitel III

Ist die Darstellung der angenommenen Methode für die Fertigung unserer geotechnischen Karte, in welche wir eine Anspielung gemäss folgenden Aspekten machten :

- Voraussetzungen vor dem Beginn.
- Verfahrensverzeichnis von wichtigen Anstalten und Geräte.
- Erdbodenversuch im Laboratorium.
- Anwendung der Geophysik (seismische un elektrische Methoden) zu unserer Arbeit. Wir haben uns mit grosser Anstrengung dieser Arbeit gewidmet, denn es war unmöglich, die Dichte der Schicht, durch den Mangel der mechanischen Erdbohrungen, zu erkennen. Wir haben also die Abaken und die Programmation vorbereitet. Die Abaken und die Programm, welche wir benötigt haben, könnten eine gleichartige Arbeit für die Zukunft erleichtern.

Kapitel IV

Das ist die Fertigung einer geotechnischen Karte der Gegend Serres N° 7-8, in welche wir alle Angaben, die wir für Ihre Erstellung erlangen konnten, gelegt haben. Wir haben hier folgendes erwähnt :

- die geographische Lage.
- geologische Angaben.
- hydrologische Angaben.
- Beschreibung des Erdbodens.
- klassifikation und Definition des Bodens der Gegend mit ihren.
- Fähigkeiten für die verschiedenen Arbeiten.

Kapitel V

Zeigt sich in Form eines Abschlusses und der Betrachtung einer abgefassten Abhandlung.

ENSAYO DE INTERPRETACION GEOTECNICA DEL CUATERNARIO DE LA CARTA  
TOPOGRAFICA DE SERRES N° 7-8

(ALTOS ALPES)

Resumen de los diferentes capitulos desarrollados en la tesis.

Capitulo I

Este capítulo trata de la elaboración de la carta geotécnica, su importancia, su historia y sus variaciones en función del tipo de terreno y de la escala. Luego se explica las exigencias de las cartas geotécnicas. Además se dan algunos ejemplos de trabajos anteriores que han sido realizados en diversos países por diferentes autores, sobre este tipo de cartas.

Capitulo II

Este capítulo se presenta como una investigación bibliográfica, referente a la clasificación geotécnica de los suelos, de acuerdo a criterios adoptados por diferentes países. Esto permite una gran flexibilidad de interpretación de las diferentes cartas geotécnicas que vienen de países extranjeros. Este capítulo es muy importante en el desarrollo del presente trabajo, porque demuestra que partiendo de ensayos muy simples, se llega a caracterizar bien todos los suelos. Luego a partir de esta caracterización o denominación, se ha confeccionado cuadros, en los cuales se explica la utilización de los mismos en la Ingeniería Civil, con sus respectivas ventajas e inconvenientes.

Capitulo III

Explica la metodología seguida en la confección de la carta geotécnica, en la cual se hace referencia a los aspectos siguientes :

- hipótesis de partida en el presente trabajo ;
- lista de operaciones seguidas en el trabajo y equipos necesarios ;
- ensayos realizados en el terreno y en laboratorio ;
- aplicación de la geofísica a nuestro trabajo (métodos sísmicos y eléctricos). Se ha consagrado mucho esfuerzo a este trabajo, debido a la inexistencia de sondajes mecánicos, que ha imposibilitado conocer el espesor de las capas. En vista de esta necesidad se ha elaborado ábacos y preparado programas para los computadores. Los ábacos y programas utilizados en el presente trabajo podrían ser utilizados en el futuro para trabajos similares.

Capitulo IV

Trata de la realización de la carta geotécnica de la región de Serres N° 7-8, en la que se ha puesto en juego todos los datos que se han podido obtener para su realización. Aquí se mencionan los datos siguientes :

- situación geográfica
- datos geológicos
- datos hidrológicos
- descripción de terrenos
- clasificación y denominación geotécnica de los suelos de la región, con sus aptitudes para los diferentes trabajos.

Capitulo V

Se presenta bajo la forma de conclusiones y reflexiones de la tesis realizada.

BIBLIOGRAPHIE

- ATTERBERG, 1905. - Mécanique des sols. Nomenclature routière de 1905. In Verdeyen
- BOMBARD (J. -P.), 1968. - Une approche des problèmes posés par l'étude des mouvements de terrains. Essai méthodique. Thèse 3e cycle Fac. Sci. Grenoble, p. 264.
- BONTE (A.), 1956. - Le rôle de la géologie dans les travaux de Génie Civil. Ann. des Ponts et Chaussées, p. 77 - 103.
- BREUSSE (J. -J.), 1964. - La géophysique moderne et les problèmes de Génie Civil et des Travaux Publics. Industrie et Travaux d'Outre-Mer. N° 125, avril 1964.
- Bureau of Reclamations of the U. S. A., 1963. - Proyecto y diseno de pequenas represas (Traduction en espagnol).
- Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 1969. - Carte géologique des formations superficielles de Saint-Bonnet-de-Joux. N° 3-4 au 1/25 000 (avec notice)
- CAGNIARD (L.), 1950. - La prospection géophysique. Coll. La Science Vivante N° 11. (Presses Universitaires de France).
- CAMPUS, 1943. - Classification des sols. Bull. de l'Association belge pour l'Etude, l'Essai et l'Emploi des Matériaux. N° 7
- CASTANY (G.), 1963. - Prospection et exploitation des eaux souterraines. Dunod édit., Paris, p. 658.
- Compagnie Générale de Géophysique (C. G. G.). - Abaques de sondages électriques. Publiée par European Association of Exploration Geophysicists.
- Compagnie Générale de Géophysique (C. G. G.), 1959. - La Géophysique appliquée aux problèmes d'Hydrologie, de Mines, de Génie Civil aux études structurales. Paris C. G. G.
- DESVARREUX (P.), 1970. - Recherche d'une méthode des mouvements de terrains et applications pratiques. Thèse de Doct. Ing. Fac. Sci. Grenoble. p. 163.
- DREYFUS. - Revue Sols - Soils n° 20
- FLANDRIN (J.). - Carte géologique de Serres au 1/50 000.
- FOOKES (P. -G.), 1969. - Geotechnical mapping of Soils and sedimentary rock for engineering purposes with examples of practice from the Mangla dam project. Geotechnique 19, n° 1, p. 52-74.
- GHISTE (S.), 1969 a. - Carte géotechnique de la région de Mons (avec notice). Laboratoire de Mécanique des sols. IRAM.
- , 1969 b. - Carte géotechnique de l'Europe. Cours Vetroz - Sion.
- GIGNOUX (M.), BARBIER (R.), 1955. - Géologie des barrages et des aménagements hydrauliques. Masson et Cie édit., Paris, p. 344.
- GOGUEL (J.), 1967. - Application de la géologie aux travaux de l'ingénieur, p. 374. Masson et Cie édit., Paris.
- Instituto de Investigaciones Geologicas de Chile, 1965. - Mapa del suelo de fundacion de Concepcion, estudio geotécnico. N° 2 (avec notice).
- KRYNINE (D. -P.) et JUDD (W. -R.), 1957. - Principles of engineering geology and geotechnics. Mac Graw Hill Book Company. New York. U. S. A. (Traduction en espagnol).

- Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 1967. - Recommandations pour la reconnaissance géologique et géotechnique des tracés d'autoroutes. Publication du L.C.P.C., n° de février 1967.
- Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 1967. - La prospection électrique appliquée aux problèmes des Ponts et Chaussées. Publication du L.C.P.C., n° spécial de juillet 1967.
- LEGGET (R.), 1962. - Geology and Engineering (Mac Graw Hill Book Company. New York, 2e édition (Traduction en espagnol), p. 650.
- LETOURNEUR (J.), 1966. - Les mouvements du sol, examen des facteurs géologiques de l'instabilité superficielle. Trav. Lab. Géol. Ecole des Mines de Saint-Etienne.
- MAYER (A.), 1959. - Précis de mécanique des sols. Armand Colin, Paris, p. 215.
- MAYOR (H.), 1969. - Mesures, prévisions et contrôles en Géologie Appliquée. Cours Vétroz (Sion).
- Ministère de l'Agriculture. - Circonscription d'action régionale - Provence - Côte d'Azur - Corse. "Etude des ressources hydrogéologiques du Sud Est".
- NIGGLI (P.), 1954. - Mémoire de classification des sols. Rok and mineral deposits, p. 559.
- OMER (M.), 1969. - Etude géologique et géotechnique des formations superficielles des environs de Besançon (Doubs). Thèse de 3e cycle Fac. Sci. Besançon.
- PELTIER (R.), 1954. - Manuel du Laboratoire Routier. Dunod, Paris, p. 291
- RIES (H.) et WATSON (T.), 1948. - Engineering Geology. Willey, New York, 5e edit., p. 750.
- Service géologique du Maroc, 1967. - Carte géotechnique de Fès (Maroc) au 1/20 000 (livret-guide).
- SKEMPTON (A.W.), HUTCHINSON (J.N.), 1969. - Stability of natural slopes and embankment foundations. Proc. Inter. Conf. Soils Mech. Found. Engng., Mexico.
- STAMATELLO (H.), 1965. - Une carte géologique de la ville de Varsovie, à l'usage des urbanistes. Rev. géogr. phys. et de Géol. Dyn. (2), vol. VII, fasc. 1, pp. 3-10. Paris.
- STEFANESCO et SCHLUMBERGER, - 1930. - Sur la distribution électrique autour d'une prise de terre ponctuelle dans un terrain à couches horizontales et homogènes. Le Journal de Physique, 7e série, t. 1.
- TALOBRE (J.), 1957. - Mécanique des roches appliquées aux travaux publics. Dunod, édit., Paris, p. 444.
- TERMIER (G. et H.), 1960. - Erosion et sédimentation. Masson et Cie, édit., Paris, p. 412.
- TERZAGHI (K.), 1948. - Soil mechanics in Engineering Practice, John Wiley et Sons, Inc., New York.
- TERZAGHI (K.) et PECK (R.B.), 1965. - Mécanique des sols appliquée. Dunod édit. Paris.
- TRICART (J.), 1962. - L'épiderme de la terre. Esquisse d'une géomorphologie appliquée. Masson et Cie, P. 168.
- UDDEN. - In VERDEYEN. - 1968. - p. 370.
- VERDEYEN (J.), 1943. - La dénomination et la classification des sols. Bull. de l'Association belge pour l'étude, l'essai et l'emploi des matériaux.
- VERDEYEN (J.), ROISIN (V.), NUYENS (J.), 1968. - La Mécanique des Sols. Presses Universitaires de Bruxelles et Dunod, Paris, p. 508.
- WOODWARD MOORE (R.), 1952. - Méthodes géophysiques adaptées aux problèmes de la construction routière. Extrait de Geophysics. Vol. XVII, n° 3. 1952. Traduction L.C.P.C.

Vu,  
Grenoble, le  
Le Président de la thèse

R. BARBIER

BIBLIOTHEQUE  
GRENOBLE-SCIENCES  
UNIVERSITAIRE

Vu,  
Grenoble, le  
Les Co-Présidents de l'Assemblée Constitutive  
Présidents de l'Université Scientifique et Médicale

Ph. HAUG, G. CAU, P. VEYRET

35

BIBLIOTHEQUE  
GRENOBLE-SCIENCE  
UNIVERSITAIRE

# CARTE GEOTECHNIQUE DE LA REGION DE SERRES 7-8

D'APRES  
J. FLANDRIN

PAR  
A. ROBERTO CASTRO N.

FEUILLE 1

## HYDROGEOLOGIE-ESQUISSE STRUCTURALE

Echelle 0 500 1000 1500 m.

### LÉGENDE

#### GÉOLOGIE.

- E Eboulis et éluvions.
- Glissements de terrains.
- Cônes de déjections.
- Glissements rocheux en masse.
- EP Brèches de pentes.
- Fz2 Lit majeur des grands cours d'eau.
- Fz1 Alluvions actuelles et récentes.
- Fy2 Basse terrasse fluviale.
- Fy1 Haute terrasse fluviale.
- Fx2 Basse terrasse fluvo-glaciaire.
- Fx1 Haute terrasse fluvo-glaciaire.
- c3 Turonien.
- c2 Cénomannien.
- Albien.
- Gargasien.
- Bédoulien.
- Barrémien.
- Hauteriviens.
- Valanginiens.
- Berriasien.
- Tithonique (Portlandien et Kimmérien supérieur).
- Kimmérien inférieur, Séquanien et Rauracien.
- Argovien.
- Callovien supérieur, Oxfordien.
- Callovien inférieur et moyen.
- Bathonien supérieur.

- Contour géologique.
- Faille visible ou interprété.
- +++ Axe anticlinal.
- >>> Axe synclinal.

#### HYDROGRAPHIE.

- Lit majeur et lit mineur.
- Ligne de partage des eaux superficielles.

#### POINTS D'EAU

- 38m Puits et profondeur jusqu'à l'eau en m.
- 0.8 Source avec débit L/s.
- 12 Nombre de puits et sources.



5,142  
1971  
35  
BIBLIOTHÈQUE  
GRENOBLE-SCIENCES  
UNIVERSITAIRE

# CARTE GEOTECHNIQUE DE LA REGION DE SERRES 7-8

PAR  
A. ROBERTO CASTRO N.

FEUILLE 2

## LITHOLOGIE - MORPHOLOGIE

Echelle 0 500 1000 1500 m.

### LEGENDE

#### LITHOLOGIE

- E Eboulis s.l.
- ta Terrasse alluviale
- th Basse terrasse fluviale
- th2 Haute terrasse fluviale
- tgr Basse terrasse fluvio-glaciaire
- tgs Haute terrasse fluvio-glaciaire
- AC Argile caillouteuse
- CC Eboulis cryoclastiques
- S Dépôts glaciaires locaux probables (remaniés ?)
- CB Anciennes coulées boueuses
- AL Argiles "lacustres" probables
- C Calcaires
- M Calcaréo-marneux
- Tn Terre noire
- Ta Produits d'altération des terres noires
- L Lit majeur des cours d'eau
- G Glissements rocheux en masse
- V Vieilles surfaces
- C Cônes de déjection
- E Eroulements rocheux
- F Faille visible ou interprétée
- C Contour géologique

#### MORPHOLOGIE

- Ligne de crête
- ~ Rebord de terrasse
- ~ Rebord de falaise
- U Glissements de terrain.



# CARTE GEOTECHNIQUE DE LA REGION DE SERRES

PAR  
A. ROBERTO CASTRO N

Echelle  
0 500 1000 1500 m

FEUILLE 3

## LOCALISATION DES SONDAGES GEOPHYSIQUES.

(GEOLOGIE DU QUATERNAIRE)

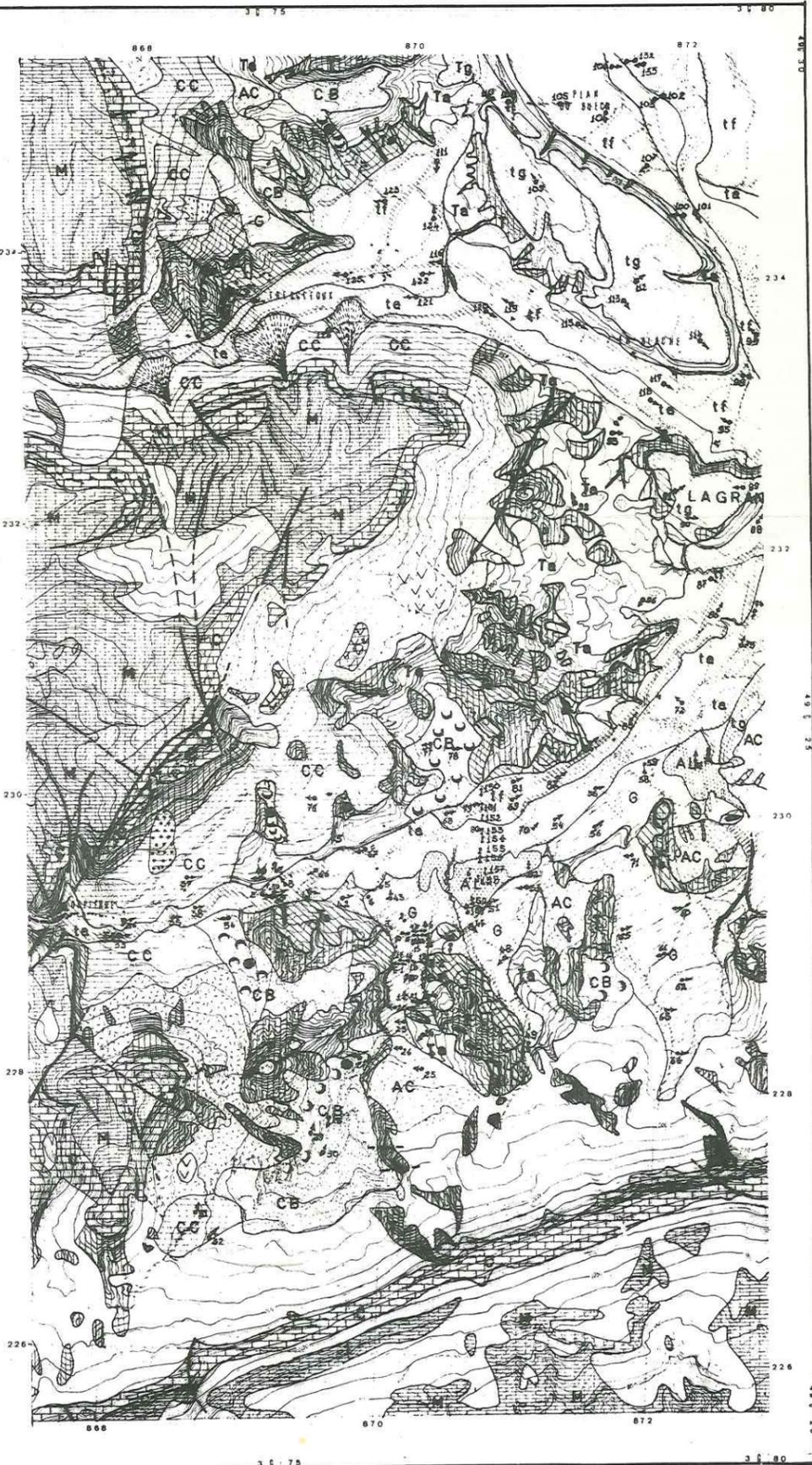
### LEGENDE

#### GEOLOGIE.

-  Eboulis actuels.
-  Terrasse alluviale.
-  Haute et basse terrasse fluviale.
-  Haute et basse terrasse fluvio-glaciaire.
-  Argile caillouteuse.
-  Eboulis cryoclastiques.
-  Dépôts glaciaires locaux probables (remaniés ?)
-  Coulées boueuses anciennes.
-  Argiles lacustres probables.
-  Calcaires.
-  Calcaréo-marneux.
-  Produits d'altération des terres noires.
-  Terre noire sub-affleurante.
-  Terre noire.
-  Lit majeur des cours d'eau.
-  Glissements de terrain.
-  Glissements très dangereux.
-  Glissements rocheux en masse.
-  Vieilles surfaces.
-  Cônes de déjection torrentiels.
-  Eroulements rocheux.
-  Faille visible ou interprétée.
-  Contour géologique.

#### GEOPHYSIQUE.

-  Direction des sondages sismiques.
-  Numéro de sondage sismique.
-  Numéro de sondage électrique.



# CARTE GEOTECHNIQUE DE LA REGION DE SERRES

PAR  
A. ROBERTO CASTRO N.

## FEUILLE 3' REPRESENTATION DES SONDAGES.

(GEOTECHNIQUE DU QUATERNAIRE)

Echelle  
0 500 1000 1500 m

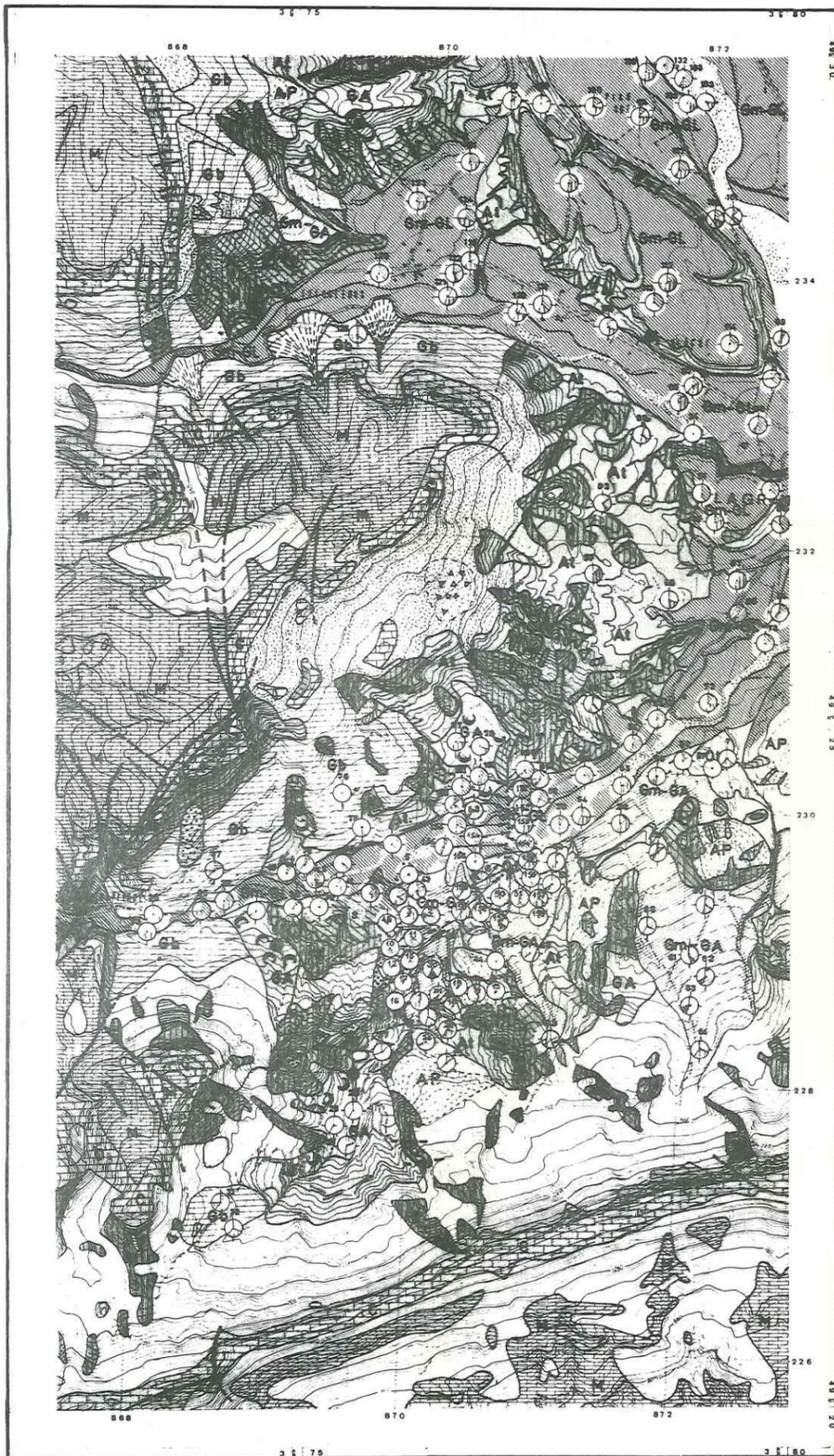
### LEGENDE

#### GEOTECHNIQUE

-  Eboulis actuels.
-  Grave propre mal graduée-grave limoneuse.
-  Argile graveleuse
-  Grave propre bien graduée
-  Grave propre mal graduée-grave argileuse
-  Grave argileuse
-  Argile organique de plasticité élevée
-  Calcaires
-  Calcaires-marneux
-  Argile non organique de plasticité élevée
-  Argile compacte sub-affleurante
-  Terres noires
-  Lit majeur des grands cours d'eau
-  Glissements de terrain
-  Glissements très dangereux
-  Ecoulements rocheux
-  Vieilles surfaces
-  Cônes de déjection torrentiels
-  Glissements rocheux en masse
-  Faille visible ou interprétée
-  Contour géologique

#### GEOPHYSIQUE

-  Numéro de sondage sismique
-  Profondeur d'investigation

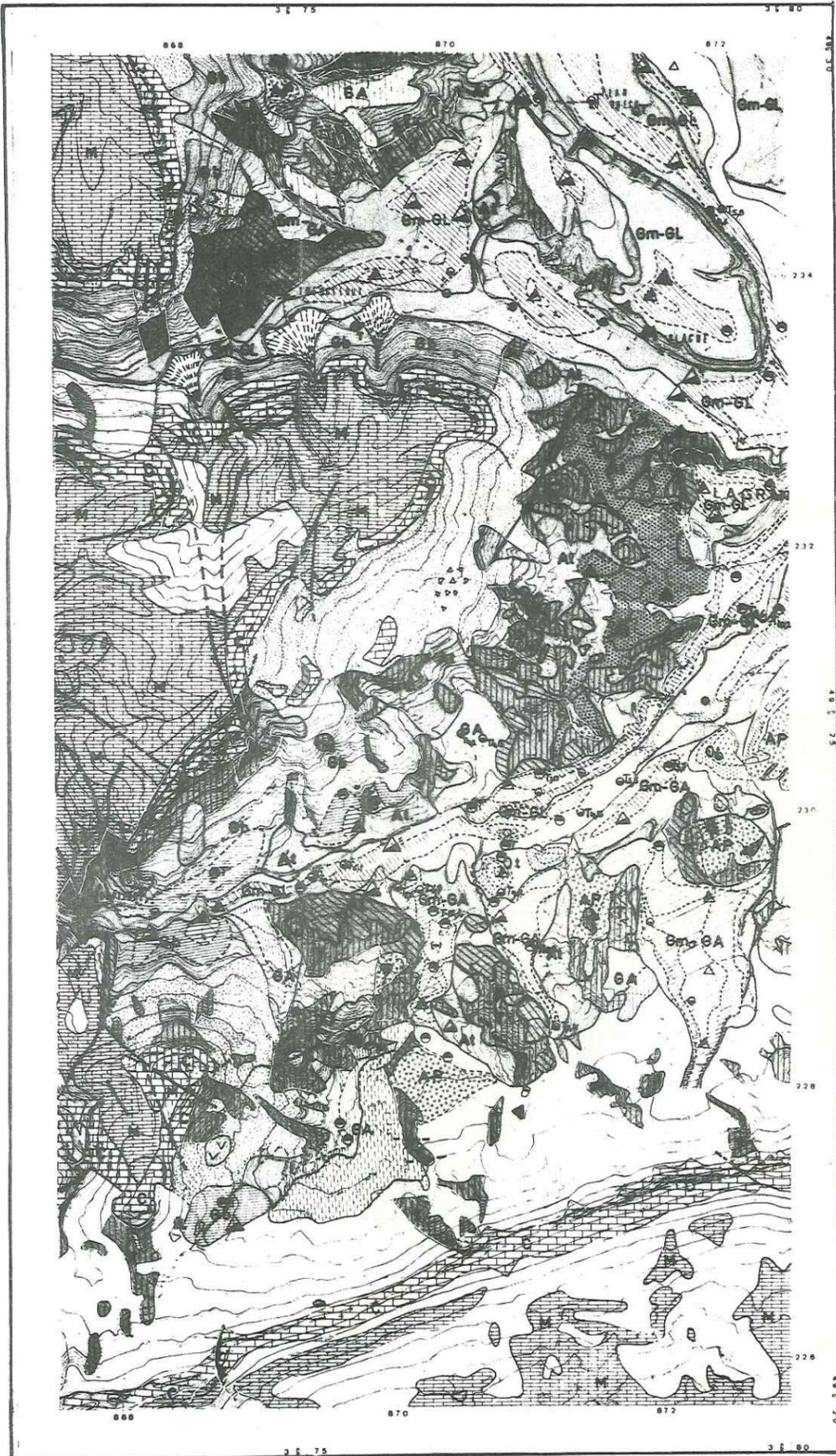


# CARTE GEOTECHNIQUE DE LA REGION DE SERRES

## FEUILLE 4 ZONALITE GEOTECHNIQUE

PAR  
A. ROBERTO CASTRO N.

### LEGENDE



	EPAISSEURS (en metres)								
	1 <sup>o</sup> couche			2 <sup>o</sup> couche			3 <sup>o</sup> couche		
	0	2	5	10	15	2	5	10	15
E	[Symbol: Dotted pattern]								
Gm-GL	[Symbol: Diagonal lines /]								
AP	[Symbol: Dotted pattern]								
Gb	[Symbol: Horizontal lines]								
Gm-GA	[Symbol: Diagonal lines \]								
GA	[Symbol: Vertical lines]								
Ot	[Symbol: Dotted pattern]								
At	[Symbol: Dotted pattern with circles]								
T	[Symbol: Horizontal lines with triangles]								
[Symbol: Wavy lines]	Lit majeur des grands cours d'eau								
[Symbol: Wavy lines]	Glissements de terrain								
[Symbol: Circle]	Glissements très dangereux								
[Symbol: Wavy lines]	Ecoulements rocheux								
[Symbol: Dashed line]	Vieilles surfaces								
[Symbol: Triangle]	Cônes de déjection torrentiels								
[Symbol: Wavy lines]	Glissements rocheux en masse								
[Symbol: Dashed line]	Faille visible ou interprétée								
[Symbol: Dotted line]	Contour géologique								
[Symbol: Dotted line]	Même profondeur à partir de la surface								

Eboulis actuels  
Grave propre mal graduée-grave limoneuse  
Argile graveleuse  
Grave propre bien graduée  
Grave propre mal graduée-grave argileuse  
Grave argileuse  
Argile organique de plasticité élevée  
Calcaires  
Calcaires-marneux  
Argile non organique de plasticité élevée  
Argile compacte sub-affleurante  
Terres noires

Echelle 0 500 1000 1500 m.

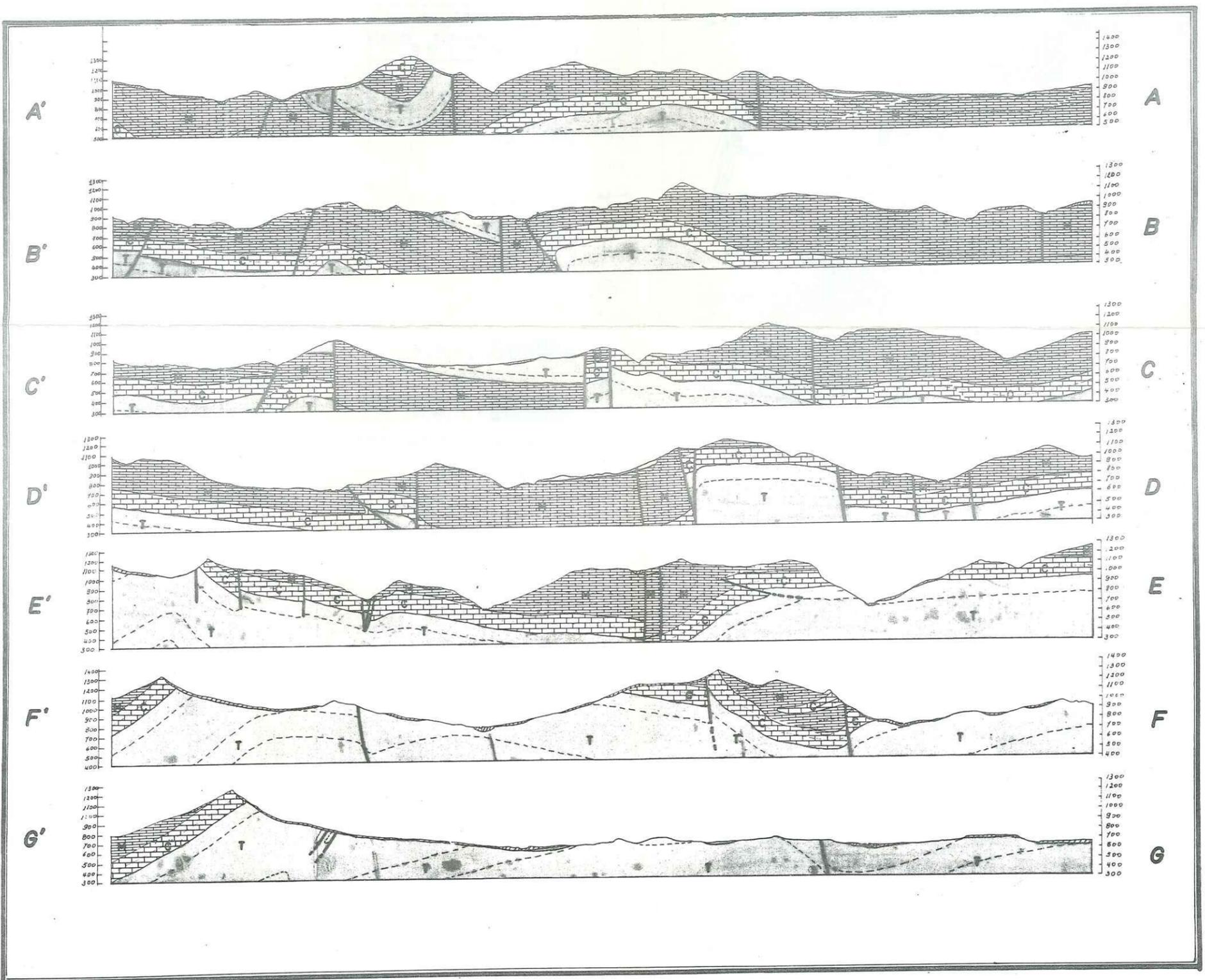
# CARTE GEOTECHNIQUE DE LA REGION DE SERRES 7-8

PAR  
A. ROBERTO CASTRO N.

## FEUILLE 5 COUPES GEOTECHNIQUES

(c.f. Feuille 1)

Echelle 0 500 1000 1500 m.



103