



HAL
open science

Géologie de l'aménagement : étude géologique et géotechnique du moyen Grésivaudan (Isère)

Jean Pierre Bozonnet

► **To cite this version:**

Jean Pierre Bozonnet. Géologie de l'aménagement : étude géologique et géotechnique du moyen Grésivaudan (Isère). Sciences de l'ingénieur [physics]. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1978. Français. NNT : . tel-00638274

HAL Id: tel-00638274

<https://theses.hal.science/tel-00638274>

Submitted on 4 Nov 2011

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.

Triple 205.142
1978
64



UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE
DE GRENOBLE
205142
1978
64

GEOLOGIE DE L'AMENAGEMENT

ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU
MOYEN GRESIVAUDAN (ISERE)

par **Jean-Pierre BOZONNET**

THESE présentée pour obtenir le grade de DOCTEUR DE SPECIALITE
EN GEOLOGIE APPLIQUEE
MENTION: GENIE CIVIL

soutenue le 14 juin 1978 devant la commission d'examen

Président	R. BARBIER	Professeur à l'U.S.M.G.
	J. LETOURNEUR	Professeur à l'E.N.S.M.St.E.
Examineurs	R. MICHEL	Professeur à l'U.S.M.G.
	P. ANTOINE	Maitre-assistant à l'U.S.M.G.



AVANT - PROPOS

Au moment où je termine mon étude, il m'est agréable d'exprimer ma profonde reconnaissance

. à Monsieur le Professeur R. BARBIER, qui m'a confié cette étude et qui m'a fait l'honneur de présider mon jury,

. à Monsieur le Professeur J. LETOURNEUR qui par son aide, ses conseils et son enthousiasme m'a encouragé tout au long de ce travail,

. à Monsieur le Professeur R. MICHEL qui m'a fait l'honneur de participer à mon jury,

. à Monsieur P. ANTOINE, Professeur à l'Ecole Nationale des T.P.E., qui a suivi cette étude et m'a fait profiter de sa grande expérience dans le domaine de la géologie du Génie civil,

. à Monsieur MAS, de l'Agence d'Urbanisme de la Région Grenobloise, qui m'a apporté toute l'aide nécessaire pour la réalisation des cartes,

. aux services de l'Équipement de Grenoble, et plus particulièrement à Monsieur P. CAMPOROTA, Chef du laboratoire de géotechnique, qui a mis à ma disposition les dossiers concernant les études routières de la plaine,

. aux services départementaux de l'Agriculture et particulièrement Monsieur J. BIJU-DUVAL, Ingénieur-Hydrogéologue,

. aux industriels et aux bureaux d'études de la ville de Grenoble pour leur aimable contribution,

. à mes compagnons de terrain ANNE-FRANCOISE, BRUNO, JEAN-PAUL qui ont planté et replanté les électrodes,

. à Monsieur DEMENJON pour les analyses granulométriques,

. à Madame HUBER et Monsieur BRAUD pour la frappe rapide de ce mémoire et son impression,

. à mes Parents qui m'ont aidé et encouragé tout au long de mes études,

. enfin, à ANNE-FRANCOISE, mon épouse, et VINCENT, mon fils, à qui je dédie ce travail.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I. APERCU GEOLOGIQUE

CHAPITRE II. PRESENTATION GEOLOGIQUE

CHAPITRE III. METHODOLOGIE

CHAPITRE IV. CARTOGRAPHIE

 Sous-Chapitre 1 - Géomorphologie et Agents Géodynamiques

 Sous-Chapitre 2 - Lithostratigraphie du Quaternaire récent
 de la plaine alluviale

 Sous-Chapitre 3 - Hydrogéologie

 Sous-Chapitre 4 - Recherche de matériaux de carrière

CHAPITRE V. PROPRIETES GEOTECHNIQUES DES ROCHES ET DES SOLS

CHAPITRE VI. GEOLOGIE ET AMENAGEMENT

RESUME

CONCLUSIONS

ANNEXES

BIBLIOGRAPHIE - Liste des figures et des tableaux

TABLE DES MATIERES

I N T R O D U C T I O N G E N E R A L E

Les réalisations humaines s'insèrent dans un milieu complexe, naturel pour partie, mais également artificiel. Les grands travaux de génie civil, ou l'utilisation agricole des sols, ou l'exploitation des eaux souterraines ont montré l'importance que revêtent les études géologiques dans de telles entreprises.

De même lorsqu'une région est soumise à un aménagement dirigé, il apparaît de plus en plus souhaitable que les mêmes études soient envisagées.

Le travail que nous présentons s'inscrit dans les perspectives d'aménagement de la région grenobloise, dont les grandes lignes ont été publiées sous la forme d'un schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme en 1973.

La région du moyen Grésivaudan constitue l'objet de notre recherche, dont le but a été de représenter sous forme de cartes, les principales composantes géologiques et géotechniques du sous-sol. Nous n'avons retenu que celle qui du point de vue de la géologie de l'Ingénieur ont une importance décisive, à savoir = les caractéristiques du relief, la répartition et les propriétés des roches et des sols, les processus géodynamiques actuels, les eaux souterraines, et les gisements de matériaux utiles.

Si notre étude intervient quasiment à la fin de la réalisation du S.D.A.U. "moyen terme", (horizon 1980), elle sera utile, et nous l'espérons utilisée pour la conception finale de ce schéma (horizon 2000).

- PLAN DE LA THESE -

Les deux premiers chapitres présentent le cadre géographique et géologique de la région étudiée.

Le chapitre trois définit rapidement la cartographie géotechnique moderne, et contient la méthode d'étude que nous avons suivie.

Le chapitre quatre exprime la synthèse des résultats par thème d'étude.

Enfin, le chapitre cinq rassemble les propriétés géotechniques des sols et des roches. Il est suivi d'une réflexion sur les limites de la méthode et d'un résumé du travail accompli.

..... CHAPITRE I

..... APERCU GEOGRAPHIQUE

Le chapitre quatre exprime la synthèse des résultats par thème d'étude.

Enfin, le chapitre cinq rassemble les propriétés géotechniques des sols et des roches. Il est suivi d'une réflexion sur les limites de la méthode et d'un résumé du travail accompli.

..... CHAPITRE I

..... APERCU GEOGRAPHIQUE

S O M M A I R E

- I. Situation
- II. Données topographiques
- III. Voies de communications
- IV. Perspectives de développement
- V. Les données climatiques
- VI. La Végétation

I. SITUATION (Fig. 1)

Le voyageur qui traverse le sillon alpin ne peut que contempler l'admirable vallée alpine, sculptée dans les séries mézozoïques dauphinoises, que constitue le Grésivaudan. Situé à mi-chemin entre l'agglomération grenobloise et la cluse de Montmélian, le moyen Grésivaudan couvre une superficie d'environ 140 km².

Les limites de cette région sont précisées par les coordonnées Lambert suivantes :

	X	Y
N.E.	889,100	346,880
S.E.	889,750	336,750
S.W.	875,450	336,150
N.W.	874,900	346,100

La cartographie que nous avons réalisée, intéresse cette surface en totalité ou seulement en partie selon les cas.

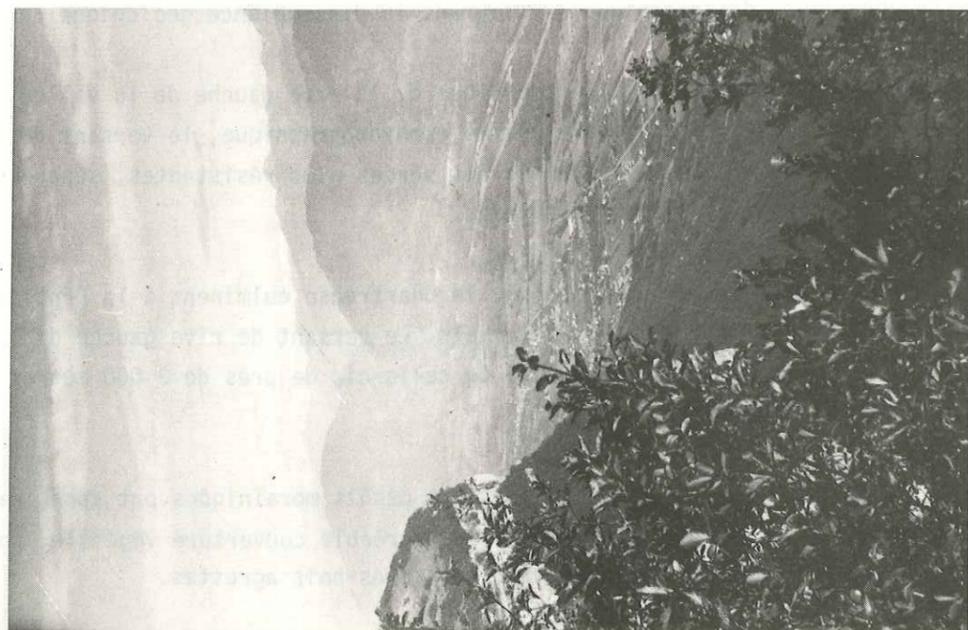
II. DONNEES TOPOGRAPHIQUES

La plaine alluviale, large de 3 km en moyenne, se développe sur 12 km selon un axe Nord.Est - Sud.Ouest entre les pôles urbains du Moyen Grésivaudan que sont Le Touvet-Goncelin et Crolles-Bernin. Cette vallée fluviale s'évase quand on prend de l'altitude et montre une allure dissymétrique, soulignant la dissemblance géologique des versants.

A côté des pentes molles et variées de la rive gauche de la vallée, dont le bassin de Theys en est la principale entité orohydrographique, le versant de la rive droite montre des formes abruptes dues à des séries plus résistantes, séparées de talus creusés aux dépens de couches plus tendres.

Les reliefs du bord oriental de la Chartreuse culminent à la Dent de Crolles à 2 062 mètres au-dessus de la plaine alluviale. Le versant de rive gauche de la vallée, moins pentu, s'élève néanmoins au-dessus de celle-ci, de près de 3 000 mètres aux pics de Belledonne (2 978 mètres).

Malgré ces différences, d'importants dépôts morainiques ont donné naissance de part et d'autre de la plaine alluviale, à une agréable couverture végétale, ponctuée de sources innombrables qui font des versants des prés-bois agrestes.



Photos 1 et 2. Prises depuis le bec Margain, ces vues montrent l'extension actuelle de l'habitat dispersé dans les secteurs de Crolles (ci-dessus) et La Terrasse (ci-contre). Les matériaux des cônes de déjection, propices à la construction, ainsi que leur isolement des crues, ont favorisé l'implantation de cet habitat.

FIG. 1 SITUATION GEOGRAPHIQUE DU MOYEN GRESIVAUDAN

SITUATION GENERALE



■ Secteur étudié

SITUATION DEPARTEMENTALE



III. VOIES DE COMMUNICATIONS

Le dynamisme d'une région dépendant beaucoup de la qualité de son réseau de voies de communications, le S.D.A.U. prévoit pour ce secteur le doublement de l'autoroute par des voies rapides suburbaines. Parallèlement, l'utilisation des infrastructures ferroviaires sera encouragée.

Pour l'instant, seules deux routes nationales traversent les diverses bourgades implantées au pied des versants, ainsi, deux demi-régions s'individualisent de part et d'autre de l'Isère, et de ce fait les deux ponts qui la franchissent ne les relient que partiellement.

A partir de ces deux axes principaux on accède aux régions qu'il est convenu d'appeler les balcons du moyen Grésivaudan. Celles-ci sont desservies par des routes départementales qui font communiquer entre elles les diverses communes du plateau des Petites Roches d'une part et celles du versant de Belledonne, d'autre part.

IV. PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT

Le moyen Grésivaudan regroupe une quinzaine de communes qui totalisent actuellement 20 000 habitants environ. Si l'on prend en considération le taux d'expansion démographique des villes françaises, on peut penser que la population de notre secteur d'étude atteindra 50 000 habitants dans 25 ans, diversement répartis comme l'indique le Tableau n° 0.

Régions		Années	
		1 9 7 5	2 0 0 0
Plateau des Petites Roches		1 000 hab.	4 000 hab.
Balcons de Belledonne		2 000 hab.	10 000 hab.
Plaine alluviale	Rive Gauche	3 000 hab.	10 000 hab.
	Rive Droite	15 000 hab.	25 000 hab.

Tab. 0. Croissance démographique du Moyen Grésivaudan prévue pour la période 1975 - 2000.

Cette croissance démographique entraînera l'extension des habitats dispersés sur les versants (Petites Roches et Theys), et dans la plaine alluviale ou sur les cônes de déjection torrentiels qui constituent un terrain propice à l'implantation de cet habitat.

En outre, le rapport de l'A.U.R.G. prévoit une zone d'urbanisation agglomérée dans le secteur de Crolles. Les options urbaines ainsi définies s'accompagneront de zones industrielles (Crolles, Goncelin, Frogès) et de parcs publics urbains et péri-urbains.

Cependant, comme nous l'indique le S.D.A.U. (Fig. 2), pour arrêter la prolifération de l'habitat dispersé, il a été prévu une zone agricole importante entre les deux pôles urbains du moyen Grésivaudan que sont Crolles et Le Touvet.

Dès ce stade où l'on doit décider de l'utilisation de la surface offerte à l'expansion, on voit combien il est nécessaire d'avoir déterminé l'aptitude des terrains présents, à l'usage auquel ils seront destinés.

V. LES DONNEES CLIMATIQUES

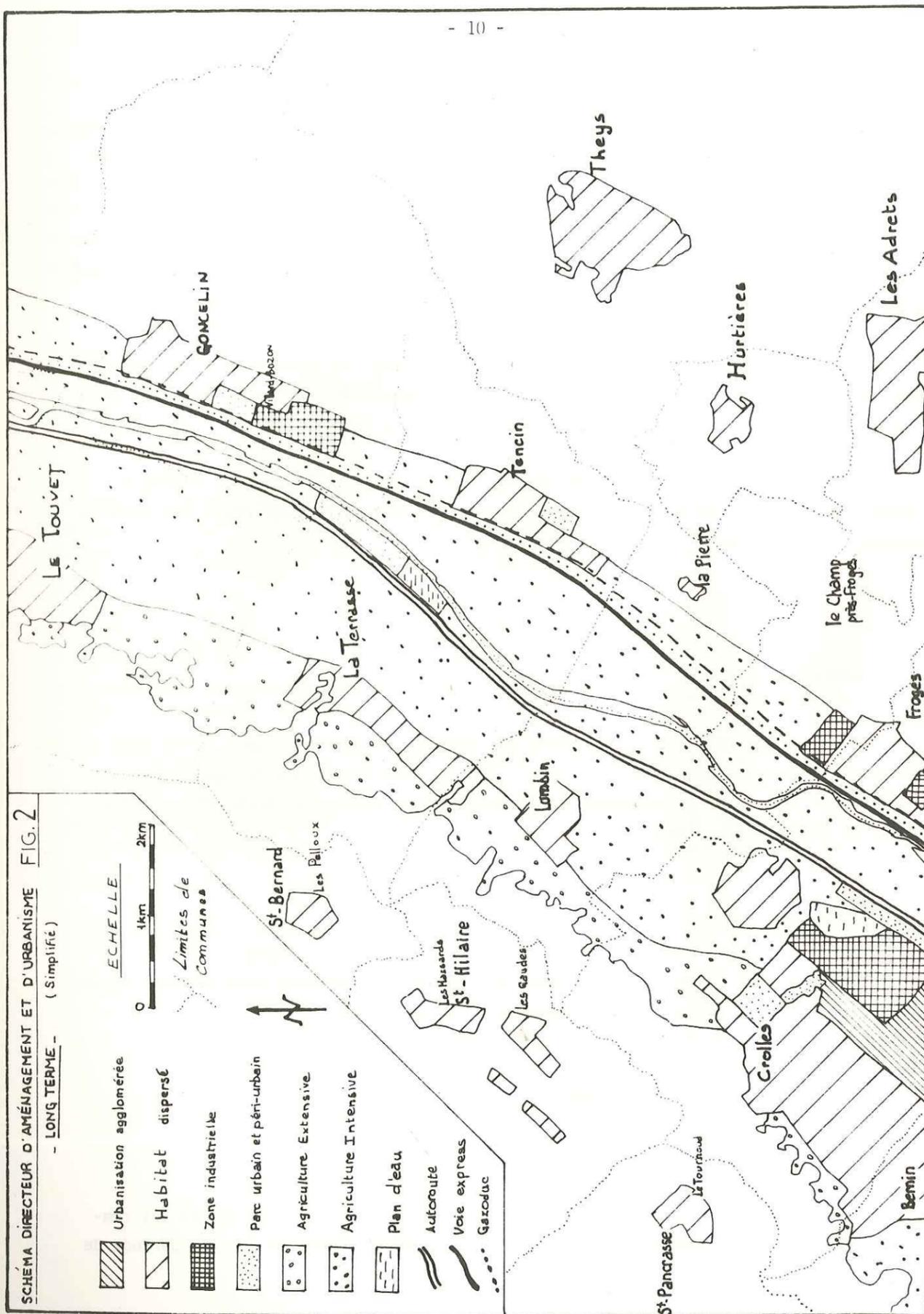
Nous présentons ici une synthèse des diverses études effectuées par M. Jail (Observations météorologiques dans l'Isère - R.G. A. 1967-1976) publiées dans la revue de géographie alpine, et de documents de la météorologie nationale, archivés au Centre d'étude de Saint-Martin-d'Hères (38).

V.1. Les Stations

Les données climatiques utilisées ont été recueillies dans cinq stations météorologiques basées sur notre secteur d'étude ou à sa périphérie :

- + Tencin
- + Theys
- + Saint-Hilaire
- + Corenc
- + Revel

Nous n'avons retenu comme caractéristiques que les précipitations et les températures, car elles faisaient l'objet de relevés réguliers s'étalant sur une période de dix années du moins.



V.2. Les Précipitations

Le climat qui prévaut sur cette partie du Grésivaudan est soumis à l'influence océanique qui se traduit par un régime pluviométrique assez régulier, lorsqu'on prend en considération les moyennes mensuelles des précipitations pendant la période 1966 - 1975. (Tableau n° 2). Ce tableau montre en effet que la moyenne des précipitations annuelles pendant les dix dernières années s'élève à 1 100 mm dans la plaine et atteint 1 580 mm à Saint-Hilaire du Touvet.

Toutefois des différences notoires apparaissent entre les diverses stations dans l'analyse des moyennes annuelles pour la même période. La station de Tencin a enregistré une hauteur d'eau de 874 mm pendant l'année 1967 alors qu'à Daint-Hilaire, situé 700 mètres plus haut, on mesurait une hauteur de 1 238 mm pour la même année. Ces faits marquants ne s'expliquent pas seulement par des nuances dans l'exposition, ou des différences d'altitudes, mais par la violence des orages printaniers et automnaux, qui bien souvent n'atteignent pas le versant nord de Belledonne, arrosant abondamment la Char treuse.

De même, une année pluvieuse à Tencin est encore plus humide à Saint-Hilaire. (Tableau n° 3). Ces précipitations, parfois très variables d'une année à l'autre (Tableau n° 1) et d'un point de mesure à un autre, sont généralement abondantes et favorisent le couvert végétal.

L'hiver présente quelques précipitations sous forme de neige atteignant la plaine alluviale. A partir de 900 mètres d'altitude l'enneigement est plus régulier, mais le manteau neigeux ne recouvre le sol que durant trois mois à l'adret, alors que la durée de rétention est plus longue à l'ubac (Theys).

V.3. Les Températures

Nous avons peu de données à ce sujet, si ce n'est pour la station de Corenc (227 mètres d'altitude). Le Tableau n° 4 indique la moyenne mensuelle établie pendant sept années. On remarque que décembre et janvier sont les mois les plus froids, alors que juillet et août ont les températures les plus hautes. La température moyenne annuelle est de 12°C.

ANNÉES STATIONS	ALTITUDE en mètres.	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975
TENCIN	236	1161	874	1409	1111	1293	1000	788	980	1155	1093
THEYS	615	1184	940	1396	1177	1276	1074	997	1144	1265	1297
SAINT-HILAIRE	970	1597	1238	1790	1439	1793	1347	1198	1356	1676	1462
CORENC	227	1212	887	1348	964	1272	1053	917	1055	1216	1194
REVEL	630	1106	794	1248	955	1262	1042	870	976	1076	1101

Tab. 1 Total annuel des précipitations en mm pour la période 1966 - 1975

MOIS STATIONS	ALTITUDE en mètres	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MOYENNES ANNUELLES 1966 - 1975
TENCIN	236	87	90	85	89	88	90	89	92	80	73	109	109	1082
THEYS	615	86	90	106	98	105	97	105	115	86	77	120	110	1194
SAINT-HILAIRE	970	135	152	111	133	132	150	102	140	101	88	140	201	1584
CORENC	227	92	104	84	88	92	103	89	77	91	68	137	83	1111
REVEL	630	72	76	91	83	104	101	74	87	83	62	130	101	1064

Tab. 2 Moyennes mensuelles des précipitations en mm pour la période 1966 - 1975

V.4. Les Vents

La vallée du Grésivaudan constitue une bonne gouttière topographique qui canalise les vents dominants selon une orientation Nord-Est - Sud-Ouest. Les masses d'air venant du Nord-Est ont tendance à rafraichir le climat local et sont les plus importantes. Les vents venus du Sud-Ouest et du Sud apportent des masses d'air plus chaudes, ce qui tempère le climat, notamment en hiver.

V.5. Conclusion

A partir de l'étude des deux éléments essentiels du climat, c'est-à-dire les précipitations et les températures, nous avons pu définir le type de climat qui couvre la région étudiée = le moyen Grésivaudan bénéficie d'un climat tempéré de type océanique pluvieux où le brouillard occupe la vallée durant 20 à 50 jours, au-dessous d'une altitude de 260 mètres.

VI. LA VEGETATION

La nature des terrains, l'exposition des versants, au soleil et à des vents plus ou moins porteurs de précipitations, et l'intensité de ces dernières qui croît avec l'altitude, ont sur la nature et l'étagement de la végétation un effet complexe que nous mettrons en évidence d'après la carte de la végétation de la région grenobloise (OZENDA et al., 1964). Figure 3.

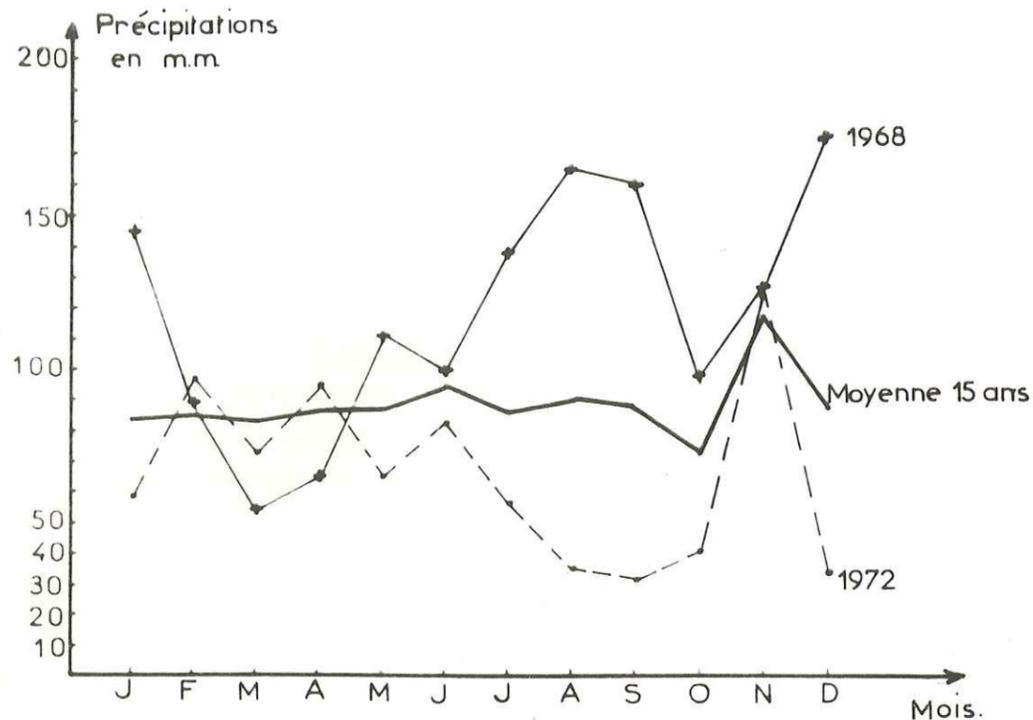
Nous décrirons successivement les deux flancs opposés, de la Chartreuse et de Belledonne.

VI.1. Végétation du versant rive droite

Exposé à l'adret, le versant sud-est de la Chartreuse est occupé par plusieurs séries arbustives regroupées selon trois étages.

VI.1.a. L'étage collinéen = La série du Chêne pubescent

Il est représenté sur le rebord sud-oriental, des corniches Jurassiques aux alluvions de l'Isère, entre les altitudes 250 et 900 mètres environ. L'implantation de



Tab. 3 Pluviométrie moyenne mensuelle à Tencin sur 15 ans

Mois	Années	Altitude en m.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Corenc	1965 à 1972	227	1,8	4,1	7,3	11,2	14,9	17,6	20,7	20	16,1	12,6	6,6	2

Tab. 4 Températures moyennes mensuelles en °C sur sept années à Corenc

cette végétation est favorisée par les conditions de milieu = orientation sud-est à sud, abri contre les vents froids du nord, sol en pente accentuée et formé d'éboulis calcaires perméables.

VI.1.b. L'étage montagnard = Les séries du Hêtre et du Sapin

Les pentes marno-calcaires du crétacé inférieur, prolongeant le plateau des Petites Roches sont le domaine de la Hêtraie - Sapinière. En effet, la base des falaises urgoniennes présentent des conditions de milieu très favorables à l'existence de cette Hêtraie. Elles sont caractérisées à la fois :

- par un micro-climat chaud et de nombreux éboulis,
- par une humidité non négligeable. Les précipitations annuelles atteignant facilement 1 500 mm, maintiennent une bonne humidité dans le sous-sol favorable à ce type de végétation.

VI.1.c. L'étage subalpin

Il occupe le synclinal de la Dent de Crolles et de l'Alpette. On y rencontre le pin à crochets sur la pelouse alpine.

VI.2. Végétation du versant rive gauche

VI.2.a. L'étage collinéen = La série du chêne pubescent et sessile

Il couvre les pentes inférieures du massif de Belledonne selon une bande très régulière. Avec une exposition sud-sud-est ou nord-nord-ouest, on y rencontre la chenaie pubescente, ou bien la chenaie sessile ou charmicole.

VI.2.b. L'étage montagnard = Série de la Hêtraie - Sapinière

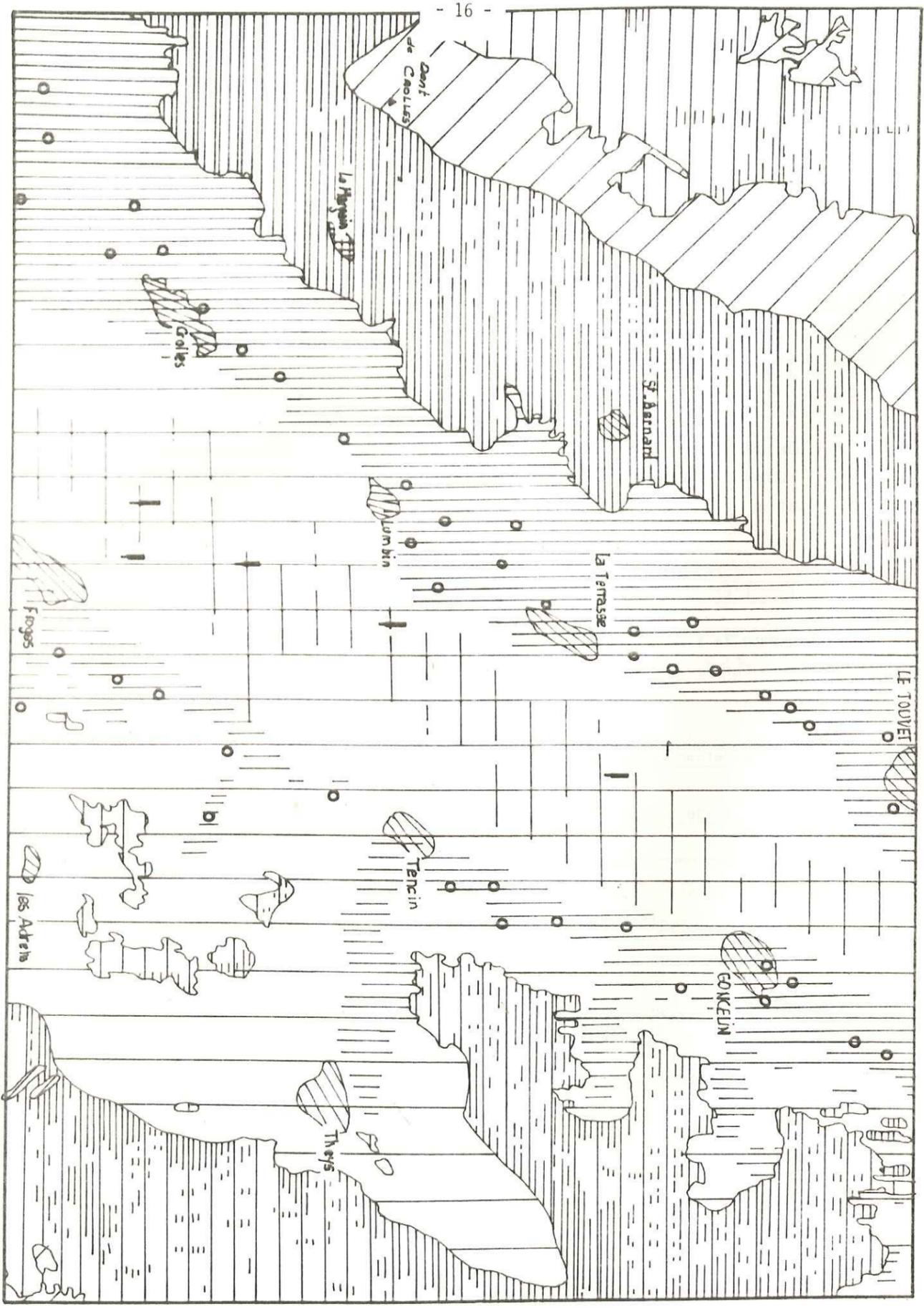
Cette série forme une bande régulière étagée entre 800 et 1 600 mètres. A altitude égale, les précipitations estivales sont ici moins élevées qu'en Chartreuse ; de même les sols morainiques et cristallins sont moins favorables, que les marno-calcaires au développement de la Hêtraie et sont occupés par le sapin principalement en versant nord ou dans les combes humides.

De ce fait, c'est l'épicéa, qui ailleurs est presque partout l'essence forestière prédominante.

FIG. 3 CARTE DE LA VÉGÉTATION

Légende:

- | | | | | | |
|---|---------------------------------------|---|-------------------------|---|-----------------------|
|  | <u>Etage Collinéen</u> |  | <u>Etage Montagnard</u> |  | <u>Etage subalpin</u> |
|  | Série du chêne pubescent |  | Série du Hêtre |  | Pelouses-Landes |
|  | Séries du chêne pédonculé et sessile. |  | Série du bord des eaux |  | |
| | |  | Vigne | | |
| | |  | Peuplier | | |



VI.2.c. L'étage subalpin

Il est peu représenté sur notre secteur et se développe au-dessus de 1 600 mètres.

VI.3. Végétation de la plaine

Elle est constituée essentiellement par la série du bord des eaux. Les bois d'aulne blanc y sont caractéristiques. Lorsqu'on s'éloigne de l'Isère, on passe progressivement à des groupements de chêne pédonculé et à des prairies cultivées, puis à la vigne que l'on rencontre sur les cônes de déjection des deux rives.

..... CHAPITRE II

..... PRESENTATION GEOLOGIQUE

VI.2.c. L'étage subalpin

Il est peu représenté sur notre secteur et se développe au-dessus de 1 600 mètres.

VI.3. Végétation de la plaine

Elle est constituée essentiellement par la série du bord des eaux. Les bois d'aulne blanc y sont caractéristiques. Lorsqu'on s'éloigne de l'Isère, on passe progressivement à des groupements de chêne pédonculé et à des prairies cultivées, puis à la vigne que l'on rencontre sur les cônes de déjection des deux rives.

..... CHAPITRE II

..... PRESENTATION GEOLOGIQUE

S O M M A I R E

I Cadre géologique régional

II Le Substratum rocheux

III Le Quaternaire

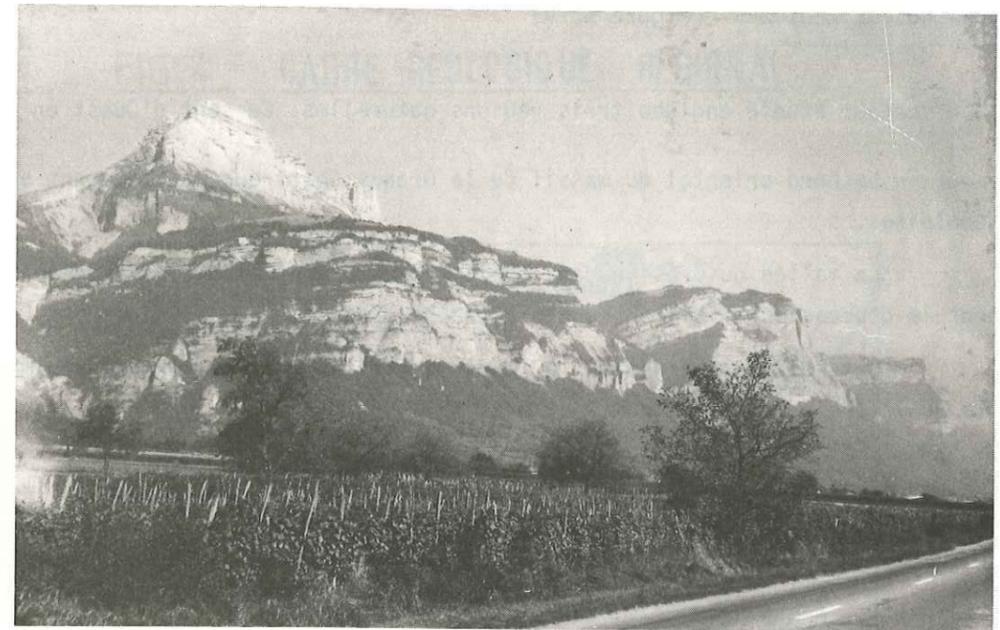


Photo 3. Cette vue prise vers le Nord illustre la morphologie du versant rive droite de la vallée, couronné par la Dent de Crolles et les Rochers du Midi.

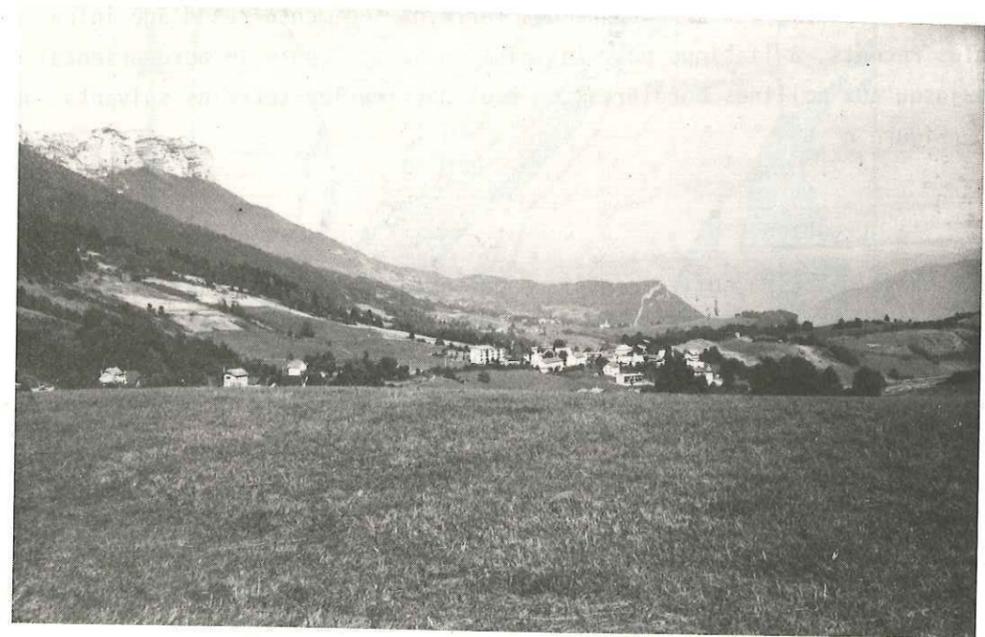


Photo 4. L'érosion glaciaire et les dépôts morainiques ont modelé le plateau des Petites Roches. La photo prise depuis le bec Margain en direction du N.E montre la "gouttière" creusée dans les formations marneuses du néocomien.

I. CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL (Figure n° 4)

Le secteur étudié englobe trois régions naturelles. Ce sont d'Ouest en Est :

- Le bord oriental du massif de la Grande Chartreuse appartenant aux chaînes subalpines.
- La vallée du Grésivaudan, comblée d'alluvions fluviales très épaisses, qui occupent la dépression du sillon subalpin creusé dans les Terres Noires.
- Les collines bordières, à l'Est, constituant la couverture sédimentaire occidentale de la chaîne de Belledonne.

Nous décrirons successivement la nature et l'évolution géologique des terrains antérieurs au Quaternaire, puis celles des formations récentes.

II. LE SUBSTRATUM ROCHEUX

II.1. Stratigraphie

Notre secteur d'étude regroupe des terrains sédimentaires d'âge infracrétacé pour les plus récents, à liasique pour les plus anciens. Depuis le bord oriental de la Chartreuse jusqu'aux collines bordières, on peut décrire les terrains suivants, de haut en bas : (Figure n° 5)

a. Urganien

La masse calcaire qui le constitue présente quelques niveaux plus tendres qui déterminent des vires dans les falaises puissantes parfois de 400 mètres.

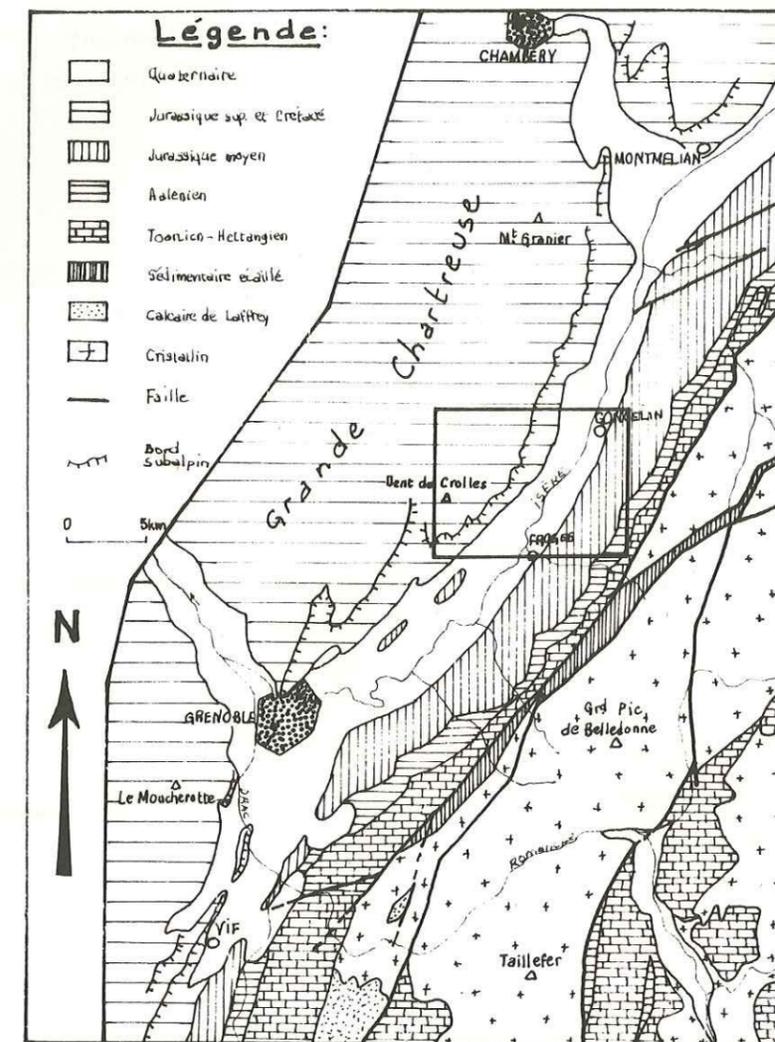
Elle culmine au niveau de la Dent de Crolles et domine le plateau des Petites Roches et la vallée de l'Isère.

b. Hauterivien

Le sommet des pentes dominant le plateau des Petites Roches est constitué d'une alternance de marnes grises et de calcaires en bancs décimétriques.

Ces affleurements d'Hauterivien forment généralement un talus recouvert de

FIG. 4 CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL



d'après J. DEBELMAS [1975]

□ Secteur Etudié.

prairies, ou d'éboulis issus de la falaise urgonienne.

c. Valanginien

La partie supérieure de la formation est constituée de petits bancs de calcaires roux donnant généralement une falaise assez marquée dans la topographie.

A la base viennent les marnes valangiennes. Elles présentent plusieurs niveaux de calcaires marneux à patine jaune intercalés dans les marnes bleuâtres qui se développent sur 100 à 300 mètres d'épaisseur.

d. Berrasien

Cette formation fait apparaître des calcaires marneux gris-bleutés passant au faciès des marno-calcaires à ciments de la Porte de France, à sa base.

Il constitue la majeure partie des replats légèrement inclinés vers le nord-ouest, qui couronnent l'abrupt de la corniche tithonique.

e. Tithonique

La falaise tithonique est caractérisée par deux ressauts composés de calcaires lités ou massifs et devenant parfois marneux à sa base. Cette corniche est haute d'environ 100 à 150 mètres.

f. Kimméridgien

Sous la corniche tithonique se développe un talus boisé correspondant à des calcaires argileux en petits bancs, alternant en général avec des lits de marnes sur une épaisseur de 150 mètres.

g. Séquanien

Il forme un ressaut en contrebas de la corniche tithonique, formé de 150 à 200 mètres de calcaires argileux gris régulièrement lités (falaise principale du St Eynard).

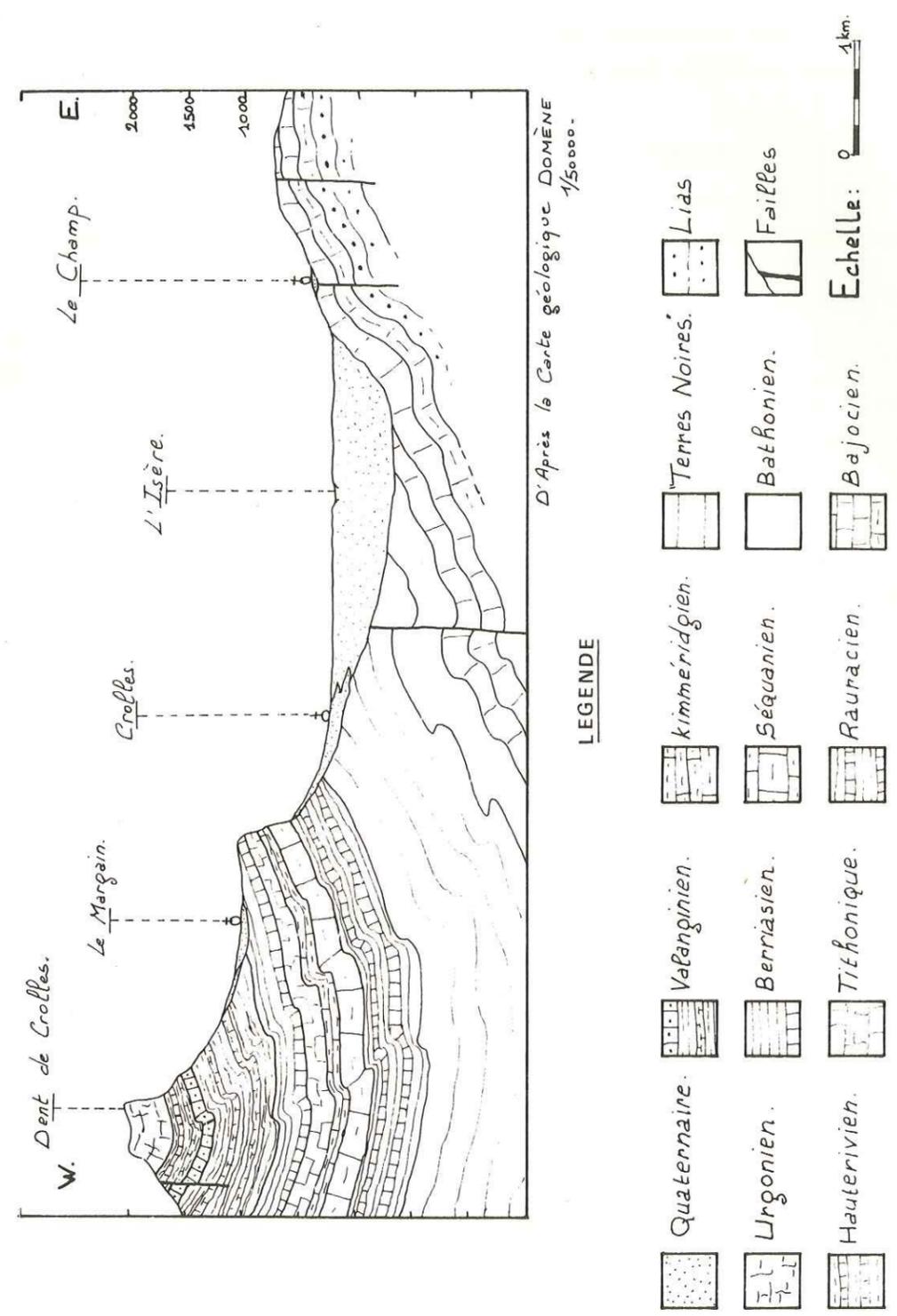
h. Rauracien

Recouvert généralement par un tapis d'éboulis boisés, il forme un talus constitué de marno-calcaires alternant avec des marnes sur une épaisseur de 400 à 500 mètres.

i. Les Terres-Noires

Cette formation très épaisse englobe le callovien et une partie de l'oxfordien.

FIG. 5 COUPE GEOLOGIQUE INTERPRETATIVE



Elle présente des schistes argileux et des calcschistes noirs qui se développent sur près de 800 mètres d'épaisseur. Recouverte d'éboulis et de prairies, elle donne des reliefs assez peu accentués. Dans notre secteur, on peut la voir affleurer au nord de la Terrasse.

j. Bathonien

Les schistes précédents passent à leur base à des calcaires noirs grenus, souvent spathiques en bancs épais de 10 à 30 cm alternant avec des marnes.

k. Bajocien

Les affleurements de cette formation ne se rencontrent qu'en rive gauche de la vallée de l'Isère où ils forment les premiers reliefs bordant immédiatement la plaine alluviale.

Ce complexe de calcaires marneux noirs comprend deux ensembles :

- un ensemble supérieure épais d'au moins 300 mètres, composé de calcaires marneux gris relativement compacts et durs, en bancs séparés par de minces lits marneux.
- un ensemble inférieur dont les couches marneuses toujours affectées par une schistosité oblique alternent avec des calcaires marneux noirs.

l. Lias

Nous ne ferons que signaler cette formation, car elle n'affleure pratiquement pas dans notre secteur où d'importants dépôts morainiques la recouvrent.

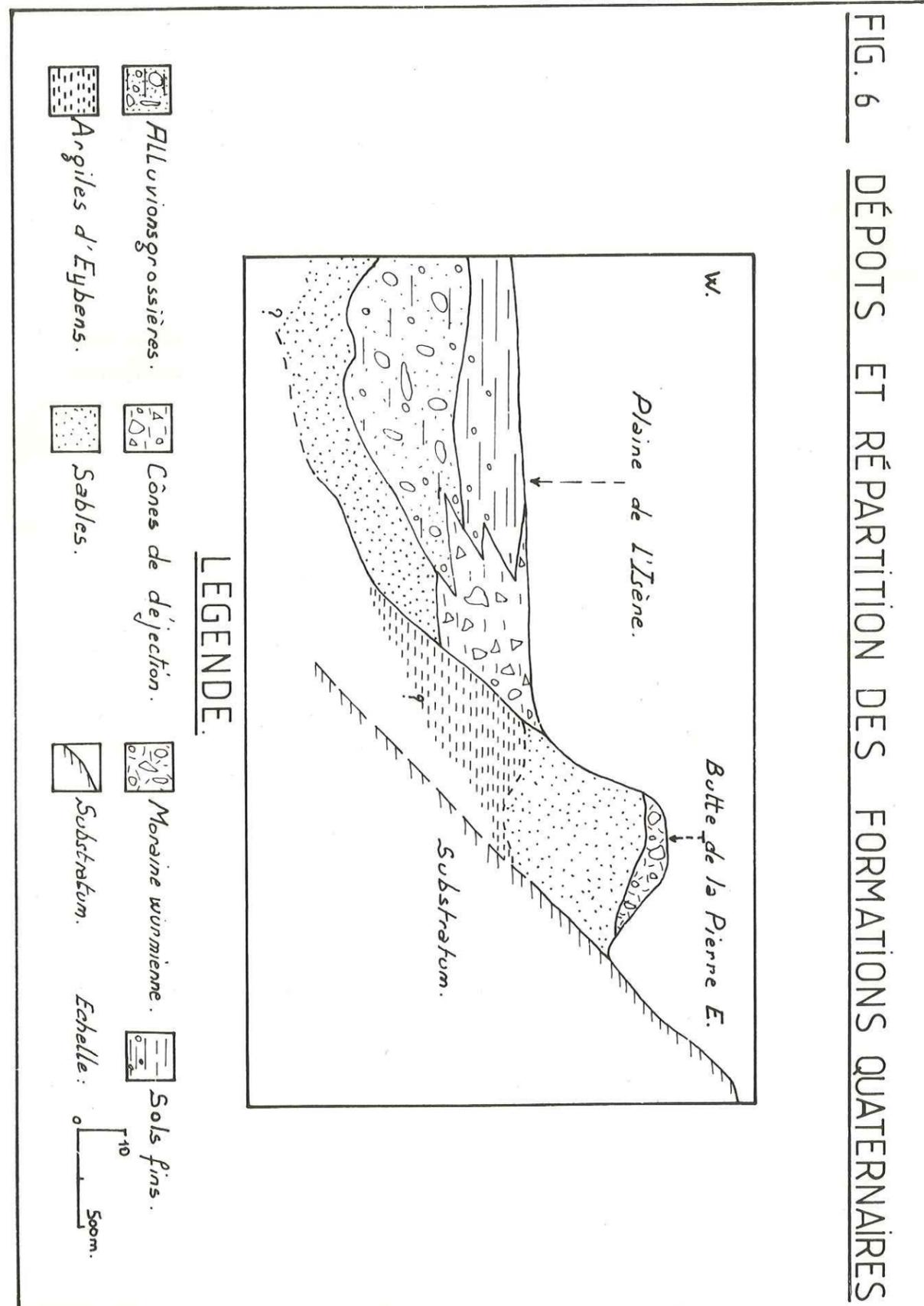
La coupe du Lias débute par des calcaires compacts qui passent ensuite au-dessous à des calcaires noduleux, puis à des brèches ou des calcaires à la base.

II.2. Aperçu tectonique

La zone des collines bordières, constituées de matériel bajocien, présente une structure assez simple ; une demi-voûte dont l'unique flanc plonge à 55° vers l'ouest pour passer à l'horizontale à son faite.

De nombreuses failles affectent cet ensemble lithologique sans pour autant en modifier la structure générale. A l'ouest de cette zone, la plaine du Grésivaudan masque les relations de la région précédemment décrite avec le massif de la Chartreuse. L'origine de cette dépression est peut-être plus compliquée que ne l'admet l'hypothèse classique, qui l'attribue uniquement à l'effet de l'érosion fluviale et glaciaire.

FIG. 6 DÉPÔTS ET RÉPARTITION DES FORMATIONS QUATERNAIRES



La coupe géologique interprétative (Figure 5) nous indique la structure monoclinale du bord oriental de la Chartreuse. Celle-ci se traduit par un pendage de 10 à 20° vers le nord-ouest, des formations qui matérialisent aussi le flanc est d'un synclinal dont l'axe est visible à l'aplomb de la Dent de Crolles.

III. LE QUATERNAIRE

La description et le rappel de la genèse des formations quaternaires sont une introduction indispensable à l'étude ultérieure de leurs propriétés géotechniques.

III.1. "Rappel historique"

Les nombreux dépôts de remblaiement du sillon alpin ainsi que les moraines couvrant les versants témoignent d'une intense activité glaciaire entrecoupée d'épisodes lacustres.

Les épisodes d'avancées glaciaires sont en général accompagnés de surcreusements. Le plus important pour la vallée de l'Isère est attribué à la période du Riss. Après le retrait des glaciers rissiens et durant l'interstade glaciaire Riss-Würm, un grand lac occupe la vallée surcreusée du Grésivaudan. Cette période (Eémien) est marquée par le dépôt des argiles d'Eybens.

Après cette phase de réchauffement, le climat se refroidit et favorise les trois principales récurrences glaciaires attribuées à la période du Würm. Au cours de celle-ci, des épisodes de réchauffement permettent le dépôt des sables qui recouvrent les argiles d'Eybens. (Figure n° 6).

Le deuxième stade glaciaire du Würm, important par son surcreusement, est venu labourer ces dépôts lacustres et fluviatiles, creusant de nombreux sillons dans la formation sableuse. Durant cette même période, les retraits successifs des glaciers ont constitué la couverture morainique des versants, bien visible sur le plateau des Petites Roches et sur le versant nord de Belledonne.

Après le retrait définitif des glaciers, la vallée prend son aspect actuel, conditionné par la sédimentation et les dépôts fluviatiles.

III.2. Les dépôts et leur répartition

III.2.a. Les versants

Que ce soit en rive gauche ou en rive droite de la vallée, on rencontre essentiellement des éboulis, des cônes de déjections, diverses formations glaciaires würmiennes et quelques dépôts fluvio-glaciaires antewürmiens. Toutes ces formations meubles se sont accumulées ou ne subsistent évidemment que sur des replats ou dans des zones où la pente n'est pas trop forte. Partout ailleurs ils laissent la place aux affleurements rocheux. Les vestiges glaciaires couvrent une surface importante, en rive gauche de la vallée, alors qu'ils sont plus réduits sur le versant opposé, et ne tapissent qu'une partie du plateau des Petites Roches, dont le talus amont est constitué d'éboulis.

III.2.b. La plaine alluviale

Le quaternaire de cette vallée est remarquable à la fois par le volume du remplissage qu'il représente (son épaisseur peut atteindre par places 500 mètres) et par la variété et la disposition spatiale des dépôts qui le constituent. Ceux-ci, argiles, limons, sables ou graves montrent en effet une disposition intriquée et une répartition discontinue qui font apparaître, lors de l'exécution de sondages rapprochés, des différences de constitution très importantes.



..... CHAPITRE III

..... METHODOLOGIE

S O M M A I R E

- I. Introduction
- II. Classification des cartes géotechniques
- III. Méthodologie

I. INTRODUCTION

Notre étude du moyen Grésivaudan prolonge celle qui avait été effectuée au sud-ouest par B. Couturier (1974) et H. Margalhan-Ferrat (1975). Dans une première partie, nous présentons une classification générale des cartes géotechniques. La méthode utilisée pour la réalisation de notre travail sera exposée ensuite.

II. CLASSIFICATION DES CARTES GEOTECHNIQUES

Cette classification peut être basée d'une part sur l'échelle de la carte, et d'autre part sur son contenu. Elle se réfère aux publications de Sannejouand concernant la cartographie géotechnique en France (1972).

II.1. Echelle

II.1.a. Les cartes à grande échelle

Etablies au 1/10 000 ou davantage, ces cartes nécessitent un grand nombre de données concernant les propriétés géotechniques de chaque type de sol. Elles conviennent bien pour les projets d'exécution de travaux routiers, les études concernant les zones d'aménagement concerté, etc...

II.1.b. Les cartes à moyenne échelle

D'échelle comprise entre le 1/10 000 et le 1/100 000, ces cartes regroupent des informations permettant de faciliter les choix des organismes responsables d'un aménagement.

II.1.c. Les cartes à petite échelle

Celles-ci sont généralement conçues en vue d'une planification territoriale. Leur échelle est inférieure ou égale à 1/100 000.

II.2. Contenu

II.2.a. Les cartes de facteurs

Elles rassemblent les données concernant un thème d'étude. Selon leur utilisation, elles sont établies à grande ou à petite échelle. Ce sont par exemple les cartes de risques naturels, de battement de nappe, d'épaisseur de sols fins dans un remplissage alluvial, etc... Ces documents peuvent être interprétatifs, mais en général y figurent les éléments nécessaires à cette interprétation (emplacement des sondages, côtes de nappes, etc...).

II.2.b. Les cartes synthétiques

Elles ont pour objet le regroupement et la synthèse de divers facteurs. La clarté de ces documents est en général liée au dessin cartographique et diminue lorsque le nombre de paramètres analysés augmente.

III. METHODOLOGIE

Notre étude est essentiellement descriptive, et se base sur des observations directes, effectuées sur le terrain, ou indirectes par le biais de documents archivés.

La rédaction de ce mémoire est l'aboutissement et la synthèse des résultats obtenus au cours de nos recherches qui se sont déroulées en trois étapes successives :

- Le stockage des documents d'archives.
- Les études de terrain et de Laboratoire complémentaires.
- La synthèse des résultats et le dessin cartographique.

III.1. Le stockage des documents d'archives

Les données que nous avons pu recueillir, à propos des caractéristiques du sol et du sous-sol du moyen Grésivaudan, ont constitué le fruit d'une recherche dans les divers organismes, publics ou privés de la ville de Grenoble, qui nous ont permis de consulter leurs archives. Ce sont principalement les services de l'Équipement, de l'Agriculture, le Bureau de Recherches Géologiques et Minières, les bureaux d'études grenoblois

(C.E.T.B.T.P., SOCOTEC, Veritas), ainsi que les laboratoires de l'Université et le Groupe d'Étude et de Programmation (G.E.P.).

Les différentes indications obtenues, qui résultent d'études ponctuelles, ont été classées puis regroupées, selon leur nature (propriétés géotechniques, données de sondages, etc...). Elles proviennent généralement de relevés, descriptions et mesures exécutés à l'occasion de sondages ou d'essais de laboratoire.

La quantité de données est évidemment très variable selon leur nature et le type d'étude réalisée. Nous la citons par ordre décroissant d'importance et par type de mesures ; ce sont :

- + Les sondages mécaniques
- + Les sondages électriques
- + Les essais mécaniques
- + Les analyses granulométriques
- + Les essais pénétrométriques
- + Les essais de perméabilité
- + Les analyses sédimentométriques
- + Les mesures d'équivalent de sable
- + Les relevés piézométriques.

Au cours de nos enquêtes, nous avons été conduits à éliminer certains documents, ceux-ci n'étant pas archivés correctement par le détenteur. C'est ainsi que certains relevés de sondages n'ont pu être utilisés, faute d'être repérés sur un plan.

D'autre part, nous avons relié au mieux les données qui semblaient correspondre à la même formation, mais dont les descriptions variaient au gré de leurs auteurs.

Le chapitre concernant les propriétés géotechniques des roches et des sols est issu principalement des résultats des analyses et essais faits en laboratoire, par opposition à la cartographie, qui pour être suffisamment homogène, nous a conduits à mettre en oeuvre des moyens de reconnaissance technique du sous-sol.

Il est bien évident que la seule compilation de documents archivés, fussent-ils très nombreux ne suffit pas à préciser les contraintes géotechniques d'un site. Les données recueillies sont généralement inégalement réparties ; il en résulte des zones vierges de renseignements qui nécessitent des études complémentaires.

III.2. Les études complémentaires

Elles se répartissent en deux groupes = Les études de terrain et les analyses d'échantillons en Laboratoire.

III.2.a. Les études de terrain

Les thèmes d'étude choisis, de même que la quantité et la qualité des données recueillies durant la première phase, vont conditionner la nature et le type de travail que l'on effectuera par la suite. Le domaine étudié présentait une morphologie variée = versants et plaine alluviale. Nous distinguerons successivement ces deux secteurs, qui d'ailleurs font l'objet de perspectives d'aménagement différentes.

2.a.1. Les versants

Ils doivent faire l'objet de reconnaissances assez poussées, et l'étude des risques naturels y est primordiale. La pente, la nature du terrain (marnes, calcaires, dépôts récents), la morphologie, sont autant de facteurs à étudier pour la définition des risques (éboulements, avalanches, glissements, etc...). Ce travail doit débiter par l'étude des photos aériennes, permettant ainsi de limiter le parcours du terrain, par un dégrossissage des principales caractéristiques des versants (morphologie en particulier).

La rive droite de la vallée a fait l'objet de reconnaissances particulières qui nous ont conduits à parcourir certains itinéraires de la face Est de la Dent de Crolles où les éboulements de calcaires s'y produisent à cause du découpage de la roche par de profondes et larges diaclases. Ces falaises du reste doivent faire l'objet d'une surveillance permanente, car les zones d'écroulement peuvent intéresser toute la masse urgonienne ou tithonique.

Ce travail doit aussi rassembler tous les éléments historiques de l'érosion, par le biais d'enquêtes auprès des responsables et des habitants.

C'est pendant cette étude que nous avons tenté de recenser les phénomènes hydrogéologiques (alimentation des sources) qui sont spécifiques à chaque versant, et varient suivant la nature des dépôts quaternaires (moraines, éboulis).

Parallèlement, la visite de nombreuses fouilles, et coupes artificielles, nous a permis d'analyser in situ certaines des caractéristiques géotechniques et géologiques des formations décrites (stratification par exemple). C'est le cas notamment des cônes

de déjection situés au bas des versants, où actuellement se construisent de nombreuses maisons individuelles, dont les terrassements, parfois profonds de 5 à 6 mètres, multiplient les occasions d'observer le sous-sol.

2.a.2. La plaine alluviale

C'est le secteur du moyen Grésivaudan que nous avons le plus étudié, car il offre les plus grandes possibilités d'aménagement. Pour combler les lacunes que laissent subsister les documents existants, nous avons couvert les zones non encore explorées, d'un réseau suffisamment dense de sondages électriques, doublé d'enquêtes auprès des résidents.

2.a.2.1. Les enquêtes

La rencontre de divers propriétaires et constructeurs nous a apporté de nombreux renseignements, relatifs à la position de la nappe et à la constitution du sous-sol.

Ces renseignements sont toujours qualitatifs, et font presque toujours partie d'observations récentes.

C'est ainsi que nous avons pu répertorier de nombreux puits d'irrigation, forés en petits diamètres jusqu'au niveau graveleux. Ils ne font l'objet d'aucun relevé piézométrique, mais traversent les sols fins et constituent autant de sondages complémentaires.

Ces détails accumulés au cours d'observations journalières par les résidents permettent de se faire une bonne idée de certains phénomènes hydrogéologiques. A titre d'exemple, dans un secteur situé à l'Est de Crolles, nous citons le phénomène d'artésianisme qui se produit en période de très fortes pluies. On a pu observer que la nappe jaillissait au-dessus de l'orifice du forage, du fait de sa mise en charge, induite par la nature géologique des formations qu'elle imprègne. (chapitre hydrogéologie).

De même que pour les versants, l'observation de fouilles donne de bonnes indications sur la nature du remplissage alluvial superficiel, la tenue des fouilles, la perméabilité des terrains.

Tous ces détails sont à notre avis importants à rassembler car ils sont autant d'expériences ponctuelles, utilisables pour l'avenir. Leur quête s'articule très facile-

ment avec les reconnaissances techniques du sous-sol dont nous détaillons maintenant la mise en oeuvre.

2.a.2.2. La prospection géophysique

Le sous-sol de la vallée alluviale étant complexe, du fait de son remplissage au gré des crues de l'Isère, nous avons procédé à une importante campagne de prospection par sondages électriques (180 sondages ont été réalisés).

2.2.a. L'appareillage

Deux types d'appareils de prospection nous ont permis de réaliser notre projet ; ce sont :

- + L'appareil Soil Test R.40 à courant alternatif basse fréquence.
- + L'appareil construit par la firme BEVAC, modèle PB , utilisant du courant continu, et doté d'un système de compensation de la polarisation spontanée.

2.2.b. Mise en oeuvre

Notre étude cartographique, étant réalisée à l'échelle du 1/25 000, nous avons choisi une maille de sondages en rapport avec celle-ci, à savoir un espacement de 200 à 300 mètres, dans toute la mesure du possible.

Cette prospection, à elle seule, s'est déroulée sur 30 jours, mobilisant deux opérateurs confirmés.

La qualité de cette campagne, à travers les résultats de l'interprétation des sondages, dépendant en partie de la constance des conditions hydrogéologiques, notamment lors de l'exécution de ceux-ci, nous nous sommes efforcés de grouper les mesures sur deux mois. Nous avons choisi de situer cette prospection au début du printemps, époque où la végétation est peu développée, ce qui facilite les opérations. Enfin, la période hivernale précédente ayant été très pluvieuse, nous avons bénéficié pour nos investigations de terrains toujours saturés à faible profondeur, ce qui élimine la difficulté introduite par la présence d'une zone superficielle sèche.

III.2.b. Les essais en laboratoire

Ils sont effectués sur les échantillons prélevés au cours des reconnaissances sur le terrain, et complètent les données rassemblées au cours de la première phase de ce travail.

Celles-ci étaient en nombre insuffisant et ne nous donnaient aucune indication sur certains types de formations (éboulis, moraines). L'analyse de nos prélèvements a permis de compléter les résultats concernant les caractéristiques géotechniques de chaque formation (nappes de colluvions, moraines, cônes de déjection), grâce aux granulométries, sédimentométries et limites d'Atterberg effectuées au laboratoire de l'IRIGM (Domaine Universitaire de St Martin d'Hères) à partir de dix échantillons recueillis.

III.3. Synthèse des résultats et dessin cartographique

La troisième partie d'une telle étude comporte nécessairement deux phases, dont le travail doit conduire aux résultats définitifs. C'est tout d'abord la phase de synthèse et de corrélation des différentes données rassemblées ; celle-ci est suivie d'une interprétation qui détermine le type et le nombre de cartes dessinées en dernière phase.

III.3.a. Résultats - Interprétation

Avec ceux que fournissait la documentation, c'est un total de 440 sondages qui ont été analysés. Parmi ceux-ci, les résultats des 180 sondages électriques que nous avons réalisés, ont été consignés sous la forme d'un dossier de courbes de résistivités et de mesures effectuées sur le terrain, et déposé à l'IRIGM.

L'interprétation de nos mesures de résistivités apparentes a été facilitée et affinée grâce aux coupes des sondages mécaniques, plus ou moins profonds, dont nous disposions.

C'est uniquement lorsque toutes les données concernant les versants et la plaine ont été interprétées que nous sommes passés à la phase de synthèse et de dessin cartographique.

III.3.b. Cartographie

La nature et la diversité des cartes que nous proposons sont autant liées à

l'échelle qui a été choisie, qu'aux futurs utilisateurs.

3.b.1. Raisons du choix de l'échelle

Notre étude entrant dans le cadre d'un schéma d'aménagement et d'urbanisme, l'échelle la plus adaptée était le 1/25 000. En effet, la précision requise est à notre avis en rapport avec la densité des sondages et points de mesures que nous avons exécutés d'une part, et avec les types d'appareils que nous avons utilisés, d'autre part.

Les thèmes d'études qui ont été choisis intéressent des utilisateurs (urbanistes, maires, techniciens) pour qui l'échelle du 1/25 000 est suffisante. Ceci concerne aussi bien le choix de futures zones de captages, que la nature du matériel à prévoir et à utiliser lors de reconnaissances plus détaillées. Dans certaines zones, des reconnaissances au pénétromètre statique seront suffisantes, alors que là où la nature du sous-sol est plus complexe (grave, limons, etc...) le pénétromètre dynamique sera nécessaire.

3.b.2. Les documents établis

Les thèmes d'études abordés n'étant pas les mêmes sur les versants et dans la vallée, les cartes qui s'y rapportent différeront d'autant.

- Les versants -

Trois cartes (lithomorphologie, risques naturels, pentes) regroupent les données du milieu naturel utiles pour l'aménagement à long terme du moyen Grésivaudan.

- La plaine et ses bordures -

Les cartes établies sont des cartes analytiques ou de synthèse. Cette dernière est toujours partielle et concerne un thème d'étude choisi.

Les premières indiquent l'implantation des sondages, la répartition des sols fins, les résistivités apparentes du sous-sol, etc...

D'autres documents plus théoriques mais liés étroitement à la connaissance que nous avons acquise du sous-sol ont été proposés. C'est le cas de la carte de protection des eaux souterraines contre la pollution de surface.

Nous avons donné au chapitre cartographie le détail et le commentaire, ainsi que les différents buts visés par la réalisation de tels documents.

III.4. CONCLUSION

La méthode que nous avons suivie pour la réalisation de ce travail, sans être universelle, semble être bien adaptée à ce type d'étude. Elle pourra varier en fonction de la surface à parcourir, de la quantité de données recueillies dans la recherche de documents d'archives, ou bien des thèmes d'étude abordés. Les trois étapes principales que nous avons décrites doivent être à notre avis suivies dans cet ordre. Ceci afin d'éviter les pertes de temps, et d'avoir à reprendre des documents incomplets.

En ce qui concerne la réalisation des documents cartographiques, leur clarté doit rester la règle, et la superposition de figures correspondant à un grand nombre de thèmes d'étude différents, devra être évitée.

..... CHAPITRE IV

..... CARTOGRAPHIE GEOTECHNIQUE

Dans la perspective de l'aménagement du moyen Grésivaudan, cette partie de la thèse a pour but de décrire en détail les diverses investigations auxquelles nous nous sommes livrés, et aussi les contraintes imposées par le milieu naturel.

Pour chacun des domaines abordés, les résultats analytiques ou synthétiques sont présentés simultanément sous la forme d'une carte et d'un commentaire.

S O M M A I R E

Sous-Chapitre I	Géomorphologie et agents géodynamiques
Sous-Chapitre II	Lithostratigraphie du quaternaire récent de la plaine alluviale
Sous-Chapitre III	Hydrogéologie
Sous-Chapitre IV	Recherche de matériaux de carrière

Sous - Chapitre I

GEOMORPHOLOGIE ET AGENTS GEODYNAMIQUES

Dans la perspective de l'aménagement du moyen Grésivaudan, cette partie de la thèse a pour but de décrire en détail les diverses investigations auxquelles nous sommes livrés, et aussi les contraintes imposées par le milieu naturel.

Pour chacun des domaines abordés, les résultats analytiques ou synthétiques sont présentés simultanément sous la forme d'une carte et d'un commentaire.

S O M M A I R E

- Sous-Chapitre I Géomorphologie et agents géodynamiques
- Sous-Chapitre II Lithostratigraphie du quaternaire récent de la
 plaine alluviale
- Sous-Chapitre III Hydrogéologie
- Sous-Chapitre IV Recherche de matériaux de carrière

..... Sous - Chapitre I

..... GEOMORPHOLOGIE ET AGENTS GEODYNAMIQUES

SOMMAIRE

- I. Introduction
- II. La Carte lithomorphologique
- III. La Carte clinographique
- IV. La Carte des risques naturels
- V. Conclusion

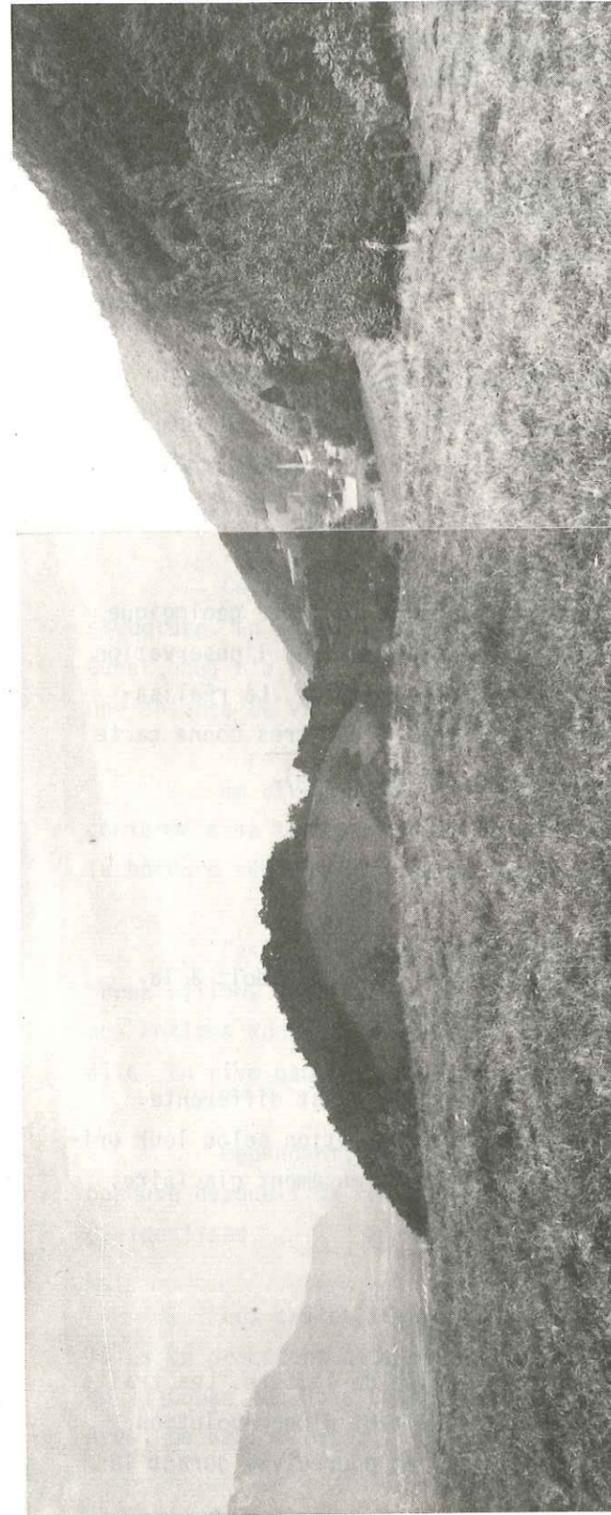
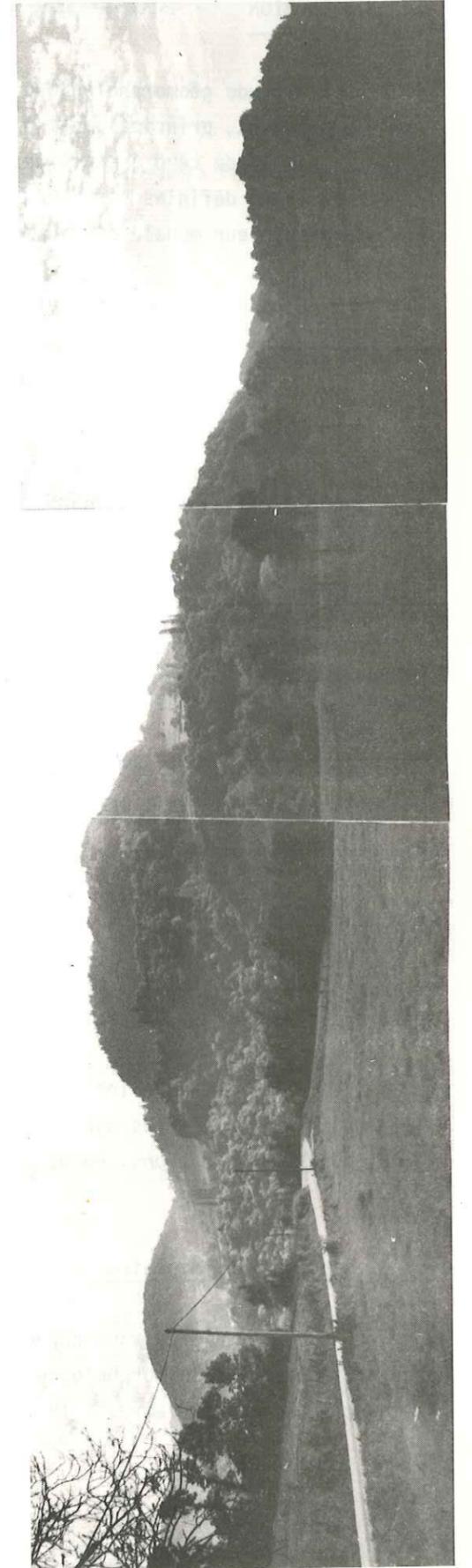


Photo 5. Sillon glaciaire isolé creusé sur le flanc gauche de la vallée.

Photo 6. Cette vue prise en direction du S.W. montre les nombreux sillons qui peuvent se succéder sur le versant gauche de la vallée, composés de séries marno-calcaires.



I. INTRODUCTION

L'étude géomorphologique apparaît aujourd'hui comme le nécessaire prélude à tout aménagement, principalement pour l'urbanisation des sites en relief accidenté. En effet, cette étude tend à expliquer, à recenser, ou à prévoir certaines des contraintes de premier rang définies par P. Antoine et J. Letourneur (1973), à savoir = La raideur des pentes et leur modelé géodynamique.

Dans notre secteur, cette étude a été effectuée pour les versants dominant la plaine alluviale.

II. LA CARTE LITHOMORPHOLOGIQUE

II.1. Réalisation

Nous avons conçu cette carte comme une simplification de la carte géologique existante, mais nuancée par des notations morphologiques, recueillies par l'observation du terrain et l'observation des photos aériennes (mission 1956 et 1973). La réalisation d'un tel document est grandement facilitée lorsqu'on dispose d'une très bonne carte géologique, ce qui était le cas (carte géologique - Domène - au 1/50 000).

II.2. Contenu

Notre carte lithomorphologique fait apparaître ce que le modelé doit à la nature des roches du sous-sol et à l'influence des agents géodynamiques.

Elle distingue les formations rocheuses dont la lithologie est différente (séries calcaires, séries marneuses), les produits meubles d'accumulation selon leur origine (cônes de déjections, éboulis, moraines), les sillons de surcreusement glaciaire.

II.3. Analyse - Commentaire

Le moyen Grésivaudan représente un tronçon de la vallée de l'Isère. Les traits non définitifs de la morphologie que nous lui connaissons résultent d'une évolution commencée dès le tertiaire, à la fin de la surrection des Alpes et poursuivie durant les

temps quaternaires à l'occasion de plusieurs épisodes glaciaires.

II.3.a. Les versants

La dissemblance observée entre les deux versants tient à la fois à la lithologie et à la structure.

La rive gauche de la vallée est composée de calcaires marneux alternant en bancs d'épaisseur variable avec des bancs marneux plus tendres. Ce sont des roches rendues moins compactes par la fracturation qui les affecte et qui sont de ce fait profondément altérées.

En rive droite, le relief est différent car le substratum, composé de séries marneuses et calcaires, offre au regard deux falaises hautes de 300 mètres pour la falaise urgonienne, et 100 à 150 mètres pour la falaise tithonique. Elles dominent chacune un talus formé dans des séries plus tendres.

Cette absence de symétrie, entre les deux versants, s'explique aussi par leur structure. En effet, le versant cartusien possède une structure inverse à pendage Nord-Ouest, qui n'a pas facilité l'érosion, au nord du vallon du Mannival, où l'on constate une absence de vallées affluentes au sillon subalpin.

En rive gauche, les formations du versant nord de Belledonne ont un pendage conforme à la topographie et de nombreuses vallées avec leurs bassins versants éventrent la bordure sédimentaire de la plaine alluviale.

Ces facteurs lithologiques et structuraux ont entraîné le creusement de nombreux sillons glaciaires. En rive droite, c'est le sillon glaciaire latéral du plateau des Petites Roches, creusé dans les marnes du Néocomien, et resté dans son état juvénile. En rive gauche, la même morphologie s'observe au contact Lias - Cirstallin.

Cependant, le sillon est ici repris et découpé en bassins (Theys), sur la bordure desquels on retrouve de nombreuses traces de dépôts glaciaires, locaux et individualisés.

Les crêtes séparant ces bassins sont échancrées de sillons secondaires parallèles au précédent déterminant des buttes séparées par des cols. Ce sont les crêtes = de la Couan, de Bois Calet, de Chazay, des Ayes et les cols de la Croix de Theys, des Ayes, de Barioz, etc...

D'autre part, de nombreux sillons d'amplitude plus faible sont observables uniquement sur le flanc nord-ouest des collines bordières en rive gauche de la vallée.

Isolant parfois de petites buttes du versant (Vautravers), ces dépressions et replats ont un axe plongeant généralement vers la vallée, et se distribuent de façon quelconque vis à vis de la nature des formations géologiques du versant.

Nous avons attribué, de même que B. Couturier et J.C. Fourneaux (1976), l'origine de ces sillons à l'action érosive des appareils glaciaires adventifs, se raccordant au grand glacier du Grésivaudan (Photo 6). L'amplitude de ces sillons peut être d'ailleurs très régulière, lorsque la pente des versants où ils ont été creusés est comparable.

Il est à noter que sur le plan de l'urbanisme ce sont ces bassins (Theys, Hurtières), ainsi que la "gouttière" de Saint-Hilaire qui sont susceptibles d'être aménagés (Photo 4).

En rive droite, immédiatement sous les deux falaises, le versant est occupé par des éboulis récents, composés d'éléments de toutes tailles. Ils couvrent des surfaces importantes, découpées par des thalwegs peu profonds, qui sont le lit de ruisseaux temporaires.

Plus bas, ces éboulis finissent par disparaître sous la végétation et se raccordent à la plaine selon des glacis réguliers.

II.3.b. Le pied des versants

Entre ces glacis ou nappes de colluvions, les autres formes d'accumulations, assurant la transition entre les versants et la plaine, sont représentées par les cônes de déjection. Ce type de dépôt se rencontre sur les deux bords de la plaine. Plus ou moins étendus et plus ou moins épais, ils supportent une très forte urbanisation, qui s'y est localisée dès l'origine parce que cela excluait à la fois les risques d'inondations par l'Isère et les difficultés opposées par des pentes trop raides.

III. LA CARTE CLINOGRAPHIQUE

Cette carte dessinée au 1/25 000 nous renseigne sur la répartition des pentes

et, par conséquent, permet de fixer les limites du domaine dont l'aménagement est possible. Ce sont principalement les bas de versant jusqu'à la zone inondable, divers replats (secteur du Touvet, Goncelin) et les sillons précédemment décrits (Theys, Plateau des Petites Roches) dans la mesure où les dépôts morainiques qui les recouvrent ne présentent pas de pentes trop fortes (dépassant 20 %).

D'autre part, cette carte des pentes entre dans l'étude des risques naturels, sachant que la mise en mouvement de certains terrains est logiquement facilitée par les fortes déclivités.

IV. LA CARTE DES RISQUES NATURELS

IV.1. Conception

Elle regroupe les travaux au 1/10 000 effectués par la Direction Départementale de l'Agriculture à la demande des Services de l'équipement. Nous avons complété les limites de risques naturels pour les communes du Touvet et de Tencin, à partir d'une étude photogéologique et de vérifications sur le terrain.

IV.2. Buts de la carte

La carte des risques naturels est un document administratif, à l'usage des maires et des services publics, permettant de restreindre l'urbanisation et l'aménagement aux seules zones qui ne sont pas soumises à un risque déclaré ou prévisible.

IV.3. Les risques naturels

Lors de l'établissement de telles cartes, les risques naturels sont regroupés en quatre catégories. Ce sont les inondations, les glissements de terrains, les crues torrentielles, les zones dangereuses qui englobent les avalanches, les chutes de pierres, les éboulements.

Cette classification a pour but de faciliter la décision à prendre lors des demandes de permis de construire. Elle comporte aussi, dans le cas des glissements de terrains, une subdivision qui différencie les glissements peu importants des glissements

importants. Ces zones sont dotées d'une réglementation particulière.

En effet, compte tenu de la complexité du milieu naturel, il est parfois difficile de dire si le risque existe, lorsqu'il n'est pas manifeste, ou bien s'il est potentiel.

Nous donnons ci-dessous le détail de la cartographie et le règlement en vigueur dans le département de l'Isère, relativement à chaque catégorie de risque.

IV.3.a. Les inondations

Le facteur de risque dans ce cas est uniquement l'eau. On distingue :

- les zones submersibles
- les zones marécageuses.

3.a.1. Les zones submersibles

a.1.1. Extension

Le risque de submersion ne se rencontre que dans la plaine. En effet, il est lié aux crues de l'Isère, et dans une telle éventualité toute la plaine alluviale peut être recouverte, principalement en raison de sa faible pente (1 ‰ environ).

Latéralement, les limites d'inondations sont fixées par le périmètre aval des cônes de déjection, ou la base même des versants.

a.1.2. Estimation du risque

Actuellement, si le risque de submersion est potentiel, il est néanmoins assez faible car de nombreux travaux d'endiguement ont été réalisés sur les deux berges du fleuve.

Ce n'est qu'à partir de 1945 que ces travaux ont été conduits de façon homogène pour lutter contre les crues dévastatrices (Couturier, 1975). D'autre part, la coupure de méandre de Bois-Français à l'aval de notre secteur a entraîné un enfoncement sensible (> 1 m) du lit mineur de la rivière. Ce phénomène est visible à l'aplomb du pont reliant Tencin à la Terrasse où de nouveaux bancs de graviers sont apparus dans le lit du cours d'eau. Cette reprise d'érosion ainsi que les nombreux ouvrages hydroélectriques barant les vallées alpines à l'amont du Grésivaudan diminuent ce risque d'inondations.

a.1.3. Réglementation d'urbanisme

Le code de l'urbanisme, applicable aux constructions, dans le département de l'Isère, interdit tout obstacle dans cette zone (constructions, haies, murs, etc...). Cependant, lorsque le projet n'entrave pas l'écoulement des eaux, des constructions sont autorisées, mais ne devront comporter que des piliers entre le niveau du sol et celui des plus hautes eaux.

3.a.2. Les zones marécageuses

a.2.1. Localisation

En dehors des limites de la zone submersible, on ne rencontre, sur le territoire de notre étude, que deux zones marécageuses. L'une se développe dans le bassin de Theys au pied du glissement de terrain du hameau des Vincents. Située sur un replat, elle correspond à la stagnation des eaux issues de la percolation à travers le matériel morainique du glissement sus-jacent.

L'autre zone, située près du cône de déjection de Villard-Bozon résulte de l'absence d'exutoire, pour l'écoulement des eaux suintant du versant, elles aussi issues d'un mouvement de terrain.

a.2.2. Réglementation d'urbanisme

Dans ce cas, il est prévu par les textes que le propriétaire s'engage à réaliser les travaux d'assainissement de son terrain avant toute construction.

IV.3.b. Les zones de débordements de torrents

3.b.1. Localisation

Elles concernent les nombreux torrents descendant du versant nord-ouest de Belledonne, ou du rebord cartusien.

Ces torrents qui alimentaient jadis les cônes de déjections en matériaux de granulométrie variable, sont aujourd'hui canalisés, pour la plupart d'entre eux. Aussi les crues, qui entraînaient des débordements dévastateurs, sont-elles maintenant beaucoup moins dangereuses.

3.b.2. Réglementation d'urbanisme

Il est permis de construire à une certaine distance du lit torrentiel (25 mètres), suivant son encaissement. Toutefois, dans certaines zones reconnues instables (divagation du torrent), la construction est interdite. Notre secteur ne présente pas de telles zones d'instabilité du lit.

IV.3.c. Les zones de glissement de terrain

Compte tenu de la complexité naturelle dans ce domaine, on n'a pris en compte que deux subdivisions qui différencient les glissements importants et de faible ampleur.

3.c.1. Les glissements importants

c.1.1. Localisation

Répartis principalement sur le versant gauche de la vallée, et au pied de la falaise tithonique, ces mouvements sont peu étendus et n'affectent bien souvent que la couverture morainique.

c.1.2. Description

Ce paragraphe n'a pas pour but de décrire en détail tous les glissements recensés, mais de préciser les principaux facteurs géologiques et géotechniques, générateurs de mouvements.

c.1.2.a. Nature géologique du terrain

Les glissements reconnus dans les bassins, de Ruche, Sollières, les Vincents ou la Frette, affectent soit la couverture morainique, soit la tranche altérée des marno-calcaires du bajocien, en rive gauche de la vallée, soit les glacis d'éboulis argileux du piedmont bordant le bas du versant en rive droite.

c.1.2.b. Morphologie

Ces mouvements montrent des bourrelets et niches d'arrachement (glissements de Ruche, les Vincents) qui indiquent parfois un remaniement important. Dans la plupart des cas la pente est forte (20 %) et l'humidité importante.

c.1.2.c. Hydrogéologie

Lorsque le glissement présente une topographie variée (replats, bosses), celle-ci est à mettre en relation avec des zones "sagneuses" ou marécageuses. En effet, conjuguée à la pente et à la nature argileuse des terrains, l'eau facilite le mouvement, ou l'entretient lorsque le drainage est inexistant.

c.1.3. Réglementation d'urbanisme

Toute construction est interdite dans cette zone.

3.c.2. Les glissements de faible ampleur

Il existe évidemment toutes les possibilités de transition d'un type de glissement à l'autre et chaque exemple est un cas particulier. En fait, du point de vue administratif, l'appréciation géologique du phénomène doit permettre de dire si une construction est possible malgré le remaniement du terrain. Dans ce cas, il sera cartographié en zone de glissement de faible ampleur.

c.2.1. Localisation

Ces phénomènes se rencontrent au pied du versant gauche de la vallée, entre La Pierre et Tencin.

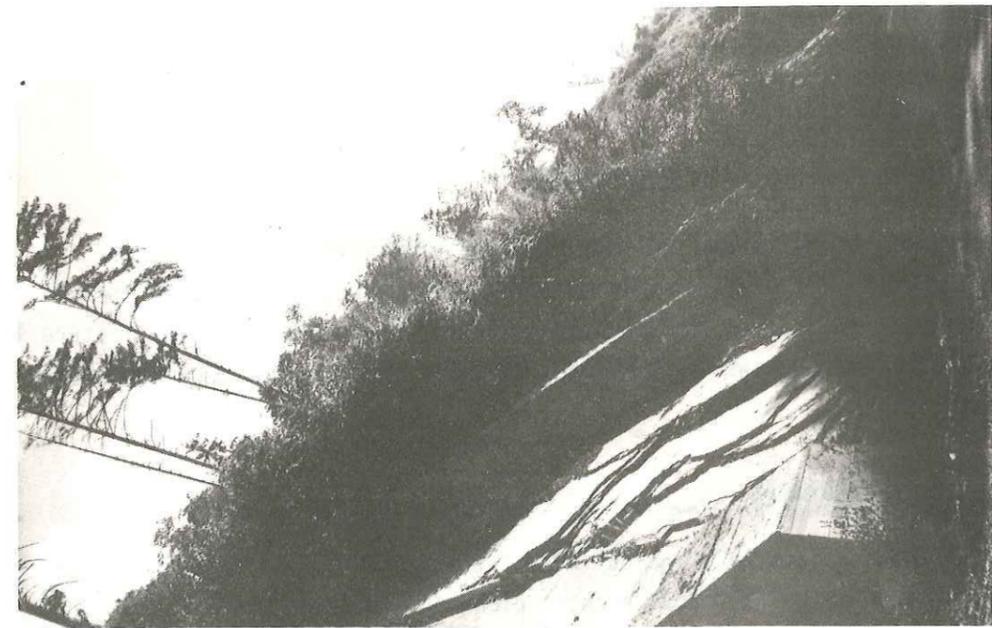
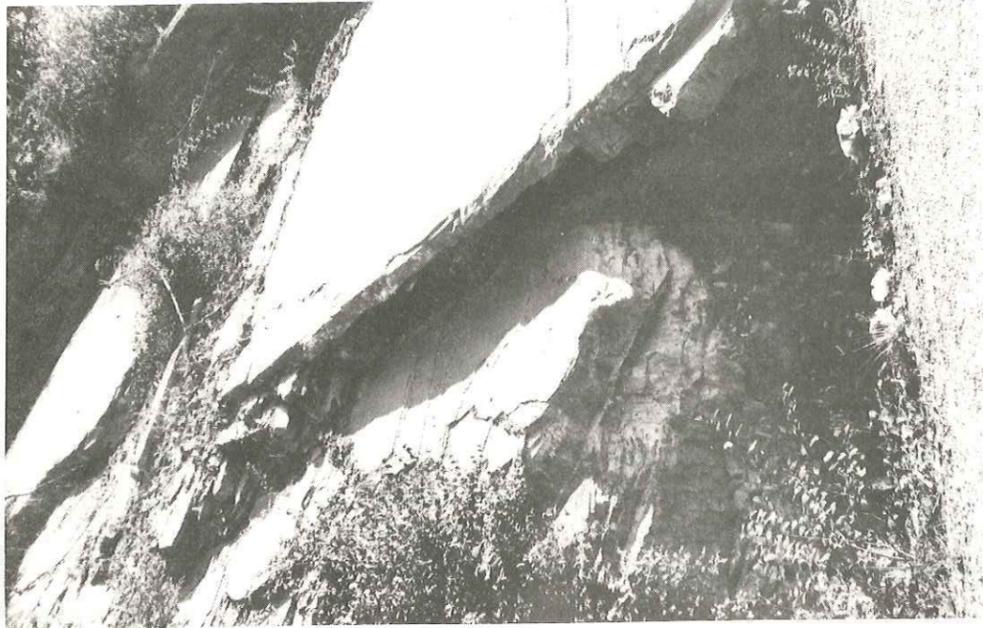
c.2.2. Description

c.2.2.a. Nature géologique du terrain

Les glissements de faible ampleur affectent la couverture d'altération des marno-calcaires du bajocien. Celle-ci est généralement peu épaisse, c'est-à-dire inférieure ou égale à 1,50 mètres. Ces mouvements semblent être la conséquence d'une rupture d'équilibre des matériaux, recouvrant le bedrock, à la suite de travaux routiers (chemins départementaux 255 et 256).

c.2.2.b. Morphologie

La pente est dans ce cas le principal agent de mouvement. Elle épouse en effet la stratification des marno-calcaires sous-jacents, plongeant fortement vers la vallée.



Photos 9 et 10. L'ouverture d'une route suffit à mettre en mouvement le versant situé en amont-talus. Le clivage bancs sur bancs ainsi que la reptation de la couverture d'altération des marmo-calcaires du bajacien a été accentué par la forte pente et le pendage conforme des formations géologiques constituant le versant gauche de la vallée. (C.D. 255 de Tencin à Hurltières).

La couverture, composée essentiellement de terre végétale, mal stabilisée par une végétation arbustive, est entraînée dans une reptation au contact de la surface structurale des bancs.

Ce glissement est accéléré par le talus amont des routes et dans certains cas (CD 255) affecte le substratum, où le clivage se fait alors bancs sur bancs. Photo n° 9

c.2.2.c. Hydrogéologie

La présence d'eau est le "dénominateur commun" de chaque mouvement. Ici, son influence est toutefois localisée aux secteurs où le contact entre couverture et surface structurale est régulier. Ailleurs, la fracturation joue le rôle de drain.

c.2.3. Réglementation d'urbanisme

Dans le cas de tels glissements, le recours à un géotechnicien agréé est prévu qui devra préciser la nature du risque et les précautions à prendre en vue de la réalisation de constructions ou de travaux de génie civil.

IV.3.d. Les zones dangereuses

Sous ce terme sont regroupées les pentes sujettes aux écroulements rocheux et éboulements, avalanches et chutes de pierres.

Cette catégorie de risques naturels peut néanmoins interférer avec les mouvements de terrains importants (risques superposés). En effet, certains secteurs de la rive gauche présentent des glissements importants en bordure des ruisseaux descendant du flanc nord de Belledonne ; affouillée, la couverture quaternaire, en général morainique, se disloque, provoquant des mouvements dangereux qui peuvent obstruer rapidement chemins et ruisseaux. C'est essentiellement la notion de dangers difficilement enrayables, sans la mise en oeuvre de travaux coûteux, qui délimite ce zonage.

3.d.1. Les avalanches

d.1.1. Localisation

Notre secteur d'étude ne s'étendant pas sur le versant nord de Belledonne, jusqu'aux zones soumises à des avalanches, c'est seulement le versant oriental de la Chartreuse qui retient notre attention. En effet, les avalanches ou coulées sont situées

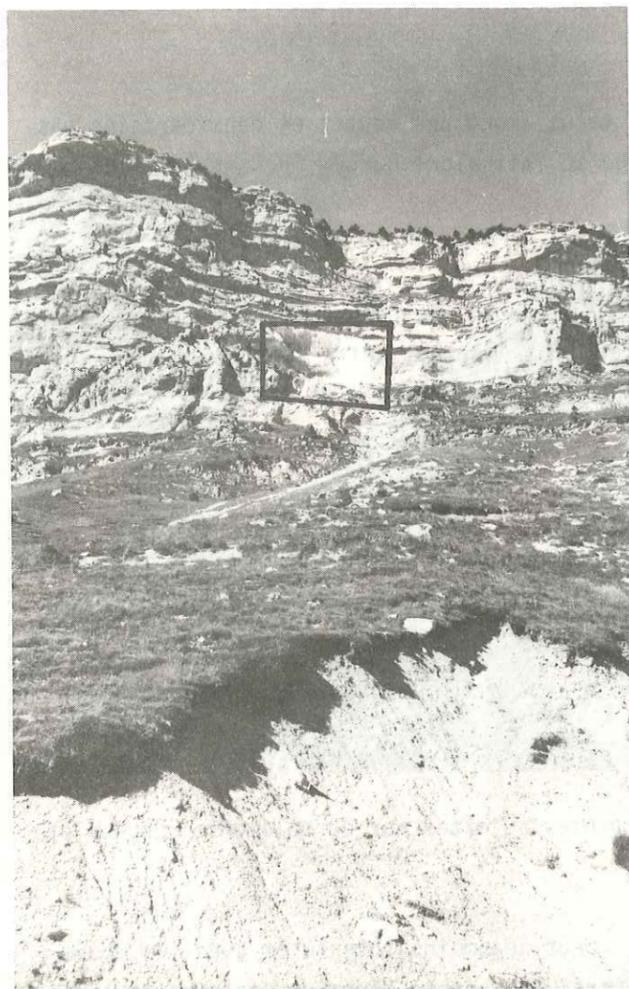


Photo ci-contre. 7. Eboulement récent dans la face Est de la Dent de Crolles. Le diaclasage de la roche a facilité cette érosion qui affecte le tiers inférieur de la falaise.

Photo du bas. 8. Après une chute de 300 mètres, les blocs ont été stoppés par les ouvrages de protection. Ceux-ci, ancrés sur des plateformes aménagées dans les thalwegs, qui entaillent les éboulis, sont constitués d'une étrave de gabions haute de 5 mètres.



sous la falaise urgonienne. Elles empruntent les nombreux thalweg qui découpent les éboulis recouvrant le versant.

d.1.2. Réglementation d'urbanisme

Toute construction est interdite dans ces zones. En marge des zones avalanches, lorsque le souffle seul peut se faire sentir, une zone particulière soumise à des sujétions de constructions peut être définie.

3.d.2. Les écroulements et chutes de pierres

d.2.1. Localisation

Ces phénomènes naturels sont le résultat de la dégradation des falaises urgoniennes et tithoniques sous l'action des agents géodynamiques externes (fracturation par le gel - dégel, altération chimique, etc...). Ces falaises hautes de 300 à 400 mètres pour l'urgonien, et de 100 à 150 mètres pour le tithonique, alimentent en permanence les glacis d'éboulis situés sur le versant.

d.2.2. Estimation du risque

Un moyen assez simple pour cette estimation réside dans le repérage en premier lieu de la position actuelle des plus gros blocs tombés dans le passé, souvent cachés dans la végétation, et pour les plus récents par le repérage de leurs trajectoires visibles. En effet, on peut constater que la pente du versant, sa morphologie, l'importance des gros blocs en pieds d'éboulis, et la présence de végétation raccourcissent la trajectoire des blocs, tandis que la nature et la fissuration de la couche dont ils sont issus influent sur leur volume.

d.2.3. Tracé des limites

Le versant rive droite est principalement concerné par ces phénomènes (écroulements rocheux, avalanches). Le talus supérieur situé sous la falaise urgonienne est entaillé de thalweg assez profonds susceptibles de canaliser les gros blocs. Il n'en est pas de même pour les pentes qui dominent la plaine alluviale. Celles-ci forment un tapis d'éboulis régulier, plus ou moins boisé, que quelques gros blocs ont entièrement franchi.

La limite des zones dangereuses doit être placée de façon à envelopper vers l'aval toutes les trajectoires déjà citées.

A titre d'exemple, signalons l'écroulement récent (hiver 1976) qui a amputé la face est de la Dent de Crolles de plusieurs dizaines de mètres cubes de calcaire. L'action du gel sur la disposition favorable des diaclases importantes a détaché plusieurs blocs volumineux (2 à 5 m³), qui, après avoir parcouru 300 mètres de dénivellation, ont été stoppés par les ouvrages de protection réalisés sur le versant. Photo n° 8.

En rive gauche, la pente est le facteur principal du risque et ce sont surtout les secteurs où elle dépasse 20 %, et les gorges des torrents qui sont inclus dans les zones dangereuses.

d.2.4. Réglementation d'urbanisme

Comme nous venons de l'exposer, il est souvent difficile de préciser les limites de la zonation dangereuse, d'autant plus que le risque est généralement potentiel. Il convient alors d'envisager la construction avec des précautions, principalement à la périphérie immédiate du zonage, celle-ci étant interdite à l'intérieur. Les cas litigieux, au voisinage de la limite, font généralement l'objet d'une étude spécifique.

Un type de protection relativement simple à réaliser consiste à creuser des banquettes dans les éboulis. Ces ouvrages doivent néanmoins être entretenus car leur efficacité diminue avec leur comblement.

V. CONCLUSION

Les versants encadrant la plaine du Grésivaudan offrent par endroits, du point de vue morphologique, de bonnes conditions pour l'aménagement, nuancées toutefois par l'existence de zones soumises à des risques naturels. Celles-ci sont maintenant assez bien connues, même si l'évolution dans le temps de certaines d'entre elles est prévisible et doit être surveillée (écroulements de pans de falaises).

La carte des risques naturels constitue la synthèse interprétative des divers facteurs que nous avons décrits. C'est un document indispensable à l'élaboration du plan d'occupation des sols de chaque commune concernée par un aménagement.

LITHOSTRATIGRAPHIE DU

QUATERNAIRE RECENT DE LA PLAINES ALLUVIALE

A titre d'exemple, signalons l'éroulement récent (hiver 1976) qui a amputé la face est de la Dent de Crolles de plusieurs dizaines de mètres cubes de calcaire. L'action du gel sur la disposition favorable des diaclases importantes a détaché plusieurs blocs volumineux (2 à 5 m³), qui, après avoir parcouru 300 mètres de dénivellation, ont été stoppés par les ouvrages de protection réalisés sur le versant. Photo n° 8.

En rive gauche, la pente est le facteur principal du risque et ce sont surtout les secteurs où elle dépasse 20°, et les gorges des torrents qui sont inclus dans les zones dangereuses.

d.2.4. Règlementation d'urbanisme

Comme nous venons de l'exposer, il est souvent difficile de préciser les limites de la zonation dangereuse, d'autant plus que le risque est généralement potentiel. Il convient alors d'envisager la construction avec des précautions, principalement à la périphérie immédiate du zonage, celle-ci étant interdite à l'intérieur. Les cas litigieux, au voisinage de la limite, font généralement l'objet d'une étude spécifique.

Un type de protection relativement simple à réaliser consiste à creuser des banquettes dans les éboulis. Ces ouvrages doivent néanmoins être entretenus car leur efficacité diminue avec leur comblement.

V. CONCLUSION

Les versants encadrant la plaine du Grésivaudan offrent par endroits, du point de vue morphologique, de bonnes conditions pour l'aménagement, nuancées toutefois par l'existence de zones soumises à des risques naturels. Celles-ci sont maintenant assez bien connues, même si l'évolution dans le temps de certaines d'entre elles est prévisible et doit être surveillée (écroulements de pans de falaises).

La carte des risques naturels constitue la synthèse interprétative des divers facteurs que nous avons décrits. C'est un document indispensable à l'élaboration du plan d'occupation des sols de chaque commune concernée par un aménagement.

..... Sous - Chapitre II

..... LITHOSTRATIGRAPHIE DU
..... QUATERNAIRE RECENT DE LA PLAINE ALLUVIALE .

.....

S O M M A I R E

- I. Introduction
- II. Méthode d'étude
- III. Technique de cartographie
- IV. Contribution à la connaissance géologique
du moyen Grésivaudan
- V. Conclusion

I. INTRODUCTION

La cartographie géologique ne peut rendre compte de la structure détaillée des remplissages alluviaux. Il apparaît donc nécessaire de la préciser, a fortiori lorsque l'aménagement et l'urbanisation sollicitent en premier lieu ces terrains.

La connaissance du remplissage alluvial sous la plaine, et à tout le moins celle de sa tranche la plus superficielle, a exigé la mise en oeuvre de moyens particuliers. Nous allons maintenant les décrire, ainsi que les résultats qu'ils ont apporté.

II. METHODE D'ETUDE

Nous avons bénéficié de l'expérience acquise au cours des études précédemment réalisées par B. Couturier (1974) et H. Margalhan-Ferrat (1975), ce qui nous a permis de pousser plus loin nos investigations géologiques.

II.1. But poursuivi

Ces recherches ont été menées de façon à préciser la géologie du sous-sol, à l'échelle du 1/25 000 correspondant aux directives d'aménagement consignées dans le S.D.A.U. de la région grenobloise.

II.2. La recherche de documents

Parmi les nombreuses données géotechniques recueillies, nous avons recensé 260 sondages de diverses natures, à savoir :

- + des sondages mécaniques
- + des sondages électriques
- + des essais pénétrométriques.

Tous ces sondages, ainsi que ceux effectués personnellement, ont été reportés sur un plan d'implantation au 1/25 000.

II.3. La prospection géophysique

Celle-ci nous a conduits à effectuer 179 sondages, répartis sur toute la plaine, selon le dispositif de la méthode électrique mis au point par Schlumberger, la plupart du temps sur base AB = 100 m.

Le matériel employé nécessite au minimum deux opérateurs pouvant effectuer en moyenne 8 à 12 sondages de ce type par jour selon les conditions atmosphériques et les difficultés du terrain.

Sans décrire ici la méthode d'interprétation des sondages électriques, supposée connue, nous rappelons quelques détails techniques qui ont facilité notre travail. Ce sont en particulier les contrastes de résistivités assez marqués entre les limons et les graves ; les dépôts fins ayant dans la plaine des résistivités assez faibles (de 15 à 60 Ω m), alors que celles des graves sont plus élevées de (150 à 500 Ω m).

II.4. Etalonnage des courbes de résistivités

Chacun sait que la méthode électrique ne prend toute sa valeur que lorsqu'elle subit un étalonnage par des sondages mécaniques. Celui-ci a été réalisable grâce à ceux, plus ou moins profonds, dont nous connaissons déjà les coupes.

Les figures n° 7 à 11 indiquent les correspondances lithologiques de sondages mécaniques avec des sondages électriques effectués à leur voisinage.

Ces courbes de résistivités reflètent assez bien la nature et la superposition des différentes formations, en particulier pour les sondages effectués sur la plaine. Ceci nous a permis d'étendre notre interprétation pour de nombreuses courbes de résistivités obtenues dans des secteurs dépourvus de reconnaissances mécaniques.

Cependant, cette corrélation devient difficile à la périphérie des cônes de déjection, où les dépôts alluviaux de la plaine alternent avec les matériaux torrentiels. Cette indentation conduit parfois à la superposition de couches de faible épaisseur et de nature différente, rendant ainsi difficile l'interprétation des courbes de résistivités de certains sondages.

La méthode électrique n'apporte dans ces cas particuliers que des renseignements qualitatifs intéressant une épaisseur assez faible du remplissage alluvial (10 mètres au maximum, compte tenu du dispositif que nous avons utilisé).

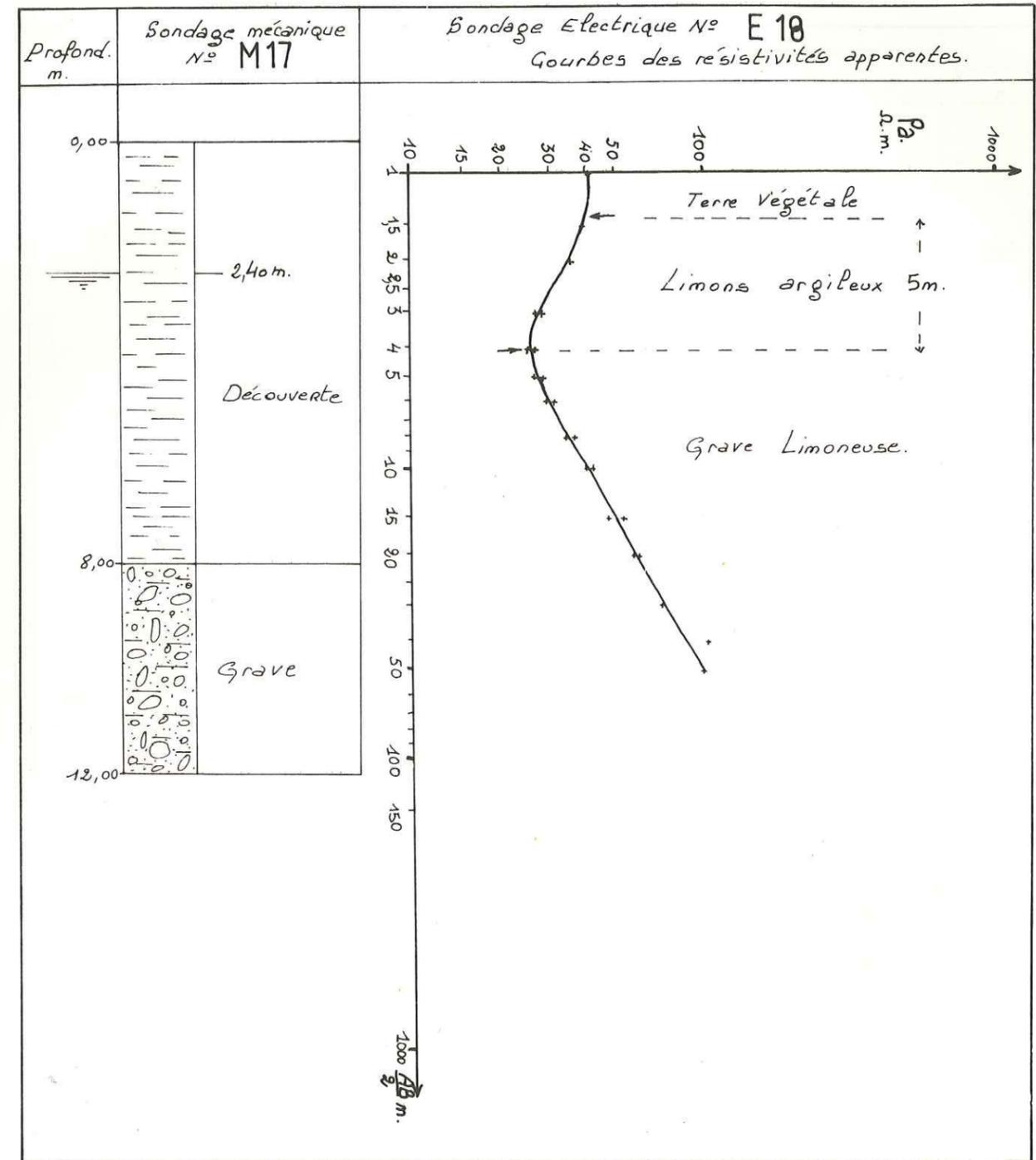


FIG. 7 Comparaison entre le log des sondages mécaniques et la courbe des résistivités apparentes des sondages électriques.

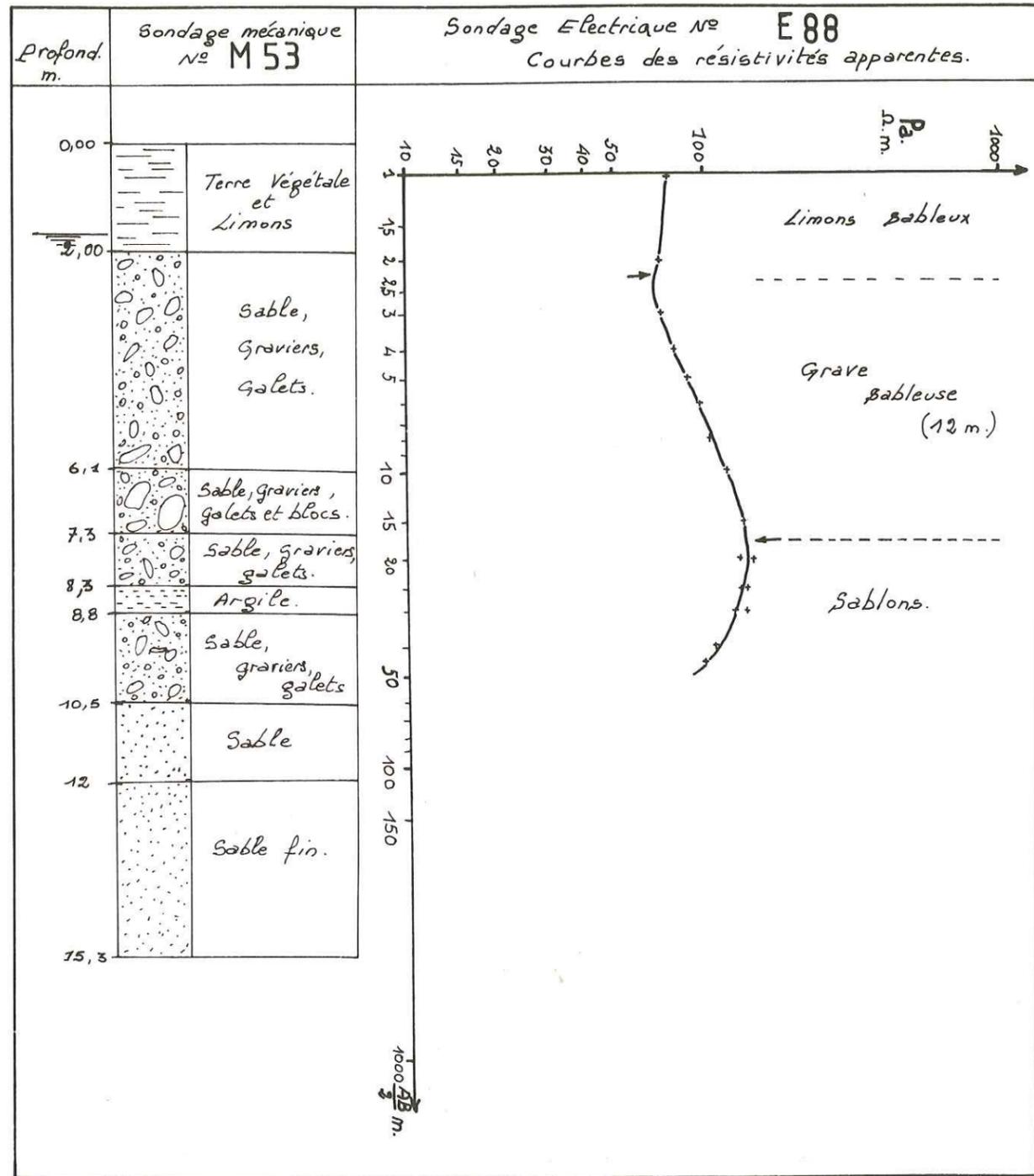


FIG. 8. Comparaison entre le log des sondages mécaniques et la courbe des résistivités apparentes des sondages électriques.

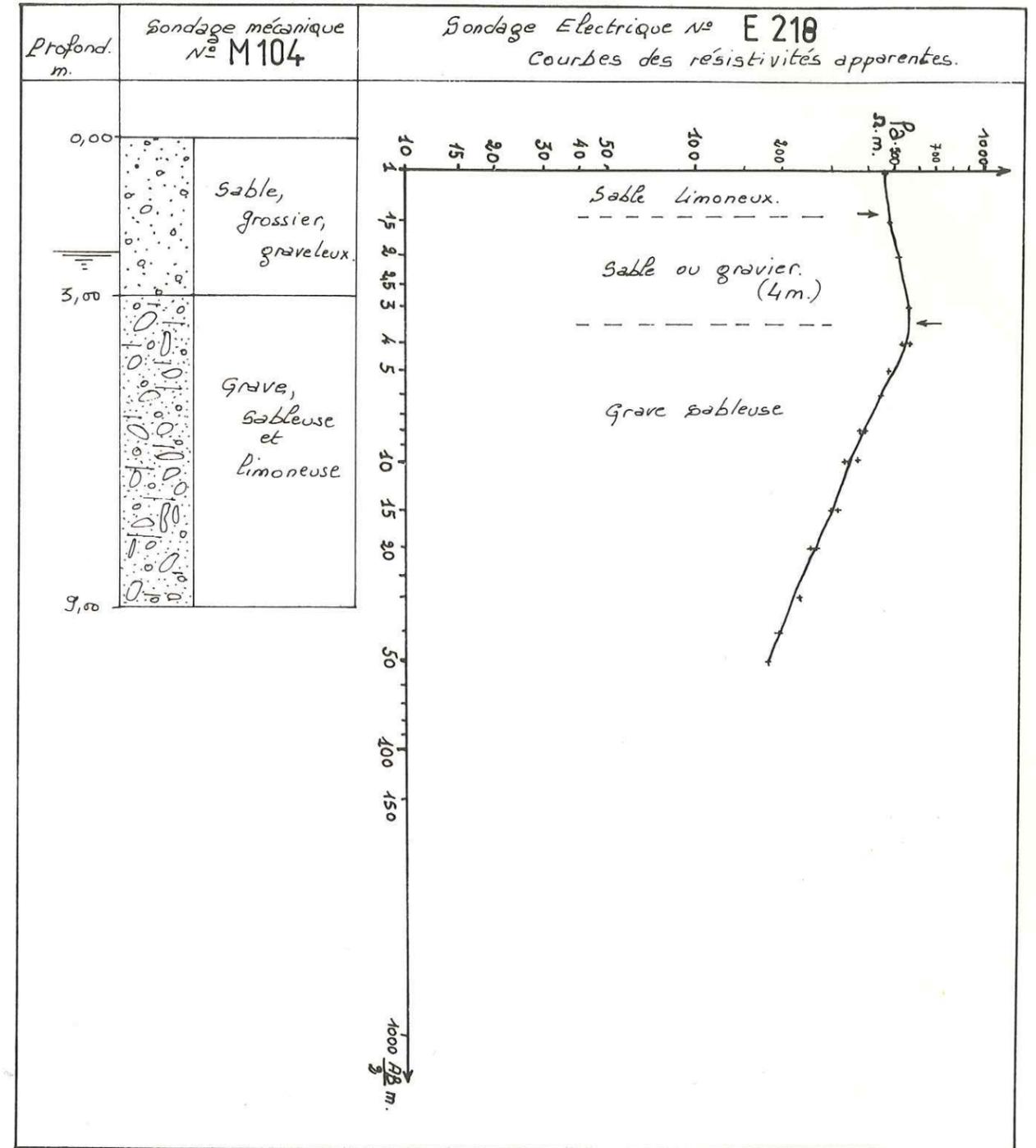


FIG. 9. Comparaison entre le log des sondages mécaniques et la courbe des résistivités apparentes des sondages électriques.

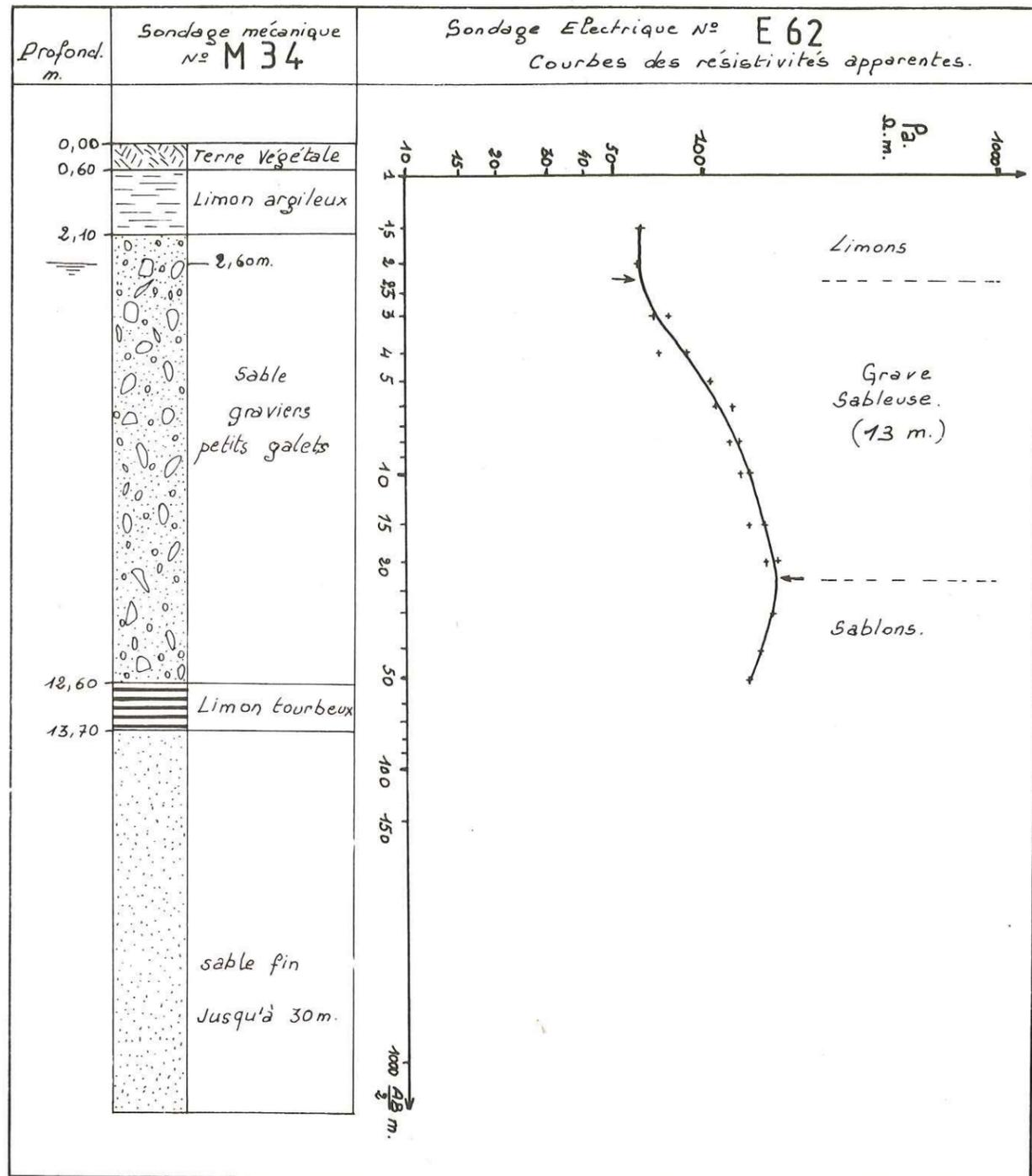


FIG.10 Comparaison entre le log des sondages mécaniques et la courbe des résistivités apparentes des sondages électriques.

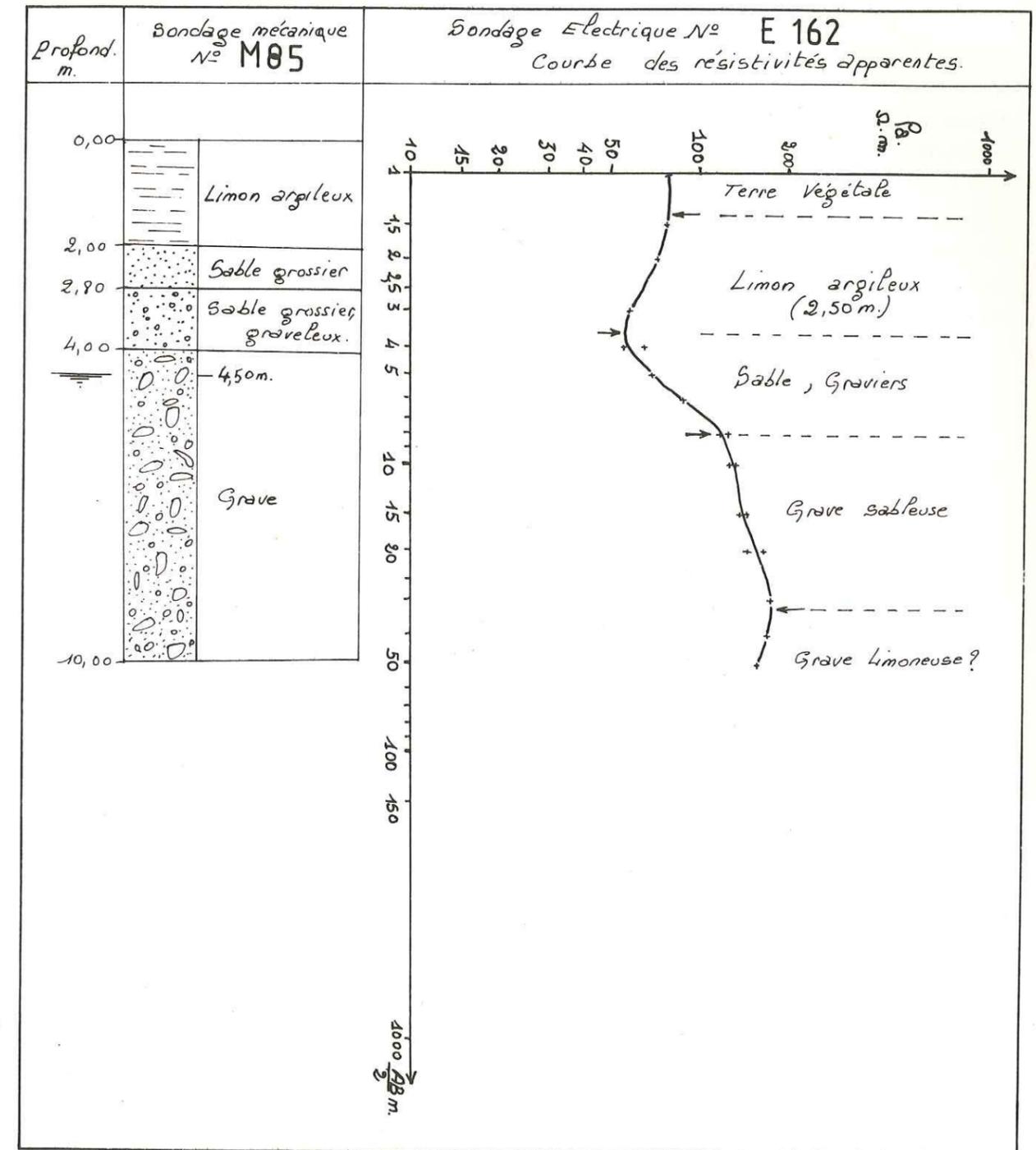


FIG.11 Comparaison entre le log des sondages mécaniques et la courbe des résistivités apparentes des sondages électriques.

Nous ne citerons ici qu'un cas très simple d'interprétation, où les résultats quantitatifs obtenus sont à rapprocher de ceux obtenus grâce au sondage mécanique.

La Figure n° 8 indique en effet que lorsque la couverture limoneuse est assez épaisse (épaisseur supérieure à 2 mètres) et repose par un contact franc sur le niveau graveleux, il est possible d'établir une bonne correspondance entre la profondeur de ce niveau graveleux et l'abscisse du premier point correspondant au changement de pente de la courbe des résistivités.

La moitié des sondages que nous avons réalisés présentent des courbes de résistivités apparentes aussi simples ; de ce fait, l'interprétation générale des sondages doit être créditée d'un pourcentage d'erreurs allant de 5 à 30 %, en particulier à la périphérie des cônes de déjection.

III. TECHNIQUE DE CARTOGRAPHIE

III.1. Le stockage des données géologiques

Pour rendre plus facile l'interprétation et la synthèse des données relatives à la lithologie de la plaine, il nous a semblé commode de reporter chaque sondage sur un plan à l'échelle du 1/10 000. A partir de chaque point matérialisant un sondage, nous avons porté sur une échelle verticale la lithologie de chacun d'eux. Chaque terrain a été systématiquement représenté par un figuré constant. Ceci à l'échelle du 1/500, afin de garder une précision suffisante, exigée pour l'établissement des coupes géologiques.

III.2. Les documents réalisés

A partir du plan au 1/10 000 contenant la lithologie du sous-sol, nous avons dessiné différentes cartes et coupes :

- une carte de répartition des sols fins
- une carte des courbes isopaques de la couverture
- une carte de la géologie de surface
- six écorchés géologiques à -2, -4, -6, -10, -15, -20 mètres
- 15 coupes géologiques selon des profils transversaux
- 1 coupe géologique selon l'axe médian de la vallée.

IV. CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE GEOLOGIQUE DU MOYEN GRESIVAUDAN

IV.1. Mode de gisement des différentes formations

IV.1.a. La couverture limoneuse

Elle fertilise toute la plaine alluviale et peut être très épaisse selon les secteurs. Il résulte de l'observation des diverses coupes géologiques, que les sols fins forment un placage régulier sur la plaine, s'épaississant fortement en rive droite de la vallée. Ils sont d'origine double, apportés soit de l'amont par les crues de l'Isère, soit latéralement par les affluents cartusiens.

Les matériaux fins des cônes de déjection bordant la vallée proviennent en particulier de l'érosion des couches marneuses du néocomien constituant le plateau des Petites Roches et des dépôts bordant les thalwegs (éboulis, moraines). Ce mélange limono-graveleux passe à des limons fins à la périphérie des cônes de déjections.

La carte de répartition des sols fins nous indique des épaisseurs supérieures à 30 mètres dans le secteur de Crolles - Les Ayes. En effet, les cônes de déjection de Bernin et de la Terrasse, dont l'extension sur les dépôts alluviaux est la plus forte, sont accompagnés par de véritables poches limono-sableuses au contact de leur flanc amont. Par leur avancée sur les dépôts alluviaux, ces cônes ont entraîné la création de zones marécageuses où se sont déposés des limons, de nature parfois organique ; les dépôts limono-tourbeux, lenticulaires et interstratifiés dans les limons bordant le flanc droit de la vallée, sont bien mis en évidence par les sondages mécaniques et électriques (ces observations sont concordantes avec celles faites par B. Couturier à l'aval de notre secteur d'étude). Le reste de la plaine comporte un revêtement limoneux plus mince lié à l'épandage des crues.

La distribution en surface de ces limons a été reportée sur la carte géologique. On peut constater que les limons graveleux et sableux dominant à l'amont, alors que les limons argileux occupent une grande partie du secteur aval. Ce fait est très certainement lié au mode d'alluvionnement de la rivière. Les matériaux plus lourds (limons graveleux) ont eu tendance à se déposer à l'amont où la vallée est plus étroite, alors que les sédiments plus fins se déposaient quelques kilomètres à l'aval où la vallée s'élargit (la vitesse du courant diminuant dans ce cas).

IV.1.b. L'ensemble graveleux

Ce terme regroupe les graves sableuses et les graves limoneuses qui forment sous la couverture de sols fins un niveau continu et régulier, reposant à son tour sur des sablons.

1.b.1. Coupes géologiques transversales

La répartition assez régulière des sondages permet de se faire une bonne idée du remplissage alluvial, en particulier des formations peu profondes.

Les coupes géologiques montrent que la base de cette formation graveleuse, loin d'être plane, dessine au contraire de nombreux chenaux, grossièrement parallèles à l'axe de la vallée.

Dans la partie amont de la plaine, la formation graveleuse présente des sillons profonds de 20 à 30 mètres. La présence de sillons, et par conséquent l'irrégularité du surcreusement de la formation sableuse sous-jacente, se rencontre dans toute la plaine. Dans le secteur de Bacon, il est possible que la grave repose directement sur les argiles bleutées, constituant le substratum du remplissage alluvial. (Coupe n° 11).

La structure du remplissage est un peu différente dans le secteur Froges - Bernin (profil n° 1), où le surcreusement des sablons semble inexistant. La formation graveleuse est épaisse en moyenne de 15 mètres.

1.b.2. Profil longitudinal (Coupe n° 16)

La puissance de la formation graveleuse diminue d'amont en aval dans l'axe médian de la vallée. En effet, son épaisseur est de 35 mètres au lieu-dit les "Corvées", elle atteint 25 mètres aux Riveaux et n'est plus que de 10 mètres aux Iles du Rafour. Ce profil met en évidence le haut fond constitué par la formation sablonneuse, dont le toit a été peu surcreusé par les épisodes glaciaires ayant précédé le dépôt des graves.

Selon Montjuvent et al. (1973), ces sablons représentent les dépôts lacustres des interstades glaciaires Würm I-II et Würm II-III. Cette distribution spatiale de la formation grossière n'est toutefois pas à étendre à tous les autres secteurs de la plaine. C'est le cas de la zone Crolles - les Charmaches où, sous une couverture limoneuse déjà épaisse (15 mètres), la formation graveleuse semble avoir comblé un surcreusement très important des sablons et peut-être des argiles. (Coupe n° 2 et 3).

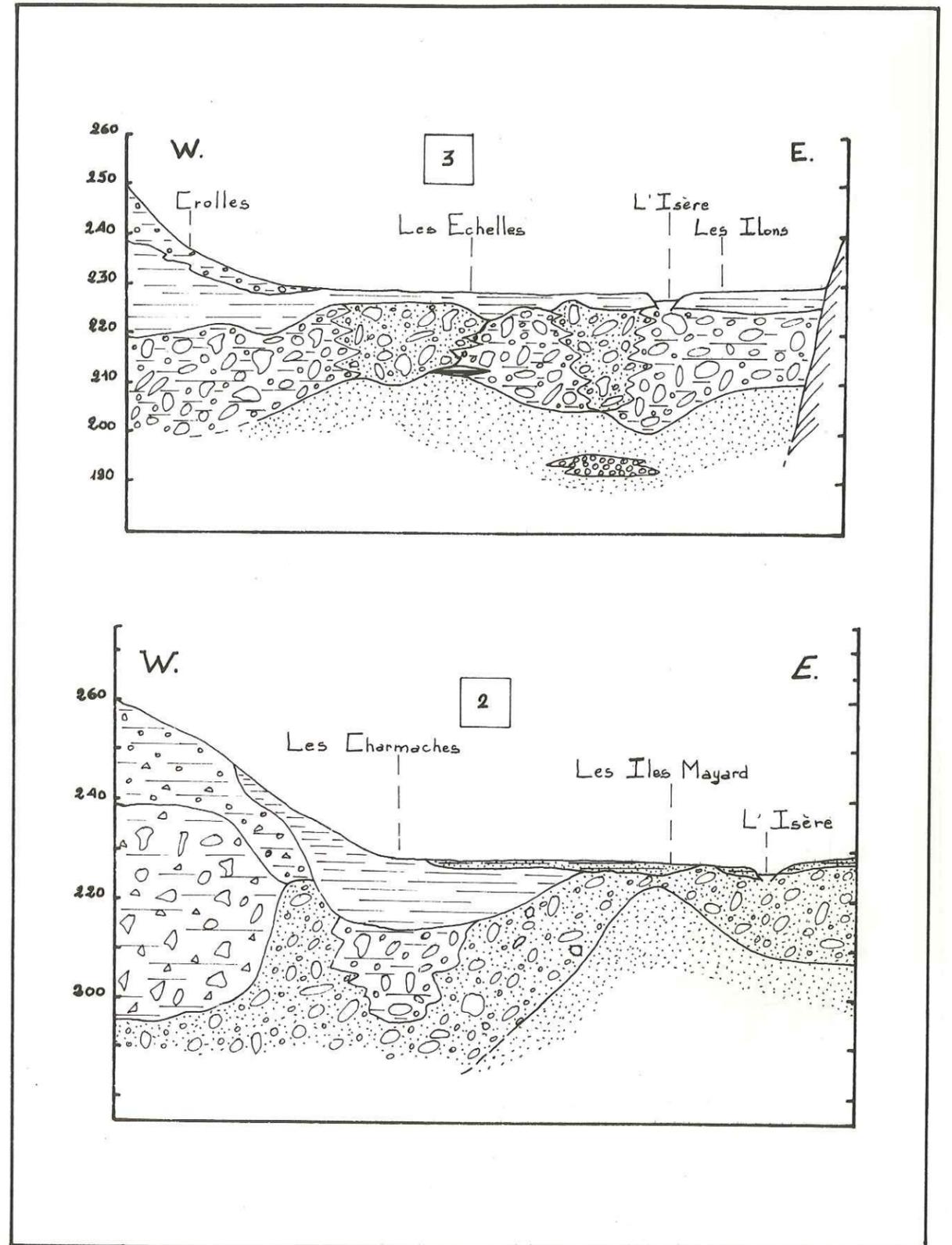
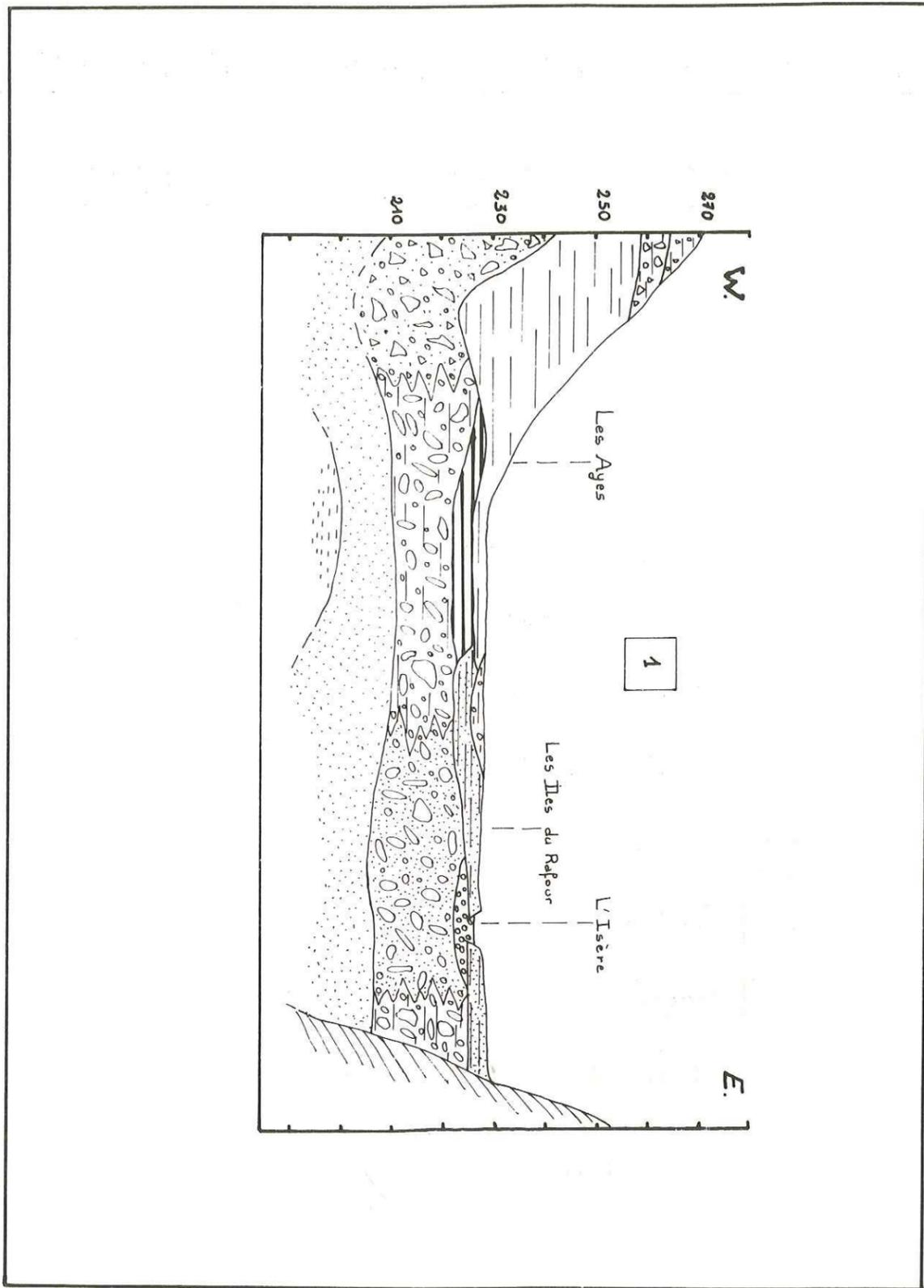
Fig. 12 COUPES GEOLOGIQUES TRANSVERSALES

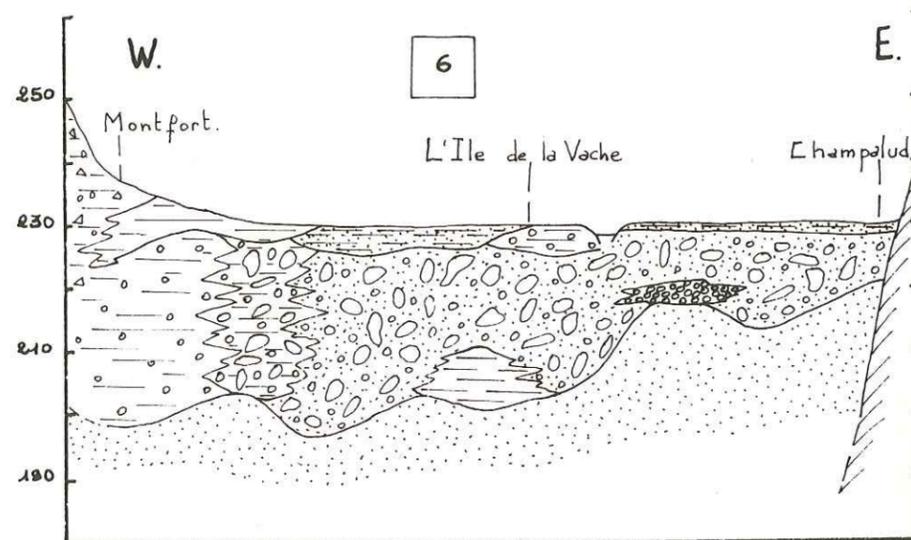
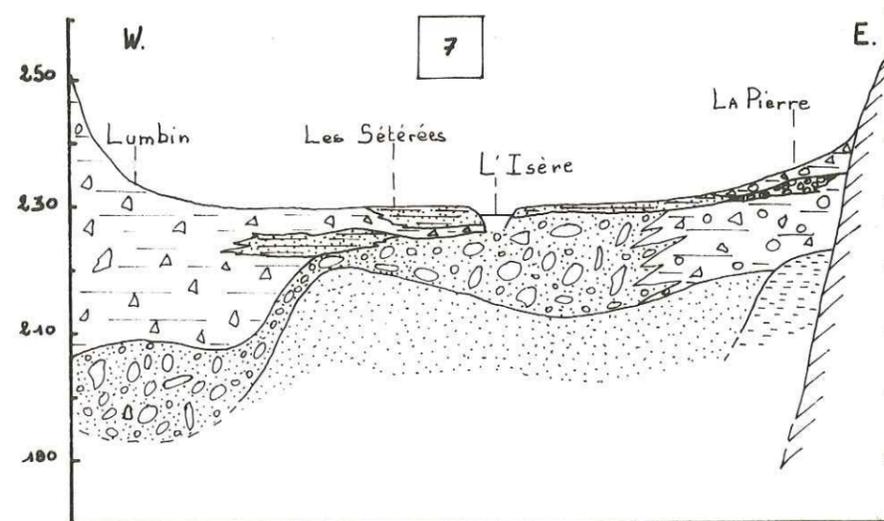
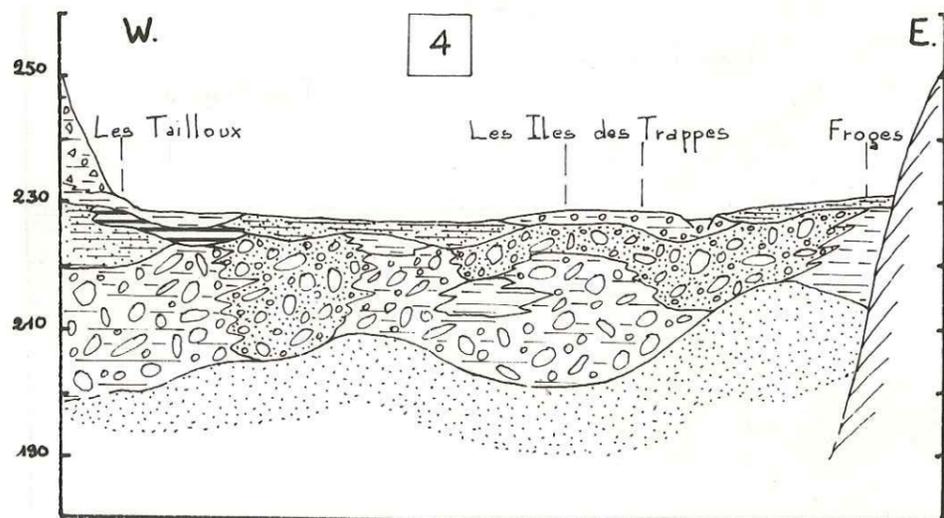
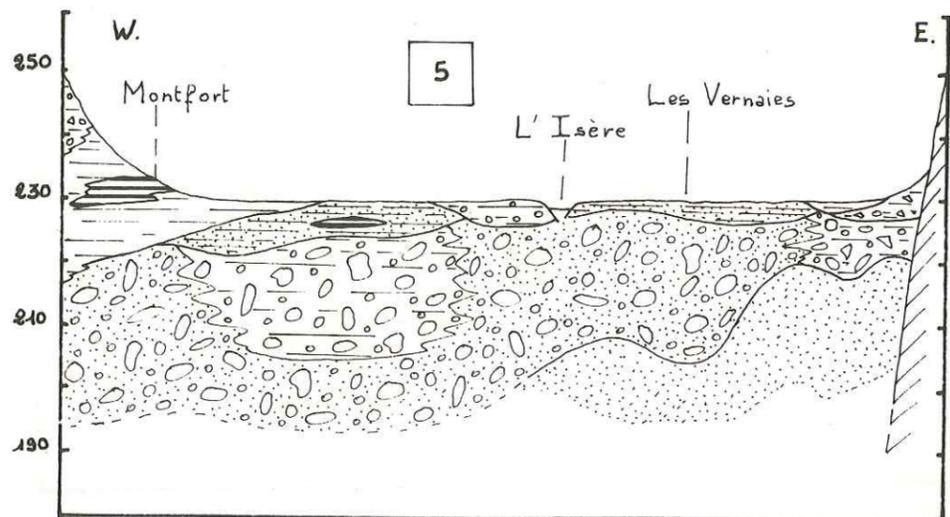
DANS LE REMPLISSAGE ALLUVIAL

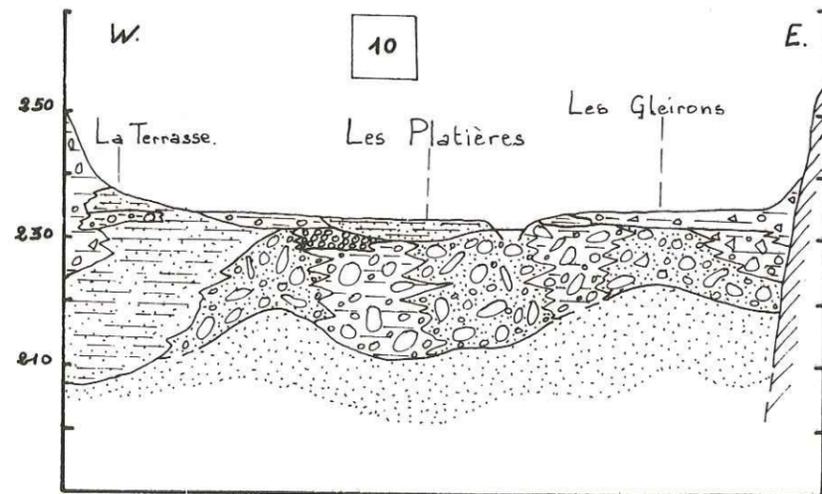
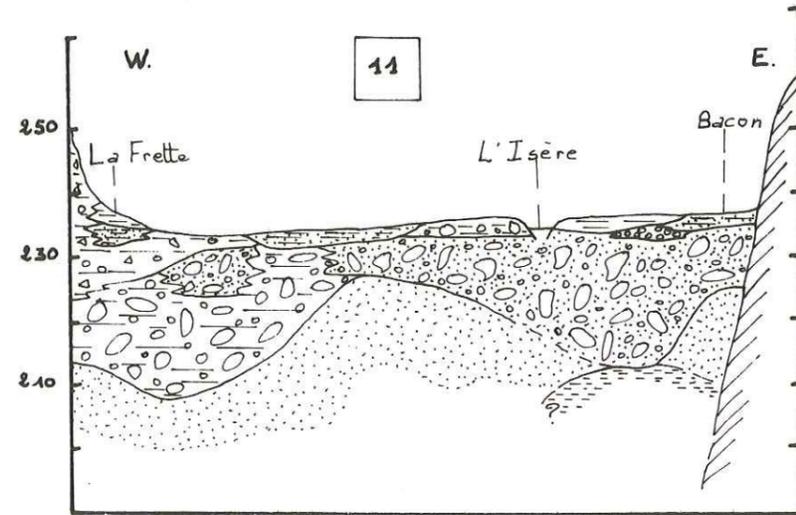
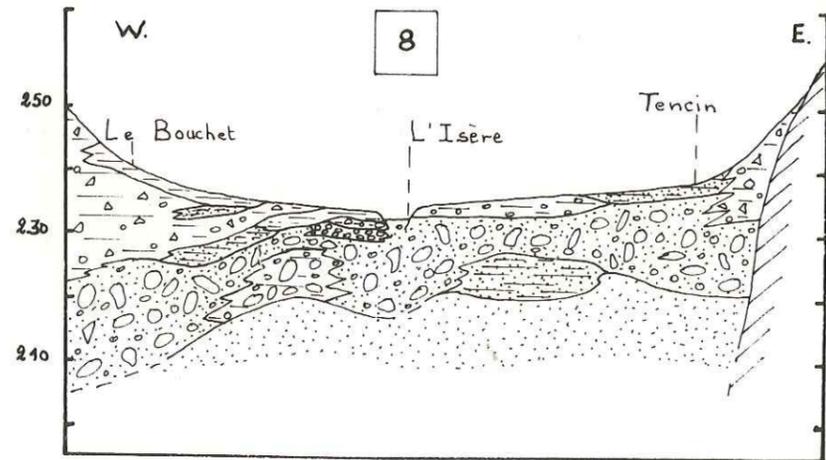
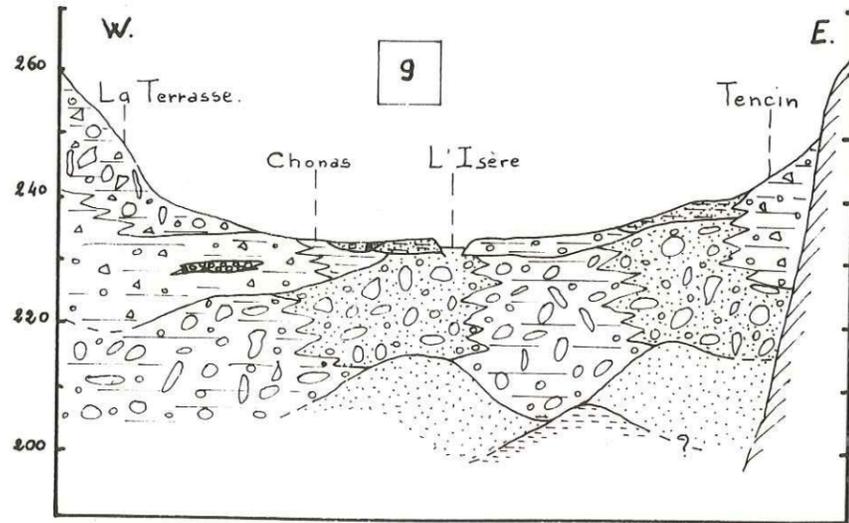
LEGENDE

-  *Limons Tourbeux.*
-  *Limons Argileux.*
-  *Limons Sableux.*
-  *Limons Graveleux.*
-  *Grave Limoneuse.*
-  *Grave Sableuse.*
-  *Graviers.*
-  *Sablons.*
-  *Argiles.*
-  *Bedrock.*

Echelle: 







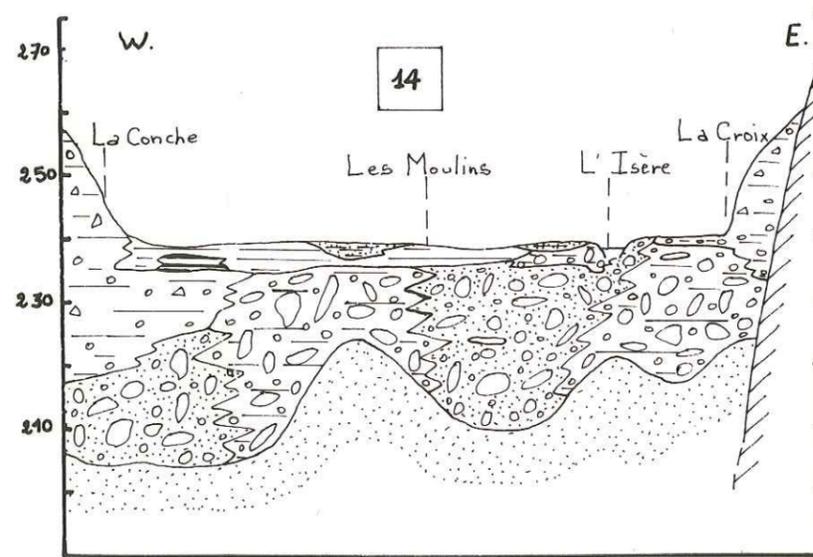
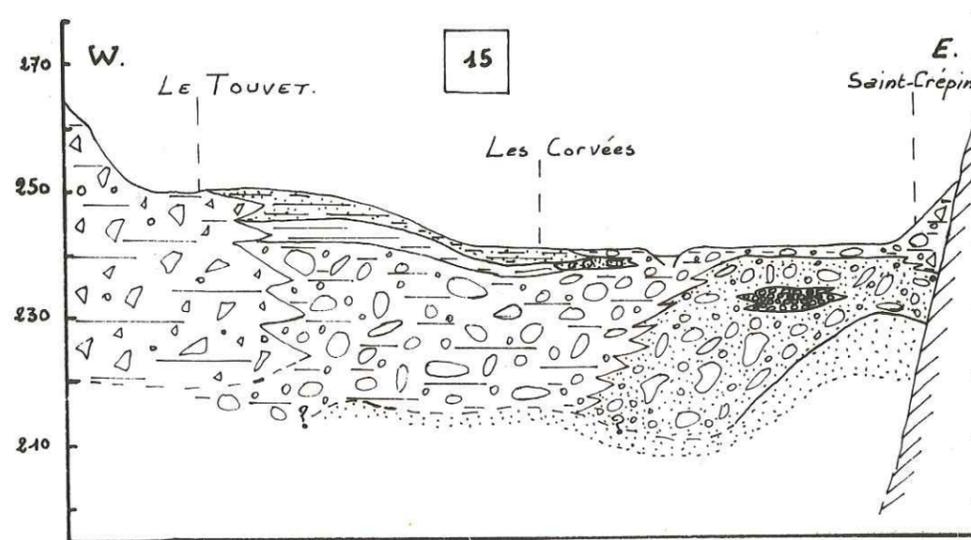
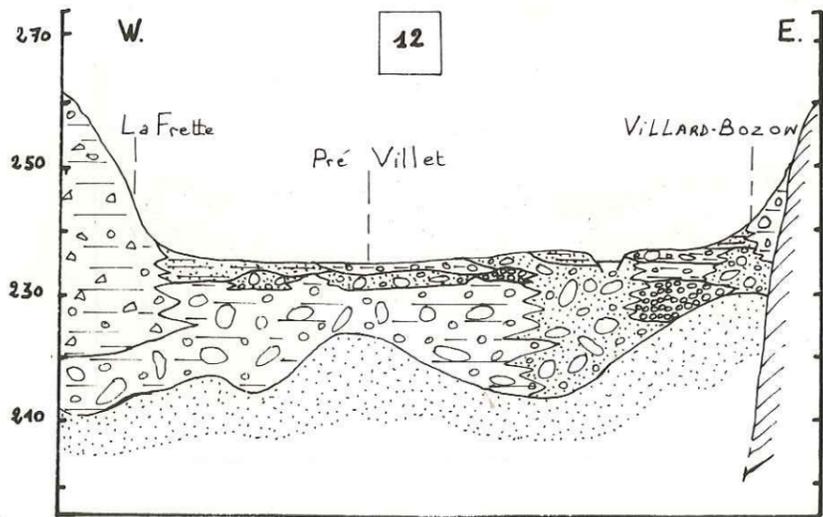
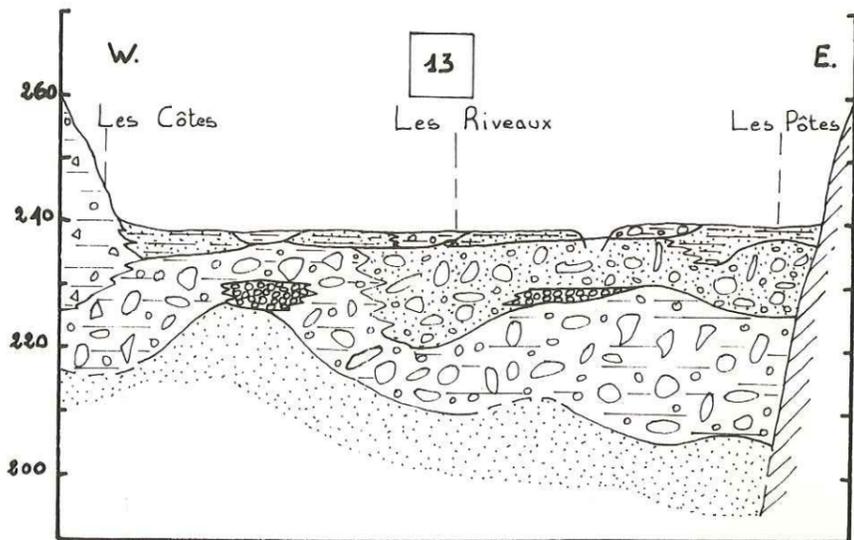
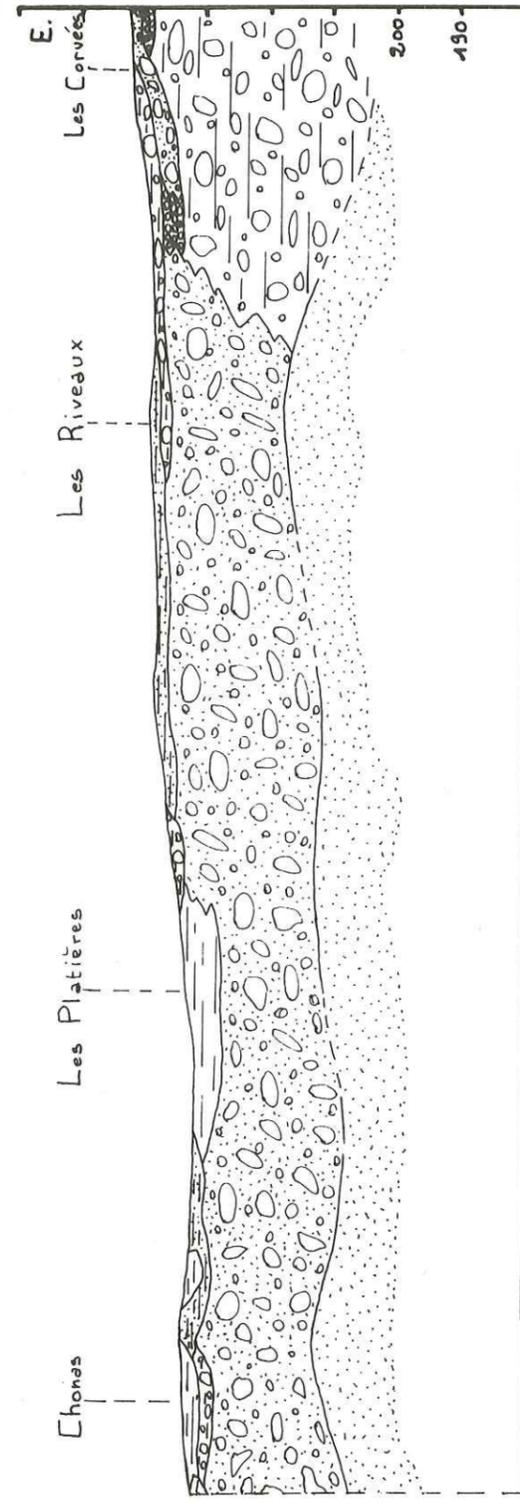
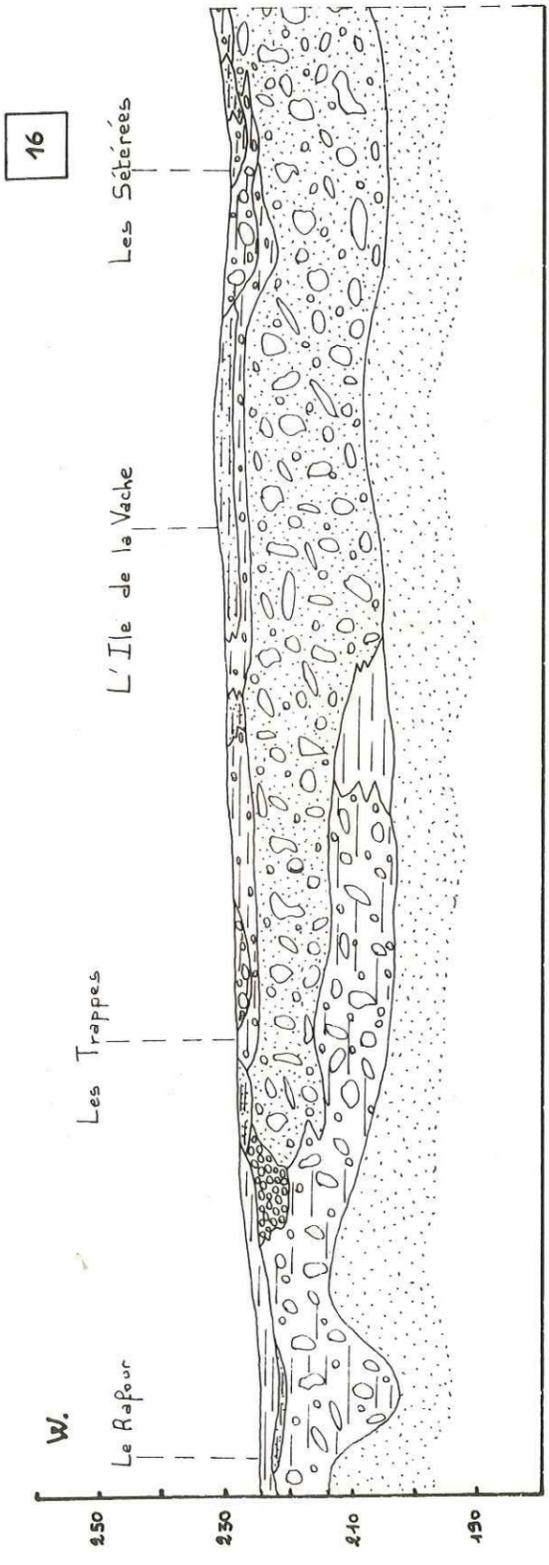


Fig.13 COUPE GEOLOGIQUE LONGITUDINALE
DANS LE REMPLISSAGE ALLUVIAL



LEGENDE

- | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------|-------------------------|
| | <i>Limons argileux.</i> | | <i>Grave Limoneuse.</i> |
| | <i>Limons sableux.</i> | | <i>Grave sableuse.</i> |
| | <i>Limons graveleux.</i> | | <i>Gravier.</i> |
| | <i>Sablon.</i> | <i>Echelle:</i> 500m. | |

IV.1.c. Les sablons

Ce sont des sables souvent argileux qui forment un horizon relativement régulier. Le toit de cette formation est néanmoins creusé de chenaux qu'épouse la grave située immédiatement au-dessus. Ils sont épais de 10 à 15 mètres à l'aval du domaine étudié (coupe n° 1) et peuvent être plus puissants. Le nombre insuffisant de sondages traversant cette formation ne nous permet pas de décrire leur extension avec précision. Il semble qu'en certains points de la plaine ils aient été surcreusés sur toute leur épaisseur et que la grave repose directement sur les argiles bleutées, elles-mêmes en partie érodées. (Coupes 2 - 11 et 7).

IV.1.d. Les argiles

De couleur gris-bleu, elles forment le substratum compact du remplissage alluvial. Leur présence a été signalée en de nombreux points du Grésivaudan grâce à des sondages suffisamment profonds. C'est ainsi qu'on les rencontre à 30 mètres de profondeur au droit de la zone industrielle de Crolles. Les sondages géophysiques que nous avons effectués semblent indiquer leur présence à 25 mètres et à 15 mètres, respectivement dans les secteurs de Bacon et entre la voie ferrée et la butte de La Pierre.

Ces faits résultant de l'interprétation des courbes de résistivités reposent sur le constat d'une brusque chute de résistivité des terrains à ces profondeurs. (Coupes n° 7, 9, 11).

D'après Montjuvent (1973) et Fourneaux (1976), ces argiles seraient le résultat de la sédimentation fine et du comblement de l'ancien lac du Grésivaudan qui occupait la vallée, depuis Rovon à l'aval jusqu'à Cevins à l'amont, pendant la phase de réchauffement interglaciaire Riss - Würm (éémien).

IV.2. Synthèse géologique

A la suite de notre étude, nous pouvons esquisser l'histoire du remplissage alluvial superficiel.

Selon G. Montjuvent et J.C. Fourneaux (1973), parmi les derniers glaciers ayant occupé la vallée de l'Isère, seul le glacier du Würm II a érodé le remplissage alluvial jusqu'aux argiles compactes ou argiles d'Eybens.

Dans le secteur de Crolles - les Charmaches, l'érosion glaciaire a créé un

véritable ombilic à l'amont de la butte des Drogeaux, qui constituait un obstacle à l'avancée du glacier.

Ce surcreusement a une importance considérable dans la distribution et la répartition des dépôts post-würm, car les zones très surcreusées comblées par les dépôts grossiers de l'Isère constituent autant de chenaux et réservoirs de matériaux ou d'eaux souterraines, exploitables aujourd'hui.

L'érosion post-glaciaire des versants a entraîné de très grands épandages aux débouchés des chenaux d'écoulement torrentiels. Ces épandages (cônes de déjection de Craponoz, la Terrasse, etc...), composés de matériaux très fins à la périphérie des cônes, s'intriquent de façon très complexe avec les limons de débordement de l'Isère. Cette période post-würm, par la nature de ses dépôts, est celle qui influence le plus l'utilisation que l'on peut faire actuellement du sol et du sous-sol (importance des aquifères, difficultés dans la fondation d'ouvrages liées à la variété des couches de sols fins, etc...).

V. CONCLUSION

Ce chapitre précise les données géologiques relatives à la connaissance actuelle du sous-sol du moyen Grésivaudan.

Nous avons pu constater que la formation des sables a été surcreusée par les glaciers du Würm de façon très irrégulière. Celle-ci pouvant être complètement érodée dans certains secteurs (La Pierre). D'autre part, l'érosion glaciaire suit la règle du surcreusement préférentiel (ombilic) à l'amont du verrou (butte des Dogeaux) dans le secteur de Crolles.

Les dépôts grossiers qui recouvrent ces sablons sont toujours très épais (puissance supérieure à 10 mètres) et augmentent sensiblement d'épaisseur d'aval en amont, en particulier dans la zone centrale de la vallée, ceci s'expliquant par un alluvionnement tributaire de la géométrie de la vallée. De même, les dépôts fins de surface sont toujours plus épais à l'aval, en particulier en bordure du versant droit où ils s'ajoutent à ceux amenés par les torrents cartusiens.

S O M M A I R E

- I. Introduction
- II. Etudes antérieures
- III. Intérêt de la méthode électrique dans la recherche des eaux souterraines de la plaine alluviale
- IV. Hydrogéologie des versants
- V. Carte de vulnérabilité des eaux

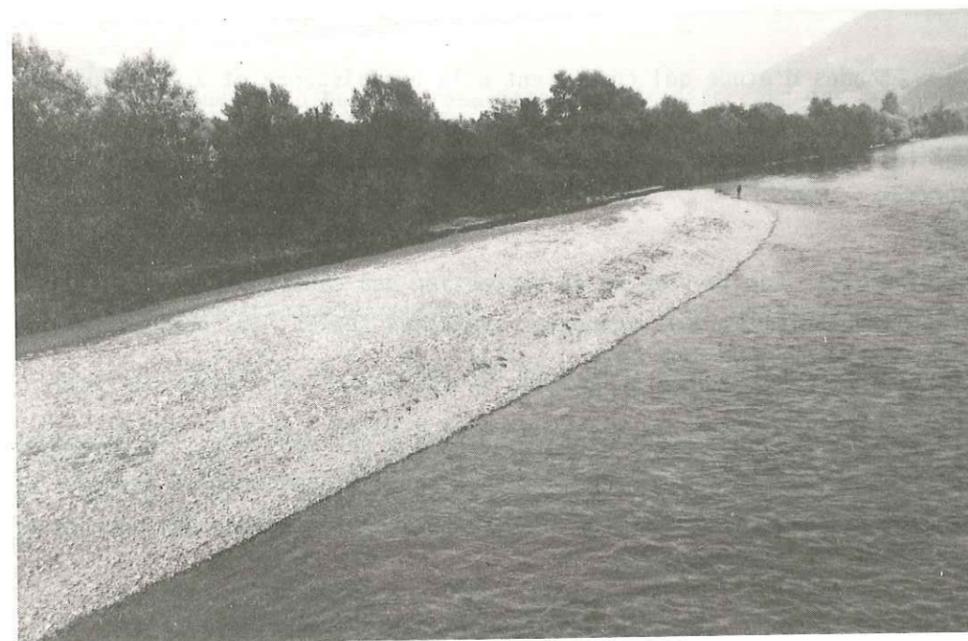
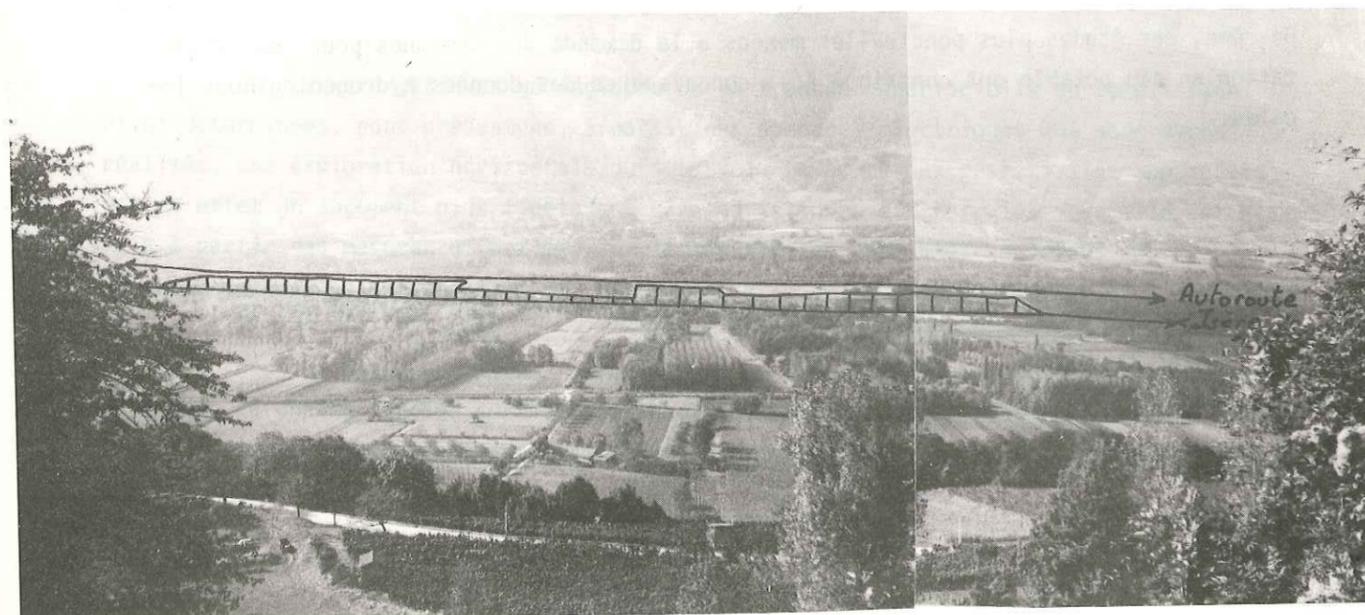


Photo 11. Les travaux effectués à l'amont de Grenoble ont entraîné un enfoncement du lit de l'Isère. Cette vue prise vers le N-E montre un banc de gravier dans le lit mineur, apparu à la suite de cet enfoncement au niveau du pont reliant Tencin à La Terrasse.

Photo 12. Cette photo montre l'importance des emprunts de matériaux effectués en bordure de l'Isère. (Surcharge). Ici la nappe remplit l'excavation, créant un lac dont la vocation touristique nécessite une protection à l'amont ; celle-ci peut se traduire par des aménagements non polluants. (La Terrasse).



I. INTRODUCTION

Les méthodes d'étude qui conduisent à la connaissance et à l'évaluation des ressources en eaux souterraines d'un secteur donné sont fort complexes. Elles permettent de déterminer les caractéristiques des aquifères, de façon à conduire une exploitation rationnelle.

D'autre part, sur le plan de la protection des eaux souterraines, l'implantation urbaine ou industrielle, doit respecter certaines règles, que cette connaissance permet d'édicter suffisamment tôt, afin d'éviter tout litige ultérieur.

Les travaux que nous avons exécutés visaient ces deux buts, et permettent de proposer des recommandations pour le choix des zones où l'exploitation des eaux rencontrera des conditions favorables, et pour les limites ou précautions qui devront être respectées à l'occasion de l'aménagement.

Nous avons établi diverses cartes qui localisent l'implantation des sondages électriques et mettent en évidence les zones les plus favorables à l'exploitation des eaux souterraines, ainsi qu'une carte de protection de la nappe alluviale contre la pollution de surface. Nous précisons aussi dans ce chapitre quelques caractéristiques hydrogéologiques relatives à la couverture quaternaire des versants.

II. ETUDES ANTERIEURES

Les études de J.C. Fourneaux, 1968 et (1976), sur la nappe alluviale du Grésivaudan ont permis d'évaluer les ressources disponibles, son écoulement, son alimentation. De même, des études plus ponctuelles menées à la demande des communes pour leur alimentation en eau potable ont contribué à la connaissance des données hydrogéologiques locales.

III. INTERET DE LA METHODE ELECTRIQUE DANS LA RECHERCHE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA PLAINE ALLUVIALE

De mise en oeuvre rapide et peu coûteuse, la méthode de prospection électrique

nous a permis de caractériser les principales formations géologiques constituant les 30 premiers mètres du remplissage alluvial.

Cette méthode qui donne des résultats quantitatifs dans les cas simples de superposition des formations, permet de localiser les zones de résistivités semblables et de les comparer entre elles lorsque le remplissage devient complexe.

III.1. La recherche des zones exploitables

Dans une nappe, les conditions de pompage ne sont pas égales en tout point. L'exploitabilité maximale se rencontre dans les zones où le remplissage alluvial présente la transmissivité la plus élevée, c'est-à-dire dans les zones qui sont les plus perméables, pourvu qu'elles présentent en même temps une puissance aussi élevée que possible.

La formation graveleuse du secteur étudié présente toutes les qualités requises pour recevoir des ouvrages d'exploitation ; celle-ci possède en outre des chenaux à perméabilité plus élevée, correspondant aux anciens lits de l'Isère. Nous ferons donc une distinction entre la grave sableuse et la grave limoneuse.

III.2. Carte de résistivités apparentes

III.2.a. Le trainé électrique

Le remplissage alluvial (décrit au chapitre précédent) présente une couverture limoneuse dont l'épaisseur varie en moyenne de 1 à 8 mètres, excepté en rive droite où la puissance des sols fins dépasse 20 mètres selon les secteurs, et en divers points de la plaine où le niveau graveleux sous-jacent affleure.

Les caractéristiques géologiques de la tranche superficielle du remplissage étant déterminées, nous présentons, à partir des sondages électriques que nous avons réalisés, une exploration horizontale du sous-sol. La carte des résistivités apparentes est en effet un document plus fidèle aux caractéristiques des terrains, car elle est établie à partir des mesures effectuées sur le terrain, et entachées seulement des erreurs de manipulation des appareils.

Dans ce but, nous avons reproduit sur un plan les valeurs des résistivités apparentes, de chaque sondage correspondant aux mesures du trainé électrique employé (carte des résistivités apparentes en AB = 60 m).

D'un point de vue théorique, la profondeur d'investigation obtenue par sondage électrique correspond en principe au quart de la longueur de ligne employée avec un quadripole Schlumberger. Cette notion est à employer très prudemment lorsqu'on ne possède aucune donnée sur le sous-sol prospecté. Pour notre étude, nous avons choisi le quadripole AB = 60 mètres, connaissant assez précisément l'épaisseur de l'horizon graveleux, et sa continuité latérale et longitudinale.

Le but de la carte est de mettre ainsi en évidence les variations de résistivités apparentes au sein du niveau graveleux à une profondeur d'environ 15 mètres.

Les courbes d'équirésistivités délimitent des zones homogènes ou supposées homogènes qui, en première analyse, font apparaître un chenal central, parallèle à l'axe de la vallée, à hautes résistivités apparentes (200 Ω m) bordé par deux bandes à résistivités apparentes plus faibles, la transition étant cependant continue.

Dans le commentaire de cette carte, nous allons distinguer deux régions situées de part et d'autre d'une ligne Tencin - La Terrasse.

III.2.b. La zone aval

Deux faits apparaissent à la lecture de cette carte, à savoir :

- la rive droite présente de faibles résistivités apparentes (30 Ω m) dues à la nature limoneuse du remplissage,

- la rive gauche, par contre, laisse transparaître, par des secteurs à résistivités apparentes nettement plus élevées (180, 200 Ω m) un remplissage plus grossier, à gros galets, notamment à l'aplomb des cônes de déjection. Cette analyse concorde avec les observations de surface, et permet de dire que ceux-ci possèdent une bonne perméabilité (10^{-3} m.s).

III.2.c. La zone amont

Elle diffère sensiblement de la zone précédente par un alignement parallèle à l'axe de la vallée, et régulier, des zones à fortes résistivités apparentes (P_a supérieure à 150 Ω m). Celles-ci se répartissent dans la plaine de la Conche et de part et d'autre de l'Isère entre la voie ferrée et le canal de Chantourne.

Le trainé électrique permet aussi d'avoir une indication de la nature argileuse ou graveleuse des matériaux constituant les cônes de déjection de ce secteur.

Les bassins versants des ruisseaux de Goncelin et de Villard-Bozon se développent essentiellement dans les formations marno-calcaires du bajocien ; les dépôts qui résultent de leur érosion semblent être assez limoneux, comme en témoignent les valeurs des résistivités apparentes (70 à 100 Ω m) obtenues par les sondages. Nous attribuons ce fait au mode d'alimentation des cônes, qui présente de grandes différences avec le secteur aval précédemment décrit où les apports des torrents sont constitués de gros galets de roches cristallines arrachés aux moraines qui couvrent leurs bassins versants.

En rive droite, le trainé électrique met en évidence des zones à fortes résistivités (220 Ω m) dans la partie centrale de cônes de déjection (La Terrasse). Bien que nous n'ayons pas de sondages mécaniques dans ce secteur permettant de définir avec exactitude la nature des terrains, nous pensons qu'il s'agit-là de chenaux caillouteux, certainement très perméables et emballés dans le matériel de déjection.

III.3. Le zonage d'exploitabilité

La plus grande exploitabilité de la nappe imprégnant le niveau graveleux se rencontre d'une part dans les chenaux gravelo-sableux à résistivité apparente forte, mais aussi là où ces chenaux sont les plus profonds. L'intervention simultanée de ces deux grandeurs permet de définir le zonage de forte transmissivité.

C'est uniquement cette grandeur que nous considérons car, à la différence des gisements de matériaux dont nous développons l'étude au chapitre suivant, l'épaisseur de la couverture limoneuse joue dans ce cas un rôle protecteur, d'autant qu'elle est plus épaisse.

Le zonage dont nous avons reporté les limites sur la carte des résistivités apparentes, tient compte de ces divers facteurs. De façon à garder une certaine protection naturelle des eaux souterraines, vis à vis d'une pollution de surface, nous avons restreint ce dernier aux secteurs présentant une couverture limoneuse supérieure ou égale à un mètre. (La notion de protection des eaux souterraines sera développée dans le dernier paragraphe de ce chapitre).

Nous avons défini quatre zones répondant aux exigences ci-dessus, où l'exploitation semble rencontrer les conditions les plus favorables. Ce sont d'amont en aval :

. Une zone caractérisée par un ancien méandre de l'Isère et s'étendant à l'aval du cône de déjection du Touvet ;

. Une zone allant des Corvées aux Moirons et bordée par la voie ferrée et

le canal de Chantourne ;

. Une zone comprise entre les cônes de déjection de La Pierre et de Tencin. (Celle-ci porte déjà routes et habitations, ce qui peut en diminuer l'intérêt) ;

. Une zone allant des Iles du Fay aux Iles du Rafour, limitée en rive droite par le Canal de Chantourne et en rive gauche par la voie ferrée. Ce secteur peut être restreint à une bande dont la largeur est définie par celle du coude de l'Isère.

Ce zonage concernant le choix des secteurs de la plaine où l'exploitation des eaux souterraines est favorable, pourra être réduit car il peut interférer avec celui relatif aux emprunts de matériaux.

IV. HYDROGEOLOGIE DES VERSANTS

Ce paragraphe a pour but de préciser la nature des ressources en eaux, exploitées actuellement et exploitables dans l'avenir, sur les versants de la vallée. Nous nous intéresserons principalement au mode de gisement des sources du versant rive droite, car ce dernier est le plus sollicité du point de vue de l'urbanisation.

Bien que la structure géologique d'ensemble soit la même, l'origine des sources est quelque peu différente lorsque l'on considère les griffons de la bordure de la plaine alluviale, ou bien ceux du piedmont de la falaise urgonienne, dont les eaux sourdent aux abords du plateau des Petites Roches.

IV.1. Le bas du versant (rive droite)

Depuis de nombreuses années, les sources les plus intéressantes ont été captées le long de la plaine alluviale, lorsque celles-ci émergeaient au-dessus des habitations, permettant ainsi l'alimentation par gravité.

Toutefois, la population augmentant rapidement depuis quelques années, les villes de Crolles et Lumbin notamment ont été amenées à diversifier leur mode d'approvisionnement par des pompages dans la nappe de la plaine.

Que les eaux percolent dans les nappes d'éboulis, ou les cônes de déjection, elles donnent naissance à des sources qui émergent à la base des glacis se raccordant au remplissage alluvial.

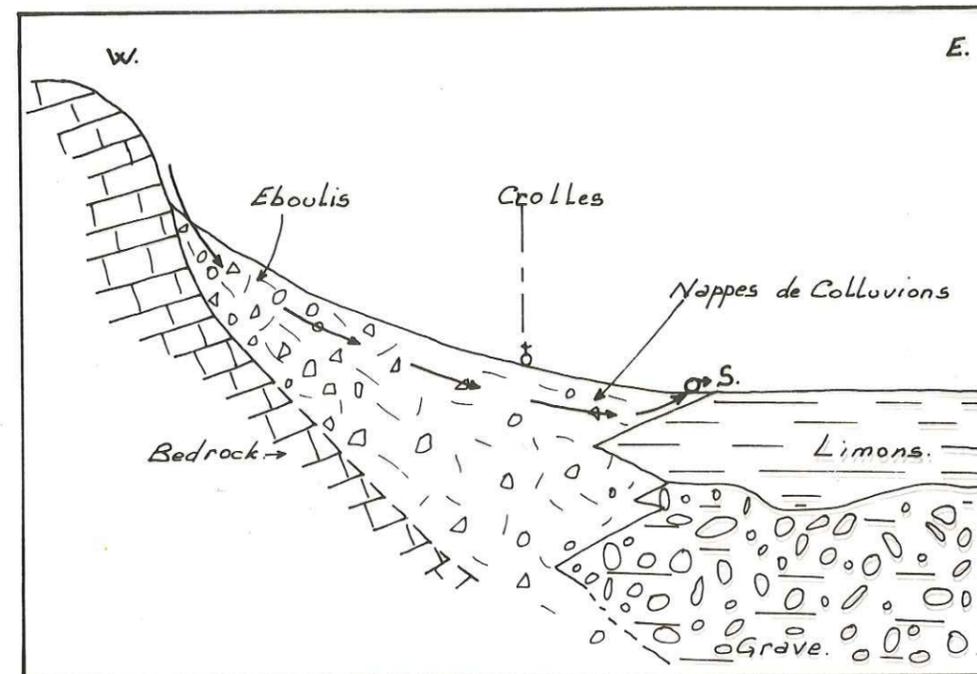


Fig.14 Source liée à l'intrication des limons et des nappes de colluvions

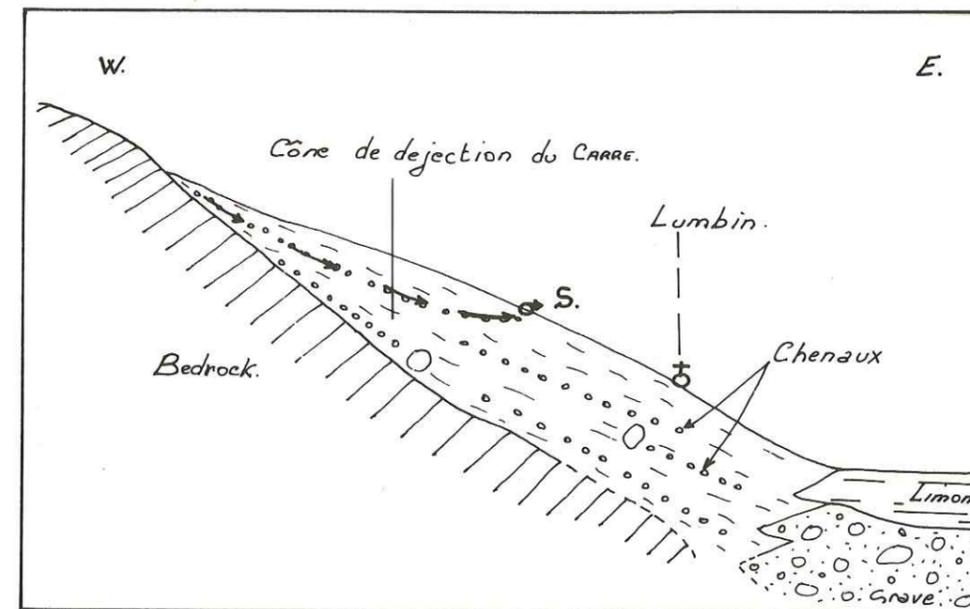


Fig.15 Source liée aux chenaux caillouteux des cônes de déjection

L'indentation des limons (imperméables) avec les formations de versants (plus perméables) leur confère un rôle de barrage pour les eaux de pluies infiltrées au pied de la falaise tithonique, et déterminent l'apparition de sources lorsque celles-ci ne peuvent rejoindre les eaux de la nappe alluviale. (Figure n° 14).

Le même schéma se retrouve lorsque les eaux percolent dans les chenaux plus perméables qui parcourent les cônes de déjection. (Figure n° 15).

Un troisième type de source est lié au creusement glaciaire qui a façonné de nombreux sillons (décrits au chapitre géomorphologie) sur les versants. Nous avons vu précédemment que ceux-ci étaient particulièrement bien visibles sur le versant rive gauche.

Il en existe un en rive droite, creusé dans les calcaires marneux du séquanien et qui se développe depuis le Touvet jusqu'à La Terrasse. Ce sillon, comblé par du matériel morainique, recouvert partiellement d'éboulis, constitue un aquifère important mais peu perméable. De ce fait, les eaux infiltrées au pied de la falaise tithonique, s'écoulent d'abord dans les éboulis, puis sont filtrées par la moraine comblant le sillon à mi-pente. (Figure n° 17).

Cette diminution de perméabilité, donc de vitesse d'écoulement, favorise la percolation des eaux dans les fissures à partir des épontes du sillon et assure la pérennité des sources, à faible débit toutefois, situées entre La Frette et La Terrasse. L'écoulement de la nappe ainsi créée engendre des sources mais doit aussi être à l'origine de la solifluxion qui affecte la couverture végétale peu épaisse de ce secteur.

IV.2. Le plateau des Petites Roches

La couverture d'éboulis et de moraines que l'on rencontre sur tout le versant oriental de la Chartreuse renferme une véritable nappe de versant qui donne naissance à de nombreuses sources. Celles-ci ont été captées pour la plupart, non seulement pour l'alimentation des habitations du plateau des Petites Roches, mais aussi pour renforcer celle des villages situés au pied de la falaise tithonique (La Terrasse, par exemple).

C'est le cas de la source des Benoits qui est alimentée par les eaux d'infiltration descendant dans la masse des calcaires urgoniens à la faveur de failles, ou bien dans les éboulis très perméables situés au pied de la falaise. Ces eaux n'arrêtent leur migration dans le massif que lorsqu'elles rencontrent les marnes peu perméables du valanginien. (Figure n° 16).

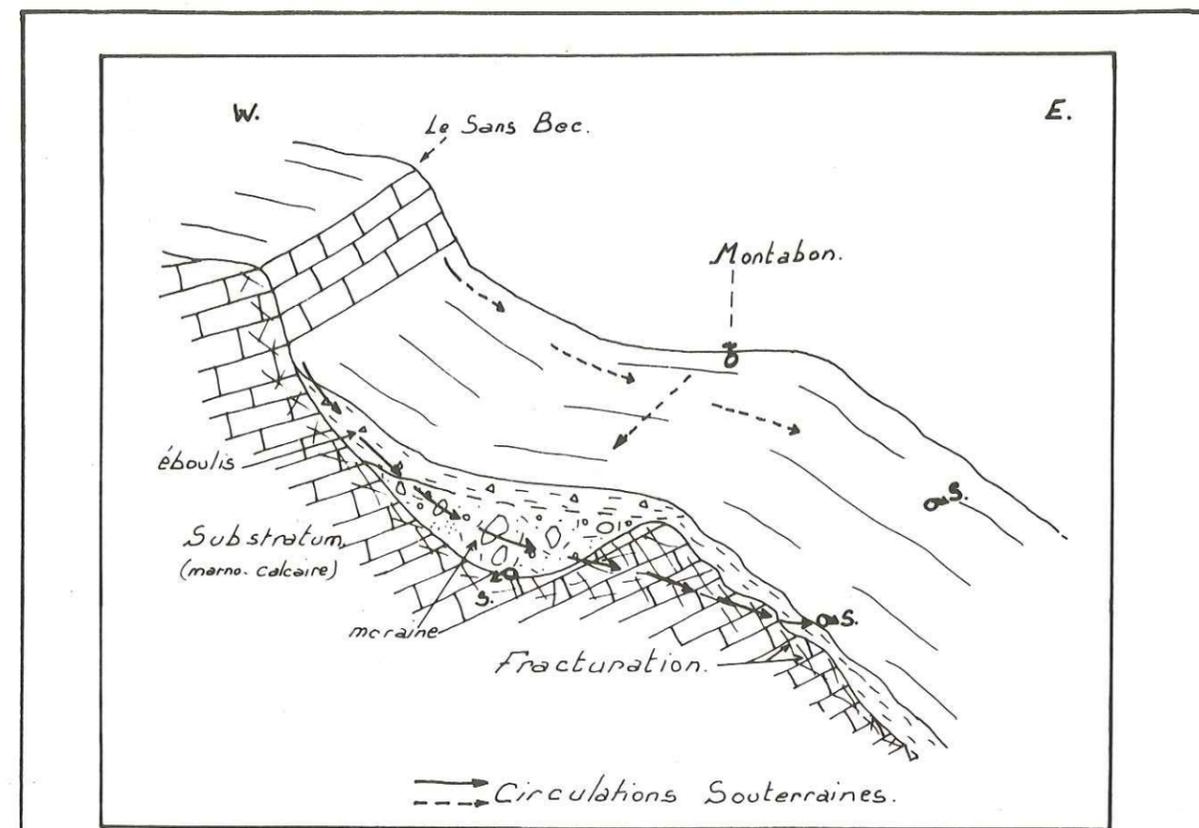


Fig.16 Sources liées aux sillons glaciaires et à leur remplissage

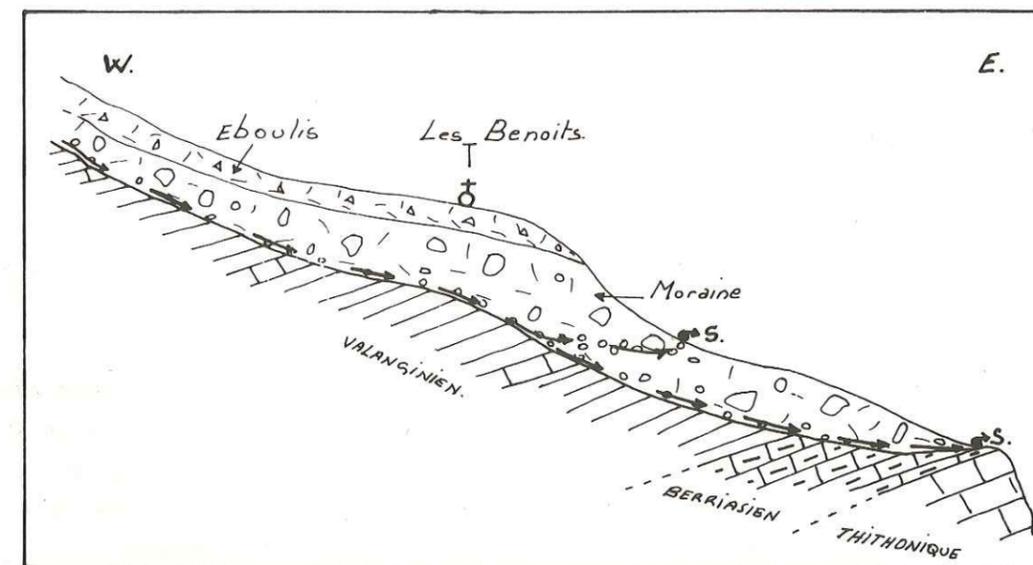


Fig.17 Sources liées au substratum imperméable et aux dépôts glaciaires des versants

Elles circulent alors entre le substratum et le tapis morainique à matériel argileux. Ce dernier constitue d'ailleurs un bon filtre, car le débit des sources varie très peu au cours de l'année, ainsi qu'après des pluies, ce qui prouve que la percolation des eaux s'effectue lentement.

V. CARTE DE VULNERABILITE DES EAUX

V.1. Buts de la carte

L'exploitation de l'aquifère productif du moyen Grésivaudan, constitué par le niveau graveleux du remplissage alluvial, augmente chaque année du fait de la concentration relativement importante de la population.

En conséquence, il convient de prévoir au mieux l'emplacement des futures zones d'exploitation de la nappe, et de définir les zones de protection naturelle vis à vis d'une pollution éventuelle à partir de la surface.

Notre cartographie propose de définir le zonage de protection de la nappe contre cette pollution.

V.2. Cartographie

V.2.a. Objectifs et conception

La délimitation des zones figurées sur la carte a été fixée par référence à la puissance de la couverture protectrice constituée par les limons.

Une telle zonation doit nécessairement s'appuyer sur une connaissance approfondie du sous-sol, et la carte de répartition des sols fins que nous avons établie trouve ici une nouvelle application. En effet, une pollution apparue en surface, en un point quelconque, se trouvera arrêtée si le sous-sol immédiat est suffisamment imperméable, ou bien disparaîtra progressivement à la faveur d'une pénétration extrêmement lente, grâce au pouvoir épurateur de ce dernier.

Cette considération doit également guider le choix des emplacements lors de l'étude des projets de captages par puits de pompages, à la fois verticalement et hori-

zontalement, doublés des périmètres de protection actuellement en vigueur.

V.2.b. Limites de l'étude

Les différentes zones que nous décrivons au paragraphe suivant ne tiennent compte que d'une pollution partant de la surface et de sa percolation verticale. Mais il est logique de penser qu'une pollution introduite en amont peut se propager vers l'aval à des vitesses plus ou moins grandes selon la perméabilité des terrains concernés. Bien que la filtration des matières en suspension et des micro-organismes soit généralement bonne dans les matériaux graveleux-sableux et graveleux-limoneux du remplissage alluvial, il est pourtant nécessaire de prendre garde au fait que les canaux et les ruisseaux drainant le moyen Grésivaudan, ainsi que l'Isère, peuvent propager rapidement d'éventuelles substances polluantes, et contaminer ainsi simultanément de nombreux secteurs de la plaine.

V.3. Vulnérabilité des eaux selon les secteurs

Les variations d'épaisseur de la couverture limoneuse nous ont amenés à distinguer cinq zones selon une échelle de sécurité décroissante = zone très bien protégée, zone bien protégée, zone moyennement protégée, zone faiblement protégée, zone dépourvue de protection.

V.3.a. La zone très bien protégée

Elle rassemble les aires où l'épaisseur des sols fins est supérieure à 10 mètres. Les secteurs de Crolles, les Ayes, Lumbin et la Terrasse en font partie. Cette zone s'étend sur une partie de la plaine et comprend aussi le bas des cônes de déjection, dont l'extension vers la plaine est constituée par les dépôts fins limoneux issus de l'érosion des versants dominants. Cette zone, qui devrait être la plus urbanisée dans l'avenir, possède la meilleure protection. Nous en excluons la partie haute des cônes de déjection qui présentent une granulométrie variée et une structure hétérogène n'ayant pas la protection nécessaire.

V.3.b. La zone bien protégée

L'épaisseur de la couverture limoneuse est ici comprise entre 4 et 10 mètres. Elle prolonge la précédente en direction de l'Isère sous la forme d'une bande plus ou moins large. La nappe est d'autre part bien protégée au sud des cônes de déjection de



Lumbin où la couverture limoneuse assez épaisse donne naissance à des marais très temporaires. Ceux-ci sont drainés longitudinalement par la Chantourne, qui se ramifie latéralement vers le versant par des drains moins profonds (profondeur inférieure ou égale à un mètre).

Si ces canaux peuvent être un agent de propagation des polluants, ils n'en sont pas moins un évacuateur rapide des substances indésirables, ceci en fonction des mécanismes qui régissent les rapports nappe - canaux ou nappe - rivière.

3.b.1. Echanges nappe - canaux

Deux types d'échanges peuvent se présenter. En période de hautes eaux de la nappe alluviale, l'échange se fera principalement dans le sens d'un drainage de la nappe par les Chantournes. Dans ce cas, les substances polluantes seront évacuées rapidement vers l'Isère. Par contre, lorsque les eaux de la nappe sont basses, on est en présence d'une alimentation de la nappe par les Chantournes et les ruisseaux, dans la mesure où leur lit n'est pas colmaté par une forte épaisseur de limons. Il en résulte une possibilité de contamination des eaux souterraines.

3.b.2. Echanges nappe - rivière

Dans ce cas, les mécanismes sont différents ; en effet le débit de l'Isère, bien supérieur à celui des Chantournes, entraîne une dilution bien plus grande. De même l'écoulement des eaux plus rapide assure une évacuation spontanée d'éventuels polluants. D'autre part, B. Couturier et J.C. Fourneaux (1974) ont montré à l'aval de notre secteur qu'à la suite de la coupure de la boucle du méandre de Bois-Français, l'Isère avait enfoncé son lit mineur, entraînant ainsi un drainage permanent de la nappe.

Ce phénomène d'enfoncement du lit par érosion régressive est encore visible plusieurs kilomètres à l'amont de notre secteur, ce qui nous laisse supposer un drainage semblable de la nappe dans tout le moyen Grésivaudan.

Ainsi, indépendamment de l'épaisseur des limons, la nappe pourra être reliée par ces canaux avec la surface, ou alors bien protégée d'une éventuelle pollution, selon les conditions hydrogéologiques du moment.

V.3.c. La zone moyennement protégée

Ici l'épaisseur des limons varie de 2 à 4 mètres. Nous avons qualifié la protection de "moyenne" car en certains points de la plaine, les canaux de drainage entament parfois le remplissage limoneux, jusqu'à n'en laisser subsister que moins de un mètre sous leur fond, ce qui rend la nappe alluviale d'autant plus vulnérable à une éventuelle pollution.

D'autre part, cette épaisseur relativement faible de limons ne présente que peu d'obstacles au forage de puits de petits diamètre destinés à l'irrigation des cultures. Creusés sans précautions particulières, ceux-ci, bien qu'assez peu nombreux mais bien répartis sur toute la plaine, mettent en contact direct l'aquifère avec les eaux de ruissellement.

Le zonage correspondant à ces caractéristiques apparaît sur la carte, selon une bande de terrains, plus ou moins étendus, compris en rive droite, entre la zone précédente et l'Isère. La protection de l'aquifère alluvial est ainsi décroissante depuis le versant droit du moyen Grésivaudan jusqu'à l'Isère.

Principalement en rive droite, nous avons regroupé sous le figuré de protection moyenne les surfaces couvrant la partie amont des cônes de déjection. Compte tenu de la nature granulométrique très variable des matériaux qui les constituent, et d'autre part de la forte urbanisation qui s'y développe, les polluants pourraient rejoindre les eaux souterraines par une percolation plus ou moins rapide.

En rive gauche, ce sont les secteurs situés à l'amont des cônes de déjection qui sont regroupés sous cette zonation. Contrairement à la rive droite, l'épaisseur de limons assurant une protection moyenne des eaux souterraines, se limite à des aires assez étendues, mais discontinues. De ce fait, la vulnérabilité des eaux apparaît plus grande. Aussi, compte tenu de la forte urbanisation des cônes de déjection et de leur périphérie, à laquelle s'ajoute la présence de nombreux puits d'exploitation des eaux souterraines (Goncelin, Tencin, Frogès), paraît-il nécessaire de réglementer plus sévèrement qu'ailleurs les installations de sources polluantes (usines, décharges), si l'on veut protéger le capital en eau potable que représente la nappe eu égard aux besoins futurs.

V.3.d. Les zones de faible protection

Nous entrons ici dans le domaine de grande vulnérabilité de la nappe, qui n'est plus protégée que par 2 mètres au plus de limons. Ce zonage couvre des surfaces importantes, notamment entre le Touvet et la Terrasse, à l'amont de Goncelin, et entre La Pierre et Frogès.

3.d.1. La zone comprise entre Le Touvet et la route de La Terrasse à Tencin

La nappe y est exploitée de deux manières distinctes. En rive gauche de l'Isère, elle alimente les stations de pompages qui fournissent l'eau potable des diverses agglomérations et usines. Il est donc nécessaire de limiter les installations polluantes, la couverture limoneuse se réduisant dans de nombreux secteurs à 0,50 ou 1 mètre d'épaisseur.

En rive droite, la géologie du sous-sol est identique, et la nappe apparaît à l'air libre dans le grand lac de La Terrasse. (Photo n° 12).

Ce lac, utilisé comme base de loisirs, doit évidemment être protégé et, de ce fait, toute source de pollution éliminée à l'amont. Ce dernier point impose l'installation des usines envisagées, à la périphérie amont du cône de déjection du Touvet. Les coupes géologiques 9 à 15 précisent la continuité des chenaux gravelo-sableux sous la couverture limoneuse, et montrent bien avec quelle célérité la substance polluante pourrait atteindre le lac de la Terrasse, la perméabilité du terrain étant de l'ordre de 10^{-2} à 10^{-4} m/s.

3.d.2. La zone comprise entre la route de Tencin et La Terrasse et la route de Brignoud à Crolles

L'aquifère est assez bien protégée en rive droite de l'Isère, où seules quelques surfaces peu étendues ont une couverture limoneuse inférieure à 2 mètres. Toutefois, nous sommes dans le secteur alimentant la station de pompage de la ville de Crolles, et les réserves énumérées précédemment peuvent être appliquées à la zone s'étendant à l'aval de l'île du Fay et du coude de l'Isère. D'autre part, le remplissage alluvial est ici très propice à une exploitation plus intensive de la nappe, comme nous l'avons décrit plus haut ; il apparaît donc judicieux de réserver cette zone pour des extensions ultérieures des captages.

En rive gauche, la nappe est exploitée à Frogès et toute la plaine est recouverte d'une mince couche de limons. En certains points même, le toit de la grave perméable affleure (périphérie du cône de déjection de Tencin). En conséquence, nous nous trouvons ici dans une zone de très haute vulnérabilité.

V.3.e. Les zones dépourvues de protection

Ce sont les secteurs d'affleurement de la grave et de la nappe.

3.e.1. Affleurement de la nappe

Celui-ci résulte de l'extraction des matériaux du remplissage alluvial, une fois les limons déblayés. La nappe, en général peu profonde (1 à 4 mètres), comble le vide laissé par le dragage. Toute pollution peut de ce fait partir directement des lacs qui jalonnent les deux rives du cours de l'Isère.

Le sol et le sous-sol situés à l'aval de ces plans d'eau, n'ayant qu'un pouvoir épurateur limité, il convient d'empêcher les pollutions potentielles aux abords immédiats de ces secteurs.

3.e.2. Affleurement de la grave

Nous attirons l'attention sur le fait que des substances polluantes peuvent atteindre directement la nappe par percolation rapide dans des terrains à perméabilité élevée. Ceux-ci sont toutefois peu étendus (secteurs de Tencin, Les Riveaux, Villard-Bozon), ce qui limite le risque de pollution.

V.4. CONCLUSION

La délimitation des zones où la nappe est ou non protégée doit servir de guide durant les opérations d'aménagement :

- dans les premières, on devra être conscient du fait que la protection repose sur l'intégrité de la couverture limoneuse, et les travaux conçus de façon à respecter la continuité de celle-ci ;

- dans les secondes, on saura que les efforts doivent se porter en priorité vers la détection et la suppression des causes de pollutions.

..... Sous - Chapitre IV

..... RECHERCHE DE MATERIAUX DE CARRIERE . . .

SOMMAIRE

- I. Introduction
- II. Les emprunts existants
- III. Méthode d'étude des gisements
- IV. Zones d'exploitation potentielle
- V. Nécessité d'investigations supplémentaires
- VI. Remise en état des carrières après extraction
- VII. Conclusion

Photo ci-contre : 13. Exploitation de matériaux graveleux en bordure de l'Isère (carrière de Tencin).

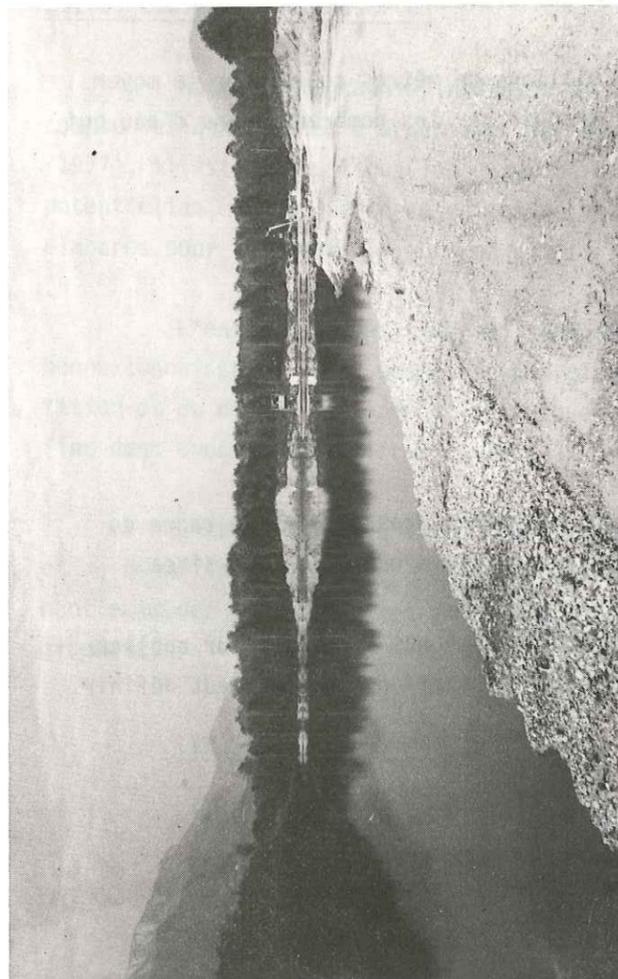


Photo ci-dessous : 14. Les granulats extraits du sous-sol de la plaine sont ensuite tamisés et stockés selon leur destination.



I. INTRODUCTION

Les besoins en matériaux pour bétons, remblais ou digues s'accroissent avec les années. Il nous paraît donc utile de délimiter les secteurs qui pourraient éventuellement constituer de bonnes zones d'emprunts dans l'avenir.

Nos recherches nous ont permis d'établir une carte au 1/25 000 des zones qui, sous réserves de prospections plus détaillées, sont susceptibles de receler des gisements intéressants.

II. LES EMPRUNTS EXISTANTS

La plupart des exploitations menées jusqu'à ce jour ont eu pour but l'édification du remblai de l'autoroute Grenoble - Le Touvet. Les matériaux nécessaires à cette construction ont été principalement extraits en rive droite de l'Isère. Sur la rive opposée, l'exploitation est beaucoup moins développée ; il s'agit en particulier de gravières et sablières, situées en bordure du lit de l'Isère ou après lavage de la grave mère on calibre les granulats destinés au bâtiment et aux travaux publics.

Actuellement, l'extraction atteint 2 millions de mètres cubes pour le moyen Grésivaudan (d'après Ponts et Chaussées) et se traduit par les nombreux plans d'eau qui bordent le cours de l'Isère.

III. METHODE D'ETUDE DES GISEMENTS

III.1. Problème d'échelle

L'échelle du 1/25 000 utilisée pour nos documents dressés dans le cadre du S.D.A.U. est justifiée par les moyens mis en oeuvre pour la prospection des sites.

Les recherches d'archives et les mesures géophysiques trouvent leur application dans ce domaine, et contribuent à une phase d'investigation que l'on peut définir comme une reconnaissance semi-détaillée.

III.2. Prospection des sites

L'existence du matériau graveleux à une certaine profondeur sous la couverture de limons étant prouvée, il convient ensuite, comme pour la recherche des eaux souterraines, de localiser les zones où l'on a plus particulièrement affaire à des graves sableuses.

La mise en évidence des anciens méandres et chenaux de l'Isère devient alors le fil directeur dans la recherche des sites d'extraction.

En étalonnant les sondages électriques, sur des sondages mécaniques, dont la coupe était bien connue, il nous a été possible d'établir une corrélation, au moins approchée, entre granulométrie et résistivité apparente. (La résistivité apparente étant supérieure à 150 Ω m pour la grave sableuse, inférieure pour la grave limoneuse).

Disposant d'autre part d'une carte de la puissance de la découverte, nous avons pu définir les zones où des matériaux de bonne qualité sont accumulés avec une puissance suffisante, et gisent à une profondeur non prohibitive.

III.3. Estimation des Réserves

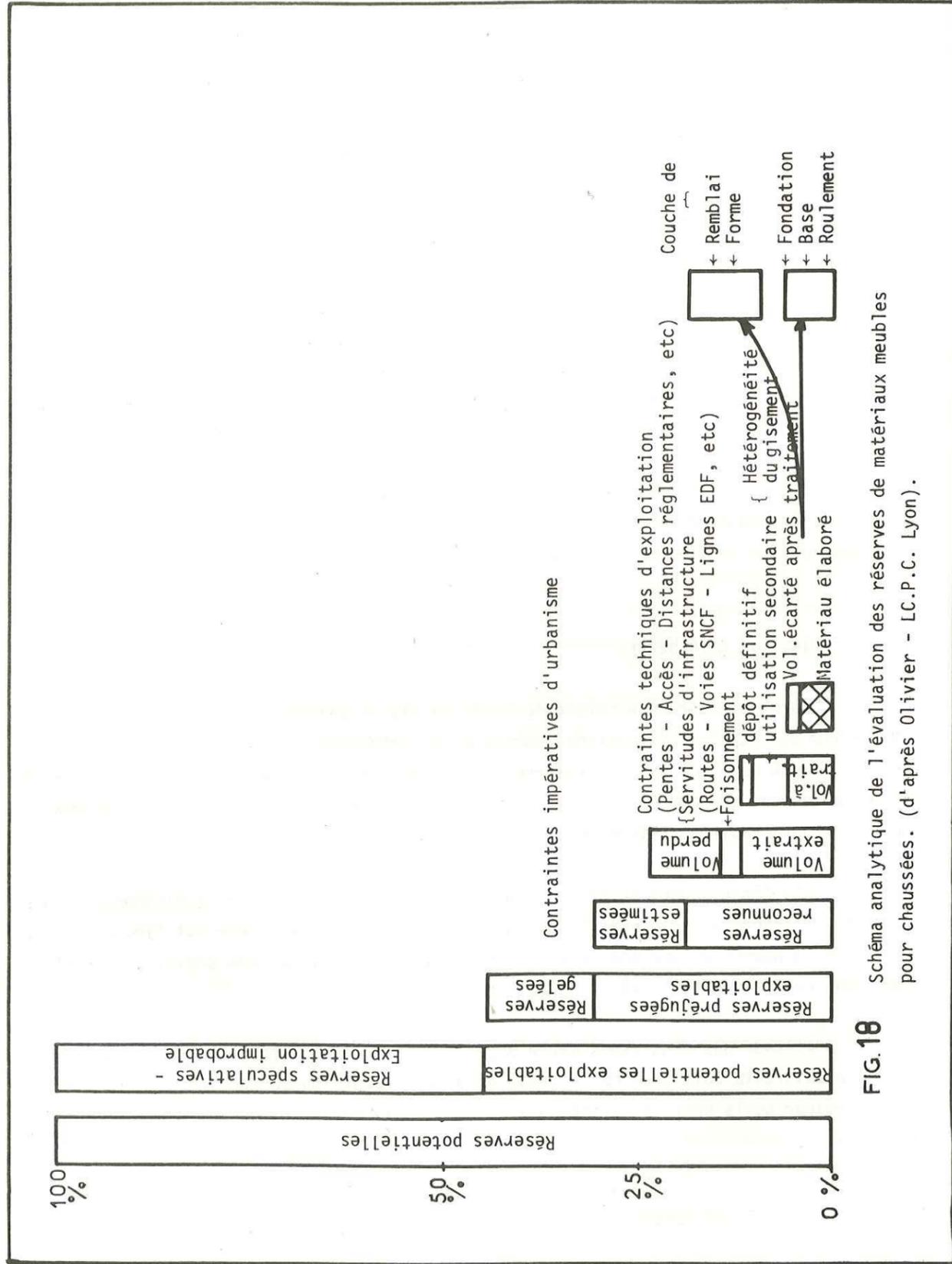
Notre cartographie intéresse toute la plaine alluviale, et ne prend pas en compte les contraintes d'urbanisme, agricoles ou techniques. En effet, selon G. Olivier (1977), il est habituel que les réserves exploitées ne constituent que 30 % des réserves potentielles, et que cette sélection ne fournisse que 1/6 de son volume en matériaux élaborés pour chaussées (Figure n° 18).

L'estimation des réserves supposées ou estimées repose nécessairement sur une bonne connaissance de la géométrie des gisements. Cette connaissance est liée à la répartition et au nombre de sondages mécaniques ayant traversé l'horizon graveleux, et s'affine donc avec la multiplication de ceux-ci.

L'étude que nous avons menée a permis de préciser l'épaisseur de la découverte et de connaître la puissance de la grave en divers points du secteur. Nous allons maintenant examiner quels sont les principaux critères qui permettent de définir la qualité du gisement.

III.3.a. Le rapport G/D

L'accès à un volume G de grave exigeant au préalable le déplacement d'un volume



D de stérile (ou découverte), il est évident que l'intérêt d'un gisement croît avec le rapport G/D. Nous n'avons retenu comme zones exploitables que celles où G/D dépasse 3.

D'autre part, même dans le cas où ce rapport est favorable, lorsque la découverte atteint une épaisseur très forte (> 5 m), le gisement perd de son intérêt, puisque son exploitation exige des moyens plus puissants, et que le stockage des stériles pose des problèmes plus difficiles.

Enfin, la manutention de la découverte exigeant que celle-ci soit complètement hors de la nappe phréatique, il est fréquent, notamment auprès des berges de l'Isère, que l'épaisseur maximale admissible pour D n'atteigne que 2 mètres.

III.3.b. La nature de la grave

Selon sa destination, le matériau doit répondre à certaines normes, en particulier granulométriques. Dans la mesure où la grave devra être lavée puis criblée avant emploi, nous avons distingué le brut sableux du brut limoneux, la "pollution" limoneuse constituant un critère défavorable.

IV. ZONES D'EXPLOITATION POTENTIELLE

Dans la mesure où ils ont pu être évalués sur le terrain, les critères ci-dessus nous ont permis de dresser une carte des secteurs en principes favorables à l'extraction.

Nous disposions déjà de la carte isopaque des limons superficiels. D'autre part, nous appuyant sur les zones où les sondages électriques étaient étalonnés par des sondages mécaniques, nous avons pu définir, en l'absence de ces derniers, les limites entre chenaux gravelo-sableux et gravelo-limoneux, masqués par les limons au moyen des seuls sondages électriques.

Quant à la puissance des graves, nous savions qu'elle atteint au moins 22 mètres au niveau de Goncelin pour se réduire à 10 mètres dans le secteur de Frogès - Bernin. Le rapport exact G/D n'étant bien connu que dans très peu de points, nous avons choisi le parti, lors de notre calcul, de retenir pour G la valeur minimale connue, c'est-à-dire 10 mètres.

Ainsi les valeurs de G/D que nous proposons (Carte d'exploitabilité) sont-elles des valeurs généralement pessimistes.

Malheureusement, l'absence de données concernant l'épaisseur réelle des graves nous interdit toute estimation des cubatures.

IV.1. Présentation graphique

Le zonage correspond en première délimitation au rapport G/D moyen, puis en surcharge nous faisons apparaître un zonage simplifié de l'épaisseur de la découverte. Enfin, le dernier critère restrictif, correspondant à la nature gravelo-sableuse du gisement, permet de faire apparaître les zones où ces facteurs se recoupent.

L'orientation de l'exploitation devra se faire là où le rapport G/D est grand d'une part, c'est-à-dire compris entre 3 et 10 dans notre cas, et, d'autre part, dans les zones où l'épaisseur de la découverte est inférieure à 2 mètres.

IV.2. Répartition géographique des gisements

IV.2.a. Les zones très favorables

L'intersection des limites des chenaux gravelo-sableux avec celles des zones où le rapport G/D minimal atteint 5, définit un ensemble de secteurs où les conditions d'exploitation optimales sont réunies.

Ce sont en particulier les zones bordant l'Isère, où l'on connaît la valeur de G/D, les sondages mécaniques ayant traversé l'horizon graveleux. L'amincissement d'amont en aval de ce dernier entraîne une diminution du rapport G/D dans les mêmes proportions. Ce rapport, qui atteint la valeur 12 dans le secteur de Goncelin, ne dépasse pas 8 dans les zones de Frogès - Iles du Rafour.

IV.2.b. Les zones favorables

Nous avons regroupé sous ce terme les zones où le rapport G/D minimal était compris entre 3 et 5. Comme précédemment, la présence d'un matériau à caractère gravelo-sableux bonifie les gisements. D'amont en aval ce sont les secteurs de Villard-Bozon et Bacon, de Chonas, des Iles du Fay et des Vernaies.

IV.2.c. Les zones peu favorables

Ce sont tous les secteurs où la forte épaisseur de limons entraîne un rapport G/D inférieur à 3.

V. NECESSITE D'INVESTIGATIONS SUPPLEMENTAIRES

Il apparaît donc que dans l'état actuel des précisions obtenues, on est encore loin de pouvoir fixer de façon satisfaisante l'emplacement des futures exploitations, ce qui requiert d'autres études, beaucoup plus fines, à base de nombreux sondages mécaniques.

Toutefois, la carte que nous avons dessinée permet déjà de diversifier la stratégie des investigations :

- dans les zones où la résistivité des formations est très contrastée, on multipliera surtout les sondages électriques ;

- au contraire, à la périphérie des cônes de déjection, les sondages mécaniques permettront une meilleure reconnaissance, car l'intrication des matériaux torrentiels avec les formations alluviales rend difficile l'interprétation des résultats donnés par les sondages électriques.

VI. REMISE EN ETAT DES CARRIERES APRES EXTRACTION

Sous ce titre, nous sommes amenés à préciser la nature et le contenu des opérations prévues par le S.D.A.U., pour les centres d'extraction dont l'activité aura cessé.

VI.1. Réglementation générale

Le décret du 20 septembre 1971 dispose que "La remise en état comporte la conservation des terres de découverte, le régalage du sol après remblayage avec les déblais de l'exploitation et les terres de découverte, le nettoyage de l'ensemble des terrains, la rectification des fronts de taille, qu'ils soient en pleine terre ou qu'ils forment berge de plan d'eau, y compris ceux des filots délaissés".

VI.2. Aménagement des carrières

Selon les données morphologiques des gisements, la destination finale des sols après exploitation peut être regroupée en quatre catégories (J.L. Lascar, 1975) :

- activités du secteur primaire
- activités du secteur secondaire
- opérations d'urbanisme
- Loisirs et Tourisme.

Dans notre secteur, seules les catégories Loisirs et Tourisme et activités du secteur primaire ont été retenues par le S.D.A.U.

En effet, la base nautique de la Terrasse constitue la pièce maîtresse du réaménagement, qui comporte l'accès au plan d'eau par des plages en pentes douces, ainsi que des équipements pour activités de plein air.

Les autres plans d'eau de moindre importance (Tencin) sont destinés aux activités de chasse et de pêche.

VII. CONCLUSION

L'étude géologique est un élément prépondérant dans le choix d'un nouveau site d'exploitation. Dans le Moyen Grésivaudan en particulier, celui-ci devra tenir compte, parmi les secteurs très favorables définis sur la carte, des objectifs retenus pour le réaménagement (surface du plan d'eau nécessaire à la constitution d'une base nautique, par exemple), mais aussi des contraintes liées à l'exploitation des eaux souterraines. De ce fait, les gisements définis dans le secteur des Iles du Rafour sont "gelés", car ils constituent un aquifère intéressant pour l'avenir (Chapitre Hydrogéologie). Son exploitation a déjà commencé, mais reste partielle. Toute ouverture de carrières dans le secteur compris entre les captages de la ville de Crolles et les Iles des Trappes serait de nature à augmenter la vulnérabilité des eaux souterraines dans cette zone.

L'assurance d'une alimentation pérenne de la nappe par la filtration des eaux de l'Isère à partir du "coude" des Iles des Trappes constitue aussi un critère important dans le choix de l'exploitation hydrogéologique du sous-sol, dans ce secteur.

..... CHAPITRE V

..... CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES

..... DES SOLS ET DES ROCHES

VI.2. Aménagement des carrières

Selon les données morphologiques des gisements, la destination finale des sols après exploitation peut être regroupée en quatre catégories (J.L. Lascar, 1975) :

- activités du secteur primaire
- activités du secteur secondaire
- opérations d'urbanisme
- Loisirs et Tourisme.

Dans notre secteur, seules les catégories Loisirs et Tourisme et activités du secteur primaire ont été retenues par le S.D.A.U.

En effet, la base nautique de la Terrasse constitue la pièce maîtresse du réaménagement, qui comporte l'accès au plan d'eau par des plages en pentes douces, ainsi que des équipements pour activités de plein air.

Les autres plans d'eau de moindre importance (Tencin) sont destinés aux activités de chasse et de pêche.

VII. CONCLUSION

L'étude géologique est un élément prépondérant dans le choix d'un nouveau site d'exploitation. Dans le Moyen Grésivaudan en particulier, celui-ci devra tenir compte, parmi les secteurs très favorables définis sur la carte, des objectifs retenus pour le réaménagement (surface du plan d'eau nécessaire à la constitution d'une base nautique, par exemple), mais aussi des contraintes liées à l'exploitation des eaux souterraines. De ce fait, les gisements définis dans le secteur des Iles du Rafour sont "gelés", car ils constituent un aquifère intéressant pour l'avenir (Chapitre Hydrogéologie). Son exploitation a déjà commencé, mais reste partielle. Toute ouverture de carrières dans le secteur compris entre les captages de la ville de Crolles et les Iles des Trappes serait de nature à augmenter la vulnérabilité des eaux souterraines dans cette zone.

L'assurance d'une alimentation pérenne de la nappe par la filtration des eaux de l'Isère à partir du "coude" des Iles des Trappes constitue aussi un critère important dans le choix de l'exploitation hydrogéologique du sous-sol, dans ce secteur.

..... CHAPITRE V

..... CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES

DES SOLS ET DES ROCHES

S O M M A I R E

- I. Introduction
- II. Rappels sur les caractéristiques et la classification des sols
- III. Propriétés géotechniques

I. INTRODUCTION

La morphologie de la vallée de l'Isère rend inégale la part que prend chaque catégorie de terrains dans notre étude. C'est pourquoi la plupart des données géotechniques que nous avons rassemblées ou établies concernent les sols de la plaine alluviale. Dans le cas des versants et principalement du bed-rock, nous ne fournirons qu'une description des caractéristiques géologiques.

II. RAPPELS SUR LES CARACTERISTIQUES ET LA CLASSIFICATION DES SOLS

Ce paragraphe rappelle brièvement les caractéristiques et la classification des sols que nous avons utilisés et qui apparaissent dans les diverses analyses effectuées par nous-mêmes (granulométries, limites d'Atterberg) et par les bureaux et organismes, auteurs d'études ponctuelles en de nombreux secteurs du moyen Grésivaudan. Ces rappels sont destinés en particulier aux lecteurs peu familiarisés avec cette terminologie.

II.1. Caractéristiques

II.1.a. Coefficients granulométriques

Ils sont destinés à faire apparaître certaines particularités de la courbe granulométrique.

. Hétérométrie

Elle caractérise la granulométrie et l'exprime par le rapport D_{85} / D_{15} (Tableau suivant).

Granulométrie	D_{85} / D_{15}
Très serrée	< 2
Serrée	2 - 5
Semi - étalée	5 - 20
Étalée	20 - 200
Très étalée	> 200

. Coefficient d'uniformité ou de Hazen

$$Cu = D_{60} / D_{10}$$

. Coefficient de courbure

$$C_u = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

D_{10} , D_{15} , D_{30} , D_{60} , D_{85} représentent respectivement les diamètres des éléments correspondant à 10, 15, 30, 60, 85 % de tamisat cumulé.

II.1.b. Pourcentage granulométrique

Le Filler correspond, pour une analyse granulométrique au pourcentage de matériaux dont le diamètre est inférieur à 0,08 mm.

II.1.c. Calcimétrie

Cette analyse permet au laboratoire de déterminer la teneur % en $CaCO_3$.

II.1.d. Teneur en eau

Elle s'exprime en %. C'est le rapport du poids d'eau contenu dans un échantillon, au poids de cet échantillon après dessiccation (à 105°C). On la symbolise par la lettre W. La teneur est dite naturelle si l'essai est fait au moment du prélèvement = W_{nat} .

II.1.e. Limites d'Atterberg ou de consistance

Les mesures sont effectuées sur la fraction inférieure à 400 μ .

. Limite de plasticité

C'est la teneur en eau exprimée en %, correspondant au passage de l'état solide à l'état plastique. On la symbolise par W_p .

. Limite de liquidité

C'est la teneur en eau exprimée en % au-dessus de laquelle le sol s'écoule comme un liquide sous l'influence de son propre poids. Son symbole est W_L .

. Indice de plasticité

C'est la différence entre les deux valeurs précédentes. Il donne une mesure de l'étendue de la zone pour laquelle le matériau est plastique et susceptible de grandes

déformations sans rupture.

$$I_p = W_L - W_p$$

D'après BURMISTER, on peut qualifier la plasticité selon la valeur de I_p . (Tableau suivant).

I_p	Plasticité
0	non plastique
1 à 5	légère
5 à 10	faible
10 à 20	moyenne
20 à 40	élevée
> 40	très élevée

. Indice de consistance

Il correspond à $I_c = \frac{W_L - W_{nat}}{I_p}$

La qualification de la consistance selon les valeurs de I_c sont les suivantes :

W	W_L					W_p
I_c	0	0,25	0,5	0,75	1	
Consistance	Liquide	Très molle	Molle	Inconsistant	Consistant	Très consistant

II.1.f. Equivalent de sable (E.S.)

Exprime l'abondance du sable dans un échantillon, et résulte d'un essai basé sur la sédimentation plus ou moins rapide des particules constituantes. La "proportion" vraie se lit sur la courbe granulométrique.

II.1.g. Densité apparente humide

C'est le poids de l'unité de volume du sol dans l'état où il a été prélevé

$$\gamma = \frac{P}{V} (P_a)$$

II.1.h. Densité apparente sèche

C'est le poids résiduel de l'unité de volume du sol après dessiccation

$$\gamma_d = \frac{P_s}{V} (P_a)$$

Ces densités varient selon la compacité.

II.1.i. Perméabilité

Elle dépend de la qualité du milieu poreux et du fluide. On l'exprime en m/s. Nous avons regroupé dans le tableau suivant quelques fourchettes de perméabilité pour divers sols. (D'après Costet et Sanglerat, 1963).

Sol	K (m/s)
Gravier	$10^{-3} < k < 10^{-1}$
Sable	$10^{-5} < k < 10^{-3}$
Limon et Sable argileux	$10^{-9} < k < 10^{-5}$
Argile	$10^{-13} < k < 10^{-9}$
Roche non fissurée	$10^{-13} < k < 10^{-10}$

II.1.j. Résistance à la pénétration dynamique

On la symbolise par R_p . Elle s'exprime en Pascals pour un même matériau et augmente généralement avec la profondeur.

II.1. k. Pression Limite - Pression de fluage - Module Standard pressiométrique

Leur unité est le pascal et on les distingue par P_l , P_f et E.

II.1.l. Résistivité électrique

Elle caractérise un type de sol. L'unité utilisée est l'ohm-mètre.

II.1.m. Vitesse sismique

Elle varie en fonction de la qualité du sol et de sa compacité. On l'exprime en m/s, et elle permet de définir certains critères de rippabilité.

II.1.n. Angle de frottement interne et cohésion

Ils sont déterminés à partir d'essais de cisaillement qui peuvent être de deux types :

- essai non consolidé non drainé qui donne C_{uu} et ϕ_{uu}
- essai consolidé non drainé qui donne C_{cu} et ϕ_{cu} .

II.1.o. Indice de compression - Coefficient de consolidation

Pression effective verticale de consolidation

Ces différentes valeurs sont calculées à partir d'essais oedométriques. On les symbolise par C_c , C_v et σ_c .

II.2. Classification

La classification retenue est celle des Ponts et Chaussées dérivée de la Classification Unifiée des Etats-Unis (U S C S) qui prend en compte à la fois la granulométrie et les limites d'Atterberg.

Deux symboles sont utilisés pour ce mode de représentation qui regroupe 15 types de sols.

. Le premier qualifie l'élément dominant de la granulométrie. G.S.L. ou A. sauf constituants particuliers O ou T.

. le deuxième exprime la granulométrie b ou m, ou la plasticité t. p, ou un deuxième élément ex-aequo L.A.

On obtient un tableau de classification des sols grenus (sables, graves) et fins (limons, argiles) où l'on a rajouté les sols très organiques (tourbes).

L'appellation géotechnique des 15 types les plus fréquents de sols est la suivante :

- Gb Grave propre bien graduée
- Gm Grave propre mal graduée

- GL Grave limoneuse
- GA Grave argileuse
- Sb Sable propre bien gradué
- Sm Sable propre mal gradué
- SL Sable limoneux
- SA Sable argileux
- Op Sols organiques peu plastiques
- Lp Limons peu plastiques
- Ap Argile peu plastique
- Lt Limon très plastique
- Ot Sols organiques très plastiques
- At Argile très plastique
- T Tourbe et autres sols très organiques.

Nous donnons à titre indicatif les tableaux n° 6, 7, 8 fournissant quelques propriétés des sols en fonction de cette classification.

III. PROPRIETES GEOTECHNIQUES

III.1. Les terrains de couverture

Ils se répartissent en six grandes catégories. Ce sont = les éboulis, les cônes de déjection, les nappes de colluvions, les alluvions fluvio-glaciaires, les dépôts glaciaires, les alluvions fluviales.

III.1.1. Les éboulis

Vifs ou stabilisés, ils occupent les fortes pentes sous les falaises de la rive droite de l'Isère et présentent des blocs de toutes tailles. Stabilisés, ils sont plus ou moins colmatés par une matrice argileuse et colonisés par la végétation.

1.1.1. Hydrogéologie

Formation poreuse par excellence, ces éboulis sont toujours bien drainés. Leur perméabilité varie de 10^{-2} à 10^{-6} m/s selon leur degré de colmatage (J.C. Fourneau, 1968).

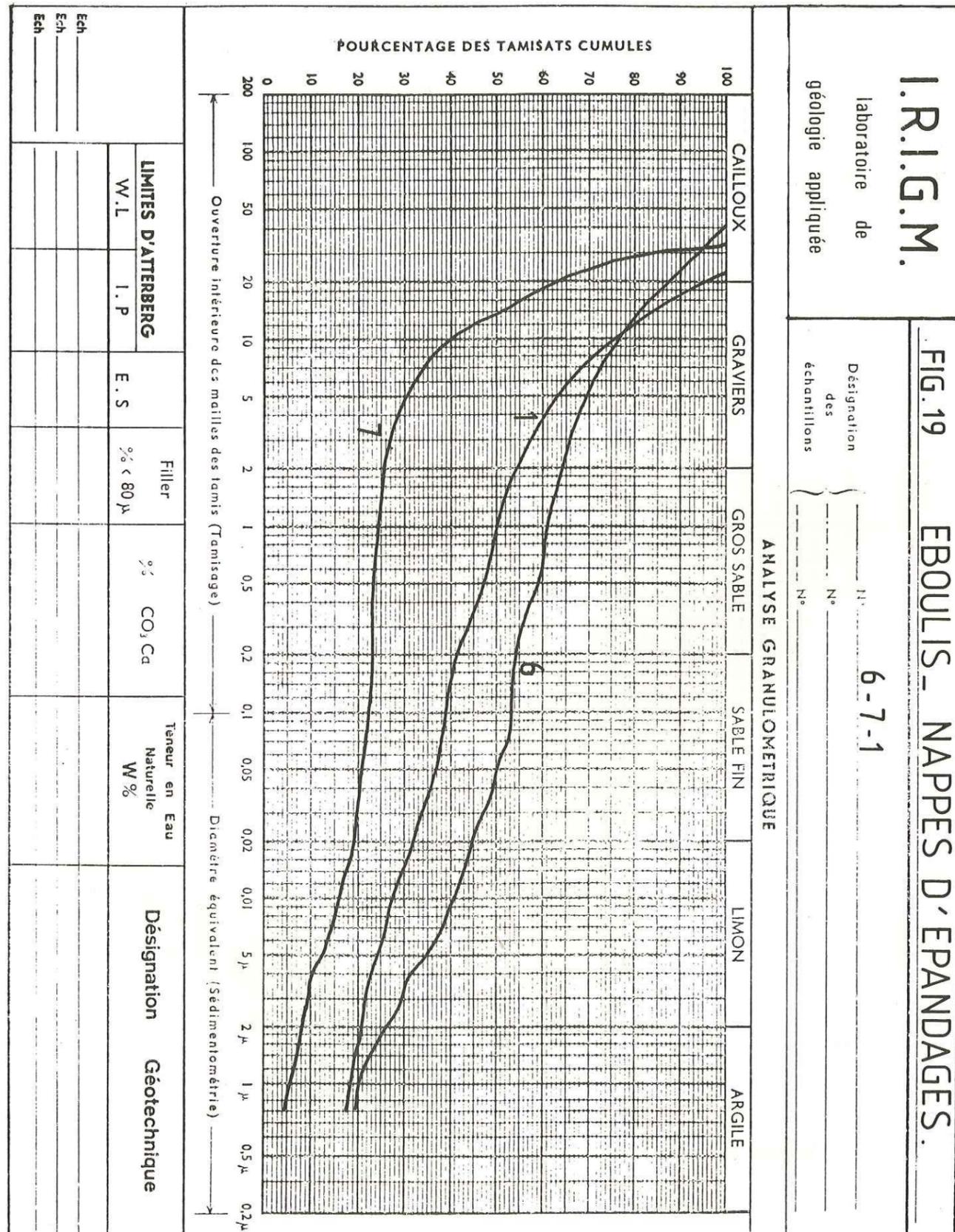
TABLEAU 7 CLASSIFICATION RAPIDE DES SOLS GRENUS					
PROCEDURE D'IDENTIFICATION SUR CHANTIER éléments > 60 mm exclus ; poids des fractions estimés				SYMBOLES (U.S.C.S.)	DESIGNATION géotechnique
1	2	3	4	5	6
Plus de la moitié des éléments sont > 0,08 mm SOLS GRENUS	Plus de la moitié des éléments > 0,08 mm ont un diamètre > 2 mm GRAVES	sans fines	Tous les diamètres de grains sont représentés, aucun ne prédomine	Gb (GW)	Grave propre bien graduée
			Une dimension de grains ou un ensemble de dimensions de grains prédominent	Gm (GP)	Grave propre mal graduée
		avec fines	Les éléments fins n'ont pas de cohésion	GL (GM)	Grave limoneuse
			Les éléments fins sont cohérents	GA (GC)	Grave argileuse
	Plus de la moitié des éléments < 2 mm SABLES	sans fines	Tous les diamètres de grains sont représentés, aucun ne prédomine	Sb (SW)	Sable propre bien gradué
			Une dimension de grains ou un ensemble de dimensions de grains prédominent	Sm (SP)	Sable propre mal gradué
avec fines		Les éléments fins n'ont pas de cohésion	SL (SM)	Sable limoneux	
		Les éléments fins sont cohérents	SA (SC)	Sable argileux	

TABLEAU 6 CLASSIFICATION RAPIDE DES SOLS FINS

PROCEDURE D'IDENTIFICATION SUR CHANTIER (poids des fractions estimés)						SYMBOLE (U.S.C.S.)	DESIGNATION géotechnique
			Détermination de la plasticité sur chantier				
1	2	3	4a	4b	4c	5	6
La moitié des éléments ou davantage sont < 0,08 mm SOLS FINS - ARGILE et LIMON			Limite de liquidité < 50 %			Limite de liquidité > 50 %	
			Rapide à lente	Nulle	Nulle	Lp (ML)	Limons peu plastiques
			Nulle à lente	Moyenne	Moyenne à grande	Ap (CL)	Argiles peu plastiques
			Lente	Faible	Faible à moyenne	Op (OL)	Limons et argiles organiques peu plastiques
			Lente à nulle	Faible à moyenne	Faible à moyenne	Lt (MH)	Limons très plastiques
			Nulle	Grande	Grande à très grande	At (CH)	Argiles très plastiques
			Nulle à très lente	Faible à moyenne	Moyenne à grande	Ot (OH)	Limons et argiles organiques très plastiques
Les matières organiques prédominent			Reconnaisables à l'odeur, couleur sombre, texture fibreuse, faible densité humide			T (Pt)	Tourbes et autres sols très organiques

Symboles	Dénomination	Sol de fondation	Couche de base	Géométrie	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 ²)
Gb (GW)	Grave ou mélange gravier-sable bien gradué avec peu ou pas de fines	excellent	bon	aucune ou très faible	aucune	excellentes	Tracteurs à chenilles, rouleaux à pneus - rouleaux lisses	2,00 à 2,22	40-50	7 à 14
Gm (GP)	Grave ou mélange gravier-sable-mal gradué avec peu ou pas de fines	bon	passable à bon	aucune ou très faible	aucune	excellentes	Tracteurs à chenilles - rouleaux à pneus - rouleaux lisses	1,76 à 2,22	30-40	7 à 14
Gc (GM)	Grave limoneuse	id	id	faible à moyenne	très faible	passable à médiocre	Rouleaux à pneus - à pieds de moutons étroite surveillance	2,00 à 2,10	40-60	id
Gs (SW)	mélange gravier-sable-limon	bon	id	id	faible	médiocre à pratiquement imperméable	Rouleaux à pneus - à pieds de moutons	1,94 à 2,10	20-30	5 à 14
Ga (GC)	Grave argileuse	id	id	id	id	id	id	2,06 à 2,32	20-40	5 à 14
Sb (SW)	Sable ou sable graveleux bien gradué peu ou pas de fines	id	passable à bon	aucune ou très faible	aucune	excellentes	Tracteurs à chenilles - rouleaux à pneus	1,76 à 2,06	20-40	5 à 10
Ss (SP)	Sable ou sable graveleux mal gradué peu ou pas de fines	passable à bon	passable	id	id	id	id	1,68 à 2,10	10-40	4 à 10
Sl (SM)	Sables limoneux	id	passable à bon	faible à élevée	très faible	passables à médiocres	Rouleaux à pneus - à pieds de mouton étroite surveillance	1,92 à 2,10	15-40	4 à 10
Ss (SM)	mélange sabb.-limon	passable	id	id	faible à moyenne	médiocres à pratiquement imperméables	Rouleaux à pneus - à pieds de mouton	1,00 à 2,06	10-20	3 à 3
Sa (SC)	Sables argileux	id	id	id	id	id	id	1,60 à 2,16	3-20	3 à 3
Lp (ML)	Limon non organiques et sables très fins - sables fins limoneux ou argileux peu plastiques	id	inutilisable	moyenne à très élevée	id	passable à médiocre	Rouleaux à pneus - à pieds de mouton - étroite surveillance	1,44 à 2,08	15 ou moins	1,5 à 4
Ap (CL)	Argiles non organiques de plasticité faible à moyenne - argiles graveleuses - argiles sableuses - argiles limoneuses - argiles maigres	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)	Limons organiques et limon argile organique de faible plasticité	id	id	id	moyenne à élevée	médiocres	id	1,44 à 1,68	5 ou moins	1,5 à 3
Lt (MH)	Limons non organiques - sols sableux fins ou limoneux	id	id	id	élevée	passables à médiocres	id	1,28 à 1,68	10 ou moins	1,5 à 3
At (CH)	Argiles non organiques de plasticité élevée - argile grosse	id	id	moyenne	id	pratiquement imperméables	id	1,44 à 1,84	15 ou moins	1,5 à 4
Ot (OH)	Argiles organiques de plasticité moyenne à élevée - limons organiques	id	id	id	id	id	id	1,28 à 1,76	5 ou moins	0,7 à 4
T	Tourbe et autres sols très organiques	inutilisable	id	faible	très élevée	passables à médiocres	Comparage impossible			

TABLEAU 8. Aptitude des sols aux travaux (d'après L.C.P.C.)



1.1.2. Granulométrie

La Figure n° 19 nous indique une granulométrie très étalée (échantillons x) avec un pourcentage dominant de graviers et cailloux.

1.1.3. Aptitude aux travaux

Habituellement peu sollicités, car occupant les fortes pentes, ces éboulis peuvent néanmoins se trouver sur le tracé de petites routes.

Les difficultés y sont de deux ordres = ils dessinent des talus dont l'équilibre peut être remis en question par des terrassements et peuvent toujours receler de gros blocs.

III.1.2. Les cônes de déjection

Les cônes de déjection de notre secteur d'étude sont nombreux, aussi bien en rive droite qu'en rive gauche de l'Isère. (Carte lithomorphologique).

Ces matériaux torrentiels, déposés lorsque la pente diminue et généralement à la sortie d'une gorge, sont constitués par des éléments de taille variable. Leur nature dépend des formations géologiques comprises dans le bassin d'alimentation de chaque torrent.

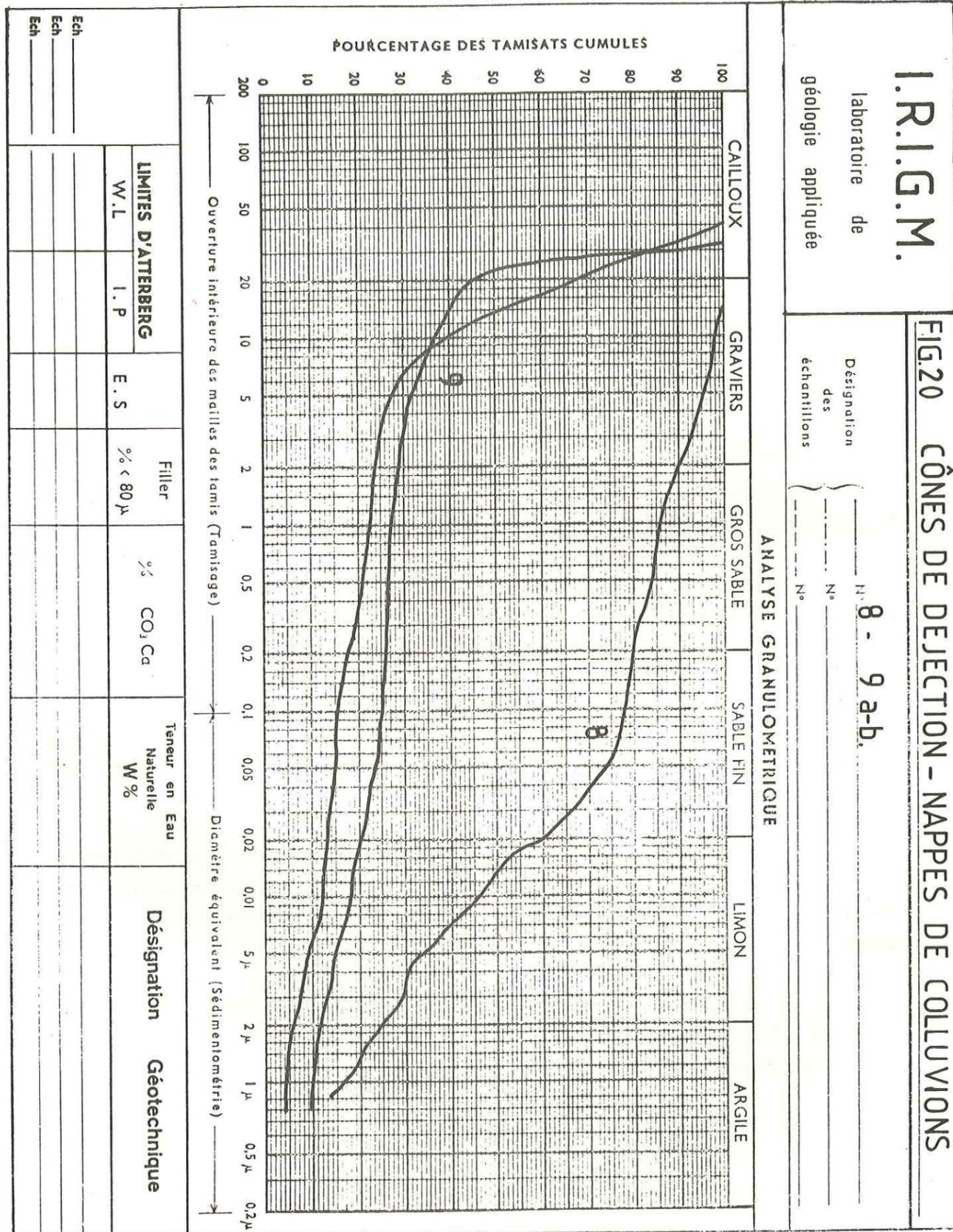
Ainsi, en rive droite, ce sont essentiellement des blocs et cailloux provenant des bancs calcaires, emballés dans de l'argile beige carbonatée, issue des marnes, qui constituent ces épandages.

Le classement se traduisant par le dépôt des gros blocs à l'amont du cône de déjection et des "fines" à l'aval n'est qu'en partie vérifié, vu les changements très fréquents dans le régime et la capacité de transport. Il est néanmoins visible que les matériaux fins dominant à la périphérie des cônes.

En rive gauche, ces dépôts sont plus hétérogènes dans leur composition pétrographique ; les dépôts morainiques contribuant largement à les alimenter en éléments cristallins de taille variable.

1.2.1. Hydrogéologie

La structure de ces cônes de déjection, parcourues par d'anciens chenaux com-



blés de matériaux grossiers, facilite la curculation des eaux souterraines et l'on observe des pertes du torrent à l'amont et de nombreuses sources à leur périphérie. L'apparition de celles-ci résulte d'un contraste de perméabilité, la tranche superficielle limoneuse du remblaiement alluvial barrant vers l'aval les chenaux de cailloutis. (Figure n° 14).

1.2.2. Propriétés physiques et mécaniques

La variété du dépôt, tant dans sa nature que dans sa structure, se retrouve au niveau de l'échantillonnage granulométrique. Les courbes que nous avons établies à partir de deux prélèvements indiquent une granulométrie très étalée (Figure n° 20), ainsi qu'un fort pourcentage de graviers et petits cailloux (20 à 40 mm). Cette dernière particularité traduit la nature globale du prélèvement ainsi que la classe granulométrique dominante dans les secteurs considérés.

. Hétérométrie

Elle est supérieure à 200.

. Filler

Il est égal à 25 %.

. Limites d'Atterberg

$$30 < W_L < 36 \%$$

$$W_p \approx 21 \%$$

$$9 \% < I_p < 15 \%$$

. Teneur en eau - densité sèche

Les fourchettes suivantes ont été établies à partir de six prélèvements dans le secteur de Crolles et Villard-Bozon.

$$19,2 \% < W < 22,3 \%$$

$$1,61 < \gamma_d < 1,99$$

. Résistivités

Celles-ci sont très variables et décroissent de l'amont des cônes jusqu'à leur périphérie. La résistivité peut être comprise entre 20 et 400 Ωm.

. Essai de cisaillement

$$14^\circ < \phi_u < 22^\circ \quad 20 \text{ k Pa} < C_u < 30 \text{ k Pa}$$

. Pénétrométrie

La résistance en pointe peut varier de 0,05 à 1 kPa. Ces variations étant obtenues à partir de dix essais pénétrométriques. (Sondages P₁, P₂, etc...).

. Désignation géotechnique

Cette formation, dont la périphérie est caractérisée par une fraction fine dominante, peut être qualifiée de grave propre mal graduée, parfois argileuse. (Gm - GA).

III.1.3. Les nappes de colluvions

Ces formations font la transition entre les cônes de déjection et les alluvions de l'Isère. Nous regroupons sous ce terme de colluvions des terrains très argileux, à fort pourcentage de fines, mais toujours un peu caillouteux.

Issus des cônes au prise d'un faible remaniement, ces colluvions vont présenter des caractéristiques peu différentes (Figure n° 20). En effet, les colluvions proviennent du tout venant cône par une ségrégation des éléments. La quantité de sable grossier reste la même que celle observée pour les cônes. Par contre, la proportion de graviers diminue fortement (10 % au lieu de 50) alors que celle des sable fin, limon, et argile augmente.

D'autre part, la présence de graviers et petits cailloux (10 %) permet de distinguer cette formation des limons alluviaux auxquels elle se raccorde.

III.1.4. Les alluvions fluvio-glaciaires

La "butte" de La pierre constitue le seul affleurement de cette nature présent dans le moyen Grésivaudan. Elle est constituée par une formation sableuse et graveleuse, assez propre en général, et contenant des éléments de petite dimension.

La teinte en est grise et dans l'ensemble on peut noter des alternances de niveaux plus sableux et de niveaux plus graveleux à disposition subhorizontale.

Le sable est propre, moyen ou grossier, mais on peut y voir de petites lentilles de sables très fins.

Les éléments, constituant ce dépôt fluvio-glaciaire, généralement plats et arrondis, sont en majorité d'origine siliceuse (quartz, gneiss, granite). Ils peuvent at-

teindre 100 mm de diamètre.

On peut noter localement des consolidations en poudingue dans les niveaux graveleux et quelques zones légèrement gréseuses dans les niveaux sableux, ayant permis le creusement d'une galerie souterraine, stable depuis plusieurs décennies.

. Hydrogéologie

Faiblement étendue (250 m de longueur), cette formation ne joue aucun rôle hydrogéologique.

III.1.5. Les dépôts glaciaires

Ces matériaux se rencontrent principalement en rive gauche de l'Isère, et sur le plateau des Petites Roches. Leur épaisseur est variable. Ils couvrent des surfaces importantes, notamment dans le bassin de Theys.

De nature très variable, ils passent de l'argile à galets, au limon graveleux et à la grave argileuse.

1.5.1. Hydrogéologie

L'hétérogénéité de ces formations faisant voisiner des matériaux graveleux avec des niveaux limono-argileux plus ou moins étendus entraîne une accumulation de l'eau dans les premiers. Ces aquifères situés sur les versants ont en général des limites imposées par les seconds. (Figure n° 22).

La manifestation extérieure de cette hétérogénéité se retrouve dans la position multiple et dispersée de minuscules sources et suintements. Certains (classiques) sont au contact d'un substratum rocheux, mais d'autres répondent au cloisonnement interne plus ou moins parfait du dépôt. C'est ainsi qu'il y a apparition de sources, à des niveaux qui, vus de l'extérieur, ne correspondent pas à des contours géologiques précis.

Il en résulte une certaine instabilité naturelle de paquets (généralement peu épais) pouvant être accentuée par des terrassements. Ce phénomène est bien observable sur le CD 30 de Tencin à Theys lorsque la pente de l'amont-talus est forte (supérieure à 20 %).

1.5.2. Propriétés physiques

Elles n'ont été caractérisées que par l'analyse granulométrique de deux échantillons. (Figure n° 21).

I.R.I.G.M.

laboratoire de
géologie appliquée

FIG. 21

FORMATIONS GLACIAIRES

Designation
des
échantillons

N°

2 - 5

N°

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

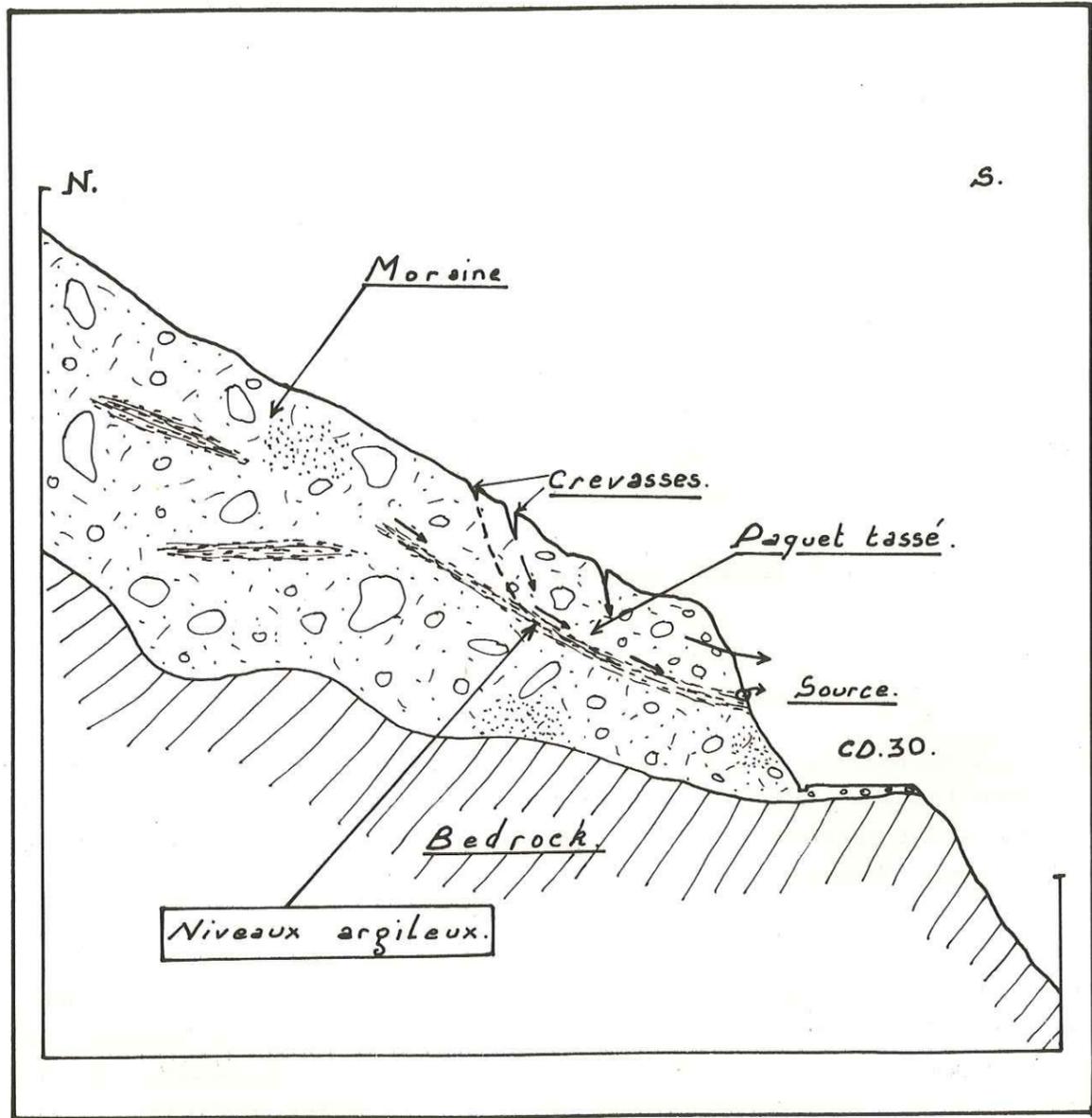
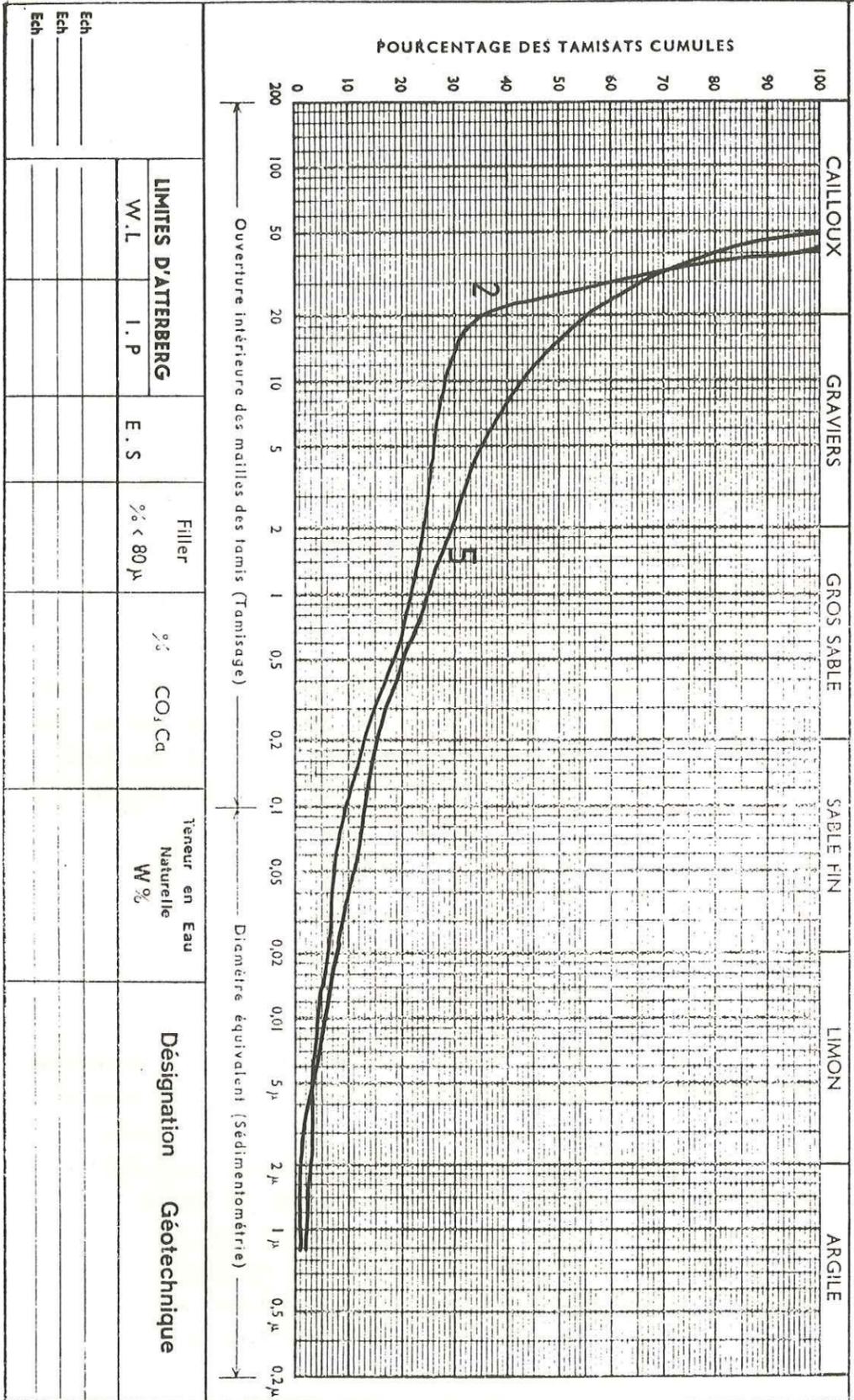


Figure 22. Glissement lié à l'hétérogénéité des formations glaciaires.

. Hétérométrie

Elle varie de 133 à 250. La granulométrie de ces dépôts est très étalée et donne des courbes mal classées où dominent néanmoins les éléments grossiers. Le filler est compris entre 9 et 13.

III.1.6. Les alluvions fluviales

Les alluvions récentes présentent des faciès variés = sables limoneux, graviers, limons, argiles, etc...

Ces dépôts constituent le sous-sol de la plus grande partie de la plaine, et s'imbriquent généralement avec les cônes de déjection, en bordure des versants.

Nous pouvons distinguer de ces formations deux types de granularités :

- . Les dépôts grossiers
- . Les dépôts fins.

1.6.1. Les dépôts grossiers

Ce sont principalement des dépôts graveleux et sableux. Les sondages effectués dans la plaine nous indiquent leur répartition spatiale. Ils regroupent des sables limoneux, des sables moyens ou grossiers avec graviers, des graviers et galets. Ces formations d'épaisseur variable (10 à 30 m) sont généralement masqués sous des limons de crue, superficiels.

6.1.1. Hydrogéologie

Ces formations sont imprégnées par une très importante nappe d'eau souterraine, dont le niveau Piezométrique est variable dans le temps.

Dans bien des secteurs, les dépôts fins qui courent la série, la maintiennent en charge, de telle sorte que les eaux sont ascendantes lorsqu'un sondage les atteint.

D'autre part, lors de fortes crues de la nappe, certains puits sont jaillissants. Cet artésianisme temporaire, constaté aux environs du Château de Bernis, s'explique par la géométrie des diverses formations géologiques. (Schéma n° 23).

La diminution de la section des chenaux perméables, vers l'aval joue en effet le même rôle qu'un seuil hydraulique. La perméabilité de ces formations varie de 10^{-2} m/s pour les graviers, jusqu'à 10^{-5} m/s pour les limons sableux.

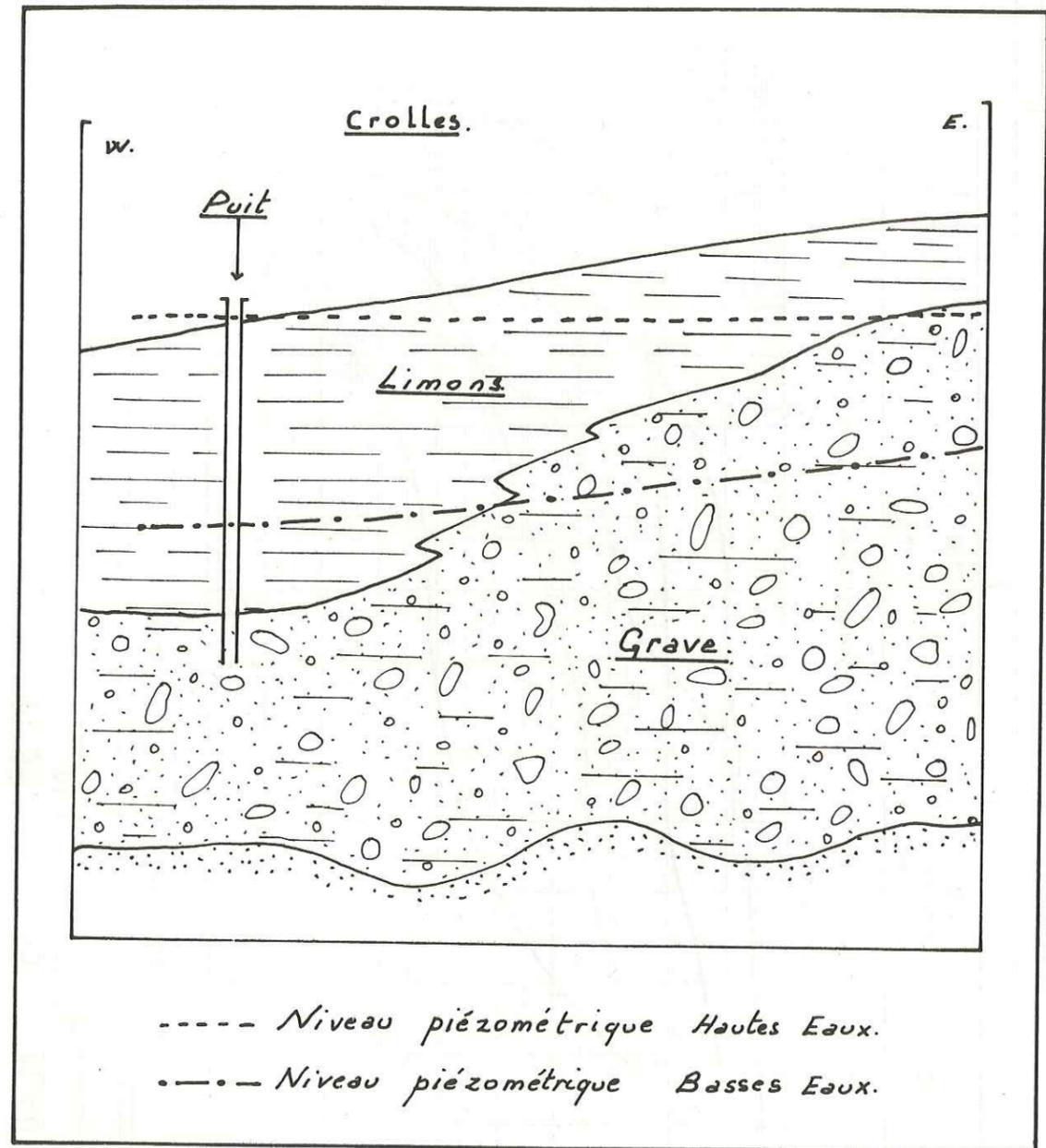
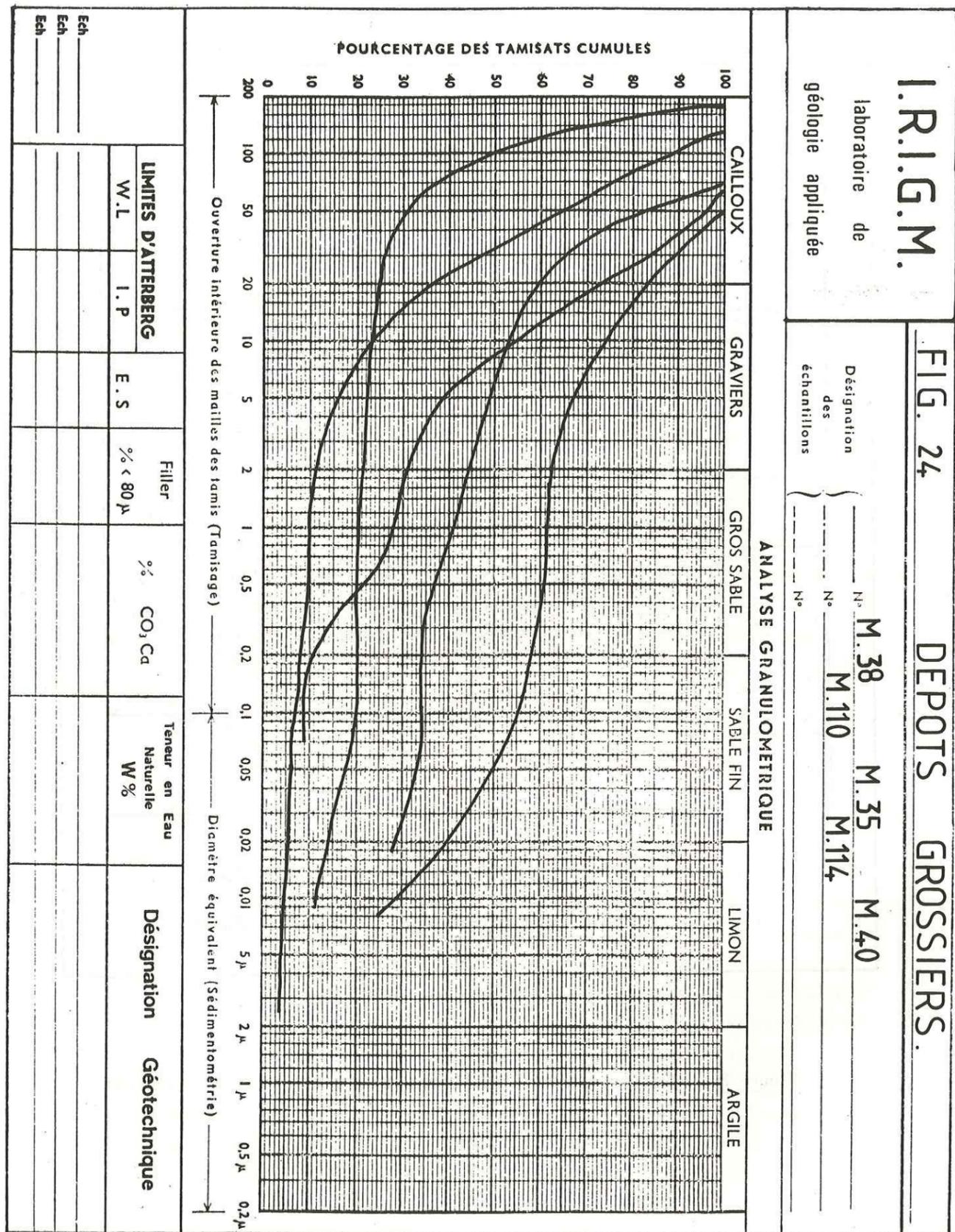


Figure 23. Puit artésien en relation avec la diminution de la section des chenaux.



6.1.2. Propriétés physiques et mécaniques

Ces données ont été pour la plupart recueillies ou établies en laboratoire, à partir d'échantillons prélevés à diverses profondeurs dans des sondages, lors de reconnaissances ponctuelles exécutées par divers organismes ou bureaux d'étude.

Nous n'avons toutefois que peu d'analyses établissant les propriétés de ces formations car, en général considérées comme de bonnes couches de fondation, elles n'ont pas fait l'objet d'investigations poussées.

. Granulométrie

A partir de quatre analyses granulométriques effectuées sur des échantillons sableux, et de cinq analyses concernant la grave, on remarque que les premiers sont bien gradués (Sb) alors que la dernière possède une granulométrie étalée, est mal graduée et montre un fuseau assez large (Sm - SL) (Figure n° 24). La présence de limons dans la grave est fréquente dans certains secteurs de la plaine.

. Hétérométrie - Filler - Es

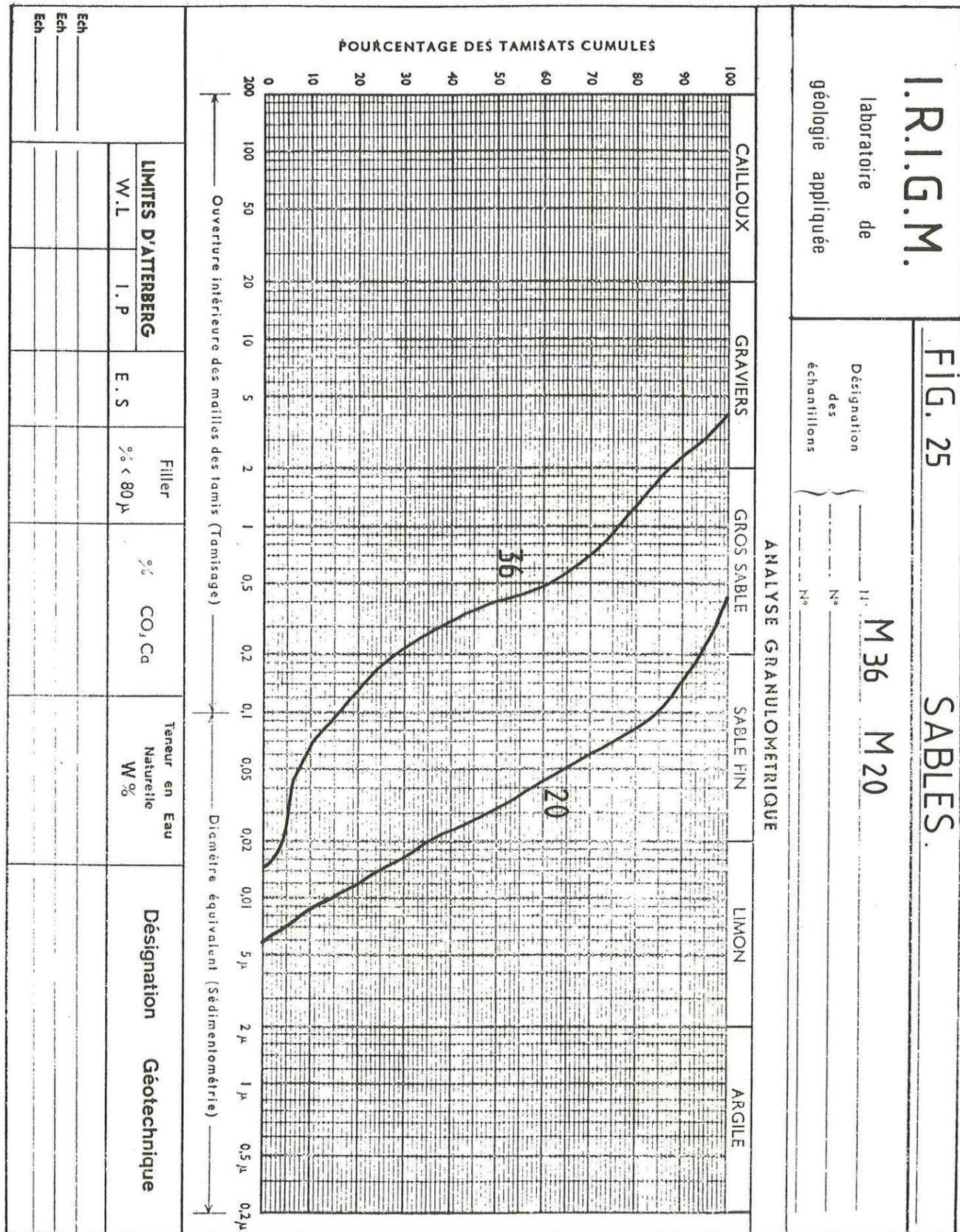
Sables	Grave
7 < He < 9	25 < He < 200
10 % < Fi < 85 %	10 % < Fi < 55 %
14 < Es < 79	23 < Es < 63

. Résistance en pointe

Etablie à partir d'une douzaine d'essais au pénétromètre dynamique, celle-ci présente les variations suivantes ;

Sable	Grave
0,1kPa < Rd < 0,2kPa	0,4kPa < Rd < 4kPa

Les caractéristiques suivantes ont été mesurées sur trois échantillons prélevés dans le faciès sableux.



. Teneur en eau

$$30,6 < W \% < 34,3$$

. Densité humide

$$1,78 < \gamma_h < 1,93$$

. Densité sèche

$$1,39 < \gamma_d < 1,44$$

. Essai de cisaillement

$$23^\circ < \phi_u < 31^\circ \quad 4 < C_u < 18kPa$$

La cohésion traduit ici la nature parfois faiblement limoneuse des bancs de sables déposés avec la grave. (Figure n° 25 échantillon M₂₀, par exemple).

. Résistivités

Etablies à partir des nombreux sondages électriques que nous avons réalisés sur l'ensemble de la plaine, celles-ci sont comprises entre 80 et 120 Ωm pour les sables et varient de 110 à 500 Ωm pour la grave.

1.6.2. Les dépôts fins

Ce terme regroupe tous les dépôts de surface, à savoir :

- Limons argileux
- Limons sableux
- Limons graveleux
- Limons tourbeux.

De genèse similaire, leurs propriétés géotechniques n'en sont pas moins variables. On les rencontre au-dessus de la formation précédente ; leur épaisseur peut varier de 0 à plus de 30 mètres, comme c'est le cas dans le secteur de Crolles - Les Ayes.

6.2.1. Hydrogéologie

Par leur faible perméabilité, ils contribuent à maintenir la nappe des alluvions grossières semi-captive. Celle-ci varie de 10⁻⁵ m/s pour les limons sableux à 10⁻⁹ m/s pour les limons tourbeux.

Ces limons, bien que faiblement perméables, présentent néanmoins des venues d'eau susceptibles de gêner l'exécution des travaux de fondation à moins d'un mètre sous la surface du sol. Ce phénomène a été constaté dans le secteur de Lumbin où des fondations ont été noyées en 15 heures à la suite d'une crue de la nappe. L'attente de la décrue a été nécessaire.

6.2.2. Propriétés physiques et mécaniques

Les données suivantes ont été recueillies à partir des différents essais ponctuels réalisés principalement dans les zones industrielles de Crolles et Goncelin.

2.2.1. Limons argileux

Etablies à partir de 14 échantillons prélevés dans les sondages, les caractéristiques de cette formation sont les suivantes :

. Teneur en eau naturelle

$$26 < W \% < 45,8$$

. Densité humide

$$1,72 < \gamma < 1,97$$

. Densité sèche

$$1,18 < \gamma_s < 1,53$$

. Essai de cisaillement

$$0^\circ < \phi_u < 12^\circ \qquad 30 \text{ kPa} < C_u < 50 \text{ kPa}$$

. Résistivités

Elles varient entre 15 et 40 Ω m.

. Résistance en pointe au pénétromètre

$$0,015 \text{ kPa} < R_p < 0,02 \text{ kPa}$$

2.2.2. Les limons sableux

On les rencontre principalement le long des berges de l'Isère. Moins épais que

les limons argileux, ils ont aussi des performances mécaniques légèrement supérieures.

. Limites d'Atterberg

L'analyse de quatre échantillons a fourni les résultats suivants :

$$33 < W_L \% < 42$$

$$23 < W_p \% < 26$$

$$12 < IP \% < 21$$

A titre indicatif, nous donnons les caractéristiques suivantes établies sur l'un de ces échantillons.

. Teneur en eau naturelle

$$W = 29,7 \%$$

. Densité humide

$$\gamma_h = 1,76$$

. Densité sèche

$$\gamma_d = 1,37$$

. Essai de cisaillement

$$\phi_u = 23^\circ \qquad C_u = 20 \text{ kPa}$$

. Résistivités

Elles varient de 35 à 60 ohm-mètre selon la quantité de sable contenue dans le limon.

. Résistance en pointe du pénétromètre

A partir d'une dizaine d'essais pénétrométriques effectués sur cette formation, nous donnons une variation de 0,10 à 0,30 kPa pour la résistance en pointe.

2.2.3. Les limons graveleux

Ce terme regroupe les limons contenant un faible pourcentage de graviers ou galets. Nous donnons quelques caractéristiques de ce niveau obtenues à partir de l'analyse de trois échantillons.

. Teneur en eau naturelle

$$12 < W \% < 23$$

. Densité humide

$$1,84 < \gamma_h < 2,10$$

. Densité sèche

$$1,50 < \gamma_d < 1,87$$

. Résistance en pointe au pénétromètre

Elle peut varier de 0,50 à 1 kPa, cette fourchette étant obtenue à la suite de cinq essais.

. Résistivités

Les sondages électriques que nous avons effectués et les indications trouvées dans divers dossiers fournissent des valeurs variant de 70 à 110 Ω m. Ceci en raison de la plus ou moins forte proportion de graviers ou galets dans la matrice limoneuse.

2.2.4. Les limons tourbeux

Cette formation est principalement représentée par des niveaux lenticulaires, dont l'épaisseur ne dépasse pas 3 mètres, et surtout concentrés dans les zones où les limons au sens large sont très épais (secteur des Ayes - Lumbin).

En confrontant les données géotechniques suivantes, établies à partir de six prélèvements, avec les caractéristiques des sols précédents, on décèle l'existence de mélanges où la matière organique n'est pas toujours en proportion prépondérante, à côté de tourbes véritables.

. Teneur en eau naturelle

$$30 < W \% < 85$$

. Densité humide

$$1,57 < \gamma_h < 1,90$$

. Densité sèche

$$0,85 < \gamma_d < 1,45$$

. Essai de cisaillement

$$0^\circ < \phi_u < 10^\circ \quad 24\text{kPa} < C_u < 50 \text{ kPa}$$

. Résistance en pointe

Les essais pénétrométriques ayant traversé ces niveaux indiquent une faible résistance en pointe, de l'ordre de 0,01 kPa.

. Résistivités

La résistivité de ces limons est toujours très faible, et varie entre 10 et 20 ohm-mètre. Elle est un peu plus forte lorsque le sol est très sec, et atteint alors 50 Ω mètres.

III.2. Aptitude aux travaux

Après une analyse globale des caractéristiques géotechniques, nous avançons ici une estimation de l'aptitude à la fondation de chaque formation. (Carte d'aptitude - Figure n° 26).

Nous avons remarqué que, dans le cas des cônes de déjection, les principales habitations étaient fondées dans les parties hautes ou médianes des cônes. On rencontre là, outre une protection contre les crues, de bonnes conditions de fondations.

A la périphérie des cônes, les nappes de colluvions sont moins sollicitées, car leur nature argileuse rend médiocre leur aptitude à la fondation.

Les sols fins de la plaine, compressibles et à consolidation lente, sont généralement peu recommandables pour des fondations, sauf celles de bâtiments légers. Toutefois, leur hétérogénéité (larges variations possibles de W et γ_d) doit réserver dans diverses zones des conditions plus satisfaisantes.

Sous la couverture de sols fins, les formations graveleuses constituent un niveau très acceptable pour les fondations de tous ouvrages, le seul caractère restrictif à cette affirmation étant leur profondeur qui dépasse parfois 30 mètres.

Les dépôts glaciaires enfin, sont considérés comme de bons sols de fondation, lorsqu'ils ne sont pas trop argileux, et que la pente est faible. En effet, leur hétérogénéité, et les petites nappes qui les imprègnent, sont autant de facteurs défavorables à l'ouverture de terrassements sur les versants, en particulier là où les phénomènes de solifluxion sont fréquents (bassin de Theys).

III.3. Le Bed - Rock

En l'absence de données géotechniques très précises, nous nous limiterons dans ce paragraphe à un regroupement des formations selon leur nature en distinguant les séries calcaires des séries calcaréo-marneuses.

III.3.1. Les séries calcaires

On ne les rencontre qu'en rive droite de l'Isère. Elles se répartissent en quatre formations qui sont : le bajocien, le séquanien, le tithonique et l'urgonien.

Actuellement, seul le calcaire bajocien a fait l'objet d'une exploitation pour pierres de tailles, dans une carrière située au nord de La Frette.

Ces roches sont d'autant plus dures et compactes qu'elles ont une teneur en Ca Co₃ élevée.

III.3.2. Les séries calcaréo-marneuses

Intercalées entre les précédentes, elles s'échelonnent à divers niveaux entre le Jurassique moyen et le crétacé inférieur et sont présentes aussi en rive gauche.

Dans notre secteur, le berriasien présente un intérêt particulier par la fracturation qui affecte ses bancs décimétriques et contenant de 10 à 20 % d'argile. En effet, cette fracturation permet l'alimentation d'une véritable nappe de fissures, exploitée aux Benoits et qui contribue à grossir les torrents temporaires qui franchissent la corniche tithonique en rive droite.

TABEAU 5. Propriétés physiques et mécaniques des alluvions de l'Isère.

N° Sond.	Géol.	Prof.	Wnat	Sr	E S	Filler	γ	γ d	Cuu kPa	φ uu	Rp kPa	Perm K m/s
M29	LS	1,2	29,7				1,76	1,37	20	23°		
M29	Lg	1,7	22,9				2,10	1,87		32°		
M29	Lg	2,5	11,9				1,84	1,50				
P6	LS	1,4									0,2	
M25	A1	2,15	26,4	91			1,88	1,48				10 ⁻⁶
M25	A1	2,60	25	91			1,88	1,47				10 ⁻⁷
M25	LA	3,80	36,5	100			1,86	1,36	50	4°		
M25	LA	4,10	33	100			1,87	1,40	50	1°		
M25	LA	5	40,4	100			1,79	1,27				10 ⁻⁷
M25	LA	5,50	34,6	100			1,87	1,39				
M22	A1	2	32,8	98			1,89	1,43				
M22	A1	2,20	31,8	97			1,91	1,45				
M22	AL	4,8	29	100			1,97	1,51	38	14°		10 ⁻⁶
M22	AL	5,5	49	100			1,72	1,15				
M22	At	5,60	44	100			1,75	1,21				
M22	At	5,80	35,8	100			1,84	1,35	24	6°		10 ⁻⁷
M23	AL	2,3	26	100			1,98	1,56				
M23	AL	4,2	28	100			1,92	1,50	40	1°		10 ⁻⁷
M23	At	5,3	43	100			1,75	1,22	26	10°		10 ⁻⁶
M24	AL	3,8	26,3	97			1,94	1,53	50	0°		10 ⁻⁷
M24	At	5,10	85	97			1,57	0,85	26	7°		10 ⁻⁶
M24	At	5,60	37,6	100			1,81	1,32				
M19	LA	3,5	29	100			1,95	1,51				
M19	LA	4	31,2	100			1,90	1,45				
M18	LA	2,10	27,4	95			1,90	1,49				
M18	LA	2,60	25,4	100			1,94	1,55				
M20	SL	1,10	33				1,85	1,39	1,8	30°		
M38	GS	1,10	9,2	61			2,07	1,89	20	33°		
M38	LA	3,20	22,3	91	20	19	1,97	1,61	30	14°		3.10 ⁻⁶

TABLEAU 5. (suite et fin)

N° Sond.	Géol.	Prof.	Wnat	Sr	E S	Filler	γ	γ_d	Cuu kPa	ϕ uu	Rp kPa	Perm K m/s
M37	LS	2,6	13,2	71								
M35	GS	3,6	3,6	87	58	55	2,01	1,78	20	22°		4.10 ⁻⁵
M36	SA	2,8	19,2				1,99	1,67				10 ⁻⁵
M39	Ls	1,6	12,4		34	33						
M40	GS	2,5	3,2		8	6						
M41	GA	2,9	9,6									
M117	LA	3,2	84,5				1,65	0,89				
M116	LA	2,5	81				1,61	0,89				
P9	LS	0,8									0,3	
P10	L9	1,6									0,6	
P11	LS	1,7									0,25	
P12	LS	1,8									0,3	
P13	GS	2,30									2	
P14	GS	2,5									2,5	

TABLEAU 5. (suite et fin)

N° Sond.	Géol.	Prof.	W _{nat}	Sr	E S	P ₁₁₁₁₁₁	Y	Y _d	Cau kPa	φ _{uu}	R ₀ kPa	Perm K m/s
M37	LS	2,6	13,2	71								
M35	GS	3,6	3,6	87	58	55	2,01	1,78				4,10 ⁻⁵
M36	SA	2,8	19,2				1,99	1,67	20	22°		10 ⁻⁵
M39	L5	1,6	12,4									
M40	GS	2,5	3,2		34	33						
M41	GA	2,9	5,6		8	6						
M117	LA	3,2	84,5				1,65	0,89				
M116	LA	2,5	81				1,61	0,89				
P9	L5	0,8										0,3
P10	L9	1,6										0,6
P11	LS	1,7										0,25
P12	LS	1,8										0,3
P13	GS	2,30										2
P14	GS	2,5										2,5

..... CHAPITRE VI

..... GEOLOGIE ET AMENAGEMENT

S O M M A I R E

- I. Introduction
- II. L'étude géologique
- III. L'étude géotechnique
- IV. Confrontation des résultats avec le S.D.A.U.
- V. Les limites de la méthode

I. INTRODUCTION

Ce chapitre expose d'abord les résultats auxquels nous sommes parvenus afin de les confronter ensuite avec les objectifs du S.D.A.U. et se termine par des remarques sur l'efficacité et les limites de la méthode utilisée.

On distingue en premier lieu ce qu'apporte l'étude proprement géologique, menée de façon classique, par rapport aux résultats de l'étude géotechnique qui, bien qu'obtenus par des moyens d'investigation légers, fournissent assez rapidement un ensemble de connaissances déjà utilisables dans le cadre du S.D.A.U.

II. L'ETUDE GEOLOGIQUE

L'urbanisation et l'aménagement d'une région doivent s'adapter et se soumettre à de nombreux facteurs. Nous ne considérons ici que les facteurs géologiques au sens large, sachant bien d'ailleurs qu'une orientation souhaitable peut parfois se trouver infléchie par des impératifs d'ordre administratif ou économique.

II.1. Le stade de l'intervention

L'intérêt d'une telle étude réside principalement dans l'orientation des choix concernant les schémas d'orientation régionaux ou locaux.

En effet, à ce stade, il convient de faire l'inventaire des difficultés qui pourraient naître lors de travaux, mais aussi de prévoir l'incidence de ceux-ci dans les divers secteurs de la région où ils seraient éventuellement engagés. Nous songeons d'abord aux problèmes de pollution des eaux souterraines ou aux risques naturels, l'étude géologique permettant, dans ce cas, de définir une ou plusieurs solutions équivalentes.

Ce sont par exemple différents choix pour un tracé de route, sur les versants, en particulier où l'on peut prévoir une mise en mouvement des terrains à la suite de travaux, et par conséquent envisager les protections, confortations ou soutènements nécessaires.

Le choix d'une zone de captage tiendra compte, parmi les diverses solutions envisagées, des implantations futures des zones industrielles, mais aussi de la protection de l'aquifère, de son alimentation, de son importance.

D'autre part, nous pensons que cette intervention, qui peut s'insérer dans le cadre d'un S.D.A.U., sera d'autant plus profitable qu'elle interviendra plus tôt dans la réalisation de ce dernier, car une bonne connaissance du sol et du sous-sol permet d'éviter bien des hésitations et d'effectuer très vite une sélection parmi diverses solutions concevables.

II.2. Nature des recherches

Dans notre secteur ce sont surtout les investigations classiques de surface qui représentent l'étude géologique, renforcées par le rassemblement des données existantes (bibliographie).

La surface à prospector que constituait la plaine du moyen Grésivaudan, indépendamment des versants, était assez considérable, c'est pourquoi il est apparu indispensable de baser la reconnaissance sur des moyens géophysiques.

II.3. Présentation des documents fournis

Les cartes que nous avons réalisées sont toujours des cartes de facteurs, ou de synthèse partielle dans un cas précis, comme l'étude de la vulnérabilité des eaux souterraines.

Les moyens dont nous disposons pour le tirage de ces documents ne nous permettaient pas de superposer plusieurs figurés correspondants à des facteurs différents. La clarté des cartes en aurait été affectée. Dans ce cas, seule l'utilisation de plusieurs couleurs et de signes conventionnels en noir, facilite l'édition de documents synthétiques.

III. L'ETUDE GEOTECHNIQUE

Telle que nous l'avons conçue, celle-ci constitue un catalogue de données rassemblant diverses caractéristiques géotechniques pour chaque formation.

IV. CONFRONTATION DES RESULTATS AVEC LE S.D.A.U.

IV.1. La plaine

IV.1.1. L'habitat

L'urbanisation actuelle se répartit principalement sur les bordures de la plaine alluviale, où la maison individuelle occupe une place prédominante.

Certaines zones ont été réservées à l'implantation d'immeubles ou de zones industrielles. Dans la mesure où l'urbanisation est d'autant plus facile que les caractéristiques géologiques et géotechniques sont favorables, il convient de confronter les orientations du S.D.A.U. avec les documents que nous avons établis.

C'est en particulier la carte de répartition des sols fins qui nous permet d'observer que la zone de forte urbanisation (agglomération) prévue dans le secteur de Bernin - Crolles correspond au remplissage limoneux le plus épais.

Ceci implique le recours à des fondations spéciales lors de la construction d'immeubles collectifs ou d'usines. La forte épaisseur de sols fins (supérieure à 15 mètres) limite le choix des fondations à un type superficiel rigide.

Dans la mesure où des tassements se produisent, il faudra toujours craindre des tassements différentiels, d'autant plus que le sous-sol recèle des lentilles sablo-graveleuses qui introduisent en outre une hétérogénéité supplémentaire.

IV.1.2. Les zones industrielles

Dans le même secteur, la zone industrielle de Crolles - Bernin est implantée là où l'épaisseur des limons est inférieure à 10 mètres. De ce fait, les usines seront fondées sur pieux à faible profondeur, évitant ainsi la construction sur les limons de surface qui, dans cette zone, ont des qualités portantes très médiocres. (Carte d'aptitude - Figure n° 26).

En rive gauche de l'Isère, les zones industrielles de Goncelin et Frogès sont sensiblement développées sur le même type de terrains. Ceux-ci ne présentent pas d'hétérogénéités (lentilles de limons au sein de la grave) à des profondeurs susceptibles d'être atteintes par les contraintes nées de la fondation de bâtiments lourds. Le choix de cette zone est donc heureux pour l'implantation de tels bâtiments. La nature du sous-sol entraî-

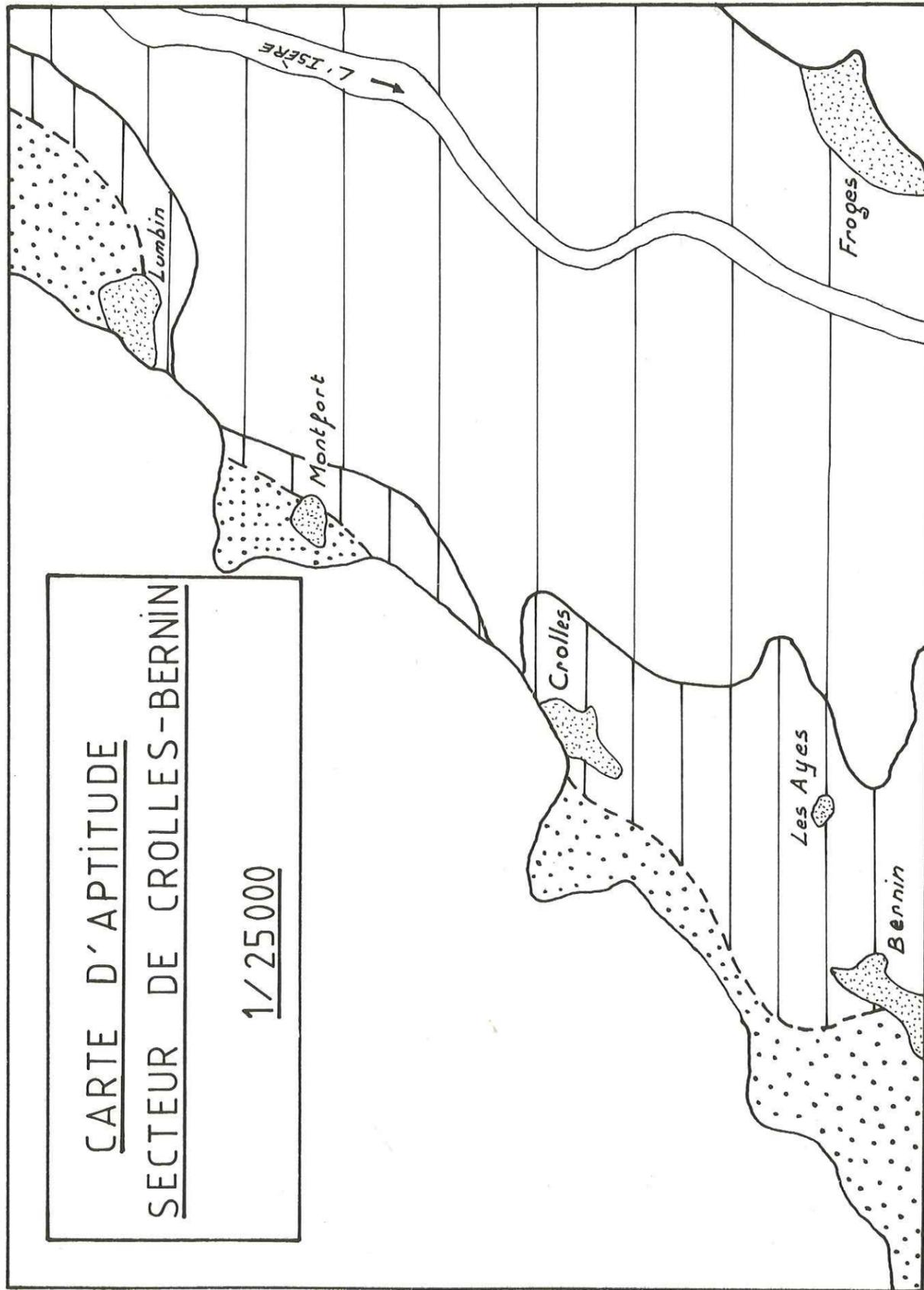
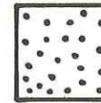


FIG. 26

CARTE D'APTITUDE

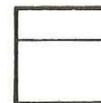
LEGENDE



Partie Haute et médiane des cônes de déjection.
Limons graveleux. Nappe entre 2 et 5 mètres de profondeur.
Bonne capacité portante. Excavation facile.
Possibilité de rencontrer de gros blocs au bas du versant.
Drainage facile.



Sols fins de puissance supérieure à 10 mètres.
Capacité portante très faible en surface, bonne sur matériel sous-jacent profond parfois de plus de 30 mètres.
Battements de la nappe entre 0 et 10 mètres. Mauvais drainage en surface.
Tassements probables.



Sols fins de puissance variable (0 à 10 m).
Reposent sur grave sableuse ou limoneuse, dont l'épaisseur dépasse 10 mètres. Bonne capacité portante de la formation graveleuse.
Excavation facile. Nappe entre 0 et 5 mètres.
Tassement peu probable.

ne une réduction des coûts de construction. Cependant, la protection de la nappe est moyenne à faible dans ces secteurs, on devra donc éviter les implantations génératrices de pollution.

IV.1.3. Les voies de communications

Les différents éléments étudiés ont permis de mettre en évidence l'importance de la vulnérabilité de la nappe à partir du critère épaisseur des sols fins. Cette couverture limoneuse constitue un écran, ou apporte un retard à l'infiltration de substances polluantes.

Selon P. Silvestre, J. Salado et J. Le Roux (1977), trois types de pollutions peuvent être envisagés pour une voie autoroutière :

- une pollution chronique liée à l'usure des pneumatiques et aux déversements de métaux lourds dans les gaz d'échappement. Celle-ci est mal connue et reste minime vis à vis d'une pollution concentrée.
- Une pollution saisonnière liée à l'entretien hivernal de l'autoroute (chlorures de calcium et sodium) variant avec les périodes de froids humides et de chutes de neige.
- Une pollution accidentelle provoquée par les accidents de la circulation ; cette dernière étant la plus imprévisible et la plus dangereuse.

A partir de ces considérations générales, nous pensons que la plateforme autoroutière du moyen Grésivaudan peut présenter deux "points difficiles", car elle se situe d'une part dans une zone où les sols fins peuvent être très peu épais, et, d'autre part, à proximité des zones très vulnérables où sont implantés les captages de la ville de Crolles, et la base de loisirs du lac de la Terrasse. (Figure 27).

IV.1.4. Les zones agricoles

Celles-ci couvrent de grandes surfaces, dans des secteurs où la protection naturelle des eaux souterraines peut varier dans de larges proportions vis à vis de l'épandage des engrais.

Nous ne possédons pas ici de données relatives à l'infiltration et au transfert de ces substances qui, par leur concentration à long terme, peuvent devenir des sources de pollution.

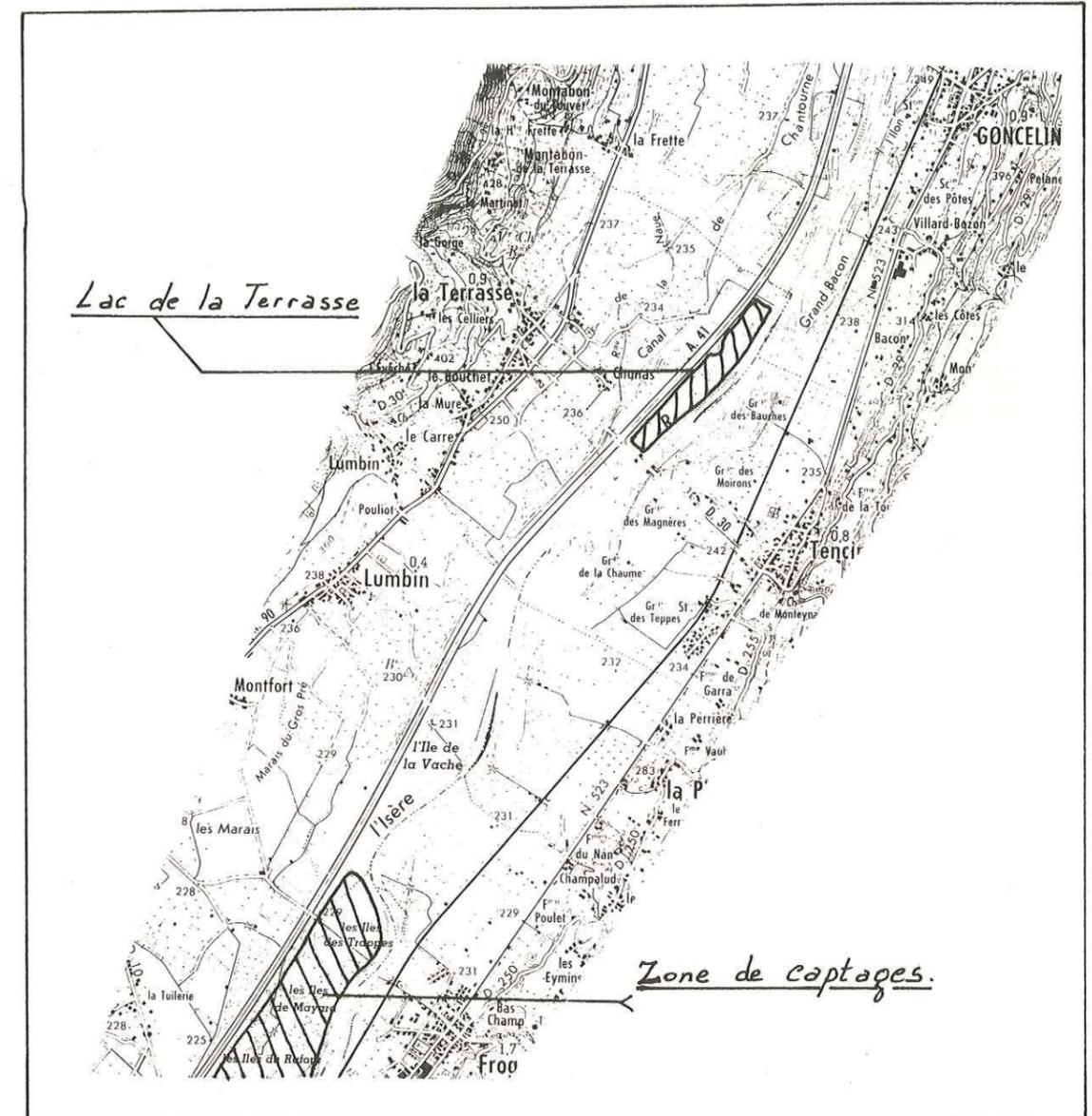


Figure 27. Points difficiles de la plateforme autoroutière.

En effet, le niveau piézométrique étant variable au gré des saisons et des crues, la zone non saturée de la nappe constituera un piège retenteur du polluant durant les périodes de basses eaux, alors qu'elle sera lessivée en période de crues. Dans la mesure où, hormis les périmètres de protection des captages, la culture reste partout de nature intensive, il convient de rester attentif à la qualité des eaux souterraines pour les secteurs cités précédemment. (Iles du Rafour).

Cette surveillance peut s'effectuer par une analyse plus fréquente des eaux.

IV.2. Les versants

C'est tout particulièrement la notion de risques naturels liée à la pente des versants qui doit retenir l'attention du responsable d'un aménagement. Il n'a été envisagé qu'un habitat dispersé dans les orientations du S.D.A.U. Les observations que nous avons pu faire en particulier sur le versant rive droite, nous permettent de dire qu'il convient d'éviter toute extension de l'habitat dans les zones situées à l'exutoire des thalwegs parcourant les pentes du versant, en dépit des protections contre la chute des blocs et des avalanches déjà en place à l'amont.

IV.3. Conclusion

L'étude géologique doit permettre, en tenant compte des réalisations antérieures, d'orienter les choix futurs, parfois d'infléchir ou de nuancer certaines orientations déjà retenues, voire même de limiter certains équipements dans le souci de sauvegarder le patrimoine naturel que constituent par exemple, les aquifères et les réserves de matériaux.

Actuellement, chaque commune réalise des études géologiques ponctuelles pour résoudre des problèmes précis tels que implantation de captages, délimitation des zones industrielles, etc... Ces aménagements peuvent avoir des conséquences vis à vis de ceux que pourraient mettre en oeuvre les communes voisines. C'est pourquoi nous pensons que le type d'étude que nous avons réalisé devrait systématiquement être utilisé afin de servir de base, au même titre que la carte géologique au 1/50 000 dans d'autres cas, pour les études géologiques engagées au coup par coup, les travaux à réaliser se traitant à grande échelle (1/10 000 ou plus) mais s'intégrant toujours dans un contexte régional dont il faut tenir compte.

V. LES LIMITES DE LA METHODE

Elles sont fixées en partie par les moyens mis en oeuvre pour la réalisation des documents. Ces moyens conditionnent du reste l'échelle selon laquelle les résultats seront traduits par une carte.

L'utilisateur ne devra en aucun cas "oublier" sur quelle densité de renseignements de tous ordres ils ont été fondés. De même, pour une utilisation précise d'un document synthétique, il sera nécessaire de tenter de suivre à nouveau la démarche grâce à laquelle l'auteur des documents est arrivé à une conclusion ou une extrapolation des résultats dans un secteur qui était dépourvu d'investigations.

Ce type d'étude qui constitue un bon moyen d'intervention au niveau de la réalisation d'un S.D.A.U. devra obligatoirement être complétée, si l'on veut établir une carte d'aptitude à la fondation des divers terrains. Nous pensons ici aux zones où l'habitat sera concentré dans l'avenir, et qui nécessiteront des investigations poussées, aboutissant à la réalisation d'un document à grande échelle (1/5 000 au moins) qui puisse être commodément confronté avec ceux du P.O.S.

Cette carte aurait également l'avantage de rassembler un grand nombre de données, autrement inutilisables si elles restent dispersées.

Nous signalerons ici les travaux de G. Mercieca (1977) et P. Talloni (à paraître), allant dans ce sens par un stockage automatique des données sur d'autres secteurs de la région grenobloise, et qui pourrait être étendu à la totalité.

Les limites de la méthode relèvent également du type de matériel utilisé pour effectuer certains relevés.

Les régions couvertes uniquement par des sondages mécaniques, bien répartis, seront connues de façon qualitative et quantitative, alors que celles où les investigations géophysiques prédominent, ne le seront que d'une manière relativement plus approchée selon la configuration du sous-sol.

Nous pensons d'autre part que cette méthode n'est pleinement efficace que si le géologue possède une bonne connaissance de la géologie locale, ce qui lui permettra de faire certaines approximations lors de la synthèse des résultats.

Cette connaissance est d'ailleurs liée à la qualité des documents déjà existants et croît avec le progrès des recherches. La phase du travail qui permet de rassembler de nombreuses données relatives au sous-sol est donc importante.

D'une façon générale, la méthode que nous avons employée contribue à fournir au cours de l'élaboration d'un schéma d'aménagement des renseignements d'un caractère global dans certains secteurs, plus précis dans d'autres, et reste avant tout rapide et peu onéreux.

Elle devrait être mise en oeuvre avant tout dessin et définition d'un S.D.A.U..
La prise en considération des données géologiques n'est malheureusement pas suffisamment
entrée dans les habitudes.

R E S U M E

Elle devrait être mise en oeuvre avant tout dessin et définition d'un S.D.A.U.,
La prise en considération des données géologiques n'est malheureusement pas suffisamment
entrée dans les habitudes.

R E S U M E

Au terme de ce travail, il convient de dégager l'essentiel des résultats obtenus, des idées avancées, et de montrer dans quelles voies il faudra poursuivre des recherches pour améliorer les études futures entreprises pour la réalisation d'un schéma d'aménagement.

La mise à jour des documents de provenances diverses (bureaux d'études, D.D.E., D.D.A., etc...) a été arrêtée en avril 1977. Nous avons entrepris la synthèse de 140 sondages mécaniques, 20 essais pénétrométriques, 261 sondages électriques, dont 180 ont été effectués en complément, ainsi que de nombreux essais de Laboratoire (analyses granulométriques, essais mécaniques, etc...).

Le présent mémoire rend compte des résultats acquis au cours de cette étude.

Il contient tout d'abord des éléments de morphologie représentés par une carte lithomorphologique sur laquelle apparaissent les traces de l'érosion glaciaire au cours de la période quaternaire.

Liés aux traits dominants de la morphologie, falaises, pentes, la notion de risques naturels a été développée afin d'apporter quelques compléments aux cartes déjà existantes.

C'est tout particulièrement le versant rive droite qui a fait l'objet d'un examen approfondi (photos aériennes, parcours du terrain), l'érosion des falaises tithonique et urgonienne s'y poursuivant de nos jours.

Viennent ensuite tous les résultats relatifs à la plaine alluviale.

La connaissance de la géologie de la plaine pour la synthèse de toutes les données regroupées, sert de support aux thèmes d'études suivants :

- Le remplissage alluvial = Il est caractérisé par une répartition inégale des limons de surface. Ces dépôts sont particulièrement épais en bordure de la plaine, versant droit, où ils atteignent parfois 30 mètres de puissance. D'autre part, nous avons pu constater que la formation graveleuse sous-jacente diminuait d'épaisseur d'amont en aval (de 25 à 10 mètres dans le secteur central), ce qui, compte tenu des variations d'altitude, laisse supposer une érosion quasi horizontale des sablons sous-jacents avant le remplissage alluvial grossier.

L'analyse du sous-sol a permis de révéler l'irrégularité du toit et du mur de cette formation grossière. Il a été possible de déceler la présence de chenaux graveleux au sein de la grave limoneuse dans les secteurs de Crolles et de La Frette. Ceux-ci oc-

cupent vraisemblablement d'ancien méandres de l'Isère et sont le siège d'un écoulement préférentiel des eaux souterraines, ce qui a une incidence pratique sur la localisation des futurs captages.

La distribution des matériaux alluvionnaires (graves et limons de surface) s'est faite le plus souvent de façon lenticulaire. Nous avons pu constater que l'alluvionnement était de nature surtout graveleuse à l'amont alors que l'épaisseur des limons de surface augmentait à l'aval, particulièrement en rive droite où les apports des cônes de déjection et l'élargissement de la vallée ont facilité cette sédimentation fine.

Ces divers résultats ont été reportés sur des cartes thématiques traduisant la géologie du sous-sol à des profondeurs variables (carte géologique de surface, à -2, -4, -6 mètres, etc...), la répartition des sols fins, les zones à fortes résistivités apparentes.

- De même, nous avons tenté d'analyser, à partir de l'étude détaillée de la répartition des sols fins, la vulnérabilité de la nappe basée sur l'épaisseur relative de ces derniers. Cette vulnérabilité est très forte dans la partie médiane de la plaine, au niveau des zones de loisirs de la Terrasse, et en bordure des berges de l'Isère. Elle diminue fortement lorsqu'on s'approche des versants.

- Les résultats obtenus trouvent une autre application dans la définition de réserves de matériaux utilisables pour remblais ou bétons.

- Enfin, les propriétés géotechniques des divers terrains rencontrés sont rassemblés sous forme de fiches techniques, dans la mesure où nous avons pu disposer de données utilisables.

L'analyse de ces dernières a montré que les propriétés mécaniques des cônes de déjection et de leurs bordures pouvaient varier fortement du fait de leur hétérogénéité.

Dans la plaine, les différentes formations homogènes dans leur contexte géologique, peuvent présenter des caractéristiques mécaniques variables selon les secteurs. Il convient d'être attentif aux niveaux compressibles se trouvant dans les alluvions fines notamment. (Limon tourbeux). Cette qualité portante du sol a été transcrite sur une carte d'aptitude à la fondation dans le secteur de Bernin - Crolles où nous possédions beaucoup de données.

Plusieurs problèmes abordés dans ce mémoire nécessiteraient des compléments d'études par de nouvelles mesures, notamment en ce qui concerne la précision de la cote

de la base de la formation grossière, utile à une meilleure connaissance du remplissage alluvial.

D'une façon générale, nous avons tenté de prendre en compte les mesures géophysiques que nous avons effectuées, pour l'estimation des types de fondations. C'est un domaine où une démarche rationnelle permettant de relier les valeurs des résistivités à certaines caractéristiques du sol ou de sa structure, conduirait à dresser des tables de correspondances au moins pour la zone concernée et à l'échelle considérée.

En ce qui concerne tous les problèmes de pollution, il serait intéressant de préciser la notion de vulnérabilité par des traçages afin de suivre la propagation d'une éventuelle pollution, et dans un cas précis de pouvoir intervenir avec plus ou moins de rigueur.

En terminant ce travail, notre souhait est qu'il soit lu et complété au bénéfice de tous les utilisateurs.

CONCLUSIONS

de la base de la formation grossière, utile à une meilleure connaissance du remplissage alluvial.

D'une façon générale, nous avons tenté de prendre en compte les mesures géophysiques que nous avons effectuées, pour l'estimation des types de fondations. C'est un domaine où une démarche rationnelle permettant de relier les valeurs des résistivités à certaines caractéristiques du sol ou de sa structure, conduirait à dresser des tables de correspondances au moins pour la zone concernée et à l'échelle considérée.

En ce qui concerne tous les problèmes de pollution, il serait intéressant de préciser la notion de vulnérabilité par des traçages afin de suivre la propagation d'une éventuelle pollution, et dans un cas précis de pouvoir intervenir avec plus ou moins de rigueur.

En terminant ce travail, notre souhait est qu'il soit lu et complété au bénéfice de tous les utilisateurs.

CONCLUSIONS

Au cours de cette étude, nous avons défini et précisé les principales caractéristiques géologiques et géotechniques du moyen Grésivaudan, pour son aménagement futur, dont les grandes lignes ont été fixées par le S.D.A.U. de la région grenobloise en 1973. Ce travail présentait à la fois des problèmes de méthodologie, et de choix des thèmes d'études à envisager, spécifiques à l'aménagement de cette région.

Les sujets abordés étaient nécessairement très variés, exigeaient fréquemment une connaissance précise du sous-sol, et en contrepartie les moyens disponibles (quant aux techniques d'investigation notamment) étaient relativement réduits.

Cette étude, qui débouche sur de nombreuses applications pratiques, s'appuie au départ sur la connaissance de la géologie générale de la région. La liaison entre cette connaissance de base et les résultats obtenus a été maintenue tout au long de notre travail. Elle permet de retracer l'histoire géologique récente qui conditionne (peu ou prou) tout l'aspect géotechnique de la région.

Sur les versants, c'est l'héritage des récurrences glaciaires qui, par la pente des dépôts morainiques en particulier et la morphologie du substratum, oriente les possibilités d'aménagement.

Dans la plaine, la notion de risques liés à l'action de l'homme (en particulier risque de pollution des eaux souterraines) se substitue à celle de risques naturels. La connaissance des surcreusements glaciaires, qui ont alterné avec les phases de remblayage alluvionnaire associés aux épandages de piedmont, et ont donné au moyen Grésivaudan ses aquifères, ses réserves de matériaux et ses sols fins, est importante.

Leur répartition, qui n'est pas fortuite, est à l'origine des facilités ou des difficultés que rencontre le responsable de l'aménagement.

..... ANNEXES

..... LISTE DES CARTES GEOLOGIQUES ET GEOTECHNIQUES

..... LOCALISATION ET COUPE DES SONDAGES

IMPLANTATION DES SONDAGES

MECANIQUES

N°	X	Y	N°	X	Y	N°	X	Y
M 1	877,99	336,35	46	880,65	337,57	100	884,67	343,00
2	878,05	336,44	47	880,75	337,67	101	884,49	343,10
3	878,25	336,40	48	880,37	337,58	102	884,83	343,23
4	878,23	336,33	49	880,40	337,68	103	883,95	343,28
5	878,30	336,30	50	880,45	337,75	104	884,02	343,55
6	878,10	336,30	51	880,50	337,90	105	884,18	343,77
7	878,15	336,26	52	880,67	337,90	106	884,32	343,95
8	878,25	336,23	53	881,22	336,96	107	884,30	344,02
9	878,55	336,10	54	881,32	337,10	108	884,88	343,70
10	878,70	336,10	55	881,05	337,93	109	884,90	343,75
11	878,80	336,12	56	880,60	338,22	110	885,01	343,75
12	878,75	336,13	57	880,75	338,38	111	884,95	343,81
13	878,70	336,21	58	881,03	338,50	112	885,05	343,89
14	878,50	336,35	59	880,88	338,65	113	885,08	344,00
15	878,60	336,49	60	880,97	338,85	114	885,05	344,08
16	878,70	336,47	61	881,02	339,07	115	884,95	344,02
17	878,90	336,65	62	881,12	339,30	116	884,99	343,95
18	879,14	336,12	63	881,22	339,50	117	884,97	343,85
19	879,25	336,15	64	881,35	339,77	118	884,87	343,98
20	879,30	336,12	65	881,45	339,95	119	884,90	343,84
21	879,35	336,13	66	881,25	340,10	120	884,85	343,80
22	879,40	336,28	67	881,62	340,28	121	884,37	344,22
23	879,50	336,20	68	881,74	340,35	122	884,51	344,24
24	879,32	336,35	69	881,69	340,40	123	884,57	344,30
25	879,45	336,40	70	881,65	340,45	124	884,50	344,31
26	879,73	336,18	80	881,85	340,62	125	884,28	344,35
27	879,88	336,15	81	881,95	340,76	126	884,33	344,49
28	881,30	336,38	82	882,10	340,98	127	884,40	344,67
29	881,26	336,30	83	882,20	341,12	128	884,88	344,36
30	881,21	336,25	84	883,40	340,25	129	885,03	344,59
31	879,65	336,75	85	882,42	341,35	130	884,80	344,88
32	879,88	336,90	86	882,50	341,33	131	884,77	344,80
33	880,08	337,12	87	882,62	341,52	132	884,74	344,83
34	879,65	337,25	88	882,90	341,58	133	884,75	344,89
35	878,31	337,36	89	882,80	341,72	134	884,69	344,90
36	878,28	337,45	90	883,02	341,83	135	884,65	344,85
37	878,35	337,49	91	883,10	342,00	136	884,63	344,92
38	878,40	337,55	92	883,65	342,73	137	884,60	344,85
39	878,32	337,60	93	884,70	342,77	138	884,42	344,87
40	878,24	337,60	94	884,67	342,86	139	884,45	345,00
41	878,36	337,68	95	884,61	342,85	140	884,51	345,90
42	880,20	337,33	96	884,62	342,92	141	884,52	346,08
43	880,35	337,49	97	884,74	342,95	142	883,25	342,07
44	880,60	337,40	98	884,83	342,92			
45	880,80	337,48	99	884,77	343,00			

IMPLANTATION DES SONDAGES

PENETROMETRIQUES

N°	X	Y
P 1	879,20	336,14
P 2	879,30	336,16
3	879,37	336,43
4	879,37	336,35
5	879,43	336,38
6	881,20	336,23
7	881,25	336,25
8	881,25	336,32
9	884,95	343,76
10	885,05	343,84
11	885,06	343,95
12	885,00	344,02
13	884,95	343,90
14	884,87	343,86

IMPLANTATION DES SONDAGES

ELECTRIQUES

N	X	Y	N°	X	Y	N°	X	Y
E 1	878,20	336,10	46	879,98	336,68	91	880,75	337,50
2	878,49	336,15	47	880,15	336,60	92	880,50	337,68
3	878,65	336,10	48	880,02	336,50	93	880,60	337,80
4	878,95	336,15	49	880,27	336,45	94	880,85	337,80
5	879,58	336,15	50	880,35	336,45	95	881,00	337,68
6	879,65	336,20	51	880,50	336,75	96	881,50	337,20
7	879,80	336,16	52	880,60	336,90	97	881,40	337,35
8	879,95	336,20	53	880,45	336,88	98	881,90	337,49
9	880,11	336,15	54	880,35	336,95	99	881,60	337,60
10	880,30	336,22	55	880,25	336,90	100	881,30	337,70
11	880,10	336,25	56	880,20	336,90	101	881,10	337,85
12	879,95	336,31	57	880,32	337,12	102	880,95	338,00
13	879,88	336,35	58	880,05	337,02	103	881,50	337,90
14	879,75	336,30	59	879,85	337,08	104	881,25	338,02
15	879,51	336,55	60	879,75	337,15	105	881,10	338,13
16	879,30	336,62	61	879,65	337,30	106	880,75	338,25
17	878,80	336,26	62	879,42	337,25	107	880,35	338,45
18	878,75	336,68	63	879,20	337,45	108	880,25	338,23
19	878,65	336,60	64	878,98	337,50	109	880,10	338,05
20	878,50	336,61	65	878,70	337,49	110	880,02	338,25
21	878,25	336,20	66	879,50	337,45	111	880,01	338,55
22	878,10	336,32	67	879,65	337,60	112	879,90	338,70
23	877,90	336,35	68	879,40	337,60	113	879,65	338,65
24	877,70	336,48	69	879,25	337,75	114	879,75	338,90
25	877,50	336,52	70	879,15	337,85	115	880,20	338,68
26	877,35	336,70	71	879,00	337,92	116	880,10	338,85
27	877,98	336,68	72	878,85	338,02	117	879,95	339,20
28	878,20	336,67	73	878,65	338,10	118	880,16	339,10
29	878,05	336,85	74	879,25	337,95	119	880,35	339,00
30	878,10	336,98	75	879,52	337,80	120	880,48	338,80
31	877,80	337,20	76	879,50	338,00	121	880,95	338,60
32	877,99	337,10	77	879,20	338,20	122	881,05	338,70
33	878,25	337,15	78	879,10	338,40	123	881,10	338,82
34	878,35	337,05	79	879,45	338,32	124	880,85	338,90
35	878,35	337,27	80	879,76	338,30	125	880,70	339,02
36	878,40	337,38	81	879,82	338,02	126	880,58	339,04
37	878,55	337,25	82	880,02	337,65	127	880,38	339,20
38	878,70	337,25	83	879,98	337,47	128	880,20	339,32
39	878,85	337,10	84	880,38	337,35	129	880,00	339,55
40	879,08	337,20	85	880,60	337,25	130	879,78	339,80
41	879,02	337,00	86	880,75	337,20	131	879,95	339,72
42	879,30	336,98	87	880,75	337,30	132	880,25	339,60
43	879,10	336,84	88	881,30	337,10	133	880,25	339,85
44	879,60	336,82	89	880,57	337,48	134	880,55	339,98
45	879,88	336,70	90	880,38	337,52	135	880,60	339,75

N°	X	Y	N°	X	Y	N°	X	Y
136	880,65	339,50	186	883,85	341,35	236	883,75	345,18
137	880,65	339,25	187	884,18	341,30	237	884,05	344,85
138	880,85	339,48	188	884,30	341,52	238	884,72	344,35
139	880,85	339,25	189	884,10	341,75	239	884,82	344,25
140	881,05	339,10	190	883,60	342,30	240	885,10	344,82
141	881,30	339,05	191	883,15	342,65	241	884,90	344,90
142	881,40	338,90	192	882,85	342,55	242	885,20	345,25
143	881,75	338,72	193	882,75	342,70	243	884,15	345,40
144	882,10	338,25	194	882,55	342,85	244	884,05	345,18
145	882,10	337,90	195	882,68	343,05	245	883,80	345,45
146	882,20	338,50	196	882,85	342,95	246	883,60	345,58
147	882,50	338,60	197	883,05	342,80	247	883,86	345,78
148	882,70	338,80	198	883,35	342,75	248	884,10	345,76
149	882,30	339,00	199	882,96	343,20	249	884,52	345,75
150	882,30	339,20	200	883,20	343,10	250	884,55	346,02
151	882,85	339,15	201	884,25	342,40	251	885,18	345,62
152	882,52	339,48	202	884,45	342,10	252	885,50	345,60
153	882,12	339,45	203	884,35	342,80	253	885,82	345,75
154	881,25	339,88	204	884,68	343,10	254	885,30	345,98
155	881,00	339,72	205	884,48	343,05	255	884,80	346,16
156	880,95	340,05	206	884,50	343,35	256	884,60	346,45
157	881,18	340,05	207	884,10	343,58	257	884,85	346,46
158	881,40	340,10	208	883,45	343,40	258	885,40	346,35
159	881,65	341,50	209	883,16	343,48	259	885,85	346,15
160	881,66	341,75	210	883,02	343,68	260	885,65	346,40
161	881,90	341,48	211	882,75	343,80	261	885,95	346,38
162	882,20	341,40	212	882,82	343,98			
163	883,00	341,05	213	883,40	343,65			
164	882,75	340,20	214	883,10	344,15			
165	883,00	339,95	215	883,45	343,90			
166	883,20	339,95	216	883,68	343,65			
167	882,95	340,35	217	883,75	344,10			
168	883,38	340,45	218	883,85	343,75			
169	883,15	340,66	219	884,60	343,55			
170	883,50	341,10	220	884,65	343,80			
171	883,75	341,08	221	884,40	344,10			
172	883,50	341,30	222	884,30	344,12			
173	882,75	341,80	223	883,85	344,35			
174	881,95	341,75	224	883,55	344,45			
175	882,15	341,90	225	883,16	344,50			
176	882,35	341,82	226	883,15	344,68			
177	882,30	342,12	227	883,05	344,90			
178	882,45	342,35	228	882,95	345,15			
179	882,25	342,88	229	883,18	345,05			
180	882,70	342,40	230	883,52	344,70			
181	882,90	342,30	231	883,95	344,58			
182	883,35	342,05	232	883,65	344,90			
183	883,48	342,15	233	883,50	345,00			
184	883,80	341,82	234	883,12	345,26			
185	883,90	341,55	235	883,35	345,20			

CODE DES COUPES DE SONDAGES

LITHOLOGIE

A	Argile
L	Limon
T	Tourbe
S	Sable
G	Gravier - galet
GL	Grave Limoneuse
GS	Grave Sableuse
LT	Limon tourbeux
LS	Limon sableux
LA	Limon argileux
Lg	Limon graveleux

COUPE DES SONDAGES ELECTRIQUES

SYMBOLE E

1.	0 - 2 - 17 > 22	Lg LT GL	11.	0 - 2,5 - 5 > 12	LS GS GL	20.	0 - 1,5 - 6,5 - 8,5 > 15	LT LA LT GL
2.	0 - 10 > 15	LA GL	12.	0 - 1 - 11 > 15	LS GS GL	21.	0 - 11 > 20	LA GL
3.	0 - 10 > 18	LA GS	13.	0 - 1 - 4 > 15	GL LA GL	22.	0 - 28 > 28	LA GS
4.	0 - 4 > 12	LA GL	14.	0 - 3,5 - 21 > 25	Lg GL S	23.	0 - 37 > 37	LA GS
5.	0 - 3 - 6 > 18	LS GS GL	15.	0 - 5 > 30	LS GL	24.	0 - 40 > 40	LA GS
6.	0 - 2 - 13 > 15	Lg GS S	16.	0 - 1,5 - 5 > 30	LS LA GL	25.	0 - 30 > 30	LA GS
7.	0 - 2 - 13 > 23	LS GS LS	17.	0 - 1,4 - 2,5 - 5 > 15	Lg LT LA GL	26.	0 - 2 - 7 - 24 > 24	Lg GS LA GS
8.	0 - 2 - 14 > 16	Lg GS S	18.	0 - 1,5 - 5 > 30	LA LT GL	27.	0 - 6 - 15 > 17	LA LT GL
9.	0 - 5 - 14 > 22	LS GS LS	19.	0 - 1,5 - 6 > 30	LT LA GL	28.	0 - 4 - 11 > 25	LS LT LA
10.	0 - 1 - 4 > 14	LS GS GL	29.	0 - 11 > 35	LA Lg			

30. 0 - 2 LS
 - 6 LA
 - 16 LS
 > 25 GS

31. 0 - 4 Lg
 - 12 GS
 > 35 GL

32. 0 - 2 LA
 - 25 Lg
 - 30 GS

33. 0 - 1,45 Lg
 - 3 LA
 - 6 Lg
 - 21 LA

34. 0 - 2,10 LA
 - 4,5 LS
 - 15 LA
 - 20 GS

35. 0 - 2 Lg
 - 6 GL
 - 20 LS
 - 26 GS

36. 0 - 1,5 GL
 - 5,5 Lg
 - 20 LS
 - 30 GS

37. 0 - 2,5 Lg
 - 15 LA
 - 40 LT

38. 0 - 7,5 LA
 - 35 GL

39. 0 - 1,5 LS
 - 5,5 LA
 > 30 GS

40. 0 - 1,5 LS
 - 5,5 LA
 > 30 GS

41. 0 - 1,45 LS
 - 5 LA
 > 30 GS

42. 0 - 1,5 LS
 - 3 LA
 - 12 GL
 > 16 GS

43. 0 - 1,5 LA
 - 30 Lg

44. 0 - 1,5 GL
 - 5 LS
 - 30 GL

45. 0 - 1,5 LS
 - 5 GS
 - 20 GL

46. 0 - 1 LS
 - 4 GS
 - 20 GL

47. 0 - 3 GL
 - 15 Lg
 - 20 GL

48. 0 - 1,5 LS
 - 5 GS
 - 20 GL

49. 0 - 2 LA
 - 5 Lg
 - 20 GS
 - 21 S

50. 0 - 2,5 Lg
 - 20 GS
 > 20 S

51. 0 - 2 LS
 - 20 GS
 > 24 S

52. 0 - 4 Lg
 - 15 GS
 > 18 S

53. 0 - 1 GL
 - 3 LA
 - 30 GL
 > 32 S

54. 0 - 2 LA
 - 25 GS
 > 26 S

55. 0 - 2 LS
 > 10 GS

56. 0 - 1 GL
 - 11 GS
 > 15 S

57. 0 - 1 LS
 - 9 GS
 > 12 S

58. 0 - 2 LA
 - 12 GL

59. 0 - 2 LA
 > 10 GL

60. 0 - 3 LA
 - 4 LT
 - 9 GS
 - 12 GL

61. 0 - 3 LA
 - 4 LT
 - 20 GS
 - 22 S

62. 0 - 24 LS
 - 15 GS
 > 30 GL

63. 0 - 4,5 LA
 > 30 GL

64. 0 - 1,5 LT
 > 40 GL

65. 0 - 1,5 Lg
 - 2 LA
 - 3 GL
 > 5 LA

66. 0 - 3 LA
 - 22 GS
 > 25 S

67. 0 - 5 LS
 > 35 GL

68. 0 - 2,6 LA
 - 20 GS
 > 23 S

69. 0 - 2,5 LA
 > 12 GL

70. 0 - 4 LA
 > 15 GL

71. 0 - 1,5 Lg
 - 10 LA
 > 15 GL

72. 0 - 3 Lg
 - 13 LA
 > 20 GL

73. 0 - 6 Lg
 - 25 LA
 > 30 GL

74. 0 - 1,4 LA
 - 4 LT
 > 30 GL

75. 0 - 1,6 LS
 - 17 GS
 - 23 LS
 > 30 GS

76. 0 - 2,8 LS
 - 18 GS
 > 30 GL

77. 0 - 1,5 LA
 - 4 LT
 > 30 GL

78. 0 - 1,5 LA
 - 3 LT
 - 10 LS
 > 20 GL

79. 0 - 2,6 LS
 - 18 GS
 > 35 GL

80. 0 - 1,5 LS
 - 17 GS
 > 35 GL

81. 0 - 1,5 LS
 - 6 LA
 > 30 GL

82. 0 - 5 LS
 - 11 GS
 > 20 LA

83. 0 - 1,5 LS
 - 3 LA
 > 8 GL

84. 0 - 2,5 LS
 - 9 GS
 - 13 LA
 > 18 GL

85. 0 - 2 LA
 - 31 GL
 > 35 S

86. 0 - 3 LS
 - 10 GS
 - 13 LA
 > 20 GL

87. 0 - 4 Lg
 - 22 GS
 > 25 S

88. 0 - 2,2 LS
 - 12 GS
 > 22 S ou GL

89. 0 - 1,5 LS
 - 16 GL
 > 20 S

90. 0 - 2 Lg
 - 8 GS
 > 15 S

91. 0 - 1 LA
 - 3 GL
 > 12 GS

92. 0 - 1 S
 - 2,5 LS
 > 10 GS

93. 0 - 2 GL
 - 3 LA
 - 13 GS
 > 15 GL

94. 0 - 1 LA
 - 11 GS
 > 15 S

95. 0 - 3 LS
 - 16 GL
 > 20 S

96. 0 - 3 LS
 - 13 GL
 > 20 S

97. 0 - 3 LS
 - 24 GS
 > 35 S

98. 0 - 1 LS
 - 3 Lg
 - 10 GL
 > 25 S

99. 0 - 1 LA
 - 3 Lg
 - 14 GL
 > 17 S

100. 0 - 2,5 L
 - 27 GL
 > 30 S

101. 0 - 1 LS
 - 21 GL
 > 25 S

102. 0 - 1 LS
 - 21 GS
 > 25 S

103. 0 - 2,5 LS
 - 9,5 GL
 > 12 S

104. 0 - 2 LS
 - 12 GS
 > 15 S

105. 0 - 1 LS
 - 12 GS
 > 15 S

106. 0 - 2 LS
 - 8 GS
 > 10 GS

107. 0 - 5,2 LS
 > 42 GL

108. 0 - 5,5 LS
 > 40 GL

109. 0 - 4,5 LS
 > 40 GL

110. 0 - 1 GS
 - 6 LS
 > 35 GL

111. 0 - 2 LS
 - 3 Lg
 - 5 LS
 > 12 GL

112. 0 - 2,4 LA
 - 18 Lg
 > 35 GS

113. 0 - 1,4 LA
 - 7 LS
 - 15 GL
 > 23 GS

114. 0 - 4,8 LA
 > 35 GL

115. 0 - 1,4 LA
 - 4 LS
 - 15 GL
 > 25 GS

116. 0 - 1,4 LA
 - 5 LS
 > 30 GL

117. 0 - 1,5 LA
 - 4 LT
 > 29 GL

118. 0 - 2 LS
 - 4 LA
 > 28 GL

119. 0 - 1,3 LA
 - 5 Lg
 - 10 GL
 > 22 Lg

120. 0 - 1,4 LS
 - 6 Lg
 - 15 GS
 > 28 GL

121. 0 - 2,5 LS
 > 10 GS

122. 0 - 3 LS
 > 10 GS

123. 0 - 4,5 Lg
 - 30 GS
 > 35 S

124. 0 - 4 LS
 - 20 GS
 > 30 S

125. 0 - 4 LS
 - 30 GS
 > 35 S

126. 0 - 4 LS
 - 35 GS
 > 40 S

127. 0 - 3,5 LS
 - 35 GS
 > 40 S

128. 0 - 3 LT
 - 25 GL

129. 0 - 3 LT
 > 30 GL

130. 0 - 3 Lg
 - 10 LT
 - 25 GL

131. 0 - 5 LT
 > 25 GL

132. 0 - 3 LA
 > 40 GL

133. 0 - 2 LA
 - 4 LT
 > 20 GL

134. 0 - 1,4 LA
 - 3 LT
 - 10 LS
 > 18 GL

135. 0 - 2,1 LS
 - 5 LA
 > 30 GL

136. 0 - 2,1 LS
 - 4 LA
 > 20 GL

137. 0 - 2 LS
 - 4 LA
 > 25 GL

138. 0 - 1,3 LS
 - 4 GS
 - 6 Lg
 > 8 GS

139. 0 - 1,4 LS
 - 6 Lg
 - 15 GS
 > 22 Lg

140. 0 - 1,5 Lg
 - 2,5 LA
 - 5 GS
 > 8 LS

141. 0 - 2 Lg
 - 4 GS
 - 6 Lg
 > 10 GS

142. 0 - 1,4 Lg
 - 2 GS
 > 5 Lg

143. 0 - 1 Lg
 - 9 GS
 - 12 G
 > 18 GL

144. 0 - 1 LS
 - 12 GS
 > 31 S

145. 0 - 0,9 LS
 - 9 GS
 > 29 S ou GL

146. 0 - 2,2 LA
 - 27 GL
 > 38 S

147. 0 - 1,4 LS
 - 14 GS
 > 32 S

148. 0 - 2 LS
 - 20 GL
 > 35 S

149. 0 - 2 GL
 - 3 GS
 - 4 LS
 > 5 GS

150. 0 - 1,1 LA
 > 30 GL

151. 0 - 1 GS
 - 3 G
 - 7 GL
 > 10 GS

152. 0 - 0,8 LS
 - 12 GL
 > 32 S

153. 0 - 1 LS
 - 17 GS
 > 35 S

154. 0 - 3,8 Lg
 - 6,5 LS
 - 8 GS
 > 10 LS

155. 0 - 1,5 LS
 - 4 LA
 - 8 Lg
 > 10 GS

156. 0 - 1,5 Lg
 - 4 LT
 - 20 Lg
 > 26 GS

157. 0 - 2,8 Lg
 - 7 LS
 - 10 GS
 > 13 Lg

158. 0 - 2 GL
 - 8 Lg
 - 11 GS
 > 16 Lg

159. 0 - 1,5 LS
 - 2,5 G
 - 4 LS
 > 5 GS

160. 0 - 2 LA
 - 18 LS
 > 30 GS

161. 0 - 1,7 LS
 - 3,5 LT
 - 8 GL
 > 10 LS

162. 0 - 0,8 Lg
 - 3,5 LA
 - 10 GS
 > 13 GL

163. 0 - 2,2 Lg
 - 8 GS
 - 12 LS
 > 14 G

164. 0 - 1 GL
 - 2 Lg
 - 3 GS
 > 5 GL

165. 0 - 1,5 Lg
 - 4 LA
 - 7 GS
 > 8 LS

166. 0 - 5,5 Lg
 - 22 GS
 > 34 S

167. 0 - 1 LS
- 2 GL
- 3 LS
> 4 G

168. 0 - 0,7 LS
- 18 GL
> 32 S

169. 0 - 1,5 GL
- 2 LS
- 5 Lg
> 6 G

170. 0 - 1,5 GL
- 16 GS
> 35 S

171. 0 - 1,5 LS
- 20 GS
> 40 S

172. 0 - 2,5 Lg
- 32 GL
> 40 A ou LA

173. 0 - 1,6 GS
- 4 LA
> 25 GS

174. 0 - 1,5 Lg
- 7,5 LS
- 10 LA
> 12 GS

175. 0 - 1,5 Lg
- 5 LA
- 7 GS
> 10 Lg

176. 0 - 1,6 LT
- 14 GL
- 22 LS
> 26 G

177. 0 - 1,5 GL
- 3 Lg
- 4 G
> 9 Lg

178. 0 - 2,1 GL
- 4 GS
- 7 Lg
> 8 G

179. 0 - 2 LS
- 18 GL
> 40 LS

180. 0 - 1,8 LS
- 14 GS
> 35 S

181. 0 - 4 Lg
> 45 GL

182. 0 - 1 LS
- 18 GS
> 23 S

183. 0 - 2 LS
- 17 GS
> 25 S

184. 0 - 1,5 LS
- 3 LA
- 12 GL
> 22 LS

185. 0 - 2,2 Lg
- 10 GS
> 35 Lg

186. 0 - 2,3 LS
- 8 GL
- 10 Lg
> 11 G

187. 0 - 2,3 Lg
- 5 GS
- 12 GL
> 23 S

188. 0 - 3,2 Lg
- 10 GL
- 15 GS
> 20 S

189. 0 - 2 LS
- 3 GL
- 4 Lg
> 5 GS

190. 0 - 1 LS
- 18 GS
> 25 S

191. 0 - 1,6 Lg
- 5 G
- 14 GS
> 22 Lg

192. 0 - 1,7 Lg
- 6 G
> 27 GL

193. 0 - 2,1 LS
- 3 GS
- 4 GL
> 5 Lg

194. 0 - 1,7 GL
- 4 G
- 7 GS
> 15 GL

195. 0 - 1,3 Lg
- 8 GL
- 10 LS
> 17 Lg

196. 0 - 1,9 Lg
- 8 GS
- 13 GL
> 15 GS

197. 0 - 1,5 LA
- 2,5 GS
- 4 LS
> 7 GL

198. 0 - 1,7 Lg
- 6 G
- 15 GS
> 20 GL

199. 0 - 1,8 LS
- 7 GS
- 10 Lg
> 11 GS

200. 0 - 2 LS
- 3 GS
- 5 GL
> 6 GS

201. 0 - 1,5 GS
- 25 G
> 28 GL

202. 0 - 2 Lg
- 4 G
- 6 Lg
> 8 GS

203. 0 - 2,1 GL
- 7 GS
- 14 Lg
> 17 G

204. 0 - 2 Lg
- 3 G
- 6 GL
> 12 LS

205. 0 - 1,5 GS
- 4 G
- 12 GL
> 26 A ou LA

206. 0 - 1,5 GL
- 3 Lg
- 5 G
> 13 Lg

207. 0 - 1,5 GL
- 3 Lg
- 23 GS
> 30 S

208. 0 - 2 LS
- 3 G
- 7 GS
> 16 S

209. 0 - 1,4 LS
- 18 GL
> 40 S

210. 0 - 1,6 Lg
- 10 GS
> 32 GL

211. 0 - 5,6 Lg
- 27 GL
> 40 S

212. 0 - 2,5 LS
- 19 GL
> 35 S

213. 0 - 2,1 LS
- 20 GL
> 40 LS

214. 0 - 1,5 Lg
- 6 GS
- 19 GL
> 27 S

215. 0 - 2 Lg
- 4 GS
- 9 GL
> 18 Lg

216. 0 - 1,4 GL
- 4 GS
> 29 GL

217. 0 - 1,5 GL
- 5 Lg
> 35 GL

218. 0 - 1,5 GS
- 4 G
> 30 GL

219. 0 - 1,5 LS
- 2 LT
- 2,5 GS
> 3 Lg

220. 0 - 1,5 GL
- 9 GS
- 30 GL
> 37 S

221. 0 - 1 Lg
- 2 G
- 18 GS
> 25 S

222. 0 - 1 Lg
- 20 GS
> 25 S

223. 0 - 3,2 Lg
- 18 GS
> 40 S

224. 0 - 2 LS
- 20 GL
> 40 S

225. 0 - 1,5 Lg
- 6 GS
- 28 GL

226. 0 - 1,5 LA
- 8 GL
- 9 G
> 12 Lg

227. 0 - 1,6 LS
> 45 GL

228. 0 - 1,5 LS
- 3 LA
> 4 GS

229. 0 - 1,5 Lg
- 3 GL
- 4 GS
> 6 GL

230. 0 - 1,5 LA
- 3 G
- 9 GL
> 12 GS

231. 0 - 1,5 GS
- 5 GL
- 9 GS
> 24 GL

232. 0 - 2 Lg - 12 GS > 35 GL	243. 0 - 1,5 LS - 2,5 LA - 9 GL > 12 GS	254. 0 - 1,5 GL - 4 GS - 6 G > 15 GL
233. 0 - 2 LA > 45 GS	244. 0 - 2,1 LA - 25 GS > 35 S	255. 0 - 1 GL - 10 GS > 15 GL
234. 0 - 1,5 LA - 3 LT - 12 LG > 20 GS	245. 0 - 1,8 LA - 30 GS > 45 S	256. 0 - 1 GL - 3 GS > 10 GL
235. 0 - 3,5 LA - 30 GL > 42 S	246. 0 - 1,5 LS - 4 LA > 30 GL	257. 0 - 1 GS - 3 G > 15 GS
236. 0 - 1,5 LS - 2 LA - 12 GL > 16 S	247. 0 - 1,5 LS - 4 LA > 31 GL	258. 0 - 1,5 GS - 8 G > 34 GL
237. 0 - 1,5 Lg - 6 GS - 8 GL > 10 G	248. 0 - 1,5 LS - 2 LA > 18 GL	259. 0 - 1,5 GS - 6 G > 32 GL
238. 0 - 2 LS > 41 GL	249. 0 - 1 GL - 4 G > 10 GL	260. 0 - 2 Lg - 3 G - 6 Lg > 7 G
239. 0 - 1,5 GS - 6 G > 33 GL	250. 0 - 1 GL - 5 GS > 10 GL	261. 0 - 1,7 Lg - 5 G - 8 GS > 15 S
240. 0 - 1,5 Lg - 20 GL > 40 S	251. 0 - 1,7 GS - 6 GL - 27 GS > 30 S	
241. 0 - 1,4 Lg - 26 GL > 40 S	252. 0 - 1,5 Lg - 2,5 LA - 8 GL > 16 Lg	
242. 0 - 1,5 GL - 6 G - 13 Lg > 20 GL	253. 0 - 1,5 GL - 8 GS > 35 GL	

COUPES DES SONDAGES MECANIQUES

SYMBOLE M

1. 0 - 3,8 LA - 4,5 LT - 5,2 LS > 12 GS	10. 0 - 4,9 LA - 7,8 LT - 9,8 S > 12 GS	19. 0 - 5,1 LA - 7,8 LT - 9,8 S > 12 GS
2. 0 - 4 LA - 5,1 LS > 12 GS	11. 0 - 8 LA - 14 GL	20. 0 - 5 LA - 7,8 LT - 10,5 S > 12 GS
3. 0 - 5,1 LA - 7,8 LT - 9,8 LS > 12 GS	12. 0 - 4,9 LA - 7,6 LT - 9,8 S > 12 GS	21. 0 - 3,8 LA - 4,5 LT - 5,20 S > 12 GS
4. 0 - 4,9 LA - 7,6 LT > 12 GS	13. 0 - 2,2 LA - 6,3 T - 14,5 GS > 24 S	22. 0 - 1,3 LA - 1,5 S - 9 GL > 10 LS
5. 0 - 5 LA - 6,5 LT - 8,8 LS > 12 GS	14. 0 - 2,6 LA - 5,4 LT - 14,3 GS - 27 S > 27 A	23. 0 - 3 LA - 5 SL > 12 GS
6. 0 - 5 LA - 7,8 LT - 10,5 LS > 12 GS	15. 0 - 6 LA > 10 GS	24. 0 - 0,9 LA - 5,6 S > 8 GL
7. 0 - 4,9 LA - 7,8 LT > 12 GS	16. 0 - 7 LA > 14 GL	25. 0 - 0,9 LA - 2,9 S - 9,2 GL > 10 LS
8. 0 - 2,8 LA - 6,7 LT > 12 GL	17. 0 - 8 LA > 12 GS	26. 0 - 1,7 LS - 2,8 GS - 3,4 S > 16 GS
9. 0 - 2,8 LA - 6,7 LT - 8,5 S > 12 GS	18. 0 - 5 LA - 6,5 LT - 8,8 S > 12 GS	27. 0 - 1,7 LS > 15 GS

28. 0 - 2 LS
> 4 GS

29. 0 - 2,9 LS
> 4 GS

30. 0 - 2,25 LS
> 4,75 GS

31. 0 - 2 LA
- 4 SL
> 11 GS

32. 0 - 3 LA
> 12 GS

33. 0 - 2 LS
> 6 GS

34. 0 - 2,1 LA
- 12,6 GS
- 13,7 LT
> 30 S

35. 0 - 0,2 Lg
- 1,1 GL
- 3,5 Lg
> 5 GL

36. 0 - 0,3 Lg
- 1,5 GL
- 3,2 GS
- 4 LS
> 9 GL

37. 0 - 0,3 Lg
- 1,5 GL
- 3,9 LS
> 4,5 GL

38. 0 - 0,5 Lg
- 1,5 GL
- 2,9 LS
> 4,5 GL

39. 0 - 0,4 Lg
- 0,5 GL
- 0,8 Lg
- 1,5 A
> 3 GS

40. 0 - 0,5 GL
- 1,2 Lg
> 3,5 GS

41. 0 - 0,2 Lg
- 0,6 LA
- 1 GL
- 1,7 LA
> 3,5 GS

42. 0 - 6 LA
- 15 S
> 20 GS

43. 0 - 6 SL
> 15 GS

44. 0 - 3 GL
> 15 GS

45. 0 - 5 LS
> 12 GS

46. 0 - 1 Lg
- 2 LS
> 10 GS

47. 0 - 2,7 Lg
- 10 GS
> 15 S

48. 0 - 2 S
- 5 SL
> 12 GS

49. 0 - 2,5 Lg
> 12 GS

50. 0 - 7 SL
> 15 GS

51. 0 - 4 LA
- 6 SL
> 15 GS

52. 0 - 5 LA
- 7 S
> 14 GS

53. 0 - 4 LA
- 8 GL
- 8,8 A
- 10,5 GS
> 15 S

54. 0 - 1,2 LS
- 12 GS
> 15 S

55. 0 - 2 Lg
- 12 GS
- 20 GL
> 20 S

56. 0 - 7,5 SL
> 13 GS

57. 0 - 2 Lg
- 4 SL
> 10 GS

58. 0 - 3,5 LS
> 5 GS

59. 0 - 2 Lg
- 4,5 SL
> 10 GS

60. 0 - 4 SL
> 8 GS

61. 0 - 3 Lg
- 5 SL
> 13 GS

62. 0 - 6 Lg
- 8 SL
> 12 GS

63. 0 - 5 Lg
- 6 SL
- 8 S
> 15 GS

64. 0 - 2 Lg
- 4 LS
> 13 GS

65. 0 - 2 Lg
- 4 LS
> 12 GS

66. 0 - 2,5 Lg
- 5 SL
> 13 GS

67. 0 - 3,8 Lg
- 5,9 G
> 10 GS

68. 0 - 2,5 Lg
- 4,3 GS
> 8 GL

69. 0 - 3 Lg
- 5 GS
> 7 GL

70. 0 - 4,9 Lg
- 6,2 GL
> 12 GS

80. 0 - 8 Lg
- 10 S
> 20 GS

81. 0 - 2,5 SL
- 7 S
> 14 GS

82. 0 - 5 LS
> 20 GS

83. 0 - 6,5 LS
- 7 S
- 8 Lg
> 20 GS

84. 0 - 6 Lg
> 25 GS

85. 0 - 5 LA
- 6 S
- 10 Lg
> 15 GS

86. 0 - 5 LA
- 6 S
- 11 Lg
> 20 GS

87. 0 - 2 LA
- 4 S
> 25 GS

88. 0 - 1,5 LA
> 3 GS

89. 0 - 1 Lg
- 4 GL
> 15 GS

90. 0 - 1,6 LA
> 3 GS

91. 0 - 4 LA
- 6 Lg
> 14 GS

92. 0 - 12 LA
> 20 GS

93. 0 - 1,2 GS
- 2,6 GL
> 10 GS

94. 0 - 1,5 Lg
- 3 GL
> 10 GS

95. 0 - 1 GS
> 3 Lg

96. 0 - 1 GL
- 2,5 LS
> 10 GS

97. 0 - 0,8 Lg
- 3,6 A
> 11 GS

98. 0 - 0,5 LS
- 10,3 GS
- 11,4 S
> 12 GL

99. 0 - 1 GL
- 4,5 LS
- 5,4 Lg
> 10 GS

100. 0 - 1 GL
- 4,5 LS
- 5 Lg
> 10 GS

101. 0 - 0,7 LA
- 1,8 LS
> 9 GS

102. 0 - 1,8 LS
- 6,8 GS
- 8,5 S
- 8,7 GS
- 9,5 A
> 10 S

103. 0 - 10 LA
> 15 GS

104. 0 - 6 S
> 15 GS

105. 0 - 4 Lg
> 12 GS

106. 0 - 1,5 LS
> 5 GL

107. 0 - 4 Lg
> 10 GS

108. 0 - 1,8 LS
> 3,5 GL

109. 0 - 2,6 Lg
> 10 GS

110. 0 - 2 LS
> 3 GS

111. 0 - 0,4 LA
> 1,4 A

112. 0 - 1,4 LS
 - 2 GS
 - 2,5 S
 > 3 G

113. 0 - 1,4 LA
 > 3,8 GS

114. 0 - 3,6 LS
 > 10,5 GS

115. 0 - 4,5 AS
 - 5,4 Lg
 > 10 GS

116. 0 - 4,5 AS
 - 5 Lg
 > 10 GS

117. 0 - 0,40 LA
 - 1,5 AS
 > 3 GS

118. 0 - 1,5 LS
 > 2 A

119. 0 - 2,5 AS
 > 10 GS

120. 0 - 3 AS
 > 10 GS

121. 0 - 1 LA
 > 5 GS

122. 0 - 1 Lg
 - 10 GS
 - 11 G
 > 12 GL

123. 0 - 1 LS
 - 10 GS
 > 12 GL

124. 0 - 2 LA
 > 5 GS

125. 0 - 2,5 Lg
 > 10 GS

126. 0 - 2,5 Lg
 > 8 GS

127. 0 - 3 Lg
 > 9 GS

128. 0 - 2,5 LS
 > 30 GL

129. 0 - 2 LA
 > 5 GS

130. 0 - 4 G
 > 22 GS

131. 0 - 14,8 GS
 > 22 S

132. 0 - 11 GS
 - 20 S
 > 22 GS

133. 0 - 10 GL
 > 22 GS

134. 0 - 11 GL
 > 22 GS

135. 0 - 11 GL
 - 18 S
 > 22 GS

136. 0 - 10 S
 - 14,6 GS
 > 22 GL

137. 0 - 4 S
 - 12 GS
 > 22 S

138. 0 - 2 Lg
 > 7 GS

139. 0 - 0,8 LS
 - 1,2 S
 > 2 GS

140. 0 - 3 Lg
 > 12 GS

141. 0 - 2 Lg
 - 3 S
 > 8 GS

142. 0 - 5 LA
 - 7 Lg
 > 15 GS

COUPE DES SONDAGES PENETROMETRIQUES

SYMBOLE P

1. 0 - 2,8 LA
 - 7,2 LT
 - 9,8 S
 > 20 GS

2. 0 - 4,4 LA
 - 6,3 LT
 - 8 S
 > 20 GS

3. 0 - 1,5 LA
 - 5,5 S
 > 10 GL

4. 0 - 1,5 LA
 - 5 S
 > 10 GL

5. 0 - 1,8 LA
 - 5,25 S
 > 12 GL

6. 0 - 4 LS
 > 5 GS

7. 0 - 3,5 LS
 > 4 GS

8. 0 - 5 LS
 > 6 GS

9. 0 - 1,2 LS
 - 1,75 GS
 - 2,2 S
 > 3 GS

10. 0 - 1,3 LS
 - 1,8 GS
 - 2,5 S
 > 3,5 GS

11. 0 - 1,2 LS
 - 1,7 GS
 - 2,2 S
 > 2,8 GS

12. 0 - 1,4 LS
 - 1,7 GS
 - 2,5 S
 > 3,4 GS

13. 0 - 1,2 LS
 - 1,8 GS
 - 2,3 S
 > 3 GS

14. 0 - 1,5 LS
 - 1,9 GS
 - 2,7 S
 > 3,4 GS

LISTE DES CARTES GEOLOGIQUES ET

GEOTECHNIQUES

- Carte géologique de surface
- Carte géologique à -2 mètres
- Carte géologique à -4 mètres
- Carte géologique à -6 mètres
- Carte géologique à -10 mètres
- Carte géologique à -15 mètres
- Carte géologique à -20 mètres
- Plan d'implantation des sondages
- Carte lithomorphologique
- Carte des pentes
- Carte des risques naturels
- Carte d'exploitabilité des matériaux
- Carte des courbes isopaques des sols fins
- Carte de répartition des sols fins
- Carte des résistivités électriques apparentes
- Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution

LISTE DES PHOTOS

- Photos 1 et 2 Extension de l'habitat dans le secteur de Crolles et La Terrasse.
- Photo 3 Morphologie du versant rive droite de la vallée.
- Photo 4 Erosion glaciaire et dépôts morainiques.
- Photos 5 et 6 Morphologie du versant rive gauche de la vallée.
- Photo 7 Eboulement récent dans la face Est de la Dent de Crolles.
- Photo 8 Protection contre la chute des blocs.
- Photos 9 et 10 Reptation de la couverture végétale et clivage bancs sur bancs des calcaires bajocien en rive gauche.
- Photo 11 Erosion régressive dans le lit mineur de l'Isère.
- Photo 12 Zone d'emprunts de matériaux et base de loisirs de La Terrasse.
- Photo 13 Exploitation des matériaux en bordure de l'Isère.
- Photo 14 Calibrage des granulats.

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 0 Croissance démographique du Moyen Grésivaudan prévue pour la période 1975 - 2000.
- Tableau 1 Total annuel des précipitations en mm pour la période 1966 - 1975.
- Tableau 2 Moyennes mensuelles des précipitations en mm pour la période 1966 - 1975.
- Tableau 3 Pluviométrie moyenne mensuelle à Tencin sur 15 ans.
- Tableau 4 Températures moyennes mensuelles en °C sur sept années à Corenc.
- Tableaux 5 et 5 bis Propriétés physiques et mécaniques des alluvions de l'Isère.
- Tableau 6 Classification rapide des sols fins.
- Tableau 7 Classification rapide des sols grenus.
- Tableau 8 Aptitude des sols aux travaux.

LISTE DES FIGURES

- Fig. 1 Situation géographique du moyen Grésivaudan.
Fig. 2 Schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme long terme.
Fig. 3 Carte de la végétation.
Fig. 4 Cadre géologique régional.
Fig. 5 Coupe géologique interprétative.
Fig. 6 Dépôts et répartition des formations quaternaires.
Fig. 7 à 11 Comparaison entre le log des sondages mécaniques et la courbe des résistivités apparentes des sondages électriques.
Fig. 12 Coupes géologiques transversales dans le remplissage alluvial.
Fig. 13 Coupe géologique longitudinale dans le remplissage alluvial.
Fig. 14 Source liée à l'intrication des limons et des nappes de colluvions.
Fig. 15 Source liée aux chenaux caillouteux des cônes de déjection.
Fig. 16 Sources liées aux sillons glaciaires et à leur remplissage.
Fig. 17 Sources liées au substratum imperméable et aux dépôts glaciaires des versants.
Fig. 18 Schéma analytique de l'évaluation des réserves de matériaux meubles pour chaussées (d'après Olivier - LC.P.C. Lyon).
Fig. 19 Eboulis - nappes d'épandages.
Fig. 20 Cônes de déjection - Nappes de colluvions.
Fig. 21 Formations glaciaires.
Fig. 22 Glissement lié à l'hétérogénéité des formations glaciaires.
Fig. 23 Puit artésien en relation avec la diminution de la section des chenaux.
Fig. 24 Dépôts grossiers.
Fig. 25 Sables.
Fig. 26 arte d'aptitude. Secteur de Crolles - Bernin.
Fig. 27 Points difficiles en bordure de l'autoroute Grenoble - Le Touvet.

BIBLIOGRAPHIE

Abréviations

A.I.G.I.	Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur
B.R.G.M.	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
C.N.R.S.	Centre National de la Recherche Scientifique
D.A.F.U.	Direction de l'Aménagement Foncier et de l'Urbanisme
L.C.P.C.	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
L.R.P.C.	Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées

- ALBINET M., MARGAT J., 1970 - Les cartes de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines. B.E.G.M. Section III n° 4. Hydrogéologie.
- ANTOINE P., LETOURNEUR J., 1973 - Aperçu et réflexions sur les cartes géotechniques. Leur utilité pour l'aménagement de la montagne. Rev. de Geol. alp., Grenoble, t 61, fasc. 1.
- ANTOINE P., BARBIER R., BARFETY J.C., GOGUEL J., HUMBERT M., MONITION L., MOUGIN J.P., PACHOUD A., 1973 - Cartographie systématique des mouvements de terrain sur la feuille La Grave (Hautes Alpes). C.R. Symposium "Sol et Sous-sol et Sécurité des Constructions" Cannes. ed. B.R.G.M. Orléans.
- ANTOINE P., BIAREZ J., DESVARREUX P., MOUGIN J.P., 1971 - Les problèmes posés par la stabilité des pentes dans les régions montagneuses. Rev. Géol. alp., t. 47.
- ANTOINE P., PACHOUD A., 1976 - Enseignements tirés de deux essais de cartographies systématiques de glissements de terrain. B.L.L.P.C. Versants Naturels. N° Spécial II.
- ANTOINE P., MOUGIN J.P., 1974 - Exemples de mouvements de sols catastrophiques et imprévisibles à la suite d'une pluviométrie exceptionnelle. (en climat tempéré - SE de la France). C.R. 2e Congrès de l'A.I.G.I. Sao Paulo.
- ANTOINE P., CASTRO R., 1974 - Essai d'un mode simplifié de cartographie géotechnique. C.R. 2e Congrès A.I.G.I. Sao Paulo.
- ANTOINE P., BALESTRA G., COUTURIER B., LETOURNEUR J., 1974 - Caractéristiques spécifiques des régions de montagne au regard de l'aménagement. C.R. 2e Congrès international de l'A.I.G.I.
- ARNOULD M., 1975 - Dispersion des caractéristiques et définition des formations en cartographie géotechnique et géologie. Journées nationales géotechniques. Orléans. Rapport de synthèse.

- ARNOULD M., VANTROYS M., 1970 - Essai de cartographie géotechnique automatique sur la ville nouvelle d'Evry. C.R. 1er Congrès international de l'A.I.G.I. Paris, p. 1069-1080.
- BARBIER R., 1971 - Le rôle de la géologie dans l'urbanisme en montagne. Urbanisme, n° 116.
- BARBIER R., 1974 - Le symposium "Sol et sous-sol et sécurité des constructions", Cannes 25-27 oct. 1973. Rev. Géol. Alp., t LXII, p. 395-402.
- BARBIER R., 1973 - Rapport de synthèse - thème n° 1. Symposium "Sol et sous-sol et sécurité des constructions", Cannes.
- BARBIER R., GIGNOUX M., 1955 - Géologie des barrages et des aménagements hydroélectriques. Masson. éd. Paris.
- BARFETY J.C., BORDET P., DEBELMAS J., GIDON M., 1959 - Notice de la carte géologique Domène XXXIII - 34 - B.R.G.M.
- BARFETY J.C., DEBELMAS J., MOUTERDE R., 1972 - Caractères stratigraphiques, paléontologiques et structuraux du Jurassique inférieur et moyen des bordures W et SE du massif de Belledonne (Isère). Extrait de la Géol. Alp., T. 48, fasc. 1.
- BERTRAND Y., 1967 - La prespection électrique appliquée aux problèmes des Ponts et Chaussées. Bull. de Lias. des Ponts et Chaussées. Paris. 172 p.
- BIGUENET G., DAYRE M., FAVRE J.L., 1970 - Essai de cartographie géotechnique de Grenoble et ses environs. C.R. 1er Congrès international de l'A.I.G.I. Paris, p. 930-941.
- BOGOMOLOV G., 1962 - Hydrogéologie et notions de géologie de l'ingénieur. Moscou. ed. de la Paix, 278 p.
- BOMBARD J.P., 1968 - Une approche des problèmes posés par l'étude des mouvements de terrain. Essai méthodologique. Thèse 3e Cycle Grenoble.
- BOZONNET J.P., ANTOINE P., LETOURNEUR J., 1978 - Cartographie géotechnique de la région grenobloise. Journées de la R.A.S.T. Paris. 1978.
- BREUSSE J., LEMASNE G., 1956 - Application de la géophysique aux problèmes de génie civil: aménagement hydro-électrique de la vallée du Rhône. E.A.E.G. Milan 1956, 11 p.
- BROQUET J.F., 1976 - Contribution à la cartographie géotechnique de la ville de Paris. Thèse Docteur Ingénieur. Paris VI. 197 p.
- CALEMBERT L., 1975 - La Géologie urbaine dans le monde d'aujourd'hui. Extrait du bulletin des séances de l'Académie Royale des sciences d'Outre-mer. Bruxelles. fasc. 2. Liège.
- CAMBREFORT H., 1966 - Reconnaissance des sols et fondations spéciales. Paris, Eyrolles. 3e éd., 208 p.
- CARNEIRO FEITOSA E., SIMLER L., 1968 - Prospection électrique. Application de la méthode et notions pratiques d'exploitation. B.R.G.M. Section III. n° 4. Hydrogéologie.
- CASTANY G., 1968 - Prospection et exploitation des eaux souterraines. Paris, Dunod. 740 p.
- CASTRO R., 1971 - Essai d'interprétation géotechnique de la région de Serres. Thèse Docteur Ingénieur. Grenoble.
- Comité Français de Géologie de l'Ingénieur, 1975 - Réaménagement des carrières. 60 p. Publications du C.F.G.I.

- COUTURIER B., 1974 - Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et géotechnique du bas Grésivaudan (Isère). Thèse 3e Cycle. Grenoble. 173 p.
- COUTURIER B., FOURNEAUX J.C., 1976 - L'évolution de la nappe dans la plaine du Grésivaudan. Rev. Géol. alp. p. 26 à 40.
- C.P.G.F., 1962 - Etudes géologiques, hydrogéologiques, minières, de Génie Civil par tous procédés géophysiques. 42 p. Inédit.
- D.A.F.U., 1971 - Recommandations pour la cartographie géotechnique appliquée aux problèmes d'aménagement et d'urbanisme. Ministère de l'équipement et de Logement.
- DAGNAUX J.P., LEMOINE Y., 1970 - Cartographie géotechnique en milieu côtier vaseux par sismique réflexion et pénétromètres. 1er Congrès International A.I.G.I. Paris. tome II.
- DORIDOT M., 1973 - Rôle de la photo aérienne dans le cadre des études d'urbanisme. B.L.L.P.C. t. 65. p. 165 à 174.
- DORIDOT M., RESENDE S., 1977 - Etude des gisements de matériaux alluvionnaires pour la préparation d'un S.D.A.U. Bull. Lias. L.C.P.C. n° Spécial IV. Granulats.
- DUFFAUT P., 1967 - Possibilités et limitations des procédés géophysiques appliqués au Génie Civil. Bull. Tech. Suisse Romande. 9.
- FAVRE J.L., 1972 - Pour un traitement par le calcul de probabilité statistique des problèmes de mécanique des sols. Thèse 3e Cycle. Grenoble.
- FLOTTE J.P., 1975 - Analyse des facteurs géologiques et géotechniques de la région de Vence. Cagnes (Alpes Maritimes). Applications à l'aménagement régional. B.R.G.M. Section III. Géol. Ing. n° 3.
- FOURNEAUX J.C., 1968 - Etude hydrogéologique de la vallée de l'Isère à l'amont de Grenoble. Thèse 3e Cycle. Grenoble.
- FOURNEAUX J.C., 1976 - Echanges nappe - rivière. Thèse Etat. Grenoble.
- FOURNEAUX J.C., 1976 - Les formations quaternaires de la vallée de l'Isère dans l'imbilic de Grenoble. Extrait de la géologie Alpine, t. 52.
- GHISTE S., 1970 - La carte d'interprétation géotechnique de la région de Mons (Belgique). Problèmes et solutions. 1er C.I. A.I.G.I., tome II. Paris.
- GIGAN J.P., 1973 - Essai de cartographie géotechnique. Région de la défense et boucle de Gennevilliers (Haut de Seine). B.R.G.M. Géol. Ing., Section III, n° 3.
- GIGNOUX M., MORET L., 1952 - Géologie Dauphinoise. Paris. Masson.
- HUGONIN J., SACCONI J.M., 1976 - Les conditions géologiques d'un aménagement régional. La vallée de Névalche (Hautes Alpes). Thèse 3e Cycle. Grenoble.
- HUMBERT M., 1973 - La carte géotechnique à 1/50 000 de Clermont-Ferrand (France) et la planification urbaine. B.R.G.M. Géol. Ing. Section 3, n° 3.
- JAIL M., 1972 - Observations météorologiques dans le département de l'Isère. R.G.A., t. 60. n° 3.
- JAIL M., BILLET J., 1972 - Caractéristiques climatiques et développement urbain. R.G.A., t. 60, fasc. 2.

- JAIL M., MARCHINI J., 1973 à 1976 - Observations météorologiques dans le département de l'Isère. R.G.A. Grenoble.
- JAVEY C., 1972 - L'altération des roches et monuments. Etude documentaire. B.R.G.M. Géol. Ing. Section III, n° 1.
- JUNOT J.P., 1966 - Rôle et conditions d'emploi des méthodes géophysiques dans les travaux publics et le Génie Civil. Extrait de la revue Sols et Fondations, n° 219.
- KOSEOGLU M., 1977 - Etude géologique et géotechnique routière. Thèse Docteur Ingénieur. Grenoble. 210 p.
- KRYNINE D.P., JUDD W.R., 1957 - Principles of engineering geology and geotechnics. New York. Mac Graw Hill Book Company. 730 p.
- LASCAR J.L., 1976 - Les Problèmes d'aménagement de carrières dans la politique de gestion des ressources et d'aménagement du territoire. Bulletin du C.F.G.I.
- L.R.P.C. Lyon, 1965 - Autoroute A41. Rapport d'étude Meylan - Le Touvet. Inédit.
- L.C.P.C., 1967 - La prespection électrique appliquée aux problèmes des Ponts et Chaussées. Bull. liais. des lab. routiers. N° Spécial, 172 p.
- L.C.P.C., 1967 - Recommandations pour la reconnaissance géologique et géotechnique des tracés d'autoroute. N° Spécial, 129 p.
- L.C.P.C., 1973 - Essais de Laboratoire et en place de mécanique des sols. Aide-mémoire. Note d'information technique.
- L.C.P.C., 1977 - Granulats. Ressources et prospection des gisements. Ministère de l'équipement et de l'aménagement du territoire. N° Spécial IV.
- LEGIER A., 1977 - Mouvements de terrain et évolution récente du relief dans la région de Barcelonnette (Alpes de Haute Provence). Thèse 3e Cycle. Grenoble. 160 p.
- LETOURNEUR J., MICHEL R., 1971 - Géologie du génie civil. Paris. A. Colin. 728 p. 8 pl. coul.
- LIOCHON M., 1976 - Aspects Juridiques des problèmes de glissements de terrain. B.L.L.P.C. Versants naturels. N° Spécial II.
- LUNSKI S., 1967 - Rapports sur des sondages électriques effectués dans le Grésivaudan. Compagnie de prospection géophysique française. Rapport inédit.
- MALATRAIT A.M., 1975 - Analyse et classement des mouvements gravitaires (feuille Saint-Jean de Maurienne au 1/50 000). Thèse 3e Cycle de Géologie appliquée U.S.M.G. Grenoble.
- MARANDA R., 1975 - Cartes géotechniques. Villes de Bécancour et Boischatel. Ministère des richesses naturelles du Québec. 12 cartes.
- MARGALHAN-FERRAT H., 1975 - Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et géotechnique de la cluse de l'Isère. Thèse 3e Cycle. Grenoble. 128 p.
- MARGAT J., MONITION L., 1970 - Qualité des eaux, Prévention, Protection. B.R.G.M. Géol. Ing. Section III. n° 4.
- MASSON M., 1976 - Influence des héritages périglaciaires sur l'instabilité des pentes naturelles. Application à la Normandie. Bul. liais. L.C.P.C. Versants naturels N.S. II.

- MATULA M., 1974 - Engineering geology in country and urban planning. Rapport général du thème III. C.R. 2e Congtès Int. A.I.G.I. Sao Paulo.
- MENEROUD J.P., 1976 - Expérience de cartographie géotechnique systématique pour les plans d'occupation des sols dans les Alpes Maritimes. Bul. liais. L.C.P.C., n° 85.
- MERCIECA G., 1977 - Constitution d'un fichier géologique et géotechnique sur ordinateur = Application à l'étude du remblaiement alluvial de la vallée de l'Isère. Thèse 3e Cycle. Université de Grenoble. 153 p.
- MICHEL R., 1960 - Contribution à l'étude des températures des sources dans le département de l'Isère. Trav. Labo. Géol. Grenoble, t. 36.
- MICHEL R., ROTHE J., 1959 - Sur la nature et l'épaisseur des alluvions quaternaires dans le bassin de Vizille. Trav. Lab. Géol. Grenoble. t. 35.
- MILLOT G., 1962 - Géologie des argiles. Paris. Masson.
- MONTJUVENT G., 1973 - La transfluence Durance - Isère. Essai de Synthèse du quaternaire du Bassin du Drac. R.G.A., t. 49.
- MORET L., 1945 - Les éboulements de terrain en montagnes. Ed. de la revue "Les Alpes". 49 p.
- NATURE et PROGRES, 1973 - Publication de l'Association Européenne d'Agriculture et d'Hygiène biologiques. n° 1.
- OLIVIER G., 1977 - Ressources en matériaux de la Savoie. Bul. liais. L.R.P.C. Lyon. N° Spécial IV. Granulats.
- OZENDA P., REPITON J., RICHARD L., TONNEL A., 1964 - Documents pour la carte de la Végétation des Alpes. t. II. Trav. Lab. Biol. Veg. Grenoble.
- PAQUET J., JUNOT P., 1966 - Applications des méthodes géophysiques aux études des sols à faible profondeur pour le bâtiment et les travaux publics. Ann. Inst. tech. bat. trav. publ. 313 - 320.
- PHIENBOUPHA B., 1977 - Analyse des débits de l'Isère. Essai de prévision par modèle statistique. Thèse 3e Cycle U.S.M.G. - I.N.P.G. Grenoble.
- PITOT J., 1976 - Les Pollutions accidentelles. Bul. Liais. L.C.P.C. N° 85., p. 16 à 20.
- PRAX A., PRIMEL L., 1977 - Prospection des gisements alluvionnaires. Bul. liais. L.C.P.C. N° Spécial IV. Granulats.
- ROTHE J.P., 1941 - Les séismes des Alpes françaises en 1938 et la sismicité des Alpes occidentales. Ann. Inst. phys. du Globe 1938. t. 3. 3e partie géophysique, p. 70-71.
- SANEJOUAND R., 1972 - La cartographie géotechnique en France. ARMINES. L.C.P.C., 96 p., 35 pl., 9 fig.
- SARROT-REYNAULD J., 1968 - Remarques sur l'hydrogéologie des vallées de l'Isère, du Drac et de La Romanche. Bull. B.R.G.M. Hydrogéologie.
- SILVESTRE P., SALADO J., LEROUX J., 1977 - Etude de la vulnérabilité des nappes sur le tracé de la liaison autoroutière LORRAINE-BOURGOGNE. Bul. Liais. L.C.P.C. N° 91.
- STAMATELLO M., 1965. Une carte géologique de la ville de Varsovie à l'usage des urbanistes. Rev. Géog. phys. et géogr. dyn. Tome 2. Vol. 3. fasc. 1, page 3-10.
- STOCHLAK J., 1974 - The classification of slope deposits from the engineering geological point of view. C.R. 2e Congrès Int. A.I.G.I., t. II, Sao-Paulo

- TACHKER Y., 1973 - Procédure administrative pour la délimitation des zones de risques naturels dans le département de l'Isère. Sym. nat. "Sol et sous-sol et sécurité des constructions" Cannes. 1. p. 377-383.
- TACHKER Y., 1973 - Méthodes utilisées dans le département de l'Isère pour la délimitation des zones exposées à des risques naturels. Sym. nat. "Sol et sous-sol et sécurité des constructions" Cannes 1. p. 384-388.
- TERZAGHI K., PECK R., 1965 - Mécanique des sols appliquée aux Travaux publics et au bâtiment. Paris. Dunod. 565 p.
- TOURENQ C., 1974 - L'altérabilité des roches. C.R. 2e Cong. Int. A.I.G.I. Sao Paulo.
- TOURENQ C., 1974 - Propriétés et classification des matériaux naturels de construction. C.R. 2e Congrès Inter. A.I.G.I. Sao Paulo.
- U N E S C O, 1976 - Guide pour la préparation des cartes géotechniques. Sciences de la Terre. Presses de l'UNESCO.
- VIVIAN H., 1969 - Les crues de l'Isère à Grenoble et l'aménagement actuel des digues. Rev. Géol. alp., t. 58, fasc. 1.

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
SOMMAIRE	
AVANT-PROPOS	
Introduction générale	1
CHAPITRE I. Aperçu géographique	3
I. Situation	5
II. Données topographiques	5
III. Voies de communications	8
IV. Perspectives de développement	8
V. Les données climatiques	9
1. Les stations	9
2. Les précipitations	11
3. Les températures	11
4. Les vents	13
5. Conclusion	13
VI. La Végétation	13
1. La végétation du versant rive droite	13
2. La végétation du versant rive gauche	15
3. Végétation de la plaine	18
CHAPITRE II. Présentation géologique	19
I. Cadre géologique régional	22
II. Le substratum rocheux	22
1. Stratigraphie	22
2. Aperçu tectonique	26
III. Le Quaternaire	28
1. "Rappel historique"	28
2. Les dépôts et leur répartition	29
a- Les versants	29
b- La plaine alluviale	29
CHAPITRE III. Méthodologie	31
I. Introduction	33
II. Classification des cartes géotechniques	33
1. Echelle	33
a- Les cartes à grande échelle	33
b- Les cartes à moyenne échelle	33
c- Les cartes à petite échelle	33
2. Contenu	34
a- Les cartes de facteurs	34
b- Les cartes synthétiques	34

III. Méthodologie	34
1. Le stockage des documents d'archives	34
2. Les études complémentaires	36
a- Les études de terrain	36
a-1. Les versants	36
a-2. La plaine alluviale	37
- Les enquêtes	37
- La prospection géophysique	38
b- Les essais en laboratoire	39
3. Synthèse des résultats et dessin cartographique	39
a- Résultats - Interprétation	39
b- Cartographie	39
b-1. Raison du choix de l'échelle	40
b-2. Les documents établis	40
- Les versants	40
- La plaine et ses bordures	40
4. Conclusion	41
CHAPITRE IV. Cartographie Géotechnique	43
<u>Sous-Chapitre I. Géomorphologie et Agents géodynamiques</u>	45
I. Introduction	48
II. La Carte lithomorphologique	48
1. Réalisation	48
2. Contenu	48
3. Analyse - Commentaire	48
a- Les versants	49
b- Le pied des versants	50
III. La Carte clinographique	50
IV. La Carte des risques naturels	51
1. Conception	51
2. Buts de la carte	51
3. Les risques naturels	51
a- Les inondations	52
a-1. Les zones submersibles	52
- Extension	52
- Estimation du risque	52
- Réglementation d'urbanisme	53
a-2. Les zones marécageuses	53
- Localisation	53
- Réglementation d'urbanisme	53
b- Les zones de débordements de torrents	53
b-1. Localisation	53
b-2. Réglementation d'urbanisme	54
c- Les zones de glissements de terrain	54
c-1. Les glissements importants	54
- Localisation	54
- Description	54
- Réglementation d'urbanisme	55
c-2. Les glissements de faible ampleur	55
- Localisation	55
- Description	55
- Réglementation d'urbanisme	57
d- Les zones dangereuses	57
d-1. Les avalanches	57
- Localisation	57
- Réglementation d'urbanisme	59

d-2. Les éboulements et chute de pierres	59
- Localisation	59
- Estimation du risque	59
- Tracé des limites	59
- Réglementation d'urbanisme	60
V. Conclusion	60
<u>Sous-Chapitre II. Lithostratigraphie du quaternaire récent de la plaine alluviale</u>	61
I. Introduction	63
II. Méthode d'étude	63
1. But poursuivi	63
2. La Recherche de documents	63
3. La prospection géophysique	64
4. Etalonnage des courbes de résistivités	64
III. Technique de cartographie	70
1. Le stockage des données géologiques	70
2. Les documents réalisés	70
IV. Contribution à la connaissance géologique du moyen Grésivaudan	71
1. Mode de gisement des différentes formations	71
a- La couverture limoneuse	71
b- L'ensemble graveleux	72
b-1. Coupes géologiques transversales	72
b-2. Profil longitudinal	72
c- Les sablons	84
d- Les argiles	84
2. Synthèse géologique	84
V. Conclusion	85
<u>Sous-Chapitre III. Hydrogéologie</u>	87
I. Introduction	90
II. Etudes antérieures	90
III. Intérêt de la méthode électrique dans la recherche des eaux souterraines de la plaine alluviale	90
1. Recherche des zones exploitables	91
2. Carte des résistivités apparentes	91
a- Le trainé électrique	91
b- La zone aval	92
c- La zone amont	92
3. Le zonage d'exploitabilité	93
IV. Hydrogéologie des versants	94
1. Le bas du versant rive droite	94
2. Le plateau des Petites Roches	96
V. Carte de vulnérabilité des eaux	98
1. Buts de la carte	98
2. Cartographie	98
a- Objectifs et conception	98
b- Limites de l'étude	99

3. Vulnérabilité des eaux selon les secteurs	99
a- La zone très bien protégée	99
b- La zone bien protégée	99
c- La zone moyennement protégée	101
d- Les zones de faible protection	101
e- Les zones dépourvues de protection	102
4. Conclusion	103
<u>Sous-Chapitre IV. Recherche de matériaux de carrière</u>	105
I. Introduction	108
II. Les Emprunts existants	108
III. Méthode d'étude des gisements	108
1. Problème d'échelle	108
2. Prospection des sites	109
3. Estimation des réserves	109
a- Le rapport G/D	109
b- La nature de la grave	111
IV. Zones d'exploitation potentielle	111
1. Présentation graphique	112
2. Répartition géographique des gisements	112
a- Les zones très favorables	112
b- Les zones favorables	112
c- Les zones peu favorables	113
V. Nécessité d'investigations supplémentaires	113
VI. Remise en état des carrières après extraction	113
1. Réglementation générale	113
2. Aménagement des carrières	114
VII. Conclusion	114
<u>CHAPITRE V. Caractéristiques géotechniques des sols et des roches</u>	115
I. Introduction	117
II. Rappels sur les caractéristiques et la classification des sols	117
1. Caractéristiques	117
a- Coefficients granulométriques	117
b- Pourcentages granulométriques	118
c- Calcimétrie	118
d- Teneur en eau	118
e- Limites d'Atterberg ou de consistance	118
f- Equivalent de sable	119
g- Densité apparente humide	119
h- Densité apparente sèche	120
i- Perméabilité	120
j- Résistance à la pénétration dynamique	120
k- Pression limite, pression de fluage, Module standard pressiométrique	120
l- Résistivités électriques	120
m- Vitesse sismique	121
n- Angle de frottement interne et cohésion	121
o- Indice de compression - Coefficient de consolidation - Pression effective verticale de consolidation	121
2. Classification	121

III. Propriétés géotechniques	122
1. Les terrains de couverture	122
1.1. Les éboulis	122
- Hydrogéologie	122
- Granulométrie	127
- Aptitude aux travaux	127
1.2. Les cônes de déjection	127
- Hydrogéologie	127
- Propriétés physiques et mécaniques	129
1.3. Les nappes de colluvions	130
1.4. Les alluvions fluvio-glaciaires	130
1.5. Les dépôts glaciaires	131
- Hydrogéologie	131
- Propriétés physiques	131
1.6. Les alluvions fluviales	134
6.1. Les dépôts grossiers	134
- Hydrogéologie	134
- Propriétés physiques et mécaniques	137
6.2. Les dépôts fins	139
- Hydrogéologie	139
- Propriétés physiques et mécaniques	140
. Limons argileux	140
. Limons sableux	140
. Limons graveleux	141
. Limon tourbeux	142
2. Aptitude aux travaux	143
3. Le bed-rock	144
3.1. Les séries calcaires	144
3.2. Les séries calcaréo-marneuses	144
<u>CHAPITRE VI. Géologie et aménagement</u>	147
I. Introduction	149
II. L'Etude géologique	149
1. Le Stade de l'intervention	149
2. Nature des recherches	150
3. Présentation des documents fournis	150
III. L'Etude géotechnique	150
IV. Confrontation des résultats avec le S.D.A.U.	151
1. La plaine	151
1.1. L'habitat	151
1.2. Les zones industrielles	151
1.3. Les voies de communications	154
1.4. Les zones agricoles	154
2. Les versants	156
3. Conclusion	156
V. Les limites de la méthode	156
RESUME	159
CONCLUSIONS	163

ANNEXES	165
- Implantation des sondages mécaniques	166
- Implantation des sondages pénétrométriques	167
- Implantation des sondages électriques	168
- Coupes des sondages électriques	171
- Coupes des sondages mécaniques	179
- Coupes des sondages pénétrométriques	183
Liste des cartes géologiques et géotechniques	184
Liste des photos et tableaux	185
Liste des figures	186
Bibliographie	187
Table des matières	193



Dernière page d'une thèse

VU

Grenoble, le 1^{er} juin 1978

Le Président de la thèse


R. BARBIER

Vu, et permis d'imprimer,

Grenoble, le 2 juin 1978

Le Président de l'Université
Scientifique et Médicale



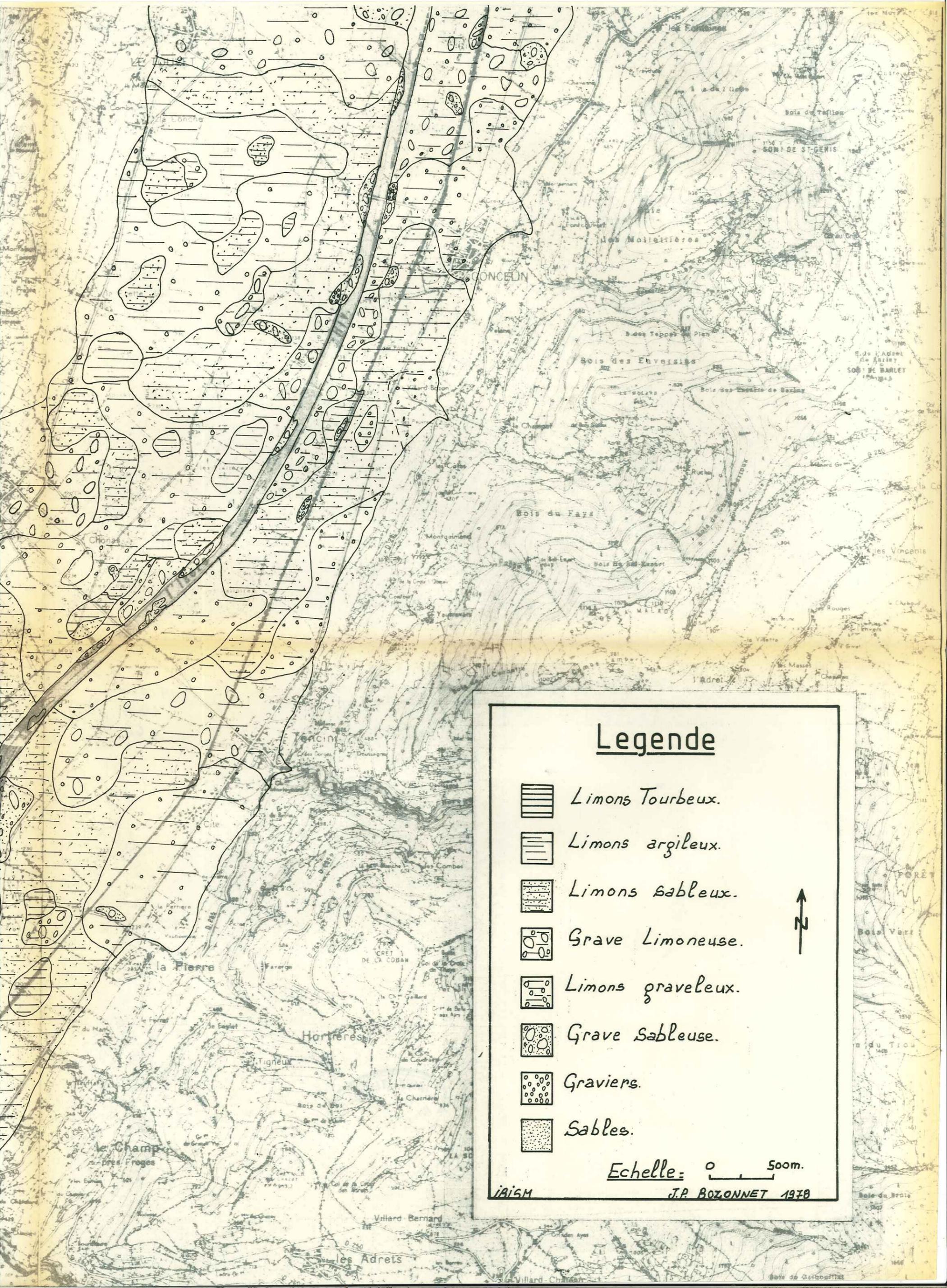

M G. CALL

CARTE GEOLOGIQUE DE SURFACE

MOYEN GRESIVAUDAN

Echelle: 1/25000





Legende



Limons Tourbeux.



Limons argileux.



Limons sableux.



Grave Limoneuse.



Limons graveleux.



Grave Sableuse.



Gravier.



Sables.



Echelle: 0 500m.

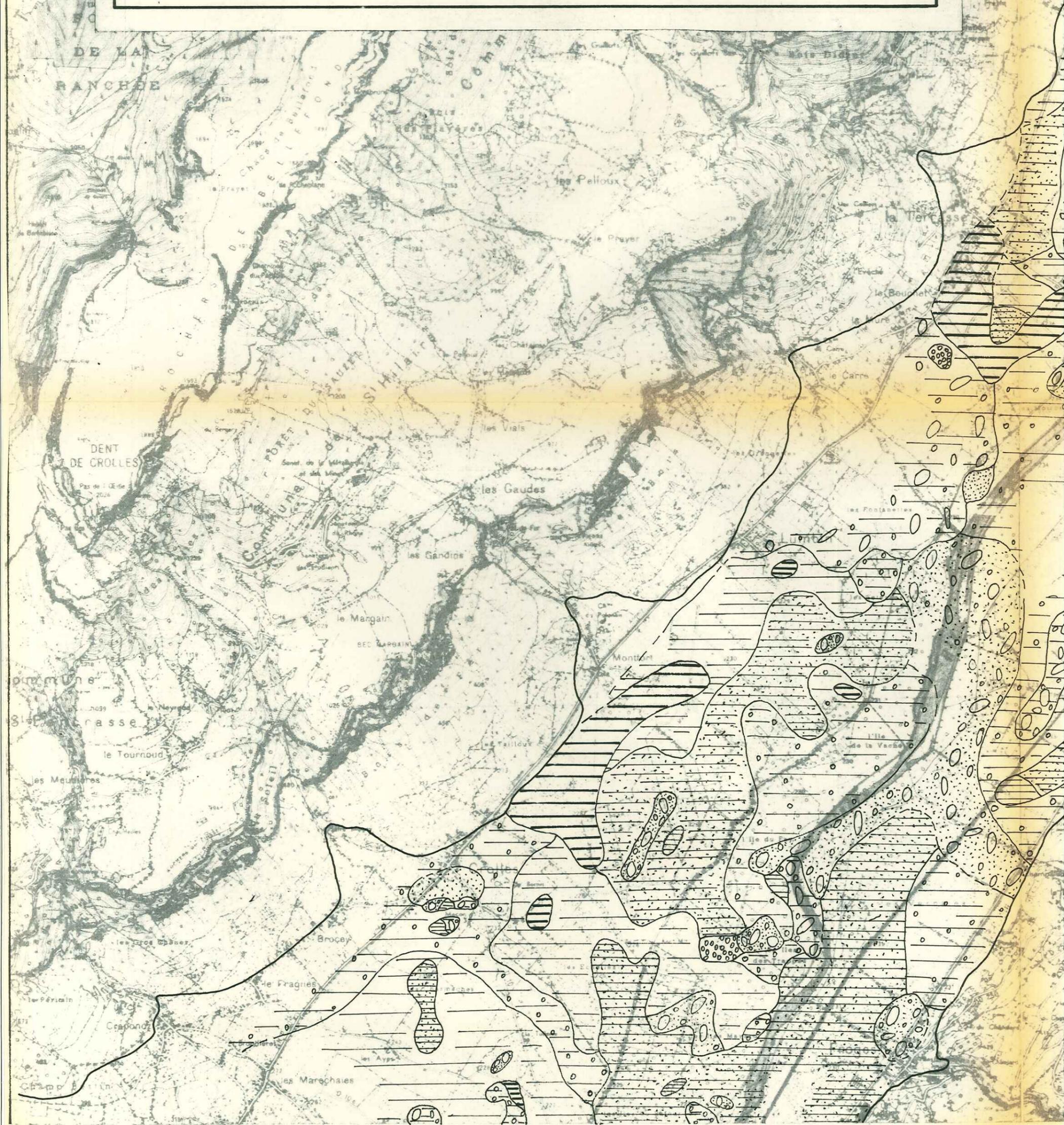
IAISM

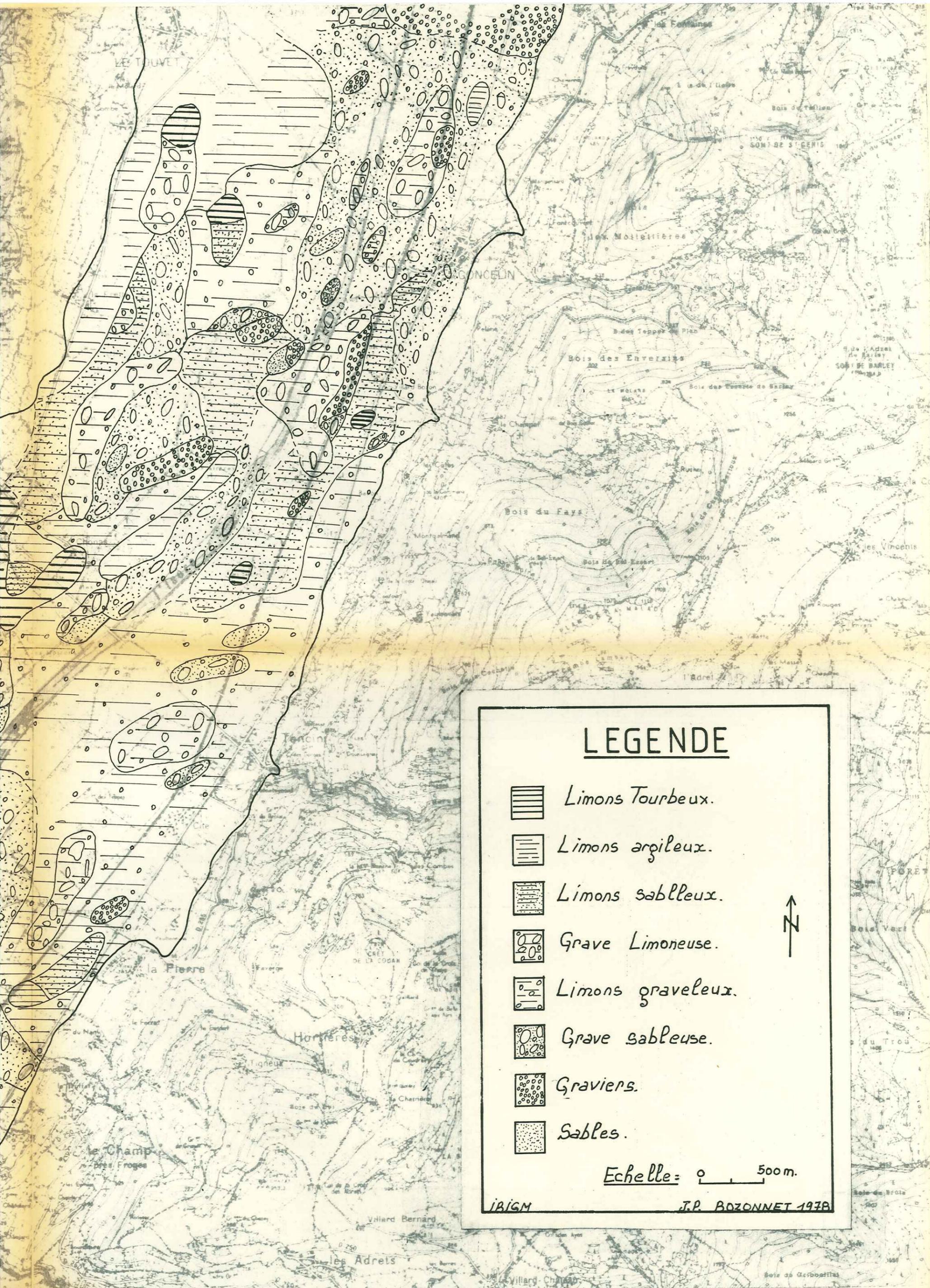
J.P. BOZONNET 1978

CARTE GEOLOGIQUE à - 2 mètres sous

la surface. Echelle: 1/25000

MOYEN GRESIVAUDAN





LEGENDE

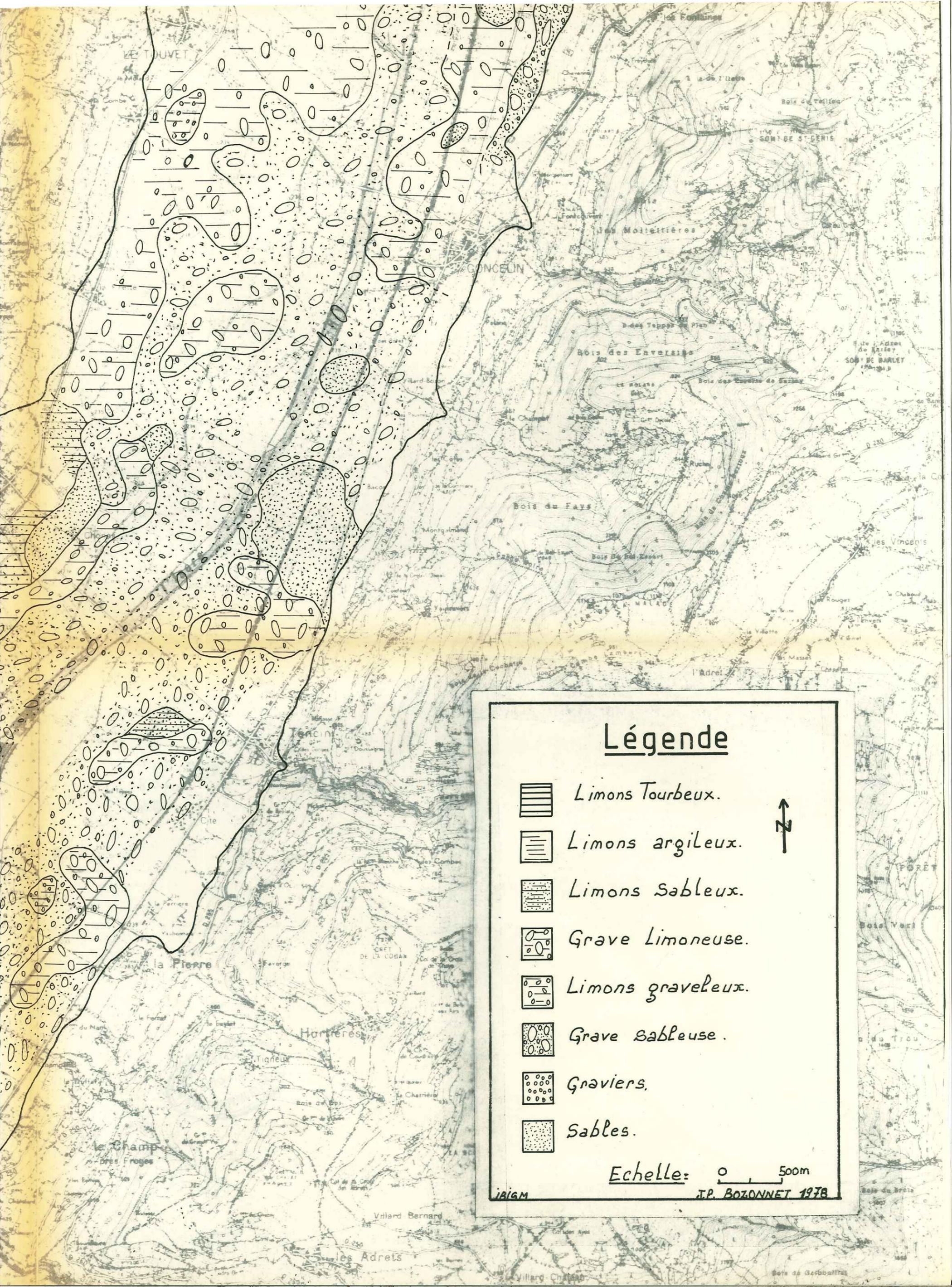
-  *Limons Tourbeux.*
-  *Limons argileux.*
-  *Limons sableux.*
-  *Grave Limoneuse.*
-  *Limons graveleux.*
-  *Grave sableuse.*
-  *Graviens.*
-  *Sables.*



Echelle: 0 500m.

IBIGM

J.P. BOZONNET 1978



Légende



Limos Tourbeux.



Limos argileux.



Limos sableux.



Grave Limoneuse.



Limos graveleux.



Grave sableuse.



Graviers.



Sables.



Echelle: 0 500m

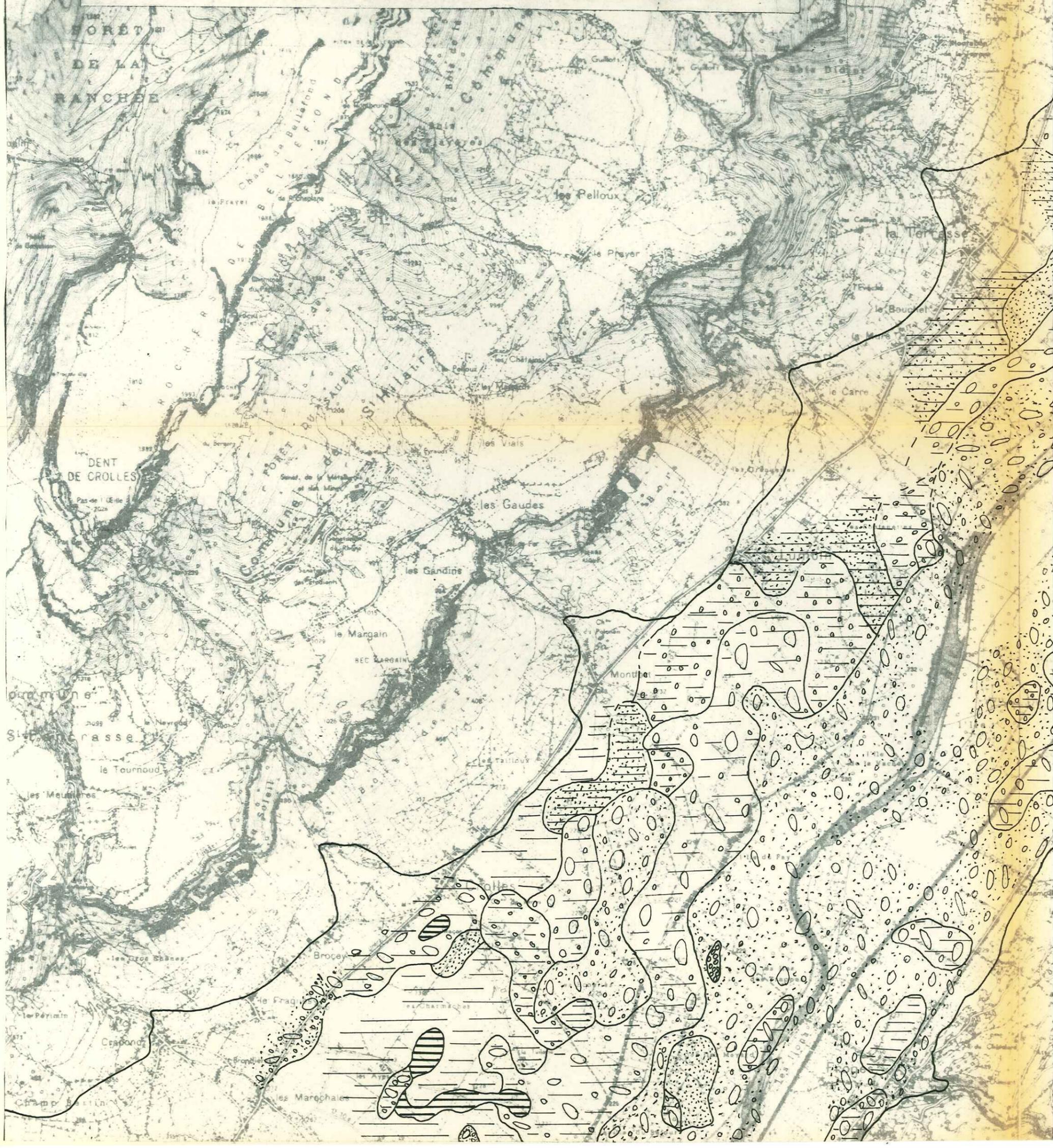
IBISM

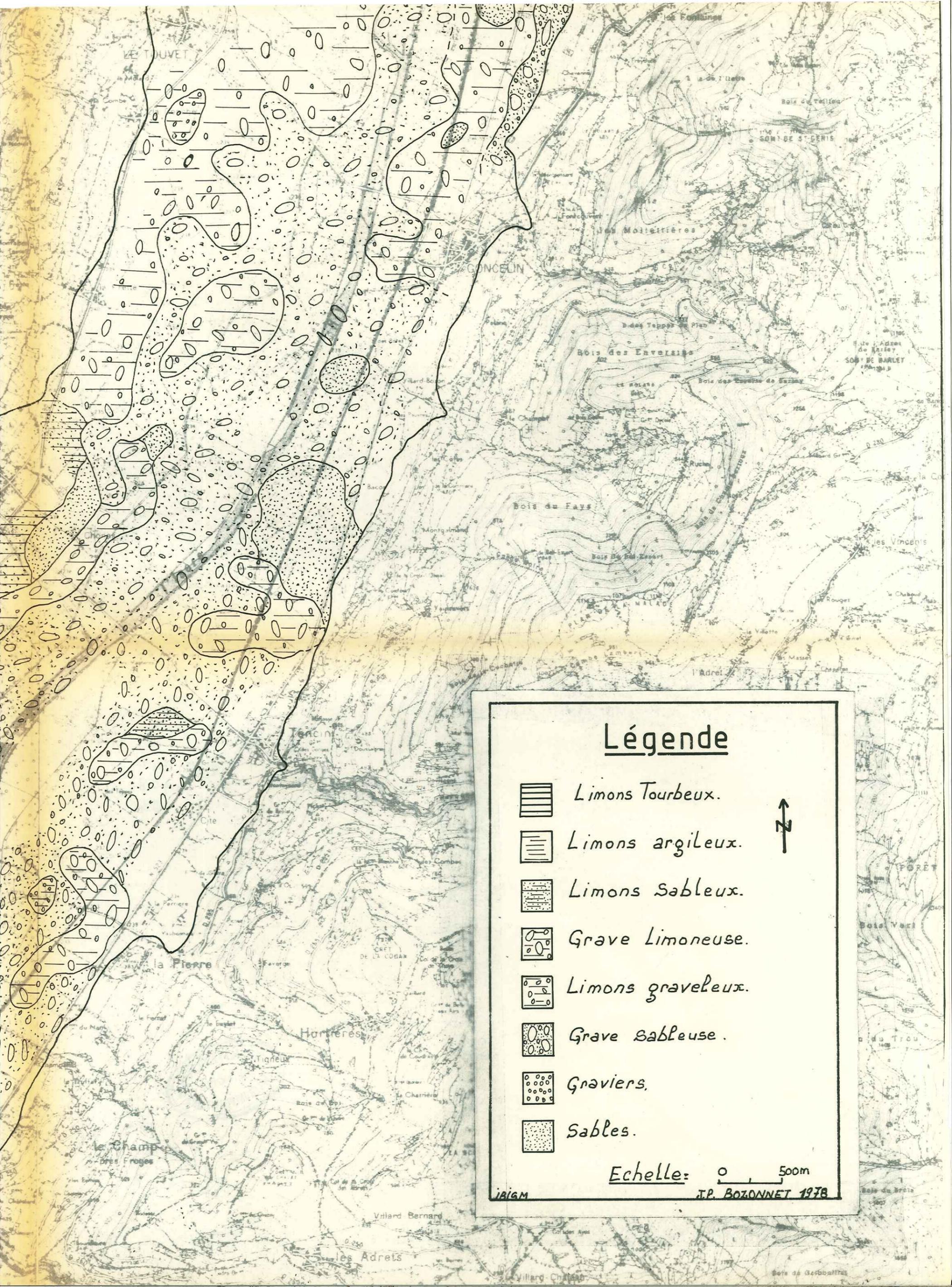
J.P. BOZONNET 1978

CARTE GEOLOGIQUE à - 6 mètres

sous la surface au 1/25000

MOYEN GRESIVAUDAN





Légende



Limos Tourbeux.



Limos argileux.



Limos sableux.



Grave Limoneuse.



Limos graveleux.



Grave sableuse.



Graviers.



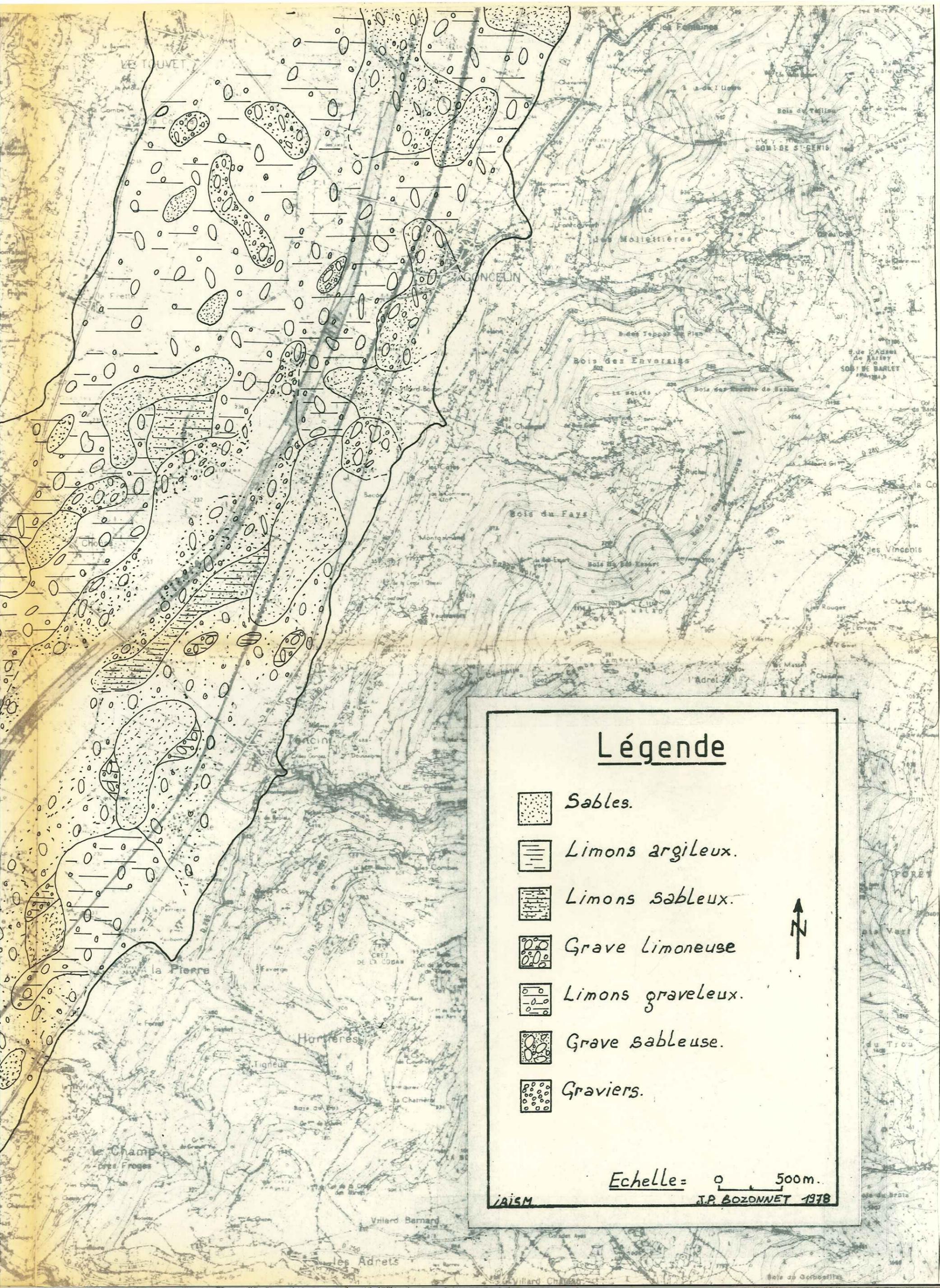
Sables.



Echelle: 0 500m

IBISM

J.P. BOZONNET 1978



Légende

-  *Sables.*
-  *Limons argileux.*
-  *Limons sableux.*
-  *Grave limoneuse*
-  *Limons graveleux.*
-  *Grave sableuse.*
-  *Gravier.*



Echelle = 0 500m.

IAISM

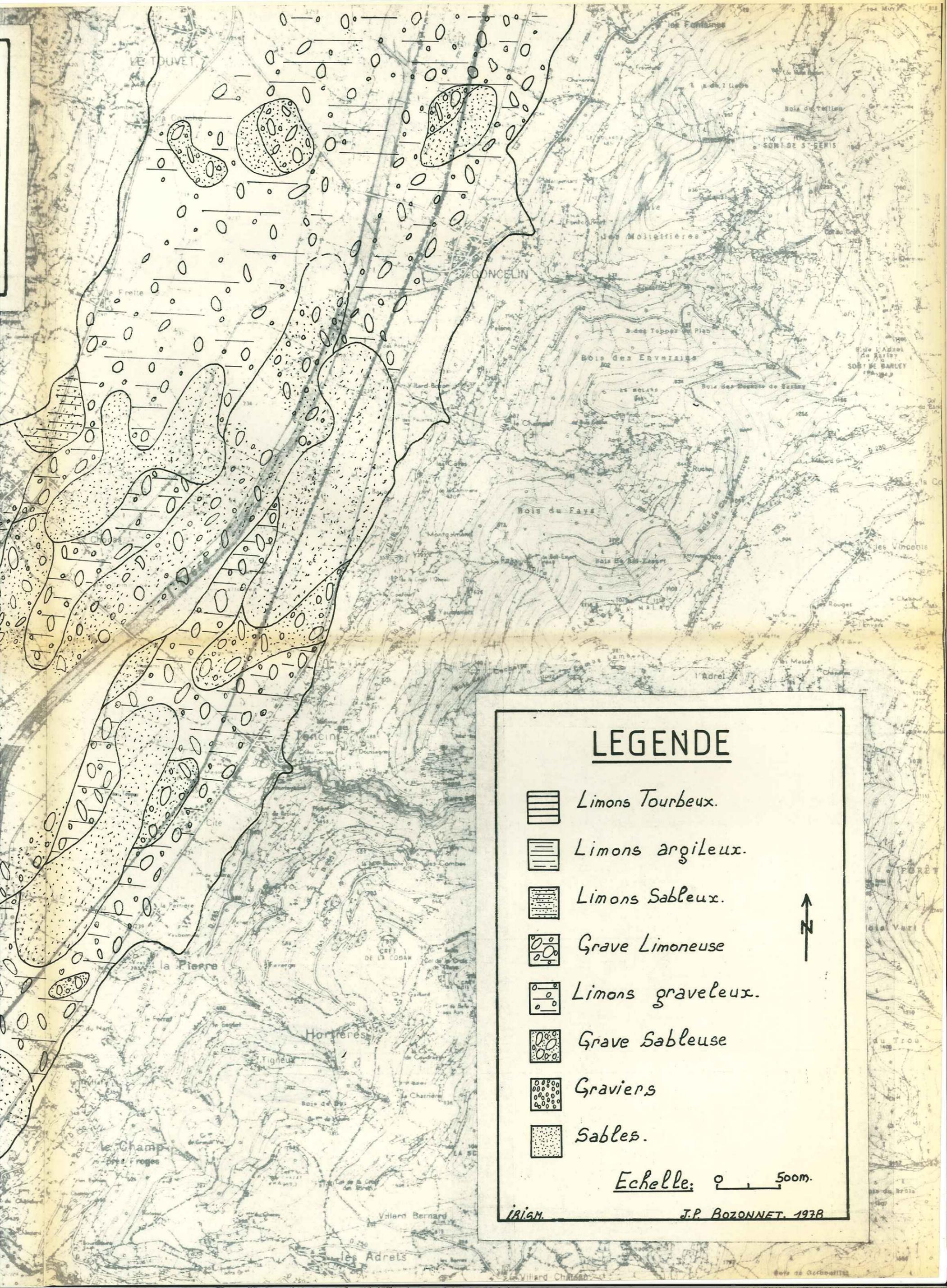
J.P. BOZONNET 1978

CARTE GEOLOGIQUE à -15 mètres sous

la surface. Echelle: 1/25000

MOYEN GRESIVAUDAN

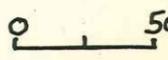




LEGENDE

-  *Limons Tourbeux.*
-  *Limons argileux.*
-  *Limons Sableux.*
-  *Grave Limoneuse*
-  *Limons graveleux.*
-  *Grave Sableuse*
-  *Graviers*
-  *Sables.*



Echelle:  500m.

IRISM.

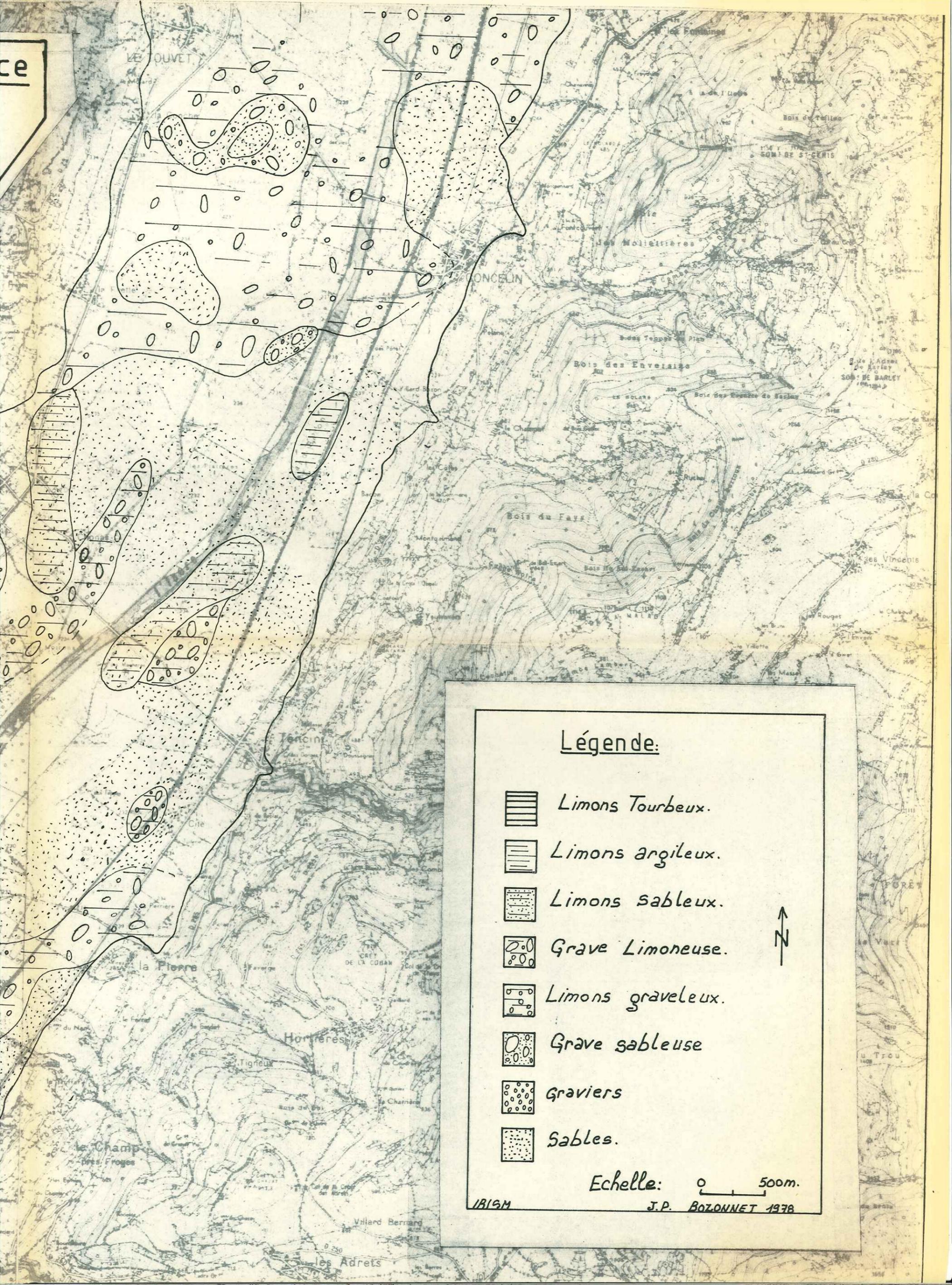
J.P. BOZONNET. 1938

CARTE GEOLOGIQUE à -20 mètres sous la surface

MOYEN GRESIVAUDAN

Echelle: 1/25 000





ce

Légende:

-  *Limons Tourbeux.*
-  *Limons argileux.*
-  *Limons sableux.*
-  *Grave Limoneuse.*
-  *Limons graveleux.*
-  *Grave sableuse*
-  *Gravier*
-  *Sables.*



Echelle: 0 500m.

IBISM

J.P. BOZONNET 1978



LEGENDE

E136 Sondage électrique.

M55 Sondage mécanique.

P12 Sondage pénétrométrique.

△ Echantillon prélevé.

5/5 Coupe géologique.



Echelle: 0 500m.

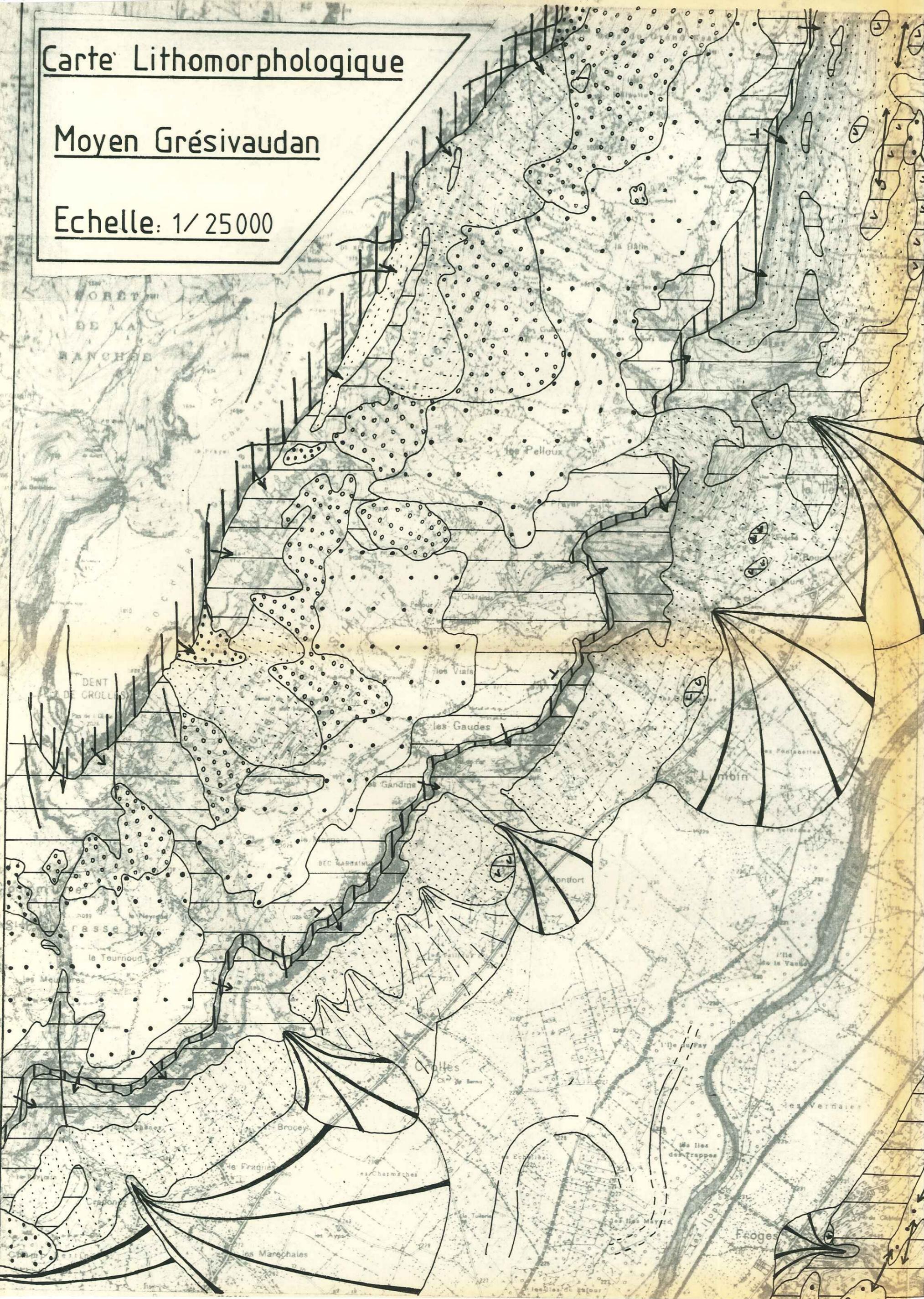
IRIGM

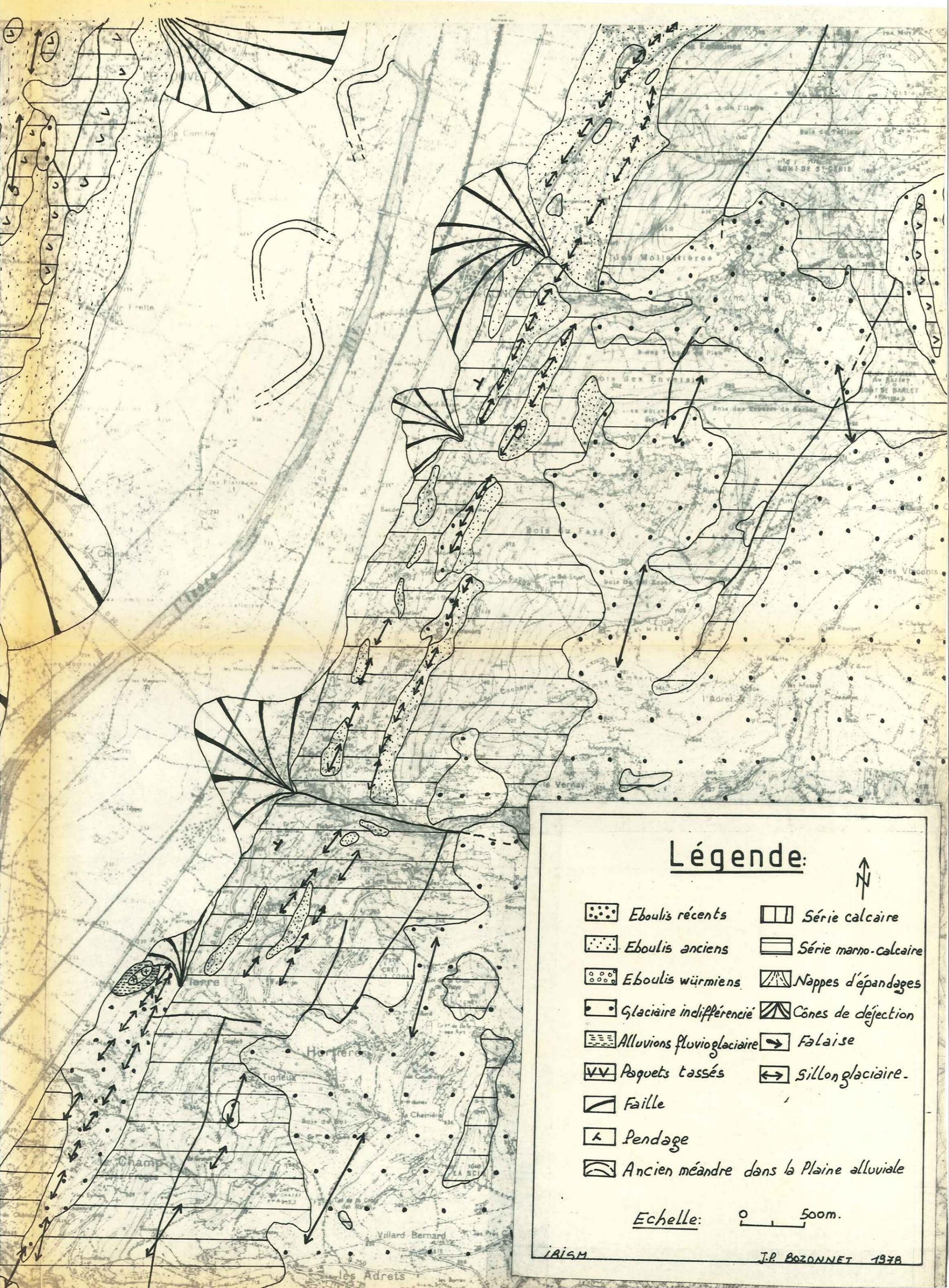
J.P. BOZONNET 1978

Carte Lithomorphologique

Moyen Grésivaudan

Echelle: 1/25000



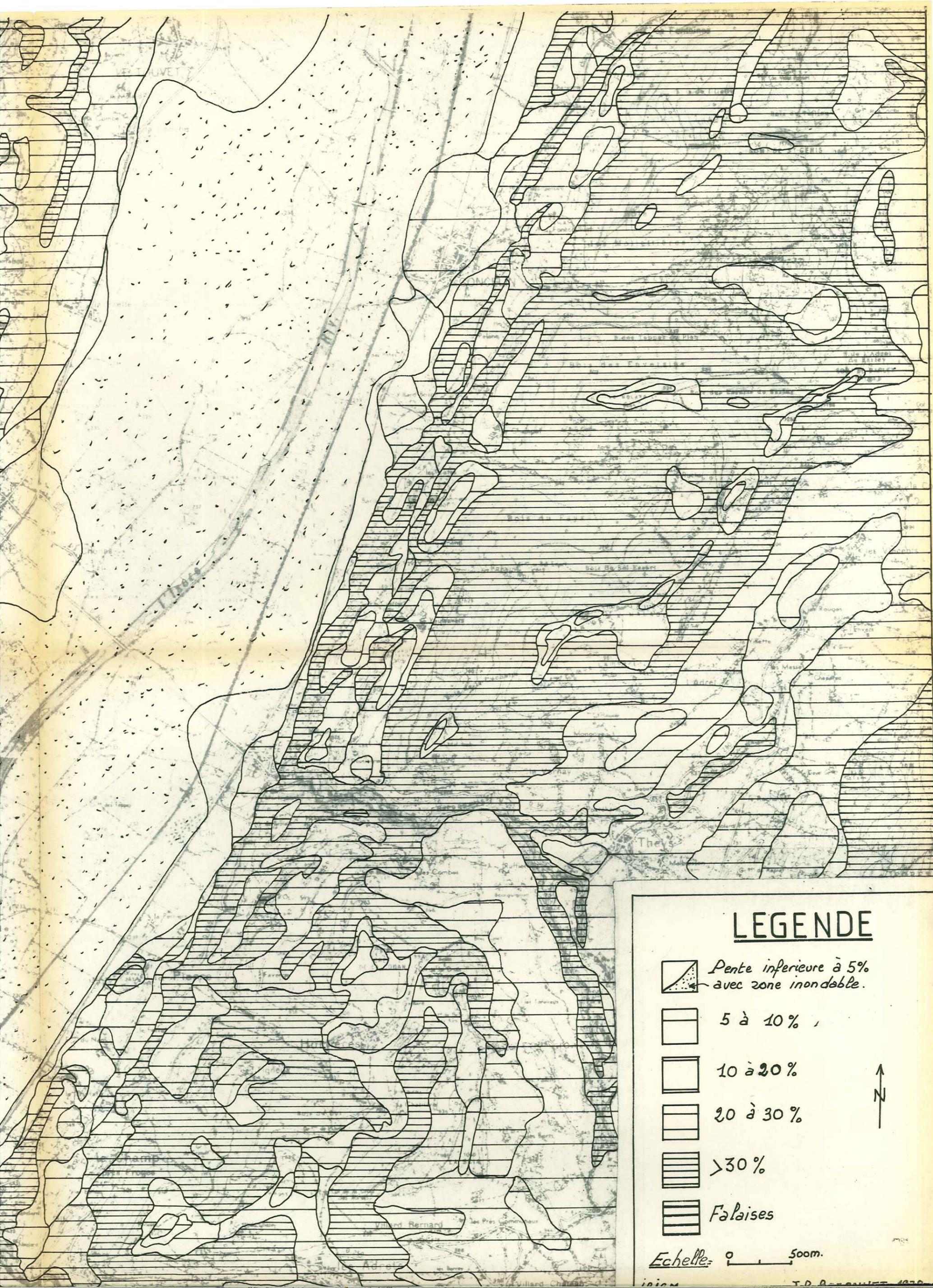


Légende:



- | | |
|--|---|
|  <i>Eboulis récents</i> |  <i>Série calcaire</i> |
|  <i>Eboulis anciens</i> |  <i>Série marno-calcaire</i> |
|  <i>Eboulis würmiens</i> |  <i>Nappes d'épandages</i> |
|  <i>Glacière indifférencié</i> |  <i>Cônes de déjection</i> |
|  <i>Alluvions fluvio-glaciaire</i> |  <i>Falaise</i> |
|  <i>Poquets tassés</i> |  <i>Sillon glaciaire</i> |
|  <i>Faïlle</i> | |
|  <i>Pendage</i> | |
|  <i>Ancien méandre dans la Plaine alluviale</i> | |

Echelle: 0 500m.



LEGENDE

 *Pente inférieure à 5% avec zone inondable.*

 5 à 10%

 10 à 20%

 20 à 30%

 >30%

 Falaises



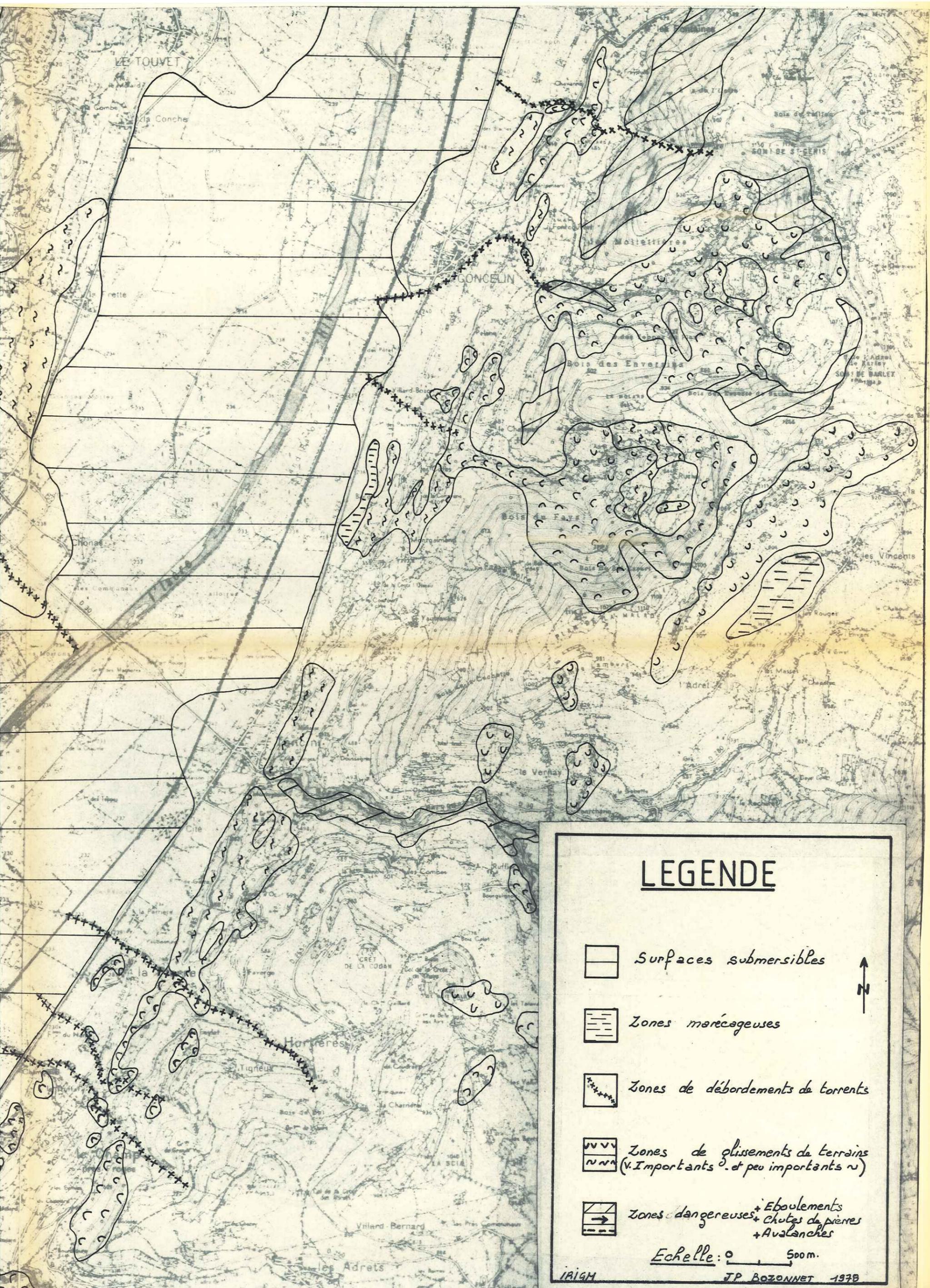
Echelle: 0 500m.

CARTE DES RISQUES NATURELS

MOYEN GRESIVAUDAN

Echelle: 1/25000





LEGENDE



Surfaces submersibles



Zones marécageuses



Zones de débordements de torrents



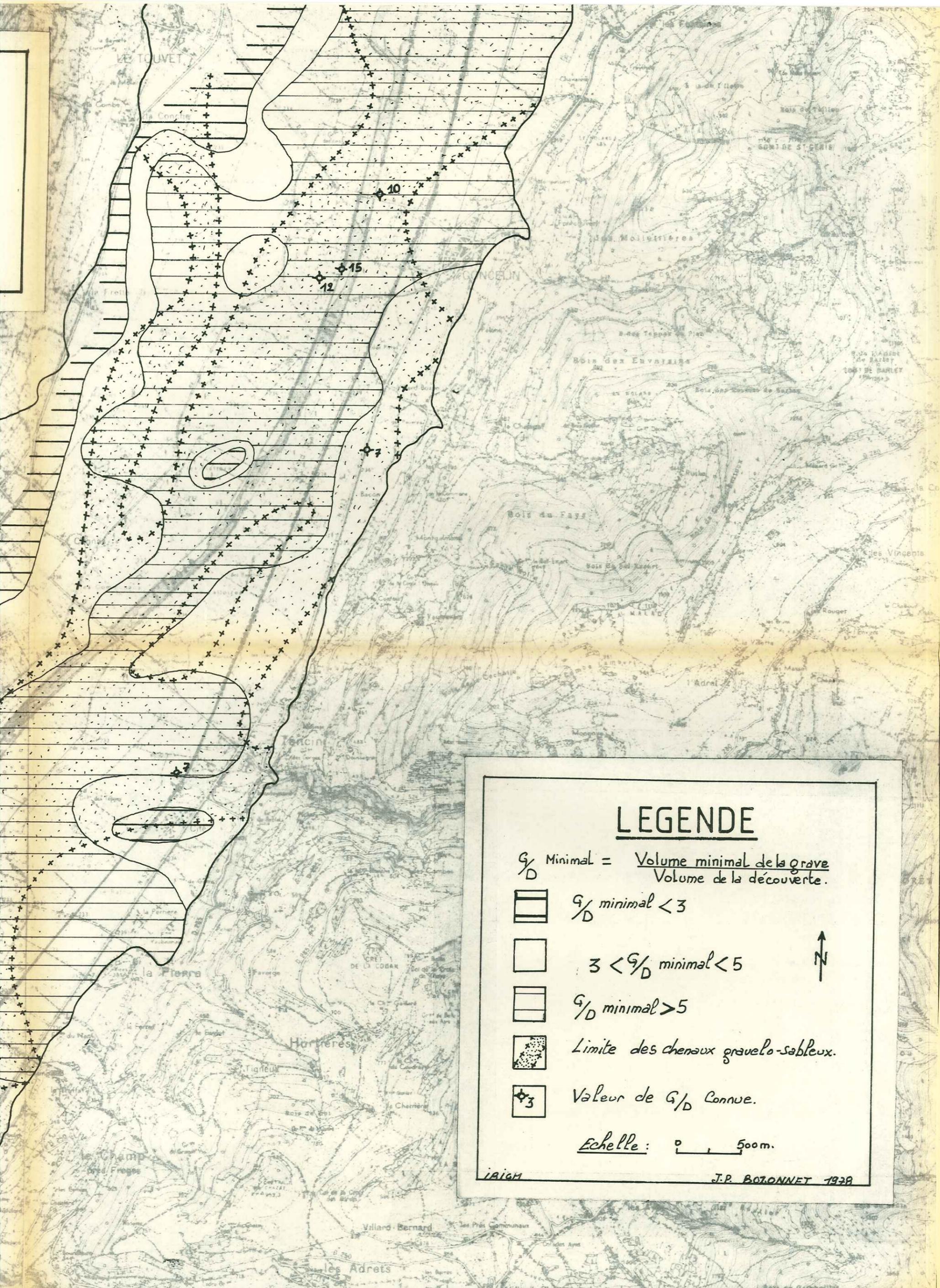
Zones de glissements de terrains
(v. Importants et peu importants)



Zones dangereuses
+ Eboulements
+ Chutes de pierres
+ Avalanches



Echelle: 0 500m.



LEGENDE

$$G/D \text{ Minimal} = \frac{\text{Volume minimal de la grave}}{\text{Volume de la découverte.}}$$

 $G/D \text{ minimal} < 3$

 $3 < G/D \text{ minimal} < 5$

 $G/D \text{ minimal} > 5$

 Limite des chenaux gravelo-sableux.

 Valeur de G/D connue.



Echelle :  500m.

IAIGH

J.P. BOZONNET 1938



LEGENDE



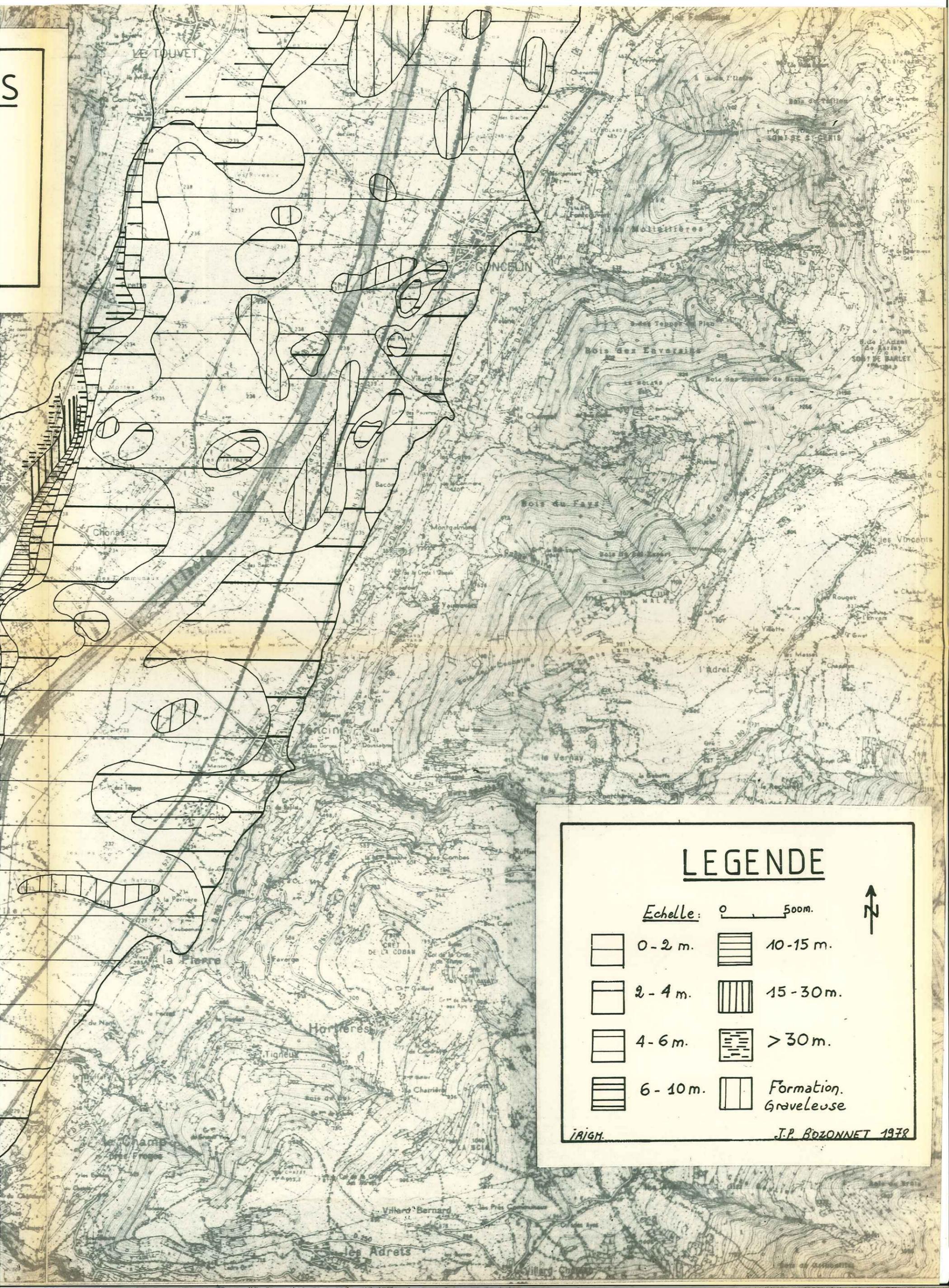
Courbes isopaques
profondeur en mètres



Echelle = 0 500m

IRISM

J.P. BOZONNET 1978.



S

LEGENDE

Echelle: 0 — 500m.



- | | | | |
|--|-----------|--|--------------------------|
| | 0 - 2 m. | | 10 - 15 m. |
| | 2 - 4 m. | | 15 - 30 m. |
| | 4 - 6 m. | | > 30 m. |
| | 6 - 10 m. | | Formation.
Graveleuse |

I.A.I.G.H.

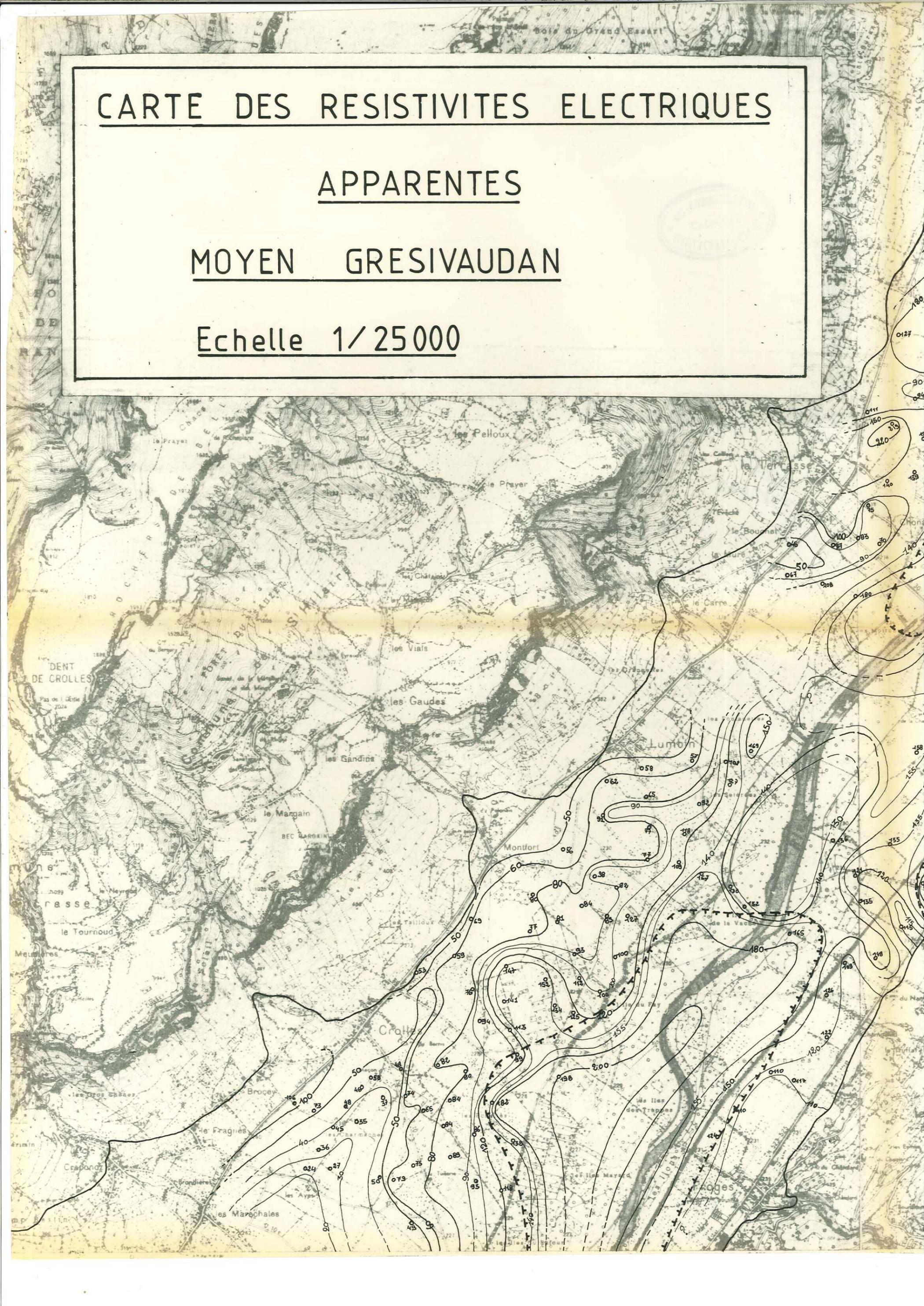
J.P. BOZONNET 1978

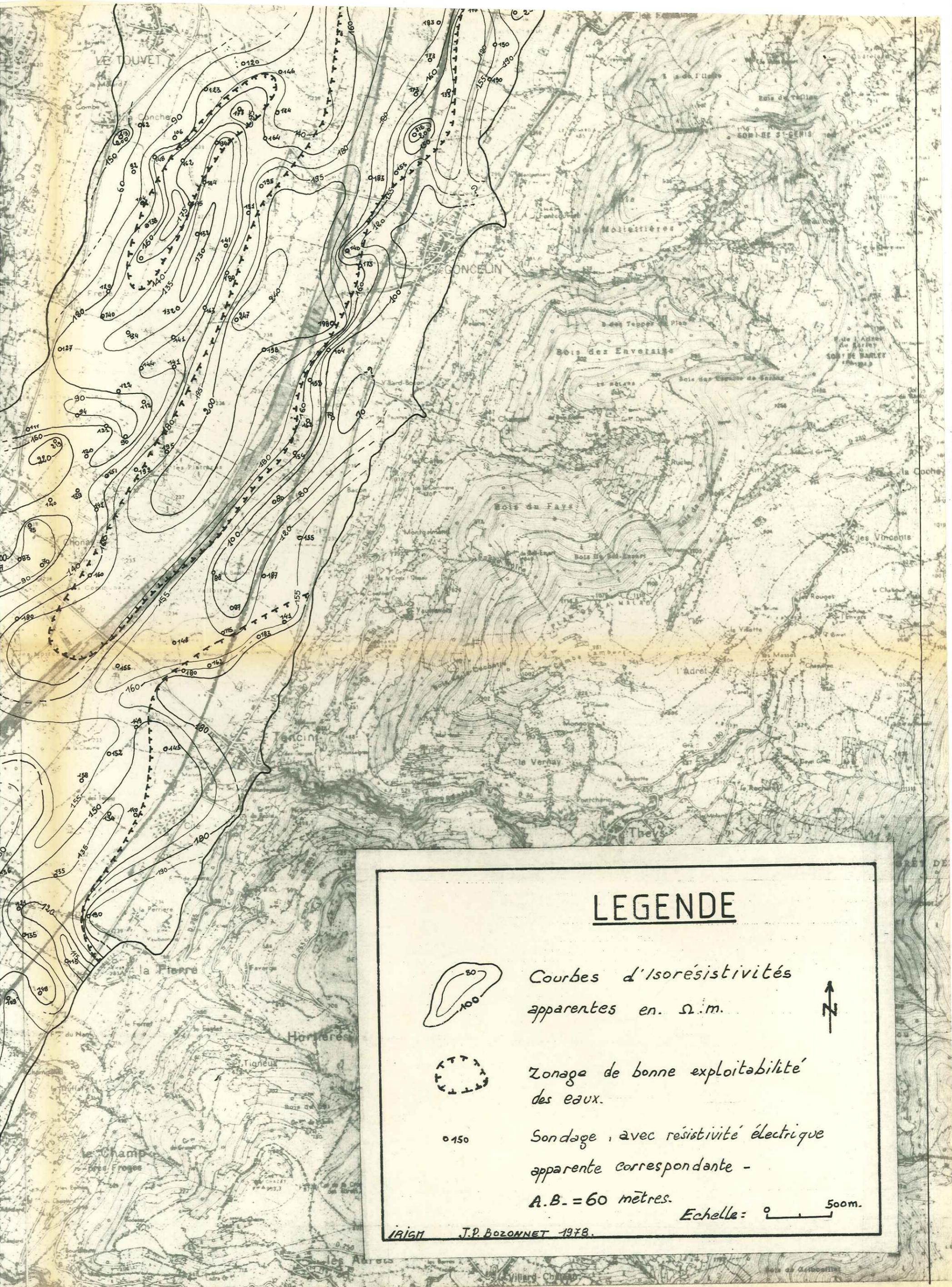
CARTE DES RESISTIVITES ELECTRIQUES

APPARENTES

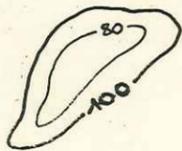
MOYEN GRESIVAUDAN

Echelle 1/25000





LEGENDE



Courbes d'isoresistivités
apparentes en. $\Omega.m.$



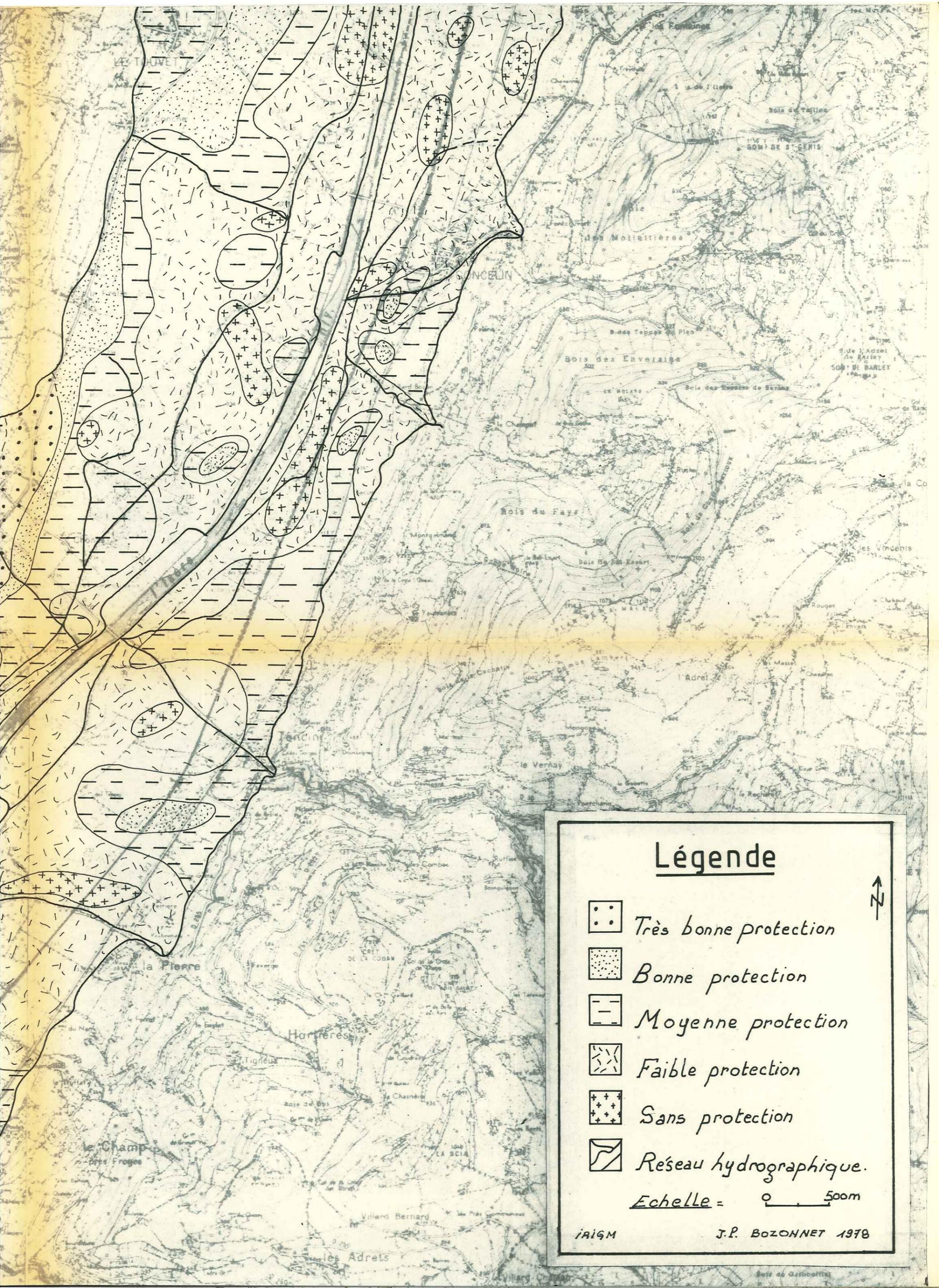
Zonage de bonne exploitabilité
des eaux.

o 150

Sondage, avec résistivité électrique
apparente correspondante -
A.B. = 60 mètres.

Echelle: 500m.

IRIGM J.P. BOZONNET 1978.



Légende



Très bonne protection



Bonne protection



Moyenne protection



Faible protection



Sans protection



Réseau hydrographique.

Echelle = 0 500m

