



**HAL**  
open science

# Etude hydrogéologique et hydrodynamique du karst des calcaires sénoniens. Massif du Dévoluy, Hautes-Alpes

Jean Luc Bonhomme

## ► To cite this version:

Jean Luc Bonhomme. Etude hydrogéologique et hydrodynamique du karst des calcaires sénoniens. Massif du Dévoluy, Hautes-Alpes. Géologie appliquée. Conservatoire national des arts et métiers - CNAM, 1972. Français. NNT : . tel-01020716

**HAL Id: tel-01020716**

**<https://theses.hal.science/tel-01020716>**

Submitted on 8 Jul 2014

**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.

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE ET HYDRODYNAMIQUE

DU KARST DES CALCAIRES SENONIENS

DEVOLUY

(Hautes-Alpes)

---

J.-L. BONHOMME

Laboratoire de Géologie appliquée

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

1972

T H E S E

PRÉSENTÉE AU

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS

pour l'obtention du diplôme d'ingénieur en G E O L O G I E

- Spécialité HYDROGEOLOGIE -

PAR JEAN - LUC BONHOMME

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE ET HYDRODYNAMIQUE

DU KARST DES CALCAIRES SENONIENS

MASSIF DU D E V O L U Y

Hautes-Alpes

Paris, le 10 Octobre 1972

- PRESENTATION D'ENSEMBLE DU DEVOLUY	1
- LIMITE DE L'ETUDE	2
- GEOLOGIE GENERALE DU DEVOLUY	
STRATIGRAPHIE	5
TECTONIQUE - STRUCTURES	40
- HYDROLOGIE DE SURFACE	58
- CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES DES CALCAIRES SENONIENS	83
- CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES	154
- CHIMIE DES EAUX	170
- CONCLUSION	177
- ANNEXE I : APPAREILS DE MESURE	
- ANNEXE II: BIBLIOGRAPHIE	

oooooooooooo

## A V A N T - P R O P O S

---

Je tiens à remercier ici tous ceux qui m'ont aidé à la réalisation de cette étude et plus particulièrement :

Mr. G. FILLIAT, Professeur de la Chaire de Géologie Appliquée au Conservatoire National des Arts et Métiers, dont l'enseignement d'une grande clarté m'a beaucoup aidé et dont la constante bienveillance tout au long de cette étude fut un encouragement.

Mr D. DEPREZ, Assistant de la Chaire de Géologie Appliquée du Conservatoire National des Arts et Métiers, dont les conseils m'ont aidé à préciser mes recherches et dont les visites sur le terrain m'ont stimulé dans mon entreprise.

Mr BOET, professeur de Physique du Conservatoire National des Arts et Métiers (Centre Associé)

Mr LATY, professeur de Physique du Conservatoire National des Arts et Métiers (Centre Associé)

Mr LAFUMA, professeur de Chimie des Matériaux du Conservatoire National des Arts et Métiers  
dont l'enseignement m'a permis de compléter ma formation de géologue.

Mr E; de LAMARE , Chef du Laboratoire Audio-Fréquence de l'O.R.T.F.  
Mr MORLOT

Mr Y. GRUERE, ingénieur de l'ALSTHOM,  
qui m'ont aidé, avec beaucoup de compétence et de dévouement, à la réalisation du limnigraphe et plus spécialement à la partie électronique de cet appareil.

Mr J. TOURRES, spéléologue averti, dont la connaissance considérable des gouffres du DEVOLUY, et l'amicale efficacité ont été

déterminantes pour mener à bien mes travaux sur place, tout particulièrement pour la surveillance des appareils.

Les services de l'E.D.F. et de la Météorologie Nationale qui m'ont aimablement laissé accéder à leurs documents.

Je ne voudrais pas oublier ceux grâce à qui le désir de cette étude est né, je veux parler de mes compagnons de l'aventure souterraine : nous recherchions la Rivière de la Nuit, j'espère ne pas trop les décevoir...

Enfin tous ceux, amis et compagnons d'étude, et ils sont nombreux, qui m'ont aidé au cours de cette longue épopée.

oooooooooooo

## CH.I - Présentation d'ensemble du DEVOLUY

### I) Situation géographique

Au Sud-Ouest de la Mure ou Grenoble, au Nord-Est de Gap, implanté dans les départements de la Drôme, de l'Isère et des Hautes-Alpes, mais essentiellement situé dans ce dernier, coincé entre les vallées du Drac, de l'Ebron, du Grand et du Petit Buech, se dresse un massif désolé des préalpes françaises : le DEVOLUY. Il est un de ces massifs qui réalisent la transition entre les Alpes humides et les Alpes sèches et se place en bordure du domaine alpin tout en appartenant partiellement au domaine provençal. Le Dévoluy se compose de trois chaînes de montagnes :

- à l'ouest, la chaîne du Ferrand-Obiou (2761m-2791m)
- à l'est, la chaîne du Féraud-Crête de Porel (2560m)
- au sud, la montagne d'Aurouze, dominée par le plateau de Bure qui culmine au Pic de Bure (2712m)

Caractéristiques : longueur ..... 25 km  
 largeur maximum.... 24 km  
 périmètre moyen ... 80 km  
 surface : environ . 300 km<sup>2</sup>

Cette vaste cuvette basculée vers le Nord et bombée au Sud, est vidée de ses eaux par deux torrents :

la Souloise grossie de la Ribière, vers le Nord, qui alimente la retenue E.D.F. du Sautet et disparaît dans le Drac

le torrent de Mouche-Chot vers le Sud, qui se jette dans la Béoux, affluent du Petit Buech.





## L I M I T E D E L ' E T U D E

=====

Le massif du DEVOLUY n'a pas été jusqu'à présent l'objet d'étude hydrogéologique approfondie mais seulement de quelques études locales, réalisées par MM ..(1) s'inscrivant dans le cadre réglementaire des recherches pour l'alimentation en eau potable des communes ou dans le cadre de recherches spéléologiques réalisées par MM ..(1)

Si les documents hydrogéologiques sont pratiquement inexistant, par contre, on peut souligner la relative abondance des informations géologiques.

DEVOLUY et massif du DEVOLUY sont des termes actuellement utilisés pour désigner deux régions géographiques distinctes, bien que l'une contienne l'autre, mais semblables du point de vue géologique.

Depuis P. LORY, on convient d'appeler "DEVOLUY" la vaste cuvette perchée (le synclinal perché Dévoluard) ceinturée de tous côtés par d'impressionnantes falaises. C'est en réalité la région dénommée DEVOLUY par les géographes. Elle se limite à l'ouest avec la chaîne du Ferrand (2.759m), Obiou (2.790m), à l'est avec la montagne de Ferraud (2.381m) et la crête de Porel. Au nord, par une ligne passant de la pointe du massif de l'Obiou (l'Aiguille) au Pic Chauvet, au sud, par un arc joignant la pointe sud de Porel (Rocher de la Palette) - le sommet des Casses - la tête des Pras Arnaud - la Cluse.

(1) voir Bibliographie

Un vaste croissant borde le DEVOLUY de l'Ouest au Sud-Est, comprenant essentiellement les régions de Tréminis, la Jar-geatte, de Lus-la-Croix-Haute à l'Ouest, la vallée du Petit Buech au Sud et la montagne de Chaudun au Sud-Est.

Le DEVOLUY et sa zone marginale présentent de nombreux points communs. Nous les groupons dans un seul et même ensemble sous l'appellation "MASSIF DU DEVOLUY".

Ce travail porte essentiellement sur le DEVOLUY. L'étude du KARST, du CALCAIRE TITHONIQUE nous a conduit à travailler quelque peu dans le massif du DEVOLUY.

Succédant à une première prise de contact avec le massif du DEVOLUY, il avait été établi dans un rapport de thèse un plan d'étude qui, en réalité, n'a pas cessé d'évoluer au fur et à mesure que la connaissance sur le DEVOLUY devenait plus précise.

C'est ainsi que l'ensemble des informations acquises permet de s'orienter vers des recherches plus spécifiques.

Les études stratigraphique, tectonique et géomorphologique montrent que, dans l'ensemble, les divers systèmes aquifères d'inégale importance, sont assez bien individualisés et qu'en conséquence l'étude du massif dans son ensemble, limité par l'affleurement des marnes oxfordiennes, n'avait plus un caractère impératif.

D'une étude d'approche globale, nous nous sommes acheminé vers une étude spécifique de chaque système aquifère : celui des formations tertiaires, des formations détritiques, des formations tectonisées, du karst du calcaire tithonique, du karst du calcaire sénonien.

Si effectivement le travail réalisé s'est attaché à caractériser les divers types d'aquifères, nous présentons seulement le "KARST des CALCAIRES SENONIENS". C'est, pour le DEVOLUY, la formation aquifère la plus importante. Nous publierons ultérieurement les informations obtenues pour les autres systèmes.

Dans le but de saisir au mieux les caractéristiques physiques, nous avons mis en place un appareillage de mesure (limnigraphe, pluviomètres). Ce matériel installé assez tard n'a pas fourni actuellement des résultats pouvant être considérés comme définitifs. L'élaboration et la réalisation du matériel utilisé (limnigraphe et pluviomètres) ont représenté une part non négligeable dans le travail d'ensemble.

STRATIGRAPHIE



L'ensemble de la série stratigraphique a été étudié par un certain nombre de géologues : après les travaux de CH. LORY, et P. LORY, des études assez récentes sont dues au Laboratoire de Géologie Dynamique de la Sorbonne et à l'Ecole Nationale Supérieure des Pétroles et Moteurs.

Il était donc inutile de reprendre un travail déjà effectué. En conséquence, nous présentons cette série telle qu'elle apparaît à la lumière des travaux réalisés et en y ajoutant les caractéristiques hydrogéologiques élémentaires des divers horizons.

L'ensemble des terrains observables dans le massif du Dévoluy est essentiellement des terrains s'étageant du Jurassique moyen et supérieur aux Crétacé et Nummulitique.

D'autre part, notons la présence de terrains primaires et liasiques sur la bordure N-N.E. du massif.

Pour le reste, la série est limitée à la base par le callovo-oxfordien.

oooooooooooo

## L E L I A S

Des terrains primaires et liasiques affleurent uniquement dans la bordure nord du DEVOLUY, principalement dans la partie Nord-Est, à partir du Pic Farot.

Ces horizons dont nous signalons l'existence ne présentent pas un caractère particulier dans le cadre de l'étude. Pratiquement, le primaire, trop au Nord (région de Beaufin) n'interviendra pas.

Seul, le LIAS, essentiellement représenté par des calcaires marneux noirs bien lités à Ammonites sera cité dans la mesure où il intéresse le réseau de failles de BEAUFIN.

oooooooooooo

## L E J U R A S S I Q U E

---

### I) LES TERRES NOIRES

du callovo-oxfordien

#### Lithologie

Ce sont des marnes schisteuses de cohésion assez faible. Elles se délitent en plaquette. Leur patine est de noir à brun, en cassure, noir à brun foncé. Bien répartis dans la masse, on rencontre sur toute leur épaisseur des bancs calcaires; ceux-ci sont plus fréquents vers le sommet; leur patine est ocre. On rencontre aussi des filons de calcite, parallèles à la stratification, ainsi que des miches calcaires de forme ovoïde, très dures, à patine ocre et contenant des nodules pyriteux ou des Ammonites.

fossiles : Ammonites, Bèlémnites, Aptychus

#### Epaisseur

Le plus souvent, on n'observe que le sommet des terres noires; en conséquence, il n'est pas possible de connaître l'épaisseur de cet horizon.

#### Rôle morphologique

Lorsqu'elle ne sont pas recouvertes par des formations glaciaires, elles forment un paysage assez typique en dômes allongés : ondulations molles



### Extension géographique

Les terres noires se retrouvent en affleurement sur l'ensemble de la bordure périphérique du Dévoluy; il y a donc tout lieu de penser que son extension est générale sur l'ensemble du massif.

### Aperçu hydrogéologique

L'ensemble de cette épaisse série marneuse à la base du massif du Dévoluy peut être considérée comme l'ultime horizon d'arrêt pour les eaux circulant dans ce massif.

#### 2) MARNO-CALCAIRES OCRES

- |               |             |
|---------------|-------------|
|               | - séquanien |
| du Lusitanien | - rauracien |
|               | - argovien  |

### Lithologie

Cet horizon se divise naturellement en deux parties :

- partie inférieure : constituée d'un ensemble de marnes à l'intérieur desquelles on retrouve des bancs calcaires espacés et très effacés. Ces marnes sont plus calcaires que les marnes oxfordiennes. La base de cette série est constituée par plusieurs bancs calcaires.

- partie supérieure : formée d'une alternance assez régulière de calcaires marneux, noirâtres et de marnes calcaires grises.

Au sommet, les calcaires prédominent nettement sur les marnes. L'ensemble a une patine à peu près constante jaune-roux à jaune-gris. Cette couleur permet de les séparer de loin des terres noires dont le délitage en plaquettes est identique

Fossiles : Belemnites, Ammonites, Radiolaires, Miliolles.

Epaisseur

maximum : 350

minimum : 200 m

Rôle morphologique

Ces formations amorcent les falaises qui bordent le Dévoluy; c'est la charnière entre la plaine du Champsaur et la chaîne abrupte de Porel-Féraud, la plaine de Treminis et la chaîne abrupte du Ferrand Obiou

Extension géographique

Les marno calcaires du lusitanien, comme les Terres Noires affleurent à la base des falaises qui limitent le Dévoluy; ils existent donc sous l'ensemble du massif

Apprçu hydrogéologique

Les marno-calcaires du lusitanien participent avec les Terres Noires à la formation de l'horizon imperméable de base du Dévoluy.

3) LES MARNO-CALCAIRES

du Kimméridgien

Lithologie

Les marno-calcaires du Kimméridgien débutent par un faciès très semblable aux marno-calcaires du Lusitanien, puis on s'achemine sans transition nette vers le sommet de la formation où les calcaires prennent de plus en plus d'épaisseur.

- A la base : calcaire sombre, en bancs épais (80 cm) compact, alternant avec des couches marneuses de faible épaisseur (quelques cm à 10 cm)

- partie supérieure : prédominance des bancs calcaires par rapport aux bancs marneux. On observe des bancs calcaires pseudo-bréchiques noirs à nodules de diverses couleurs, tantôt rouges, bleus ou noirs. Ces bancs de fausse brèche sont épais, ils peuvent atteindre 2M. Par endroit, cette formation prend une très grande place à l'intérieur du Kimméridgien. D'une façon générale, la fréquence de ces bancs est variable.

Le sommet du Kimméridgien est marqué par la présence de calcaire à silex, épais (60 à 80 cm) alternant avec des passées marneuses.

Le faciès de cette formation est dans l'ensemble le suivant :

- la patine, grise, est le plus souvent claire. On observe des trainées bleues, lie de vin ou roses.

- en cassure, on retrouve celles-ci, mais plus soutenues, principalement dans les calcaires où la couleur est sombre, noire; il est de même pour les marnes.

- le débit des marnes donne des éléments en plaquettes sonores, plus important que dans les horizons sous-jacents.

- les calcaires sont à grain fin.

Fossiles : Radiolaires, Spicules, Ostracodes,

### Epaisseur

maximum : 200 m

minimum : 150 m

(voir coupe de synthèse du Jurassique)

### Extension géographique

Les marno-calcaires du Kimméridgien restent une formation assez constante dont on retrouve les affleurements sur toute la périphérie du Dévoluy.

### Rôle morphologique

La partie supérieure de cette série compose la base de la corniche des formations du Portlandien.

### Aperçu hydrogéologique

Comme les horizons précédents, les marno-calcaires du Kimméridgien jouent un rôle d'écran vis-à-vis des eaux d'infiltration.

## 4) FORMATIONS COMPACTES DU PORTLANDIEN

### LE TITHONIQUE

#### Lithologie

Le Portlandien est constitué par une suite continue de bancs calcaires de caractères variables.

Cette formation débute soit par une fausse brèche, soit par des calcaires gris et cristallins, à patine grise, et à silex roux. Puis on peut observer des calcaires lamelleux, foncés en cassure et à patine grise avec des niveaux de calcaires pseudo bréchi-ques à nodules rouges.

Surmontant ces premiers niveaux, on trouve des calcaires gris clair montrant en cassure des silex noirs branchus ; puis, des calcaires lamelleux, en bancs de couleur sombre. La formation se termine par un calcaire sublito-graphique très clair, blanc en cassure avec parfois des silex.

Fossiles : ammonites, aptychus, radiolaires, foraminifères.

#### Epaisseur

maximum : 100 m

minimum : 50 m

(voir coupe de synthèse du jurassique-)

# JURASSIQUE

COUPE LITHOLOGIQUE	HORIZONS AQUIFERES	DESCRIPTION LITHOLOGIQUE	DESIGNATION DES FORMATIONS	ETAGES	EPAISSEUR en m.				
					N.E	N.W	S.E	S	S.W
		Fausse brèche. Calcaire sublithographique. (verniculé)	J <sup>8-6</sup>	Portlandien Tithonique	70 à 90	80	50 à 80	25	60
		calcaire sublithographique blanc. Fausse brèche. Calcaire gréseux calcaire lamelleux calcaire gris à silex							
		calcaire noir à silex. calcaire noir à silex. Marnes Poncées. Fausse brèche à nodules rouge. et noire. calcaire noir à patine grise. en gros bancs.	J <sup>5</sup>	Kimmeridgien	60	-	50	50	50
		calcaires roux Marnes gris roux	J <sup>4-3</sup>						
		Marnes rousses. calcaires roux.	J <sup>2-1</sup>	Callovo Oxfordien	-	-	-	> 200	-
Marnes brun noir. Niches calcaires.									

### Rôle Morphologique

La corniche tithonique est un des jalons de la morphologie de la bordure extérieure du Dévoluy. Le plus souvent, cette formation est surmontée de toute la série du crétacé et principalement de l'épaisse série sénonienne en falaise, ce qui estompe un peu le rôle du portlandien.

### Extension géographique

Les calcaires du portlandien couvrent l'ensemble du DEVOLUY et l'on peut observer ses affleurements sur la périphérie du massif.

### Aperçu hydrogéologique général

Les calcaires de cette formation ne présentent pas une perméabilité propre. L'action des diverses phases tectoniques (turonienne et alpine) a permis une certaine fracturation et un décollement au niveau des joints de stratification, causes qui ont favorisé localement l'installation et le développement d'un karst

## C R E T A C E

---

La série du crétacé possède une lithologie moins monotone que celle du jurassique. Les faciès sont assez variés et la transition entre chacun d'eux est souvent nette.

La tectonique antésénonienne poursuivie par une émergence prolongée conduit à une série crétacée incomplète.

### LE CRETACE INFERIEUR

#### I) MARNO-CALCAIRE DU BERRIASIEN

##### Lithologie

Cet étage débute, après le sommet de la barre tithonique, par un enrichissement du portlandien en lits marneux. A la base, le Berriasien ne se distingue du portlandien que par l'intercalation entre les bancs de calcaires sublitographiques marron clair, verniculés (20 à 25 cm), de lits marneux peu épais. Notons aussi la présence de couches rognoneuses.

Puis on observe des calcaires verniculés semblables aux précédents alternant avec des marnes de 15 à 20 cm d'épaisseur. Des calcaires gréseux à patine rousse au sommet, parfois transformés en lumachelle à aptychus. Mais cette formation est trop inconstante pour fournir une bonne limite entre le Berriasien et le Valanginien \*

\* voir M. AFCHAIN

Une patine gris-jaune, une cassure grise avec vernication, altérée sans vernication, ce sont les caractères observables propres à la série du Berriasien.

#### Epaisseur

maximum : 100 m

minimum : 50 m

( voir coupe de synthèse du crétacé)

#### Rôle morphologique

Le Berriasien prolonge la corniche tithonique puis laisse place aux pentes moins raides du crétacé inférieur.

#### Extension géographique

Cet horizon semble présent partout sous le DEVOLUY. Il affleure constamment sur l'ensemble du périmètre dévoluard.

#### Aperçu hydrogéologique

Cette formation où alternent calcaires sublitographiques et marnes joue un rôle d'écran pour les eaux d'infiltration.

## 2) MARNO-CALCAIRES, MARNES, CALCAIRES du VALANGINIEN

Le Valanginien possède deux parties nettement différentes :

- I) le Valanginien inférieur : on retrouve le même faciès qu'au Berriasien sommital (hormis des intercalations de bancs gréseux à patine rousse) : alternance de bancs calcaires (de 20 à 30 cm) et de lits de marnes. Patine gris jaune en cassure, gris foncé



2) Le Valanginien supérieur : il débute par une épaisse série marneuse d'un roux sale en patine, mais très constant à l'affleurement. Ces marnes se délitent en plaquettes bosselées et sonores.

Puis, progressivement, les marnes s'enrichissent en calcaire : bancs de calcaire marneux roux, bancs de calcaire détritique, bancs roux à silex noirs. Tout ceci plus ou moins bien réparti dans la masse marneuse sommitale.

Coiffant cette série, on rencontre deux bancs, formant barre, de calcaire siliceux roux à silex noirs. Ces bancs extrêmement constants sont en général surmontés d'une masse marneuse.

Fossiles : Tintinnides, spicules, radiolaires, foraminifères, ammonites pyriteuses, aptychus.

#### Epaisseur

maximum : 400 m

minimum : 250 m

(voir coupe de synthèse du crétacé inférieur)

#### Rôle morphologique

L'ensemble du valanginien donne un relief mou, la pente est le plus souvent très faible et se relève au sommet pour former une barre.

#### Extension géographique

Tout comme les étages précédents, celui-ci semble être représenté sous le DEVOLUY. On peut observer ses affleurements sur l'ensemble de la périphérie du DEVOLUY. D'autre part, notons que les bancs de calcaires siliceux roux à silex noirs, forment un bon horizon repère, mais sont plus ou moins bien développés

sur la bordure du DEVOLUY, ils passent d'une dizaine de mètres (à l'ouest) à un mètre (à l'est).  
Cet horizon peut avoir subi des modifications dans son extension et son épaisseur lors de l'émergence post-turonienne.

#### Aperçu hydrogéologique

La majeure partie de cet horizon est constitué de marnes (une centaine de mètres d'épaisseur), donc très difficilement traversée par l'eau. Cette formation peut être considérée comme celle du Berriasien, comme écran vis-à-vis de formations moins perméables.

### 3) MARNO-CALCAIRES DE L'HAUTERIVIEN BARREMIEN INFÉRIEUR

#### Lithologie

Cet horizon est constitué par une alternance de bancs calcaires dont la patine est gris bleu, et de marnes plus foncées de même épaisseur (15-20 cm). Les calcaires à patine gris bleu sont tachetés de traces roses et bleues et de zones pyriteuses. Cette alternance marno-calcaire est très caractéristique; de plus, elle tranche dans le paysage par son aspect rubané.  
Fossiles : ammonites, olcostéphanus, criocéras, lamellaptychus, buchianites.

#### Épaisseur :

maximum : 500 m

minimum : 350 m

(voir coupe de synthèse du crétacé inférieur)

#### Rôle morphologique

Le plus souvent, les éboulis de l'urgonien et du sénonien masquent cette formation dont la pente est faible.

### Extension géographique

Bien que présent dans l'ensemble du DEVOLUY, cet étage peut avoir subi quelques modifications dans son extension et son épaisseur lors de l'émersion prolongée qui a succédé à la phase tectonique turonienne.

### Aperçu hydrogéologique

Cette formation essentiellement constituée de calcaire et de marnes joue un rôle d'écran pour les circulations d'eau souterraines.

#### 4) CALCAIRES DU BARREMIEN SUPERIEUR - APTIEN INFERIEUR

Ces deux étages sont groupés sous le même faciès zoogène (calcaire suburgonien)

### Lithologie

Cette formation, en général, se divise en deux zones dont les faciès sont assez différents

- 1) l'horizon de base. C'est une alternance de calcaire et de marne du type BARREMIEN inférieur complétée par des bancs de calcaires zoogènes et rougeâtres qui s'installent progressivement lorsque l'on monte dans la série. On obtient le faciès suburgonien après la disparition totale des calcaires et marnes à patine gris bleu.
- 2) la barre suburgonienne. Formée de calcaires durs à la patine grise, rousse, rougeâtre, dont la cassure laisse apparaître leur teinte grise, calcaires rugueux dont la stratification est peu visible.

Fossiles : à la base : chlamys, milioles, échinodermes, gastéropodes, etc ...

Dans la barre suburgonienne : milioles, gastéropodes.

#### Epaisseur

maximum : 50 m

minimum : 30 m

(voir coupe de synthèse du crétacé inférieur)

#### Rôle morphologique

Cette barre massive affleure le plus souvent juste avant l'énorme falaise sénonienne ce qui réduit d'autant son influence propre sur le relief.

#### Extension géographique

Ces terrains peuvent avoir subi une forte érosion lors de l'immersion qui a suivi la phase tectonique anté-sénonienne et, de ce fait, peuvent être localement absents.

D'autre part, on peut noter que la barre suburgonienne est nettement plus développée à l'ouest qu'à l'est.

#### Aperçu hydrogéologique

L'horizon de base présente une formation quasi imperméable. Quant à la barre suburgonienne, elle se caractérise par de nombreux indices de ramification.

### 5) LES MARNES NOIRES DE L'APTIEN SUPERIEUR et ALBIEN INFERIEUR

#### Lithologie

L'essentiel de cette formation est constitué de marnes noirâtres à bleu foncé; elles se débitent en petites plaquettes et sont très friables. Elles possèdent une schistosité assez marquée.

Dans cette masse marneuse, s'intercalent sur toute la hauteur des lits de 5 à 20 cm d'épaisseur de grès glauconieux, à patine jaune verdâtre, en cassure brun.

Fossiles : Bélemnites, milioles.

Epaisseur :

maximum : 100 m

minimum : 50 m

(voir coupe de synthèse du crétacé inférieur)

Rôle morphologique

Cette puissante série marneuse forme en général, une dépression coincée entre la barre suburgonienne et la falaise sénonienne.

Extension géographique

Cette formation a subi une forte érosion lors de l'émersion qui a suivi la phase tectonique anté-sénonienne. En conséquence, elle peut être localement absente ou avoir subi une variation d'épaisseur importante.

Aperçu hydrogéologique

Les marnes, d'une part, offrent à l'eau de très faibles vitesses de passage; les grès, d'autre part, très fins, ne sont pratiquement pas meilleurs agents de circulation. Il est donc logique de penser que cette formation joue globalement un rôle d'écran.

6) LES GRES GLAUCONIEUX DE L'ALBIEN

Lithologie

La formation marno-gréseuse de l'albien inférieur passe brus-

# CRETACE INFERIEUR

COUPE LITHOLOGIQUE	HORIZONS AQUIFERES	DESCRIPTION LITHOLOGIQUE	DESIGNATION DES FORMATIONS	ETAGES	EPAISSEUR en m				
					N.W	N.E	S.E	S	S.W
		Marnes noires lits gréseux	C <sup>2-1</sup>	Albien Aptien	120	100	50 à 100	70	120
		calcaires zoogènes gris	C <sup>II</sup>	Aptien inf. Barremiens	40	40 à 50	30	65	100
		Marnes grises calcaires gris bleu à taches roses	C <sup>III-IV</sup>	Hauterivo-Barremien	380	350	500	150	170
		calcaires roux à silex noirs Marno-calcaire roux	C <sup>V</sup>	Valanginien	200	250	250 à 400	150	140
		Marnes rousses calcaires							
		calcaires beiges verriculés Marnes grises.	C <sup>VI</sup>	Berriasien	100	120	50 à 80	50	50
calcaires gris verriculés calcaires sublithographique									

quement à un horizon uniquement gréseux. Comme les précédents, ces grès sont riches en glauconie et, de plus, très durs; en patine de couleur rousse, en cassure, de brun à vert et les grains sont fins.

Fossiles : spicules, bryozoaires, milioles ,, foraminifères ...

#### Epaisseur

maximum : 50 m

minimum : 30 m

(voir coupe de synthèse du crétacé inférieur)

#### Rôle morphologique

Ils forment la base de la falaise sénonienne et, de ce fait, leur rôle morphologique est assez minime.

#### Extension géographique

Ces grès glauconieux se rencontrent uniquement dans l'angle sud-est du DEVOLUY. Au-delà de la limite sud du DEVOLUY, ces grès sont remplacés par des calcaires blancs.

#### Aperçu hydrogéologique

Ces grès sont identiques à ceux des formations de l'Aptien supérieur et de l'Albien inférieur. En conséquence, ayant une perméabilité semblable, ils jouent également un rôle d'horizon d'arrêt pour la circulation des eaux souterraines.

LE CRETACE SUPERIEUR

I - LES CALCAIRES BLEUTES DU CENOMANIEN (?), TURONIEN, SENONIEN inf.

Lithologie

Surmontant les grès glauconieux, on rencontre un calcaire légèrement marneux. A la partie inférieure, ces calcaires sublithographiques sont en patine clairs, en cassure gris bleu, foncé avec des trainées noirâtres.

En montant dans la série, le calcaire devient plus clair et les traces noirâtres deviennent roses, lie de vin, noires.

Dans la partie supérieure, on rencontre quelques bancs à nodules pyriteux, puis vers le sommet, le calcaire contient des silex en petits rognons ou en lits assez réduits.  
fossiles : globigérènes, rugoglobigérènes, rosalines.

Epaisseur :

variable suivant affleurement (biseautage par sénonien)

maxi : + de 200 m

mini : 150 m

(voir coupe du crétacé supérieur)

Rôle morphologique :

Le plus souvent ils forment avec les grès glauconieux le sous-basement de la falaise sénonienne. Mais en certains points, ils constituent les sommets des montagnes.



### Extension géographique

Ces calcaires bleutés sont essentiellement localisés sur la bordure de l'angle sud-est du DEVOLUY.

### Aperçu hydrogéologique

Participe au karst sénonien.

## II - LES CALCAIRES DU SENONIEN

Ces calcaires sont transgressifs et discordants sur l'ensemble des terrains précédemment décrits du Kimméridgien au Cénomaniens.

### Lithologie :

P.LORY (1901-1902) donne 6 subdivisions pour les calcaires sénoniens, qu'il a daté sans grandes preuves paléontologiques ; le découpage de la série sénonienne est surtout basée sur les faciès. En remontant la série, on rencontre :

#### Assise I : Emschérien

Calcaires blancs sublithographiques et grès grossiers, glauconieux à *pulvinulina tricarinata*.

#### Assise II : Campanien inférieur

Calcaires plus ou moins argileux suivant les couches en bancs de 5 à 10 cm, ils alternent avec des marnes noires. Ces calcaires sont zonés. Patine, gris noir à bleu noir ; en cassure, noir.

#### Assise III : Maestrichtien

Cette formation commence par des calcaires durs, en dalles à surface plane, faiblement cristallins, à lits siliceux (silex). On observe à la base des parages de grès grossiers. Les grès sont composés de grains assez gros. Ils sont de couleur jaune-brun ou blanche.

Ces calcaires ont un aspect zoné très caractéristique. Les bancs sont le plus souvent inférieurs à 60 cm.

Patine : jaune ; en cassure, gris foncé.

fossiles : on observe des empreintes de tubes que l'on confond à des *jereminella-pfenderae*.

#### Assise IV : Maestrichtien

Représentée par un calcaire à silex, zoné, en rognons; on retrouve parfois dans ce calcaire des passages de grès grossiers, comme les précédents. L'épaisseur des bancs dépasse rarement 60 cm.

patine : jaune clair ; en cassure : crème à café au lait.

microfossiles : traces de bryozoaires.

#### Assise V : Maestrichtien

Formée de calcaires à silex allongés, non zonés, en couches bosselées. Les silex de cette assise ne sont généralement que des zones siliceuses. Dans la masse, les silex ont même aspect que le reste de la roche.

patine : rosé à café au lait ; en cassure : lisse, calcaire à grain fin.

#### Assise VI : Maestrichtien

Assise sableuse riche en *Ostréa vésicularis*.

Remarque : Nous avons constaté que l'ensemble des calcaires de la série sénonienne dégage une odeur, après cassure, très caractéristique (odeur bitumineuse) que ne possèdent pas les calcaires des autres formations.

#### Epaisseur

maxi : 500 m

mini : 50 m

(voir coupe de synthèse du crétacé supérieur)

#### Rôle morphologique

Le sénonien est l'élément majeur de la morphologie du DEVOLUY. Il

# CRETACE

# SUPERIEUR

COUPE LITHOLOGIQUE	HORIZONS AQUIFERES	DESCRIPTION LITHOLOGIQUE	Designation des Formations	ETAGES	EPAISSEUR en m				
					NE	NW	SE	S	SW
	<p>o i</p>	<p>Calcaires à silex non zones en couches bosselées</p>	C <sup>8</sup>	SENONIEN sup -	50 à 300	200	200	500	250
		<p>Calcaires, blancs, jaunes ou grisâtres avec des silex en rognons ou en bandes</p>							
		<p>Calcaires en dalles à surface plane, gris, siliceux, zones peu cristallins</p>	C <sup>7</sup>	SENONIEN inf -	-	200	abs.	50	100
		<p>Calcaires gris plus ou moins argileux suivant les couches alternant avec des lits de marnes noirâtres.</p>							
		<p>calcaires marneux bleutés</p>	C <sup>6</sup>	TURONIEN	abs.	abs.	200	40	abs.
<p>Grès glauconieux</p>	C <sup>5.3</sup>	CENOMANIEN	abs.	abs.	30 à 50	50	abs.		

délimite ce massif des régions voisines par d'immenses falaises (de 400 m à 500 m). A l'intérieur, disloqué par la tectonique alpine, il forme les éléments essentiels du relief (pente abrupte, falaise, etc...)

#### Extension géographique:

Le calcaire sénonien couvre pratiquement tout le DEVOLUY où on peut le voir affleurer. Au fond des vallées, il est recouvert par les dépôts tertiaires. Sa plus ou moins grande épaisseur suivant les secteurs provient du fait qu'il a été profondément érodé lors de la phase post-sénonienne.

#### Aperçu hydrogéologique :

La perméabilité propre de ces calcaires est négligeable. Les actions des tectoniques successives (phase nummulitique, phase alpine) provoquent la formation de failles, diaclases, et fissures de toutes dimensions et décollent les joints de stratification. Dans cet ensemble fissuré, l'eau pénètre, grâce à d'importantes surfaces d'absorption ce qui conduit à la formation d'un très vaste karst où prédomine la perméabilité de chenaux et de fissures.

Après le dernier horizon local du crétacé supérieur, le sénonien, on passe directement à la série tertiaire transgressive qui, au Dévoluy, se localise essentiellement dans les vallées.

Le TERTIAIRE se divise en deux ensembles, bien séparés et souvent discordants.

Du bas vers le haut, on rencontre :

- 1ère série, constituée de conglomérats, de calcaires à nummulites et de calcaires marneux.
- 2ème série, composée de flysch, de grès et de marnes bariolées.

#### 1ère SERIE:

##### LE NUMMULITIQUE

Dans le cas d'une série complète, on rencontre du bas vers le haut :

- 1. formation détritique de base
- 2. des calcaires
- 3. des calschistes
- 4. des marnes

Cette formation est très variable en puissance mais aussi en faciès. (voir schéma)

#### I - FORMATION DETRITIQUE DE BASE

La nature de cette formation est différente suivant la situation géographique. On rencontre essentiellement deux types de formations : des conglomérats ou des microbrèches qui laissent place par endroits à des brèches. Mais il n'est pas rare de rencontrer ces divers éléments du complexe de

base associés ainsi du bas vers le haut : des conglomérats, des microbrèches et brèches, des grès microbréchiques.

### Lithologie

#### a) les conglomérats :

Ce sont des pudingues formés de galets provenant du substratum sénonien ; ces galets sont de deux natures différentes : galets de silex ou galets de calcaire ; leur diamètre peut atteindre 25 à 30 cm. Ils sont cimentés par un ensemble calcaire le plus souvent microbréchique.

#### b) les microbrèches :

Elles sont formées d'éléments anguleux empruntés au substratum sénonien ; ces fragments de calcaire ou de silex sont liés par un ciment microbréchique de nature calcaire ou siliceuse.

### Epaisseur :

maximum : 50 m

minimum : quelques mètres à moins d'un mètre

(voir coupe de synthèse du tertiaire)

### Extension géographique

La répartition géographique de ces horizons est essentiellement limitée aux vallées (vallée de St-Etienne, de St-Disdier, d'Agnières). La présence des conglomérats est surtout marquée à l'Est, au contact du sénonien de la montagne de Féraud et de la crête de Porel, ainsi que dans le synclinal de St-Disdier.

Par contre, les brèches se rencontrent principalement à l'Ouest où elles viennent buter sur une falaise sénonienne fossile, sur les pentes de la montagne du Ferrand-Obiou.\*  
On rencontre d'autre part ces brèches sur le flanc Nord et

\* voir F. NEVEU.

et Est de la montagne d'Aurouze.

### Rôle morphologique

Les conglomérats et les brèches, dans la mesure où ils sont suffisamment puissants, participent à la formation d'abrupts et de falaises. Le plus souvent, ces horizons prolongent les falaises sénoniennes, bien qu'il soit possible de noter le plus souvent un léger décrochement par rapport à ces dernières, leur résistance à l'érosion étant inférieure.

### Aperçu hydrogéologique

Cette formation est généralement imperméable, car les éléments constitutifs du puddingue ainsi que le ciment ne possèdent pas de perméabilité convenable. Néanmoins dans certains secteurs, elle peut être très fortement fracturée, et acquiert par là une perméabilité de fissure.

## II - LES CALCAIRES NUMMULITIQUES

### Lithologie

Ce sont des calcaires gris clair à gris foncé ou de couleur noire, en cassure marron à marron foncé, en bancs de 20 à 40 cm, parfois de 2 à 3 m. Ils sont le plus souvent assez cristallins mais se présentent aussi sous forme microbréchique;

### Epaisseur/

MAXIMUM : 120 m

MINIMUM : 20 m

(voir coupe de synthèse du tertiaire)

### Extension géographique

Cet horizon recouvre le complexe détritique de base, puddingue

et microbrèches, mais son extension est sensiblement moins importante. D'autre part, on assiste du Sud vers le Nord à un changement de faciès : de gris très clair à clair au Sud, on passe au Nord à des calcaires noirs. Notons que cette formation est avant tout dominante à l'Ouest.

#### Rôle morphologique

Ils participent avec le complexe détritique de base à la formation de falaises. Lorsque l'érosion a décapé leur couverture, ils sont profondément travaillés par les agents atmosphériques (formation de remarquables lapiaz)

#### Aperçu hydrogéologique

Ils sont par nature imperméables, mais leur diaclasage et la fissuration dont ils sont le siège peut leur conférer un rôle de roche-réservoir.

### III-LES CALSCHISTES

#### Lithologie

Cette formation est très calcaire à la base, calcaire blanc crème à pectens (Bois Rond) ; puis en allant vers le sommet, on constate un enrichissement de la série marine en marnes. La limite de cette formation ne peut pas être précisée car ces calcaires marneux passent progressivement aux marnes noires. En cassure, ces marno-calcaires sont gris à noirs, en patine jaunes, bleus ou gris clair. D'autre part, ils présentent une schistosité caractéristique. Fossiles : on ne trouve plus de nummulites visibles. Cette formation contient : gastéropodes, bryozoaires.



### Epaisseur

Maximum : 250 m

Minimum : 50 m

(voir coupe de synthèse du tertiaire)

Remarque : L'épaisseur des calcaires et des calschistes varie en sens inverse. Calcaires et calschistes sont deux faciès différents du même dépôt.

### Extension géographique

L'extension géographique des calcaires se fait au détriment de celle des calschistes. Cette formation est assez constante en faciès du Sud au Nord mais varie d'Est en Ouest où prédominent les calcaires.

L'horizon des calschistes est bien représenté au Sud du synclinal de St-Etienne en Dévoluy. on retrouve cette formation sur le flanc de la montagne de Féraud, mais on constate sa disparition dans le synclinal de St-Disdier.

### Rôle morphologique

En masse, les calschistes ont de très bonnes caractéristiques mécaniques mais mis à l'air, ils se délitent rapidement en plaquettes et finissent par se désagréger totalement. Ils donnent un relief de pente plutôt abrupte.

### Aperçu hydrogéologique

Ils sont par nature imperméables ; néanmoins, leur fissuration et leur dislocation due à une décompression et à une désagrégation de surface les rend localement et superficiellement perméables.

#### IV - MARNES NOIRES

##### Lithologie

Ces marnes font suite verticalement aux calschistes. Très noires, elles se débitent en petits cubes ; dans leur masse, on rencontre des bancs de grès de 10 à 30 cm dont la patine est rousse. Ces marnes marquent la fin de la 1ère série.

Fossiles : Ecailles de poissons.

##### Epaisseur :

MAXIMUM : 30 m

MINIMUM : 20 m

(voir coupe de synthèse du tertiaire)

##### Extension géographique

Leur extension est identique à celle des calschistes. Néanmoins la sédimentation semble plus marneuse au Sud qu'à l'Ouest.

##### Rôle morphologique

La participation des marnes noires au relief est dans l'ensemble assez réduite : formation de petites buttes, de zones moutonnées. (Rif Froid, col du Rabou)

Localement, lorsque cette formation a été entaillée par le ruissellement superficiel, on peut constater qu'elle participe à la formation de pentes raides à très raides.

##### Aperçu hydrogéologique

Cette formation peut être considérée comme imperméable. La relative plasticité de ce matériau ainsi que sa faible cohésion a rendu inefficace toute action de fissuration.

## 2ème SERIE

Cette série peut être considérée comme transgressive (1) sur la série sous-jacente, ce qui peut être observé sur le flanc de la montagne du Ferrand-Obiou. Par contre, par endroit, tout se passe comme si les 2 séries étaient en continuité.

Dans la série complète, on observe du bas vers le haut :

- 1. une microbrèche ou conglomérat de base
- 2. du flysch
- 3. des grès verts
- 4. des molasses rouges

cette formation est variable tant en puissance qu'en faciès.

### I - MICROBRECHE ou CONGLOMERAT

La deuxième série commence au-dessus des calcaires marneux par un banc conglomératique, formé le plus souvent d'éléments sénoniens et nummulitiques assez grossiers.

#### Epaisseur

maximum : 2 m

minimum : 1 m

#### Extension géographique

Assez peu développé dans le DEVOLUY

#### Rôle morphologique

Sans importance

### Aperçu hydrogéologique

Sans importance; se comporte comme un horizon imperméable lorsqu'il n'est pas fissuré.

## II - LE FLYSCH

### Lithologie

Cette formation est composée d'une alternance de grès et de marnes. A la partie supérieure dominent les grès et inversement à la base dominent les marnes.

- marnes : marnes grises à patine verdâtre
- grès : grès fins ou grossiers, micacés, noirâtres ou verdâtres, à patine brun vert. Les grains sont très fins et la stratification est souvent entrecroisée.

Fossiles : débris de végétaux.

### Epaisseur

maximum : 200 m

minimum : 10 m

(voir coupe de synthèse du tertiaire)

### Extension géographique

Cet horizon se rencontre essentiellement dans le synclinal de St-Disdier, et dans le synclinal de La Cluse-Montmaur.

### Rôle morphologique

Cette alternance de marnes et de grès forme un relief en gradins dont la pente moyenne est dans l'ensemble assez forte.

### Aperçu hydrogéologique

Seuls les grès peuvent être un réservoir pour l'eau. Mais leur finesse leur confère une très faible perméabilité. Mais une fissuration importante ou une altération sérieuse peuvent les rendre réellement aquifères, ce qui est assez rare.

## III - LES GRES VERTS DE SAINT-DISDIER

### Lithologie

Grès grossiers et fins, sous forme de bancs épais où l'on rencontre des stratifications entrecroisées. Ils sont formés d'éléments quartzeux en majorité, mais contiennent des éléments de calcite. Ils présentent une couleur verte due à de la chlorite.

### Epaisseur

maximum : 100 m

minimum : 50 m

(voir coupe de synthèse du tertiaire)

### Extension géographique

On retrouve cet horizon associé au flysch. On rencontre essentiellement le grès vert dans le synclinal de St-Disdier, et au col du Festre.

### Rôle morphologique

Cette formation donne le plus souvent un relief en gradins disloqués.

### Aperçu hydrogéologique

Les remarques apportées pour les grès du flysch restent valables pour les grès verts de St-Disdier. Notons que cette for-

mation qui, localement, peut être aquifère bien que cette propriété reste toujours modeste, joue le plus souvent le rôle d'horizon d'arrêt vis à vis de formation réservoir plus sérieuse.

#### IV - MOLASSES ROUGES

##### Lithologie

Elles sont constituées de marnes bariolées verdâtres ou violacées et de grès analogues à ceux de l'horizon sous-jacent. Cette formation recouvre les grès verts.

Fossiles : faune aquitaniennne inférieure.

##### Epaisseur :

maximum : 150 à 200 m

minimum : 20 m

(voir coupe de synthèse du tertiaire)

##### Extension géographique

Cet horizon est presque uniquement localisé dans la vallée d'Agnières en Dévoluy (synclinal du col du Festre, synclinal de St-Disdier) où il s'étend jusqu'à une altitude de 1600 m sur les pentes de la chaîne du Ferrand-Obiou. On le rencontre d'autre part dans le synclinal de la Cluse Montmaur.

##### Rôle morphologique

La participation des marnes rouges au relief est en général mineure ; localement elles engendrent des falaises de quelque importance.

##### Aperçu hydrogéologique

Seuls les grès pourraient jouer un réel rôle aquifère vis à

# T E R T I A I R E

COUPE LITHOLOGIQUE	DESCRIPTION LITHOLOGIQUE	ETAGFS	HORIZONS AQUIFERES	COUPES				
				Flanc W de la M <sup>ne</sup> d'Aurouze s <sup>rie</sup> des Chaumats BONHOHNE	Synclinal de St Etienne Afchain	Coupe du tor. rent des Queyros Neveu	Coupe du Mas au Villard Joly ch. Lory	Coupe du tor. rent de la Grésiere Ducroz
	<p><u>Molasse rouge</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- grès verts</li> <li>- marnes vertes ou violacées</li> </ul>	Stampien	0				20 m	150 m
	<p>Grès vert à strat. entrecroisées.</p>						90 m	30 m
	<p>-flysch : alternance de grès verts et de marnes bigarrées</p> <p>bancs de grès &lt; les interlits marnes</p>	Oligocène inf. Eocène sup.			1 à 3 m		Abs.	
	<p>- Niveau détritique conglomératif</p>							
	<p>- Marnes noires</p>			10 m	Abs.	20 m	Abs.	Abs
	<p>Partie supérieure intercalation microbréchique et gréseuse</p>							
	<p><u>Calchistes à pectens.</u></p>			60 m	100 à 200 m	120 m	Abs.	10 m
	<p><u>Microbrèche</u></p>							
	<p>- calcaires à nummulites</p>	Lutétien Priabonien		60 m	60 m	50 m	10 m	100 m
	<p>- Grès microbréchique (à nummulites)</p>							
	<p>Microbrèche et</p>							
	<p>- Pudding. conglomérats à gros galets. avec intercalations gréseuse</p>							
	<p>calcaire sénonien</p>			1 à 2 m	1 à 3 m	20 m	15 à 20 m	1 à 3 m
			Avec calcaire sénonien					

vis de l'eau mais leur très faible porosité liée à une non moins faible épaisseur des bancs ne confère pas à cette formation un rôle réel de roche réservoir.

Néanmoins, une fracturation importante du grès lié à une altération peut donner à cette formation, très localement, un rôle de régulateur pour l'eau qui y circule.



## LE QUATERNAIRE

I - DEPOTS GLACIAIRES - POST-WURMIEN

Ces dépôts morainiques sont constitués par des éléments appartenant uniquement au massif du DEVOLUY, essentiellement par des morceaux de calcaire sénonien. On rencontre aussi des calcaires nummulitiques et des grès verts mais en proportion nettement moins importante. L'espace entre les blocs est généralement rempli par des éléments fins, argilo-sableux, où domine le sable.

Epaisseur

Ces moraines sont en général très épaisses (50 à 120 m)

Rôle morphologique

Leur rôle morphologique est loin d'être négligeable. Elles forment le plus souvent des crêtes longitudinales qui subdivisent les vallées. Leur pente est moyenne et leur sommet assez tranchant.

Extension géographique

On rencontre cette formation dans les vallées, vallée de St-Etienne, vallée d'Agnières et vallée de St-Disdier.

Aperçu hydrogéologique

Ces formations glaciaires sont de bonnes formations réservoirs. Elles ont un réel rôle d'aquifère lorsqu'elles reposent sur un substratum imperméable, ce qui est en général le cas. Malgré tout, cette condition n'est pas impérative, car il est fréquent de rencontrer à un niveau ou à un autre dans les moraines un horizon d'arrêt.

## II - DEPOTS FLUVIO-GLACIAIRES

### Lithologie

Ces formations ont pour origine la disparition des glaces par saccades, ce qui a favorisé un régime torrentiel périodique, comme l'atteste la présence d'horizons ligniteux dans ces formations.

Les dépôts fluvio-glaciaires sont presque uniquement constitués de galets de calcaire sénonien enrobé dans une pâte argileuse.

### Epaisseur

Très variable suivant les endroits :  
 au nord des Gillardes, plus de 100 m  
 dans la vallée de St-Etienne, ne dépasse pas 10 m.

### Rôle morphologique

Ils forment des terrasses qui ont été entaillées par la Souloise.

### Extension géographique

(voir carte géologique au 1/20 000e)

### Aperçu hydrogéologique

La présence d'argile dans cette formation élimine tout espace libre entre les éléments constitutifs, ce qui empêche toute possibilité de stockage d'eau.

## III - EBOULIS ET BRECHES DE PENTES

DEVOLUY, DEVOLUTUS, DESOLATION, c'est sans aucun doute aux immenses éboulis qui marquent profondément le caractère de

cette région que le massif doit son nom.

Ces 'nappes' d'éboulis trouvent leur origine, à l'intérieur du massif, dans la désagrégation de la falaise sénonienne. Sur la périphérie, ils sont alimentés soit par la falaise sénonienne, soit par la falaise tithonique. Il est à remarquer que l'attaque des falaises est plus rapide dans les zones où la tectonique a été plus violente, la roche étant localement plus finement diaclasée.

- les éboulis anciens

formés de petits éléments liés par de l'argile, ou recimentés, ils sont très épais et recouverts par la végétation.

- les éboulis récents

leur formation est permanente. Ils sont constitués de blocs anguleux de taille moyenne, parfois même de très gros blocs, sans aucune liaison entre eux.

Épaisseur

Leur épaisseur est variable mais le plus souvent, importante : plusieurs dizaines de mètres.

Rôle morphologique

Ils marquent profondément l'aspect de ce massif, en lui donnant un caractère de désolation. D'autre part, ils masquent la majeure partie des formations du crétacé sur la bordure périphérique du massif. A l'intérieur, ils recouvrent localement le sénonien et une partie de la série tertiaire.

Extension géographique

(voir carte géologique au 1/20 000e)

### Aperçu hydrogéologique

Les éboulis anciens essentiellement argileux sont rarement aquifères. Par contre, les éboulis récents peuvent constituer une formation réservoir acceptable s'ils reposent sur un horizon d'arrêt.

## TECTONIQUE

T E C T O N I Q U E - S T R U C T U R E S

Le synclinal de Saint-Disdier	42
Réseau de failles de la Souloise	47
Le synclinal de Saint-Etienne	49
Le synclinal du Col du Festre	51
L'anticlinal ou dome d'Aurouze	53

oooooooooooo

Plusieurs phases tectoniques, suivies de fracturation, de chevauchement, de glissement, de disharmonie de plis, se succèdent dans le massif du DEVOLUY.

#### I - LA PHASE TECTONIQUE ANTESENONIENNE ou PHASE TURONIENNE

Cette phase engendre la formation d'une structure plissée simple donnant naissance à des brachyanticlinaux ou des dômes, structure dans laquelle il est souvent difficile de mettre en évidence les synclinaux. La direction générale de ces plis est E.W mais peut osciller autour de cet axe.

Cette phase tectonique a été suivie par une érosion qui a modelé une surface morphologique variée, surface sur laquelle le Sénonien est transgressif. Ainsi ces calcaires s'appuient en discordance sur des horizons plissés et érodés, plus particulièrement du Valanginien au Cénomaniens.

#### II - PHASES TECTONIQUES POST-SENONIENNES ou PHASES TERTIAIRES

##### a) La phase post-sénonienne

Responsable des premiers redressements de la masse sénonienne, qui constituent la structure préliminaire des plis alpins. Puis succède la transgression de la mer priabonienne qui dépose en discordance sur le sénonien les conglomérats nummulitiques.

##### b) La phase intratertiaire

Responsable d'un nouveau redressement d'ensemble après le dépôt de la série marine tertiaire, de telle sorte que la série détritique tertiaire repose en discordance sur la première et transgresse localement sur le sénonien.

##### c) La phase alpine

Responsable des structures actuelles, elle affecte l'ensemble de la série sédimentaire dévoluarde : elle redresse et plisse

la masse sénonienne et l'ensemble nummulitique. Elle provoque des disharmonies au niveau du callovo-oxfordien et d'une façon générale, dans l'alternance des niveaux durs et plastiques (barre tithonique et barre urgonienne)

o o o o o o o



## LE SYNCLINAL DE SAINT-DISDIER

=====

C'est sans conteste à cette partie du DEVOLUY que se rapporte le mieux l'attribut de vaste synclinal perché.

Cette structure d'axe N.S. à coeur tertiaire possède ses remontées anticlinales à l'Est et à l'Ouest, où le calcaire sénonien affleure en position structurale. Celles-ci sont quelque peu disymétriques, la remontée Est étant nettement plus accentuée que celle de l'Ouest. Le fond forme une bande assez large (2,5 km environ) qui se développe sur 7,5 km du Nord de la Crête des Baumes, pour la partie Sud, aux falaises qui limitent le DEVOLUY pour la partie NORD (zone des Sources des Gillardès).

### I) LE COEUR DU SYNCLINAL

L'axe plonge du Sud vers le Nord de RIOUPES à St-Disdier, puis se redresse au-delà.

Au niveau de l'axe de ce synclinal, de nombreux et importants accidents :

#### Le Saint-Gicon

Au Nord-Est, un horst chevauchant, "un diapir de voussoir basculé", terme qui correspond mieux à sa genèse" (TRUILLET, Doctorat 3e cycle) s'enracine vers le Sud dans la masse anticlinale d'AUROUZE.

A l'Est et à l'Ouest, deux failles N.S. bordent cet édifice qui est limité au Nord par une faille (N.NE - S.SW).

- la faille de bordure ouest, chevauchante vers W place le sénonien en contact anormal sur la série tertiaire. Vers le Nord, elle s'amortit dans la faille (N.NE - S.SW). Nous analyserons son extension sud ci-après.

- La faille de bordure Est représentée dans la partie Nord l'une des failles du graben d'Entre-Les-Pas, limitée d'une part par une faille SE-NW. Elle s'estompe au Nord. Nous analyserons ci-après son extension sud.
- La faille (N.NE - S.SW) semble faire partie d'un réseau de failles plus au Nord: le système de failles de Beaufin.

Encadrant de part et d'autre le St-Gicon, et parallèlement à celui-ci, se placent deux structures synclinales bien marquées au Nord et plus adoucies vers le Sud. Leurs axes N.S plongent vers le Sud, puis au niveau de St-Disdier remontent dans la même direction. Au niveau d'une coupe passant par Rioupes-Giers, c'est-à-dire peu avant Aurouze, le centre du synclinal dévoluard ne possède que de légères ondulations.

Le St-Gicon et son cortège tectonique traduisent les importantes dislocations qui affectent le sénonien dans cette partie Nord-Est du synclinal de Saint-Disdier.

La zone Sud possède elle aussi des accidents tectoniques de plus faible ampleur mais suivant les mêmes directions et d'allure assez semblable, ce qui donne à penser que l'on se trouve sur l'amortissement des précédents. Il est sans doute difficile de l'affirmer puisque la zone de transition entre ceux-ci et ceux-là est recouverte et les affleurements se suivent avec difficulté.

Les deux accidents majeurs qui occupent le centre du synclinal dans cette partie sud sont d'ouest en est : le chevauchement du Flysch et celui du pli faillé de Malmort, doublé de la faille inclinée du Puits des Bancs.

### Le Chevauchement du Flysch

Le flysch surmonté de lambeaux de grès verts et de marnes rouges, chevauche les marnes rouges de la série tertiaire en place, dès le pied du St-Gicon, ce qui n'a pas été signalé dans la partie précédente, jusqu'au sud du Puy de Rioupes. Plus au Sud, les formations glaciaires ne permettent pas de constater si l'accident se poursuit. Il faut dater le chevauchement post-oligocène. Lorsque le St-Gicon se redresse sous l'effet de la poussée alpine, le flysch glisse et recouvre les marnes rouges situées plus à l'ouest.






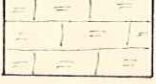

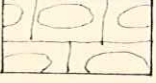
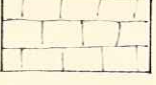
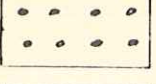

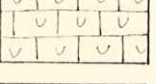

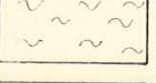
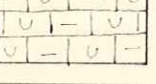
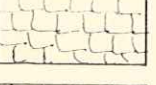
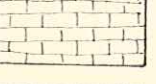
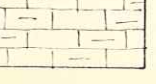

Compte-tenu de la masse de flysch mobilisé par ce phénomène, on peut penser que l'ensemble glissé était grossièrement compris entre deux parallèles, l'une passant par le sommet du Gicon et l'autre par le château de Malmort. Ce qui donne argument pour considérer le pli faillé et chevauchant de MARMORT comme suite du pli faillé chevauchant W du St-Gicon.

### Pli faillé chevauchant de MARMORT

De la hauteur du village du COURTIL, du lieu dit la Combette, se développe un contact anormal, d'axe NS, entre calschistes et conglomérats, contacts que l'on suit, au Nord, jusqu'au niveau du Puits des Bancs.

Nous sommes en présence d'un pli en genou d'axe NS, dejeté vers l'Ouest, dont le flanc inverse est faillé (faille qui plonge vers l'est), ce qui permet l'effet de chevauchement. De plus, l'anticlinal est fracturé près de sa charnière - plan de fracture direction NS, incliné vers l'est : faille dans laquelle se développe le Puits des Bancs. Cette structure est bien nette au niveau de celui-ci, mais s'atténue vers le sud. La faille de tête de l'anticlinal est visible vers le Nord, jusqu'à la hauteur de Crève-Coeur mais reste difficile à suivre vers le Sud, où elle est intra-conglomérats. La faille chevauchante évolue vers le Sud en faille verticale légèrement courbée vers l'Ouest à proximité de la surface.

# Légende

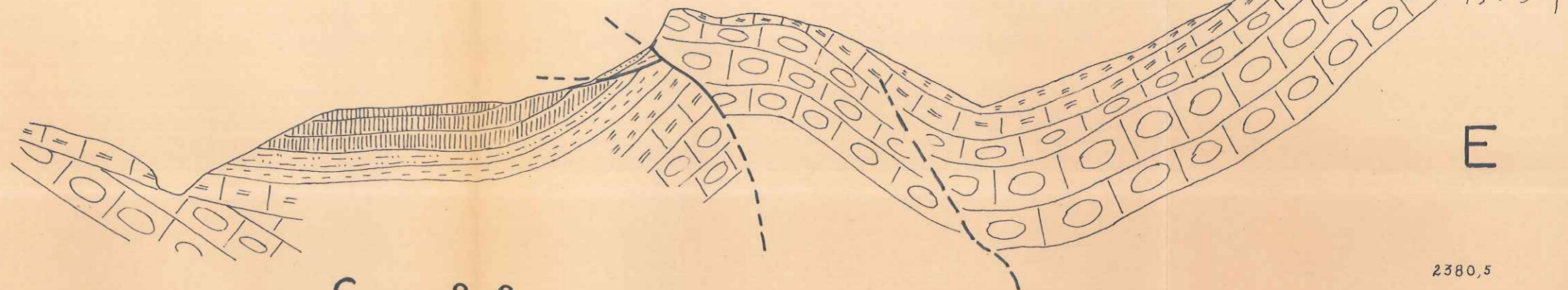
	Molasse rouge
	Grés verts
	Flysch
	Marnes noires
	Calcschistes
	Calcaire numilitique
	Conglomérats - Brèches
	Senonien
	Turonien
	Cenomanien
	Albien - Aptien
	Urgonien
	Hauterivo - Barremien
	Valanginien
	Berriasien
	Tithonique
	Sequano - Kimmeridgien
	Rauracien
	Argovien

# SYNCLINAL de S<sup>t</sup>DISDIER

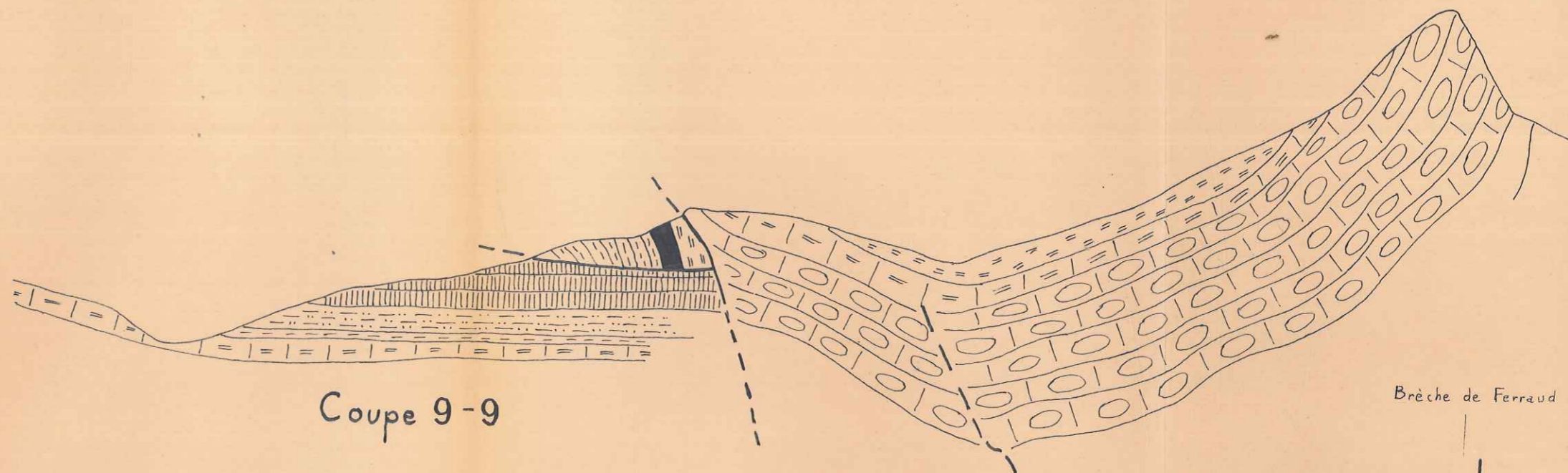
zone : E

W

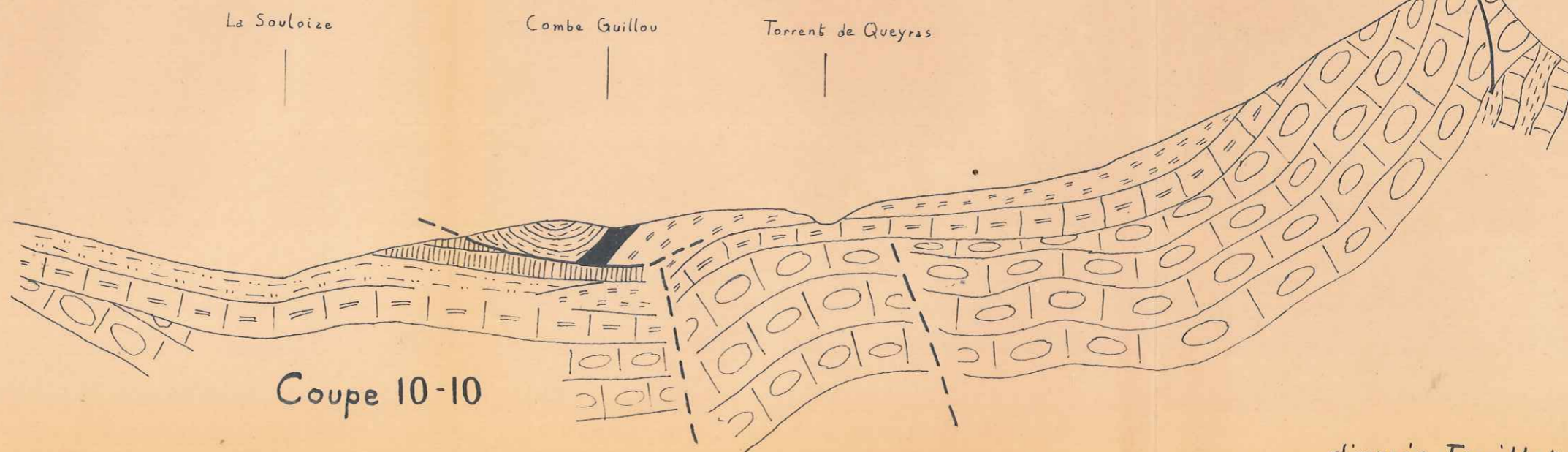
E



Coupe 8-8



Coupe 9-9



Coupe 10-10

La Souloize

Combe Guillou

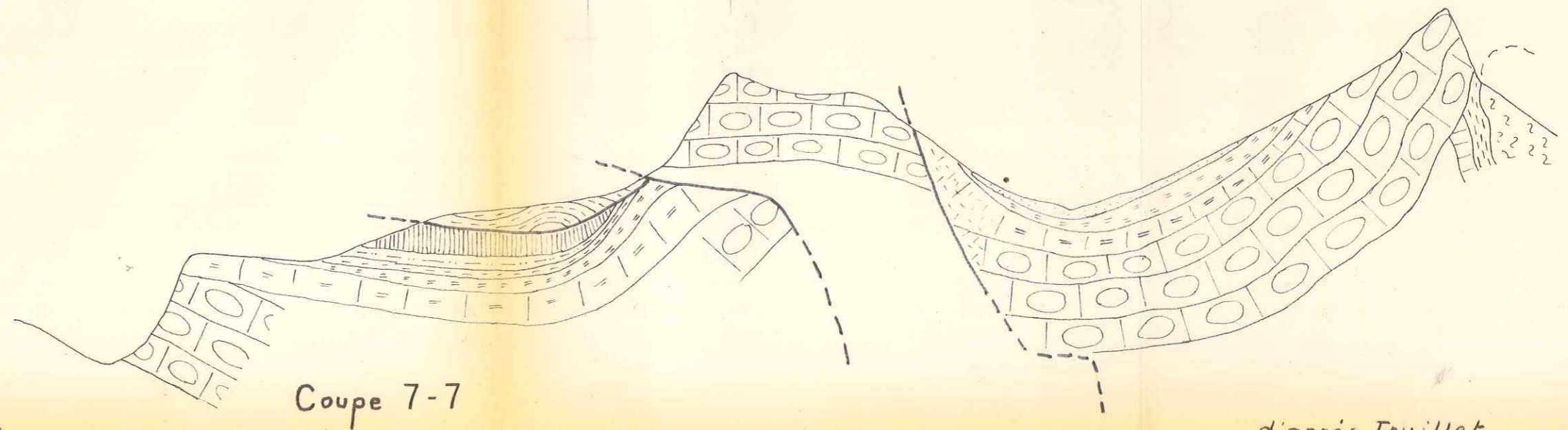
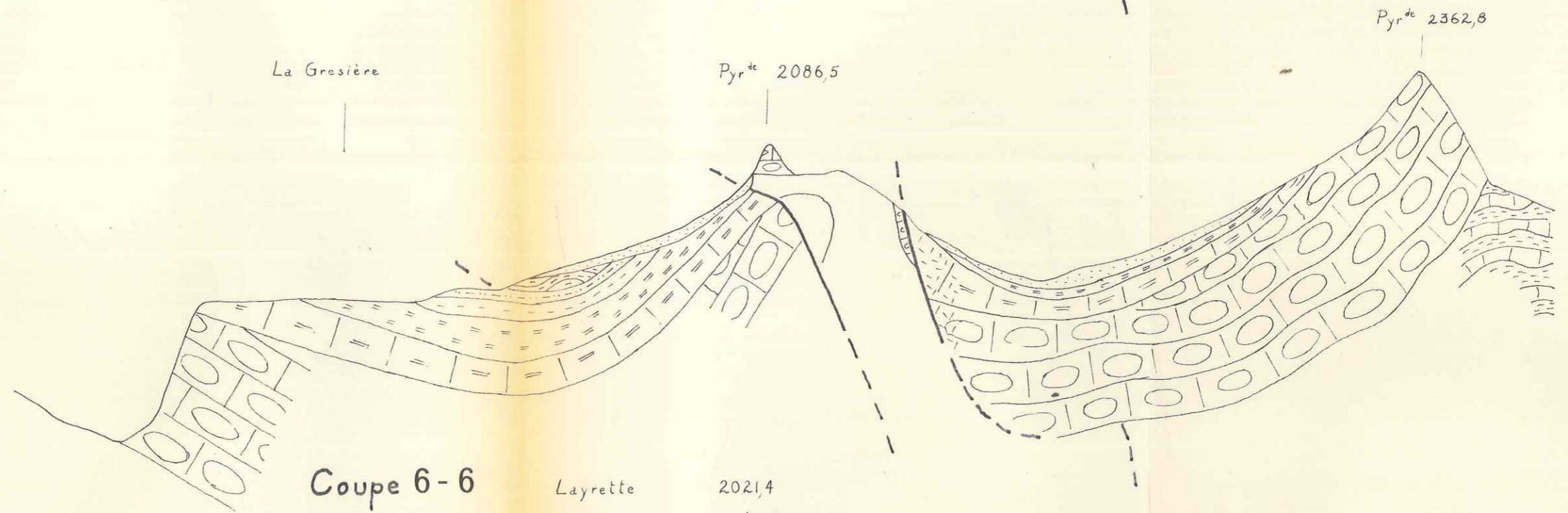
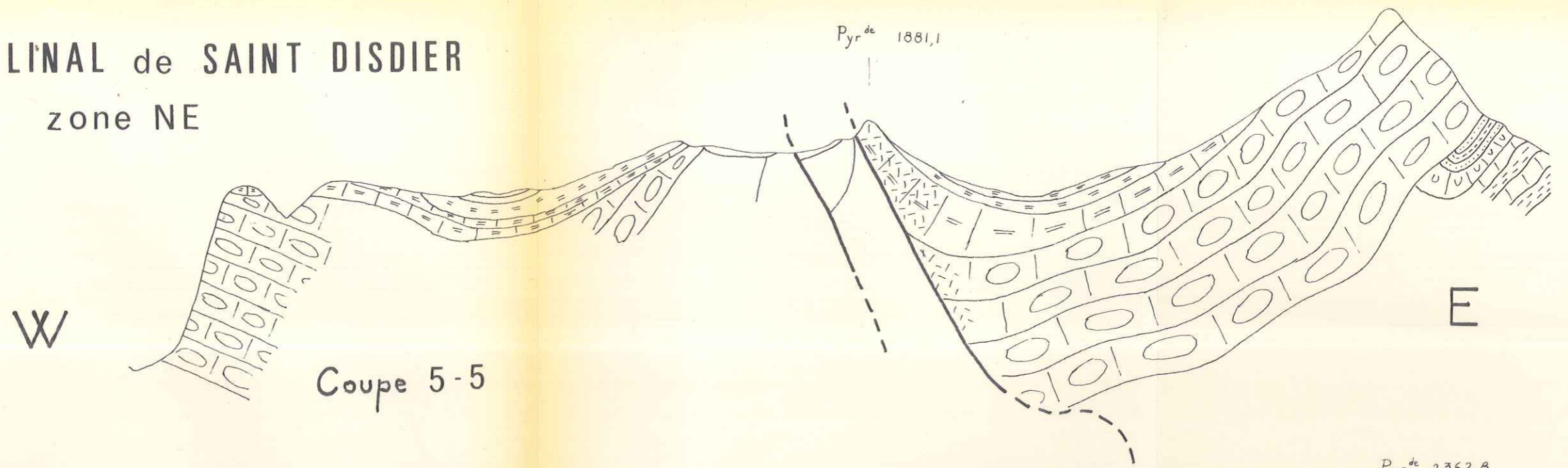
Torrent de Queyras

Brèche de Ferraud

1/20 000<sup>e</sup>

d'après Truillet

SYNCLINAL de SAINT DISDIER  
zone NE



## 2° LES REMONTEES ANTICLINALES

Les remontées anticlinales qui bordent ce synclinal à l'Est et à l'Ouest (Montagne du Féraud, montagne du Ferrand-Obiou) sont peu affectées d'accidents.

### - Flanc Est : Montagne du Féraud

Deux témoins de la violence tectonique, à savoir :

- la faille de la Brèche de Féraud dans la Zone Sud
- le ripage des calcaires sénoniens sur leur substratum dans la zone Nord.

#### 1) la faille de la Brèche de Féraud

La Brèche de Féraud se limite vers le Sud par une falaise qui concorde avec un plan de faille SW-NE. Cet important accident se caractérise par un rejet de l'ordre de 300 m avec surélévation du compartiment sud et un décrochement de 200 m environ. Par contre, cette faille ne se fait plus sentir au-delà du crétacé inférieur. D'autre part, son extension vers le S.W. reste faible.

#### 2) le ripage du calcaire sénonien

La partie Nord de la montagne du Féraud présente des traces de frottement et de décollement. Celui-ci a été plus ou moins important suivant l'horizon que transgressait le calcaire sénonien. Les niveaux du crétacé inférieur ont permis un certain décollement alors que les niveaux durs (calcaire de la barre suburgonienne et de la barre tithonique) ont été entraînés dans le mouvement.

### - Flanc Ouest - Montagne du Ferrand-Obiou

Dans cet ensemble monoclinale, peu de faits tectoniques. Malgré tout, à mi-pente, on rencontre plusieurs grandes failles, orientées NS, intra-sénoniennes, et des failles de direction N.NW - S.SE qui coupent en travers la chaîne du Ferrand-Obiou.

### 3) ZONE NORD-OUEST

Nous ne présenterons pas dans ce chapitre les divers facteurs structuraux de cette région. Ceux-ci seront traités au cours de l'analyse des conditions d'exurgences des sources des GILLARDES.



## RESEAU DE FAILLES DE LA SOULOISE

=====

Cet ensemble de fractures se développe au Nord de St-Etienne en Dévoluy et comporte essentiellement quatre failles. On rencontre en quittant le village vers le Nord :

- la faille de la Roche-Longue
- la faille du Puy
- la faille des Etroits
- la faille de la Crête des Baumes

### 1) la faille de Roche-Longue (ou faille du tunnel de St-Etienne)

La route de St-Etienne à St-Disdier emprunte un tunnel à la sortie du village.

Par l'entrée du tunnel, passe un plan de faille, orthogonal à l'axe de celui-ci, de direction SW-NE. Cette faille, qui met en contact le calcaire nummulitique ou le calcaire sénonien avec les calschistes, disparaît au Nord vers le Gros Charol et au sud non loin de la Base du Puy.

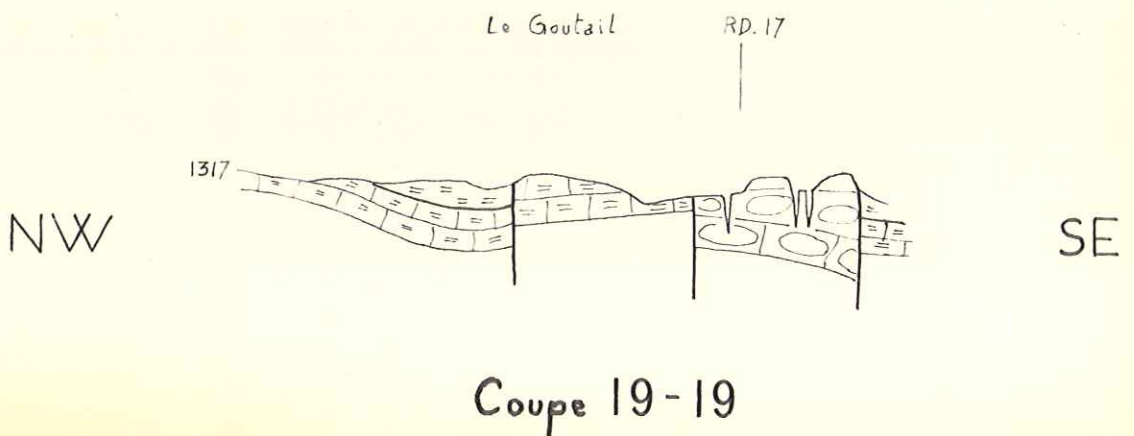
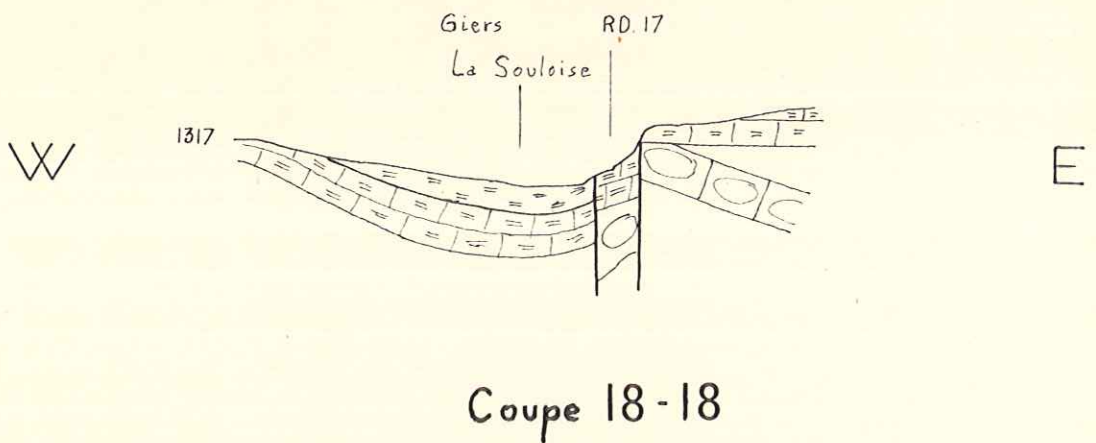
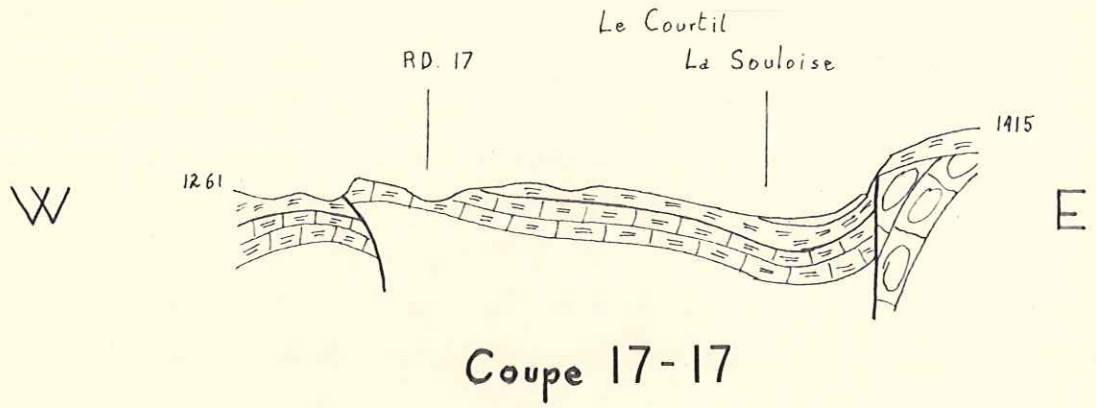
### 2) la faille du Puy

Cette faille converge avec la faille des Etroits et la faille de la Crête des Baumes au Nord. La direction de son plan est NS et basculé vers l'Est. D'autre part, elle se différencie des autres par un rejet notable de plus de 100 m. Elle présente un très joli miroir observable avant le pont de Giers, dans les Etroits.

### 3) la faille des Etroits

Le tracé de cette faille coïncide avec le ravin qui surplombe à gauche la Souloise. Accident de faible amplitude qui concourt avec la faille du Puy au niveau du miroir de la faille du Puy. Notons que le coin ainsi formé, composé à la base de sénonien, a été perché par le jeu de la tectonique.

# FAILLES de la SOULOISE



#### 4) la faille de la Crête des Baumes

Sa direction est SW-NE et son plan vertical. Le rejet est de l'ordre de 100 m. Cet accident qui limite brutalement le plateau d'Aurouze au Nord met en contact la série tertiaire avec la série sénonienne. Cette faille affecte largement le centre du DEVOLUY : son extension Nord ne semble pas dépasser le Pont de Giers mais elle est poursuivie par la faille qui longe la route du Collet. D'autre part, dans la zone du Forest du Puy, une jonction est possible avec le pli, en genou, faillé de Malmort; malheureusement, la couverture glaciaire ne permet pas d'en avoir une preuve tangible. Dans sa partie sud, cette faille s'affirme au-delà du Roc d'Aurouze. Entre la Crête des Baumes et le roc d'Aurouze, elle se subdivise en plusieurs branches qui s'amortissent dans la montagne d'Aurouze.

oooooooooooooooooooo

## LE SYNCLINAL DE SAINT-ETIENNE

=====

La vallée de Saint-Etienne en Dévoluy se superpose à un synclinal dont l'axe est représenté par la ligne passant par St-Etienne en Dévoluy et le col du Rabou (N.NW - S.SE ). L'axe plonge vers le Nord.

Le centre de cette structure est occupé par des formations tertiaires : conglomérats, calcaires nummulitiques, calschistes et marnes noires essentiellement. Les remontées anticlinales laissent affleurer les formations du crétacé supérieur : principalement les calcaires sénoniens.

Limité à l'Est, en contact anormal, par le synclinal de Porel, (la voûte anticlinale étant absente entre ceux-ci) et à l'ouest par le dôme anticlinal d'Aurouze. Son flanc Est est particulièrement redressé, jusqu'à la verticale, par rapport au flanc ouest, ce qui donne une forme disymétrique à ce synclinal, par ailleurs évasé vers le sud et plus resserré vers le Nord.

### - le flanc ouest

Cette remontée vers la montagne d'Aurouze est affectée de quelques accidents dans la partie sud : ceux-ci sont représentés par quelques ondulations à grand rayon de courbure, affectant le calcaire sénonien et nummulitique :

- charnière anticlinale dans le vallon froid
- axe synclinal dans le vallon d'âne

puis les couches se redressent fortement aux abords de la falaise du Pic de Bure.

### - le flanc Est

Témoigne de la violence de la tectonique dans ce secteur. En contact anormal, comme nous l'avons fait remarquer précédemment,

#### 4) la faille de la Crête des Baumes

Sa direction est SW-NE et son plan vertical. Le rejet est de l'ordre de 100 m. Cet accident qui limite brutalement le plateau d'Aurouze au Nord met en contact la série tertiaire avec la série sénonienne. Cette faille affecte largement le centre du DEVOLUY : son extension Nord ne semble pas dépasser le Pont de Giers mais elle est poursuivie par la faille qui longe la route du Collet. D'autre part, dans la zone du Forest du Puy, une jonction est possible avec le pli, en genou, faillé de Malmort; malheureusement, la couverture glaciaire ne permet pas d'en avoir une preuve tangible. Dans sa partie sud, cette faille s'affirme au-delà du Roc d'Aurouze. Entre la Crête des Baumes et le roc d'Aurouze, elle se subdivise en plusieurs branches qui s'amortissent dans la montagne d'Aurouze.

oooooooooooooooooooo

## LE SYNCLINAL DE SAINT-ETIENNE

=====

La vallée de Saint-Etienne en Dévoluy se superpose à un synclinal dont l'axe est représenté par la ligne passant par St-Etienne en Dévoluy et le col du Rabou (N.NW - S.SE ). L'axe plonge vers le Nord.

Le centre de cette structure est occupé par des formations tertiaires : conglomérats, calcaires nummulitiques, calschistes et marnes noires essentiellement. Les remontées anticlinales laissent affleurer les formations du crétacé supérieur : principalement les calcaires sénoniens.

Limité à l'Est, en contact anormal, par le synclinal de Porel, (la voûte anticlinale étant absente entre ceux-ci) et à l'ouest par le dôme anticlinal d'Aurouze. Son flanc Est est particulièrement redressé, jusqu'à la verticale, par rapport au flanc ouest, ce qui donne une forme disymétrique à ce synclinal, par ailleurs évasé vers le sud et plus resserré vers le Nord.

### - le flanc ouest

Cette remontée vers la montagne d'Aurouze est affectée de quelques accidents dans la partie sud : ceux-ci sont représentés par quelques ondulations à grand rayon de courbure, affectant le calcaire sénonien et nummulitique :

- charnière anticlinale dans le vallon froid
- axe synclinal dans le vallon d'âne

puis les couches se redressent fortement aux abords de la falaise du Pic de Bure.

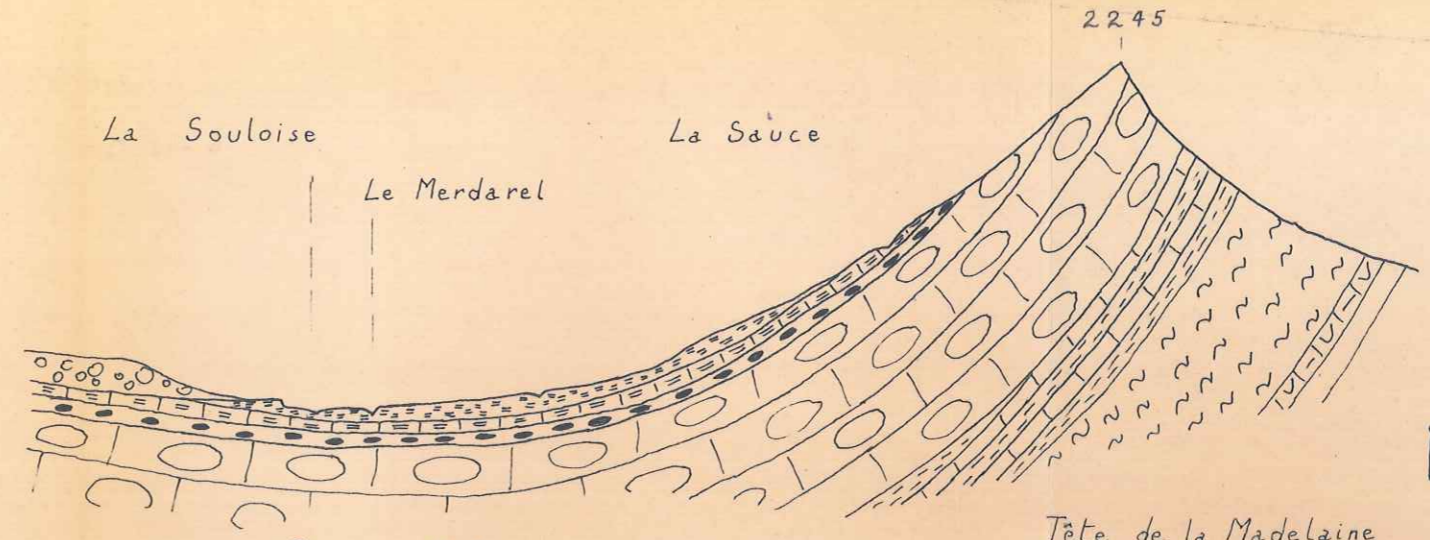
### - le flanc Est

Témoigne de la violence de la tectonique dans ce secteur. En contact anormal, comme nous l'avons fait remarquer précédemment,

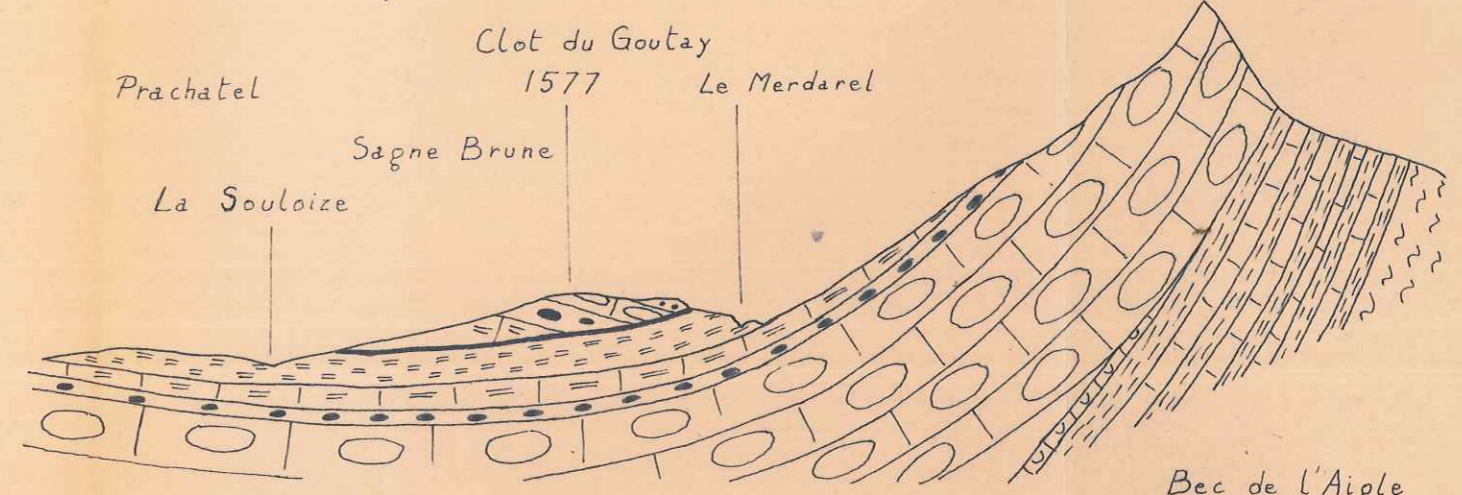
**SYNCLINAL de  
SAINT ETIENNE**

SW

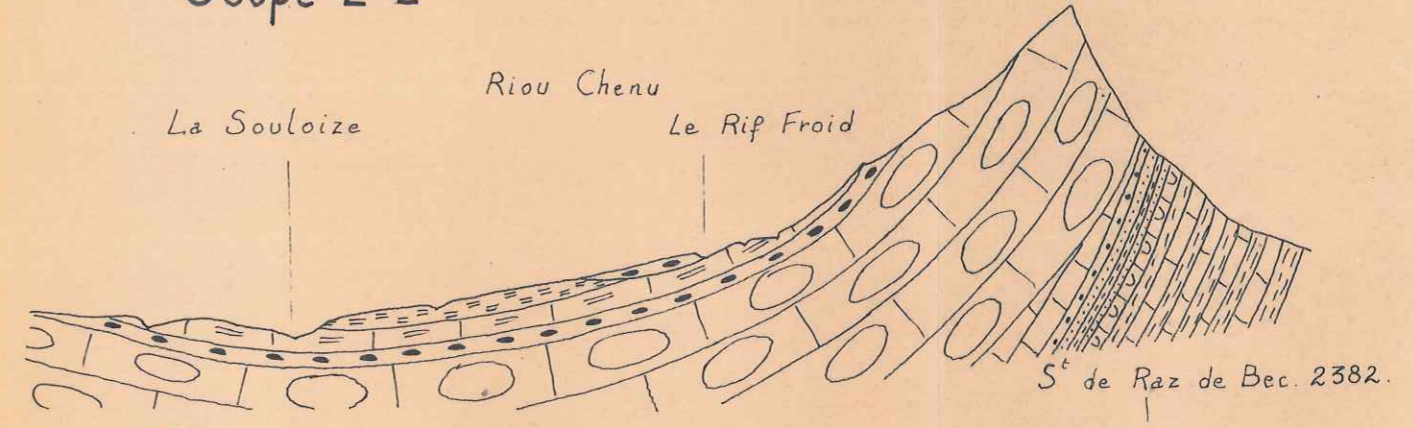
NE



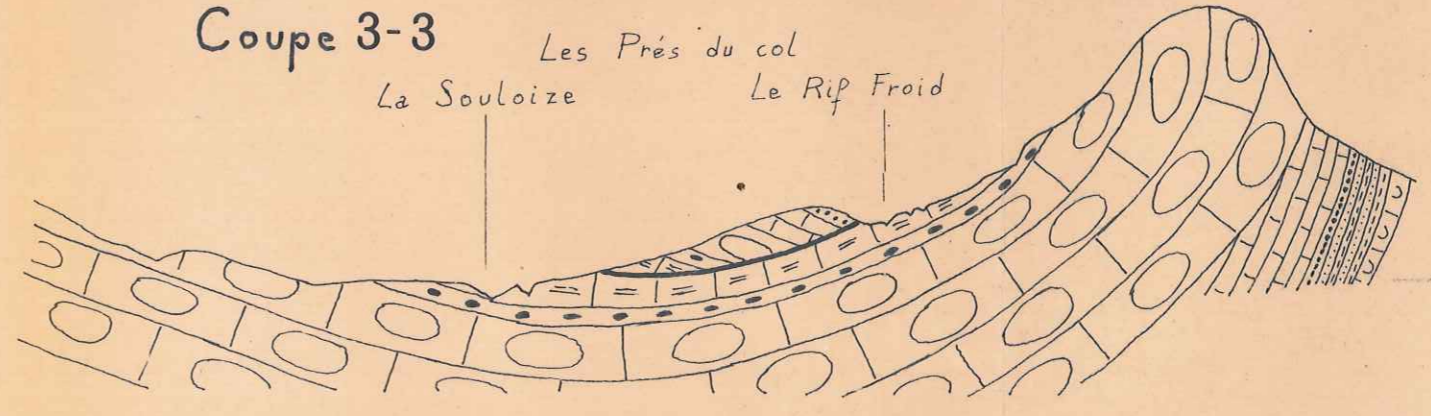
**Coupe 1-1**



**Coupe 2-2**



**Coupe 3-3**



**Coupe 4-4**

1/20 000<sup>e</sup>

d'après Afchain

avec le synclinal de Porel, ce flanc Est, pris entre la crête de Lieraver et la crête de Porel, est tout à fait arqué, concavité tournée vers le DEVOLUY, et vrillé; les pendages passent respectivement de 20° à la verticale entre les crêtes citées précédemment. Il est certain que l'érosion donne une image sans doute amplifiée du phénomène de torsion en rabattant partiellement la crête du Lieraver dont la partie sommitale présentait peut-être un pendage vertical. Il reste néanmoins que la tectonique a été plus violente au Sud, puisqu'elle a rejeté sur ce flanc synclinal ce qui devait constituer les matériaux de l'anticlinal:

sur le flanc Est, en contact anormal, reposent les formations en série inversée. Celles-ci constituent les recouvrements de Porel, de Plate-tête, de Piocel.

Le synclinal de St-Etienne s'arrête, coupé par l'érosion, au Sud, ainsi que le DEVOLUY. Au Nord, le système de failles de St-Etienne peut en limiter l'extension.

oooooooooooo



## SYNCLINAL DU COL DU FESTRE

=====

Le synclinal est grossièrement parallèle dans sa zone sud à celui de St-Etienne et en est séparé par le dôme d'Aurouze. Dans leur partie Nord, ils convergent pour se noyer dans le synclinal de St-Disdier.

Son axe peut se matérialiser grossièrement par la ligne joignant le col du Festre à Agnières en Dévoluy.

Ce synclinal a une structure en auge. Celle-ci est bien nette au col du Festre. Si on se déplace vers le Nord, elle a tendance à s'émousser en s'évasant; vers le sud, le synclinal se pince, l'auge disparaît, pour faire place à un synclinal légèrement dissymétrique jusqu'à La Cluse.

Le centre est occupé par des formations tertiaires et les flancs laissent affleurer les calcaires sénoniens.

Les flancs Est et Ouest sont à leur base et au niveau du col du Festre assez semblables : remontée très raide après le fond du synclinal.

### - le flanc Est

Le pendage et l'orientation des couches sénoniennes de la montagne d'Aurouze restent assez constants, en valeur et en direction, du Nord au Sud, et ceci sans accidents remarquables. Notons toutefois :

- la présence probable d'une faille dans la combe d'Agnières  
.... (base du Pied Gros d'Agnières)
- le décrochement vertical de la faille de la Crête des Baumes au niveau de sa partie Sud : cet accident affecte

essentiellement le sommet du flanc.

- le flanc Ouest

Sa structure est beaucoup plus tourmentée que ne l'est celle du flanc Est. Du Sud au Nord, la valeur et la direction du pendage évoluent rapidement. Vers le Sud, (au Nord de la Cluse) pendage de 30 à 40°, dirigé vers l'Est. Au niveau du col du Festre en remontant vers le vallon des Aiguilles, ce flanc est nettement ondulé : pendage de 45°, 0°, 90°, quelques degrés, se succèdent.

Ce flanc se limite pour le sénonien au niveau de la Tête du jas des Arres, la cascade de Saute-Aure, Serre du Vallon, par un rebroussement assez net; par endroit, la tête des couches sénoniennes a été sectionnée et repoussée. D'une façon générale, il semble que ces couches aient glissé les unes sur les autres au niveau des joints de stratification, ainsi que le sénonien sur son substratum.

Les roches broyées et laminées sont la preuve d'une tectonique assez violente dans ce secteur. Plus au Nord, la structure devient plus calme et le flanc du synclinal a l'allure d'une remontée anticlinale au pendage assez constant. (20°, direction Est ?). Dans cette zone apparaissent des failles intra-sénoniennes qui se développent dans la remontée ouest du synclinal de St-Disdier. (le grès vert fait souvent saillie au pied des remontées anticlinales).

Ce synclinal laisse place au Nord à celui de St-Disdier et au Sud à celui de la Bèoux, au niveau du village de La Cluse.

oooooooooooo

L'ANTICLINAL ou DOME d'AUROUZE  
=====

Le massif d'Aurouze se partage essentiellement en deux zones :

- la montagne d'Aurouze au Nord (1500-2000m)
- le plateau de Bure au Sud (altitude moyenne 2600 m)

I - LA MONTAGNE D'AUROUZE

constituée presque uniquement de calcaire sénonien (la série tertiaire affleure en bordure), a la structure d'un anticlinal à grand rayon de courbure, légèrement disymétrique : la montée anticlinale Ouest est nettement plus raide que celle de l'Est. La charnière, plongeante vers le Nord, passe vers le vallon Pierra d'Agnières et le vallon La Fille (Direction NS)

Limitée au Nord par le synclinal de St-Disdier, à l'Est et à l'Ouest par les synclinaux de St-Etienne et du col du Festre, la montagne d'Aurouze laisse place au Sud au plateau de Bure.

Les accidents vraiment importants sont peu nombreux. Seule la faille de la crête des Baumes au Nord peut être considérée comme tel. Si les grands accidents sont absents, les fractures de second ordre sont très nombreuses.

Entre la faille et la fissure, on passe par toute une série de cassures dont il est bien difficile de faire un inventaire complet, compte-tenu de leur grand nombre.

Ceci conduit à considérer la montagne d'Aurouze comme très disloquée à petite échelle alors que la structure d'ensemble reste bien conservée.

Les accidents s'orientent suivant deux directions principales :

- N.NE - S.SW
- N.NW - S.SE

#### 1) Réseau de failles N.NE - S.SW

Ces fractures sont en dépendance étroite avec la faille de la crête des Baumes et la faille du Puy dont elles constituent les ramifications.

##### - Réseau de failles de la zone NW

celles-ci, parallèles entre elles, ont une direction bien marquée,  $28^{\circ}$  N. Leur extension est assez faible. Leur plan de faille est en général vertical. L'importance tectonique de ces accidents est plus ou moins nette : ce peut être une simple fracture sans rejet ni décrochement, ou une faille avec rejet et zone broyée. Nous leur donnerons à toutes le nom de failles sachant que, pour certaines, cette appellation peut porter à contreverse. D'ouest en est, on rencontre :

- la faille des Casses
- deux failles dans les Prés du Renard
- deux failles dans le Vallon La Fille

Nous envisagerons leur développement en profondeur plus en détail dans l'étude du Karst du calcaire Sénonien. Toutefois, ces accidents semblent s'amortir entre 300 et 500 m.

##### - Réseau de failles de la zone Est

Comme les précédentes, ces fractures parallèles entre elles et, à quelques degrés près, parallèles au groupe de la zone NW, ont une direction  $343^{\circ}$  N. Par contre, leur extension est beaucoup plus importante. Certaines sillonnent plus de la moitié de la montagne d'Aurouze. Leur plan de faille est en général vertical. La même remarque peut être for-

mulée en ce qui concerne leur appellation.

D'Ouest en Est, on rencontre :

- la faille du Festoure - combe des Meules
- la faille du Pelourenq
- la faille du Pied gros de St-Etienne  
( Bonnet rouge et son réseau de diaclases parallèles)
- la faille du Vallon de Corne

## 2) Réseau de failles N. NW - S. SE

Ces accidents sont moins nombreux et affectent la zone Sud et tout spécialement la partie Sud-Est. Ils prolongent dans la montagne d'Aurouze des failles plus importantes qui se développent, suivant la même direction, dans la chaîne du Ferrand-Obiou.

D'Ouest en Est, on rencontre :

- la faille de Tête Ronde - clos du Jas la Selle
- la faille de la Sommarel (décrite par F. NEVEU, D.E.S.)
- la faille de la tête de Vallon Pierra (prolongement décollé de la faille de la Sommarel)

Leur développement en profondeur reste variable mais paraît moins important, dans le cas de la montagne d'Aurouze, que dans celui du groupe précédent.

Dans la zone Sud-Est, on rencontre un accident parallèle aux précédents : la faille de Têtes Rondes.

## 3) Zones hachées

Certains secteurs de la montagne d'Aurouze sont pratiquement hachés par des diaclases, parallèles aux deux directions de failles : la maille est de l'ordre de quelques dizaines de mètres. Ces phénomènes seront plus spécialement étudiés dans la partie réservée au Karst du calcaire Sénonien.

Ils se développent principalement dans les zones Est et Nord-

Est (Serre la Croix, Tête des Casses, Roc d'Aurouze, Serre de Giers).

## II - LE PLATEAU DE BURE

Ce plus haut plateau d'Europe, disent certains, avec son altitude moyenne de 2600 m, composé uniquement de calcaire sénonien, peut être regardé comme tabulaire dans son ensemble; en réalité, il possède une structure anticlinal à très grand rayon de courbure. Les bords de cette formation sont quelque peu redressés. Au Nord, ce plateau surplombe la montagne d'Aurouze, au Sud, il délimite le Dévoluy par une impressionnante falaise avant la vallée du Petit Buech. A l'Ouest, il est bordé par le synclinal de la Bécoux, à l'Est, par la falaise du Pic de Bure qui se poursuit jusqu'au sommet des Casses.

Le plateau de Bure reste, comme tout le Dévoluy, affecté par la tectonique : principalement des failles, mais aussi décollement de la masse sénonienne sur son substratum, dans la bordure Ouest.

### - LES FAILLES

#### I) Les failles N.NW - S.SE

- la faille de la Combe d'Agnières : accident intrasénonien entièrement recouvert par des brèches de pentes
- la faille du Pic de Mai (côte 1539) : cette faille longe la falaise du versant sud. Son développement est de l'ordre de 3,5 km. Cet accident intrasénonien qui met en contact le maestrichtien à l'Ouest avec le campanien à l'Est, présente un rejet de 100 m environ. Le plan de cassure plonge vers le NE.
- la faille du Pic de Bure : situé sur la falaise Est du Pic de Bure, cet accident représente la cassure de la charnière d'un synclinal de même direction.

Cette faille verticale met en contact la masse des calcaires sénoniens, à l'ouest, avec des horizons s'étageant du valanginien au campanien, à l'Est. Néanmoins, elle possède une extension assez faible : 1,5 km; elle s'amortit donc rapidement

- la faille du Pic la Phare : cet accident intrasénonien passe à la base du Pic la Phare. Cette faille, branchue, est de direction NE-SW

## 2) Les failles N-S

- Failles des Casses, accidents intrasénoniens, non portés sur la carte géologique, mais observés par M. Rogier
- Failles de la Tête de Chau, accidents intrasénoniens.

### DECOLLEMENT DU CALCAIRE SENONIEN SUR SON SUBSTRATUM - LE PLI FAILLE DE LA BAUME

La bordure Sud-Est du Dévoluy, entre le village de La Cluse et le col de Gaspardon, est marqué par des réalités tectoniques particulièrement importantes.

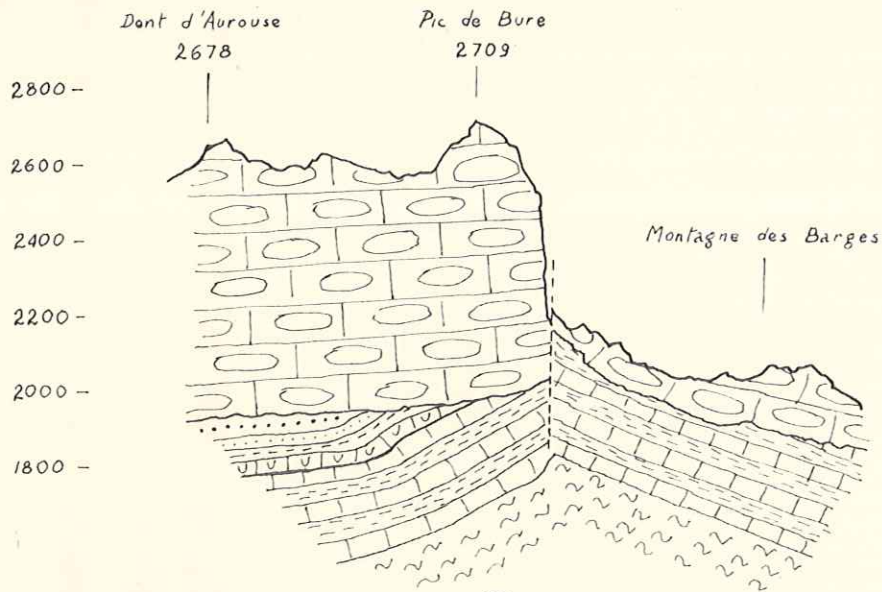
Ce flanc S.E. du plateau de Euro est composé, à sa base, du Nord au Sud, par le synclinal disymétrique de la Bèoux (axe N.S) au flanc Est laminé, et par l'anticlinal (charnière N.S) de Gaspardon au flanc inversé arraché. Ces deux structures sont séparées par le pli faillé des Baumes (d'axe N.S) Lors de cet accident, fin miocène, la carapace sénonienne Ouest de la montagne d'Aurouze s'est décrochée de son substratum, formé de marnes et de calcaires du Valanginien - Berriasien, ripage assez semblable à celui que l'on retrouve dans la partie N.E du synclinal de St-Disdier. Cette région extérieure au Dévoluy a fait l'objet de deux diplômes, de M. Rogier et M. Fontes.

# ANTICLINAL du PAS DU FOLLET

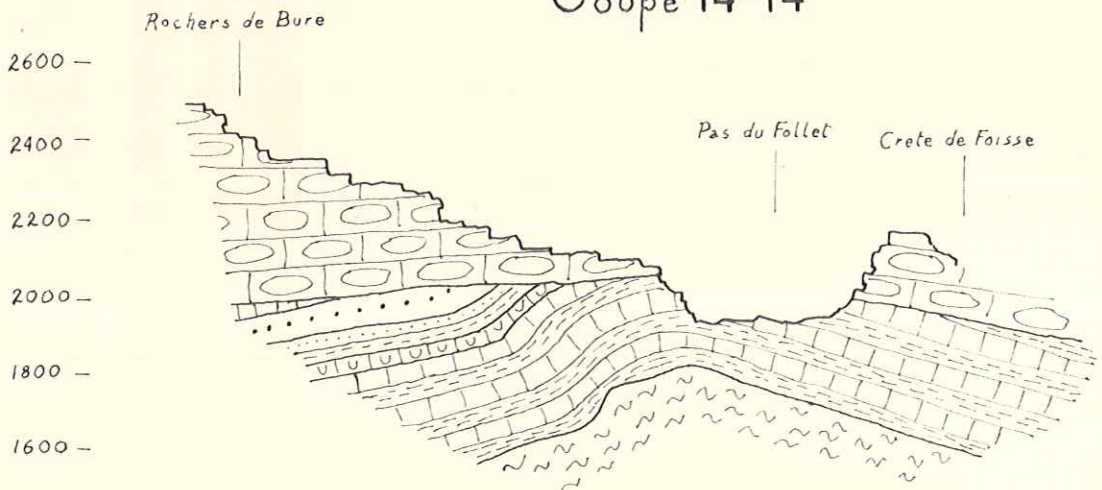
zone E de Bure

SSW

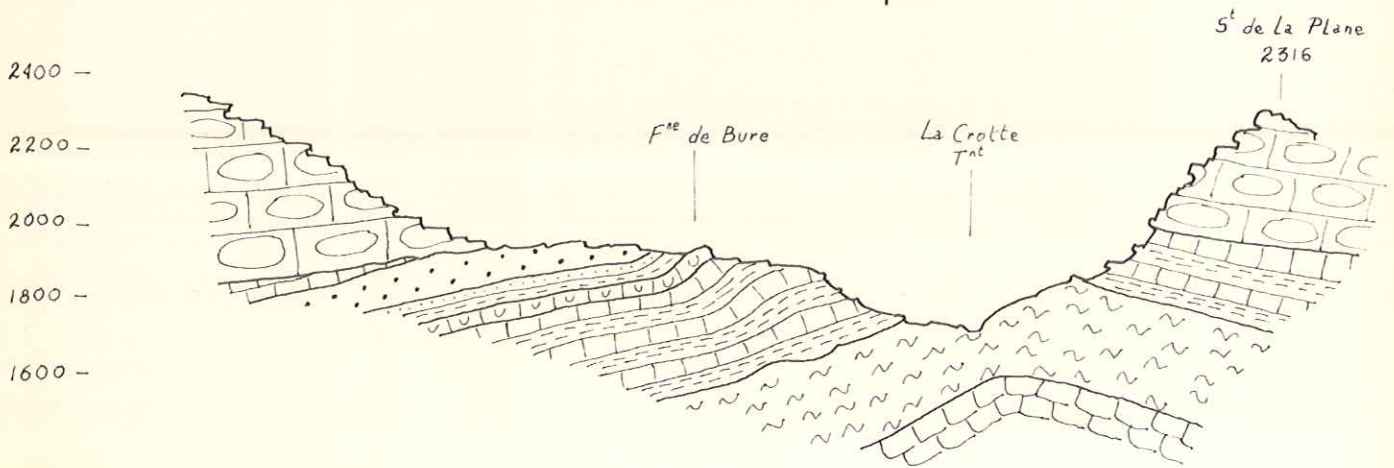
NNE



Coupe 14-14



Coupe 15-15



Coupe 16-16



SCHEMA TECTONIQUE

Légende

	Faille importante - prolongement possible
	Faille ou diaclase - prolongement possible
	Axe synclinal
	Axe anticlinal
	Faille chevauchante
	Chevauchement du Flysch
	Coupes
	Zones hachées
	Série renversée
	Limite des calcaires sénoniens
	Limite de la série tertiaire

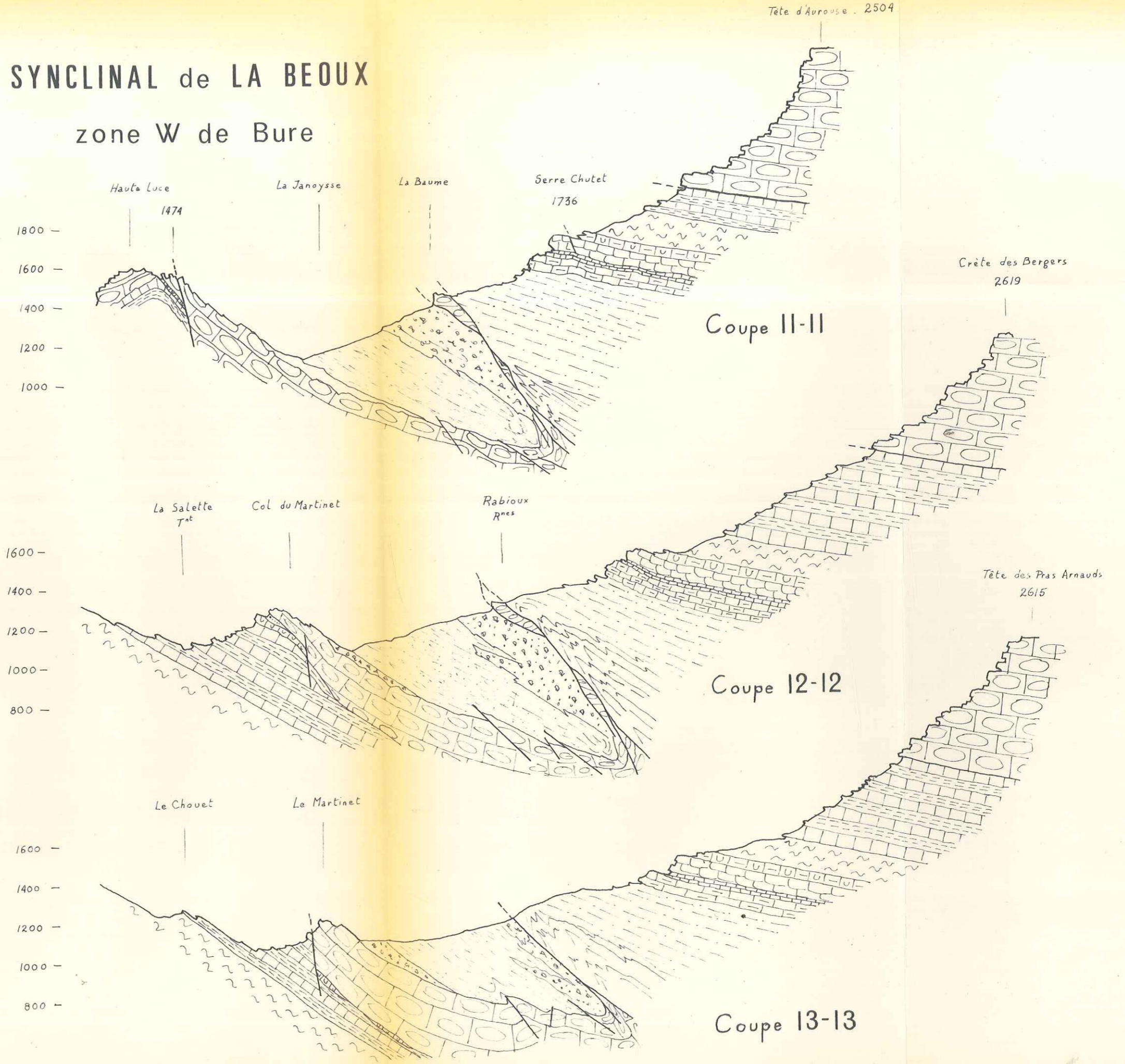
Nom des Failles

- F - Faille des Etroits
- F 1 - Faille chevauchante Ouest du Gicon
- F 2 - Faille chevauchante Est du Gicon
- F 3 - Faille du Féraud
- F 4 - Faille chevauchante de Malmort
- F 5 - Faille de la Roche Longue
- F 6 - Faille du Puy
- F 7 - Faille de la Crête des Baumes
- F 8 - Faille du Pic de Bure
- F 9 - Faille du Pic de Mai
- F 11 - Faille de la Baume
- F 12 - Faille de la Souloise
- F 13 - Faille de la Petite Aiguille
- F 14 - Faille des Gillardes
- CF - Chevauchement du Flysch
- Sf - Système de failles du réseau de Beaufin
- Fis - Failles intra-sénoniennes
- Z - Zone hachée
- SI - Série renversée et chevauchante.

oooooooooooooooooooooooooooo

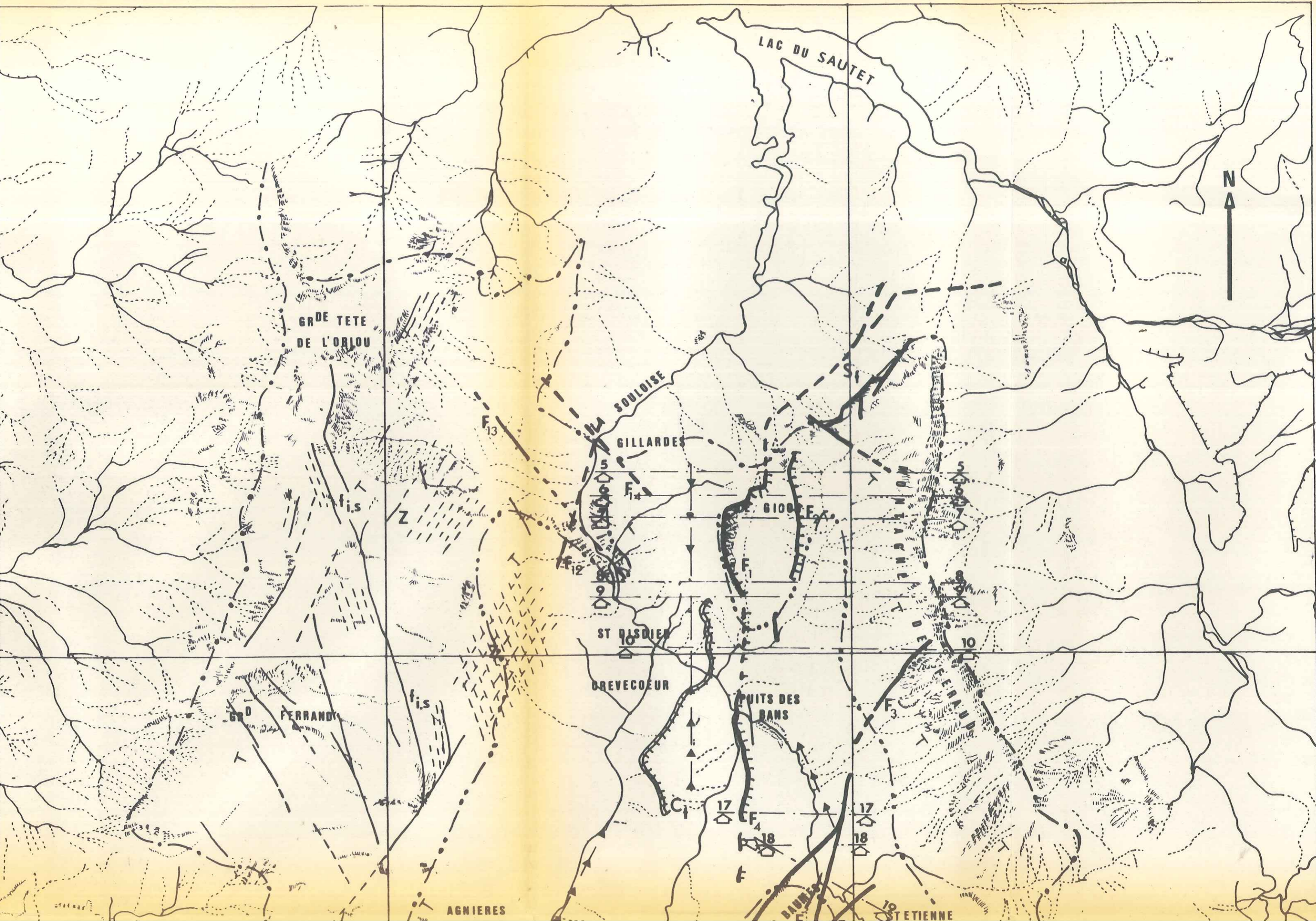
# SYNCLINAL de LA BEOUX

zone W de Bure



1/20 000<sup>e</sup>

d'après Rogier





AGNIERES  
EN DEVOLUY

ST ETIENNE  
EN DEVOLUY

CHETE DES BAUMES

MONTAGNE D'ARBOIZE

PLATEAU DE BURE

MONTAGNE DE BARBES

LA CLUSE

3 600

4 600

ECHELLE 1/50 000 4 600

HYDROLOGIE DE SURFACE

# H Y D R O L O G I E   D E   S U R F A C E

I - CARACTERES TOPOGRAPHIQUES DU BASSIN VERSANT	58
1) Le réseau hydrographique	58
- les torrents	
- orientation des torrents	
2) Les bassins versants	61
- Délimitation	
- Caractéristiques de forme des bassins versants	
II - CARACTERES D'ALIMENTATION ET D'ECOULEMENT	65
A) PLUVIOMETRIE	65
1) Buts	
2) Appareillage de mesure	
3) Mise en place des pluviomètres	
4) Résultats	
B) ECOULEMENT - VIDANGE	69
1) Buts	
2) Appareillage de mesure	
3) Mise en place des stations hydrométriques	
4) Exploitation d'une station hydrométrique	71
a) mesure des hauteurs d'eau	
b) le jaugeage : jaugeage au moulinet	
jaugeage chimique	
c) exploitation des jaugeages : courbe de tarage	
d) exploitation de la courbe de tarage en fonction	
des hauteurs d'eau. Débit de la Souloise.	
III - CARACTERES CLIMATIQUES ET REGIME DES EAUX	82

I - CARACTERES TOPOGRAPHIQUES DU  
BASSIN VERSANT

I) LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Les Torrents

Trois torrents drainent les eaux de surface : la SOULOISE vers le Nord, grossie de la RIBIERE qui alimente la retenue E.D.F. du Sautet et disparaît dans le Drac; le torrent de MOUCHE-CHOT vers le Sud, capté et poursuivi par la Béoix, affluent du Petit Buech.

De nombreux torrents (Rifs, etc ...) généralement à sec, descendent des montagnes pour grossir de leurs eaux la Souloise, la Ribière et la Béoix.

a - la SOULOISE prend sa source au col du Rabou.

Affluents de la rive droite :

- le rif froid
- Torrent du ravin du Près creux
- Torrent de Merdarel
- le rif

Affluents de la rive gauche :

- le Riou
- Sources appréciables au niveau du hameau des Cypières
- Torrent de Rioupes
- la Ribière ou Neyrette

b - la RIBIERE prend sa source au pied du versant Nord du Col du Festre.

Affluents de la rive droite :

- le ruisseau des Combes
- nombreuses sources donnant plus ou moins directement dans le lit de la Ribière, entre le Forest d'Agnières et la Combe de l'Eau.

#### Affluents de la rive gauche

- Torrent du Vallon des Aiguilles
- Nombreuses sources donnant plus ou moins directement dans le lit de la Ribière entre le Forest d'Agnières et la Combe de l'Eau
- Torrent des près de la Frédière
- Torrent des Adroits ou du Ranchon

#### c - Torrent de MOUCHE-CHOT

Source : sur le versant sud du Col du Festre au niveau du hameau des Garcins.

Ce torrent ne possède pas d'affluents; il est alimenté par des sources plus ou moins diffuses au niveau de son lit.

#### Orientation des Torrents

##### a - la SOULOISE

Ce torrent coule à l'intérieur du DEVOLUY, suivant un axe N.NW - S.SE. A la sortie de la falaise sénonienne (zone des sources des Gillardes, il infléchit son cours suivant une direction N.NE- S.SW

Ses affluents rive droite :

la direction de ceux-ci est en quelque sorte imposée par l'orientation du flanc montagneux qu'ils drainent. Ces torrents sont tous placés suivant la ligne de plus grande pente, car rien de très sérieux ne leur a fait obstacle. De fait, ils suivent tous une direction E.W légèrement décalée vers le Nord

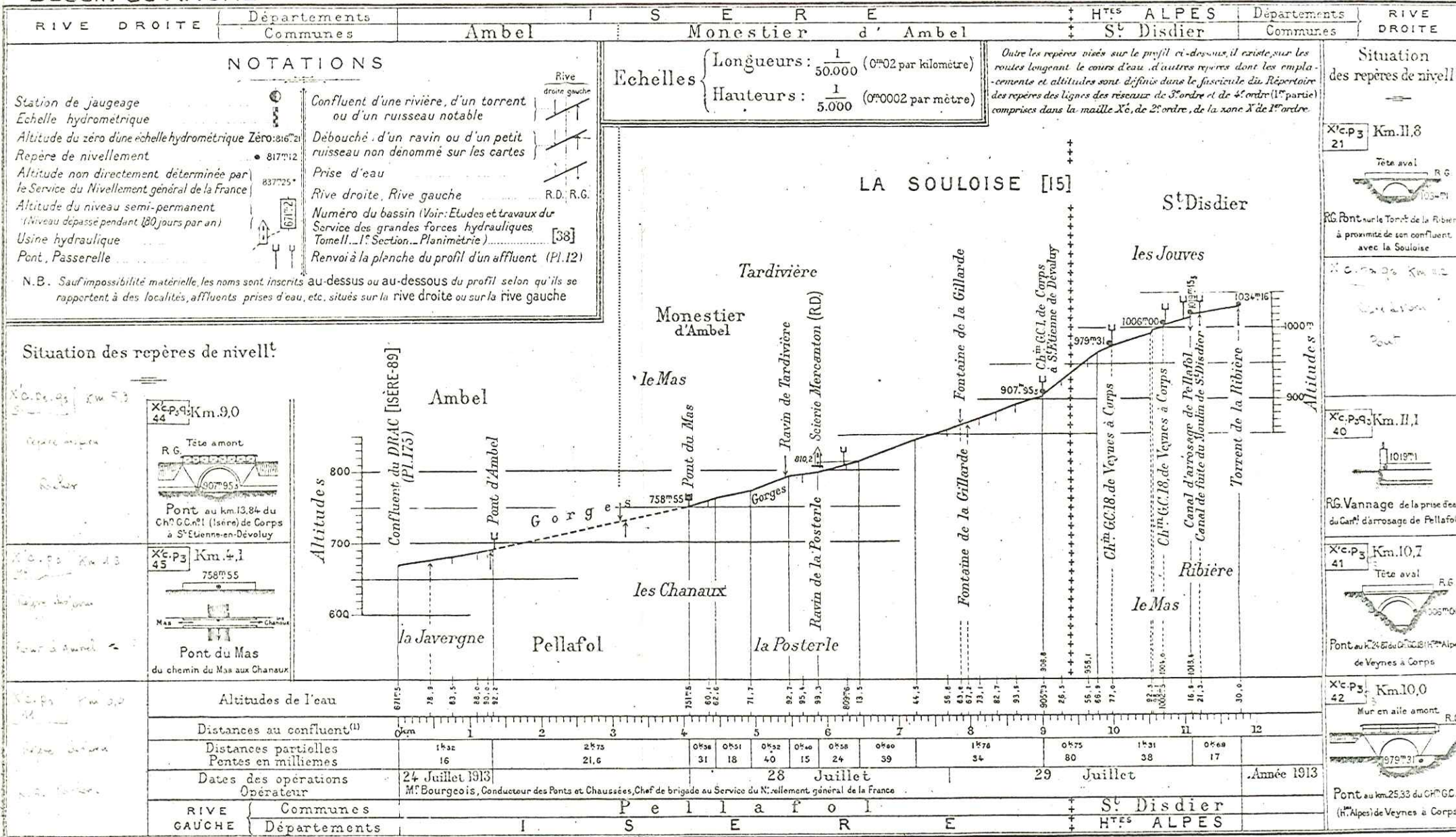
Ses affluents rive gauche :

Les deux micro-cirques que drainent ces torrents ont à peu de chose près la même orientation. Ces deux cours d'eau cou-



# Bassin du RHÔNE

AFFLUE



(1) Les distances ont été prises sur la carte au 1:50000 et ne sont qu'approximées

lent suivant la direction N.NE - S.SW

b - la RIBIERE

Elle suit la vallée d'Agnières à St-Disdier dont elle partage la direction N.NE - S.SW

Affluent rive droite :

C'est un cours d'eau très peu développé, d'axe N.S.

Affluents rive gauche :

Ces torrents suivent pratiquement la ligne de plus grande pente du flanc Est de la montagne Ferrand-Obiou. En conséquence, leur direction est grossièrement W-E; au contact du fond de vallée, elle prend une composante Nord.

c - Torrent de MOUCHE-CHOT

Son parcours, peu étendu, va du col du Festre au village de La Cluse. Direction N-S.

CONCLUSION

Les directions suivies par ces torrents sont dans l'ensemble celles des structures majeures du DEVOLUY, à savoir N-S, N.NE-S.SW et N.NW-S.SE. On peut donc estimer que, dans l'ensemble, le réseau hydrographique se développe en se superposant aux structures qui dans une certaine mesure sont ainsi mises en relief.

## 2) Bassins versants

### - DELIMITATION

Deux bassins versants couvrent l'ensemble de la surface du Dévoluy. Ceux-ci sont d'inégale importance : le bassin versant de la SOULOISE est de loin le plus vaste. (bassin topographique : 168 Km<sup>2</sup>). Celui du Torrent de Mouche-Chot est presque négligeable et nous ne le décrirons pas (bassin topographique : 3, 2 Km<sup>2</sup>).

#### BASSIN VERSANT DE LA SOULOISE :

Le bassin versant se définit comme la totalité de la surface topographique drainée par le cours d'eau et ses affluents à l'amont d'une section droite prise à un niveau quelconque.

Les conditions hydrogéologiques du DEVOLUY favorisent deux types de circulation, l'une aérienne, la Souloise, l'autre souterraine qui ressort aux sources des GILLARDES.

En conséquence, il est possible, en prenant deux sections, l'une avant l'apport des sources des Gillardes, l'autre aux sources, de définir deux bassins versants. (Nous préférons les appeler "Surfaces d'alimentation") :

- surface d'alimentation de la Souloise (surfaces drainées par le torrent aérien)
- surface d'alimentation des Gillardes.

La somme de ces deux surfaces représente donc le bassin versant réel dévoluard. Cette remarque prend toute sa signification dans l'étude de l'hydrodynamique du karst sénonien.

#### - Surface d'alimentation de la Souloise

Les fonds de vallées sont occupés par des formations tertiaires imperméables sur lesquelles coule l'ensemble du réseau hydrographique. Ces terrains constituent l'essentiel de la surface d'alimentation de la Souloise. Avec 54,13 Km<sup>2</sup>, cette zone de drainage aérienne représente 24,76 % de la surface du réel bassin versant dévoluard.

#### - Surface d'alimentation des Gillardes

Si les vallées sont occupées par des sédiments tertiaires imperméables, sur l'ensemble du système montagneux affleurent les

.../...

calcaires sénoniens, certes imperméables par nature, mais très fracturés, dans les quels l'eau est directement absorbée sans aucun ruissellement, pour ressortir, à la faveur de sources karstiques, après un cheminement plus ou moins long. Ces terrains constituent la surface d'alimentation des sources des GILLARDES, avec 164,47 Km<sup>2</sup>, ils représentent 75,23 % de la surface du réel bassin versant dévoluard.

#### - CARACTERISTIQUES DE FORME DES BASSINS VERSANTS

##### a) indice de forme ou de compacité

L'hydrogramme pour une même surface et pour une même pluie dépend de la forme du bassin versant :

- l'indice de forme de la surface d'alimentation de la Souloise

$$K = 0,28 \frac{P^2}{A} = 7,7$$

- l'indice de forme de la surface d'alimentation des sources des Gillardes n'a pas de signification.

##### b) le relief

L'hydrogramme d'un cours d'eau reste dépendant du relief, par le fait que les facteurs météorologiques et hydrologiques sont fonction de l'altitude. Pour rendre compte du relief, nous avons réalisé une carte hypsométrique au 1/20 000e : chaque bande de couleur représente la surface comprise entre deux courbes de niveau de différence altimétrique égale à 100 m. La planimétrie de cette carte visualisant la répartition du bassin versant par tranches d'altitude conduit à établir le tableau comprenant :

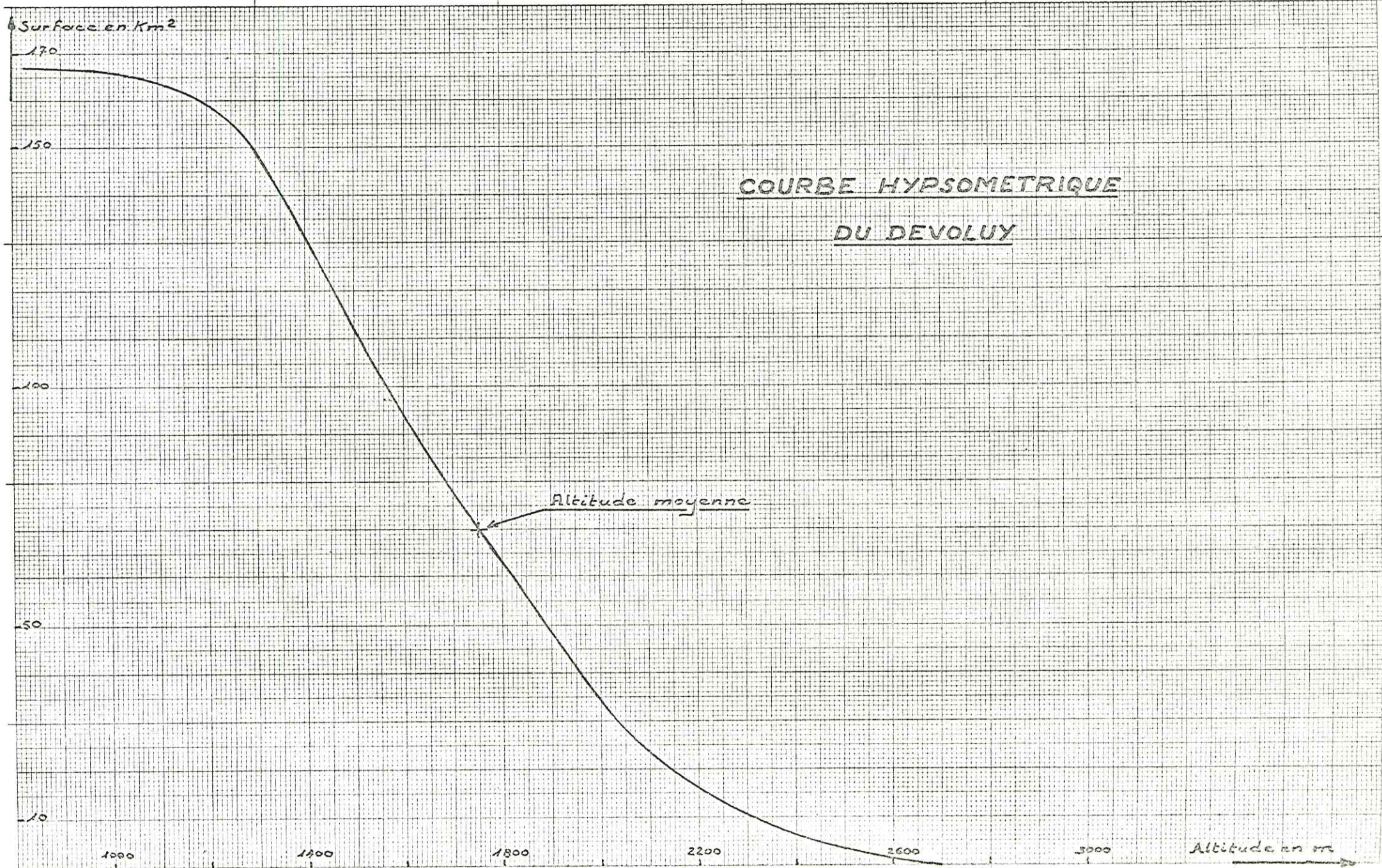
- pour le bassin versant du DEVOLUY, la répartition par tranches d'altitude de la superficie (en Km<sup>2</sup>)
- pour la montagne ouest (Ferrand-Obiou), la répartition par tranches d'altitude de la superficie : en Km<sup>2</sup>, en pourcentage de la surface de la montagne considérée, en pourcentage de la surface du bassin dévoluard.
- pour la montagne Est (Gicon, Féraud, Porel) la répartition par tranches d'altitude de la superficie, en Km<sup>2</sup>, en pourcentage de la

.../...

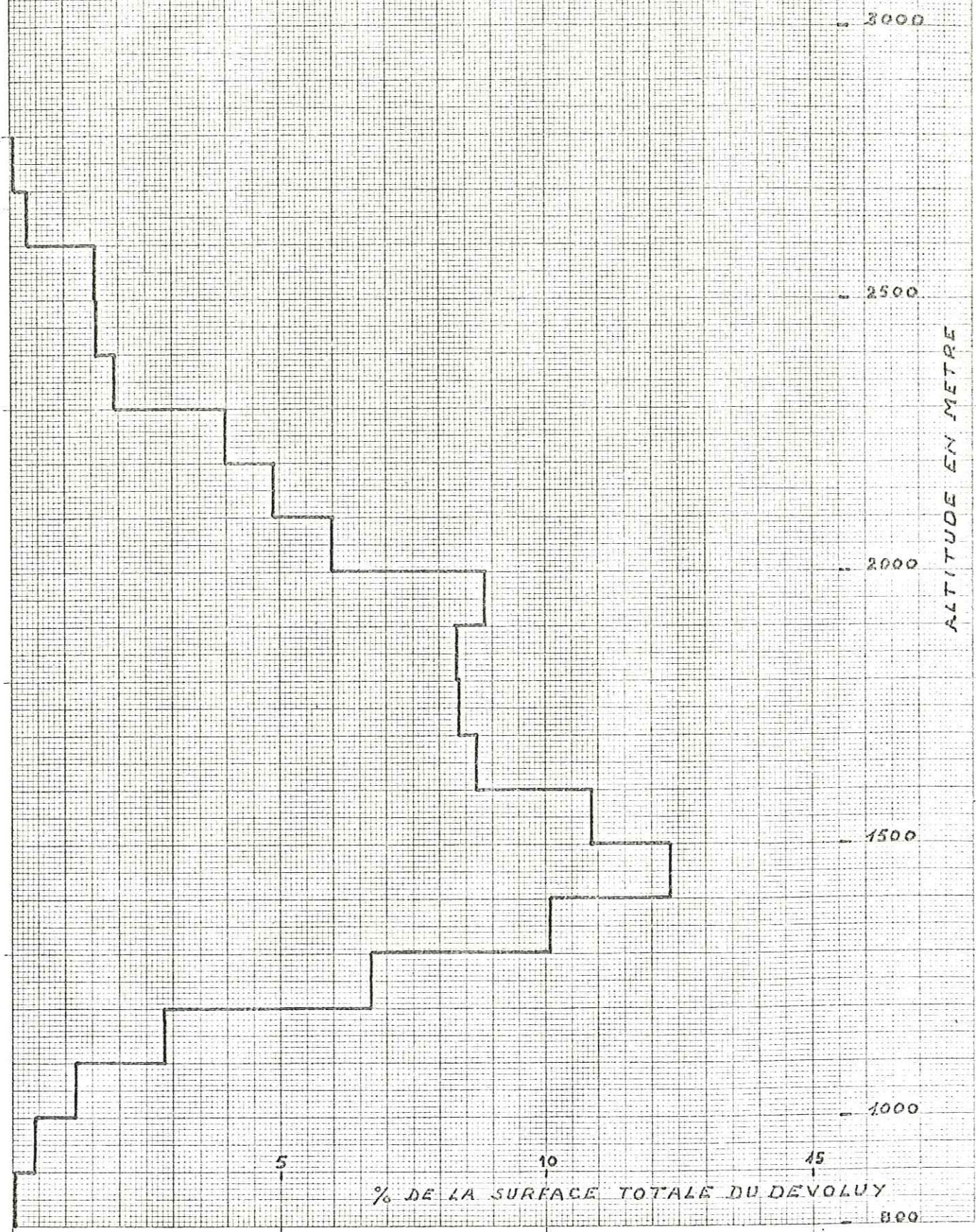
## REPARTITION DE LA SURFACE TOTALE EN FONCTION DE L'ALTITUDE

Altitudes en m.	Montagne du Ferrand-Obiou			Montagne d'Aurouze			Montagne de Gicon-Feraud-Porel			Bassin du Dévoluy	
	Surface en km2	% de la surface totale	% de la surface du DY	Surface en km2	% de la surface totale	% de la surface du DY	Surface en km2	% de la surface totale	% de la surface du DY	Surface Totale en km2	% de la surface du DY
28-2700	0,084	0,129	0,05							0,084	0,05
27-2600	0,296	0,460	0,273	0,255	0,426	0,152				0,55	0,32
26-2500	0,608	0,939	0,558	1,970	1,670	1,172	0,124	0,285	0,073	2,70	1,60
25-2400	1,505	2,326	0,895	0,845	1,411	0,503	0,348	0,800	0,207	2,70	1,60
24-2300	2,729	4,217	1,624	0,873	1,458	0,519	0,756	1,740	0,450	3,30	1,96
23-2200	3,997	6,177	2,379	1,409	2,353	0,838	1,332	3,066	0,792	6,73	4,01
22-2100	4,349	6,721	2,588	1,983	3,312	1,180	1,896	4,364	1,128	8,22	4,90
21-2000	4,381	6,771	2,607	3,405	5,688	2,026	2,276	5,239	1,354	10,11	6,02
20-1900	4,837	7,476	2,879	4,313	7,205	2,567	2,828	6,510	1,683	14,90	8,87
19-1800	5,461	8,440	3,250	4,808	8,032	2,661	3,840	8,839	2,285	14,13	8,41
18-1700	5,062	7,823	3,013	4,615	7,709	2,747	4,462	10,271	2,656	14,12	8,41
17-1600	5,120	7,913	3,047	4,58	7,651	2,726	4,894	11,266	2,913	14,59	8,68
16-1500	5,508	8,513	3,278	7,568	12,642	4,504	5,236	12,053	3,116	18,31	10,90
15-1400	6,984	10,794	4,157	8,492	14,186	5,042	5,288	12,173	3,147	20,86	12,41
14-1300	6,356	9,823	3,783	5,572	9,308	3,316	5,040	11,602	3,000	16,96	10,10
13-1200	4,144	6,404	2,466	4,184	6,989	2,490	2,912	6,703	3,989	11,24	6,69
12-1100	2,009	3,106	1,195	1,600	2,672	0,952	1,220	2,808	0,726	4,32	2,87
11-1000	0,824	1,273	0,490	0,484	0,808	0,288	0,668	1,537	0,397	1,97	1,17
10-900	0,376	0,581	0,223				0,324	0,745	0,192	0,70	0,41
9-800	0,068	0,105	0,040							0,068	0,04
TOTAUX	64,698	100,00	38,510	59,858	100,00	35,629	43,444	100,00	25,860	167,14	100,00



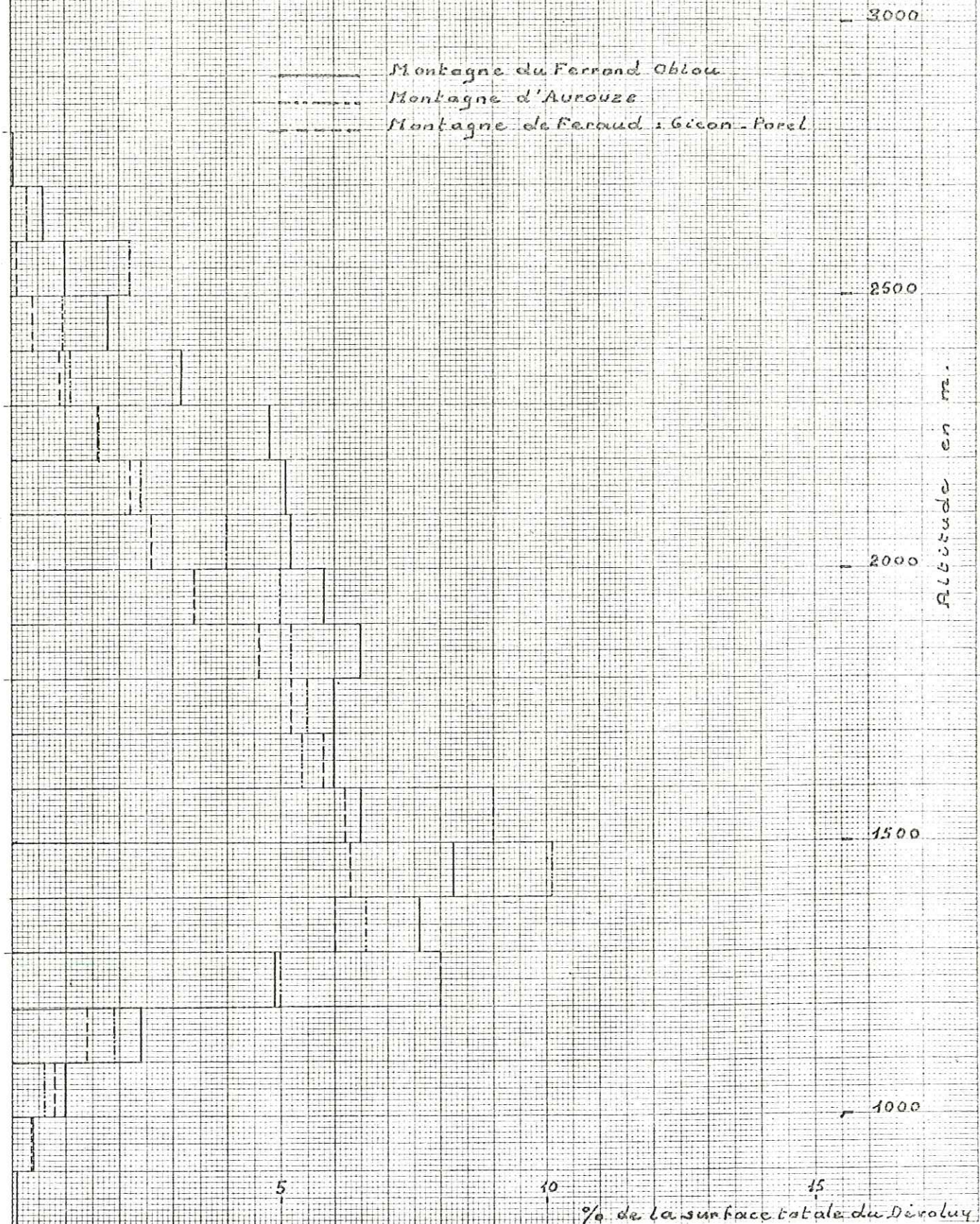


COURBE DES FREQUENCES  
ALTIMETRIQUES DU DY





# COURBE DES FREQUENCES ALTIMETRIQUES



## II - CARACTERES D'ALIMENTATION ET D'ECOULEMENT

### A) PLUVIOMETRIE

#### 1) Buts

L'étude comparative de la pluviométrie d'une part et de la vidanged'autre part, à partir des relevés de la météorologie Nationale et du débit global du bassin versant mesuré par l'E.D.F. montre pour les huit années suivantes :

Années	Vidanges m3/an	apport m3/an
1958	143 908 704	261 600 000
1959	142 251 552	268 140 000
1960	254 568 096	392 400 000
1961	238 315 392	244 160 000
1962	183 369 336	218 000 000
1963	280 934 784	305 200 000
1964	128 329 056	169 600 000
1965	177 339 456	272 500 000
<b>TOTAL</b>	<b>1549 016 376</b>	<b>2131 600 000</b>
-----	-----	-----

Différence en faveur de l'apport : 582 583 624

En principe la perte par évapo-transpiration représente 22,5 %.

Relevons cette valeur particulièrement faible pour ces phénomènes alors que sous nos climats ils représentent en général 40 à 50 % des précipitations. Toutefois, nous nous sommes placé dans des

.../...

conditions plus favorables qu'elles ne le sont peut-être dans la réalité, pour le volume d'eau apporté par la pluviométrie : nous avons effectué les calculs en tenant compte d'un bassin versant géologique de 218 Km<sup>2</sup> au lieu de 160 Km<sup>2</sup> pour le bassin topographique. S'il est réel que le bassin géologique à une surface supérieure, il n'en reste pas moins vrai qu'un certain nombre de Km<sup>2</sup> possède une pente importante qui facilite le ruissellement vers d'autres bassins versants plutôt que l'infiltration dans le bassin géologique du DEVOLUY.

D'autre part, la pluviométrie varie avec l'altitude et les trois pluviomètres de la météorologie nationale sont sensiblement à la même côte (1200 - 1300 m) alors que les surfaces du bassin s'étagent entre 800 m et 2700 m.

A partir de cette constatation, nous nous sommes attaché à rechercher la pluviométrie la plus représentative et pour l'obtenir, déterminer

- la loi de variation de celle-ci en fonction de l'altitude
- la variation de cette loi en fonction du versant
- le contrôle des divers secteurs du bassin versant soumis à des micro-climats

Pour atteindre ce but, il fallait mettre en place un appareillage capable de fournir ces informations.

## 2) Appareillage de mesure

Ce matériel, composé essentiellement de pluviomètres du type "Association", peut être divisé en deux groupes :

- groupe I : de la Météorologie nationale
- groupe II : complémentaire, devant permettre d'atteindre les objectifs précédents.

Le groupe I est composé de trois appareils :

- 2 seaux pluviométriques "type association", surveillés par des bénévoles.  
Détermination de la hauteur d'eau : 10/125 mm.
- 1 pluviomètre précis mécanique du type auget basculeur, totaliseur, surveillé par la Gendarmerie Nationale de St-Etienne en Dévoluy;  
Détermination de la hauteur d'eau : 1/10 mm.

.../...

Groupe II : pour saisir les variations de la pluviométrie suivant l'altitude, nous avons mis au point un pluviomètre du type "auge basculeur", dont l'intérêt est d'être aisément transportable et rapidement mis en station, et que nous décrirons dans "annexe I Instruments de mesures hydrologiques".

Six appareils de ce genre ont été mis en place dans le DEVOLUY.

- 2 pluviomètres enregistreurs,

- 4 pluviomètres totaliseurs.

3) Mise en place des pluviomètres : Outre les facteurs topographiques, les facteurs géologiques et hydrogéologiques devaient conditionner la répartition des pluviomètres, mais le problème de surveillance qui n'a pas pu être réglé correctement, a imposé une répartition pour certains pluviomètres, basée sur des considérations pratiques. Ainsi les seuls pluviomètres placés en altitude s'échelonnent dans la remontée vers le col du Rabou jusqu'à 1850 m.

#### 4) Résultats

Ceux-ci présentés dans le tableau suivant indiquent les valeurs journalières de la pluviométrie. Les premiers résultats concernent un certain nombre de pluviomètres. Pour les autres, les valeurs des précipitations n'ont pu être obtenues, faute d'une surveillance suffisamment suivie des appareils.

#### Interprétation

Nous présentons la répartition de la pluviométrie avec l'altitude, d'après les résultats. Mais il y a lieu, par de nouvelles observations, de la confirmer.

Pour le moment, nous pouvons retenir que la pluviométrie augmente relativement peu avec l'altitude.

Emplacement des pluviomètres :  
du Nord au Sud :

Lieu dit	Coordonnées	Altitude	Type d'appareil	Organisme	Mesure/auget
Ht-Gicon (village)	x 882,8 y 277,22	1 350 m	bascule enregistreur	JL BONHOMME	2,5/10
Malmort (ferme)	x 883,45 y 274,41	1 170 m	bascule enregistreur	JL BONHOMME	2,5/10
St-Etienne en Dy	x 885,5 y 272,34	1 280 m	bascule totalisateur	Météo. nationale	1/10
Agnières en Dy	x 880,78 y 272,2	1 250 m	seau pluvio- métrique	Météo. nationale	-
Truziaud base de la crête de Lieraver	x 887,06 y 271,74	1 588 m	bascule totalisateur	JL BONHOMME	2,5/10
Cypières (village)	x 886,04 y 270,83	1 350 m	seau pluvio- métrique	Météo. nationale	-
Le Festre (col du)	x 879,16 y 269	1 441 m	bascule totalisateur	JL BONHOMME	2,5/10
Jas des Barges bergerie	x 887,97 y 267,52	1 737 m	bascule totalisateur	JL BONHOMME	2,5/10
Rabou (col du)	x 888,78 y 266,83	1 890 m	bascule totalisateur	JL BONHOMME	2,5/10





## B) ÉCOULEMENT VIDANGE

### I. Buts

Les débits de la Souloise mesurés par l'E.D.F. à la station de l'INFERNET représentent la somme des apports de la Souloise et des Sources des Gillardes. Mais il était important de connaître le débit des Sources, afin de déterminer les caractéristiques d'écoulement des eaux du karst et le débit des eaux de surface drainées par le bassin versant du DEVOLUY.

Or il est difficile de calculer directement en continu, le débit de ces sources, car, d'une part, les sources se répartissent sur la rive droite et sur la rive gauche, d'autre part, le lit du torrent auquel elles donnent naissance est peu propice à l'implantation d'un limnigraphe. Par ailleurs, l'erreur que l'on commettrait lors d'une telle mesure est de l'ordre de grandeur du débit de la Souloise, ce qui aurait enlevé toute signification au débit de ce torrent, obtenu par cette méthode.

Il nous a paru, en conséquence, plus intéressant de connaître la part du torrent, quoique faible, en amont des Gillardes, et d'obtenir par différence, l'apport des Sources.

Compte tenu de la station limnigraphique E.D.F. en aval des exurgences et de l'installation d'une station équivalente en amont, nous étions en mesure de déterminer avec une précision acceptable :

- les débits moyens journaliers des Sources des Gillardes, information de base pour l'étude de l'hydrodynamique du karst sénonien.
- les débits instantanés et les débits moyens journaliers pour la Souloise, à l'amont des Gillardes, données qui permettent de déterminer les caractéristiques hydrogéologiques des terrains alimentant la Souloise : formation tertiaire, formation détritique, etc...



## 2. Appareillage de mesure

L'appareil utilisé est du type pneumatique, à enregistrement électrique. Nous avons conçu et réalisé ce limnigraphe afin de tenter de donner un appareillage plus adapté aux mesures de hauteur d'eau en terrain varié. En d'autres termes, il fallait passer des limnigraphes à caractère industriel, qui nécessitent en général pour leur implantation des moyens importants, au limnigraphe de terrain dont la mise en place soit aisée et rapide, quel que soit le lit du torrent. (voir Annexe I Instruments de mesures hydrologiques).

La majeure partie de l'appareil est implantée sous le pont des Jouves. La prise de pression est dans le lit de la Souloise, le matériel électronique et enregistreur et le générateur d'air, sous une des arches du Pont. L'équipement est complété par une passerelle pour les opérations de jaugeage au moulinet, et qui reçoit le vase à "charge constante" nécessaire lors des jaugeages chimiques, à hautes et moyennes eaux.

## 3. Mise en place des stations hydrométriques

### Station de l'INFERNET (E.D.F.)

Cette station, dont les coordonnées sont les suivantes :

$$x = 882,16$$

$$y = 280,23$$

$$z = 820,52 \text{ m}$$

est implantée en aval des Sources des Gillardes, au lieu dit "L'Infernet" et contrôle les apports de la Souloise à la retenue E.D.F. du SAUTET, dont l'alimentation principale est représentée par le DRAC. Bien que le Barrage fut mis en service au cours de l'année 1938, les plus anciens relevés de débit datent de 1952.

### Station du Pont des Jouves

Le limnigraphe a été installé à la hauteur du Pont des Jouves. En effet, les apports d'eau supplémentaires entre le Pont des Jouves et les sources des Gillardes sont négligeables vis-à-vis

du débit de la Souloise dans cette section. D'autre part, la nécessité d'une section correcte et la nécessité d'énergie électrique ont pu être satisfaites en ce lieu.

Les coordonnées de la station sont les suivantes :

$$x = 881,86$$

$$y = 276,80$$

$$z = 1\ 019,10\text{ m}$$

#### 4. Exploitation d'une station hydrométrique

##### a) Mesure des hauteurs d'eau

Le débit du torrent variant dans le temps, la détermination de son régime nécessite la connaissance de celui-ci à chaque instant. Il est pratiquement impossible d'effectuer des jaugeages en continu. Afin de palier cette difficulté, on détermine expérimentalement la loi qui relie les hauteurs d'eau au débit : en conséquence, on est ramené à des mesures de hauteur d'eau. La loi  $Q = f(h)$  s'obtient par une série de jaugeages réalisés pour des hauteurs d'eau différentes (jaugeage au moulinet, jaugeage chimique).

##### b) Le jaugeage

Le régime de ce torrent est essentiellement turbulent en hautes et basses eaux sur l'ensemble de son cours ; néanmoins, lors des basses eaux, dans les gorges à l'aval du Pont des Joves, le régime est à peu près laminaire et les conditions pour un jaugeage chimique dans l'ensemble peu favorables (mauvais brassage).

En conséquence, pour déterminer la relation  $Q = f(h)$ , nous avons procédé à des jaugeages au moulinet (en basses eaux) et par voie chimique (moyennes et hautes eaux).

#### Jaugeage au moulinet

##### a. Matériel de jaugeage

Petit moulinet A.OTT 10.152, n° 16 333, monté sur perche de  $\varnothing = 9\text{ mm}$

### b. Procédé de jaugeage

- bords relativement parallèles (d = 2,5 m)
- parcours rectiligne  $\approx$  40 m
- profil : aussi constant que possible

jaugeage sur passerelle à l'aide d'une perche (5m). Les emplacements des verticales sont matérialisés par des encoches distantes de 0,30m. Sur une verticale, les points de mesure des vecteurs vitesse ont été déterminés de 0,20 m en 0,20 m.

### Jaugeage chimique

Cette méthode sera quelque peu développée car nous avons expérimenté un nouvel appareillage permettant la détermination rapide, sur le terrain, du débit recherché.

Trois jaugeages ont été ainsi effectués.

### METHODE DE DUMAS

Principe : Dans le cours d'eau, on injecte, à débit constant "q" une solution de concentration C d'un produit chimique. L'eau du torrent de débit "Q" dilue la solution et donne un mélange homogène dont on détermine la concentration "c".

Le débit du torrent s'exprime par la relation :

$$Q = q \frac{C}{c}$$

avec

Q débit du torrent en l/s

q débit d'injection en l/s

C concentration de la solution injectée en g/l

c concentration du mélange en g/l

Mode opératoire : On utilise actuellement couramment la bichromate de soude, compte tenu de ses avantages multiples : facilement soluble, absence presque totale et stabilité dans les eaux naturelles,

même en présence de la lumière ou de produits organiques. D'autre part, le dosage du chrome est réalisé avec une bonne précision en très faible concentration. De plus, son prix de revient reste acceptable.

Alors que le colorant donne dans l'ensemble toute satisfaction au niveau de son utilisation sur le terrain, il reste que l'analyse des échantillons prélevés, en laboratoire, représente une manipulation longue et qui, de plus, doit être conduite avec soin. D'autre part, les précautions à prendre sur le terrain doivent être suivies scrupuleusement, ce qui entraîne presque obligatoirement la mobilisation d'une équipe de plusieurs personnes.

Dans le but d'éviter la partie laboratoire et de réduire au minimum le personnel sur le terrain, nous avons effectué les jaugeages chimiques avec un matériel ionométrique pour la détection de la concentration du mélange dans la section de prélèvement, le matériel d'injection restant le même que celui habituellement utilisé.

#### Description du matériel ionométrique

Il se compose essentiellement de deux éléments :

- une électrode spécifique d'un ion, associée ou non avec une électrode de référence.
- un ensemble électronique qui transmet les informations, fournies au niveau des électrodes, à un galvanomètre dont l'échelle est logarithmique.

L'électrode spécifique utilisée est celle du Fluor, pour ses propriétés de sélectivité (d'après le constructeur).

La concentration du mélange est déterminée in situ, en plongeant l'électrode spécifique du fluor dans les eaux du torrent, au lieu où auraient été effectués les prélèvements. La valeur de la concentration est obtenue par lecture directe sur le cadran du ionomètre, préalablement taré.

## Jaugeage chimique par détection ionométrique

### 1. Point d'injection

Le point d'injection a été choisi au Pont des Jouvès (emplacement de la prise de pression du limnigraphe), compte tenu que le lit du torrent en aval correspond aux conditions nécessaires à un jaugeage chimique ; d'autre part, nous disposons à cet emplacement du maximum de commodités relatives aux diverses manipulations (réalisation de la solution mère, réglage et vérification du débit d'injection etc...)

### 2. Section de mesure

La section de mesure est déterminée essentiellement par l'obtention de trois paramètres :

- mélange homogène
- absence de piège pour le colorant entre le point d'injection et la section de mesure
- absence d'alimentation supplémentaire entre le point d'injection et la section de mesure.

Deux essais à la fluoresceine ont été effectués à partir du point d'injection (Pont des Jouvès) et ont montré que les conditions de turbulence permettaient d'obtenir un mélange homogène très rapidement et conclure à l'absence de pièges jusqu'au point immédiatement en aval. D'autre part, ces manipulations ont permis de déterminer le temps de passage et le temps d'injection pour obtenir un régime permanent.

Caractéristiques techniques :

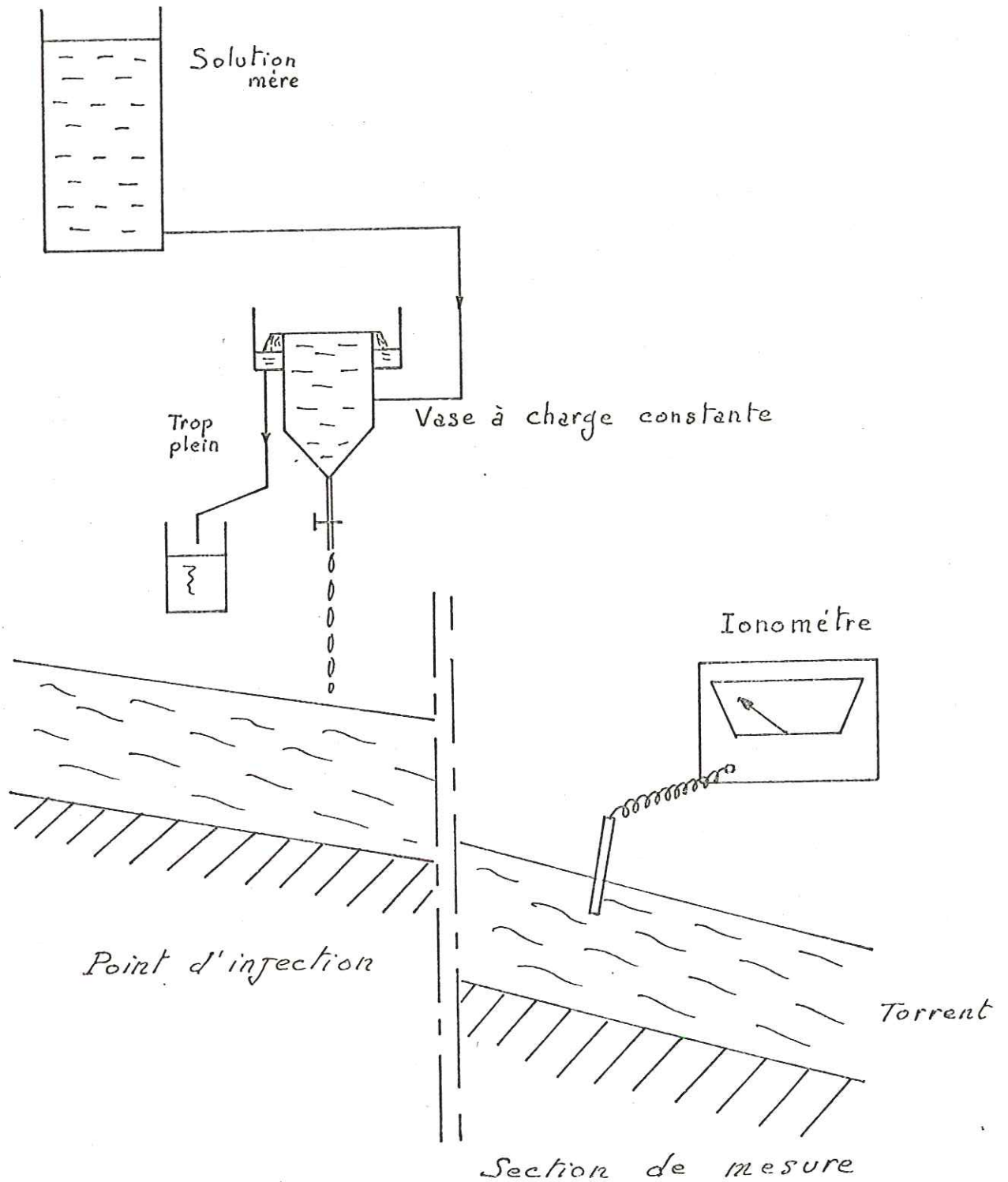
Distance  $S_i - S_m = 300$  m

Temps d'arrivée = 5 mn

Temps de passage pour injection globale de 5l = 6 mn

Durée d'injection pour réaliser un régime permanent = 10 m avec une concentration de  $610^{10}$  γ et un débit d'injection de 30 ml/s.

Schéma du dispositif pour  
Jaugeage chimique avec  
ionomètre



### 3. Préparation de la solution mère

La préparation de la solution initiale dépend d'un certain nombre de paramètres que l'on fixe suivant le débit probable à déterminer, et le matériel dont on dispose sur le terrain, ainsi que la sensibilité des appareillages de mesure. Soit :

- P, poids de fluorure de sodium à dissoudre, en g
- Q, débit du torrent en l/s
- U, titre final à obtenir pour que le dosage soit possible (g/l)
- q, débit d'injection en l/s
- V, volume de la solution mère, en l.

Le poids de fluorure de sodium à dissoudre est lié aux autres paramètres par la relation :

$$P = \frac{Q}{q} \cdot U \cdot V$$

Le récipient utilisé pour contenir la solution mère était un fût de 200 l.

### 4. Dispositif d'injection à Q = ct

L'obtention du débit constant est due à la réalisation d'une charge constante sur un orifice calibré. (voir schéma)

D'autre part, les conditions de turbulence assurant un excellent brassage et la largeur du torrent ( $\approx 2,50$  m) n'étant pas trop importante, nous avons utilisé un point d'injection, la rampe d'injection ne paraissant pas indispensable.

### 5. Prélèvement d'échantillons

Cette méthode d'analyse in situ élimine les prélèvements d'échantillons dans la section de mesure. Mais on ne peut pas éviter les prélèvements de la solution mère (en début et en fin d'injection) à moins de disposer d'un second appareil.

Afin de contrôler les mesures in situ, nous avons procédé parallèlement à celles-ci, à la prise d'échantillons. (voir tableau Jaugeages chimiques)

6. Mesures ionométriques : Etalonnage

Mesures in situ

a) Etalonnage de l'appareil

A partir de solutions préalablement préparées, en laboratoires, on tare l'appareil sur le terrain.

Les solutions réalisées en laboratoire doivent couvrir une gamme assez large de telle sorte qu'elles puissent être en rapport avec les déterminations à effectuer.

b) Mesures in situ

L'électrode étant plongée dans l'eau du torrent, en un point où l'eau circule bien, donc éloigné des berges.

Après le temps d'acclimation de l'électrode au milieu, on détermine la concentration initiale "C<sub>0</sub>" en fluor de l'eau du torrent, concentration qu'il faudra retrancher de celle déterminée pendant l'injection.

Pendant le temps d'injection, on effectue les lectures en fonction du temps. (voir tableau Jaugeages chimiques)



## 7. Dépouillement du jaugeage

Le but à atteindre est d'obtenir la concentration pendant la période du régime permanent.

Cette concentration s'obtient théoriquement par lecture directe sur l'appareil, car, pendant la période du régime permanent, la valeur indiquée doit rester stable. Pour confirmation, on construit la courbe  $c = f(t)$ . (Voir graphique)

Dépouillement des échantillons prélevés : au laboratoire, il a été déterminé sur chaque échantillon :

- la concentration en fluor sur solution prélevée (détermination au ionomètre) F
- la concentration en sodium (détermination au spectromètre de flamme) Na

(voir tableau jaugeages chimiques)

## 8. Résultats

Compte-tenu des valeurs obtenues de 'c', pour les divers jaugeages, nous pouvons déterminer les débits respectifs.

### FLUOR

#### 1er jaugeage

- concentration de la solution mère injectée : C  $6 \cdot 10^6 \gamma/l$
- concentration initiale en fluor de l'eau du torrent  $C_0$   $128 \gamma/l$
- concentration moyenne (du plateau) en fluor de l'eau du torrent pendant l'injection  $C_1$   $231 \gamma/l$
- Débit d'injection  $q_0$   $34 \text{ ml/s}$   
ou  $0,034 \text{ l/s}$

d'où

$$Q_1 = 0,034 \frac{6 \cdot 10^6}{231 - 128} = 1980 \text{ l/s ou } 1,980 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### 2ème jaugeage

- C =  $5,820 \cdot 10^6 \gamma/l$
- $C_0 = 92 \gamma/l$
- $C_1 = 224,8 \gamma/l$
- $q_0 = 0,034 \text{ l/s}$

d'où

$$Q_2 = 0,034 \frac{5,820 \cdot 10^6}{224,8 - 92} = 2560 \text{ l/s ou } 2,560 \text{ m}^3/\text{s}$$

Jaugeages chimiques de la SOULOISE

---

Temps en mn	Echantillons	1er jaugeage		2eme jaugeage	
		F	Na	F	Na
	J 0		2490		2172
	J 00		2490		2172
10	J 10	141	2640	147	2290
12	J 12	121	2700	110	2310
14	J 14	112	2660	118	2360
16	J 16	113	2650	118	2360
18	J 18	123	2640	111	2360
20 G	J 20 G	120	2630	112	2360
20 D	J 20 D	108	2630	110	2400
22	J 22	113	2630	110	2380
24	J 24	120	2600	116	2370
26	J 26	118	2590	118	2380
28	J 28	102	2560	111	2362
30 G	J 30 G	112	2570	100	2385
30 D	J 30 D	117	2560	108	2390
32	J 32	114		94	2370
34	J 34				
36	J 36			109	2330
38	J 38			104	2370
40	J 40			112	2380
42	J 42			100	2380
44	J 44			110	2365
46 G	J 46 G			99	2400
46 D	J 46 D			110	2380

Les valeurs portées dans ce tableau sont exprimées en gamma / litre.

Concentration  
en g/l

# Jaugeage chimique (FLUOR)



SODIUM1er jaugeage

- C = 6,830.10<sup>6</sup>γ/l
- C<sub>o</sub> = 2490γ/l
- C<sub>1</sub> = 2610γ/l
- q<sub>o</sub> = 0,034l/s

d'où

$$Q_1 = 0,034 \frac{6,830.10^6}{2610-2490} = 1935,17 \text{ l/s ou } 1,935 \text{ m}^3/\text{s}$$

2ème jaugeage

- C = 6,930γ/l
- C<sub>o</sub> = 2200γ/l
- C<sub>1</sub> = 2362γ/l
- q<sub>o</sub> = 0,034 l/s

d'où

$$Q_2 = 0,034 \frac{6,930.10^6}{2362-2200} = 1454 \text{ l/s ou } 1,454 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le calcul des débits respectifs du 1er jaugeage et du 2eme jaugeage par détermination de la concentration en fluor puis en sodium donne des résultats semblables pour chacun d'eux. Ce qui nous permet de retenir les valeurs des débits ainsi déterminés.

Toutefois nous pouvons constater que les jaugeages, par détermination de la concentration en fluor ou en sodium sont sujets à de grossières erreurs dues essentiellement au fait que C<sub>1</sub> et C<sub>o</sub> sont du même ordre de grandeur et que d'autre part C<sub>o</sub> varie dans de très fortes proportions et rapidement.

Ex : en 2 heures, C<sub>o</sub>F passe de 152γ/l à 128γ/l.

9. Critique de la méthode

Ce n'est évidemment pas le jaugeage chimique que nous entendons passer au crible. Cette méthode de jaugeage a fait ses preuves et représente à l'heure actuelle l'outil de travail permanent de l'EDF pour le jaugeage des cours d'eau à régime torrentiel. C'est simplement sur l'utilisation du ionomètre et du traceur qui lui est associé, le fluor, que nous voulons faire quelques remarques.

Ce procédé est, de toute évidence, en première analyse, séduisant, puisqu'il permet d'obtenir pratiquement sur le terrain le débit recherché, et que, d'autre part, l'appareil est extrêmement sensible. Mais tout ceci ne va pas sans contre-parties, du côté de l'appareillage et du traceur.

#### a - l'appareillage

Il est composé d'une électrode spécifique associée à une électrode référence, dont les variations de potentiel sont comparées au sein d'un dispositif électronique, le résultat étant visualisé par un galvanomètre à échelle logarithmique.

L'ensemble électronique est sans aucun doute un fidèle serviteur et il ne réagit qu'en fonction des données qu'on lui fournit (les tests électriques le prouvent).

Mais le système d'électrodes (électrode spécifique, électrode de référence) présente quelques inconvénients au cours des diverses phases opératoires, et tout spécialement entre l'étalonnage et la mesure dans le torrent : l'électrode demande un certain temps d'adaptation pour passer du milieu eau distillée + fluor au milieu eau naturelle + fluor et cette adaptation est parfois très longue (plus d'une 1/2 heure).

D'autre part, passant dans un milieu 'eau naturelle' d'une concentration élevée à une concentration faible, la stabilisation est très lente à obtenir, (parfois plus d'une 1/2 heure) et d'une façon générale, à chaque fois que l'on passe en milieu 'eau naturelle' d'une concentration à une autre même voisine, le temps de stabilisation n'est pas négligeable (8 à 10 mn).

En conséquence, il y a tout lieu de penser que les indications fournies par l'appareil sont en retard dans le temps sur la valeur réelle; ceci n'a en principe pas d'importance puisque l'on recherche la concentration correspondant à un palier. Or, au cours de jaugeages effectués, pour une demi-heure d'injection, les valeurs lues sur l'appareil n'ont cessé de croître, puis de décroître après l'arrêt de l'injection, sans que l'on passe par un palier (alors que le palier obtenu par dépouillement en laboratoire est atteint en 12 mn maximum).

En conséquence, il paraît nécessaire d'étendre le temps d'injection.

On pourrait aussi déterminer le temps de retard, afin d'en tenir compte, pour une eau naturelle donnée; mais il n'est pas impossible que ce temps de retard varie d'une eau naturelle à une autre. Nous pensons qu'il serait souhaitable de procéder à toutes ces vérifications avant de poursuivre avec cet appareillage.

#### b - le traceur

L'eau naturelle contient une quantité non négligeable de fluor, ce qui est d'entrée un inconvénient. Ce fait s'aggrave dans la mesure où les rejets domestiques contiennent eux aussi des quantités certaines de fluor. Et comme il serait très onéreux, et dangereux de travailler avec de très fortes concentrations, l'erreur commise de cette façon sur la concentration relevée dans la section de mesure peut aller jusqu'à enlever toute signification au débit ainsi déterminé.

Notons que le constructeur met à notre disposition d'autres électrodes spécifiques... (Iode... etc...) mais l'inconvénient signalé ci-dessus reste le même.

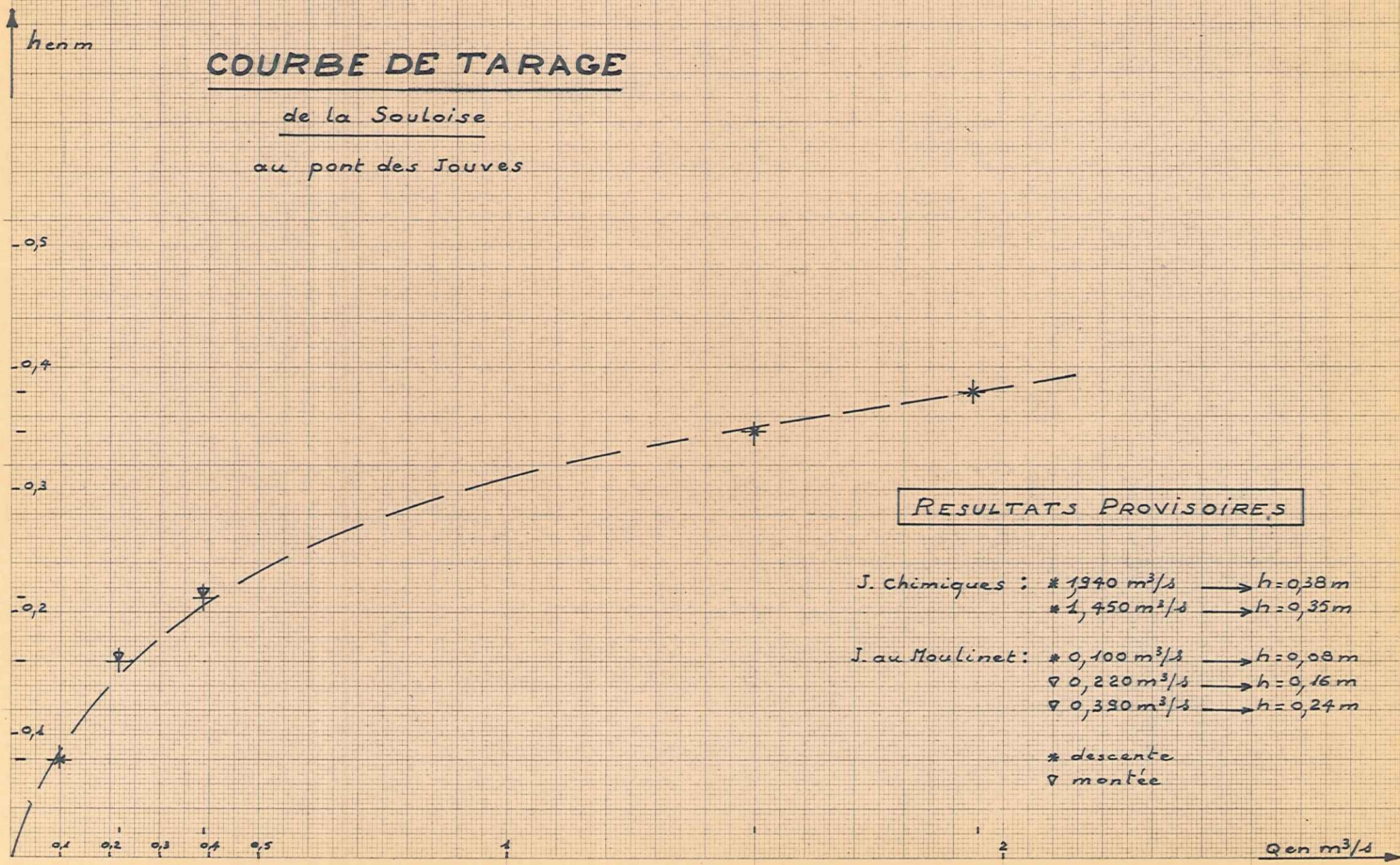
#### 10. Conclusion

Les débits obtenus, par dépouillement en laboratoire, sont sensiblement les mêmes par détermination de la concentration en fluor ou en sodium, ce qui permet de retenir les valeurs comme acceptables.

L'utilisation du ionomètre sur le terrain ne semble pas convenir, compte-tenu de l'inertie de l'électrode et de l'absence de références facilement utilisables. D'autre part, les traceurs utilisables sont peu recommandables, compte-tenu de leur présence en concentration notable dans l'eau naturelle, et de la formation de complexes possibles. Néanmoins, la voie reste ouverte pour les recherches, et si elles aboutissent, elles permettront de gagner un temps considérable et par là, permettront aux travaux hydrologiques et hydrogéologiques une plus grande efficacité.

:--:--:--:~:--:







### C) Exploitation des jaugeages (courbe de tarage)

La courbe de tarage  $Q = f(h)$  que nous présentons est donnée à titre indicatif et doit être confirmée par des déterminations complémentaires. Le nombre de jaugeages effectués reste insuffisant pour considérer ce travail comme définitif. La section étant susceptible de variation, il n'est pas impossible de constater pour le même débit des hauteurs d'eau différentes.

### D) Exploitation de la courbe de tarage en fonction des hauteurs d'eau. Débit de la Souloise

La variation de la hauteur d'eau de la Souloise est enregistrée par un limnigraphe depuis le 1/8/71, L'appareil n'ayant pu être mis au point avant cette date. Si l'ensemble de la chaîne de mesure donne satisfaction, nous avons eu plusieurs ennuis avec la prise de pression. Celle-ci, bien que scellée et pitonnée dans le rocher, a été plusieurs fois détériorée par le torrent, ce qui a entraîné des périodes d'enregistrement sans que l'on puisse avoir connaissance de la référence.

Compte-tenu de l'imprécision de la courbe de tarage et de l'absence par moment de référence pour la détermination des hauteurs d'eau, il nous a semblé préférable d'attendre la confirmation de la courbe de tarage pour calculer les débits moyens journaliers. Malgré tout, nous avons essayé de déterminer au mieux l'influence du débit de la Souloise sur le débit mesuré à l'Infernet (Souloise + Gillardes)

#### ETE - AUTOMNE

A° En période non influencée par la pluviométrie, le débit de la Souloise représente de 3 à 5 % du débit total (Souloise + Gillardes)

B° En période influencé, par la pluviométrie, le débit de la Souloise peut représenter pendant quelques heures de 20 à 30 % du débit total, mais une crue de la Souloise passe en 8 et 10 h, ce qui représente sur le débit moyen journalier un APPORT de l'ordre de 10 %, sur le torrent.

### HIVER-PRINTEMPS

Surtout pendant les mois de mars, avril, mai, le débit de la Souloise peut être une partie importante du débit total, de l'ordre de 20 à 30 %.

En conclusion, nous pouvons retenir que les débits enregistrés l'été et l'automne à l'Infernet représentent ceux des Gillardes, mais par contre, l'hiver et surtout au printemps, ils sont influencés par les apports dus à la Souloise. En conséquence, pour l'étude du tarissement des sources des Gillardes, nous exploiterons essentiellement les hydrogrammes enregistrés l'été et l'automne.

### III - CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES ET REGIME DES EAUX

Le régime climatique reste celui rencontré généralement dans les Alpes du Sud : hivers secs et rigoureux (hormis les précipitations neigeuses), et étés le plus souvent dénués de pluviométrie mais accompagnés de pluies courtes mais de forte intensité, qui s'accroissent en automne. Le printemps peut être pluvieux mais reste marqué par la fusion de la couverture neigeuse.

Ce climat conditionne le régime des eaux : régime du type nivopluvial à deux maxima, l'un au printemps, l'autre en automne, et entre les deux un étiage principal en été (généralement en Août) et un étiage secondaire en hiver (janvier - février)

oooooooooooo

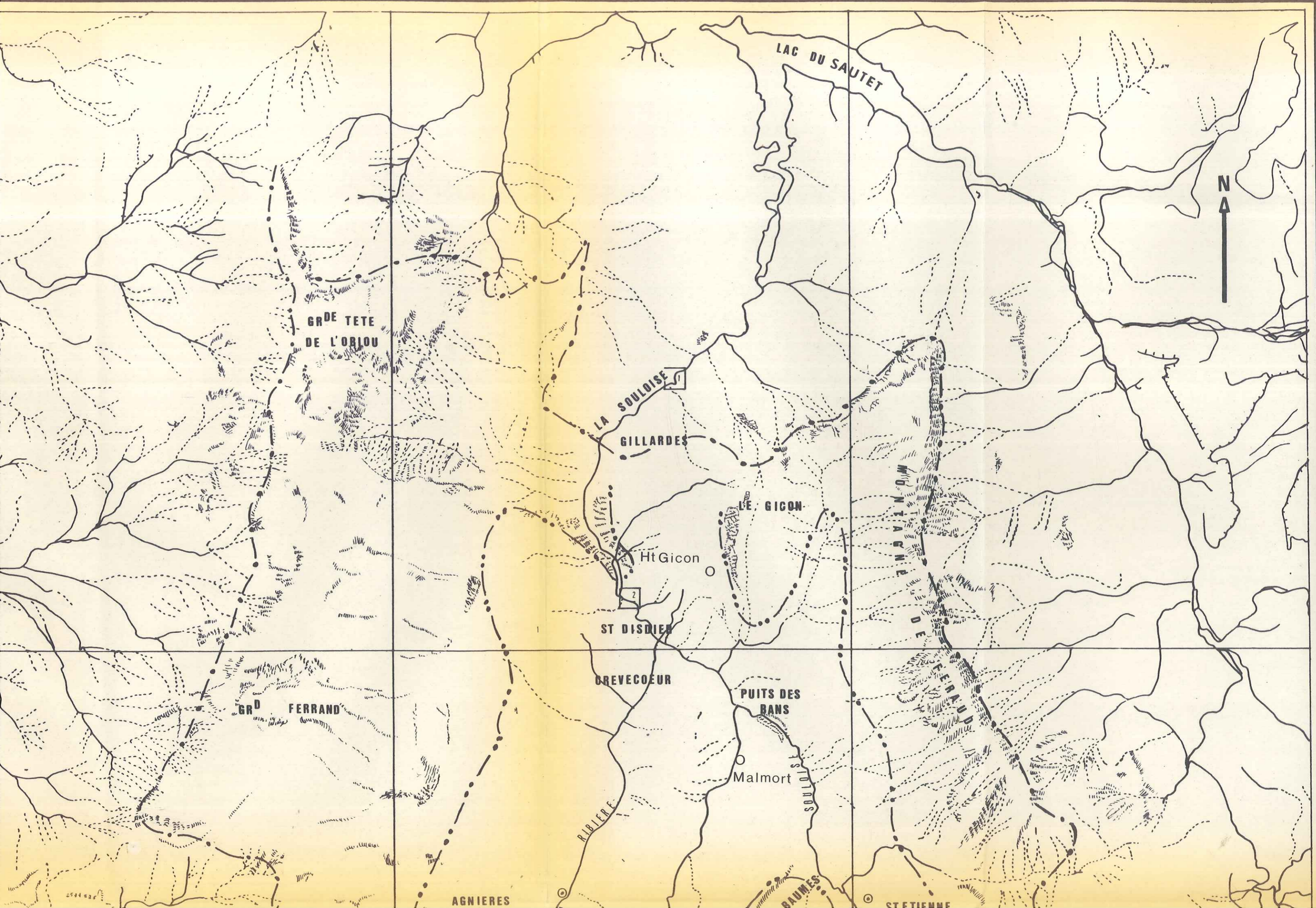
CARTE HYDROLOGIQUE

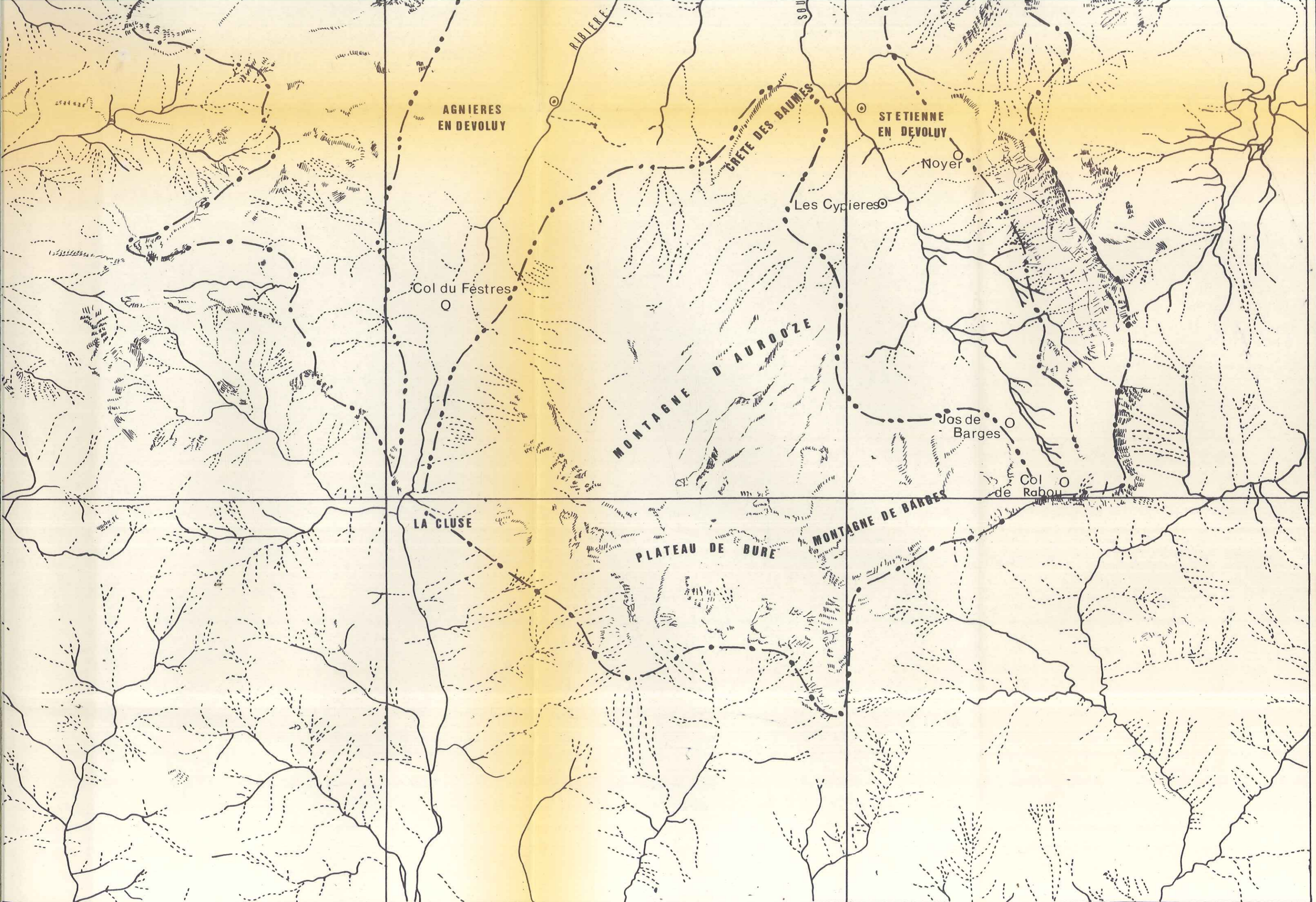
---

Légende

- PLUVIOMETRE ENREGISTREUR
- ⊙ PLUVIOMETRE DE LA METEOROLOGIE NATIONALE
- PLUVIOMETRE TOTALISATEUR
- 1 STATION DE L'INFERNET : LIMNIGRAPHE
- 2 STATION DU PONT DES JOUVES : LIMNIGRAPHE

oooooooooooo





AGNIERES  
EN DEVOLUY

ST ETIENNE  
EN DEVOLUY

Noyer

Les Cyprières

Col du Féstres

MONTAGNE  
D'AUROOZE

Jos de  
Barges

Col  
de Rabou

LA CLUSE

PLATEAU DE BURE

MONTAGNE DE BARGES

CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES  
DES  
CALCAIRES SENONIENS

CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES  
DES  
CALCAIRES SENONIENS

I - LE NIVEAU D'ARRÊT	83
II - STRUCTURE DE LA ROCHE MAGASIN	85
1) Forme globale	
2) Les accidents	
3) Conclusion	
III - LA ROCHE MAGASIN	88
III-I CONDITIONS DE PENETRATION DE L'EAU DANS LES CALCAIRES	88
A - CONDITIONS GENERALES	88
1) Conditions lithologiques	
2) Conditions topographiques	
3) Conditions climatiques et évolution du karst	
B = CONDITIONS PARTICULIERES DE PENETRATION	94
1) Lapiaz	94
2) Chourums (gouffres)	95
a. historique spéléologique	
b. travaux spéléologiques	
c. inventaire des chourums	
d. genèse des chourums	
e. apport de l'exploration des chourums à la connaissance du karst	
3) Dépressions fermées	111
4) Vallées sèches et pertes	113
III-II CONDITIONS D'EXURGENCE DE L'EAU	113
A - PRESENTATION GENERALE DES EXURGENCES	113
B - REPERTOIRE DES EXURGENCES	114
C - ETUDE DES EXURGENCES	117
1) Les grottes (Baumes) - Exurgences fossiles	117
2) Système Crèvecoeur - Puits des Bans	118
a. Le Puits des Bans	119
1° Historique et apports des travaux des prédécesseurs.	
2° Etudes et travaux spéléologiques et hydrogéologiques	
b. La Fontaine de Crèvecoeur	130

c.	Données hydrogéologiques relatives au système Puits des Bans - Crèvecoeur	130
	1° Données géologiques	
	2° Données hydrologiques	
3)	Les Gillardes - Exurgences permanentes	138
a.	Etude géologique du site des Gillardes	139
	1° Cadre de l'étude	
	2° Stratigraphie - Lithologie	
	3° Tectonique	
b.	Interprétation hydrogéologique des exurgences des Gillardes	146
III-III	CONDITIONS DE CIRCULATION DE L'EAU DANS LES CALCAIRES	147
A-	GENERALITES	147
B-	RIVIERE SOUTERRAINE OU EAU DE FOND	148
C-	CONCLUSION	151
	1) Localisation	
	2) Alimentation	
	3) Circulation - Vidange	



## I - LE NIVEAU D'ARRET

La définition et la localisation du substratum imperméable du karst reste un problème auquel il est difficile de donner une réponse précise. Les calcaires du sénonien ont transgressé une surface morphologique variée sur laquelle affleuraient des horizons du jurassique et du crétacé inférieur ; on peut observer en suivant la bordure de la cuvette dévoluarde, divers horizons s'enfilant sous le sénonien :

Le sénonien sur la bordure Nord recouvre des formations s'étageant du tithonique à l'Albien-Aptien, sur la bordure Est du Valanginien au Turonien, ainsi que sur la bordure Sud ; et pour la bordure Ouest, du Kimmeridgien à l'Albien-Aptien.

En conséquence, la masse de calcaire sénonien repose tout à la fois sur des horizons que l'on peut qualifier de perméables et d'imperméables. On pourrait donc conclure au fait que le karst ne possède pas un horizon d'arrêt continu et que, dans certains secteurs, les eaux du karst sénonien peuvent transiter dans d'autres formations perméables, par exemple, le calcaire tithonique. En réalité, les contacts sénonien-tithonique observables sont peu nombreux, au total 2 et les surfaces de contacts fort réduites.

Il est pensable que les formations perméables situées juste au-dessous du sénonien dans la série stratigraphique constituent avec celui-ci un système aquifère unique : Turonien, Cénomaniens (calcaire) voir même les formations de l'Albien Aptien (grès et marnes avec intercalations de lits gréseux dans la mesure où elles peuvent être convenablement fracturées) puis les calcaires de la barre suburgonienne, l'horizon imperméable se situant au niveau du Barrémien-Hauteriviens, - Valanginien - Berriasien (marno-calcaires et marnes).

Si cette déduction peut paraître logique, compte-tenu des connaissances actuelles, il reste que, sur 170 km<sup>2</sup>, le Sénonien cache les affleurements de la série du Jurassique supé-

rieur et du Crétacé inférieur.

### Conclusion

Dans l'état actuel des connaissances, s'il reste impossible de préciser exactement l'horizon d'arrêt des eaux du karst, on peut admettre comme jouant ce rôle, les formations marnes et marno-calcaires du Crétacé inférieur. D'autre part, on peut admettre que les calcaires du Turonien et du Cénomaniens participent au système karstique sénonien. Ceci peut sans doute s'étendre jusqu'au calcaire de la barre suburgonienne, à la faveur du contexte géologique.

En ce qui concerne une communication éventuelle avec les calcaires du tithonique, elle n'est pas à rejeter, mais reste à démontrer.

oooooooooooooooooooo

## II - STRUCTURE DE LA ROCHE MAGASIN

Il importe de dégager tout d'abord la forme dans l'espace occupée par les calcaires puis de souligner les accidents majeurs qui peuvent modifier localement les conditions structurales d'ensemble.

### 1) FORME GLOBALE

Si la tectonique tend à montrer le DEVOLUY comme étant un vaste synclinal perché d'axe N.S., soulignons que cet axe est ployé dans un plan vertical et que de ce fait, les couches sont redressées tant au Nord qu'au Sud.

En conséquence, en parcourant la bordure du DEVOLUY, on voit plonger les couches vers l'intérieur.

La structure d'ensemble des calcaires sénoniens est donc celle d'une vaste cuvette allongée N.S. (brachysynclinal) fermée, légèrement basculée vers le Nord, déformée dans sa partie Sud par un large bombement.

Si cette architecture est dans son ensemble bien conservée, elle présente deux points surbaissés dans sa bordure, à savoir la zone de la ~~la~~ Encluse et le défilé de la Souloise qui sectionne la paroi Nord du DEVOLUY.

D'autres accidents affectent la bordure de cette vaste cuvette, nous les avons signalés dans la tectonique, mais il ne semble pas qu'ils puissent limiter le rôle hydrologique joué par cette structure. Par contre, l'intérieur recelle des fractures qui, sans aucun doute, modifie l'hydrologie souterraine imposée par la structure de base.

## II - LES ACCIDENTS

Deux réseaux de fractures sillonnent le DEVOLUY : l'un de direction N.S à N.NE - S.SW, l'autre de direction plus constante, N.NW - S.SE. Ceux-ci sont inégaux tant en densité de

fracture qu'au point de vue de leur envergure. Le réseau N.S à N.NE - S.SW est nettement prédominant et joue un rôle de premier ordre.

#### Le réseau de failles N.S. à N.NE - S.SW

Cet ensemble de fractures entraîne deux modifications de la structure d'ensemble du coeur de la cuvette.

Le système de failles au Nord de St-Etienne en Dévoluy : essentiellement la faille de la crête de Baume décroche vers le bas la partie Nord, au profit d'une surélévation relative de la partie Sud.

Le système de failles N.S issues du St-Gicon se prolonge jusque dans la montagne d'Aurouze. C'est sans aucun doute un axe important qui conditionne l'hydrologie souterraine.

#### Le réseau de failles N.NW - S.SE

Celui-ci ne modifie pas l'architecture générale de la cuvette. Néanmoins, il prend quelque vigueur dans la partie Nord du Dévoluy (secteur des Sources des Gillardes). Ces fractures sont autant de drains où cheminent les eaux d'infiltration.

#### De la faille à la fissure

Ces deux réseaux de failles sont accompagnés de tout un cortège de fractures parallèles à leur direction principale : fractures d'envergure inégale qui se placent entre la faille et la fissure, en passant par la diaclase. Ces accidents sont de profondeur variable et possèdent une extension de plusieurs kilomètres ou de quelques mètres.

Ces deux réseaux de direction différente se coupent et donnent naissance à des zones hachées là où le nombre de fractures relatif à chaque direction est important.

Si le développement longitudinal et le rejet de ces accidents est assez repérable, il en est tout autrement du développement en profondeur. Dans ce domaine, seules les explorations spéléologiques apportent quelques informations. Il est peu douteux que les accidents importants affectent l'ensemble de la masse sénonienne et même au-delà : ils s'amortissent dans le crétacé inférieur. Les failles de moindre amplitude et les diaclases ont un développement en profondeur, pour certaines, de l'ordre de 300 à 400 m, ce qui peut être constaté lors de l'exploration des chourums et il n'est pas impossible qu'elles se poursuivent au-delà.

D'autre part, ces fractures se développent le plus souvent suivant des plans parallèles à des niveaux successifs. On rencontre par exemple, dans un gouffre, une fracture de départ qui se développe suivant une centaine de mètres de profondeur, puis on passe, par l'intermédiaire d'une fracture locale, orthogonale, ou d'un joint de stratification à une fracture parallèle à la première et pouvant également se développer sur quelques centaines de mètres de profondeur. Ces accidents qui, dans l'ensemble, sont rectilignes, restent plus ou moins sinueux dans le détail.

#### CONCLUSION

On peut retenir que la structure d'ensemble reste bien conservée. Celle-ci, en forme de cuvette, offre une condition particulièrement favorable du point de vue de la "focalisation" des eaux d'infiltration. La présence de failles dont le rejet est important laisse envisager la possibilité d'unités hydrogéologiques séparées mais non indépendantes.

## III - LA ROCHE MAGASIN

III - I - CONDITIONS DE PENETRATION DE L'EAU DANS LES CALCAIRESA- CONDITIONS GENERALES1) Conditions lithologiquesa. Rappel et complément sur la lithologie

La série sénonienne, exposée dans le chapitre Stratigraphie, donne une idée d'ensemble de ces formations sans entrer dans le détail. Il importe maintenant de la saisir le mieux possible ; pour cela et, avant tout, il faut avoir présent à l'esprit que le sénonien est transgressif et qu'il a été profondément érodé avant et après le dépôt du tertiaire.

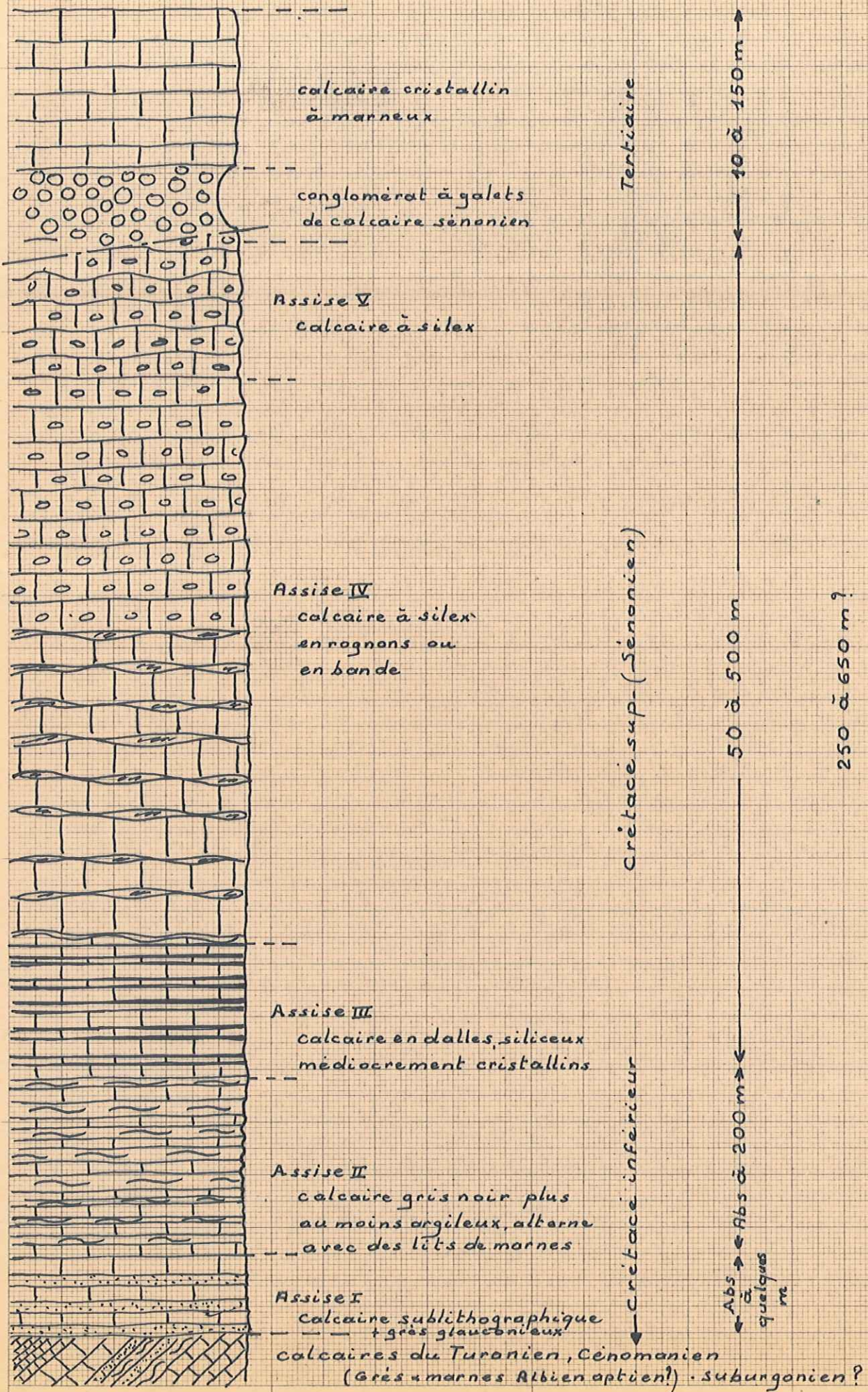
En conséquence, la base (Assises I et II) et le sommet (assises V et VI) de la série présentent des variations d'épaisseur suivant les secteurs. Par contre, les assises intermédiaires III et IV conservent une extension géographique assez constante en puissance. Notons toutefois que l'assise III peut être localement fortement entamée. Nous groupons dans le tableau "Lithologie du Sénonien" la répartition des divers horizons suivant les secteurs.

Aux calcaires sénoniens, il faut associer comme faisant partie du même système hydrologique, les premiers horizons de la série tertiaire, pudingues de base et calcaire nummulitique, dans le cas où le reste de la série a été décapé, ainsi que les horizons de calcaire du crétacé inférieur sur lequel ils peuvent reposer : Turonien ... Cénomaniens, barre suburgonienne.

b. facteurs lithologiques essentiels pour l'hydrogéologie karstique

Un calcaire compact reste imperméable. Le facteur essentiel du

# HORIZONS DU KARST



point de vue de l'hydrogéologie karstique est tout d'abord sa fracturation et en complément une grande pureté qui le rend plus karstifiable. Compte-tenu de ces facteurs maintenant connus, nous donnerons les critères essentiels de karstification des divers horizons.

Les divers horizons qui constituent le karst sont loin de présenter une réelle homogénéité. Il suffit pour s'en rendre compte de consulter le log stratigraphique du karst sénonien.

La fracturation découle essentiellement de la tectonique, les fissures intraformationnelles dues à la diagénèse étant pratiquement inexistantes ; d'autre part, les conditions de dépôt ont été telles que les joints de stratification sont extrêmement imperméables, sauf dans les secteurs tectonisés. Ces remarques se rapportent surtout aux assises III, IV et V de la série sénonienne. Le caractère de fracturation de l'assise II est tout à fait différent. Ces calcaires possèdent comme les autres des cassures d'ordre tectonique, mais l'ensemble de sa masse est finement fracturée et les joints sont très décollés ; c'est pourquoi nous avons un ensemble fissuré extrêmement perméable.

Les formations tertiaires, pudingues et calcaires nummulitiques, affectées par la tectonique, sont le siège de dislocations analogues. De plus, les microfissures sont dans certaines zones, inexistantes et au contraire, dans d'autres, relativement abondantes. Ceci s'explique par les variations de faciès.

Pour les horizons calcaires du crétacé supérieur, non sénonien, et du crétacé inférieur, il est difficile de se prononcer car ce qui est vrai à l'affleurement est peut être différent en tout point sur les 170 km<sup>2</sup> recouverts par la carapace sénonienne.



## 2) Conditions topographiques

L'installation et le développement d'un karst sont associés à deux facteurs essentiels : facteur de pénétration et facteur de circulation. Ces conditions sont actuellement les suivantes :

### a. facteur de circulation

La circulation de l'eau est due à la gravité. En conséquence, plus la différence d'altitude entre les zones d'absorption et d'exurgence sera importante, plus le moteur de la circulation sera puissant.

Le calcaire du karst affleure au DEVOLUY entre 1500 m et 2700 m. La zone d'exurgence est à la côte 870 et 875 m. Cette disposition offre un dénivelé minimum de 600 m et un maximum de 1800 m environ.

### b. facteur de pénétration

Seule la chaîne de Féraud - Crête de Porel présente un flanc dont la pente est bien accentuée et qui de ce fait favorise le ruissellement au détriment de l'infiltration. Par contre, pour la chaîne du Ferrand-Obiou, la montagne d'Aurouze et le plateau de Bure, le contexte est bien différent : le plateau de Bure présente les conditions topographiques de loin les plus favorables à une large absorption, compte-tenu de sa surface relativement horizontale. Si la montagne d'Aurouze et la chaîne du Ferrand-Obiou ne peuvent être assimilées à des structures tabulaires à surface plane, leur faible pente moyenne favorise très largement l'infiltration. D'autre part, ces surfaces d'absorption sont situées entre 1500 m et 2700 m d'altitude lorsque la vallée où apparaît les exurgences est comprise entre 1100 m et 800 m d'altitude. Cette disposition favorise ainsi un drainage puissant.

### 3) Conditions climatiques et évolution du karst

Le karst du calcaire sénonien trouve son origine dans la fracturation des calcaires, mais son développement reste fonction des conditions climatiques.

La question que l'on peut se poser est celle de savoir quand et comment commence l'évolution du karst.

La réponse est loin d'être évidente et pour tenter d'apporter une explication plausible, il faut s'appuyer sur l'histoire post-sénonienne de cette région, en ayant présent à l'esprit le fait que la naissance du karst provient de la dislocation du calcaire, comme cela a été mis en évidence précédemment. En conséquence, il est possible de répondre à la question, dans la mesure où l'on peut déterminer l'âge de la fracturation et la période climatique qui a favorisé, à l'origine, le développement des fissures.

Après l'épisode de la mer sénonienne, le DEVOLUY émerge jusqu'à l'éocène supérieur - oligocène : cette période est tout d'abord marquée par une forte érosion, puis par la phase tectonique post-sénonienne responsable des premiers soulèvements, accompagnés de fractures. Un embryon de karst peut s'implanter à partir de cette première dislocation. Or on ne possède pas de preuves. La plus convaincante serait d'observer des formes ou structures karstiques comblées de matériaux tertiaires, mais jusqu'à ce jour, il ne nous a pas été possible d'en observer.

Cette phase orogénique introduit une discordance de la série tertiaire marine sur le sénonien ; pendant le dépôt de celle-ci certaines fractures rejouent. Puis une nouvelle phase tectonique, intratertiaire, entraîne une légère discordance entre les horizons de cette série, ceci sans accident tectonique remarquable. En conséquence, et pour les mêmes raisons, il n'est pas possible de rattacher l'origine du karst à cette phase.

Après les derniers dépôts tertiaires, la mer s'étant retirée, l'ensemble des terrains a été soumis à l'orogénèse alpine, du post-aquitainien à la fin du Miocène (?). Cette dynamique modifie profondément les structures du massif, entraîne des plissements, chevauchements, décollements, de multiples fractures etc ... mais l'édification de toutes les structures visibles actuellement n'a été possible qu'avec le rejeu de quelques accidents et l'établissement de cassures secondaires, jusqu'au quaternaire.

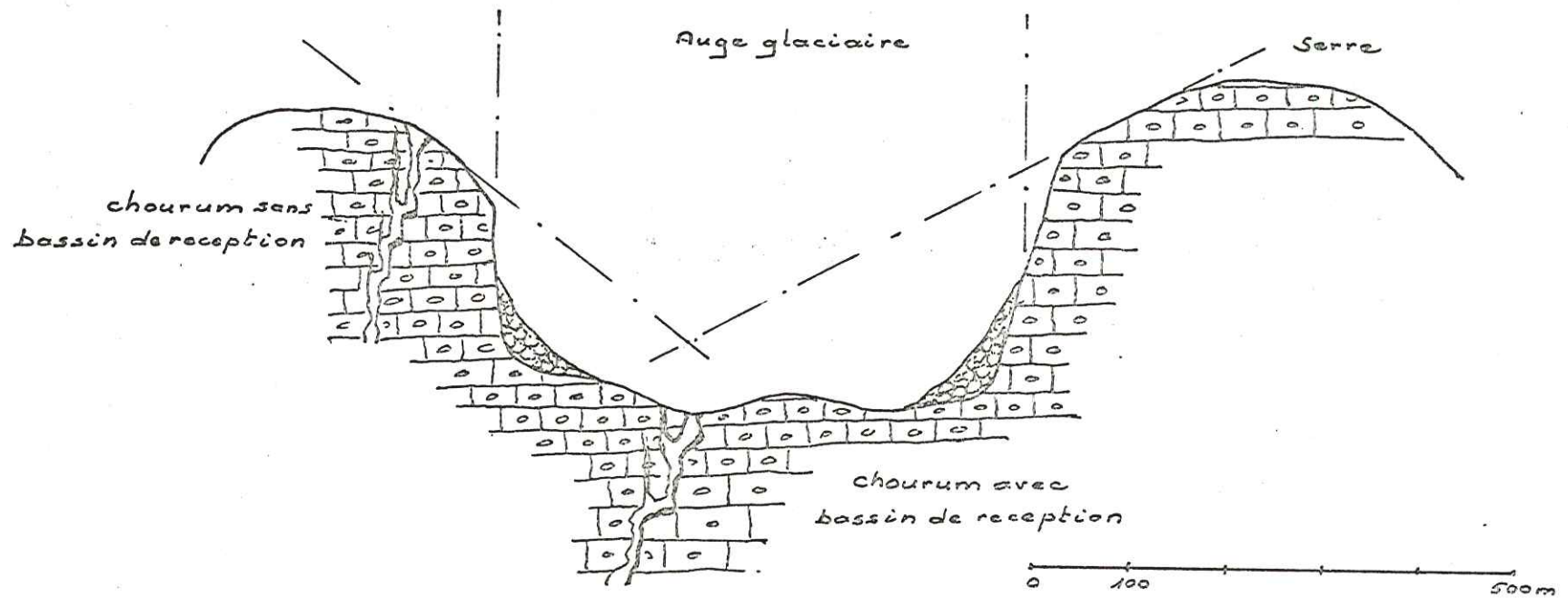
Cette période de gestation alpine se développe assez lentement dans le temps pour que l'érosion joue son rôle de sappe au fur et à mesure que les structures s'édifiaient. C'est sans doute de cette époque qu'il faut dater le début de l'évolution du Karst des calcaires sénoniens. Mais c'est sans doute pendant le quaternaire que l'évolution a été maximum, les témoins de l'érosion quaternaire, au moins sur le plan morphologique sont très importants. Le cavernement a été créé par des eaux agressives, fusion de la neige et de la glace. De fait, on ne retrouve aucun concrétionnement dans le réseau souterrain qui reste largement ouvert.

C'est sans grandes preuves paléontologiques que l'on peut dater du Miocène le début de la genèse du karst. A partir de cette époque, quelles sont les grandes étapes de son évolution ? Bien peu de témoins nous permettent de retracer son histoire. Parmi ceux-ci, la relation entre la surface morphologique et la situation des chourums permet, semble-t-il, comme nous allons le voir, de dégager deux grandes phases

Observations : Très généralement, les entrées de chourums sont situées à l'intersection du plan de fracture avec la surface topographique et, pendant leur période d'activité, au point bas de ce système, de toute façon sur le chemin de parcours principal de la circulation aérienne qu'ils absorbaient.

LOCALISATION DES CHOURUMS

coupe schématique



Actuellement, on peut localiser la présence d'orifices de gouffres à deux niveaux bien différents (voir figure) : les uns sont accrochés sur les pentes douces ou sur l'arrête des Serres (I), les autres se situant au fond des auges glaciaires, principalement en amont des verroux glaciaires.

Il est possible de rattacher l'activité de ces gouffres aux périodes glaciaires. Cette activité qui a sans doute été maximale lors des phases en saccades qui précédèrent la disparition des grands glaciers. L'origine des premiers gouffres est sans doute antérieure à celle des seconds, car leur situation actuelle, perchés en hauteur et sans bassin d'alimentation, ramène leur époque d'activité à une date où les structures morphologiques leur étaient favorables. Si on analyse avec plus de précision la structure d'un vallon, on peut remarquer que la partie inférieure est nettement glaciaire, fond plat bosselé, encadré par des parois verticales, somme toute un vallon en U bien typique; la partie supérieure est assez différente, la pente brusquement devient faible avant d'atteindre l'arête sommitale du Serre. Cette morphologie rappelle celle engendrée par un torrent. Il y a là une morphologie du type torrentiel en V.

A partir de ces observations, il est bien difficile de conclure. Malgré tout, on peut dans cette répartition géographique des orifices de gouffres et dans les structures où ils sont implantés, voir deux périodes nettement différentes dans l'évolution du karst, l'une anté-glaciaire, marquée par l'enfouissement des eaux de pluie ruisselant sur les calcaires, l'autre glaciaire qui a marqué profondément de son empreinte le DEVOLUY, par une érosion caractéristique de sa surface morphologique et qui, d'autre part, a fourni l'outil nécessaire au développement du cavernement, à savoir l'eau agressive due à la fonte des glaces. Remarquons que cette période a été pour le karst tout à la fois

(I) Serre : crête plate encadrée par deux vallons.

constructive et destructive. Constructive dans la mesure où elle engendrait le cavernement, destructive là où le glacier, creusant le calcaire, démantelait les réseaux existants.

Nous avons conscience que ces deux grandes étapes de l'évolution du Karst n'offrent pas les moyens d'une datation précise. Si la période glaciaire est indiscutable, la période anté glaciaire devra être établie avec plus de preuves paléontologiques que celles fournies. D'autre part, l'évolution pendant le quaternaire peut sans doute être précisée. La connaissance de l'histoire du karst pourra progresser grâce à des travaux de paléogéographie et de paléoclimatologie.

#### B - CONDITIONS PARTICULIERES DE PENETRATION

Ce karst, comme beaucoup d'autres, est marqué par des formes qui favorisent particulièrement la pénétration des eaux d'infiltration : lapiaz, dépressions fermées, gouffres (chourums), vallées sèches, pertes de ruisseaux.

Cependant, certains facteurs qui favorisaient l'infiltration jouent actuellement un rôle très secondaire. Ceci est tout particulièrement vrai pour les chourums qui ont joué le rôle de bouche d'absorption de torrents issus de glaciers.

##### I) lapiaz

Le calcaire sénonien, dans son ensemble, ne fournit pas de lapiaz, hormis quelques formes assez larvées. Ceci est peut-être inhérent à sa nature mais rappelons que le calcaire sénonien possède une fracturation due à la tectonique et peu ou pas de fissures intra-formationnelles.

Par contre, le calcaire nummulitique, qui participe au karst sénonien, calcaire le plus souvent compact et dur, donc moins

souple est plus fissuré que le sénonien. Il s'est admirablement prêté à l'évolution de lapiaz. Ceux-ci se développent où le calcaire affleure mais c'est sans conteste en montant au col du Rabou, à partir de la bergerie du Jas des Barges, que l'on peut observer celui qui de loin est le plus spectaculaire.

Ces lapiaz jouent un rôle important; ils éliminent pratiquement le ruissellement de l'eau en présentant à celle-ci de larges fentes d'absorption.

## 2) les chourums (gouffres)

Leur grand nombre est certainement l'un des caractères marquant de ce karst : on dénombre actuellement plus de 100 chourums et les prospections spéléologiques futures vont tendre à doubler ce nombre dans les années à venir.

La découverte et l'exploration de ces gouffres sont l'oeuvre d'un certain nombre de spéléologues ou d'équipes spéléologiques dont nous retracerons, dans un historique succinct, le travail réalisé.

### a. Historique spéléologique

L'exploration des cavités dévoluardes, principalement des chourums, commence à la fin du 19ème siècle avec l'abbé A. Martin qui ne tarde pas à inviter E.A. MARTEL et P. LORY (1889 - 1896 - 1899) à l'accompagner dans ses explorations. de JOLY (1929), GIRAUD (1932), BOURGIN (1937) GUERIN (1938) poursuivent les découvertes souterraines commencées par les pionniers. Après la guerre, Messieurs MARTY (1947) et BOURGIN relancent les activités spéléologiques au DEVOLUY et seront relayés par des équipes spécialisées qui investissent de plus en plus le Dévoluy souterrain : spéléoclub de Marseille du C.A.F. de Marseille (1956) dirigé par P. GALLOCHER,

spéléoclub de Paris (1959) dirigé par M. STERLINGOTS  
 groupe spéléologique et de plongée souterraine d'Ile de  
 France (1959) dirigé par J.L. BONHOMME  
 groupe spéléologique Catamaran (Sochaux - 1962) dirigé par  
 P. CROISSANT  
 groupe spéléologique autonome de la Fédération unie des  
 Auberges de la Jeunesse (Marseille, 1962)  
 groupe spéléologique du groupement des campeurs universi-  
 taires (1965)  
 groupe spéléologique alpin (1967) dirigé par J TOURRES  
 groupe lyonnais de recherche spéléo-karstologique (1967)  
 conduit par Y. BESSET.

Depuis les explorations de MM. MARTY et BOURGIN au Dévoluy, il est à remarquer que deux spéléologues ont tout particulièrement contribué à la découverte et à la connaissance des cavités dévo-luaries : Monsieur P. GALLOCHER (Marseille) et, depuis une quin-zaine d'années, Monsieur J. TOURRES (Gap).

#### b. Travaux spéléologiques

A. BOURGIN : Tout comme Monsieur MARTY, cet explorateur contribue à une meilleure connaissance des gouffres du Dévoluy. Il explore principalement la partie basse de la montagne d'Aurouze - zone de la crête des Baumes - du Puy - des Etroits ainsi que la chaîne du Ferrand-Obiou. L'exploration du Puits des Bancs reste l'essentiel de ses activités spéléologiques, même si elle est arrêtée par un siphon à la côte - 150m. Notons que cette voûte mouillante est temporaire.

Monsieur MARTY. : Après la dernière guerre, M. MARTY occupait le poste de Garde des Eaux et Forêts au DEVOLUY, ce qui lui a permis de bien connaître ces montagnes. L'essentiel de ses explo-rations a porté sur des cavités situées dans la montagne d'Aurou-ze : chourum Sans Nom, chourum La Fille, chourum du Pelourenq, chourum du Festoure, chourum Rond, chourum des Jumeaux; mais



aussi dans la chaîne du Féraud. D'autre part, il entreprend l'exploration du Puits des Bans, aidé en cela par M. BOURGIN. Signalons qu'il est le premier à passer le siphon situé à l'entrée de la cavité, siphon qui par la suite sera définitivement éliminé.

M. MARTY qui pratiquement a exploré en solitaire et avec des moyens réduits, n'a pas pu poursuivre très loin l'exploration qu'il avait commencée dans les chourums, mais il sut faire bénéficier de son expérience de nombreux groupes spéléologiques qui poursuivirent son travail.

#### spéléo-club de Marseille du Club alpin français

Deux grandes zones du DEVOLUY furent le théâtre des activités du S.C.M. à savoir la partie haute de la montagne d'Aurouze avec quelques prospections sur le plateau de Bure et le flanc de la montagne du Ferrand-Obiou au-dessus du Villard Joly : vallon du Grand Villard, vallon de Truchières, vallon des Narrites, etc... Si l'entreprise de ce groupe n'est pas toujours couronnée de succès, faute de tomber sur des gouffres suffisamment profonds, il a eu le mérite de faire un inventaire assez complet des zones explorées.

#### spéléo-club de PARIS du Club alpin français

s'attache à l'exploration de la zone sud de la chaîne du Ferrand-Obiou, sur le versant Est de Costebelle, principalement au-dessus du village de la Chaup (commune d'Agnières en Dévoluy). Il ne semble pas qu'un inventaire systématique ait été réalisé. De toute façon, cette formation n'a effectué que quelques campagnes à la suite desquelles elle laisse le terrain au groupe spéléologique Catamaran de Sochaux.

#### Groupe spéléologique et de plongée souterraine d'Ile de France

(G.S.P.S.I.F.) : son domaine d'exploration a été la partie moyenne et basse de la montagne d'Aurouze. Parmi les nombreux gouffres explorés, un seul est vraiment très important : le

Chourum La Fille avec ses 360m de profondeur et ses 1600m de développement.

D'autre part, ce groupe apporte une contribution très importante à la connaissance hydrodynamique du karst, grâce à de nouvelles découvertes au Puits des Bans. De la côte - 150m (D=315m) à laquelle s'arrête BOURGIN, le G.S.P.S.I.F. descend celle-ci à 220m après 1500m de développement dans la galerie principale. Mais la contribution de loin la plus importante reste dans les observations qui peuvent être effectuées et que nous développerons par la suite.

Groupe Catalaran Sochaux : ce groupe reprend et poursuit le domaine d'exploration du spéléo-club de Paris ( zone sud de la chaîne du Ferrand-Obiou) et porte à 340m le complexe chourum du Chaudron - chourum des Chaumins.

Groupe spéléologique alpin : Les explorations de ce groupe ont été effectuées dans la zone du Vallon des Aiguilles et dans le secteur de l'Obiou. C'est dans la première que l'exploration du plus profond gouffre du DEVOLUY a été réalisée (chourum des Aiguilles - 680m). Outre la profondeur acquise, cette découverte revêt un caractère très intéressant sur deux points :

- les conditions de formation de la cavité
- l'arrêt sur un niveau probablement actif

URSUS, groupe lyonnais de recherche spéléo-karstologique : leur domaine d'activité est représenté par le vallon du Grand Villard, le Barnier.

Depuis 1967, URSUS effectue un inventaire systématique des cavités découvertes dans son secteur; d'autre part, il procède à des observations d'ordre géologique et hydrogéologique locales.

Groupe spéléologique autonome de la Fédération unie des Auberges de la Jeunesse (G.S.F.U.A.J. - Marseille) :

dirigé par M. P. GALLOCHER, ce groupe a essentiellement exploré le versant Nord du cirque de l'Enclus et la partie haute de la montagne d'Aurouze, complétant ainsi le travail du S.C.M.

Groupe spéléologique du groupement des campeurs universitaires :  
chourums de la Tune.

c. Inventaire des chourums

Afin de se reporter avec facilité à la carte où sont pointés les gouffres, les chourums sont présentés par chaîne de montagne avec les indications suivantes : département, commune, coordonnées, altitude, profondeur, développement, carte I.G.N. Avant de passer à l'inventaire complet, nous dégagerons les cavités les plus importantes.

CHOURUMS	PROFONDEUR	ALTITUDE	LONGUEUR
AIGUILLES	680 m	2023 m	
AGNIERES Chourum d'	100 m		
BANS Puits des	210 m	1140 m	1200 m
CHAUDRONS - CHAUPINS	340 m	1731-1836 m	
CHOUCAS	150 m	1860 m	
CREVECOEUR	100 m	1160 m	300 m
DUPONT-MARTIN	216 m	1590 m	
LA FILLE	360 m	1924 m	1600 m
GOUTOURIER Chourum	153 m	2325 m	450 m
PARZA Chourum	155 m	1670 m	
PONSON N°1	331 m	2320 m	650 m

SANS NOM	260 m	2210 m	
TUNE n°10	120 m	1550 m	650 m
CAMARGUIER	130 m	1590 m	

R E P E R T O I R E D E S  
C H O U R U M S

I - MONTAGNE D'AUROUZE

N°	Chourums	Dépt	Commune	Coor- données	Altitude	Profon- deur	Dévelop- ment
1	Mirages	H.A.	Agnières	881,74 268,44	2020mm	18 m	30 m
4	Serres	H.A.	Agnières	881,07 268,23	2015 m	88 m	
5	Serre- Lacroix	H.A.	Agnières	881,63 268,23	2010 m	22 m	
6	Jumeaux	H.A.	Agnières	882,88 269,94	1800 m	15 m	
7	Pelagie	H.A.	St-Etien ne	882,80 269,20	1870 m	25 m	
8	Rond	H.A.	St-Etien ne	882,68 269,92	1806 m	35 m	
10	Sommarel N°1	H.A.	Agnières	882,26 267,14	2210 m	260 m	
16	Tête Ronde n°1	H.A.	Agnières	882,39 266,24	2365 m	32 m	135 m
17	Tête Ronde n°2	H.A.	Agnières	882,38 266,22	2370 m	7 m	48 m
18	Tête Ronde n°3	H.A.	St-Etien ne	882,34 265,93	2435 m	15 m	
19	Tête Ronde n°4	H.A.	St-Etien ne	882,44 266,03	2440 m	23 m	

20 Tête Ronde N°5	H.A.	Agnières	882,09 266,68	2295 m	24 m	
21 Tête Ronde N°6	H.A.	Agnières	882,21 266,65	2330 m	12 m	
26 Ponson n°1	H.A.	St-Etienne	883,02 266,74	2320 m	331 m	,650 m
27 Ponson n°2	H.A.	St-Etienne	883,06 266,61	2350 m	11 m	40 m
28 Ponson n°3	H.A.	St-Etienne	883,02 266,59	2358 m	5 m	
29 Ponson n°4	H.A.	St-Etienne	882,96 266,62	2355 m	9 m	
30 Ponson n°5	H.A.	St-Etienne	882,93 266,49	2395 m	6 m	
31 Ponson n°6	H.A.	St-Etienne	882,81 266,69	2312 m	22 m	
32 Ponson n°7	H.A.	St-Etienne	882,90 266,86	2300 m	87 m	
33 Ponson n°8	H.A.	St-Etienne	883,30 266,92	2240 m	8 m	
34 Ponson n°9	H.A.	St-Etienne	882,97 266,85	2275 m	15 m	
35 Ponson n° 10	H.A.	St-Etienne	883,09 266,53	2400 m		27 m
36 Bure n°3	H.A.	St-Etienne	883,21 265,65	2545 m		
39 Bure n°4	H.A.	Montmaur	882,66 264,95	2540 m		17 m
40 Bure n°5	H.A.	Montmaur	882,79 265,10	2500 m	22 m	
41 Bure n°6	H.A.	Montmaur	882,82 265,07	2490 m		
42 Casses	H.A.	St-Etienne	882,10 269,40	1920 m		
48 Choucas	H.A.	St-Etienne	882,30 269,60	1860 m	150 m	

44	Chutards	H.A.	Agnières	882,15 268,16	2025 m		
45	La Fille	H.A.	St-Etienne	882,27 268,77	1924 m	360 m	1600 m
46	Intermittent	H.A.	St-Etienne	882,70 268,80	1850 m	50 m	
47	Jas de la Selle	H.A.	Agnières	882,12 267,33	2095 m	88 m	
48	La Fillette	H.A.	St-Etienne	882,27 268,87	1964 m	8 m	
49	Bure n°8	H.A.	Montmaur	884,05 265,31	2550 m	12 m	
50	Tune N°1	H.A.	St-Etienne	884,9 269,24	1600 m		
51	Tune N°9	H.A.	St-Etienne	884,96 269,32	1550 m		
56	Pied Gros St-Etienne n°3	H.A.	St-Etienne	883,33 267,52	2110 m	113	13 m
66	Tintarel n°1 le	H.A.	St-Etienne	887,30 267,24	1820 m	43 m	
67	Tintarel n°2 le	H.A.	ST-Etienne	887,24 267,23	1835 m	7 m	
68	Bonnet Rouge n°2	H.A.	St-Etienne	884,04 268,07	1955 m	28 m	
69	Bonnet Rouge n°3	H.A.	St-Etienne	884,06 267,97	1955 m	75 m	
70	Bonnet Rouge 1	H.A.	St-Etienne	884,08 268,64	1760 m	20 m	
71	Pelourenc n°1	H.A.	St-Etienne	883,84 268,58	1940 m	30 m	
72	Pelourenc n°2	H.A.	St-Etienne	882,94 267,92	1990 m	7 m	
77	Festoure	H.A.	St-Etienne	883,14 268,84	1905 m	20 m	
78	Bure n°7	H.A.	Montmaur	884,25 265,30	2549 m	7 m	

79 Têtes Rondes	H.A.	St-Etienne	885,60 267,19	1845 m	8 m	
73 Le Breton	H.A.	Agnières	883,05 267,48	2060 m		
74 Tune n°10	H.A.	St-Etienne	884,96 269,32	1550 m	120 m	650 m
II - CHAINE DU FERRAND-OBIOU						
1 Bellot	H.A.	Agnières	877,90 271,07	1690 m		
2 Costebelle	H.A.	Agnières	877,90 271,82	1800 m		
4 Girier n° 1,2,3, et 4	H.A.	St-Disdier	877,80 274,10	1880 m	45 m	
5 Chaupins	H.A.	Agnières	877,9 272,4	1836 m	340 m	
6 Clot	H.A.	Agnières	878,1 272,4	1730 m	90 m	
8 Narrites n°1	H.A.	St-Disdier	878,50 276,06	1980 m	60 m	
9 Narrites n°2	H.A.	"	877,96 276,53	2005 m	40 m	
10 Narrites n° 3	H.A.	"	877,78 276,89	1998 m		
11 Parza	H.A.	"	878,55 275,65	1670 m	155 m	
14 Goutourier	H.A.	"	876,27 274,89	2325 m	153 m	450 m
16 Chaudron	H.A.	Agnières	875,2 272,5	1731,m	235 m	
7 Camarguier	H.A.	St-Disdier	879 274	1590 m	65 m	
19 Dupont-Martin		"	878,83 274,60	1590 m	216 m	
21 Trente Soupes	H.A.	"	878,46 275,78	1740 m	51 m	

22	Pointe	Isère	Les Pa- yas	879,16 278,58	1870 m	
23	Glaisette	H.A.	St-Disdier	880,10 277,40	1360 m	
24	Plaiesses	H.A.	"	880,15 277,35	1430 m	11 m
25	Aiguilles	H.A.	La Cluse	876,20 269,20	2023 m	680 m
26	Pot	H.A.	St-Disdier	878,74 274,62	1640 m	6 m
27	Barbier	H.A.	"	878,60 274,64	1677 m	6 m
31	Long	H.A.	"	878,80 274,56	1611 m	15 m
III - GICON - FERAUD - POREL						
7	Féraud	H.A.	St-Etien ne	887,5 274,2	2100 m	60 m

#### d. genèse des chourums

Les gouffres ont tous une origine tectonique. Ils se sont installés dans les fractures, diaclases ou failles, élargies par l'eau, et beaucoup plus rarement dans des joints de stratification préalablement décollés par le jeu de la tectonique. Il semble que ces gouffres aient joué un rôle très important du point de vue de l'hydrologie : leurs formes en témoignent.

On peut en premier lieu constater que la bouche du gouffre a été profondément érodée par l'eau et que, d'autre part, il est possible de suivre en surface, en certains points, le lit fossile du torrent qu'il absorbait. En profondeur, on observe de vastes cheminées coniques ou demi-coniques, caractéristiques d'une très forte circulation, ou encore de gigantesques cascades fossiles. Il est à remarquer que lorsque le chourum se développe dans une fracture importante (faille), le miroir de



faille est très rarement attaqué, la cavité se développant uniquement dans d'autres compartiments. Tout ceci atteste que l'immense majorité des gouffres ont travaillé comme gouffres d'absorption dans lesquels les torrents sous-glaciers et ceux issus de leur fusion, se jetaient. Ce mécanisme fonctionne encore actuellement dans le massif de l'Obiou. D'autre part, il n'est pas rare qu'une seule fracture ait ainsi capté plusieurs circulations aériennes.

e. apport de l'exploration des chourums à la connaissance du karst.

Il n'est pas possible d'effectuer ici une analyse comparative des formes et évolutions des chourums. Celle-ci constituerait à elle seule l'objet d'un mémoire. Nous allons seulement nous efforcer d'indiquer ce que leur exploration a apporté à la connaissance actuelle du karst.

1° - Rôle des fractures

- fracture et direction des chourums

L'immense majorité des gouffres se développe à la faveur de fractures (failles, diaclases) d'origine tectonique. L'orientation de leur axe suivant lequel ils se développent est identique à ceux des accidents majeurs, à savoir N.S à N.NE - S.SW et N.NW - S.SE.

La montagne d'Aurouze essentiellement affectée d'accidents NS à N.NE -S.SW contient de nombreux chourums dont la direction de développement est identique (chourum La Fille, chourum des Choucas, chourum Intermittent, chourum des Casses, chourum du Pelourenq etc ...). Dans la zone sud-ouest, la direction de développement des gouffres s'adapte à l'orientation des accidents N.NW - S.SE. Dans la chaîne du Ferrand-Obiou, marquée par des fractures d'axe N.NW - S.SE, l'ensemble des chourums se développent suivant cette direction. (chourum du Chaudron, chourum Long).

Pour la zone du Ht-Gicon, essentiellement affectée de failles NS,

L'axe des gouffres se superpose là aussi à cette direction (Série de petits chourums à la base de la crête du St Gicon) Il est donc possible de conclure à la similitude de direction entre les chourums et les fractures.

- fractures et chourums-drains

Si les cassures ont imposé aux chourums leur direction, c'est que celles-ci ont joué dès l'origine le rôle de drain vis à vis des eaux d'infiltration, permettant ainsi aux gouffres de se développer.

On peut constater que l'ensemble des chourums sont des drains quasiment verticaux, car le plus généralement, leur développement en plan est très faible vis à vis de leur profondeur. Mais il n'en reste pas moins vrai que le développement ne s'effectue pas suivant une verticale pure, ce qui donne à ces chourums, vus de dessus, un sens de drainage.

Le sens de drainage s'obtient à partir de deux composantes : la direction de fracture et le pendage des couches; il est très rare qu'un gouffre logé dans une fracture se développe en opposition avec le pendage des couches. C'est ainsi que pour la montagne d'Aurouze dont le pendage général est dirigé vers le Nord, et la direction des accidents N.S à N. NE - S. SW, les gouffres se développent du Sud vers le Nord; ou dans le cas de la zone S.W, dont la direction des fractures est N.NW - S.SW vers le N.NW.

Dans la montagne du Ferrand-Obiou, dont la direction des accidents est identique à celle de la zone Sud-Ouest d'Aurouze, et qui possède un pendage grossièrement E à SE, les chourums se développent du N.NW vers le S.SE.

En conclusion on peut retenir que l'écoulement des eaux d'infiltration dans les fractures suit une direction imposée par celle-ci et un sens déterminé par le pendage des couches.

- fractures et fissures

Si la prospection de surface est insuffisante pour se donner une idée exacte du développement de la fracturation et de la fissuration, bien que l'ensemble des accidents majeurs s'observent sur le terrain, seule l'exploration des gouffres permet d'apporter quelques précisions locales : entre autres, l'existence d'accidents relativement importants, intra-sénoniens, qui n'apparaissent pas en surface. (faille avec miroir dans la grande salle du Chourum la Fille, couche verticale et décollée au chourum des Aiguilles), de confirmer l'existence d'accidents visibles en surface (faille du chourum Dupont-Martin) et de vérifier un point non négligeable, à savoir l'absence presque totale de fissures (petites, moyennes ou grandes). En effet, observée à partir d'un chourum, la roche apparaît compacte et sans accident mineur.

On peut conclure à l'absence d'une fracturation fine (fissures) et à une dislocation à grande échelle de la masse des calcaires par des accidents tectoniques. Ceci est relatif à l'assise IV.

- limitation des fractures en profondeur :

La détermination de l'évolution en profondeur des fractures intrasénoniennes reste délicate à partir des relevés de surface. Les investigations souterraines permettent de s'en donner une idée, sans toutefois fournir la solution complète du problème, les observations étant limitées au domaine visitable et la côte à laquelle s'arrête l'explorateur ne signifie pas pour autant la fin du développement de la cavité. C'est le plus souvent un "bouchon" qui empêche de poursuivre : bouchon de glace, bouchon de matériaux détritiques divers, agglomérés ou non à de l'argile, bouchon formé de strates éboulées etc.... Donc un chourum de faible profondeur peut avoir en puissance un développement considérable par rapport à la partie actuellement connue.

Dans l'ensemble, les fractures étaient à l'origine, (avant l'érosion glaciaire) sans aucun doute, assez profondes, (plusieurs centaines de mètres); actuellement on constate que les diaclases de 100 à 150 m de profondeur sont majoritaires. Plus rares sont les fractures de plus de 200 m (On peut estimer que les plus profondes dépassent difficilement 400 à 450 m), d'ailleurs difficilement visibles en surface.

- disposition et évolution des fractures dans l'espace :

Il est bien connu qu'une fracture (failles à diaclases) ne se limite pas à un simple trait de scie dans la masse rocheuse, mais représente un ensemble de cassures, plus ou moins parallèles, à faible distance les unes des autres. Cela se vérifie pour les accidents dans le calcaire sénonien, mais il est à remarquer que ces cassures dépendantes de la fracture générale ne sont pas au même niveau, ce que l'on peut constater très bien, lors de l'exploration des chourums.

L'image qui représente le mieux ce dispositif structural est celle des cartes (à jouer) que l'on aurait fait glisser les unes sur les autres du haut vers le bas, chaque carte ou paquet de cartes représentant un plan de cassure. Il semble que les cassures rencontrées en profondeur soient beaucoup plus importantes que celles proches de la surface. L'explication serait la suivante : les calcaires contenant les cassures proches de la surface ont été fortement érodés, ce qui a diminué d'autant leurs profondeurs. Le sens suivant lequel se superposent les divers plans de cassure d'une même fracture ne paraît pas quelconque.

On constate pour les chourums de la montagne d'Aurouze et du Féraud et pour certains gouffres de la chaîne Ferrand-Obiou, une disposition analogue, à savoir le plan de cassure de tête à l'Ouest et les autres plans s'étagent en profondeur de l'Ouest vers l'Est. Ce phénomène est à relier avec le sens de la poussée alpine Est-Ouest.

Nous avons précédemment indiqué, à plusieurs reprises, deux grandes directions de fracturation : celles-ci se développent dans des secteurs différents du DEVOLUY : la montagne d'Aurouze peut représenter le domaine des accidents N.S. à N.NE - S.SW, la montagne du Ferrand-Obiou, le domaine des accidents N.NW - S.SE. L'ensemble des fractures NS à N.NE - S.SW ont permis le développement de cavités assez vastes, cela est bien sûr relatif (largeur moyenne : du mètre à plusieurs dizaines de mètres). Par contre les cavités de la chaîne Ferrand-Obiou sont beaucoup plus étroites, ce qui rend leur exploration assez pénible, (sauf exception : chourums Dupont-Martin, la Parza, ....). Ce développement différent des chourums de la montagne d'Aurouze et de la chaîne du Ferrand-Obiou est certainement relatif aux deux causes génératrices de ces gouffres. En premier lieu, les accidents N.NW - S.SE sont moins importants que les autres, d'autre part, la pente moyenne de la montagne Ferrand-Obiou est dans l'ensemble plus accentuée que celle d'Aurouze, ce qui a permis un ruissellement au détriment de l'infiltration. (Les gouffres bien développés se situant dans des sites privilégiés) On retiendra donc que les fractures s'accompagnent, en général, de plusieurs cassures parallèles dont les plans décalés s'étagent en profondeur dans le sens WE. D'autre part, les fractures selon leur direction, sont d'inégale envergure et inégalement favorisées du point de vue des eaux d'infiltration et de ce fait de dimensions assez différentes.

## 2°- Rôle des joints de stratification dans le cavernement :

En réalité le cavernement s'est installé, comme nous l'avons montré, dans les fractures, nous pouvons dire d'une façon générale, dans les accidents tectoniques et c'est à ce titre que certaines cavités (chourums) se développent tout ou en partie en joints de stratifications, car il est logique de penser que dans la portion des joints comprise entre les cassures d'une même fracture, les forces qui ont agi dans cette zone ont permis un glissement local de couches les unes sur les autres préparant ainsi les joints à une meilleure pénétration par l'eau.

Le cas le plus typique est sans conteste le chourum des Aiguilles qui sur 680 m de profondeur se développe pratiquement dans des joints de stratification, hormis le cheminement dans quelques diaclases. Ici l'évolution des galeries dans la masse des calcaires sénoniens est avant tout imposée par le pendage des couches : pendage vertical (puits), pendage horizontal (galerie horizontale) et l'on rencontre tous les cas intermédiaires entre ces deux cas extrêmes. Si le chourum des Aiguilles se développe en joints de stratification, cela provient du fait que les couches de calcaires ont été décollées les unes des autres par le jeu de la tectonique et c'est dans ces joints décollés que l'eau a pu pénétrer.

Là où les joints n'ont pas été touchés, il est très difficile à l'eau de s'infiltrer. Dans l'ensemble du DEVOLUY, les couches de calcaire sénonien sont restées solidaires, même si elles ont glissé sur leur substratum ou se sont fracturées. C'est ce qui explique le faible rôle joué par les joints de stratification dans le cavernement.

A la lumière des connaissances actuelles sur le cavernement du calcaire sénonien, on peut dire que les joints de stratification jouent un rôle mineur sauf dans certains secteurs fortement tectonisés où les lits de calcaire ont glissé les uns sur les autres.

### 3°- Assises du calcaire sénonien traversées par les chourums :

La grande majorité des chourums actuellement connus s'ouvre entre la cote 1500 m et 2200 m. C'est aussi le domaine de l'altitude où affleurent l'assise III et l'assise IV des calcaires sénoniens. Notons que les gouffres de quelque importance traversent assez fréquemment l'assise IV; ils s'ouvrent et se développent quelque peu dans le calcaire à silex en rognons puis passent dans un calcaire en dalles bien litées où alternent lits de calcaire et lits de silex (Chourum La Fille, chourums des Choucas, chourums Sans Nom, etc... pour la monta-







# BAUME DU FROMAGE

## Ou GROTTE U 13

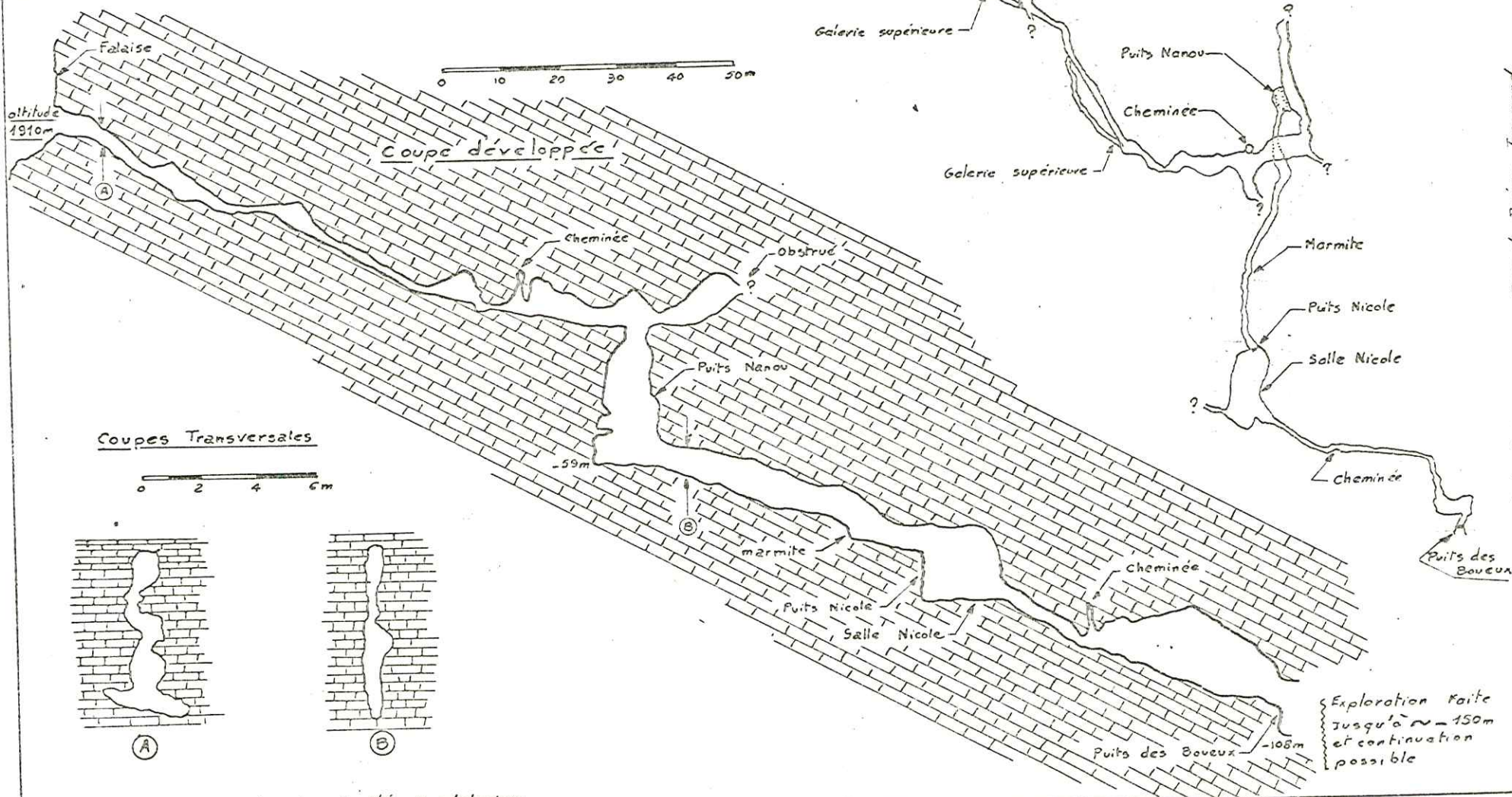
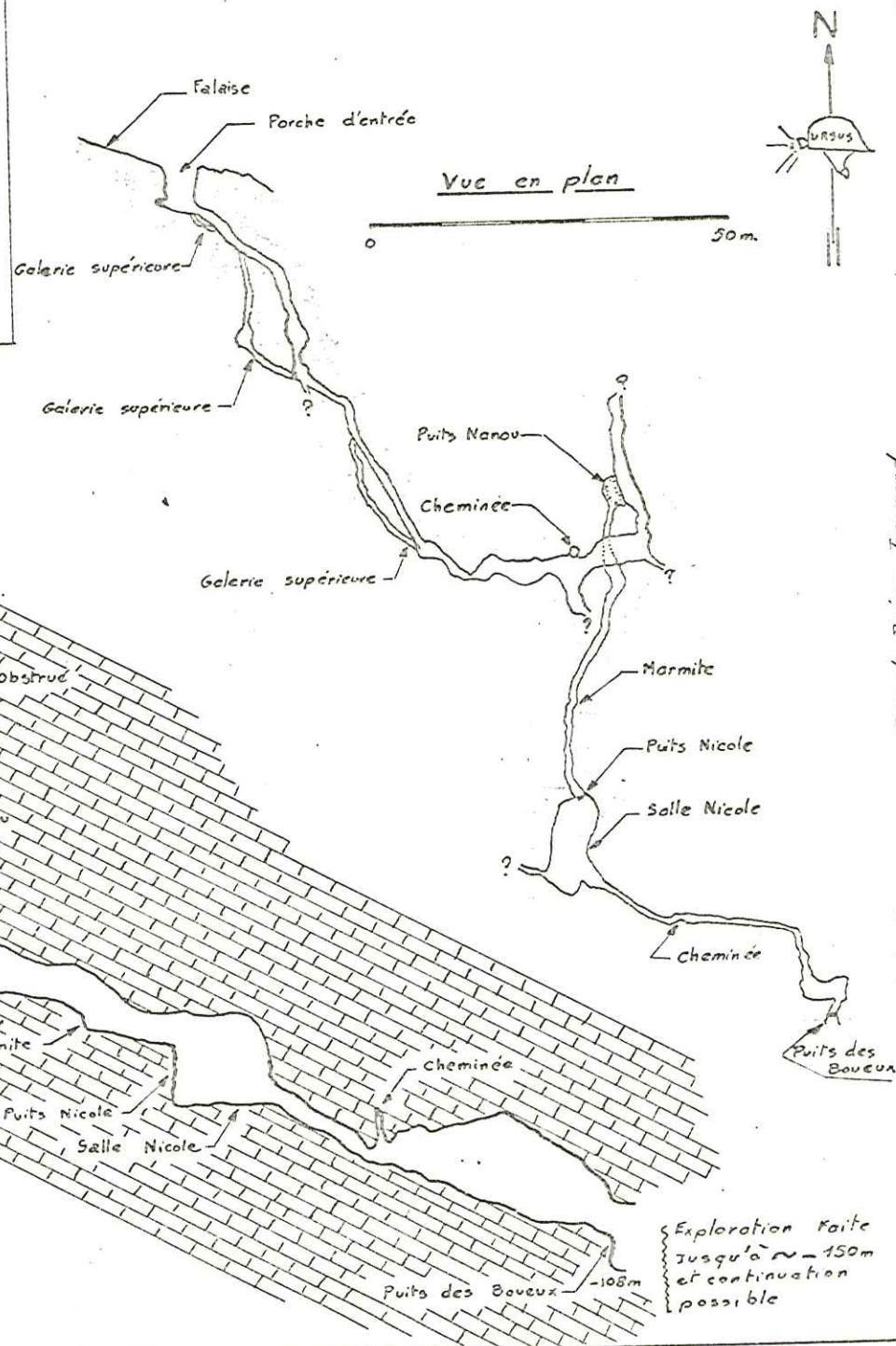
Commune de Saint-Disdier en Dévoluy

Hautes-Alpes

X = 877,60

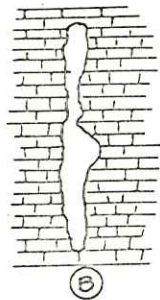
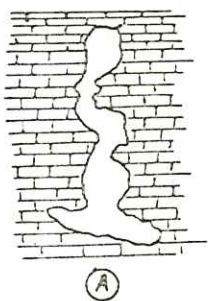
Y = 275,24

Z = 1910m



**Coupes Transversales**

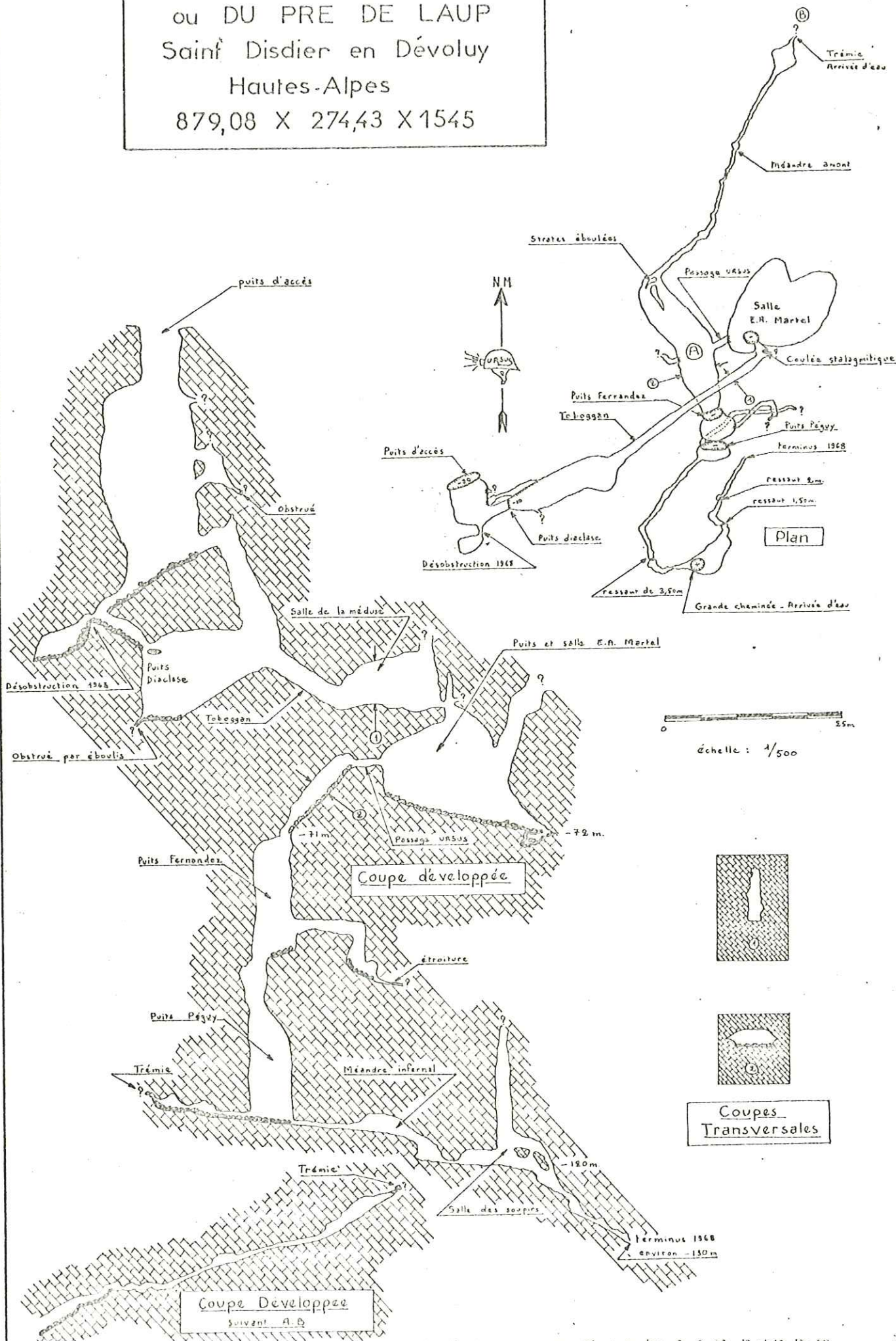
Scale: 0 to 6m

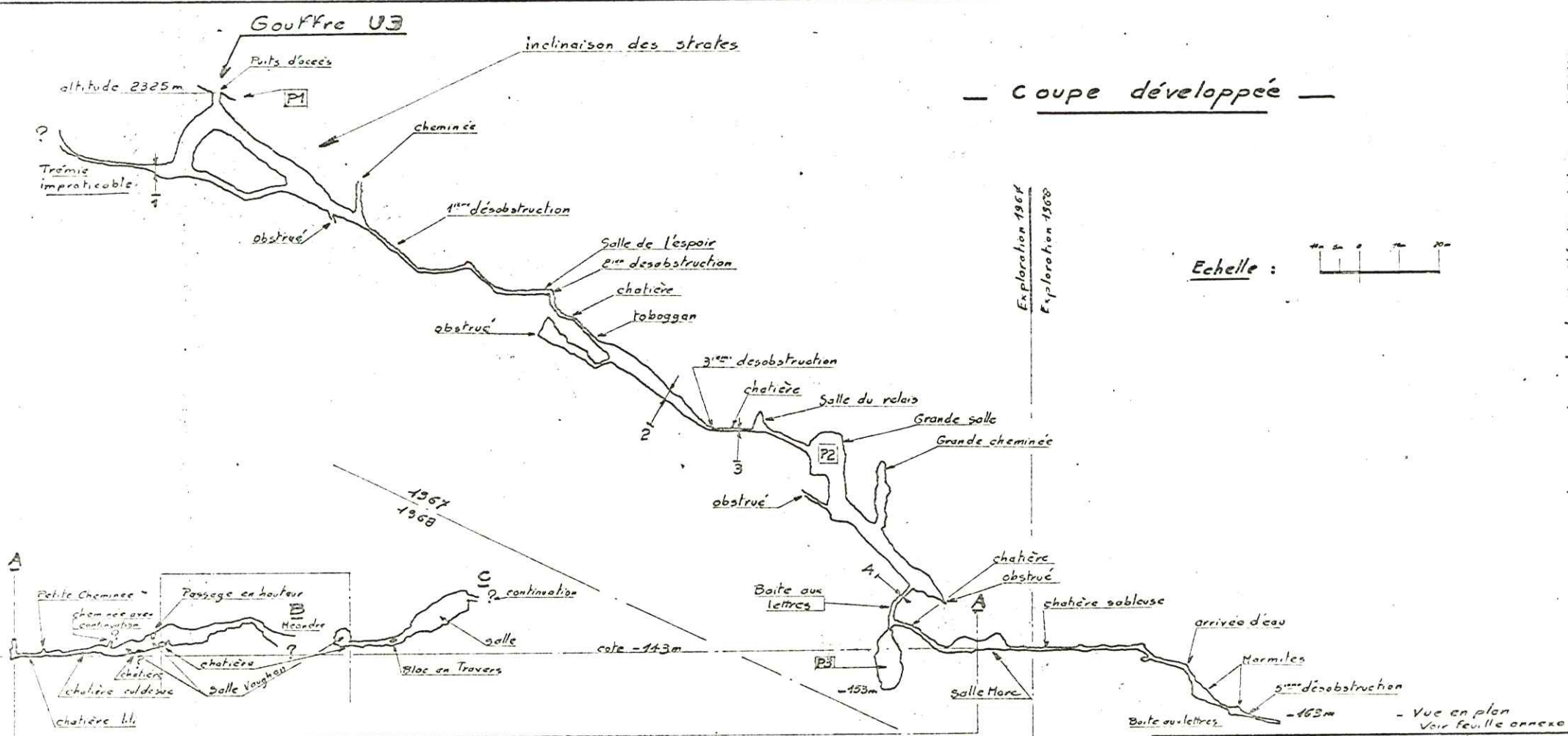


Exploration faite jusqu'à ~ -150m et continuation possible

Levé topographique effectué le 6-08-68 par Bessel-Péguy-Troynard.

CHOURUN CAMARGUIER  
 ou DU PRE DE LAUP  
 Saint Disdier en Dévoluy  
 Hautes-Alpes  
 879,08 X 274,43 X 1545





Coupe développée

Echelle :

**Chourun du Goutourier**

- Commune de St Disdier en Dévoluy

- Vallon du G<sup>d</sup> Villard

X : 876,27  
 Y : 274,89  
 Z : 2325 m  
 Echelle : 1/1000

Température : 12°  
 Hygrométrie : 100%

Commune d'Agnières en Devoluy. Hautes Alpes.

### COMPLEXE CHOURUMS DU CHAUDRON ET DES CHAUPINS

Coordonnées carte I.G.N. 5° Bonnet 20000<sup>e</sup>

CALCAIRE SENONIEN

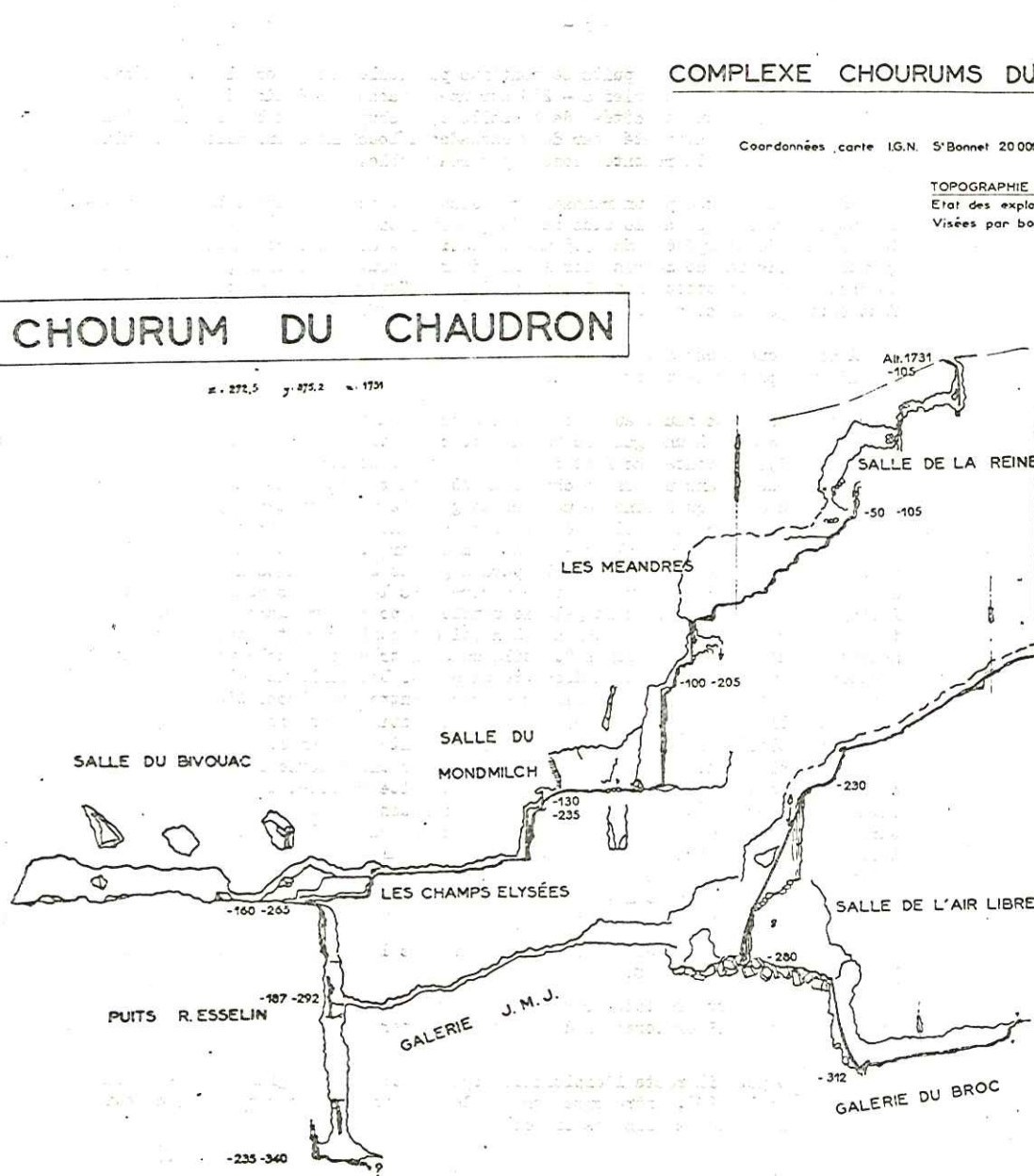
TOPOGRAPHIE COUPE

Etat des explorations au 1<sup>er</sup> 1967

Visées par boussole à liquide et clinimètre

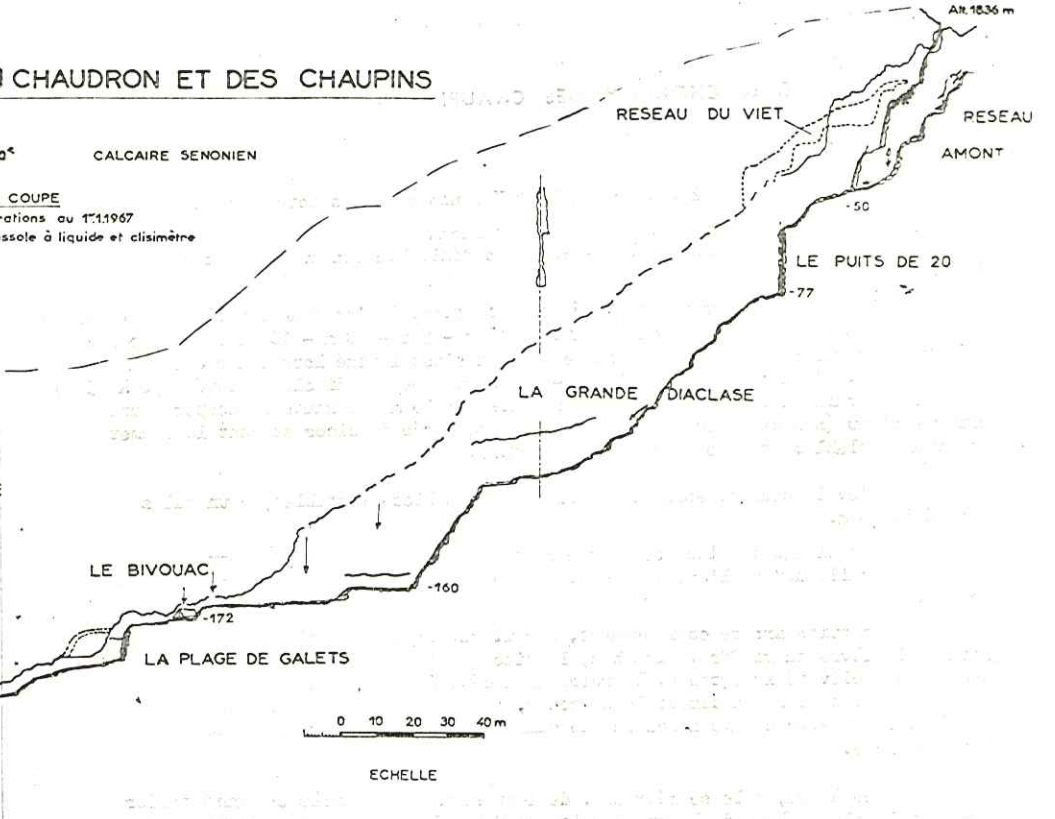
## CHOURUM DU CHAUDRON

x: 272,5 y: 875,2 n: 1731

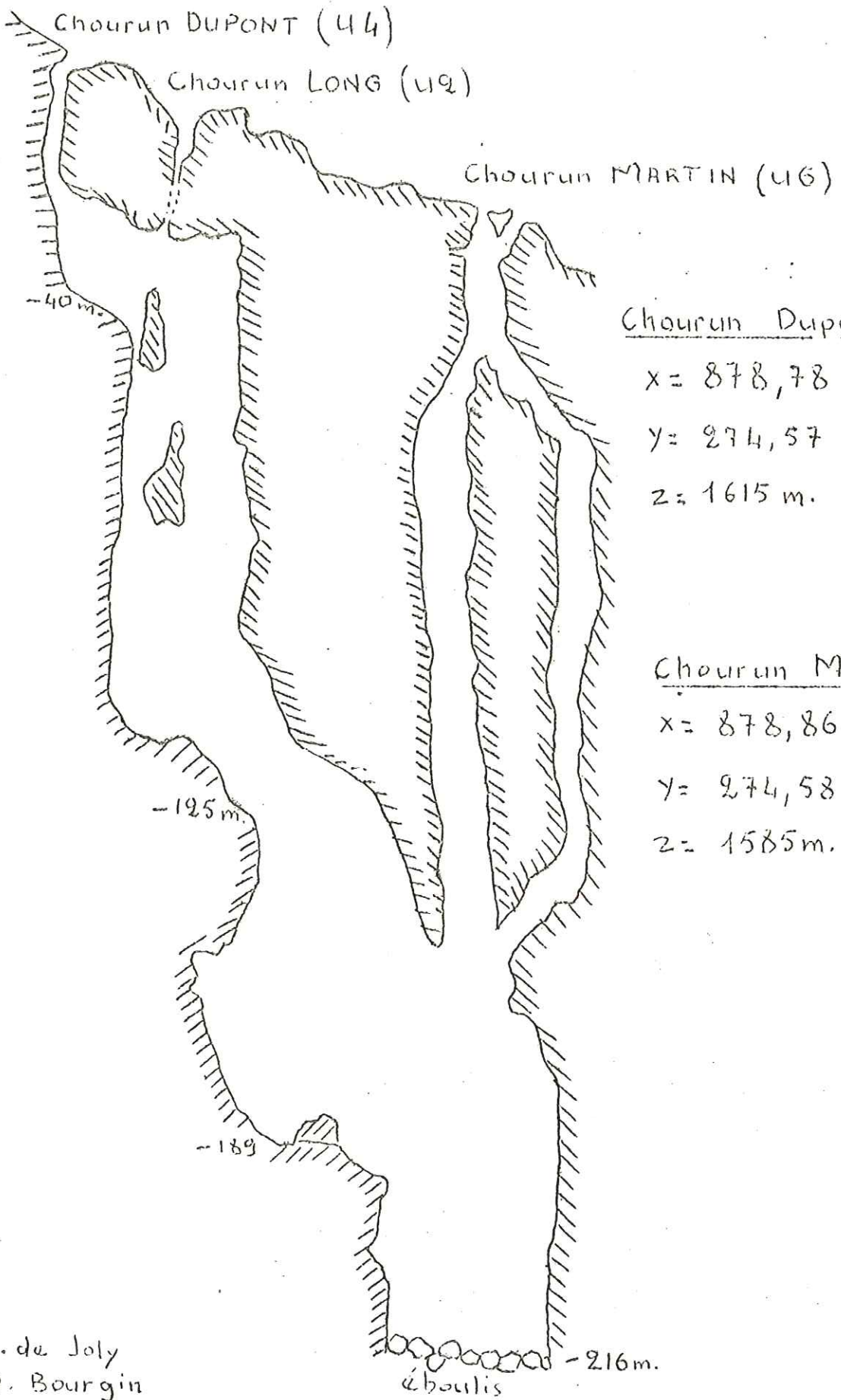


## CHOURUM DES CHAUPINS

x: 272,5 y: 877,9 n: 1524



groupe  
**CITAMACHIN**  
sochaux



d'après R. de Joly  
et A. Bourgin

gne d'Aurouze, chourums du Chaudron, Camarguier, pour la chaîne du Ferrand-Obiou.

L'assise V représentée sur le plateau de Bure (2400 - 2700 m) est elle aussi percée de gouffres en grand nombre mais difficilement visitables à cause de leur bouchon de neige et de glace. Par contre, nous n'avons pas connaissance de cavité importante dans l'assise II représentée par les calcaires marneux bleu noir.

L'ensemble des calcaires sénoniens représentés au DEVOLUY participe au karst : assises II, III, IV et V. L'assise I est rarement présente et l'assise VI inexistante. L'assise II, s'il ne semble pas qu'elle recèle d'importants cavernements, est particulièrement hachée, ce qui explique peut-être que l'eau n'ait pas élargies certaines fractures de préférence à d'autres.

### 3) Dépressions fermées

La morphologie de détail du DEVOLUY est nettement marquée par les dolines, dont les dimensions sont assez variables, quelques dizaines de mètres à quelques centaines de mètres, et dont les conditions de formation peuvent être rattachées à trois grands types :

- dolines de fissures et de joints de stratification
- dolines de fractures et d'effondrement
- dolines de verrou glaciaire

#### - dolines de fissure et de joints de stratification

La majorité des petites dolines semble avoir une double origine, dont il est bien difficile pour certaines de déterminer la cause prépondérante : soit l'élargissement en cuvette de la fissure, soit l'érosion successive des lits calcaires, dont les joints favorisaient l'infiltration (zone où le calcaire est relativement bien disloqué). La forme disymétrique observée dans le plan de coupe, suivant la direction du pendage, ainsi que les joints érodés sur le versant aval tendent à montrer que les deux actions

ont également joué : enfouissement par la fissure et enfouissement par les joints de stratification. D'autre part, le rôle des glaciers dans la construction de ces dolines n'est peut-être pas négligeable. L'érosion glaciaire, par son burinement du substratum calcaire, a sans aucun doute, été l'un des premiers "moteurs" de la formation des dolines. Puis les eaux de fonte successive des glaciers au cours des diverses périodes glaciaires ont été ainsi piégées et ont pénétré dans les calcaires par les fissures et par les joints. (voir carte)

#### - dolines de fractures et d'effondrement

Si les petites dolines sont extrêmement nombreuses, on en trouve par contre d'autres assez vastes mais plus rares: elles tangentent une fracture importante et sont inclinées vers celle-ci. D'autre part, il n'est pas rare d'observer dans les parois de la doline des très vastes grottes que l'on remonte sur une certaine distance. Interprétation : La fracture a, comme toute fracture, joué le rôle de drain mais il est probable que la structure locale née de celle-ci ait favorisé, en cet endroit, la capture des eaux de surface; d'autre part, cette zone de moindre résistance était très certainement le siège d'une circulation souterraine très active.

En conséquence, l'érosion agissant par le haut et par le bas a provoqué à la longue le démantèlement complet de la zone, dont les compartiments minés se sont effondrés successivement; puis cette cuvette s'est en partie comblée par l'apport des éboulis de pente provenant de l'attaque des falaises par l'érosion. Les grottes que l'on observe actuellement peuvent être interprétées comme les témoins des galeries existant jadis avant l'effondrement. Toutefois, ces dolines continuent à jouer leur rôle de pièges, pièges pour les eaux de ruissellement, et pièges pour la neige. (Vallon du Pelourenq, Vallon de Corne)

#### - dolines de verrous glaciaires

Ces dolines ont des formes et des dimensions très variables et sans aucun doute, en relation directe avec la force et la puissance

du glacier qui leur a donné l'impulsion de départ. Elles ont pris naissance lors du creusement du calcaire par le glacier à l'amont du verrou. Le piège étant formé, il fonctionne soit à la faveur du fissure ou d'une cassure, mais le plus souvent grâce aux joints de stratification, qui à la longue laissèrent le passage à l'eau. On observe que les lits calcaires du verrou présentent des joints nettement décollés. Si le creusement de ces dolines est d'origine glaciaire, elles ont évolué pendant les périodes interglaciaires comme toutes les autres (Vallon du Mas, Vallon des Narrites, Vallon de Truchières...)

#### 4) Vallées sèches et pertes

Il n'existe pas de vallées sèches au DEVOLUY, les formations tertiaires imperméables favorisant une circulation aérienne. Par contre on rencontre dans la montagne d'Aurouze et la chaîne du Ferrand-Obiou, de nombreux lits de torrents fossiles jalonnés de gouffres. L'exemple le plus frappant est sans doute la "vallée morte" d'Aurouze, jalonnée par le chourum Rond, et le chourum des Jumeaux.

Le calcaire sénonien ne permettant pas une circulation aérienne, on ne peut donc pas observer de perte. Toutefois, une exception: le ruisseau prenant naissance dans le vallon des Aiguilles, (sur les marnes gréseuses) est directement absorbé avant la cascade de Saute Aure par le calcaire sénonien.

### III - II CONDITIONS D'EXURGENCE DE L'EAU DU KARST

#### A - PRESENTATION GENERALE DES EXURGENCES

A l'image de certains massifs calcaires, les exurgences du karst des calcaires sénoniens sont peu nombreuses et bien groupées. Il existe 2 exurgences permanentes, représentées par les sources des GILLARDES.

La grande Gillarde est séparée par la Souloise des petites Gillardes qui sortent en trois points rapprochés. Comme nous le montrerons dans ce chapitre, ces diverses sources représentent les points d'émergence de l'exurgence générale du karst.



Dans la partie médiane du DEVOLUY, sur la rive droite de la Souloise, et perchée au dessus de celle-ci, se situent deux exurgences temporaires :

- le Puits des Bans
- la grotte de Crèvecoeur

Là aussi, ces deux orifices proviennent de la même alimentation. Avec ces deux types d'exurgences actives, les unes permanentes, les autres intermittentes, nous grouperons, pour les étudier, les grottes généralement dénommées "Baumes" dont le plus grand nombre sont fossiles, et qui représentent en réalité des exurgences accidentelles, puisque l'eau dans la mesure où elle sort, repasse très rapidement dans le calcaire.

REPertoire DES EXURGENCES  
I - MONTAGNE d'AUROUZE

NOS	Exurgence	Dept	Commune	Altitude		Dévelop.
2	Plates N° 1	H.A.	Agnières	881,97 266,94	2 180m	18 m
3	Plates N° 2	H.A.	"	882,23 267,02	2 215m	220 m
11	Sommarel N°2	H.A.	Agnières	882,56 266,73	2.310m	114 m
12	Sommarel N°3	H.A.	St-Etienne	882,61 266,86	2 295m	21 m
13	Sommarel N°4	H.A.	St-Etienne	882,65 266,54	2.360m	31 m
14	Sommarel N°5	H.A.	Agnières	882,60 266,54	2 345m	50 m
15	Sommarel N°7	H.A.	Agnières	882,60 266,59	2 315m	48 m
22	Truie N° 1	H.A.	Agnières	882,07 266,49	2 285m	35 m
23	Truie N° 2	H.A.	Agnières	882,10 266,47	2 295m	22 m
24	Truie N°3	H.A.	Agnières	881,66 266,75	2 210m	90 m

25	Pied Gros d'Agnières	H.A.	Agnières	881,11 267,15	2 140m		10 m
37	Bure N°1	H.A.	Agnières	882,56 265,95	2 530m		18 m
38	Bure N°2	H.A.	Agnières	882,63 265,93	2 550m		13 m
52	Pied Gros de St-Etienne	H.A.	St-Etienne	883,29 266,75	2 420m		9 m
53	Pied Gros de St-Etienne N°6	H.A. H.A.	"	883,34 267,12	2 240m		65 m
54	Pied Gros St-Etienne N°5	H.A.	St-Etienne	883,35 267,05	2 370m	44m	115 m
55	Pied Gros St-Etienne N°2	H.A.	"	883,75 267,76	2 040m		
57	Pied Gros St-Etienne N°1	H.A.	"	884 267,80	2 015m	30m	
58	Pied Gros St-Etienne N°7	H.A.	"	884,13 267,78	1 960	20m	86 m
59	Pied Gros St-Etienne N°8	H.A.	"	884,10 267,71	1 992m		20 m
60	Pied Gros St-Etienne N°9	H.A.	"	884,12 267,67	1 895m		51 m
61	Pied Gros St-Et. N° 10	H.A.	"	884,13 267,65	1 990m		31 m
62	Chabreda	H.A.	"	885,1 268,12	1 680m		15 m
63	Costebelle N°1	H.A.	"	885,26 266,22	2 134m		240 m
64	Costebelle N°3	H.A.	"	885,24 266,57	1 995m		31 m
65	Costebelle N°2	H.A.	"	885,42 266,62	1 955m		
74	Baume Noire N°1	H.A.	"	883,64 266,41	2 150m		75 m

75	Baume Noire N°2	H.A.	St-Etienne	883,86 266,29	2 168 m	64 m
76	Barges N°4	H.A.	"	884,62 266,28	2 040 m	42 m
80	Barges N°1	H.A.	"	887,90 266,51	1 910 m	35 m
81	Barges N°2	H.A.	"	887,90 266,51	1 920 m	15 m
82	Barges N°3	H.A.	"	887,86 266,46	1 945 m	45 m
83	Barges N°5	H.A.	"	887,54 266,26	2 040 m	42 m
84	Barges N°6	H.A.	"	887,54 266,26	2 055 m	10 m
85	Barges N°7	H.A.	"	887 265,86	2 190 m	10 m

II - CHAINE DU FERRAND-OBIOU

3	Esculou	H.A.	St-Disdier	877,59 274,10	1 925 m	39
7	Meanne	H.A.	St-Disdier	878,22 275,50	1 750 m	
12	Clausis	Drôme		876,40 271,08	2 090 m	
13	Etoile	H.A.	St-Disdier	876,84 275,19	2 215 m	
15	Charnier	H.A.	"	875,30 273,09	2 090 m	
17	Petit Obiou	Isère	Les Payas	877,73 280,82	2 360 m	
18	Sarrazine	Isère	Les Payas	877,76 281,94	1 920 m	
20	Chanterelle	H.A.	St-Disdier	877,29 276,84	2 160	

28	Bobby	H.A.	St-Disdier	878,43 274,29	1 670 m		12 m
29	Lilli	H.A.	"	878,43 274,31	1 675 m		20 m
30	Jumelle	H.A.	"	878,39 274,37	1 690 m		10 m
32	Baume du Fromage	H.A.	"	877,60 275,24	1 910 m	150	400 m

### III - GICON -- FERRAUD - POREL

2	Cerise	H.A.	St-Disdier	883,94 275,72	1 240 m		
3	Crèvecoeur	H.A.	"	883,5 275,7			
1	Puits des Bans	H.A.	"	883,48 275,3	1 140 m	220 m	1500 m
4	Grandes Gillardes	Isère	Les Payas	881,02 279,38	870 m		
5	Petites Gillardes	Isère	Les Payas	881,13 279,36	875 m		
6	Pinet	H.A.	St-Disdier	885,- 277			

### C - ETUDE DES EXURGENCES

#### 1) Les Grottes (Baumes)

Les parois et falaises des calcaires sénoniens, ainsi que les pentes abruptes sont percées assez souvent de trous plus ou moins vastes, dont certains sont impressionnants par leur colossale ouverture : ces Baumes donnent accès à des galeries remontantes. De ce fait, on peut penser qu'elles sont d'anciennes exurgences et actuellement, seule l'une d'entre elles, la grotte du Pelourenq, reste en activité, grâce à un mince filet d'eau, qui, dès sa sortie, ne tarde pas à repasser dans le calcaire sénonien.

Compte tenu de leur grand nombre, et de leur emplacement, on peut se poser la question : à savoir si toutes ces cavités ont été des l'origine des exurgences ou bien le sont-elles devenues par accident ? Il est plus vraisemblable de retenir la deuxième hypothèse.

#### a. Observations

Ces grottes ou Baumes ne se situent pas n'importe où. Au contraire, leur localisation est à peu près toujours la même. Tout d'abord, on les rencontre dans les vallons glaciaires ou dans les dolines de quelque importance, c'est-à-dire en un lieu où l'érosion, localement, a été particulièrement efficace. D'autre part, elles se situent plus précisément dans les parois verticales qui participent à l'auge ou à la doline.

#### b. Interprétation

Ces observations conduisent à penser que ces cavités sont les témoins du démantèlement de réseaux karstiques par l'érosion, et tout spécialement par l'érosion glaciaire et qu'elles n'ont pas joué, à l'origine, un rôle d'exurgence. L'analyse de l'alimentation de ces réseaux, situés sur des points hauts depuis la présence des glaciers dans leur auge, laisse à penser que ces cavités sont depuis longtemps fossiles et que lorsqu'elles ont été tronçonnées, par la "bouche" ainsi ouverte, peu d'eau a dû vraiment sortir et de fait l'entrée est plus marquée par l'érosion glaciaire que torrentielle.

Si actuellement, la grotte du Pelourenq est le siège d'une circulation, faiblement active, c'est qu'elle possède un bassin d'alimentation quelque peu efficace mais de toute façon sans grande envergure.

#### 2) Système Crève-cœur - Puits des Bans

Ces deux cavités sont des exurgences temporaires. Le Puits des Bans ou Puits de Saint-Disdier semble avoir été de tout temps connu comme exurgence temporaire. Il s'ouvre à l'altitude de 1.140 m sur la rive droite de la Souloise, à 50 m au-dessus de celle-ci, à 2 km en amont de St-Disdier. Cette cavité lance parfois, sous pression, un jet violent qui monte jusqu'à la falaise.

A moins de 500 m au nord du Puits des Bans, toujours sur la rive droite de la Souloise, se situe la grotte ou fontaine de Crèvecoeur, à l'altitude de 1 160 m. Les eaux s'en échappent moins facilement. D'autre part, de nombreuses sources reliées au même système sortent dans la zone Crèvecoeur - Puits des Bans.

Nous voulons donner ici les diverses étapes de l'exploration et de la connaissance du Puits des Bans et de Crèvecoeur et des phénomènes dont ils sont le siège.

#### a. Le Puits des Bans

##### I° - Historique et apport des travaux des prédécesseurs

C'est dès 1540 que les premières observations sur le Puits des Bans furent effectuées, si l'on en croit la légende tirée d'un ouvrage de la fin du 17<sup>ème</sup> siècle :

##### *Le Puits de Saint-Didier.*

*Creusé dans une caverne, et dont les eaux sont salées et chaudes, si bien que les enfants du village vont s'y baigner au coeur de l'hiver. La caverne pénètre si avant dans le rocher qu'il a été impossible d'en découvrir l'étendue, car les flammes et les torches que l'on y porte sont éteintes par le vent qui sort du puits sans discontinuer.*

*Elle est peuplée de crapauds, de serpents et autres reptiles que la chaleur du rocher, celle des eaux et la corruption y engendrent.*

*On dit qu'aux temps anciens l'on s'y rendait en procession toutes les années, et que la station avait lieu dans l'église de Saint-Jacques de Malemort, paroisse dépendant alors de Saint-André de Gap.*

*L'on ajoute qu'un jeune homme s'étant abandonné avec une femme dans le sein de la caverne, cet acte de débauche fit cesser la dévotion et perdre aux eaux de la fontaine la vertu dont elles étaient douées, de guérir un grand nombre de malades. Mais les habitants des environs persistent à croire qu'elles sont encore un remède efficace contre la gale et quelques autres maux.*

Le puits déborde parfois ; l'on est certains alors que la peste, la guerre et toutes les calamités publiques sont une suite inévitable de ces débordements, ainsi que le remarquèrent les habitants en 1540, 1589, 1629, 1630, 1631, 1643, 1661, 1662 et 1673.

Les eaux sortent avec tant de violence qu'elles s'élancent jusqu'à une caverne supérieure qu'on appelle "Beaume" dans le pays et quelques fois jusqu'à la cime du rocher, puis retombant, elles se précipitent dans le Selloise, torrent qui en est si fort augmenté qu'il déborde dans la plaine de Pellafol. Le 15 avril 1662, il sortit pendant 8 jours une si grande quantité d'eau de ce puits merveilleux que la Selloise en avait plus que la Durance, ce qui causa de grands ravages dans la campagne de Grenoble.

#### Les fontaines Girandes ou Cillardes

Des trois fontaines Girandes ... les premières ont peu d'eau, la troisième est toujours à sec ; mais le jour qui précède les débordements du puits, les trois sources deviennent abondantes. Au mois de Juillet 1673, elles répandaient de l'eau avec tant de profusion pendant 24 heures, que le Drac chargé de les recevoir de la Selloise, causa dans Grenoble une inondation telle que l'on était obligé d'aller en bateau, dans plusieurs quartiers de la ville. Il est vrai que de son côté le puits déborde, non seulement de la caverne, mais de toutes les fissures du rocher.

Jusqu'à l'automne 1946 on ne connaissait et visitait du Puits des Bans qu'une trentaine de mètres de galeries, contenant une première "laisse d'eau" (petit lac) et se terminant sur un plan d'eau formant voûte mouillante avec le rocher.

Tel était le développement de la cavité lorsque H. MARTY força le siphon d'entrée au moyen d'un scaphandre autonome du type Leprieur. Au-delà se développait une galerie remontante de 60 m environ donnant sur une "rue d'eau" (lac occupant une galerie étroite), que l'explorateur ne franchit pas.

Les travaux dirigés par Monsieur BOURGIN (17 avril et 16 mai 1948) permirent après de nombreux essais de pompage du siphon, franchi par M. MARTY, de le vider partiellement et de le désamorcer définitivement. Puis l'équipe explore une importante galerie dont la longueur développée atteint les 315 m à une profondeur, cotée à partir de l'entrée, de - 155 m. La progression est bloquée par un plan d'eau formant voûte mouillante. Retenons les observations effectuées par M. BOURGIN :

"La profondeur atteinte est de 150 m (155 m sur la coupe) estimés au baromètre et la cote de 990 m. Il reste pour atteindre la cote de 870 des Gillardes, un dénivelé de 120 m, soit pour une distance de 4,8 km, une pente moyenne de 2,5 %. Nous relevons la valeur particulièrement basse de cette pente, pour une rivière souterraine, contre 4 % pour la Souloise aérienne".

Entre le 16 mai 1948 et Août 1962, date à laquelle nous avons commencé nos travaux au Puits des Bans aidé par le G.S.P.S.I.F. et le G.S.A., deux faits importants sont à signaler :

- Les explorateurs qui ont visité la cavité à la suite de M. BOURGIN ont pu constater que le plan d'eau formant voûte mouillante, qui a arrêté l'exploration Bourgin, peut disparaître totalement et à partir de là, 340 m de galeries peuvent être explorées, qui s'arrêtent sur un siphon à la profondeur - 210 m. Nous le désignerons par la suite siphon en V, pour la clarté de l'exposé. (\*)

- Les spéléologues gapençais du G.S.A. découvrent et explorent 150 m dans une galerie nouvelle, partant du réseau principal. Cette galerie s'arrête devant un siphon.

Telle était l'état des explorations du Puits des Bans et l'interprétation hydrologique de cette cavité lorsque nous avons entrepris son étude spéléologique (\*\*\*) et hydrogéologique.

(\*) Nous entendons par siphon un conduit en U, occupé par l'eau, définition couramment employée dans les expéditions souterraines.

(\*\*\*) Spéléologie : Science des Cavernes.



## 2° - Etudes et travaux spéléologiques et hydrogéologiques

Les résultats acquis au Puits des Bains sont les fruits de nombreuses observations effectuées entre 1962 et 1970, obtenues au cours de travaux extrêmement pénibles.

1962 : Les observations effectuées sur le siphon en V de la galerie principale, à 950 m de l'entrée et situé à - 210 m de profondeur montrèrent que ce plan d'eau formait voûte mouillante et se vidangeait grossièrement suivant une loi exponentielle. L'estimation de l'épaisseur de la voûte mouillante observable pouvait permettre l'espoir de voir ce système se désamorcer. L'été et l'automne de cette année ayant été particulièrement secs, la voûte mouillante s'est désamorcée naturellement et nous permit début Novembre de progresser, en bateau pneumatique, d'une quinzaine de mètres, pour s'arrêter sur une 2ème voûte mouillante, plongeant d'une dizaine de centimètres dans l'eau. Si l'obstacle ne put être franchi, nous vérifierons plus tard que nous n'étions pas loin du but.

1963 : A la lumière des observations de l'année précédente, nous comptions sur une longue période de sécheresse, contrée sur l'été. Il n'en fut rien, bien au contraire : des pluies pratiquement journalières arrosèrent le DEVOLUY. Malgré cela, le siphon en V continue à baisser.

Les perspectives de cette saison étaient bien entendu de passer ce siphon pour poursuivre vers le réseau actif inconnu, mais aussi d'explorer méthodiquement la cavité, afin de découvrir éventuellement d'autres passages "shuntant" le siphon en V.

### Le siphon en V :

Début novembre 1962, le plan d'eau de ce siphon est à une cote exceptionnellement basse. Début Août 1963, sa cote est de plus de 5 m supérieure. Ce siphon se remplit lors de la mise en charge générale de la cavité, l'eau sort ou ne sort pas de celle-ci, suivant l'importance du phénomène. Puis l'eau disparaît et laisse le plan d'eau du siphon en V à une cote maximum qui, jusqu'à présent, restait

indéterminée, mais que nous ne tarderons pas à connaître. De fait, les pluies torrentielles du 15-16-18 Août provoquèrent une remontée des eaux, en notre absence, dans la cavité, de plus de 70 m. Le bateau pneumatique, laissé vers le dernier plan d'eau de la galerie inférieure, non loin du siphon de "Bourgin" a été retrouvé dans la voûte, coincé dans une fissure. Nous avons remarqué que cette embarcation ne s'est pas déplacée dans le plan horizontal, mais seulement dans le plan vertical : donc absence de courant.

D'autre part, nous avons pu observer la vidange générale de la cavité aux abords du siphon en V. Juste devant celui-ci, s'était formé un petit lac dans lequel se déversaient les eaux provenant du plan d'eau siphonnant. Le lac disparaît progressivement à la faveur d'un boyau incliné (diamètre du point d'absorption, 40 cm), suivi par les eaux de vidange du siphon, jusqu'au moment où la cote du plan d'eau a atteint celle du verrou. A ce moment, le mécanisme de vidange des eaux du siphon redevient celui que nous connaissions, à savoir perte par fissures et joints.

#### Explorations de la cavité :

Après de vaines recherches, nous avons essayé de passer le siphon de la galerie de GAP, mais sans succès. Les fluctuations de ce plan d'eau suivent d'assez près la pluviométrie, mais ces observations restaient difficiles à interpréter, du fait de l'alimentation du siphon, par une cascade.

En conclusion, pour cette période d'exploration, on peut retenir :

- que le siphon en V n'est pas en permanence relié à un réseau actif et qu'il peut être considéré comme une laisse d'eau obstruant une canalisation en U.
- que le siphon en V doit pouvoir être désamorcé par pompage, compte tenu de la présence du point d'absorption pour l'évacuation des eaux.
- que le réseau actif (circulation active) est extrêmement sensible à l'intensité pluviométrique.

1964 : Les informations acquises permirent d'envisager et de préparer le pompage du siphon en V.

Mettre en place une installation de pompage avec un groupe électropompe à 950 m de l'entrée et à - 210 m de profondeur n'a pas été sans poser des problèmes de tous ordres. L'alimentation électrique, ligne basse tension (220 - 380 V) était heureusement à 400 m de l'entrée de la cavité.

C'est pendant les week-end de Pâques et du 14 juillet que furent effectués les préparatifs et le pompage, fin juillet, début Août.

#### Observations :

La galerie inférieure est partiellement noyée, lors de notre visite d'installation, et un plan d'eau au lieu dit "siphon de Bourgin" est sans doute assez semblable à celui observé par l'explorateur. Nous constatons que "la voûte s'amorce périodiquement, aspirant de l'air en 'glouglous sinistres' comme le décrit l'auteur. Puis il conclut "Il semble que nous soyons au voisinage immédiat de la circulation active, qui lui transmet une dépression par un mécanisme d'ailleurs inconnu."

Nous pensons important de montrer la présence, en deux points de la cavité (salle à manger de Bourgin et salle du siphon de Bourgin) d'une circulation active, petit torrent souterrain, dont le débit peut être parfois important, et qui n'a pas été décrit par M. BOURGIN. Cette eau provient de la surface et est drainée par le Puits des Bans qui joue ainsi un rôle de chourum. Dans la salle du siphon de Bourgin, l'eau du torrent souterrain alimente le plan d'eau.

#### Pompage :

Malgré des incidents mineurs, les eaux du siphon furent éliminées par évacuation dans le "point d'absorption" jusqu'au niveau suffisant, permettant passage à l'explorateur.

Nous avons profité de la circulation de l'eau engendrée par le pompage pendant 36 h pour injecter dans celle-ci 20 l de solution ammoniacale de fluoresceine, espérant ainsi colorer la circulation active inconnue.

Après plusieurs heures de pompage, un mugissement quelque peu sinistre s'est déclenché et s'est maintenu pendant plus d'une heure. Cela correspond sans doute à la détente de l'air comprimé dans la galerie, au-delà du siphon ou dans une cavité adjacente.

#### Exploration de la galerie derrière le siphon :

La voûte mouillante ayant pu être désamorcée, et le plan d'eau suffisamment abaissé pour permettre le passage en canot pneumatique, nous avons pu découvrir 350 m de galerie, au départ remontante, (sur 150 m on s'élève de 50 m), puis redescende dans une galerie en forme de tube incliné à près de 45°. A la base de celle-ci, à la profondeur - 220 m, nous étions arrêté par un nouveau siphon, situé 10 m plus bas que celui que nous venions de vider, et de plus alimenté par un petit ruisseau. Les observations effectuées sur ce plan d'eau, pendant 8 jours, montrèrent une baisse régulière de 5 cm en moyenne par jour.

Il est possible de retenir, des divers phénomènes observés au cours de ces travaux souterrains :

- En premier lieu, que le mécanisme d'amorçage du "siphon de Bourgin" n'est en rien relié avec la circulation active recherchée (La Souloise souterraine). Ceci est démontré par la topographie du départ de la galerie inférieure et l'alimentation importante du torrent arrivant au siphon de Bourgin.

Le mécanisme se produit donc dans les conditions suivantes :

La galerie inférieure possède dans la première partie une forme en U très plate, à branches inégales, puis la pente devient assez raide en direction du siphon en V. L'eau apportée par le torrent dans la branche supérieure du U est absorbée par les fissures tant que le

débit reste faible ; si celui-ci augmente, le U se remplit jusqu'au moment où par la branche inférieure l'eau s'écoule ; la masse d'eau qui se vidange provoque un effet d'appel (ou de siphonnage), ce qui mobilise l'ensemble de l'eau contenue dans le U et provoque les mouvements divers que M. BOURGIN et nous-mêmes avons constatés. Notons que ceci ne nécessite nullement l'action de la circulation recherchée, bien au contraire, car le phénomène ne pourrait pas, par manque de possibilité d'écoulement, se produire si la cavité était en charge à ce niveau.

- Le fait que le siphon en V ait pu être vidé sans qu'aucune remontée du plan d'eau n'ait été observée après l'arrêt de la pompe fournit une preuve supplémentaire de l'indépendance de cette vasque d'eau par rapport au réseau actif.

D'autre part, indiquons que l'essai de coloration à la fluoresceine est resté négatif. Les fluo-capteurs placés aux exurgences des Gillardes pendant 8 jours, n'ont pas révélé le passage du colorant.

- La topographie de la nouvelle galerie se rattache à la structure locale. L'explorateur monte suivant le flanc d'un anticlinal puis redescend suivant l'autre flanc.
- La baisse assez rapide du second siphon, bien qu'alimenté, est à remarquer : 5 cm par jour, contre à peine 1 cm pour le siphon en V. Un autre point important est la cote atteinte : 920 contre 870 pour les Gillardes.

1966 : De la même façon que nous avons pompé et vidé le premier siphon, il était intéressant de tenter la même expérience sur le second. Toutefois le problème s'avérait beaucoup plus compliqué puisque le premier était de nouveau rempli et que d'autre part, aucun point d'enfouissement n'existait aux abords du deuxième. D'où la nécessité de remonter l'eau sur 60 m dans plus de 350 m de tuyaux, afin de la renvoyer dans le premier siphon dont les eaux seraient évacuées dans le point d'absorption connu.

En Août 1966, le projet fut mis à exécution, en n'ayant en notre possession qu'une seule pompe. Nous pompons les eaux du siphon en V et parallèlement injectons 20 l de fluoresceine, la vasque du siphon en V devant servir de capacité. Le matériel fut ensuite installé au second siphon, mais le niveau de celui-ci remonta de 1,5 m à la suite d'une faible pluie. Malgré les ennuis provoqués, le pompage se déroula correctement jusqu'au remplissage critique du siphon en V. Ainsi 50 à 60 m<sup>3</sup> furent extraits du second siphon sans que ceci imposa au plan d'eau une baisse supplémentaire de niveau. Celui-ci descendait naturellement de 5 cm par jour comme nous l'avions constaté en Août 1964. Quelque peu découragé par ce résultat, nous avons essayé d'abattre la voûte mouillante apparemment constituée de lits de silex plongeant dans le plan d'eau. L'explosif foudroya effectivement ces lits de silex et de ce fait, le plan d'eau est passé de 5 m de long à plus de 15 m, mais le passage n'a pas pour autant été ouvert.

L'essentiel des résultats acquis au cours de ces travaux et leur interprétation porte essentiellement sur 3 points :

- La réaction du niveau du second siphon à la pluviométrie tend à prouver soit une alimentation inconnue très importante, soit une communication avec le réseau actif. Les ruisseaux souterrains observés dans le Puits des Bans et en particulier celui qui alimente directement le second siphon sont peu sensibles à l'effet de la pluviométrie. Les terrains tertiaires et la végétation qui recouvrent le Puits des Bans offrent un pouvoir régulateur important vis-à-vis des eaux d'infiltration, même s'ils ont fracturés. La remontée des eaux ayant été observée quelques heures à peine après la pluie tend à prouver que ce siphon est en relation avec un réseau drainant important.
- L'essai de coloration à la fluoresceine à partir des eaux de refoulement du siphon en V est encore une fois resté négatif. La surveillance a été effectuée aux exurgences des Gillardes à l'aide de fluocapteurs, ceux-ci relevés 2 fois par jour, pendant

trois semaines. Remarquons que la distance n'est que de 4,2 km entre le point d'injection et les Gillardès.

- Autre point important : le plan d'eau reste indifférent à l'action d'un pompage. Soit parce que la capacité est très vaste avec des caractéristiques géométriques propices, soit encore une fois parce que nous pompons dans le réseau actif, ce qui expliquerait l'absence de variation de niveau. (les débits respectifs des Gillardès étant d'environ 5 m<sup>3</sup>/s contre 5 m<sup>3</sup>/h pour le débit de la pompe)

1970 : Les résultats obtenus en 1966 ne laissaient plus beaucoup d'espoir pour franchir l'obstacle du second siphon ; néanmoins l'explosif ayant effectué un bon travail, nous allions nous accrocher à ce dernier espoir.

Noël 1969 : nous étudions plus attentivement le siphon terminal de la galerie de GAP. Ce siphon, observé plusieurs fois au cours de nos explorations, possédait lors de notre visite du 1/1/70 une cote exceptionnellement basse (plus de 8 m par rapport à la cote observée le 10/8/63). Les mesures effectuées pendant les jours qui suivirent montrèrent une baisse régulière de 2 cm par jour environ.

Août 1970 : Un matériel plus adapté nous permit de vider le siphon en V et d'atteindre le deuxième avec l'espoir de poursuivre la destruction de la voûte mouillante, mais l'explosif ne voulut jamais partir. Afin de ne pas perdre le résultat de tant d'efforts, nous avons fait appel à des plongeurs pour visiter ce plan d'eau siphonnant. Deux plongeurs, équipés de scaphandres autonomes Cousteau-Gagnand, s'enfoncèrent sur 40 m dans les eaux du siphon.

Celui-ci, logé dans une galerie voisine de la verticale, se poursuit au-delà du point où se sont arrêtés les plongeurs. Les profondeurs visibles et estimées par ceux-ci sont de l'ordre de 15 à 20 m. Au-delà, il leur a été impossible de juger de l'aspect de la galerie.

D'autre part, au cours de la plongée, il a été vérifié que la galerie noyée n'offrait aucun départ sur une galerie secondaire. Cette cinquième année d'exploration du Puits des Bans s'est achevée par un relevé topographique montrant l'identité de niveau du second siphon de la galerie principale et du siphon terminal de la galerie de Gap.

D'autre part, les relevés effectués pendant dix jours permettent de vérifier que ces deux plans d'eau accusent une baisse journalière moyenne de 4,5 cm par jour.

Cette dernière campagne hydro-spéléologique au Puits des Bans conduit aux remarques suivantes :

Les eaux du second siphon de la galerie principale ne peuvent être considérées comme une simple laisse d'eau dans un tube en U, mais faisant partie intégrante de la circulation active des eaux du karst. Prises en elles-mêmes, ces remarques pourraient prêter à diverses interprétations, mais le fait qu'un autre plan d'eau distant de 450 m réagisse de la même façon montre qu'ils appartiennent à un système hydraulique commun, qui ne peut être à ce niveau, que la circulation active du karst.



b) La Fontaine de Crevecoeur

Cette exurgence temporaire, impénétrable car masquée par des éboulis, a été désobstruée et explorée sur une centaine de mètres, par Monsieur BOURGIN, en 1942, avant de se terminer par une voûte mouillante. Tel était l'état de l'exploration lorsque Monsieur BONDARNEAU, garde des Eaux et Forêts, en 1963-1964 reprit l'exploration de la cavité après avoir de nouveau débarrassé l'entrée qui s'était colmatée entre temps.

Mais des travaux plus importants furent effectués sous la direction de Monsieur J. TOURRES. Le siphon terminal est franchi et après maintes difficultés, dues essentiellement à des galeries exigües et entrecoupées de siphons et de laisses d'eau, la profondeur de 100 m est atteinte, cote à laquelle l'exploration a été abandonnée.

En conclusion, la Fontaine de Crevecoeur, à cause des difficultés de progression est loin d'avoir fourni des renseignements équivalents à ceux tirés du Puits des Bans, mais confirme les observations hydrogéologiques obtenues.

c) Données hydrogéologiques relatives aux systèmes Puits des Bans - Crevecoeur

1° - Données géologiques

- Situation générale

Ces deux cavités sont centrées sur le développement sud de la faille chevauchante Ouest du St-Gicon, celle-ci s'amortissant dans la montagne d'Aurouze. Localement, se développe autour de cette faille un pli en genou déversé (ou chevauchant vers l'Ouest à la faveur de cet accident). Si la cassure majeure reste la fracture chevauchante à la base du pli en genou ; il apparaît qu'un accident casse la zone anticlinale vers la charnière. Dans cette fracture, s'ouvrent le Puits des Bans et Crèvecoeur. Un certain nombre d'horizons géologiques constitue les matériaux de cette architecture : le calcaire sénonien en profondeur (il n'affleure pas ici), puis la base de la série

tertiaire : conglomérat de base, calcaire nummulitique, et calschiste. Crèvecoeur s'ouvre dans les calschistes, le Puits des Bans dans le conglomérat de base.

- Analyse géologique du Puits des Bans

Lithologie : Le Puits des Bans s'amorce dans les pudrigues de base formés de gros galets de sénonien, entrecoupés par place de lits détritiques d'éléments fins plus ou moins argileux. On observe très bien cette formation dans la baume surplombant le petit puits d'accès. Ce conglomérat à gros galets se rencontre encore à -20, -30 m. Signalons que dans la première salle (salle des Marmites), les eaux de la cavité ont sorti les galets sénoniens de leur gangue et poursuivent ainsi leur polissage. Au delà de cette cote, entre -25 et -70 m, le conglomérat de base se poursuit avec des galets de petit diamètre moyés dans un ciment assez abondant à patine claire. Vers -70 m, cette formation disparaît et on rentre dans le calcaire sénonien, représenté par l'assise IV (calcaire à rognons et à bandes de silex) de -70 à -220 m.

Les accidents : Cette cavité, du point de vue des fractures, se divise en deux parties bien distinctes : l'une où la faille est l'élément majeur (entre l'entrée et la salle du siphon de Bourgin partie supérieure), l'autre peu affectée par une tectonique cassante mais peut-être le siège d'un ripage d'ensemble des lits calcaires ; cela reste à vérifier (entre le siphon de Bourgin et les deux plans d'eau terminaux, dans la galerie principale et dans la galerie de Gap - partie inférieure). Ces deux ensembles, au niveau de la cavité sont séparés par une fracture verticale située perpendiculairement à l'axe d'entrée de la galerie inférieure, qui représente le prolongement de la faille dans laquelle se développe la lère partie.

Partie Supérieure :

En réalité, il existe certainement deux plans de fracture : le premier de l'entrée à la salle à manger de Bourgin,

le deuxième passe par le plan médian de la galerie qui conduit à la salle du siphon de Bourgin.

#### OBSERVATIONS

1ère fracture : De la route de St-Disdier à St-Etienne, on peut remarquer dans la partie gauche de la Baume, une fracture coinçant et plissant les pudingues entre deux mâchoires. En dessous de la Baume d'entrée, à droite, des blocs d'éboulis coulent vers la Souloise. A côté de ceux-ci, on observe un plan incliné qui représente un miroir de faille. On peut remarquer que celui-ci se retrouve dès que l'on pénètre dans la cavité. A l'intérieur de celle-ci, il est bien difficile de se situer, les bancs ayant été biseautés et parfois courbés; on a l'impression que la cavité s'est développée à la faveur de joints de stratification. Mais en plusieurs points, on vérifie qu'elle se développe dans une fracture élargie ; en particulier dans la salle à manger de Bourgin où l'on observe les bancs de calcaire sénonien, peu inclinés, coupés par une fracture de direction NS, inclinée de l'Est vers l'Ouest bourrée de matériaux broyés.

2ème fracture : Entre la 1ère fracture et la 2ème, la galerie se développe à la faveur des joints de stratification. A la sortie de celle-ci, on entre sans transition, dans la 2ème fracture qui, en ce lieu, est bien mise en évidence. Par contre dans la partie haute du siphon de Bourgin, le phénomène peut être moins net, car il y a accordance par place du pendage apparent et du plan de faille. Ceci est sans doute dû au fait que la faille passe d'un plan oblique à un plan vertical.

#### Conclusion :

Nous retiendrons que la partie supérieure de la cavité (1ère partie) se développe principalement à la faveur d'une fracture élargie, et que celle-ci se décompose en deux plans obliques décollés en profondeur d'Ouest en Est.

Ce phénomène est semblable à celui observé pour les fractures étudiées à partir de l'exploration des chourums.

Partie inférieure

/ malgré tout De la salle du siphon de Pourgin, aux voûtes mouillantes terminales (2ème siphon de la galerie principale, siphon de la galerie de Gap), la galerie s'est formée à la faveur de joints de stratification érodés. Si ceux-ci constituent l'essentiel de l'ossature des galeries inférieures, le rôle de petites diaclases n'est pas négligeable. Remarquons que les deux siphons qui marquent le point final de cette partie inférieure de la cavité se placent dans des fractures qui représentent les plans de cassure de cette zone faillée.

OBSERVATIONS

Quittant la partie supérieure dont la pente est importante (environ 45°) et dont le plafond est fuyant, on passe sans transition à des galeries pratiquement horizontales à plafond surbaissé. On quitte donc bien une zone en fracture pour entrer dans une zone développée en joints. D'autre part, ces galeries à plafond et à sol relativement plats, aux joints taillés en biseau, aux bancs formant saillies, sont bien caractéristiques. Par endroit, la diaclase donne un plafond fuyant et plus élevé.

Il est bien net que la pente de la galerie suit le pendage apparent : cela peut se vérifier à tous les niveaux de la galerie inférieure.

A peu de distance du siphon de Gap, on quitte les joints de stratification pour passer dans un plan de fracture (faille intrasénonienne) d'axe N.S. et globalement incliné d'Ouest en Est.

Quant au siphon terminal de la galerie principale, il semble se loger dans une fracture sans que l'on puisse en apporter une preuve irréfutable.

Néanmoins trois faits concourent dans ce sens. En premier lieu, la cascade qui alimente le plan d'eau siphonnant provient d'une fracture verticale parallèle à l'axe de la dernière partie de la galerie. En second lieu, la galerie noyée se développe dans un puits vertical, alors que la galerie d'accès est très peu inclinée, suivant en cela la stratification. D'autre part, le relevé topographique indique la possibilité pour cette voûte mouillante de se situer sur le passage d'un plan de faille repéré en surface.

#### Conclusion :

Nous pensons que les éléments marquant de la zone inférieure du Puits des Bans sont de deux ordres : tout d'abord, son développement en joints de stratification avec localement quelques diaclases, ensuite le fait que ces galeries sont arrêtées par des fractures où l'eau forme avec la roche des voûtes mouillantes.

#### - Analyse géologique de Crèvecoeur

Lithologie : La grotte de Crèvecoeur s'ouvre dans les calschistes, calcaires marneux qui possèdent une assez bonne schistosité, et se délitent en plaquettes. Au delà de quelques mètres de profondeur, environ 6 à 8 m, on passe dans le calcaire nummulitique en bancs épais et à patine claire. Notons que ce calcaire nummulitique est quelque peu fissuré.

Les accidents : La cavité se place dans la fracture de tête de l'anticlinal. Toutefois, l'élargissement de celle-ci reste dans l'ensemble nettement moins développé qu'au Puits des Bans. Mais il n'est pas impossible que cette cavité, dans sa première partie, ne se développe pas totalement dans la fracture mais dans des joints de stratification décollés lors de la formation de l'accident.

## 2° - Données hydrologiques souterraines

### - Situation générale

Du Puits du Bans et de la Fontaine de Crèvecoeur, à la suite de fortes pluies, ou de l'effet conjugué de pluies et d'un vent venant d'Italie "Le Lombard", les eaux ressortent. Certains dévoluards prétendent que la présence du Lombard est indispensable pour que les eaux jaillissent de ces cavités. S'il est surprenant et spectaculaire de voir ces exurgences en période d'activité, ceci l'est encore plus lorsque l'on a présent à l'esprit l'importance du phénomène : une mise en charge de 220 m à 240 m

Monsieur A. BOURGIN envisageait le Puits des Bans comme une cheminée d'équilibre sur la rivière souterraine. Quelle que soit la véracité de cette hypothèse, force est de reconnaître que de fortes pluies commencent par amplifier le débit des exurgences permanentes, les Gillardes, puis le système Puits des Bans - Crèvecoeur entre en activités et parallèlement bon nombre de petites sources satellites, situées au voisinage et à des altitudes semblables. Et enfin bien que très rarement vers une ferme du village de Giers l'eau jaillit. Ce processus d'écoulement successif suivant l'altitude semble bien attester que tous ces points d'exurgence sont rattachés à un réseau unique souterrain.

Le débit fourni par le Puits des Bans reste inconnu. Notons qu'il est essentiellement variable, variable d'une émission à une autre, variable au cours d'une même émission dont la durée maximum n'a pas excédé trois jours ces dernières années. Si la légende nous apprend qu'il peut sortir du Puits des Bans suffisamment d'eau pour inonder la plaine de Grenoble, on peut toutefois noter que le 3 Novembre 1963, la Souloise grossie des eaux sortant de cette cavité a emporté une pile de pont.

### - Analyse hydrologique du Puits des Bans

Nous diviserons ce chapitre en deux parties relatives aux

deux fonctions, d'importance bien différente, dont le Puits des Bans est le siège : cette cavité travaille comme chourum c'est-à-dire draine les eaux d'infiltration vers le réseau actif, d'autre part elle joue vis-à-vis de ce réseau, un rôle de cheminée d'équilibre. (A. BOURGIN)

#### Puits des Bans : Chourum

On remarque que cette cavité possède plusieurs circulations actives représentées par de petits ruisseaux souterrains, qui collectent les eaux provenant de la surface pour les emporter vers le fond. On en dénombre quatre mais, il n'est pas impossible que celui visible dans la salle du siphon de Bourgin ne soit que la partie inférieure de celui existant dans la salle à manger de Bourgin. Les deux autres se manifestent aux abords des deux plans d'eau formant voûte mouillante. Aucune mesure de débit n'a été effectuée sur ces circulations souterraines. Néanmoins on peut estimer que leur débit respectif reste faible. (quelques litres à une dizaine de litres par minute suivant l'alimentation).

#### Puits des Bans : Cheminée d'équilibre

La présence d'un niveau d'eau actif sans doute relié au réseau inférieur inconnu de A. BOURGIN, n'a été observée que tout dernièrement, hormis le cas exceptionnel où le niveau dépasse la côte d'entrée de la cavité, par Monsieur BONDARNEAU et Monsieur TOURRES. Nous-même, plus récemment encore et de façon plus exceptionnelle, avons pu le voir remonter et descendre.

Les informations ainsi obtenues ne sont pas d'ordre quantitatif par manque de temps sur place, mais aussi faute d'obtenir un matériel de mesure adapté au contrôle de la variation de ce plan d'eau. Afin de mettre en relief le mécanisme de mise en charge, consécutif à l'alimentation, nous décrirons les observations effectuées, saison par saison, en essayant de les relier aux précipitations atmosphériques.

Hiver : Le gel et la neige bloquent pratiquement toute l'infiltration pendant plusieurs mois et jusqu'à présent aucun mouvement d'eau n'a été réperé pendant cette saison dans la cavité.

Printemps : Dès le début du printemps, la fonte du manteau neigeux s'amorce. C'est à cette époque que l'on peut observer la remontée des eaux ; mise en charge non pas brutale mais progressive.

Nous avons pu constater par nous-même, à deux reprises, cette remontée, qui s'effectue sans aucune agitation à la manière du niveau dynamique d'une nappe. Si en cette saison la mise en charge est rarement suffisante pour permettre à l'eau de sortir de la cavité, celle-ci contient une colonne d'eau dont le niveau dynamique oscille parallèlement à la fusion de la neige. Puis, fin mai, début juin, la cavité se vide et le niveau dynamique est de nouveau matérialisé par les deux plans d'eau siphonnant.

Eté : L'activité hydrologique de la cavité est en tout point comparable à celle qui s'est établie à la fin du printemps. Tout ce complexe hydrologique s'achemine vers l'étiage (courant Août). Cependant, les étés pluvieux ont permis de vérifier que le réseau actif était particulièrement sensible aux précipitations.

Automne : Cette saison présente une variation de pluviométrie importante, ce qui, par conséquence, entraîne une activité variable du Puits des Bans, Il n'est pas rare de voir se prolonger l'étiage malgré une alimentation accidentelle, jusqu'à début novembre.

La vidange est en général brutalement stoppée par un apport massif d'eau qui provoque assez fréquemment des sorties d'eau de la cavité. Toutefois cette alimentation est de courte durée et par saccades, le système hydrologique s'achemine vers l'étiage d'hiver.

C'est pendant cette période que l'on peut constater les plus importantes mises en charge du Puits des Bans, sous l'effet d'une intensité pluviométrique importante appuyée par une fusion des glaciers souterrains, provoquée par un vent chaud, le Lombard;



### 3° - Les GILLARDES, Exurgences temporaires

Sur le versant Nord du DEVOLUY, au pied de falaises impressionnantes (plus de 600 m) dans la vallée de la Souloise, encadrant celle-ci sur sa rive droite et sur sa rive gauche, sont implantées respectivement les Petites GILLARDES et la Grande GILLARDE, exurgence du kartz. Les petites Gillardes au nombre de trois (altitude 875 m) peuvent être considérées comme intermittentes bien que de l'une d'elles (la plus en aval) coule au moins un filet d'eau pratiquement continu. La Grande Gillarde (altitude 870 m), permanente, représente la source principale, dont les petites Gillardes sont des satellites situés à quelques centaines de mètres et légèrement plus haut. Mais comme nous le montrerons dans ce chapitre, les diverses sources possèdent la même alimentation.

La GILLARDE (grande et petites) se classe en troisième place parmi les sources françaises, après la Fontaine de Vaucluse, et la Fontaine l'Evêque. Son débit maximum peut atteindre 56 m<sup>3</sup>/s et son débit minimum 1 m<sup>3</sup>/s. En moyenne le débit oscille entre 35 m<sup>3</sup>/s à 3 m<sup>3</sup>/s.

Dans une vue d'ensemble, la position des GILLARDES, en bordure du Dévoluy, à la limite de l'extension des calcaires sénoniens, s'explique d'elle-même lorsque l'on sait que c'est le point le plus bas de l'affleurement du Sénonien. Par contre, il est beaucoup plus complexe de dégager, dans le détail, leur condition d'exurgence. De fait, jusqu'à ce jour, à notre connaissance, aucune solution n'a été proposée. Dans ce chapitre, nous essayons d'apporter notre contribution à l'explication des conditions d'exurgence des Gillardes.

Nous avons donc entrepris cette étude en la basant sur les facteurs stratigraphique et tectonique de cette zone, et en la complétant par une étude physico-chimique des eaux comparées à celles d'autres sources du massif du Dévoluy.

## a. Etude géologique du site des Gillardes

### 1° - Cadre de l'étude

La zone étudiée est comprise dans un quadrilatère dont les sommets sont matérialisés par les gorges de la Souloise, en aval de St-Disdier (angle Sud), le fond de la combe du Loup (angle Ouest), le col des Faisses (angle Nord), la Grande Roche (angle Est). Les Gillardes occupent grossièrement le centre de cette figure bien qu'elles soient quelque peu décentrées vers le Sud-Est.

Jusqu'à présent, cette zone n'a pas été le théâtre d'un travail géologique d'ensemble. Par contre la bordure Est a été étudiée par Monsieur NEVEU (D.E.S.) et par Monsieur TRUILLET (Doctorat 3e cycle), jusqu'aux falaises surplombant la Souloise. D'autre part, Monsieur ALBISSIN et L. GLANGEAU étudièrent les phases tectoniques du N.E. du Dévoluy et leur influence structurologique (1). En conséquence, nous nous sommes attaché plus particulièrement à réaliser une étude de détail de la partie Ouest.

### 2° - Stratigraphie - Lithologie

Ce secteur est essentiellement marqué par la présence d'alluvions fluvio-glaciaires et d'une végétation relativement abondante. De ce fait, dans le site des Gillardes, aucun affleurement ne peut être décelé. Seul, le calcaire sénonien formant falaise reste observable dans cette zone. Les formations directement présentes sous le sénonien sont difficilement décelables sous les éboulis importants qui s'implantent à la base de ces calcaires. Toutefois, il semble que l'on puisse conclure à la présence de marnes et marno-calcaires du Valanginien sous les calcaires sénoniens de la rive droite de la Souloise, et aux formations du Valanginien et du Berriasien inférieur - Hauterivien (alternance de bancs marneux et de bancs calcaires) sur la rive gauche. Il est très probable que dans le site des Gillardes nous soyons en présence du Valanginien recouvert par les formations fluvio-glaciaires.

(1) voir bibliographie

- les Gorges de la Souloise, entre les points cotés 999,2 et 913,1, sont creusées dans les calcaires sénoniens coiffés des conglomérats et calcaires nummulitiques. Le sénonien, d'après son faciès, paraît tout entier situé dans l'assise IV (calcaires blancs, jaunes ou grisâtres avec des silex en rognons ou en bandes, en cassure café au lait à beige foncé).

Au-delà de la cote 913,1, nous envisagerons successivement les affleurements de la rive droite puis ceux de la rive gauche de la Souloise.

- Rive droite

Les calcaires de l'assise IV se poursuivent : on peut observer ces affleurements, formant falaise, jusqu'au niveau des Gillardes. La base de ces affleurements reste relativement proche de la Souloise, et décrit un arc de cercle pour rejoindre le Gicon.

- Rive gauche

Assise IV : la falaise formée par l'assise IV cesse de border la Souloise, entre la cote 938,4 et 913,1 pour remonter plein Ouest, formant ainsi la crête du Clos du Mounard. On retrouve ces calcaires plus au Nord, éloignés du lit de la Souloise, à partir des Cotes de l'Oranier (1200 m) jusqu'à la Tête de la Garde (1830 m).

Assise II : entre la falaise du Clos du Mounard et les Cotes de l'Oranier pratiquement toute cette zone est recouverte d'alluvions fluvio-glaciaires. De plus une végétation assez dense contribue à masquer les affleurements ; malgré tout une prospection systématique dans le secteur limité par la falaise du Clos du Mounard, le pré Rond, la Grande et la Petite Aiguilles, la Tête de la Garde, les Gillardes et les Gorges de la Souloise, nous a apporté des informations très intéressantes :

Les Calcaires bleu noir

Affleurements : Les Issards. Suivant le chemin forestier qui surplombe la route de St-Disdier à Corps, au lieu dit "Les Issards", on constate dans le talus (Ouest) un affleurement de calcaire bleu noir.

en patine : gris bleuté, on observe des rognons de silex peu fréquents, sur les plans de décollement, le calcaire a un aspect verniculé.

en cassure : bleu noir, calcaire peu cristallin. Ces bancs de calcaire marneux sont séparés par de fines passées marneuses.

D'après le faciès de ces calcaires, on peut conclure à la présence en ce lieu de l'assise II.

Au Sud-Ouest de cet horizon, et 50 m au-dessus, on peut observer un affleurement de calcaire à patine blanche, en cassure jaune ou café au lait à beige, comportant des inclusions de silex : c'est un témoin de l'assise IV.

Autres affleurements de calcaires bleu noir : Après la découverte des premiers calcaires bleu noir aux Issards, nous avons mis en évidence de nombreux autres affleurements dans la pointe commune au bois de Sapey et au bois du Ban, qui conduisent à interpréter ce secteur comme étant uniquement constitué de calcaires bleu noir.

Au Sud-Ouest d'une ligne passant grossièrement par les cotes 938,4, 1341,6, 1603,5 (Petite Aiguille), 1482,6 (Grande Aiguille) on rencontre les calcaires de l'assise IV.

A l'Ouest du Ravin de Subère (Tête des Ombres), on rencontre de nouveau des calcaires bleu noir (les Charances, ainsi qu'au fond de la Combe du Loup).

Conclusion :

On peut retenir la présence probable du Crétacé inférieur (Valanginien) dans le site des Gillardes. La série sénonienne est représentée essentiellement par l'assise IV, déjà mise en évidence par des prédécesseurs, et l'assise II dont nous montrons l'existence. Nous ne parlons pas de l'assise III, dont le faciès est peu différent de celui de l'assise IV et que nous avons groupé avec celle-ci.

3°) - Tectonique

Les observations stratigraphiques reliées à d'autres, d'ordre structural (détermination de pendage) et d'ordre tectonique (zone broyée, présence de milonites) permettent de se situer dans la tectonique générale du Dévoluy et de dégager les structures actuelles de ce secteur.

- Faille de la Souloise

Observations : trois faits importants méritent d'être retenus :

Pratiquement, en suivant la Souloise, entre le pont de la Baume et les Gillardes : affleurement sur le versant rive droite des calcaires sénoniens de l'assise IV et sur le versant rive gauche des calcaires sénoniens de l'assise II.

De plus ces deux horizons différents du sénonien ont des pendages contraires : l'assise IV, 30° N 360°, l'assise II, 30° N 236°. Celle-ci est d'autre part située plus haut en altitude : 1180 m pour l'affleurement observable le plus bas ; par contre, 875 m pour le pied de la falaise de l'assise IV

Interprétation : Sans doute, nous n'avons pas toutes les données permettant de déduire la structure et plus spécialement l'épaisseur propre à chaque assise. Toutefois, la puissance de l'assise IV est estimée à 300 m par Monsieur TRUILLET. Il est fort probable que dans cette zone l'épaisseur passe à 400 - 500 m. D'autre part, la présence du crétacé inférieur plus au Nord permet de penser que cette assise ne se poursuit pas vraiment au-delà du niveau de la Souloise, dans le secteur de "Voutes Pied".

En ce qui concerne l'assise II, il est beaucoup plus délicat de préciser sa puissance, n'ayant aucun témoin des limites inférieure et supérieure. Si l'on se rapporte à ce que l'on peut observer en d'autres lieux, on peut estimer que cette formation a de 100 m à 150 m d'épaisseur au maximum. Par contre, si l'on estime la puissance à partir des affleurements observables, dans le bois du Ban, et compte tenu des pendages on atteint pratiquement 500 m, ce qui paraît tout à fait anormal à première vue ...

Si l'on retient les différents paramètres obtenues sur le terrain (présence sur les flancs opposés de deux horizons différents avec des pendages contraires), deux solutions peuvent être envisagées pour interpréter leur place dans l'architecture locale :

- soit une structure très plissée en forme d'anticlinal pincé,
- soit une faille.

Par contre il est sans doute plus logique de voir l'association des deux car nous avons les témoins d'une structure anticlinale et la faille permettrait d'expliquer sa faible amplitude transversale.

Nous retiendrons donc qu'entre le pont de la Baume et les Gillardes se situe un axe anticlinal, faillé, de direction S. SW - N.NE, plongeant rapidement vers le Sud-Est.

#### - Faille de la petite Aiguille

Observations : Par le chemin provenant de la cabane des bucherons, au niveau de la Petite Aiguille, entre celui-ci et celle-là, on remarque d'importants blocs de milonites, à éléments sénoniens, plus au Nord, les calcaires sont complètement disloqués et leur pendage varie entre la verticale et l'horizontale très rapidement. D'autre part, la partie supérieure Ouest de la Petite Aiguille repose en partie sur un lit de roche broyée. Ce sont là des témoins d'une tectonique violente qui disloqua complètement ce secteur.

En s'acheminant en direction du "Pré Rond", on constate que cette ligne de fracture se poursuit engendrant des désordres de même style. De part et d'autre d'une ligne passant par la Grande et la Petite Aiguilles, on rencontre à l'Ouest, les calcaires beiges, de l'assise IV et, à l'Est, les calcaires de l'assise II.

Si la couverture masque vers le Sud-Est cet axe engendrant dislocation et contact anormal, on est cependant tenté de relier celui-ci à la direction des gorges de la Souloise qui se situe normalement dans le prolongement de cet axe.

Interprétation : Roche broyée et complètement disloquée, contact anormal des calcaires des assises IV et II : ce sont là les témoins d'une faille verticale passant par la petite Aiguille de direction N.NW - S.SE, dont nous ne pouvons pas préciser la limite Nord au-delà de la Grande Aiguille. Par contre, elle semble se poursuivre dans le Sud, jusqu'aux gorges de la Souloise. S'il est difficile de montrer dans ce secteur une faille intra-sénonienne, on peut remarquer que les fractures sont toutes parallèles à la direction de l'accident de la Petite Aiguille. Cette faille d'axe N.NW - S.SE s'inscrit dans l'un des réseaux de failles majeurs du DEVOLUY.

#### - La Faille des Gillardes

Observations : Celles-ci sont peu nombreuses et peuvent paraître peu convaincantes. On est très desservi par une couverture de toute nature mais malgré tout, quelques faits paraissent assez significatifs :

- sur les flancs du vallon prolongeant la combe du Loup vers la vallée de la Souloise, Les affleurements de calcaire sénonien, au sommet, appartiennent à deux assises différentes et se font vis à vis à des altitudes voisines. D'autre part, à la base des flancs, à des cotes identiques, apparaissent les calcaires de l'assise II. Ces horizons, qui pratiquement représentent la fin de ces calcaires possèdent des pendages identiques en valeur, en direction et en sens.

- sur le flanc Nord (Tête de la Garde, Cote de l'Oranier) apparait l'assise II surmontée de l'assise IV.
- sur le flanc Sud (Bois de Sapey), à partir de la Petite Aiguille, jusqu'au ravin des Gillardes affleure l'assise II dont l'épaisseur parait importante (250 m environ), mais conforme à celle repérée des côtes de l'Oranier aux Mourrès.
- la paroi Nord-Est de la Petite Roche, vue du chemin, au-dessus de Lauson, est fracturée suivant un plan parallèle à la surface N.E. Par contre, cette fracture ne s'observe pas au-dessus de la falaise en remontant vers la Grésièrre.
- certains accidents dans la topographie sont alignés : le plan incliné passant par la cote 1193,0 et le sommet du ravin des Gillardes, la Grande Gillarde, le plan de la paroi N.E. de la Petite Roche. Ces accidents ont peut-être une origine commune.

Interprétation : Les preuves majeures d'un accident tectonique dans le secteur des Gillardes doit sans doute être recherché entre le bois de Sapey et les côtes de l'Oranier :

- Tout d'abord, on peut remarquer la présence face à face à des altitudes voisines de deux assises sénoniennes différentes ; malgré tout, la distance séparant ces horizons laisse place à une structure de transition sans qu'une faille soit nécessaire. Mais les affleurements de l'assise II à la base du vallon ne permettent pas une liaison "architecturale" simple entre eux.
- les calcaires du flanc Nord et du flanc Sud font partie intégrante de deux structures semblables, monoclinales (plongeant vers le Sud). Mais tout ou une partie des calcaires du Nord parait passer sous celle du Sud, ce qui imposerait au calcaire de l'assise II une épaisseur de l'ordre de 500 m, puissance improbable dans ce secteur.



CARTE GEOLOGIQUE

CARTE INTERPRETATIVE DU SITE DES GILLARDES au 1/20 000e

LEGENDE



EBOULIS



FLUVIO-GLACIAIRE



CALCAIRE NUMMULITIQUE



CALCAIRE SENONIEN SUPERIEUR (Assise IV)



CALCAIRE SENONIEN INFERIEUR (Assise II)



BARREMIEN INFERIEUR - HAUTERIVIEN



VALANGINIEN



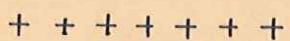
BERRIASIEN



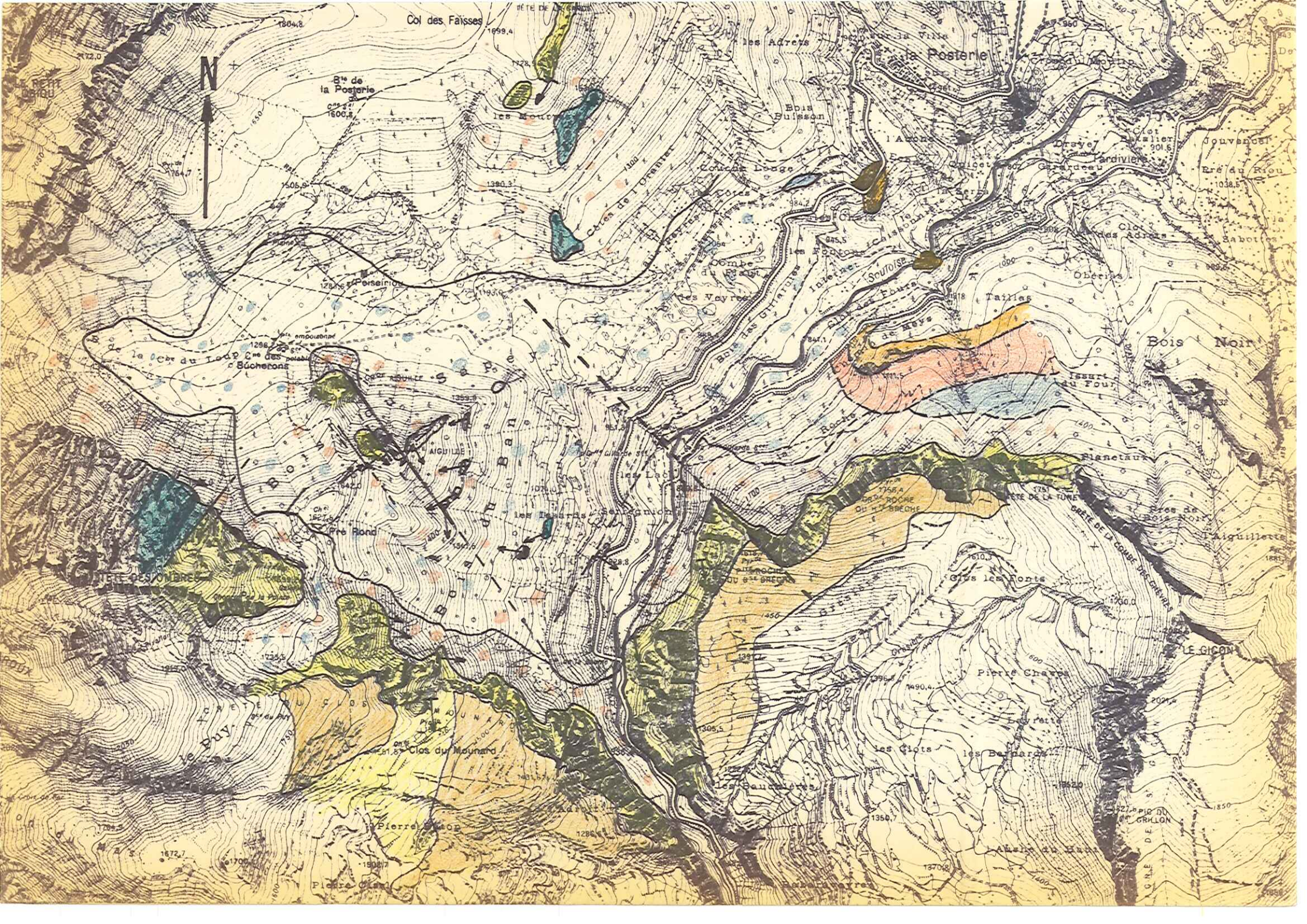
TITHONIQUE



F 13 : de la Petite Aiguille  
Failles F 12 : de la Souloise  
F 14 : des Gillardes



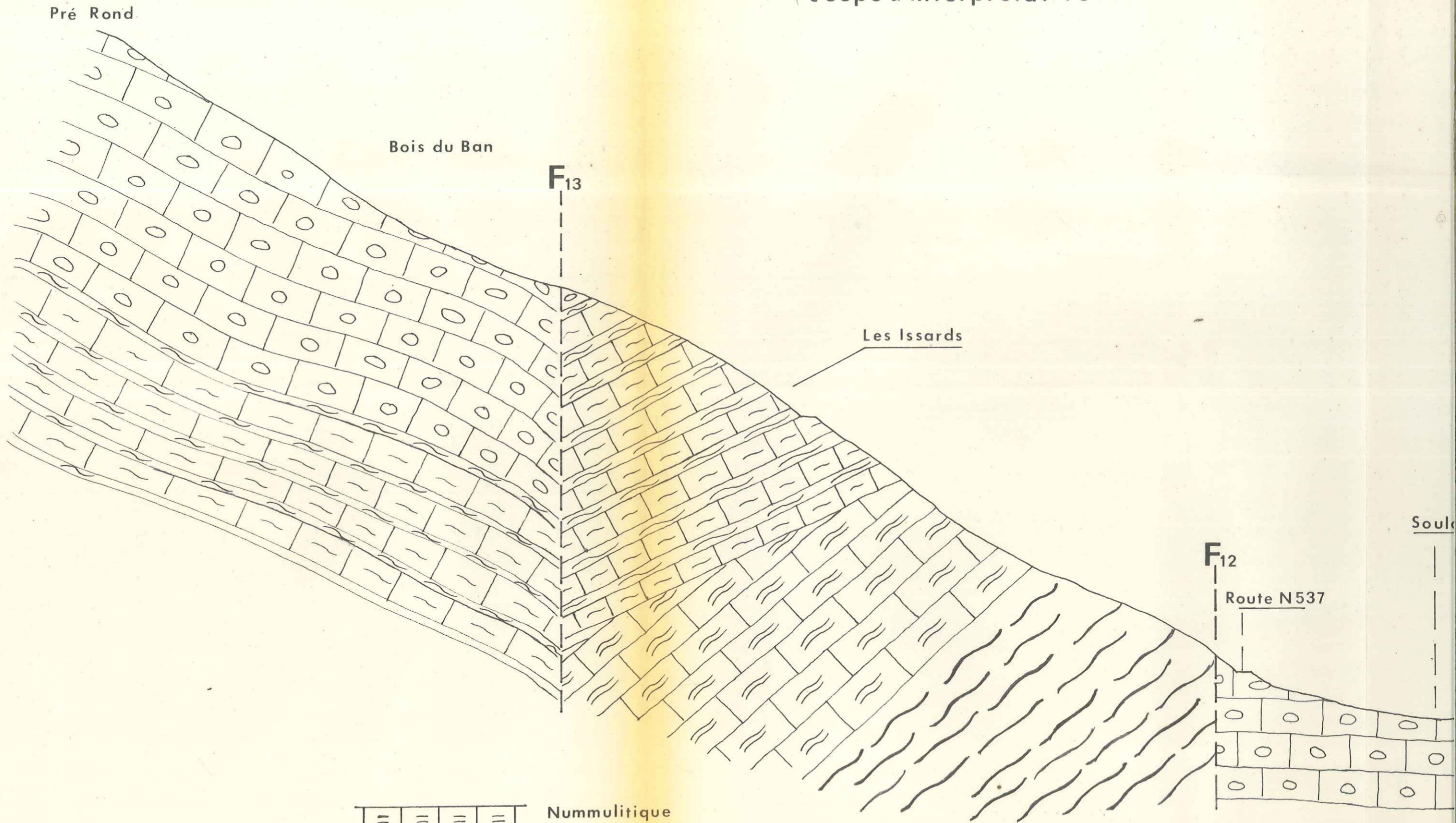
Axe anticlinal (dans le Crétacé inférieur)



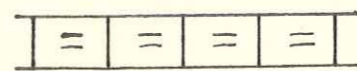


# COUPE: A.A

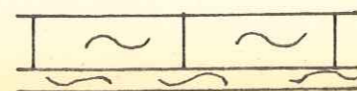
(coupe - interpretative)



## LEGENDE

 Nummulitique

 Calcaire senonien sup.

 Calcaire senonien inf.

 marno-calcaire  
hauterivo-baremien

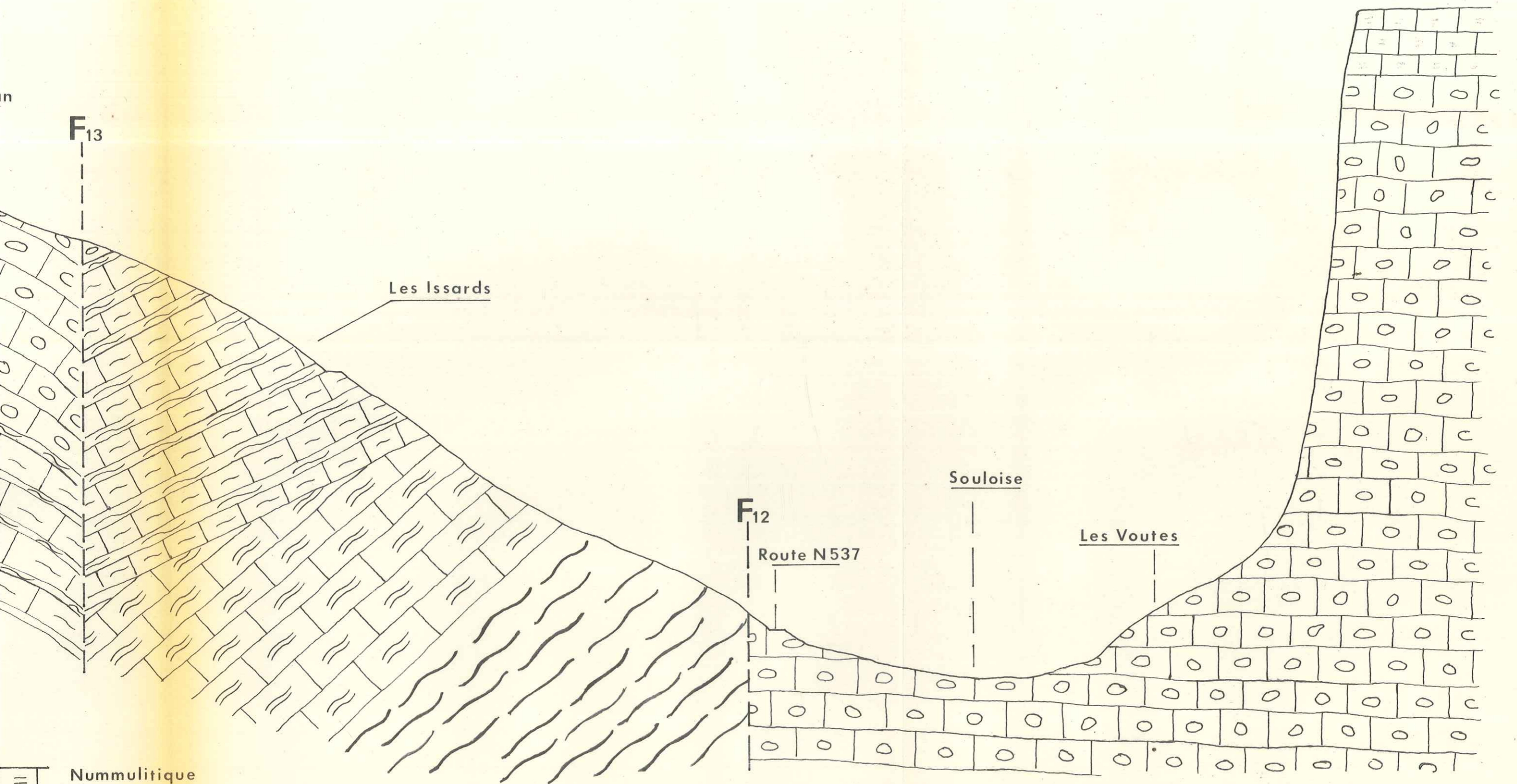
 marno-calcaire, marne  
valanginien

Soul

# COUPE: A.A

(coupe - interpretative)

pt<sup>e</sup> Roche



Nummulitique

Calcaire sénéonien sup.

Calcaire sénéonien inf.

marno-calcaire  
hauterivo-baremien

marno-calcaire, marne  
valanginien

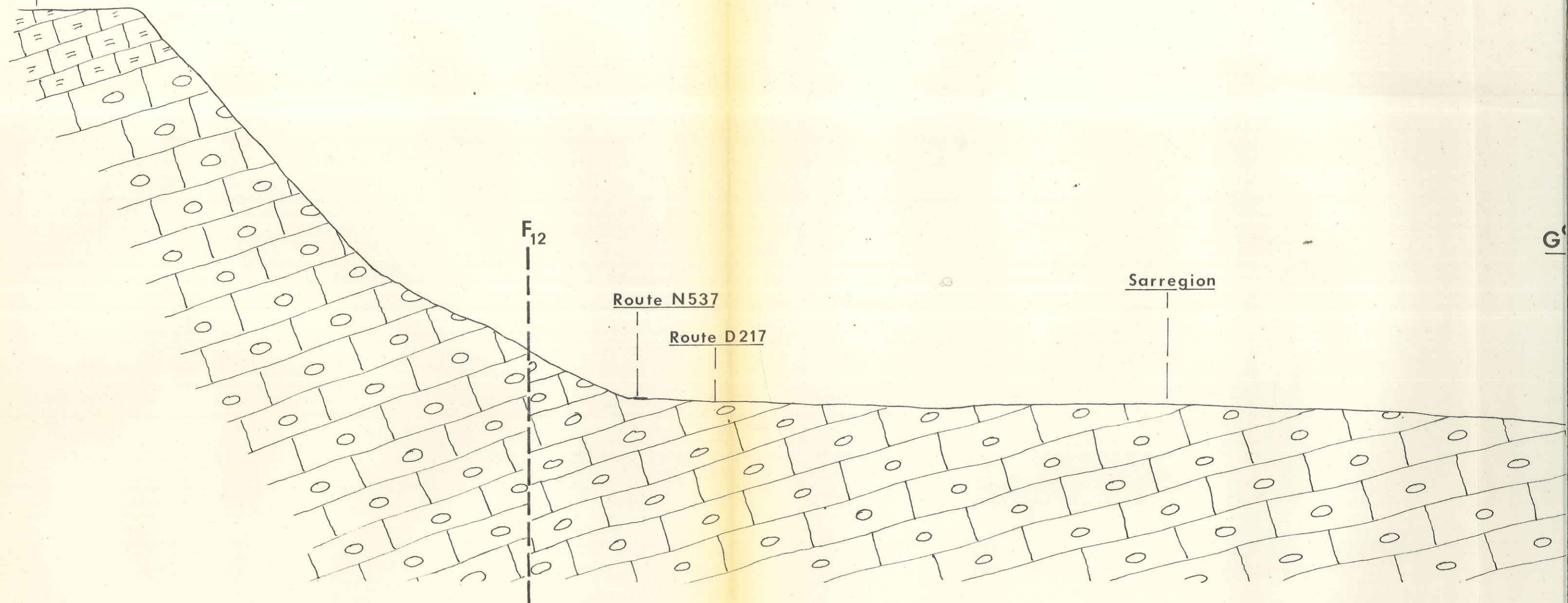
ECHELLE: 1/5000

# COUPE : B.B

(coupe - interpretative)

l'Adroit

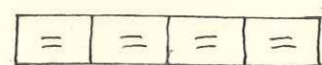
1481,67



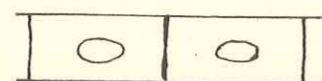
LEGENDE



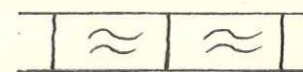
fluvio-glaciaire



calcaire nummulitique



calcaire senonien  
(sup.)



marno-calcaire  
hauterivo-baremien

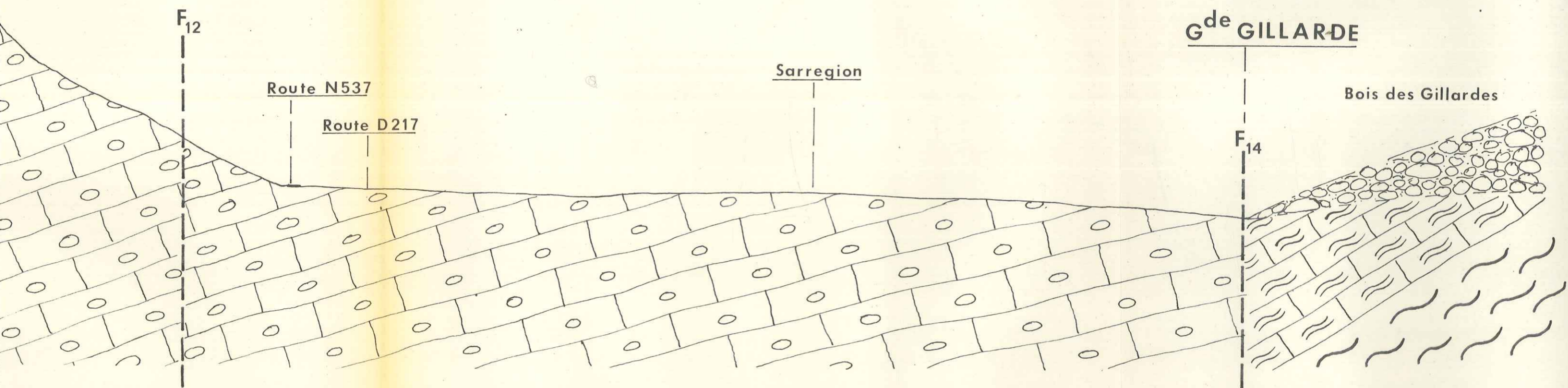


marno-calcaire, marne  
valanginien

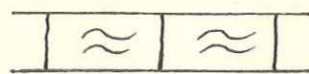
EHELLE

# COUPE : B.B

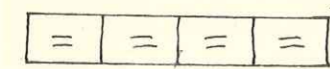
(coupe - interpretative)



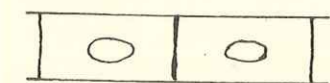
fluvio-glaciaire



marno-calcaire  
hauterivo-baremien



calcaire nummulitique



calcaire senonien  
(sup.)



marno-calcaire, marne  
valanginien

ECHELLE : 1/5000

Entre ces structures et les horizons divers d'un flanc à l'autre du vallon, il est difficile de faire passer une structure de raccord. C'est pourquoi, nous y localiserons une faille dont l'axe N.NW - S.SE passe par les points topographiques signalés, entre autres, les Sources des Gillardes et la face NE de la petite Roche et que nous appellerons la faille des Gillardes.

b. Interprétation hydrogéologique des Exurgences des Gillardes

Le site des Gillardes se révèle donc assez tectonisé, mais les structures qui y ont été dégagées permettent-elles d'expliquer les exurgences du karst aux Gillardes ?

Les Gillardes représentent le point topographiquement le plus bas des affleurements du calcaire sénonien et, à ce titre, il paraît normal que les sorties d'eau du karst s'effectuent en ce lieu. Si les conditions d'exurgences sont, comme le montrent les structures, possibles, il reste que la liaison entre le site des Gillardes et les grands drains présumés de la circulation active (failles du Gicon) reste obscure. Toutefois, certains éléments nous permettent d'envisager une solution.

En premier lieu, l'axe du synclinal dévoluard passe entre le Gicon et la Souloise. Les sources ne peuvent être alimentées par l'ouest, compte-tenu des horizons en présence et des structures. En conséquence, il paraît logique que l'eau provienne de l'Est (Gicon). Mais comment parvient-elle au site des Gillardes ? Deux solutions sont possibles :

- soit la faille des Gillardes recoupe le système faillé du Gicon et capterait ainsi l'eau.
- soit la masse des calcaires Est a été décollée au niveau des joints ou sur son substratum, phénomène qui a facilité le passage de l'eau. Celle-ci est récupérée par la faille de la Souloise et



drainée jusqu'à la faille des Gillardes, où le Valanginien joue le rôle d'écran et force l'eau à ressortir.

Il n'est pas impossible que les deux solutions puissent être envisagées conjointement.

Si nous ne pouvons préciser plus avant l'alimentation lointaine, il reste que le système de failles des Gillardes et de la Souloise représente bien les conditions locales qui favorisent la sortie des eaux avec sans doute, en priorité, le rôle joué par la faille de la Souloise, qui place le crétacé inférieur en surélévation relative par rapport au calcaire sénonien, et lui attribue un rôle d'écran pour la circulation des eaux du karst.

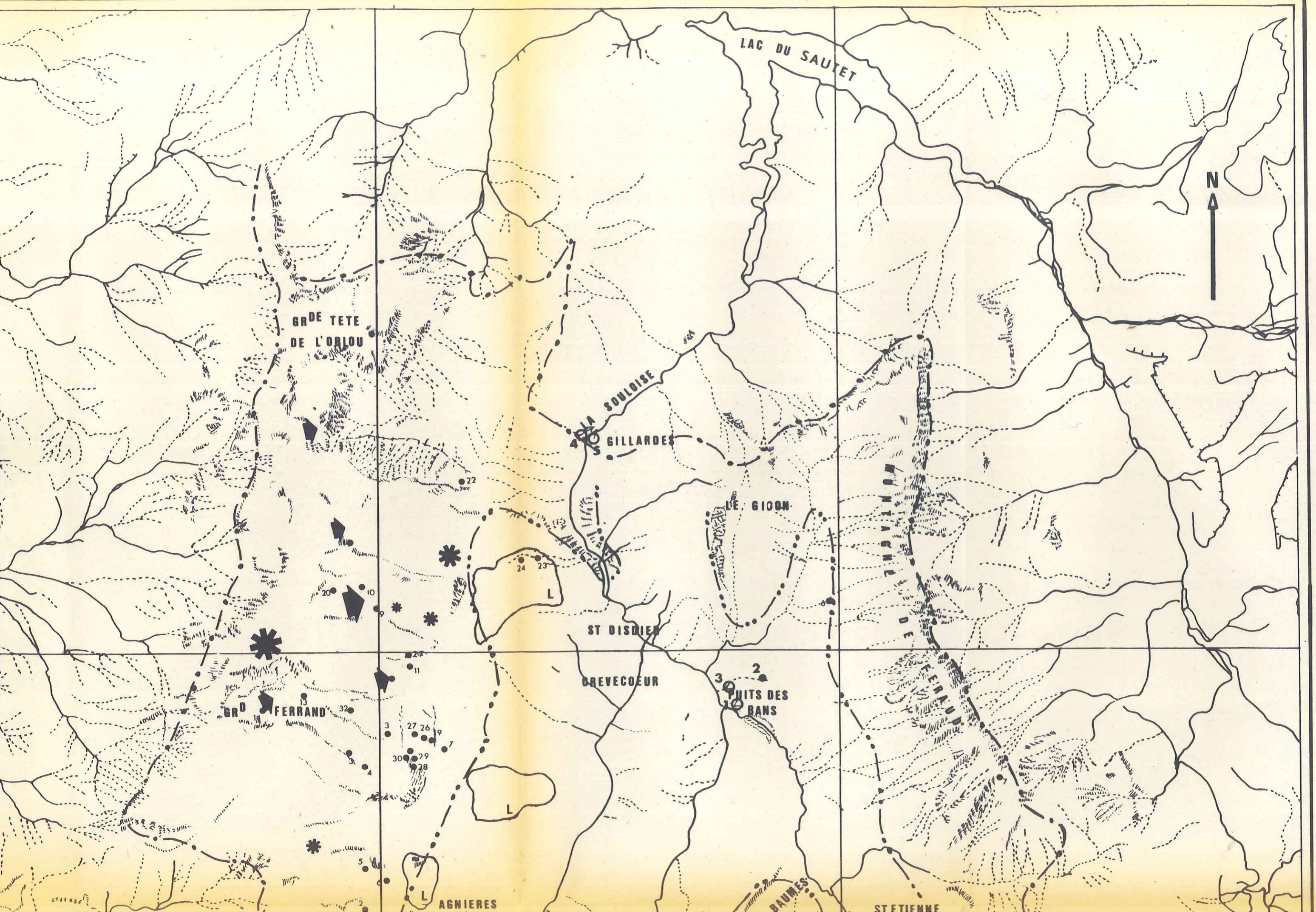
oooooooooooooooooooo

CARTE DES FORMES KARSTIQUES

---

- Gouffres, grottes ou exurgences fossiles
- ✱ Dolines de verrous glaciaires
- ▼ Petites Dolines de joints ou de diaclases
- ➡ Dolines d'effondrement
- Grand nombre de chourums
- ▭ " " "
- Petite exurgence (Pelourenq)
- ⊙ Exurgence temporaire
- ⊕ Exurgence permanente
- Ⓛ Lapiaz ou forme de Lapiaz

oooooooooooooooooooooooooooo





AGNIERES  
EN DEVOLUY

ST ETIENNE  
EN DEVOLUY

CRETE DES BAUMES

MONTAGNE D'AUROOZE

LA CLUSE

PLATEAU DE BURE

MONTAGNE DE BARBES

3000

4000

ECHELLE 1/50 000 4010

### III - III - CONDITIONS DE CIRCULATION DE L'EAU DANS LE CALCAIRE

#### A - GENERALITES

L'étude des circulations d'eau souterraines, dans les calcaires a été dominée par "la grande querelle entre les tenants de deux conceptions diamétralement opposées" comme le souligne M. B. GEZE dans sa publication : 'Les Conditions hydrologiques des roches calcaires' (1). Ces deux écoles sont représentées par E.A. MARTEL en France et A.GRUND en Autriche. Pour A.GRUND, les galeries des cavernes sont des accidents superficiels dénués d'importance, la circulation de l'eau dans ces galeries est considérée comme un trop plein vis à vis des eaux qui occupent en permanence la totalité du réseau formé par les fractures à la base du massif calcaire : c'est la théorie de l'eau de fond.

Au contraire, pour E.A. MARTEL, les circulations dans les calcaires sont des circulations en grand, comparables aux circulations extérieures, qui cheminent par toutes sortes de galeries et de conduits pour rejoindre des points d'absorption, les émergences : c'est la théorie de la rivière souterraine. Lors de son exploration au DEVOLUY, E.A. MARTEL cherche à mettre en évidence la rivière souterraine qui alimente les exurgences des Gillardes. Et il n'a cessé, au cours de ses explorations, de confirmer sa théorie. Il écrit dans "La France ignorée" :

"Mais le Dévoluy présente une particularité exceptionnelle, tout à fait remarquable ; grâce aux dépôts de quelques formations tertiaires imperméables ... Il en résulte pas moins que deux circulations d'eau sont ici superposées : l'une normale extérieure (Souloise, Ribière), l'autre inconnue, mais évidente et souterraine qui aboutit aux Gillardes, C'est une disposition

(1) voir bibliographie hydrogéologique

très rare". On peut lire aussi :

"En attendant qu'on vérifie si le chourum Martin a 310 m ou bien 500 m, ce qu'on y a vu nous met loin du temps où l'autrichien Alfred GRUND disait que 'dans les Alpes calcaires, on ne trouve les phénomènes du karst qu'en petites formes' et que les grandes absorptions y seraient inutilement recherchées. Les grottes gigantesques des Alpes de son propre pays (Dachstein, Eiriesenwelt, Styrie) ont achevé de controuver ses opinions complètement erronées (comme celle des nappes d'eau)".

La question que l'on peut se poser est celle de savoir s'il existe ou non des rivières souterraines au DEVOLUY.

En d'autres termes, QUELLE EST LE TYPE DE CIRCULATION DE L'EAU DANS LES CALCAIRES SENONIENS ?

#### B - RIVIERE SOUTERRAINE OU EAU DE FOND

Sous quelle forme transite l'eau entre son point d'absorption et son exurgence : rivière souterraine ou eau de fond ?

En premier lieu, adressons-nous à la structure même du DEVOLUY, car elle nous renseigne sur les conditions de base de la circulation : cette structure, rappelons-le, est celle d'une cuvette allongée. Hormis toute condition privilégiée d'écoulement, l'eau d'infiltration, suivant la loi de la gravité, va se diriger vers le centre de celle-ci. Nous constatons qu'au coeur de cette architecture, le calcaire sénonien est assez largement situé sous le niveau des Gillardes : celles-ci sont à la cote 870 m et le toit des formations sénoniennes à environ 1000 m. Pour une puissance de celles-ci de 400 à 500 m, 130 m en moyenne sont au-dessus des Gillardes et 270 à 370 m sous leur niveau.

Si ces observations ne fournissent pas la solution recherchée, elles l'orientent en théorie vers un réseau de circulation centré sur le point bas de la cuvette. Hors le calcaire sénonien n'est pas perméable par nature et même si la structure générale conditionne la circulation des eaux, la fracturation a joué un rôle prioritaire. L'ensemble des deux grands réseaux de fractures se croisent un peu partout dans le DEVOLUY mais aussi au centre et peut-être se situe là une zone privilégiée à ce point de vue (s'ajoutent également à ces réseaux de fractures les cassures de base de la zone dilatée de l'anticlinal dévoluyard). En conséquence, l'eau infiltrée dans les montagnes est drainée par les fractures vers le centre de la cuvette avant de rejoindre les exurgences des Gillardes.

Cette hypothèse logique est en tout cas vérifiée par les "galeries souterraines". Comme nous l'avons montré, les axes des cavités creusées par l'eau sont bien ceux des accidents majeurs : cette analyse conduit à deux types de circulations : l'une du haut de la cuvette au point bas, vraisemblablement sous forme d'un cheminement oblique à vertical (possibilités de petites rivières souterraines), l'autre, du coeur de la cuvette aux Gillardes. Au regard des observations précédentes, il semble que la circulation sous forme de torrent souterrain soit à exclure ; dans la zone Sud du Dévoluy, dans le cas des calcaires sénoniens qui affleurent vers 1400 m, l'eau en s'infiltrant ne jouit que d'une pente de 2,5 % pour rejoindre les Gillardes. Pente suffisamment faible pour douter de la présence de rivière souterraine entre cette zone et les Gillardes.

Si les explorations souterraines, dans leur ensemble, n'apportent pas la solution, malgré tout, elles ont permis la découverte de petites circulations actives, ruisseaux souterrains de faible débit au chourum La Fille, Puits des Bans, Chourum des Aiguilles, chourum des Chaupins, du Chaudron etc... à des profondeurs diverses. Ces découvertes pour intéressantes qu'elles soient, peuvent difficilement constituer une approche vers l'explication

du phénomène : les quelques 10 l/s de ces circulations ne représentent rien vis à vis des dizaines de m<sup>3</sup> par seconde déversés par les Gillardes. Par contre, la profondeur atteinte dans certains gouffres permet d'aborder, indirectement, le problème de la circulation active sous un angle nouveau. La détermination de la pente entre le fond du chourum et les Gillardes donne les valeurs suivantes :

- chourum des Aiguilles - Gillardes : 3,6 %
- chourum de la Tune - Gillardes : 5 %
- chourum La Fille - Gillardes : 5 %

Ces gouffres ont été choisis en fonction de leur situation géographique, de leur altitude et de leur profondeur. Remarquons un fait très important : à savoir, qu'il n'est pas impossible que la profondeur de ces chourums soit augmentée dans l'avenir ce qui réduirait d'autant la pente par rapport aux Gillardes.

Si les valeurs données ci-dessus n'excluent pas la présence d'une rivière souterraine, il est par contre bien hasardeux de se prononcer en sa faveur : les pentes restent faibles, 3,6 % à 5 %. Notons que la présence d'un réseau actif important au chourum La Fille ou de la Tune, au voisinage de leur point d'arrêt, ne semble pas pour le moment se justifier, ces cavités étant pratiquement fossiles.

Par contre, et de toute évidence, les observations faites au Puits des Bans imposent aux recherches une nouvelle orientation dans une voie bien précise :

- pente entre le plan d'eau terminal et les Gillardes : 0,95 %
- pente entre le point d'arrêt de l'exploration par les plongeurs et les Gillardes : 0,18 %

Remarquons que le plan d'eau dont la baisse est régulière, hors pluviométrie, pourrait descendre à cette cote, ~~et même au delà.~~



Il sera peut-être possible d'observer ce fait si les faibles pluviométries des années 1953 - 1957 - 1962 - 1964 se reproduisaient.

- D'autre part, les plongeurs ont pu voir que la galerie noyée descendante se poursuivait au moins sur 15 à 20 m de profondeur, ce qui nous descend sous le niveau des Gillardes.

Ces constatations conduisent à abandonner définitivement la théorie de la rivière souterraine.

### C - CONCLUSION

LES RESULTATS D'ORDRE TECTONIQUE, STRUCTURAL, COMPLETES ET VERIFIES PAR LES OBSERVATIONS SPELEOLOGIQUES CONDUISENT A PROUVER LA PRESENCE DANS LES CALCAIRES SENONIENS DU DEVELOPEMENT D'UNE NAPPE DE CHENAUX, DE FRACTURES ET DE FISSURES ET EXCLUENT DEFINITIVEMENT L'EXISTENCE D'UNE RIVIERE SOUTERRAINE DRAINANT LES EAUX INFILTREES DANS LE SENONIEN VERS LES GILLARDES.

#### 1) Localisation

Cette nappe occupe les vides (failles, diaclases, fissures, joints de stratification) présents dans les calcaires sénoniens (au sens large, voir log. lithologique du karst sénonien). Elle se développe principalement vers le coeur du synclinal de St-Disdier dans la zone de Malmort - Crête des Baumes et très certainement dans la partie Nord des synclinaux de St-Etienne et du col du Festre et de l'anticlinal d'Aurouze.

Sa localisation dans l'espace se définit par le substratum imperméable en forme de cuvette et en première approximation par un plan (niveau dynamique) à faible pente oscillant sur plus de 240 m entre les cotes 920 et 1160 m au niveau du Puits des Bans, cavité qui peut être considérée comme un piézomètre naturel. Cette nappe de fractures et de chenaux se divise donc en deux parties :

- celle comprise entre le substratum imperméable et un plan horizontal passant par le niveau des Gillardes.

- l'autre logée entre ce dernier et le niveau dynamique.

En d'autres termes, une partie statique (eau "morte" piégée" sous le niveau de l'exurgence) et une partie dynamique au-dessus des Gillardes. Cette dernière a été l'objet premier de nos recherches et nous avons pu en observer les manifestations. S'il est difficile de douter de l'existence de la première, car le type de structure du DEVOLUY et la présence de calcaires sénoniens fracturés sous le niveau des Gillardes nous y conduisent, il reste pour le moment que cette déduction n'est vérifiée qu'au niveau du Puits des Bans, où il a été possible de constater un horizon noyé à une cote inférieure à celle des Gillardes.

## 2) Alimentation de la nappe

Nous envisagerons seulement le moyen dont l'eau infiltrée parvient à la nappe. Deux types de conduits se partagent ce rôle : les fractures et les joints décollés . Les premières sont nettement dominantes et nous avons montré que leur développement est pratiquement vertical. En conséquence, l'eau quittant la surface rejoint la nappe par le chemin le plus court ; toutefois, et suivant les conditions locales, ce chemin divergera du cas idéal. Il sera maximum si l'eau suit un joint de stratification dont le pendage des couches est peu accentué ; mais il est rare que ce parcours soit suivi longtemps sans rencontrer une fracture.

Dans l'ensemble les eaux d'infiltration suivent un cheminement à peu de choses près vertical pour rejoindre la nappe. Localement, si les conditions ne se prêtent pas à ce cheminement, on pourra rencontrer une circulation active du type petit cours d'eau souterrain. On peut pratiquement conclure à l'absence de la zone II de CVIJIC du karst mais cette conclusion reste à préciser en fonction des découvertes souterraines.

### 3) Circulation - Vidange

La nappe impose une intercommunication entre tous les éléments contenant de l'eau. Le fait que cette nappe se vidange en un seul point, les Gillardes, à la faveur d'une faille, et qu'elle soit alimentée uniquement par l'infiltration vérifie cette liaison entre vides et montre par là que les calcaires sénoniens du DEVOLUY contiennent une nappe unique, peut-être quelque peu compartimentée.

Nous allons essayer maintenant de comprendre le mécanisme de la circulation des eaux de cette nappe. Or celui-ci n'est pas directement observable, hormis en deux points : le Puits des Bans et le Chourum des Aiguilles (mais pour ce dernier, il faudrait vérifier que c'est bien le niveau de la nappe.)

Il faut donc se rapporter aux données structurales des calcaires sénoniens pour s'en donner une idée. La circulation dans les cavités étant imposée par la direction de fracture et le sens du pendage, à partir de là, on peut tenter de déduire les grands axes de la circulation des eaux de la nappe.

Les eaux de la zone Sud (synclinal de St-Etienne, anticlinal d'Aurouze, synclinal du col du Festre), celles de la zone Ouest (Ferrand-Obiou) et celles de la zone Est (Féraud - Crête de Porel) se dirigent vers le centre de la cuvette à la faveur des fractures. Il y a de sérieuses raisons de penser qu'en cet endroit, les accidents issus de la faille des Baumes et des prolongements Sud des failles du St-Gicon jouent un rôle de collecteur qui achemine les eaux vers le Nord, où elles s'écoulent aux Gillardes ; ceci soit à la faveur de strates décollées pour alimenter la faille de la Souloise, soit à la faveur de la faille des Gillardes qui se poursuivrait jusqu'aux failles du St-Gicon. Ce sont là des hypothèses qui demandent à être vérifiées.

Après avoir montré la présence d'une nappe de fractures et de chenaux et situé ses principales caractéristiques géométriques nous tenterons maintenant de dégager les facteurs hydrodynamiques essentiels.

oooooooooooo





AGNIERES  
EN DEVOLUY

ST ETIENNE  
EN DEVOLUY

LA CLUSE

PLATEAU DE SURE

MONTAGNE DE DARDES

CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

C A R A C T E R I S T I Q U E S

H Y D R O D Y N A M I Q U E S

I - PREMIERES CARACTERISTIQUES	154
II- ETUDE DES HYDROGRAMMES DE DECRUE	155
1) GENERALITES	155
2) METHODE D'INTERPRETATION	156
3) COURBES DE TARISSEMENT	160
4) COMPARAISON ENTRE LES COURBES D'ECOULEMENT ET LA PLUVIOMETRIE	164
5) EVALUATION DES VOLUMES EN RESERVE à $t_0$ pour $Q_0$	166
6) EQUATION DE VIDANGE	166
III- CONCLUSION	167

o o o o o o o o o o





$Q$  maximum :  $46 \text{ m}^3/\text{s}$  } débits moyens journaliers  
 $Q$  minimum :  $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$

$$\frac{Q \text{ maximum}}{Q \text{ minimum}} = 27$$

Cet exemple représente le cas extrême.

## II - ETUDE DES HYDROGRAMMES DE DECRUE

### 1) GENERALITES

Cette étude hydrodynamique basée sur l'exploitation des hydrogrammes de décrue constitue une approche à la connaissance réelle des mécanismes qui régissent la circulation de l'eau dans les calcaires sénoniens.

Nous emploierons les termes 'Tarisement' et 'Vidange',

$$\text{VIDANGE} = \text{DECRUE} + \text{TARISSEMENT}$$

Décrue : Ecoulement de la nappe influencée par une alimentation due à l'infiltration.

Tarisement : Ecoulement de la nappe non influencée par l'infiltration.

Il apparait, comme nous le montrerons ci-après, que le terme décrue de l'équation précédente peut être négligé en première analyse.

Les mesures de débit réalisées pendant 19 ans à l'Infernet par l'E. D.F. ont servi de base à ce travail. Cette station enregistre pratiquement le débit des Gillardes (voir Hydrologie de surface). Malgré cette longue période d'observations, le problème de leur interprétation reste délicat du fait que l'on recherche essentiellement à étudier des périodes en régime non influencé par la pluviométrie, ce qui reste très rare dans le cas des Gillardes. De fait, ces hydrogrammes de décrue sont presque tous influencés et il reste très exceptionnel de pouvoir observer une période non troublée par les facteurs atmosphériques pendant 100 jours... Indiquons d'autre part que la vidange générale des eaux du karst est très rapide. Après 15 jours,  $Q = 1/6$  de  $Q_0$ , (débit initial à  $t_0$ ) et à 30 jours,  $Q = 1/17$  de  $Q_0$ , ce qui permet d'admettre sans doute des périodes relativement courtes.

## 2) METHODE D'INTERPRETATION

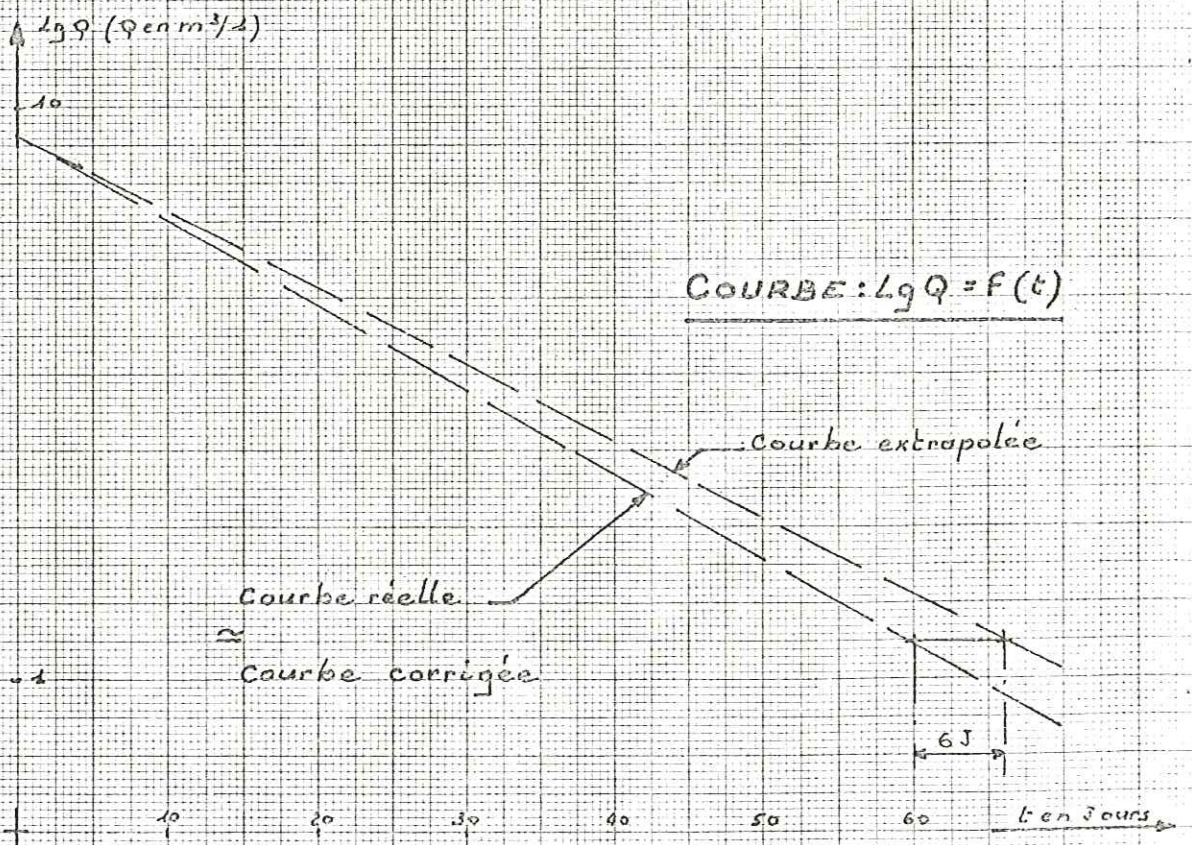
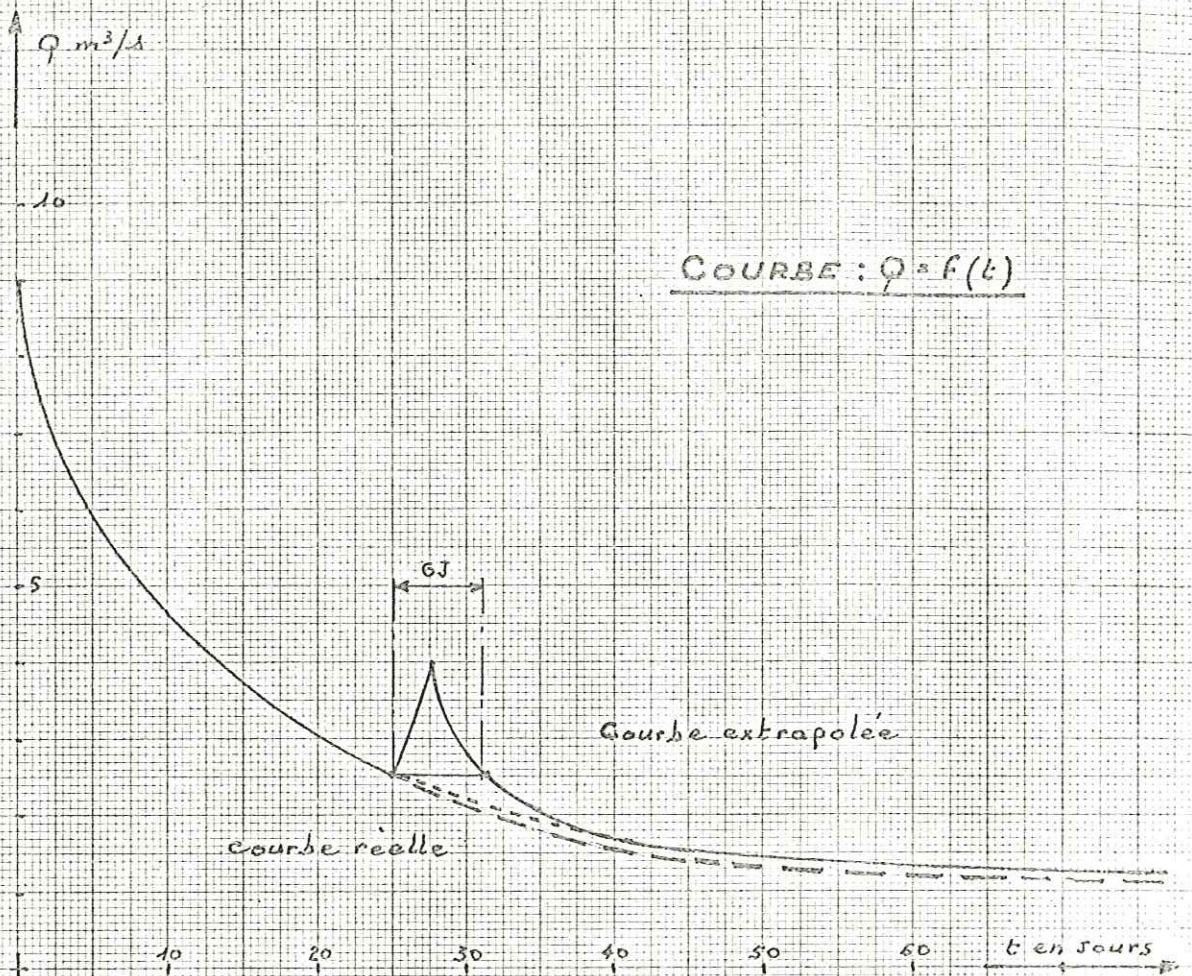
### a. Méthode d'exploitation des hydrogrammes

Le tarissement peut être momentanément influencé par une période de recharge lors de précipitations pluviométriques. On observe le plus souvent quelques pics sur la courbe.

Dans les ouvrages et publications consultés ayant trait à l'étude du tarissement, leur auteur s'est généralement contenté de négliger les débits de la période influencée tout en conservant les temps de ces mêmes périodes. Pratiquement, il extrapole un tarissement pendant la période influencée. Si cette façon de procéder ne change pas fondamentalement l'allure de l'hydrogramme, elle présente un inconvénient certain au niveau de la détermination du coefficient de tarissement : celui-ci étant égal au rapport du logarithme de  $Q_0$  (débit initial) sur le produit  $0,4343 \times t$ . Or cette méthode de dépouillement donne une valeur à  $t$  (nombre de jours de tarissement) supérieure à celle qui serait obtenue en absence de périodes influencées : ceci entraîne une diminution de la valeur de  $\alpha$  d'autant plus importante que le nombre et les périodes d'influence seront plus fréquents.

Afin de saisir au mieux la valeur du coefficient de tarissement, il nous semble logique de supprimer sur l'hydrogramme les périodes influencées, tant du point de vue de leur rôle sur le débit que sur le temps. (voir graphique)

Il reste vrai que, par ce procédé, on n'élimine pas totalement l'influence due à une certaine alimentation. Car lors de la décroissance le point homologue du dernier point situé sur la courbe de taris-



sement ne se déplace pas tout à fait sur la même courbe puisque cette dernière restera influencée pendant un certain temps par l'infiltration; mais une correction peut s'effectuer pour cette zone, tout au moins dans certains cas, graphiquement, au niveau de la courbe en diagramme semi-logarithmique. Et, de fait, on constate, dans le cas traité, une meilleure homogénéité dans la valeur des coefficients de tarissement en appliquant cette méthode.

Cette remarque aurait sans doute un caractère très secondaire pour l'étude de tarissement de très longue durée, influencé sur de courtes périodes. Mais dans le cas des Gillardes, cette remarque prend toute son importance car le tarissement est rapide et le plus souvent influencé.

#### b. Hypothèses de base

Nous n'aborderons pas ici l'analyse des diverses équations actuellement employées, considérant que l'expression analytique du tarissement proposée par M. MAILLET est établie à partir d'hypothèses qui correspondent assez bien à la réalité du karst noyé.

Le modèle utilisé est celui de la vidange d'un réservoir non alimenté, de surface  $S$ , de hauteur d'eau  $h$  et de perméabilité  $K$  à travers un bouchon poreux de longueur  $l$ .

Le réservoir représente la nappe.

Le bouchon poreux permet d'introduire la perméabilité de l'aquifère et par sa longueur, le gradient hydraulique.

Ces postulats de base sont-ils représentatifs des réalités de la nappe de fractures et de chenaux des calcaires sénoniens du DEVOLUY ?

En réalité, nous n'avons pas affaire à une capacité unique,

mais à de multiples petits réservoirs (fentes diverses), possédant entre eux tous une liaison hydraulique; l'unique point de résurgence confirme cette liaison. En conséquence, nous pouvons admettre l'hypothèse d'un seul réservoir.

Le modèle proposé impose une surface de nappe à valeur constante. Cette nappe étant essentiellement logée dans des fractures, il ne semble pas que la longueur puisse être variable. Par contre, la largeur est susceptible d'osciller, en fonction du niveau, étant donné l'inégalité de forme des fractures; néanmoins, la répartition dans l'espace des fractures peut annuler ce phénomène.

Si toutefois, la nappe de fractures et de chenaux ne s'identifie pas complètement au modèle, elle l'approche en tout cas avec une approximation suffisante.

Ces hypothèses conduisent à la formule de Maillet qui traduit la vidange d'une nappe en régime non influencé, dont nous rappelons la démonstration classique en la complétant d'un facteur supplémentaire, le débit  $q$  pouvant être celui de l'alimentation de la nappe par infiltration.

- $Q_0$  débit initial de la vidange
- $Q$  débit de vidange
- $q$  débit d'alimentation de la nappe  
avec  $q < Q < Q_0$  (infiltration)
- $S$  surface de la section droite (nappe)
- $s$  section de l'orifice de vidange
- $h$  hauteur d'eau
- $l$  longueur du bouchon poreux
- $K$  coefficient de perméabilité de DARCY

### Résolution

Ecrivons la variation de débit  $dv$  pendant le temps  $dt$

$$dv = qdt - Qdt = S \cdot dh \quad (I)$$

A) Régime laminaire :

D'après la loi de Darcy :

$$Q = K s . i$$

$$Q = K s \frac{h}{l}$$

d'où

$$dQ = \frac{Ks}{l} . dh$$

$$\text{ou} \quad dh = \frac{l}{Ks} . dQ \quad (2)$$

Remplaçons dh dans l'équation (I) par l'expression (2)

$$qdt - Qdt = \frac{Sl}{Ks} . dQ$$

en posant

$$\alpha = \frac{Ks}{Sl}$$

nous avons

$$\frac{1}{\alpha} \frac{dQ}{dt} + Q = q$$

$q = f(t)$  puisque l'infiltration est fonction du temps.

Comme nous le montrerons, le tarissement des sources des Gilardees ne se présente pas comme fortement influencé par l'infiltration, même au début de la vidange. C'est pourquoi, nous posons dans un premier temps  $q = 0$

La solution de l'équation différentielle devient :

$$Q = Q_0 e^{-\alpha t} \quad (\text{équation de Maillet})$$

B) Régime turbulent

$$h = K Q^2$$

d'où

$$dh = 2KQdQ$$

donc

$$qdt - Qdt = Sdh$$

devient

$$qdt - Qdt = S \cdot 2KQdQ$$

Nous avons donc en posant :  $\beta = \frac{I}{2KS}$

$$\frac{I}{\beta} \cdot \frac{QdQ}{dt} + Q = q$$

$q = f(t)$  puisque l'infiltration est bien une fonction du temps.

3) COURBES DE TARISSEMENTa) Représentation graphique

Nous utilisons comme loi de vidange (décroissance + tarissement) la décroissance exponentielle du débit en fonction du temps (équation de Maillet). Nous en avons exprimé les raisons précédemment.

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

Les données des diverses courbes de vidanges ont été reportées sur des diagrammes semi-logarithmiques avec en abscisses arithmétiques les temps ( $t$ , en jours) et en ordonnées logarithmiques les débits ( $Q$ , m<sup>3</sup>/s)

Dans ce système de coordonnées semi-logarithmiques, l'équation  $Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t}$  est représentée par une droite. Autrement dit, si les données de l'hydrogramme reportées dans ce graphique donnent une droite, la vidange s'effectue suivant une loi exponentielle.

#### b) Analyse des courbes en coordonnées semi-logarithmiques

Nous avons transcrit plus de 50 hydrogrammes de décrue, représentant les périodes les moins influencées, en coordonnées semi-logarithmiques. L'observation de ces graphiques reste assez déconcertant, bien que tous aient un caractère semblable à savoir : La courbe obtenue est formée de segments rectilignes de 1 à 5 ce qui indique que dans son ensemble la vidange (tarissement) s'effectue suivant des lois exponentielles successives.

Ce qui les différencie reste le nombre de segments et la valeur de leur pente.

A partir de là, nous avons essayé de détacher les facteurs communs à ces courbes de vidange.

L'ensemble de celles-ci représente des périodes de vidange courte à très courte, et de ce fait, on peut penser qu'elles ne traduisent qu'une partie des phénomènes ; cependant, une d'entre elles évolue sur presque 100 jours.

#### Courbe de base

Elle se compose essentiellement de deux droites de pente différente  
1ère pente : forte sur 12 jours

2ème pente : faible sur plus de 72 jours.

Ces deux segments sont raccordés par un autre de transition à pente moyenne sur 6 jours.

5 autres courbes assez voisines peuvent être associées à la courbe type et l'ensemble des autres s'en rapprochent à des degrés divers. Si elles en possèdent les premiers segments, il est plus rare que les derniers soient représentés.

On peut envisager au cours d'un même tarissement et pendant une



période non influencée, deux types d'écoulement. Chacun des segments de courbe représente à des degrés divers la somme de ceux-ci.

AB prédominance du 1er mais présence du 2d

CD prédominance du 2d mais présence du 1er.

Pour séparer ces deux types d'écoulement, nous utiliserons la méthode simplifiée de Mr C. DROGUE. Ceci se justifie par le fait que la présence du 1er écoulement est négligeable dans le dernier segment de la courbe.

#### Analyse des écoulements (diagramme semi-logarithmique)

##### 1er écoulement :

La courbe représentative reste le plus souvent une droite, ce qui indique un régime laminaire. Mais il n'est pas rare d'observer que le début et la fin de la courbe possède assez souvent une concavité tournée vers l'origine des axes, ce qui indique la présence d'un régime turbulent, mais notons-le, très peu accentué.

##### 2ème écoulement :

Il correspond au dernier segment de droite observable sur le graphique ; le régime est donc uniquement laminaire.

#### c) Détermination du coefficient de tarissement

D'une façon générale, le coefficient de tarissement est obtenu par une solution graphique à partir de la droite représentant l'équation de Maillet :

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$$

$$\text{Lg } Q_t = \text{lg } Q_0 - \alpha.t \text{ lge avec } \text{lg } e = 0,4343$$

$$\text{Lg } Q_t = \text{lg } Q_0 - 0,4343\alpha.t$$

Pour la détermination graphique de  $\alpha$ , on recherche le temps "t" jours nécessaires pour que  $Q_t = 1 \text{ m}^3/\text{s}$

D'où :

$$\alpha = \frac{\text{Lg } Q_0}{0,4343.t}$$

avec  $Q_0$  = débit initial de tarissement ( $t_0$ ) obtenu graphiquement par l'ordonnée à l'origine.

De cette façon nous avons déterminé les coefficients pour les 2 écoulements. Ce travail a été effectué pour les 5 courbes retenues

	$\alpha_1$	$\alpha_2$	P mm
Courbe 1	0,34	0,018	98
Courbe 2	0,23	0,011	40
Courbe 3	0,45	0,015	177
Courbe 4	0,52	0,011	50
Courbe 5	0,35	0,013	92

Puis pour l'ensemble des autres courbes, nous avons déterminé les coefficients  $\alpha_2$  (voir tableau)

Les valeurs obtenues montrent que ceux-ci se situent encore dans une zone de transition et que de ce fait, elles ne sont pas caractéristiques pour le karst.

Par conséquent, il n'est pas possible de déterminer les valeurs des coefficients  $\alpha_1$

Par contre, certaines courbes ne sont formées que d'une seule droite ou se terminent par une droite semblable à la lère. Pour celles-ci, les coefficients  $\alpha_1$  ont les valeurs suivantes :

Courbe 6	$\alpha_1 = 0,31$
Courbe 7	$\alpha_1 = 0,38$
Courbe 8	$\alpha_1 = 0,38$
Courbe 9	$\alpha_1 = 0,39$
Courbe 10	$\alpha_1 = 0,23$

#### Interprétation :

Nous sommes en présence de deux groupes de coefficients ( $\alpha_1$  et  $\alpha_2$ ) assez homogènes. On peut donc admettre que le tarissement s'effectue suivant une loi exponentielle et régi par 2 types de vidange différents. Ceux-ci correspondent, comme l'indique

Mr H. SCHOELLER, pour des études semblables, à divers écoulements : écoulement des chenaux, ( $n \cdot 10^{-2} < \alpha_n < 10^{-1}$ ) ; écoulement de fissures et de joints  $\alpha \approx n \cdot 10^{-3}$  en régime laminaire.

En conséquence, l'aquifère du karst des calcaires sénoniens est constitué de

- chenaux  $\alpha_1 = 3 \cdot 10^{-1}$
- fissures  $\alpha_2 = 1 \cdot 10^{-2} \approx n \cdot 10^{-3}$

Remarquons que ces résultats ne concordent pas avec les observations effectuées à partir des cavités situées dans l'assise IV des calcaires sénoniens. On ne peut rattacher ces coefficients aux faisceaux de fractures d'ampleur diverse, faisceaux NS et faisceaux N.NW - S.SE, ceux-ci étant très vraisemblablement caractérisés par le coefficient  $\alpha_1 = 3 \cdot 10^{-1}$ .

Si l'on veut plus précisément tenter de localiser ces fissures, ce n'est peut être pas dans l'assise IV qu'il y a lieu de les rechercher (bien qu'elle n'en soit certainement pas démunie), mais dans l'assise II, où l'on peut, à l'affleurement, constater une grande densité de fines dislocations.

Si l'on peut effectivement estimer que cet aquifère karstique se caractérise par deux coefficients de tarissement, correspondant à deux droites différentes, il n'en reste pas moins vrai que pour certaines courbes, on peut observer jusqu'à 5 segments successifs, ce qui montre l'importance des régimes transitoires.

#### 4) COMPARAISON ENTRE LES COURBES D'ÉCOULEMENT ET LA PLUVIOMETRIE

##### Relation avec les précipitations atmosphériques :

Comparons deux courbes extrêmes : l'une où l'écoulement de fines fractures est bien représenté (courbe type) , l'autre seulement marquée par l'écoulement de chenaux.

##### Observations :

- Courbe caractéristique des fractures :
- Celle-ci apparaît sous certaines conditions, essentiellement

pluviométriques, mais aussi de nivrosité.

On constate que les mois qui ont précédé l'enregistrement de l'hydrogramme correspondant à cette courbe se caractérisent par une couverture neigeuse moyenne à faible, suivie par une pluviométrie bien répartie et de faible intensité.

- Courbe caractéristique des chenaux :

De la même façon, celle-ci est conditionnée par la pluviométrie et la nivrosité. On remarque que les mois qui ont précédé l'enregistrement de l'hydrogramme correspondant à cette courbe sont tout d'abord marqués par la présence d'une couverture neigeuse importante puis par une pluviométrie mal répartie et de forte intensité.

#### Interprétation :

On constate que l'aquifère karstique réagit différemment suivant le type de pluviométrie. Les fortes pluviométries sont pratiquement absorbées directement par les chenaux et se vidangent très rapidement sans que les fissures puissent jouer un rôle. Le fait que l'hiver précédent, la présence d'un manteau neigeux important puisse encore jouer un rôle en Aout, lorsqu'il a pratiquement disparu sur la montagne, paraît a priori invraisemblable. Toutefois, nous observons dans certaines cavités des draperies de glace, occupant les vides dans les fractures peu élargies, ceci en juillet et début aout certaines années et dans les puits d'accès de bon nombre de gouffres et certaines salles des 'névé-glaciers' en permanence, ce qui contribue à montrer l'incidence de l'enneigement sur l'infiltration d'été.

D'autre part, le fait que les fortes pluies passent directement dans les chenaux n'est pas pour surprendre ; par contre, l'absence totale de l'action des fissures est plus étonnant. Ceci contribue peut-être à localiser essentiellement les fissures dans l'assise II des calcaires sénoniens. La pluie brusque et de forte intensité ne permet pas une infiltration correcte dans cet horizon fissuré, directement, ou par apport d'eau ayant circulé

dans les assises sujacentes. L'eau passe trop rapidement dans les chenaux et n'alimente pas les fissures.

#### 5) EVALUATION DES VOLUMES EN RESERVE A $t_0$ pour $Q_0$ .

Le volume d'eau emmagasiné au temps  $t_0$  par les deux types sont :

$$1) \text{ pour les chenaux } W = \int_0^{\infty} Q_0 t \cdot dt$$

$$W = \frac{86400 \cdot Q_0}{\alpha_1}$$

$$\text{avec } Q_0 = 20 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (moyen)}$$

$$\alpha_1 = 0,3$$

$$W = 5,76 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$2) \text{ pour les fissures } W = \frac{86400 \cdot Q_0}{\alpha_2}$$

$$\text{avec } q_0 = 3 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (moyen)}$$

$$\alpha_2 = 0,01$$

$$W = 25,92 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

On constate que le rôle des fissures du point de vue capacité est nettement prédominant : plus de 4 fois supérieur à celui des chenaux.

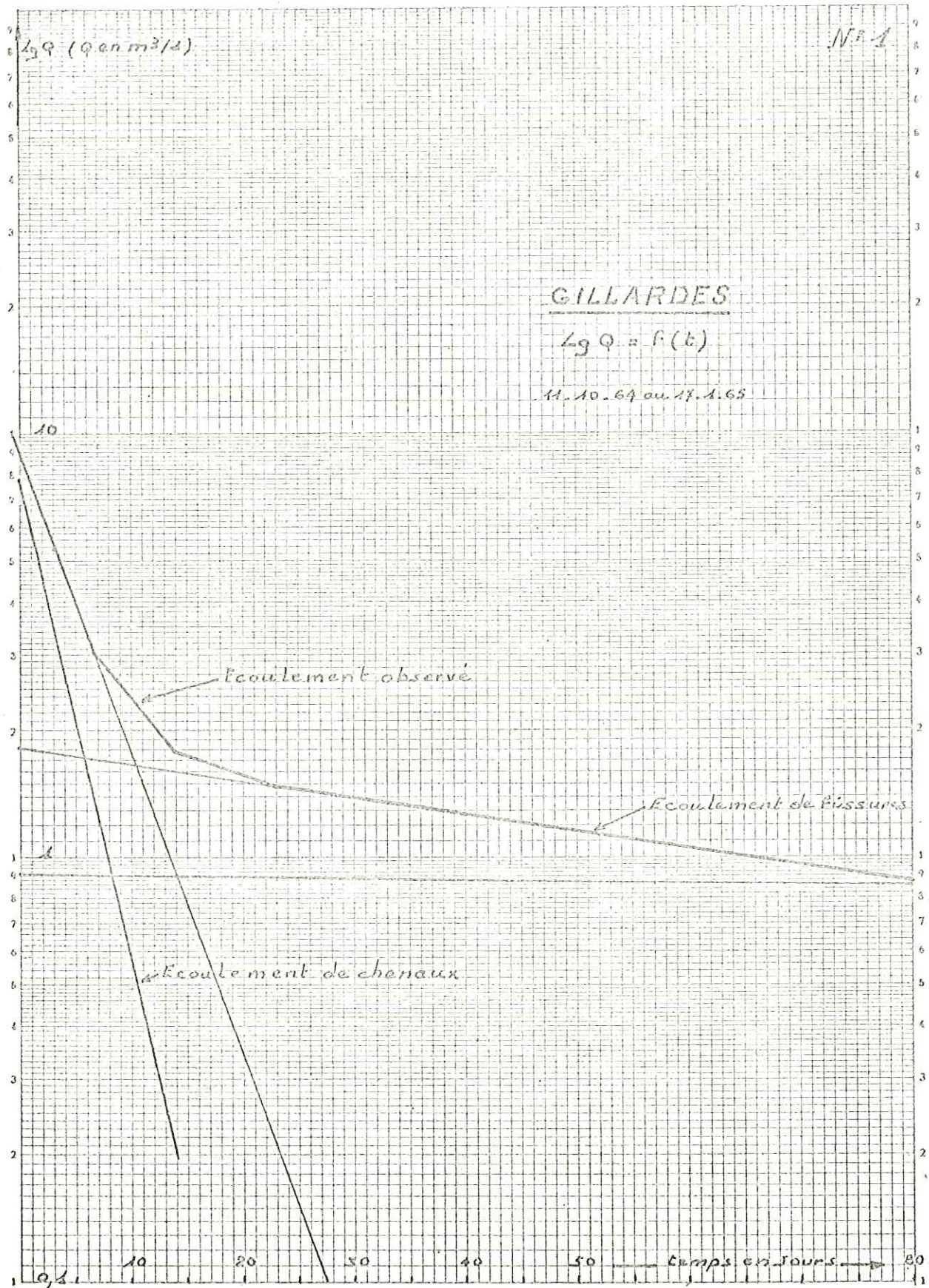
#### 6) EQUATION DE VIDANGE

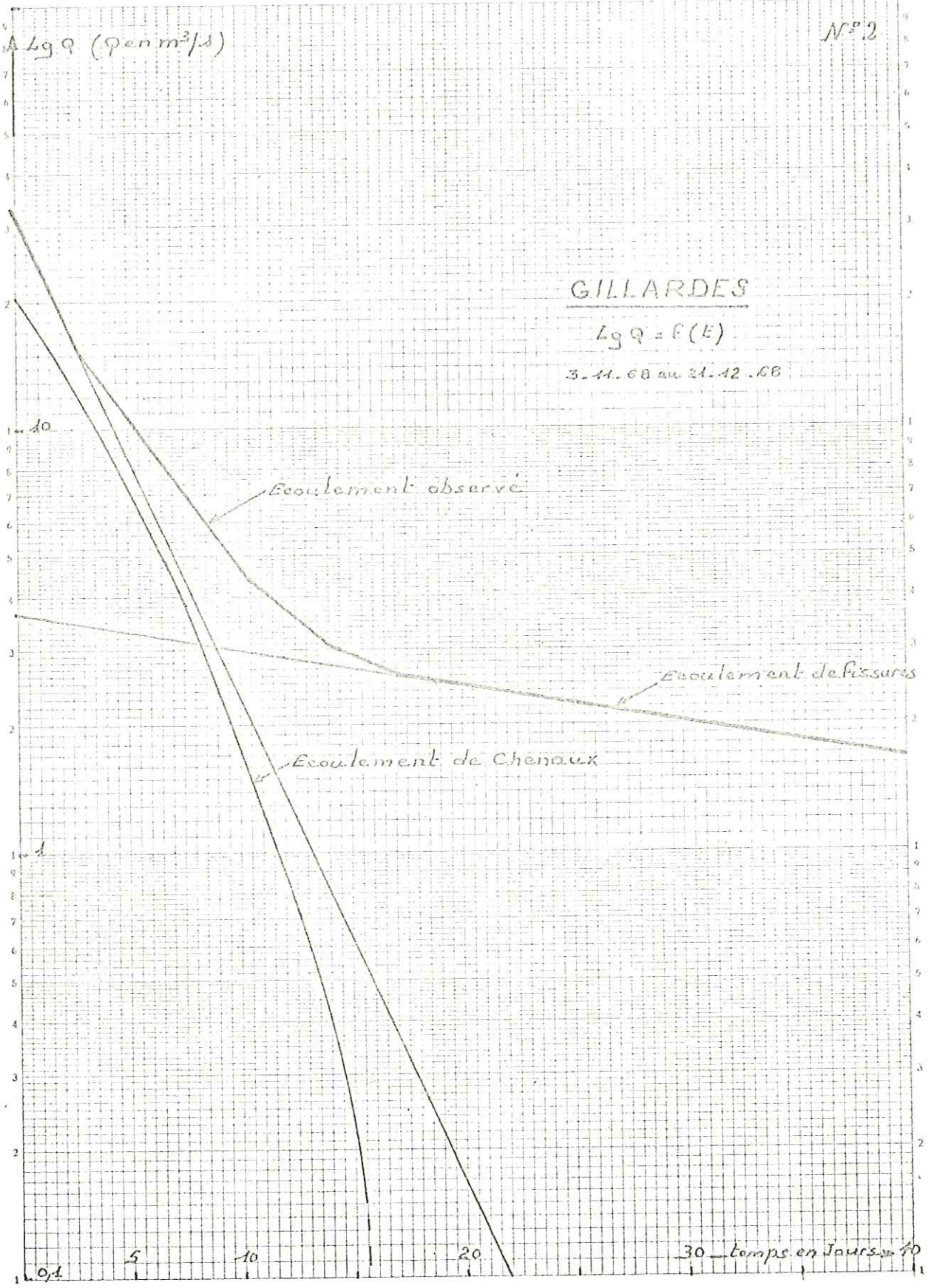
Nous avons montré que ce système aquifère se vidange suivant deux fonctions du même type :

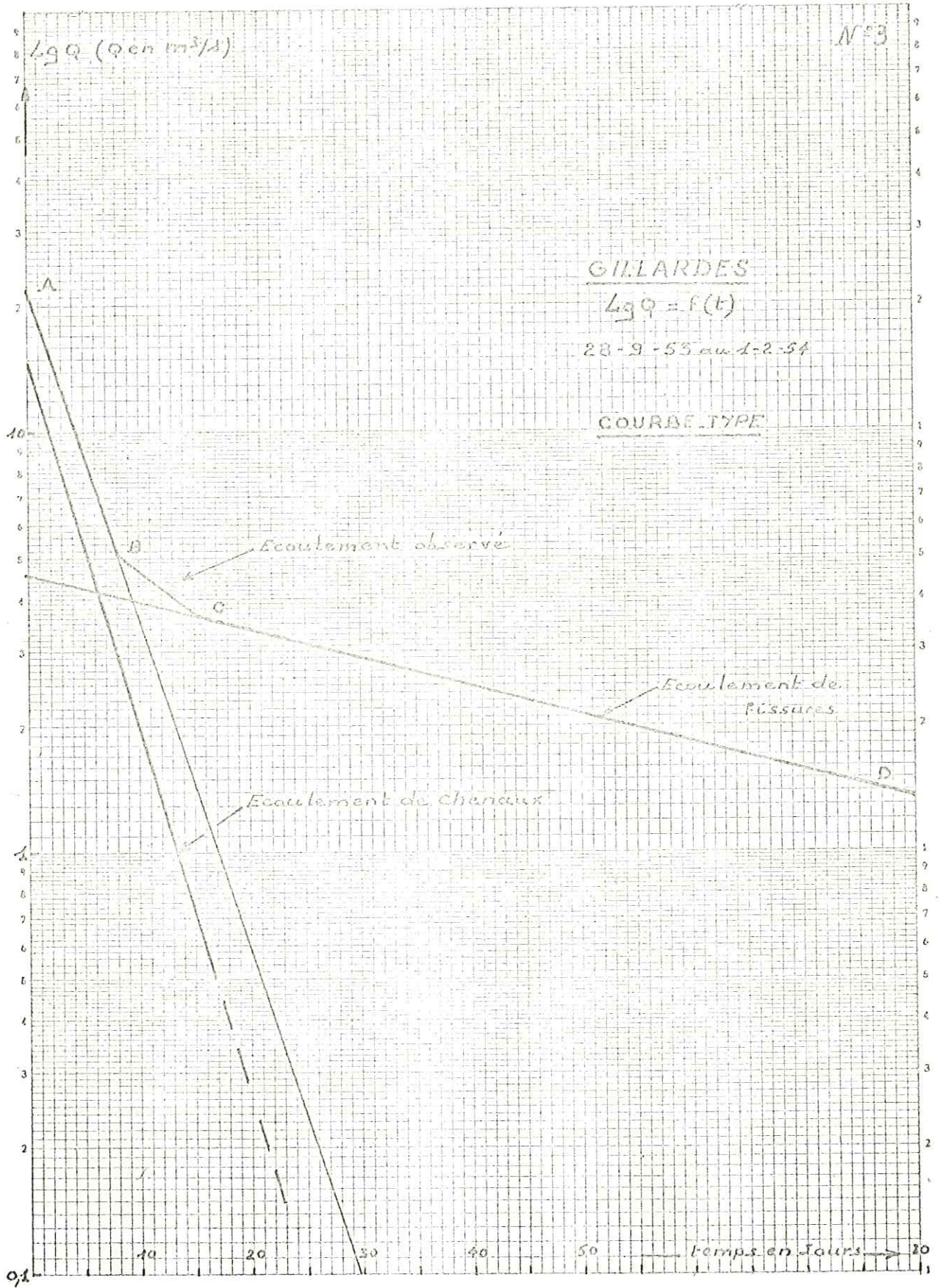
$$Q_c = Q_0 e^{-0,3t}$$

$$Q_f = q_0 e^{-0,01t}$$

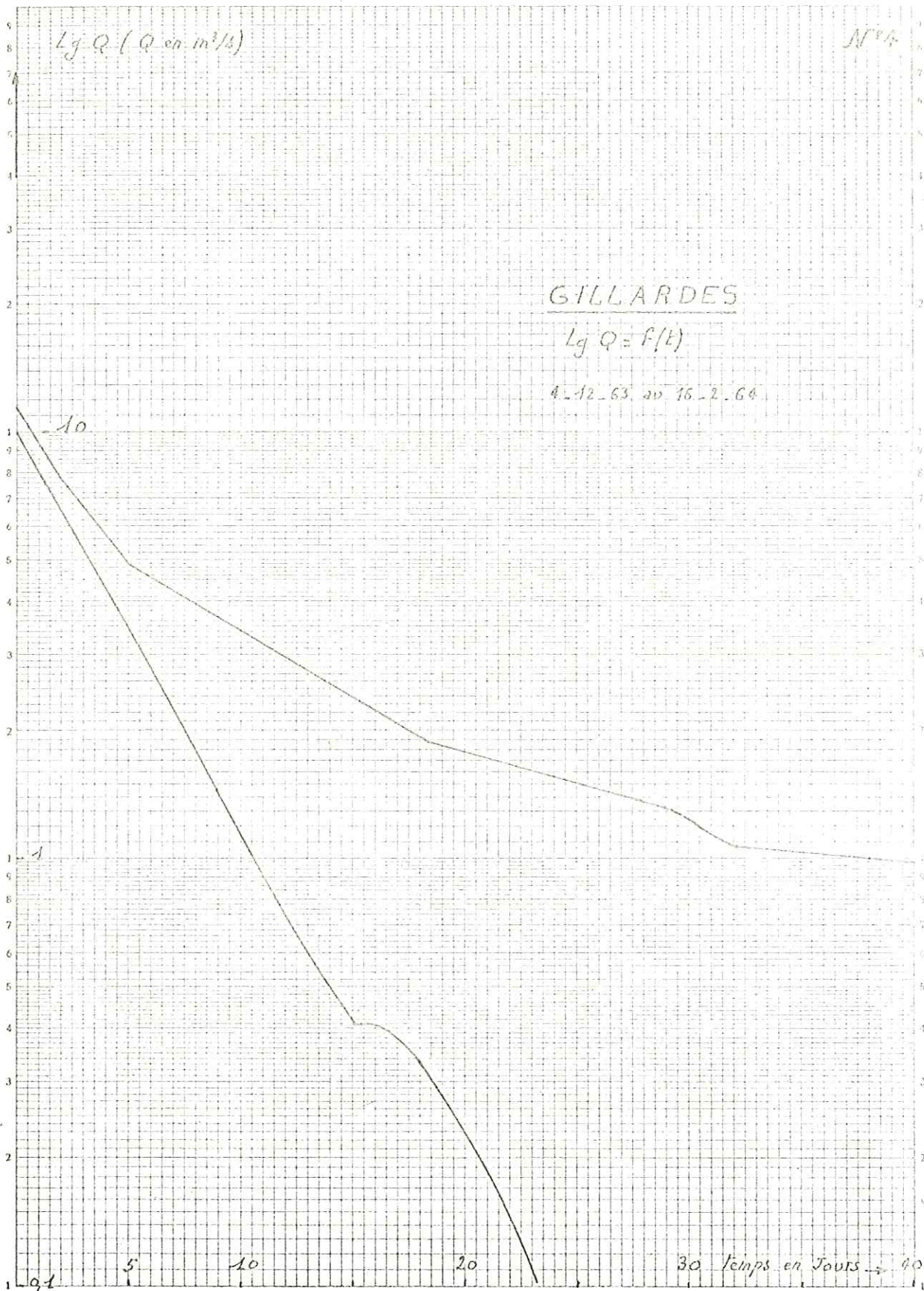
Ecrire que la vidange générale est représentée par la somme de ces deux fonctions est sans doute dans le cas idéal vrai. Mais il reste que sur 19 ans d'observations, 5 périodes de moins de 100 jours rendent compte de cette forme analytique. Pour l'ensemble des autres courbes bien que voisines, il serait hasardeux de les interpréter de la même façon.

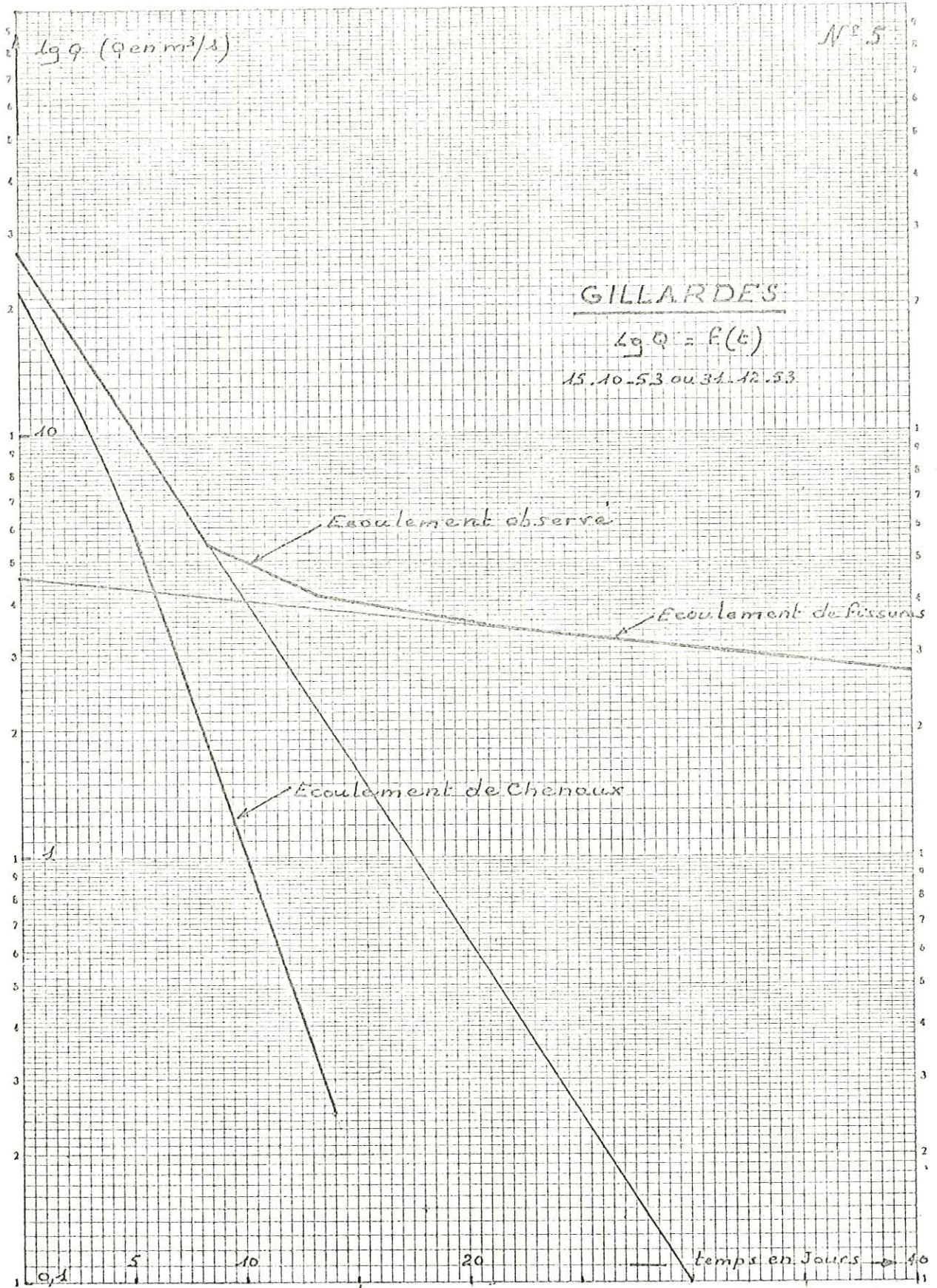


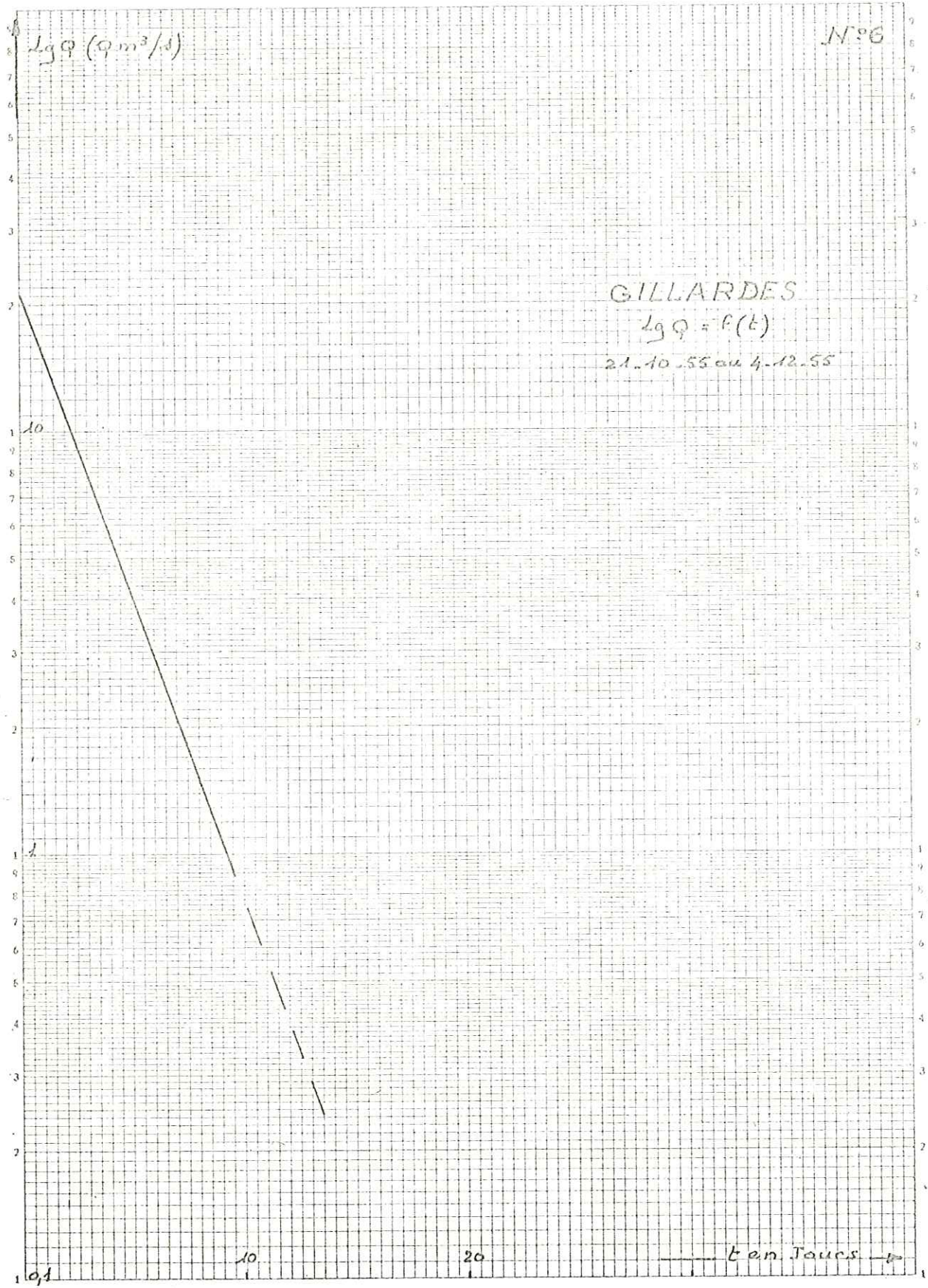


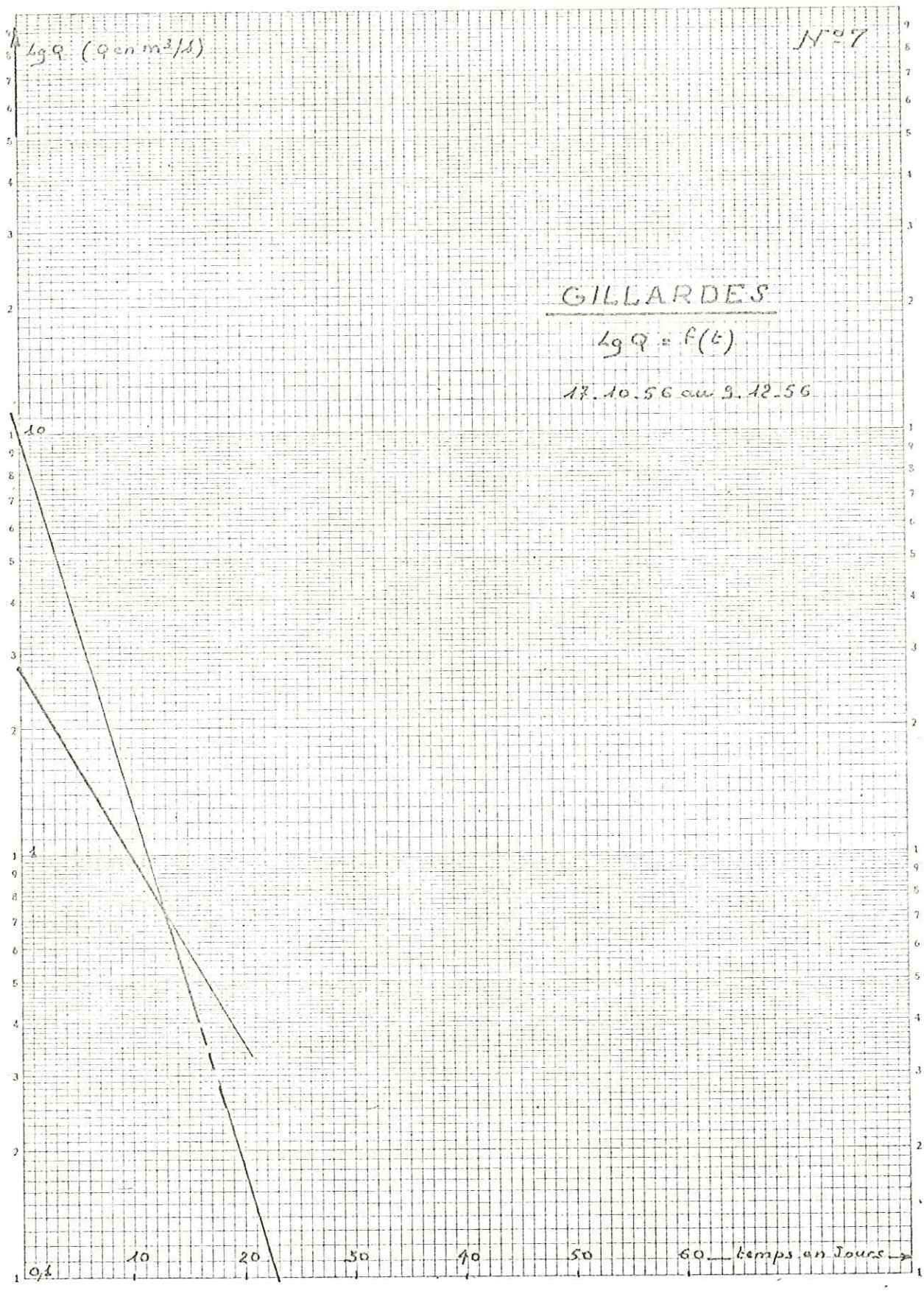


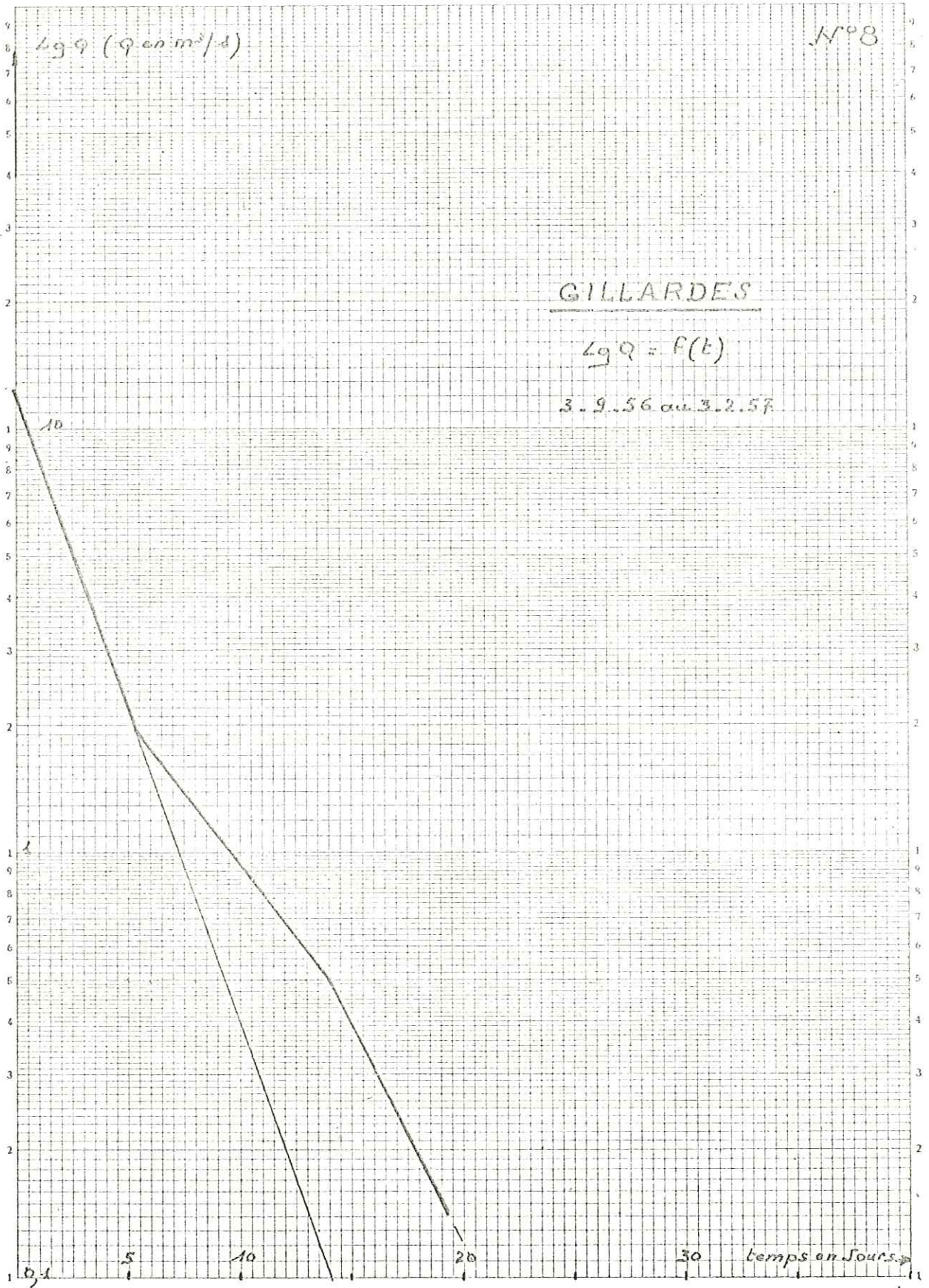


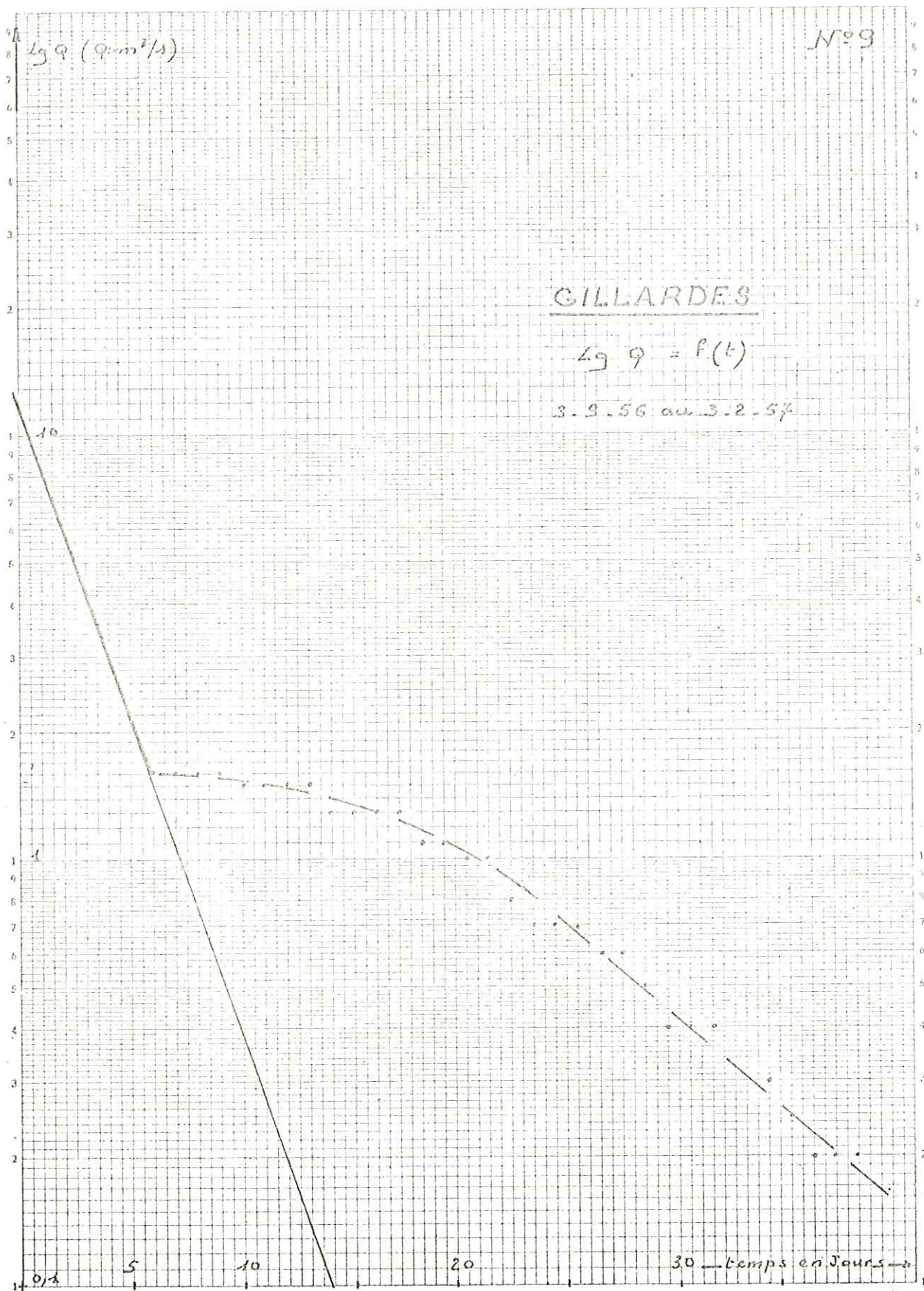


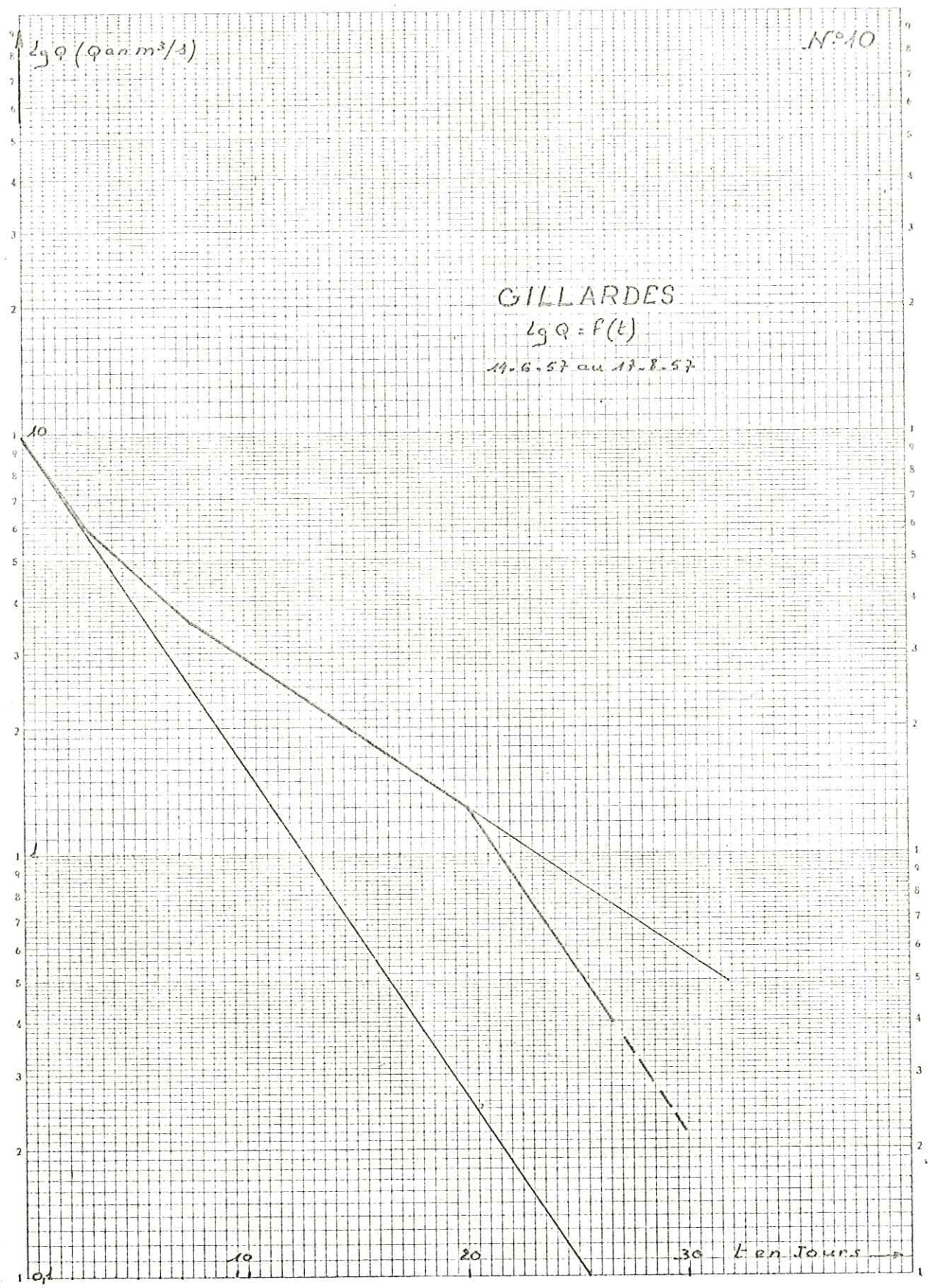


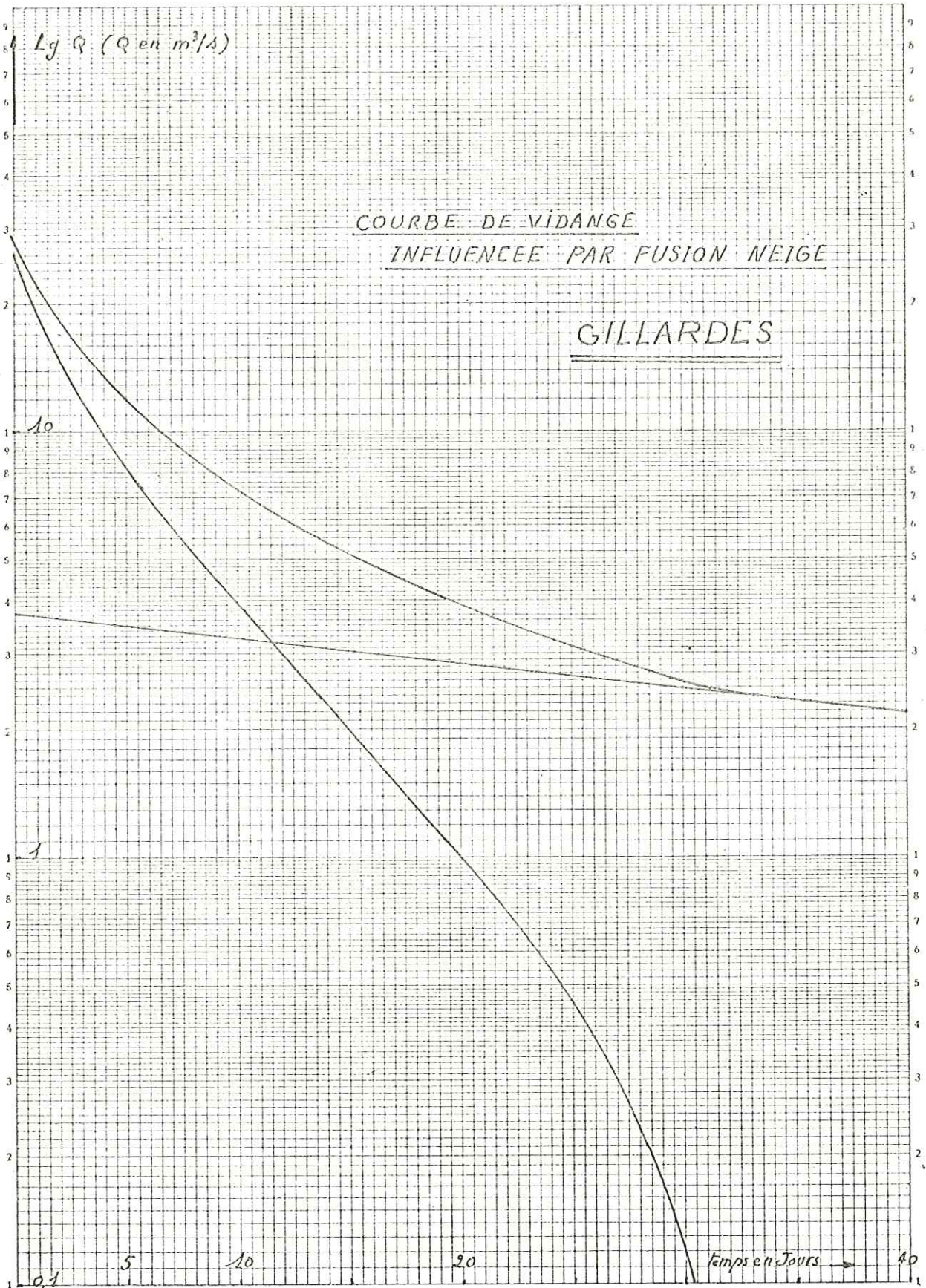














## III - CONCLUSION

Cette étude hydrodynamique préliminaire du karst sénonien nous conduit à admettre la présence de fissures (ou de fines fractures) présence qui est peut-être à rechercher plus spécialement dans l'assise II. D'autre part, nous avons pu estimer la capacité totale, pour une mise en charge moyenne, à  $31.10^{-6} \text{ m}^3$  dont la partie des fissures représente 80 %. D'autre part, nous avons pu montrer, hélas ! seulement sur le plan qualitatif, l'influence prédominante des facteurs atmosphériques. Ce qui nous conduit à penser que la loi de vidange, sans doute idéale, doit tenir compte de ceux-ci. C'est ce que nous avons tenté d'atteindre, en mettant en place des appareils de mesure. (limnigraphe, et pluviomètres) qui, pour le moment, n'ont pas fourni des renseignements exploitables.

oooooooooooo

CHIMIE DES EAUX

## C H I M I E D E S E A U X

I - BUTS	170
II - SOURCES ETUDIEES	170
III- ANALYSES EFFECTUEES	171
IV - REPRESENTATION DES RESULTATS	171
V - ANALYSE DES RESULTATS	172
- analyse d'Aout 1966	172
- analyse d'avril 1972	174
VI - CONCLUSION	176

## I - BUTS

Ce travail sur les eaux des sources dévoluardes reste modeste car il était prévu et conçu uniquement dans le but de nous donner une image de leur chimisme aussi correcte que possible. Nous voulions par là établir avec prudence des comparaisons entre elles afin de tenter d'apporter un nouvel argument en faveur de la spécificité des Sources des Gillardes.

## II - LES SOURCES ETUDIÉES

Il fallut opérer un choix parmi toutes les sources plus ou moins importantes du DEVOLUY (plus d'une centaine). Nous les avons sélectionnées en fonction des horizons géologiques dont les eaux sont issues de telle sorte que nous puissions avoir les premiers renseignements sur une bonne partie des aquifères.

Nous indiquerons ci-après la référence de la source et la formation dont elle est issue. On remarquera qu'un très grand nombre de celles-ci sortent de formations détritiques (moraines essentiellement). Ce choix s'explique sans doute par l'abondance de ce type de formations, mais aussi par le fait que localement elles cachent l'écoulement d'autres formations.

<u>Référence</u>	<u>Dénomination</u>	<u>Formation</u>
3	Grande Gillarde	Calcaire sénonien
4	Petites Gillardes	" "
5	en amont des Gdes Gillardes	fluvio-glaciaire
15	Moulin du Vaisseau	moraine
2	Pré du Forest	moraine
11	Source du Lac	éboulis de pente
16=9	Forest d'Agnières	moraine
17	Agnières	calcaire tithonique
18	Coutières	grès verts
12	Cypières	moraine
1	Source de Coutières	grès verts

7	Source de la Cluse	Moraine
8	Torrent de Mouche Chot	Moraine
19	Chemin de la Béoux	Calcaire tithonique
20-1	Sigouste	Calcaire tithonique
21-2	"	" "
22-3	"	" "
23-4	"	" "
24-5	"	" "
6	Truziaux	Moraine
10	Travars	Moraine
13	Uttler	Moraine
14	Fontaine de l'Enclus	Moraine

Deux séries d'analyses correspondent à deux périodes différentes: l'une, la première, en période d'étiage (mois d'Aout), l'autre en hautes eaux (mois d'avril). Il reste que ces deux analyses n'ont pas été effectuées la même année ce qui empêche une bonne comparaison entre ces deux périodes.

### III- ANALYSES EFFECTUEES

#### Sur le terrain :

Nous avons déterminé les caractères physico-chimiques :

ℓ résistivité

θ eau

θ air

PH

et le CO<sub>2</sub> libre dissous.

#### En laboratoire :

- Cations : Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Σ<sup>+</sup>  
 - Anions : Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, HSiO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Σ<sup>-</sup>

(HSiO<sub>3</sub> n'est pas compris dans la somme des anions)

### IV- REPRESENTATION DES RESULTATS

Les résultats des diverses analyses sont visualisés par des tableaux, des diagrammes Schœeller et des diagrammes en triangle (Piper)

SITUATION DES SOURCES

---

DENOMINATION	X	Y	Z	Commune
Gde Gillarde	880,02	279,38	870	Les Payas
Petites Gillardes	881,14	279,36	875	"
Sce en amont des Gdes Gillardes	880,97	279,30	880	"
Moulin du Vaisseau	880,82	272,80	1280	Agnières en Dy
Pré du Forest	881,04	274,02	1175	"
Source du Lac	878,73	265,52	1180	La Cluse en Dy
Forest d'Agnières	880,07	270,22	1335	Agnières en Dy
Agnières	873,60	257,86	930	Agnières
Coutières	878,86	269,30	1420	Agnières en Dy
Cypières	885,98	270,98	1450	St-Etienne en Dy
Fontaine de Coutières	279,10	269,56	1404	Agnières en Dy
Source de la Cluse	878,83	266,34	1270	La Cluse en Dy
Torrent de Mouche-Chot	878,81	266,34	1270	"
Chemin de la Béoux	877,48	266,18	1260	"
Sigouste (1)	883,67	262,23	1340	Montmaur
Sigouste (2)	883,70	262,25	1340	"
Sigouste (3)	883,70	262,51	1350	"
Sigouste (4)	883,61	262,33	1320	"
Sigouste (5)	883,58	262,22	1310	"
Truziaux	887,04	271,07	1450	St-Etienne en Dy
Travars	879,92	270,82	1315	Agnières en Dy
Uttiller	885,94	268,10	1490	St-Etienne en Dy
Fontaine de l'Enclus	886,20	269,10	1395	"

Les tableaux

1 tableau pour les résultats de l'analyse Aout 1966

1 tableau pour les résultats de l'analyse Avril 1972

Les résultats sont exprimés en me/L (r)

Les diagrammes Schoeller

Un diagramme par source, sur lequel sont reportés les résultats de l'analyse 1966 et celle de 1972

Les diagrammes en triangle (Piper)

Un diagramme groupant les résultats des analyses 1966 et un deuxième groupant les résultats des analyses 1972.

V - ANALYSE DES RESULTATS (d'après diagrammes en triangle)

Les informations obtenues ont des valeurs relatives et non absolues. Les pourcentages sont calculés à partir des me/L

ANALYSE D'AOUT 1966

Remarque générale :

On note la dispersion de (Na + K) par rapport à la somme des cations: on passe de 0,2 à 3,5 % pour  $\frac{\text{Na} + \text{K}}{\text{Somme des Cations}}$ .  
D'autre part, on remarque une bonne homogénéité pour le rapport Mg/Ca. Environ 70 % des sources possèdent Mg  $\leq$  10% de la somme des cations.

Par contre, pour l'ensemble des sources les sulfates sont dispersés. (0 à 5 %)

Distinction entre sources :

11 : Source du Lac :

Différente des autres essentiellement par sa teneur en sulfate, qui, forte, a corrélativement un taux de bicarbonate moins élevé. Les valeurs de Mg et K sont d'un ordre de grandeur assez comparable à celles des autres sources.

5, 13

Les eaux se ressemblent, mais se différencient toutefois par l'ion Mg

13 : Mg 4,3 %

5 : Mg 15,6 %

3, 13

Elles sont assez semblables mais une plus forte teneur en Na + K pour la source 3 l'éloigne quelque peu de la 13 : la différence n'est pas très importante.

3 : Na + K = 3,4 %

13 : Na + K = 1,7 %

3, 5 et 13

Ces 3 sources restent très voisines

4, 7 et 14

Il n'existe pratiquement pas de différenciation entre les sources 4 et 7.

La teneur moyenne en Na + K des eaux de ces sources nous permet de les rapprocher de celles du groupe précédent.

La distinction de ces 2 groupes ne se fait que par la teneur différente en sulfate.

Par ailleurs, ces 6 sources, 13, 5, 3, 14, 4, et 7 ont une somme  $\text{SO}_4^+$  et  $\text{NO}_3^-$  légèrement supérieure aux autres sources. Ceci correspond à une augmentation de la  $\Sigma$  (Na + K), ce qui est logique.

Pour toutes les sources, la teneur en chlorure est très homogène, de 0 à 1,5 %

2, 6, 8, 9, 10, 12

La répartition des ions est dans l'ensemble assez homogène :

Cl très homogène

Mg homogène

Seule la Source 2 a une teneur en Mg plus importante.

1

Cette source est légèrement différente de la série précédente par



sa teneur en Na + K un peu plus élevée.

On constate, pour l'ensemble des sources, une relation entre l'augmentation de  $\sum_r (SO_4^-, Cl^-, NO_3^-)$  et la  $\sum_r (Na + K)$ , d'où une fonction entre alcalins et anions non carbonatés.

#### Conclusion :

En regardant la valeur absolue des teneurs en milliéquivalent /litre ( $r = me/L$ ) de l'ensemble des sources, et sans tenir compte de la dilatation artificielle de certaines échelles du diagramme en triangle, nous constatons que toutes ces eaux sont très semblables (bicarbonatées calciques).

#### ANALYSE D'AVRIL 1972

D'emblée, il apparaît que :

- l'homogénéité est totale dans la teneur  $\sum_r (Na + K)$ : de 0 à 1%
- De même, pour la  $\sum_r Cl^-$  : 1% (7 et 8 légèrement à part)
- Les seuls paramètres qui permettent de différencier les sources sont :



- Le déplacement des points dans le losange se fait linéairement d'un point bas vers un point haut pour la  $\sum_r (SO_4 + Cl + NO_3)$
- La variation des rapports

$$\frac{r^{Mg}}{r^{Ca}} \text{ et } \frac{r^{HCO_3}}{\sum_r \text{ des anions}}$$

n'est en définitive pas très importante.

- En tout état de cause, ce sont des eaux bicarbonatées calciques, les autres ions n'ayant qu'une faible influence dans la composition des eaux, du fait de leur faible quantité.

#### Comparaison des sources

11 et 5

Ces sources sont absolument semblables.

21, 22, 23, 24.

Sources de la Sigouste . elles sont identiques les unes aux autres.

19

Elle se rapproche de ce groupe. Elle en diffère par un rapport plus élevé

$$\frac{r \text{ Mg}}{r \text{ Ca}}$$

3, 4, 17

Sources des Petites et Grande Gillardes : assez semblables.

20

Cette source de la Sigouste est à mi-chemin entre les deux derniers groupes, si l'on considère sa teneur en sulfate.

Cette légère différence des sulfates de la 20 par rapport au groupe des sources 21, 22, 23 et 24 n'est pas accompagnée d'une variation de la  $r \Sigma$  (Na + K), ni d'une variation du rapport

$$\frac{r \text{ Mg}}{r \text{ Ca}}$$

Par contre, la source 20 est proche des sources 3, 4, 17, excepté pour le rapport  $\frac{r \text{ Mg}}{r \text{ Ca}}$  un peu plus élevé.

7, 8

La source et le ruisseau de la Cluse se rapprochent des Sources 3, 4, 17, excepté une plus forte teneur en chlorure : 1,5 % de plus et une teneur plus faible en sulfate : 1 à 1,5 %

2, 18

Situées dans les moraines, elles sont identiques entre elles.

12, 15 et 16

sont également identiques entre elles.

Ces deux groupes sont très semblables. Mais ils se différencient des autres sources par une plus faible teneur en sulfate.

La seule différence entre ces deux groupes provient

- d'une part du rapport  $\frac{r^{Mg}}{r^{Ca}}$  (plus élevé pour 12, 15 et 16)
- des sulfates légèrement supérieures pour la 2 et la 18.

## VI - CONCLUSION

Ces analyses des eaux de diverses sources du DEVOLUY, basées sur la détermination de leurs éléments majeurs ne permettent pas de mettre en évidence des différences caractéristiques entre les deux karsts ( karst des calcaires sénoniens et karst des calcaires tithoniques). D'autre part, les eaux des autres aquifères sont elles aussi voisines et leur caractère commun peut se définir par le terme "bicarbonaté - calcique".

L'analyse chimique peut à peine différentier les eaux des Gillardes des autres sources. Par contre, la similitude entre les eaux des Grandes et des Petites Gillardes est frappante. Si l'analyse de 1972 conduit à cette constatation, l'analyse de 1966 leur attribue une légère différence, dont nous ne tiendrons pas compte pour le moment., car le chimisme des Petites Gillardes peut être en cette saison quelque peu troublé vers l'émergence par des eaux superficielles.

Le fait que toutes les eaux du DEVOLUY soient très proches les unes des autres quant à leur chimisme s'explique très bien par la nature des formations dont le DEVOLUY est constitué : calcaire, marno-calcaire, marnes se succèdent depuis le jurassique moyen jusqu'au crétacé supérieur. Le tertiaire rompt un peu cette monotonie mais sa présence est comparativement très faible. Que les eaux circulent dans des aquifères d'horizons en place ou dans des formations détritiques ne change rien au chimisme des eaux puisque ils sont tous constitués d'éléments de même nature, les uns étant issus des autres.

Les "éléments trace" permettront peut-être de fournir des critères de différenciation entre les eaux d'aquifères séparés.

## Etiage d'été

## hautes eaux de printemps

Sce	1966			1972		
	Température	En $\Omega \cdot \text{cm}$ Résistivité à 20°	PH	Température	En $\Omega \cdot \text{cm}$ Résistivité à 20°	PH
1		2800	7,95	5°,85	2999	7,75
2		3680	8,00	5°,85	2999	7,75
3	7°,1	5920	7,7	7°,1	5278	7,7
4	7°,1	5600	7,7	7°,1	5128	7,7
5		4150	7,7		4018	
6		4650	8,05			
7		5210	7,90		4278	
8		5010	7,5		3599	
9		4645	8,10			
10		3925	7,3			
11	6°	5960	7,6		5616	7,6
12	5°,9	4200	7,5	6°,4	3288	7,75
13		5410	8,10			
14		3180	7,60			
15					2270	
16				6°,25	3213	7,3
17				8°,2	3478	7,3
18				3°	3625	7,3
19					3461	7,55
20				5°,81	4656	7,5
21				5°81	5510	7,75
22				5°,41	5776	7,8
23				5°,7	5776	7,55
24				5°,91	5322	7,55

!Sce!	r <sub>Na</sub>	r <sub>K</sub>	r <sub>Ca</sub>	r <sub>Mg</sub>	r <sub>S<sup>+</sup></sub>	r <sub>Cl</sub>	r <sub>SO<sub>4</sub></sub>	r <sub>HCO<sub>3</sub></sub>	r <sub>S<sup>-</sup></sub>	r <sub>HSiO<sub>3</sub></sub>
! 1 !	!0,104 !	! 0,012 !	!3,475! !	! 0,577 !	! 4,168 !	! 0,014 !	! 0,068 !	! 4,150 !	! 4,232 !	! 0,063 !
! 2 !	! 0,036 !	! 0,005 !	! 2,550 !	! 0,582 !	! 3,173 !	! 0,020 !	! 0,028 !	! 3,100 !	! 3,148 !	! 0,063 !
! 3 !	! 0,042 !	! 0,022 !	! 1,650 !	! 0,150 !	! 1,864 !	! 0,011 !	! 0,089 !	! 1,880 !	! 1,980 !	! 0,058 !
! 4 !	! 0,037 !	! 0,004 !	! 1,725 !	! 0,187 !	! 1,953 !	! - !	! 0,066 !	! 2,050 !	! 2,116 !	! 0,063 !
! 5 !	! 0,037 !	! 0,018 !	! 2,250 !	! 0,426 !	! 2,731 !	! 0,032 !	! 0,095 !	! 2,700 !	! 2,827 !	! 0,042 !
! 6 !	! 0,023 !	! 0,003 !	! 2,400 !	! 0,020 !	! 2,446 !	! 0,006 !	! 0,016 !	! 2,480 !	! 2,502 !	! 0,067 !
! 7 !	! 0,048 !	! 0,006 !	! 1,950 !	! 0,130 !	! 2,134 !	! 0,008 !	! 0,062 !	! 2,190 !	! 2,260 !	! 0,105 !
! 8 !	! 0,023 !	! 0,009 !	! 2,125 !	! 0,107 !	! 2,264 !	! - !	! - !	! 2,330 !	! 2,330 !	! 0,058 !
! 9 !	! 0,006 !	! 0,013 !	! 2,375 !	! 0,093 !	! 2,487 !	! 0,014 !	! 0,016 !	! 2,440 !	! 2,470 !	! 0,067 !
! 10 !	! 0,024 !	! 0,001 !	! 4,650 !	! 0,286 !	! 4,961 !	! 0,035 !	! 0,056 !	! 4,860 !	! 4,951 !	! 0,058 !
! 11 !	! 0,023 !	! 0,006 !	! 1,600 !	! 0,200 !	! 1,829 !	! 0,139 !	! 0,127 !	! 1,730 !	! 1,996 !	! 0,053 !
! 12 !	! 0,003 !	! 0,004 !	! 2,675 !	! 0,065 !	! 2,747 !	! 0,020 !	! - !	! 2,750 !	! 2,770 !	! 0,058 !
! 13 !	! 0,032 !	! 0,003 !	! 1,950 !	! 0,090 !	! 2,075 !	! 0,020 !	! 0,089 !	! 2,050 !	! 2,159 !	! 0,075 !
! 14 !	! 0,021 !	! 0,007 !	! 3,610 !	! 0,070 !	! 3,708 !	! 0,048 !	! 0,062 !	! 3,550 !	! 3,660 !	! 0,050 !

E T I A G E D' E T E

! Sce	$\frac{r_{Mg}}{r_{Ca}}$	$\frac{r_{Mg}}{r_{S+}}$	$\frac{r_{Ca}}{r_{S+}}$	$\frac{r_{Na}}{r_{Ca}}$	$\frac{r_{Na}}{r_{Mg}}$	$\frac{r_{SO4}}{r_{S}}$	$\frac{r_{SO4}}{r_{Cl}}$	$\frac{r_{Cl}}{r_{S}}$	$\frac{r_{HCO3}}{r_{S}}$	$\frac{r_{(K+Na)}}{r_{S+}}$
! 1	! 0,166!	! 0,138!	! 0,834!	! 0,030!	! 0,180!	! 0,016!	! 4,86!	! 0,003!	! 0,981!	! 0,028!
! 2	! 0,228!	! 0,183!	! 0,804!	! 0,014!	! 0,062!	! 0,009!	! 1,40!	! 0,006!	! 0,985!	! 0,013!
! 3	! 0,091!	! 0,080!	! 0,885!	! 0,025!	! 0,280!	! 0,045!	! 8,09!	! 0,006!	! 0,949!	! 0,034!
! 4	! 0,108!	! 0,096!	! 0,883!	! 0,021!	! 0,198!	! 0,031!	! -!	! -!	! 0,969!	! 0,021!
! 5	! 0,189!	! 0,156!	! 0,824!	! 0,016!	! 0,087!	! 0,034!	! 2,97!	! 0,011!	! 0,955!	! 0,020!
! 6	! 0,008!	! 0,008!	! 0,981!	! 0,010!	! 1,150!	! 0,006!	! 2,67!	! 0,002!	! 0,991!	! 0,011!
! 7	! 0,067!	! 0,061!	! 0,914!	! 0,025!	! 0,369!	! 0,027!	! 7,75!	! 0,004!	! 0,969!	! 0,025!
! 8	! 0,050!	! 0,047!	! 0,939!	! 0,011!	! 0,215!	! -!	! -!	! -!	! 1,000!	! 0,014!
! 9	! 0,039!	! 0,037!	! 0,955!	! 0,003!	! 0,065!	! 0,006!	! 1,14!	! 0,006!	! 0,988!	! 0,008!
! 10	! 0,062!	! 0,058!	! 0,937!	! 0,005!	! 0,084!	! 0,011!	! 1,60!	! 0,007!	! 0,982!	! 0,005!
! 11	! 0,125!	! 0,109!	! 0,875!	! 0,014!	! 0,115!	! 0,064!	! 0,91!	! 0,070!	! 0,867!	! 0,016!
! 12	! 0,024!	! 0,024!	! 0,974!	! 0,001!	! 0,046!	! -!	! -!	! 0,007!	! 0,993!	! 0,003!
! 13	! 0,046!	! 0,043!	! 0,940!	! 0,016!	! 0,356!	! 0,041!	! 4,45!	! 0,009!	! 0,950!	! 0,017!
! 14	! 0,019!	! 0,019!	! 0,974!	! 0,006!	! 0,300!	! 0,017!	! 1,29!	! 0,013!	! 0,970!	! 0,008!

E T I A G E D'E T E

Scé	r <sub>Na</sub>	r <sub>K<sup>+</sup></sub>	r <sub>Ca<sup>++</sup></sub>	r <sub>Mg<sup>++</sup></sub>	r <sub>S<sup>+</sup></sub>	r <sub>Cl</sub>	r <sub>SO<sub>4</sub></sub>	r <sub>HCO<sub>3</sub></sub>	r <sub>S<sup>-</sup></sub>
2	0,004	0,004	3,685	0,307	4,000	0,046	0,069	3,849	3,964
3	0,001	0,002	1,950	0,285	2,238	0,026	0,084	2,130	2,240
4	0,002	0,003	2,000	0,285	2,290	0,028	0,090	2,147	2,265
5	0,006	0,008	2,268	0,678	2,960	0,039	0,167	2,724	2,930
7	0,006	0,006	2,310	0,718	3,040	0,071	0,070	2,885	3,026
8	0,008	0,020	3,160	0,337	3,525	0,086	0,067	3,349	3,502
11	0,003	0,006	1,610	0,546	2,165	0,026	0,125	2,004	2,155
12	0,003	0,008	3,240	0,764	4,015	0,041	0,028	3,966	4,035
15	0,004	0,008	4,090	1,258	5,360	0,044	0,076	5,222	5,342
16	0,002	0,006	3,290	0,437	3,735	0,030	0,042	3,667	3,739
17	0,003	0,006	2,970	0,441	3,420	0,031	0,122	3,259	3,412
18	0,005	0,005	2,775	0,830	3,615	0,023	0,087	3,520	3,630
19	0,012	0,007	2,650	0,786	3,455	0,024	0,186	3,235	3,445
20	0,003	0,006	2,100	0,431	2,540	0,019	0,108	2,403	2,530
21	0,001	0,002	1,730	0,392	2,125	0,020	0,114	1,994	2,128
22	0,001	0,002	1,695	0,337	2,035	0,018	0,098	1,899	2,015
23	0,001	0,002	1,738	0,294	2,035	0,022	0,098	1,898	2,018
24	0,002	0,003	1,820	0,375	2,200	0,022	0,104	2,066	2,192

HAUTES EAUX DE PRINTEMPS

See	$\frac{r_{Mg}}{r_{Ca}}$	$\frac{r_{Mg}}{r_{S+}}$	$\frac{r_{Ca}}{r_{S+}}$	$\frac{r_{Na}}{r_{Ca}}$	$\frac{r_{Na}}{r_{Mg}}$	$\frac{r_{k+Na}}{r_{S+}}$	$\frac{r_{SO4}}{r_{S-}}$	$\frac{r_{SO4}}{r_{Cl}}$	$\frac{r_{Cl}}{r_{S-}}$	$\frac{r_{HCO3}}{r_{S-}}$
2	0,003	0,077	0,921	0,001	0,013	0,002	0,017	1,50	0,012	0,971
3	0,146	0,127	0,871	0,001	0,004	0,001	0,030	3,23	0,012	0,951
4	0,143	0,125	0,873	0,001	0,007	0,002	0,040	3,21	0,012	0,948
5	0,299	0,229	0,766	0,003	0,009	0,005	0,057	4,28	0,013	0,930
7	0,311	0,236	0,760	0,003	0,008	0,004	0,023	1,01	0,024	0,953
8	0,107	0,096	0,897	0,003	0,024	0,008	0,019	0,78	0,025	0,956
11	0,339	0,252	0,744	0,002	0,005	0,004	0,058	4,81	0,012	0,930
12	0,236	0,190	0,807	0,001	0,004	0,003	0,007	0,68	0,010	0,983
15	0,308	0,235	0,763	0,001	0,003	0,002	0,014	1,73	0,008	0,978
16	0,133	0,117	0,881	0,001	0,005	0,002	0,011	1,40	0,008	0,981
17	0,149	0,129	0,869	0,001	0,007	0,003	0,036	3,94	0,009	0,955
18	0,299	0,230	0,768	0,002	0,006	0,003	0,024	3,78	0,006	0,970
19	0,297	0,228	0,767	0,005	0,015	0,005	0,054	7,75	0,007	0,939
20	0,205	0,170	0,827	0,001	0,007	0,004	0,043	5,68	0,008	0,950
21	0,227	0,185	0,814	0,001	0,003	0,001	0,054	5,70	0,009	0,937
22	0,199	0,166	0,833	0,001	0,003	0,001	0,049	5,44	0,009	0,942
23	0,169	0,145	0,854	0,001	0,003	0,001	0,049	4,45	0,011	0,941
24	0,206	0,171	0,827	0,001	0,005	0,002	0,048	4,73	0,010	0,943

HAUTES EAUX DE PRINTEMPS



Figure	n°	P ohms/cm	θ	pH
---	1966			

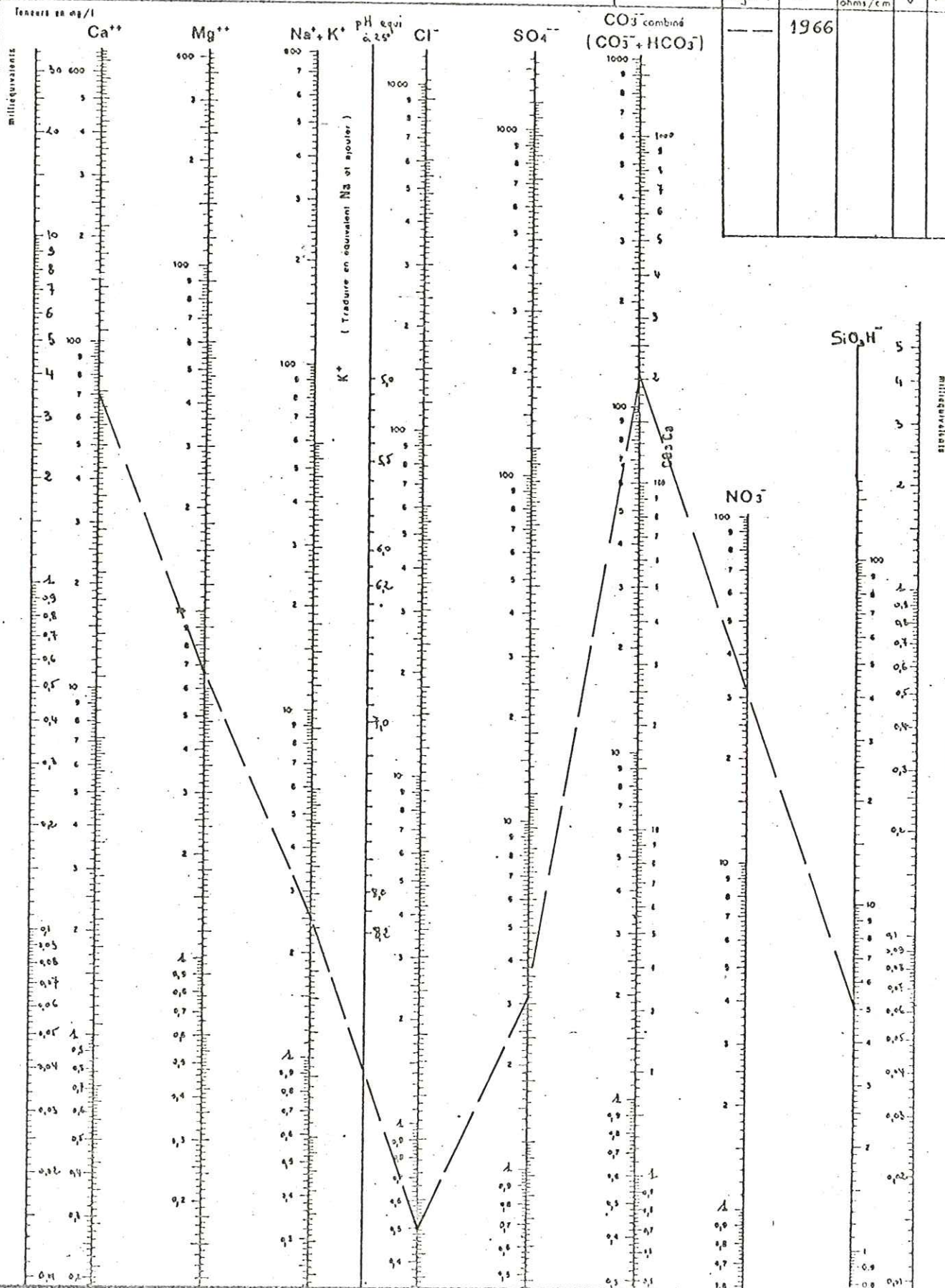


Figure	n°	$\rho$ ohm/cm	$\theta$	pH
—	1972			
- - -	1966			

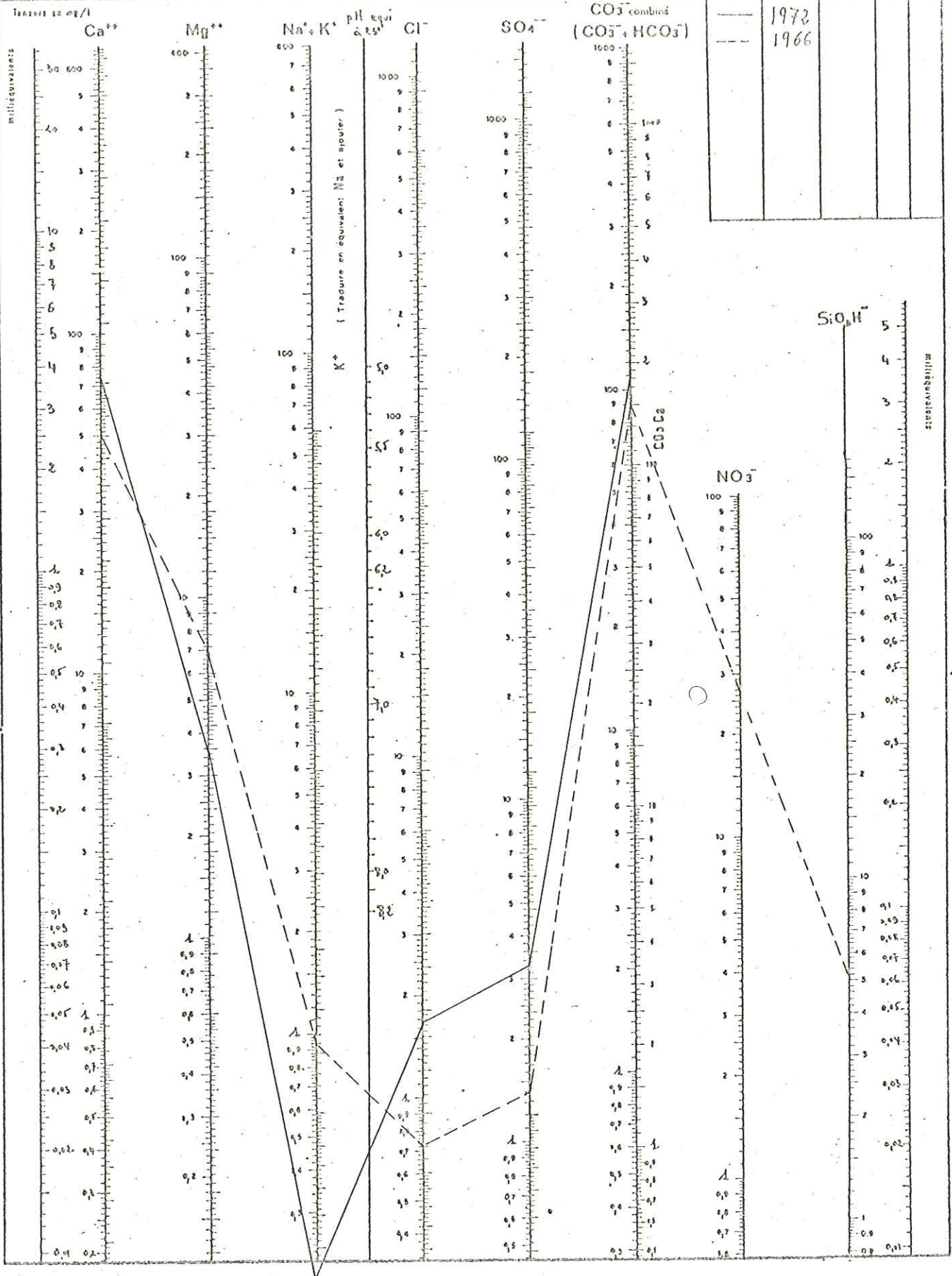




Figure	n°	P obras/cm	D	pH
—	1972			
- - -	1966			

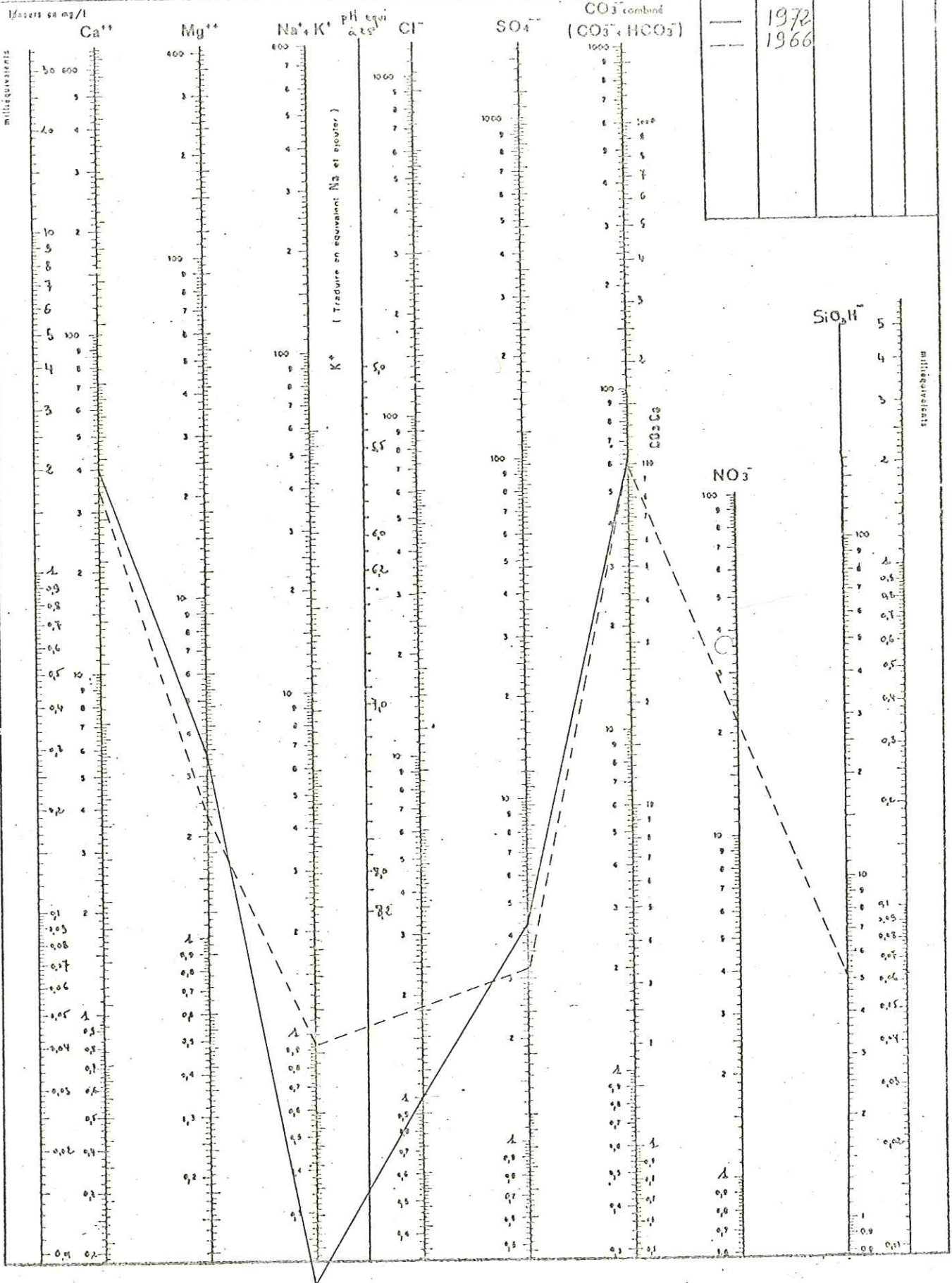


Figure	n°	P ohms/cm	D	pH
---	572			
- - -	566			

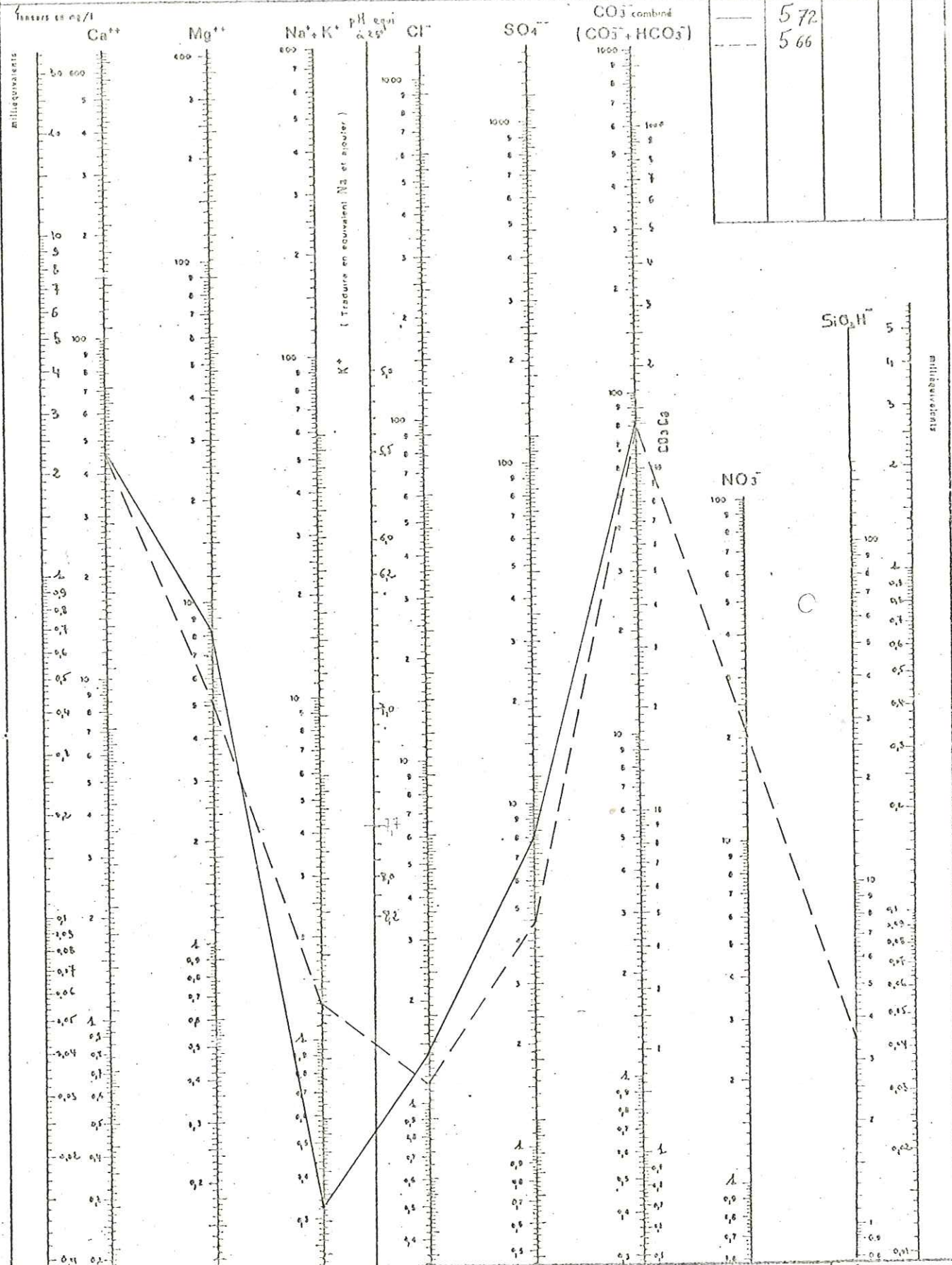


Figure	n°	P ohms/cm	0	pH
	1966			

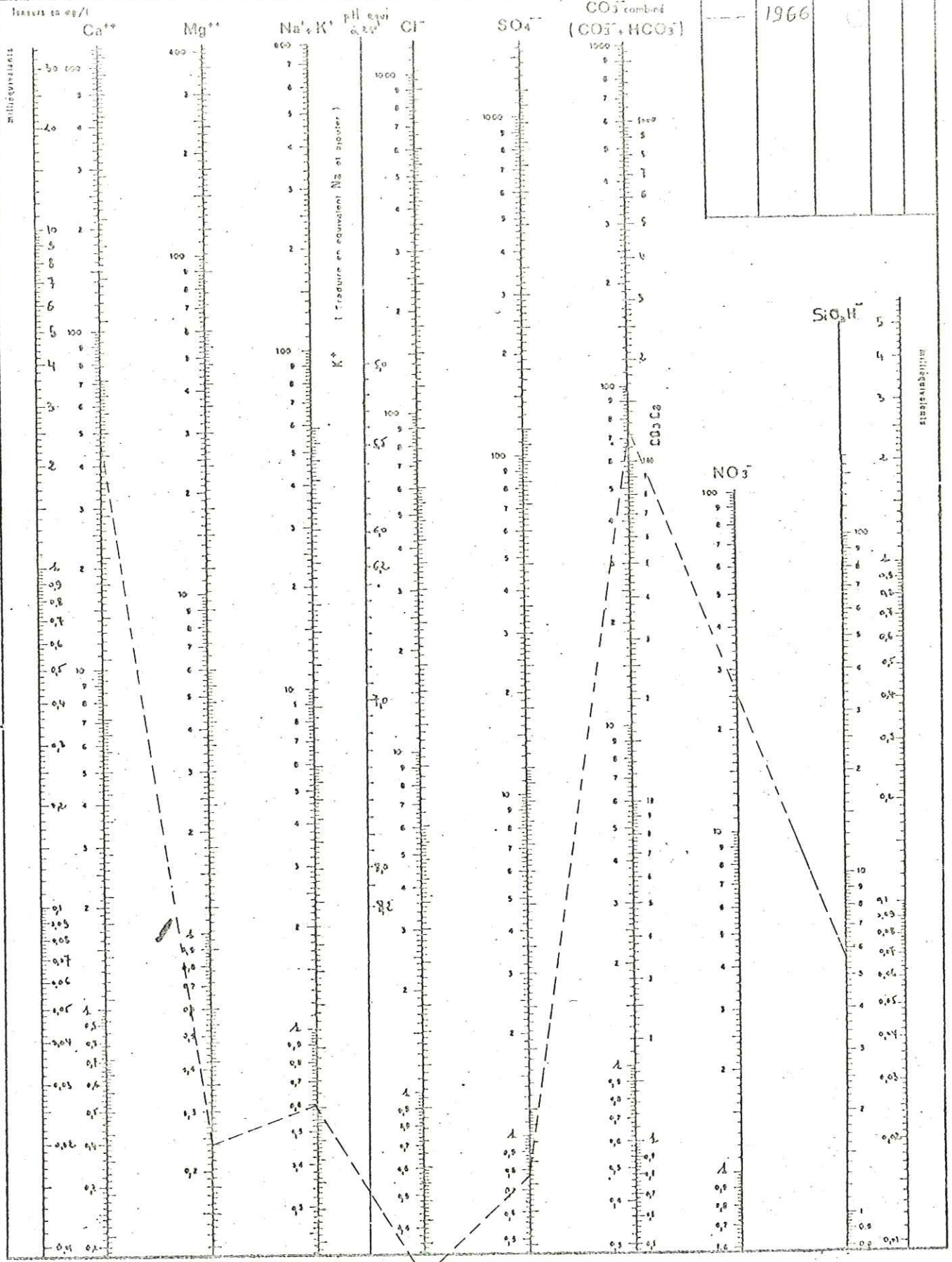


Figure	n°	P obsm/ctm	Ø	pH
	1972			
	1966			

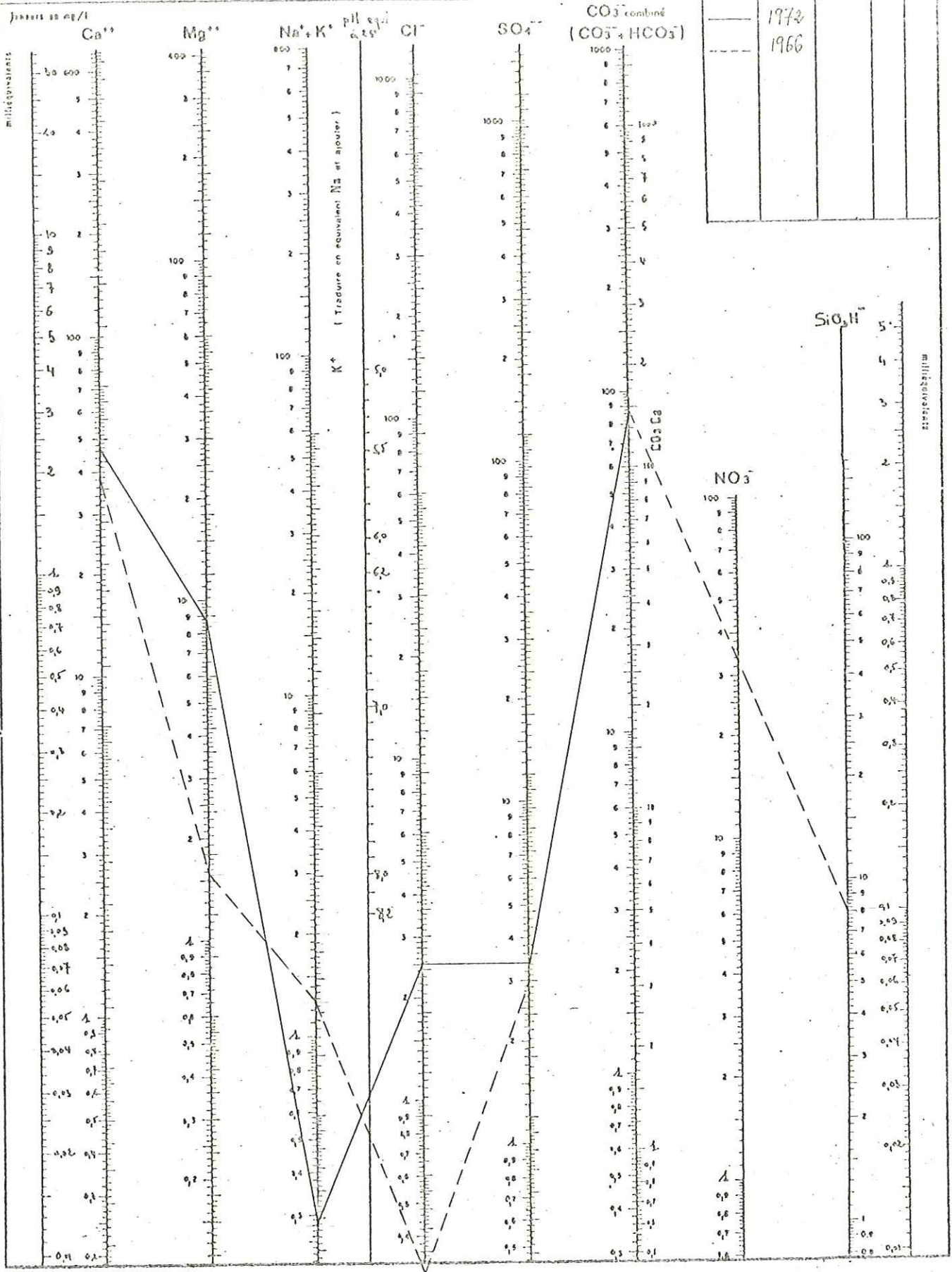


Figure	n°	P ohms/cm	θ	pH
—	1972			
- - -	1966			

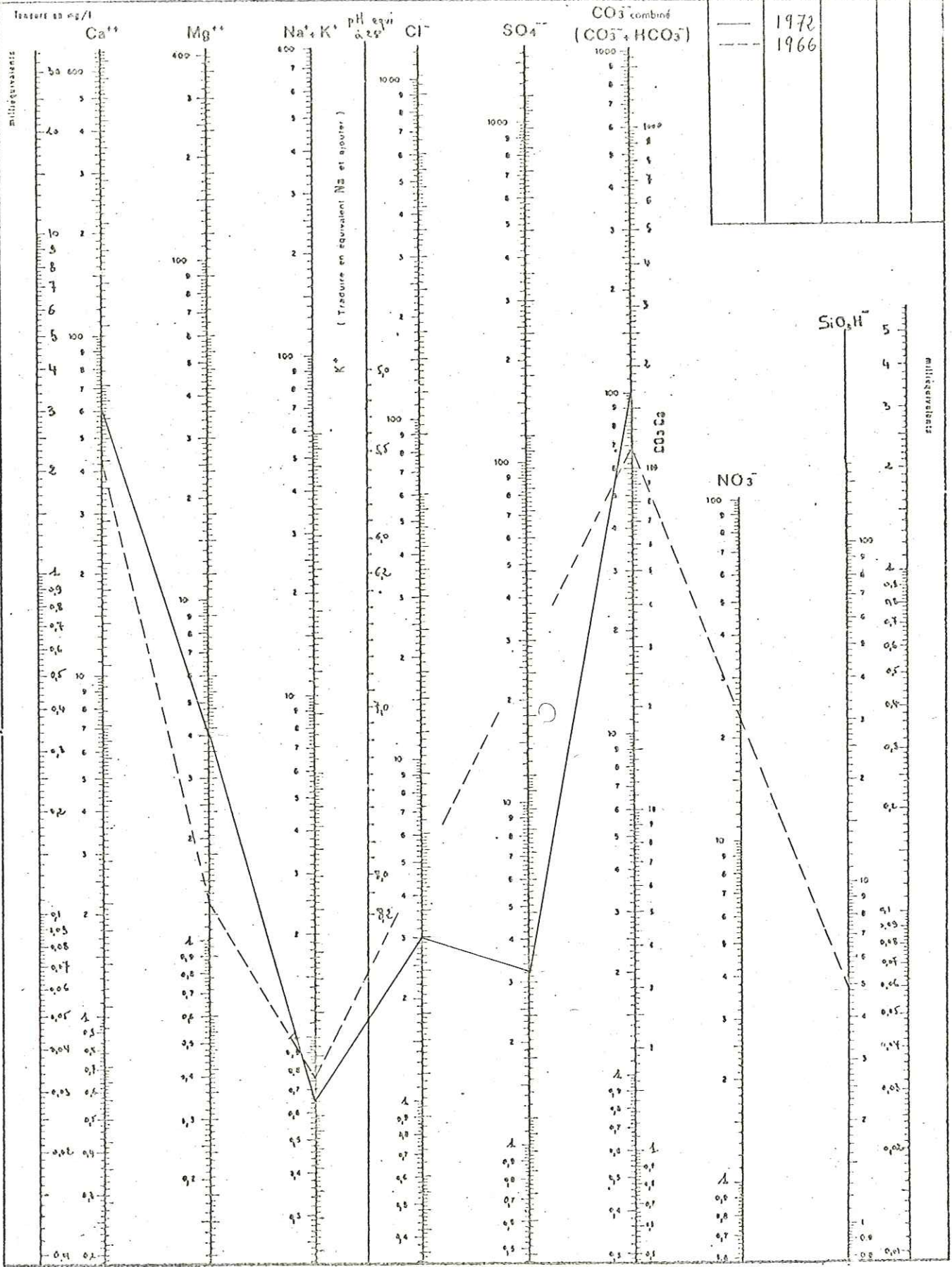




Figure	n°	P ohms/cm	θ	pH
—	1972			
- - -	1966			

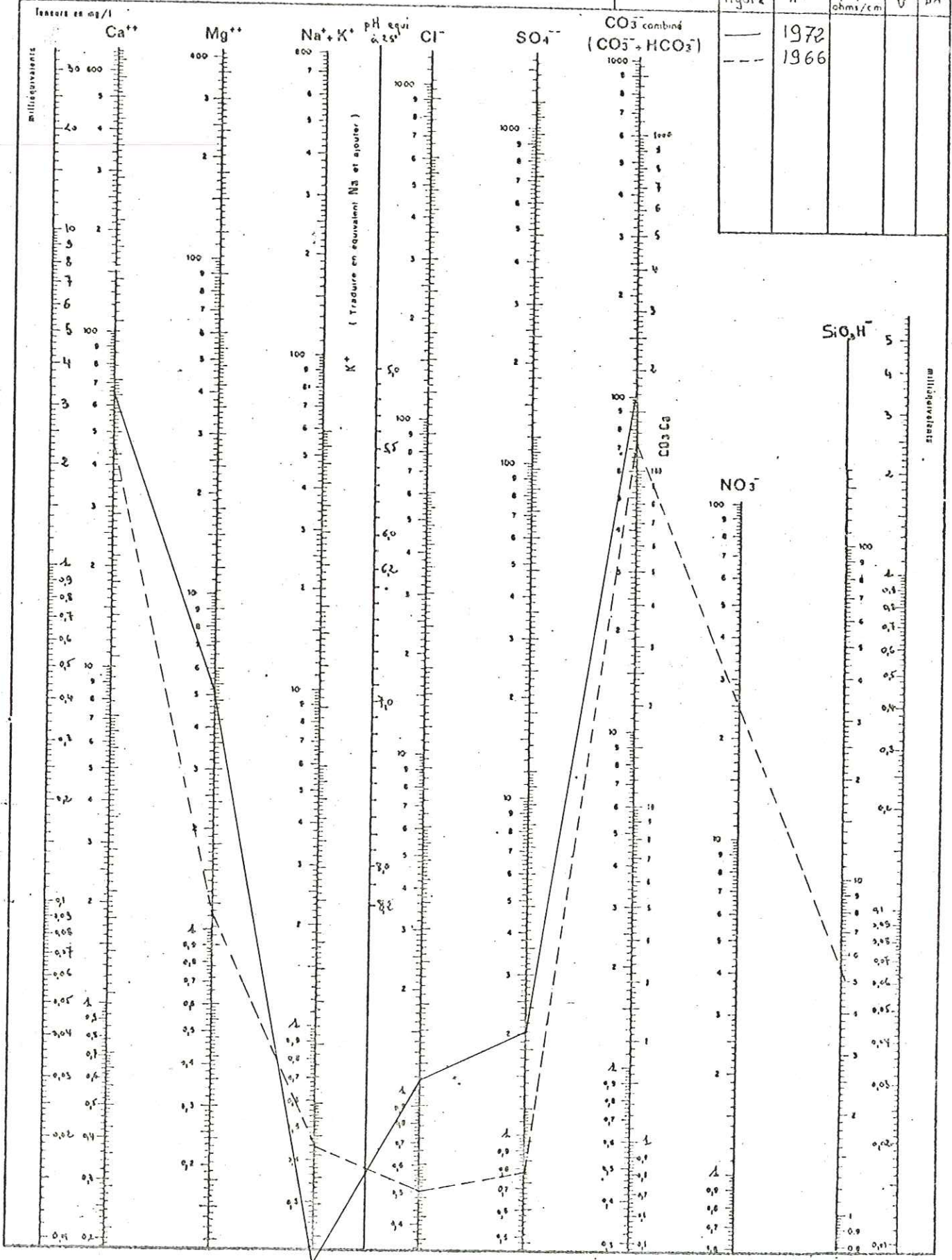


Figure	n°	P obsm/cm	D	pH
---	1966			

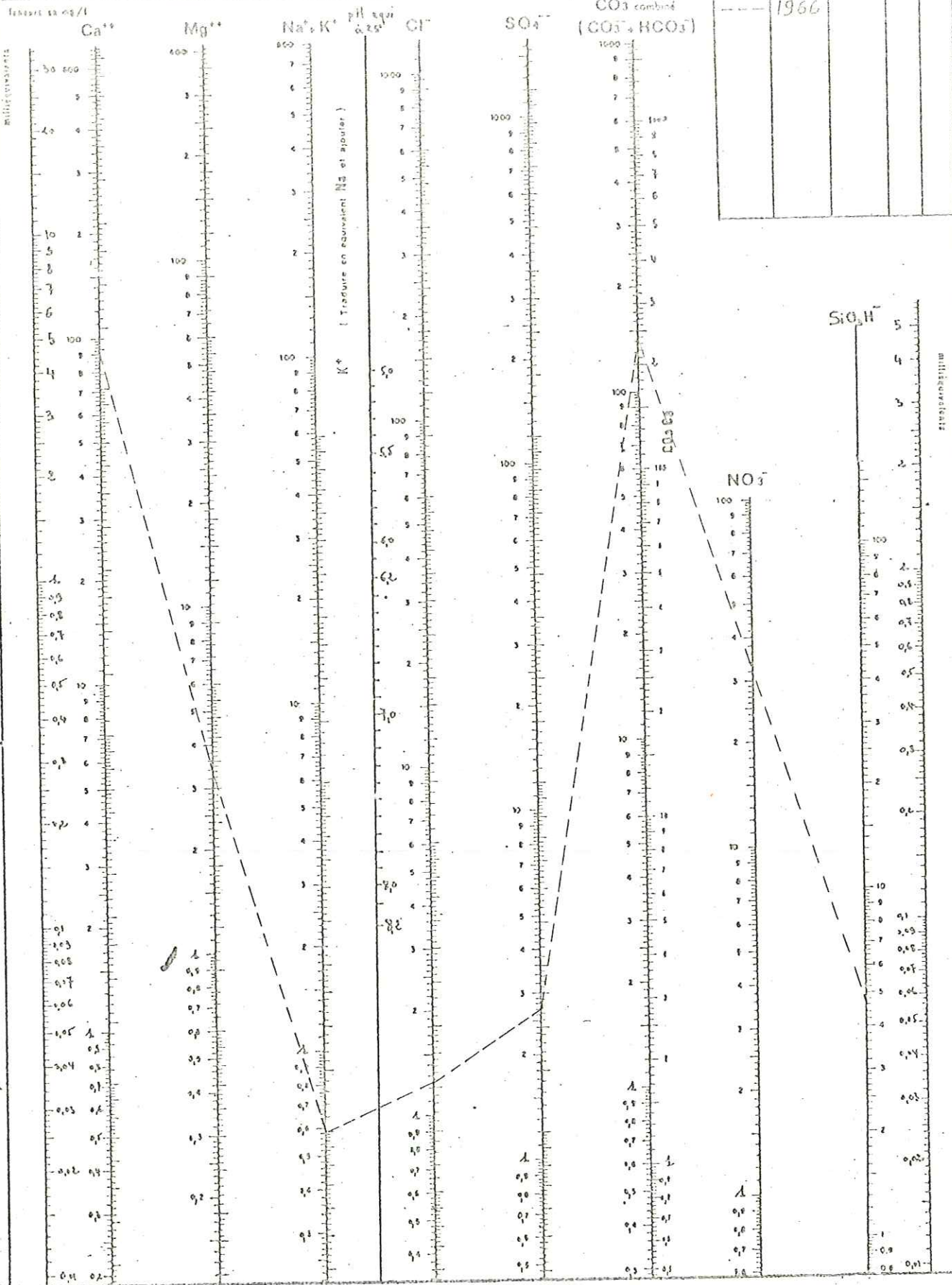
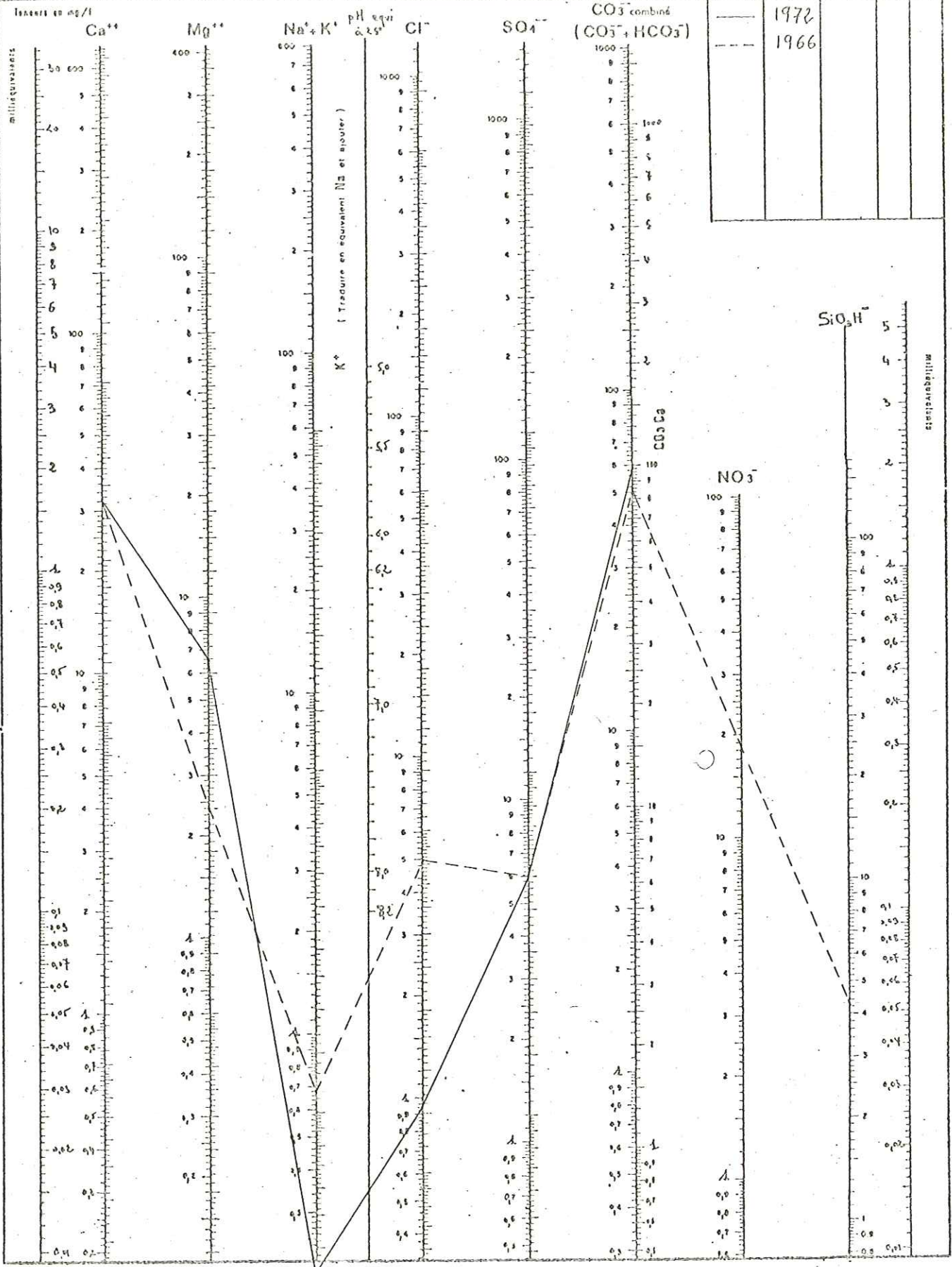


Figure	n°	P ob/mi/cm	θ	pH
—	1972			
- - -	1966			



Figures	n°	P obtus/cm	Ø	pH
—	1972			
- - -	1966			

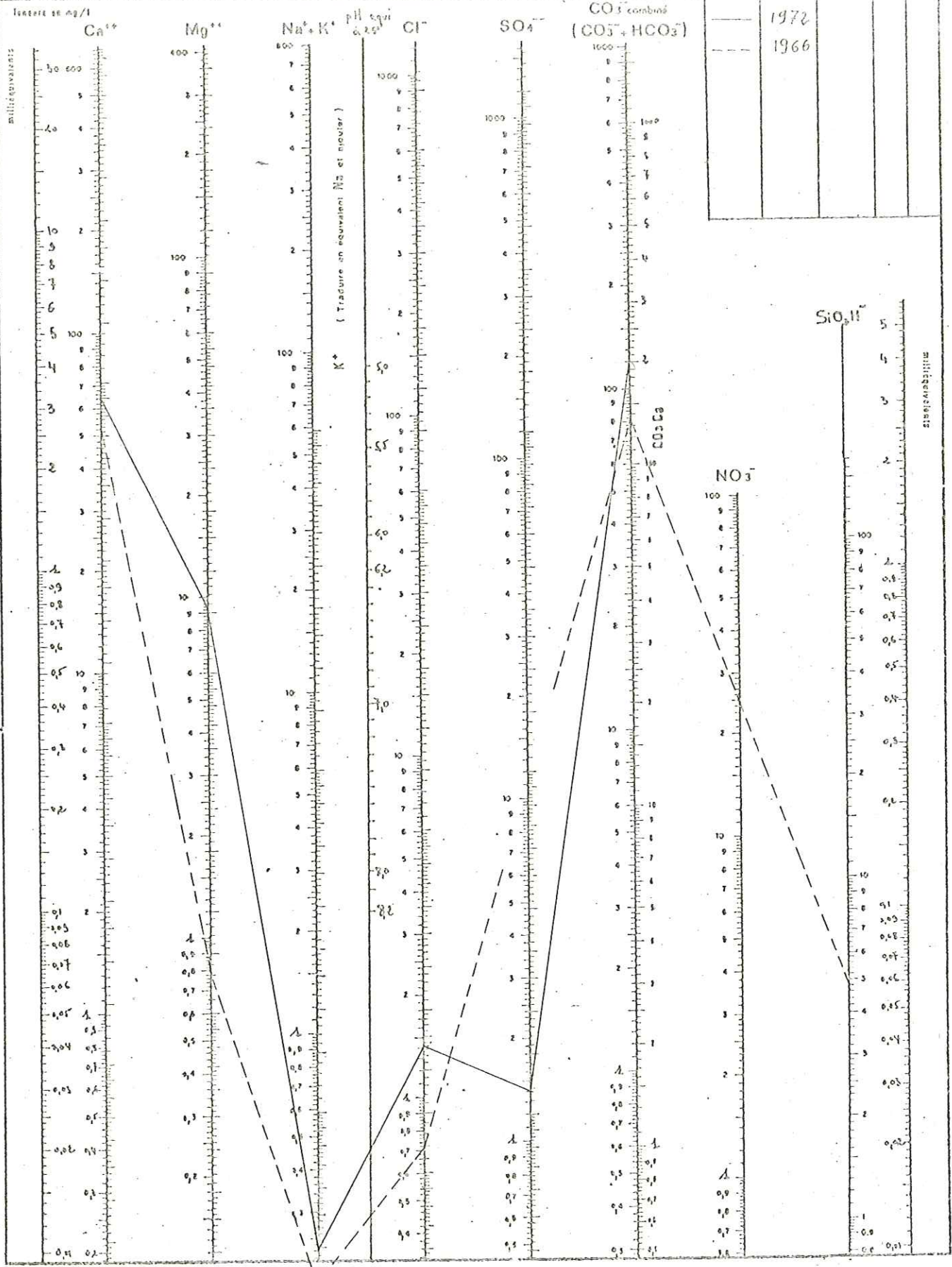


Figure	n°	P obtenus/cm	0	pH
---	1966			

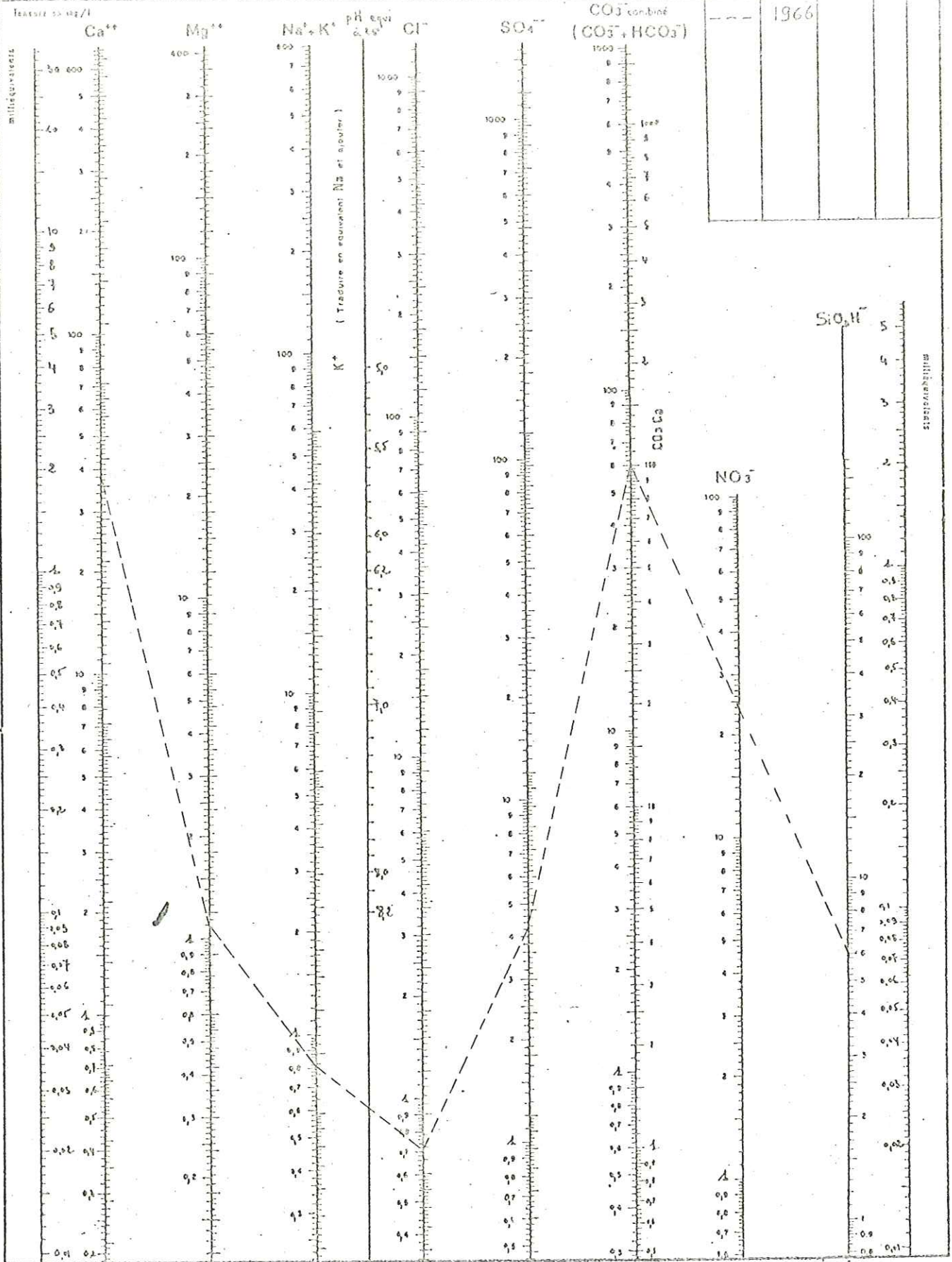


Figure	n°	$\rho$ (ohm/cm)	$\theta$	pH
—	1972			

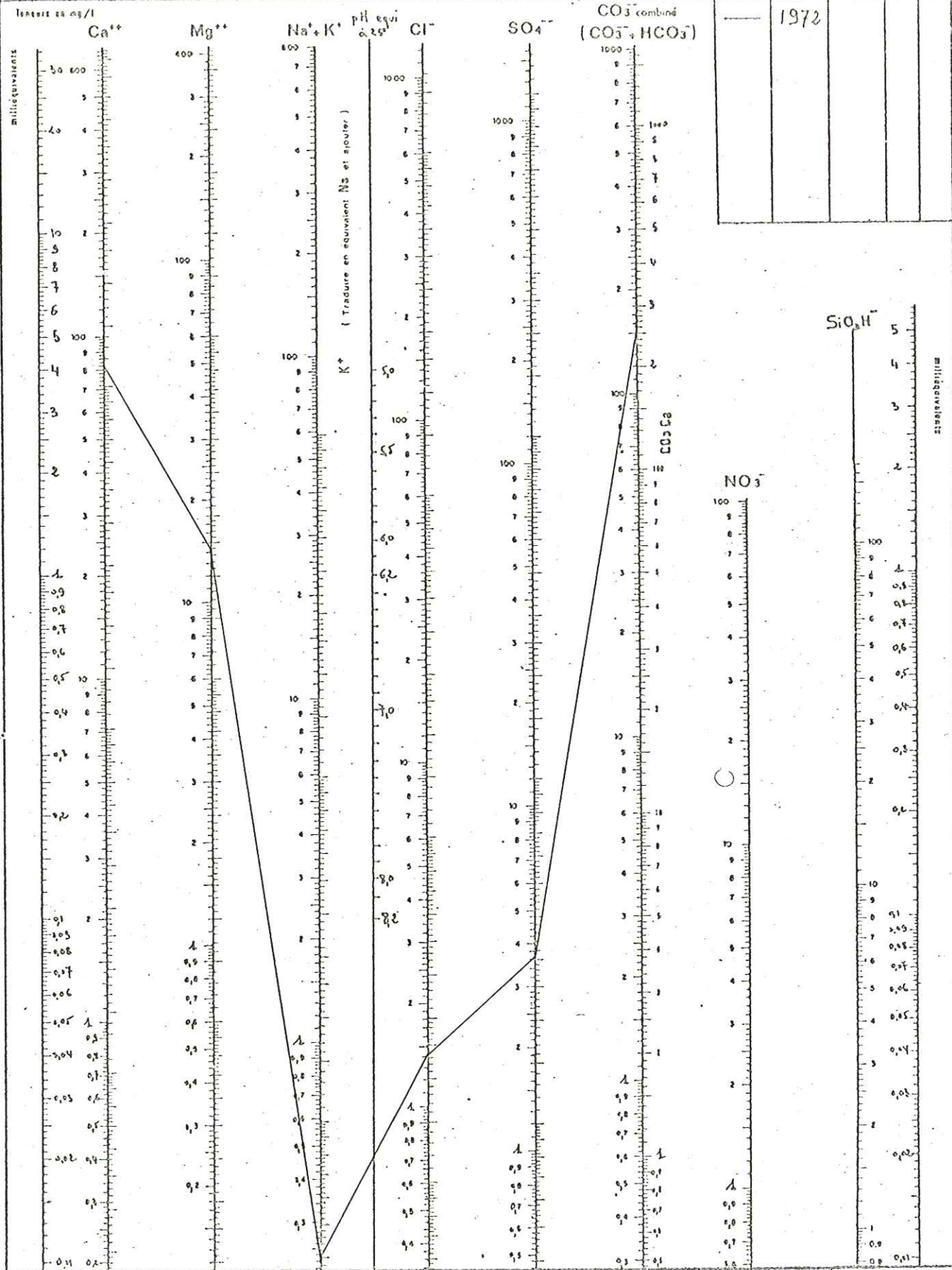
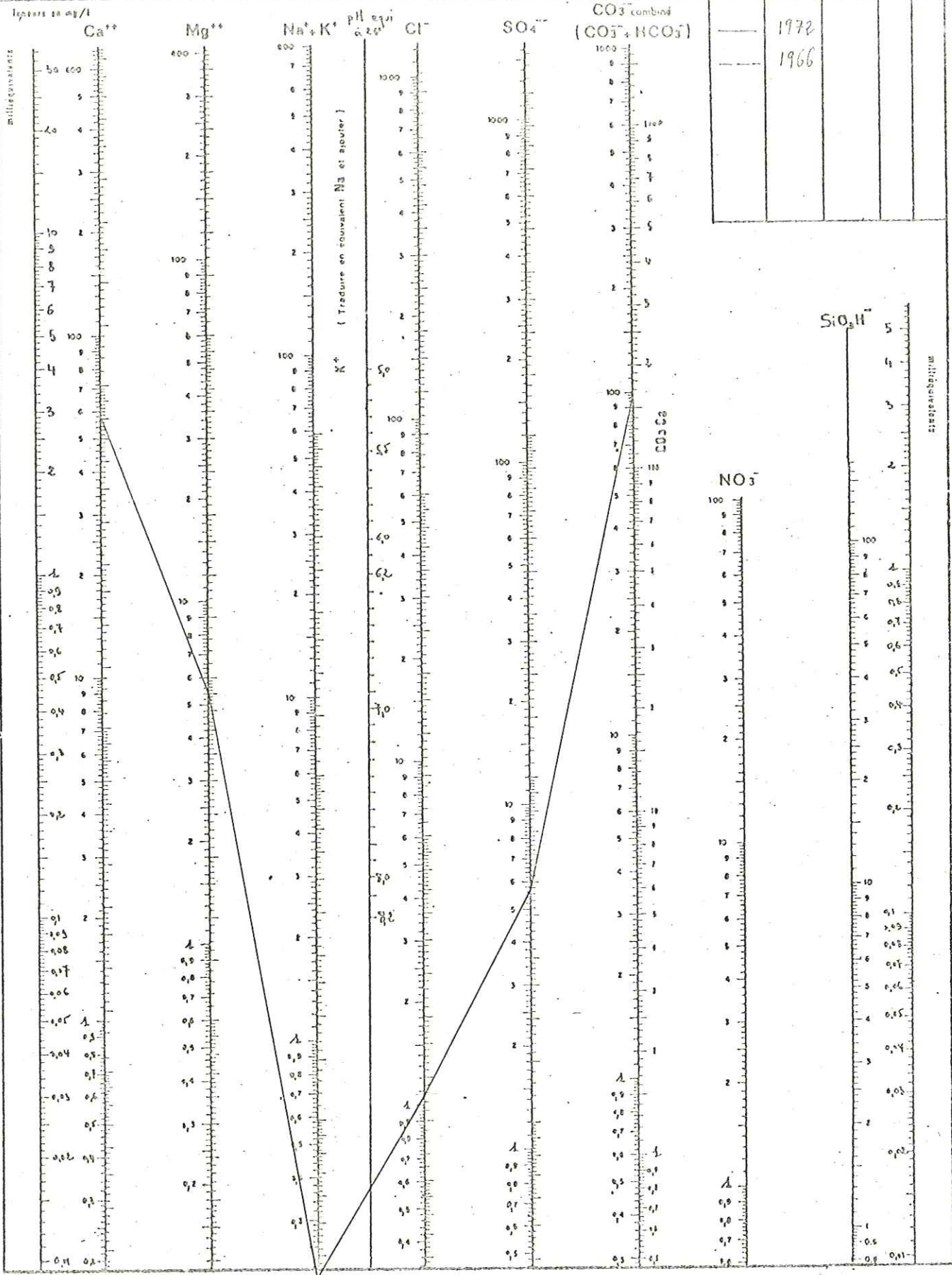


Figura	n°	ohms/cm	θ	pH
—	1972			
---	1966			



Figuré	n°	P ohms/cm	θ	pH
	1972			

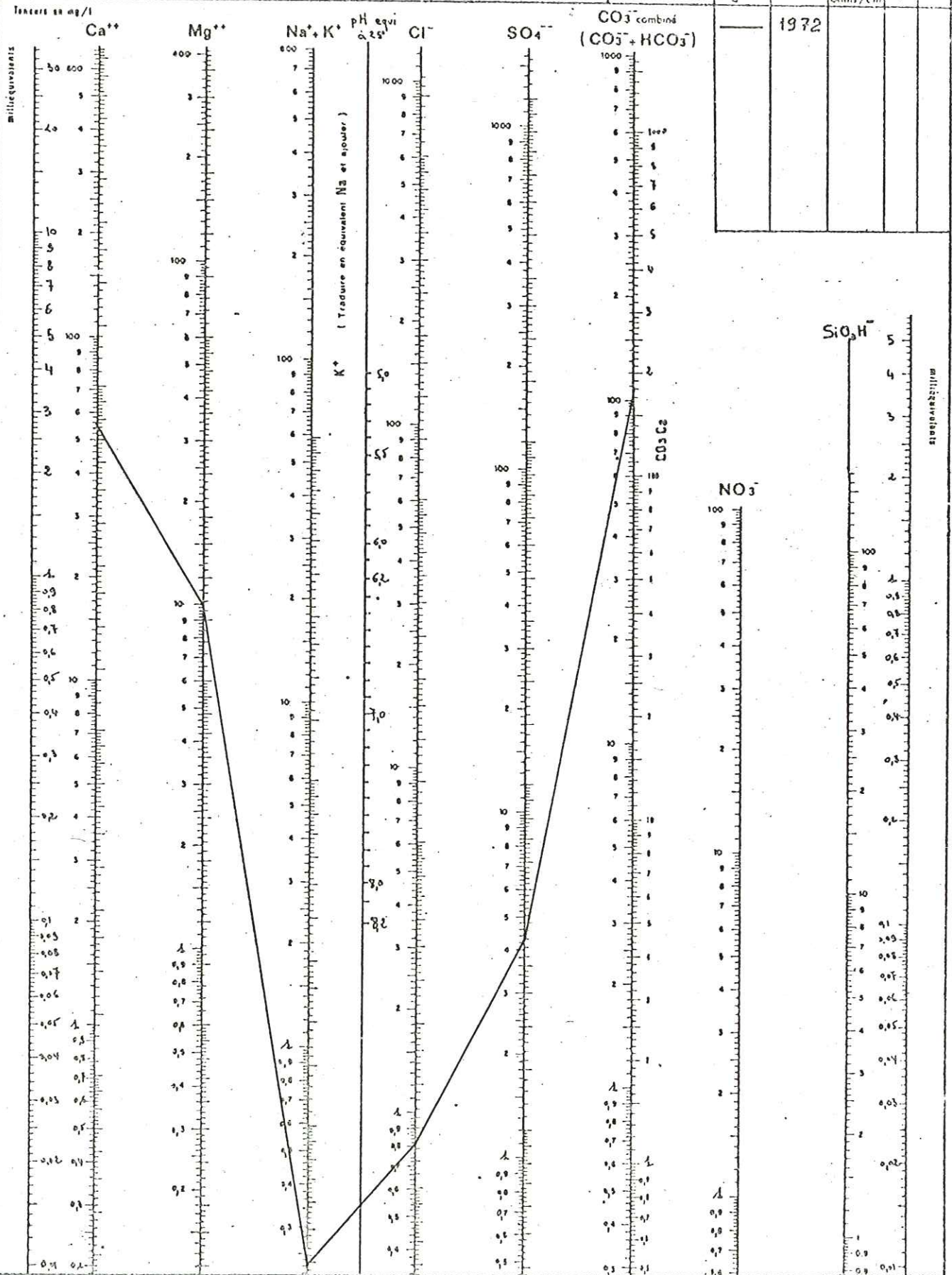




Figure	n°	Année	Ø	pH
	1972			

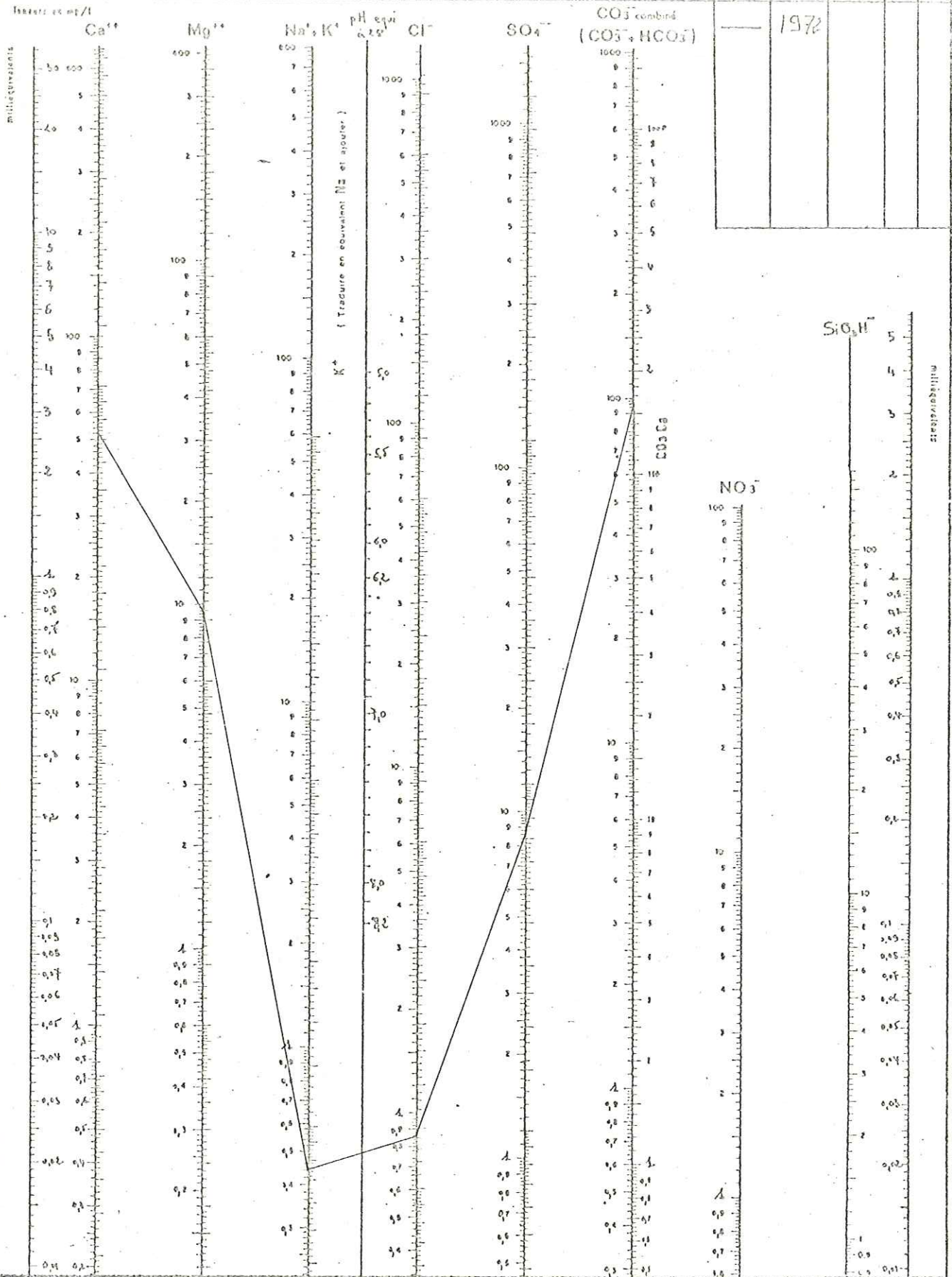


Figure	n°	P ob/m/cm	Ø	pH
	1970			

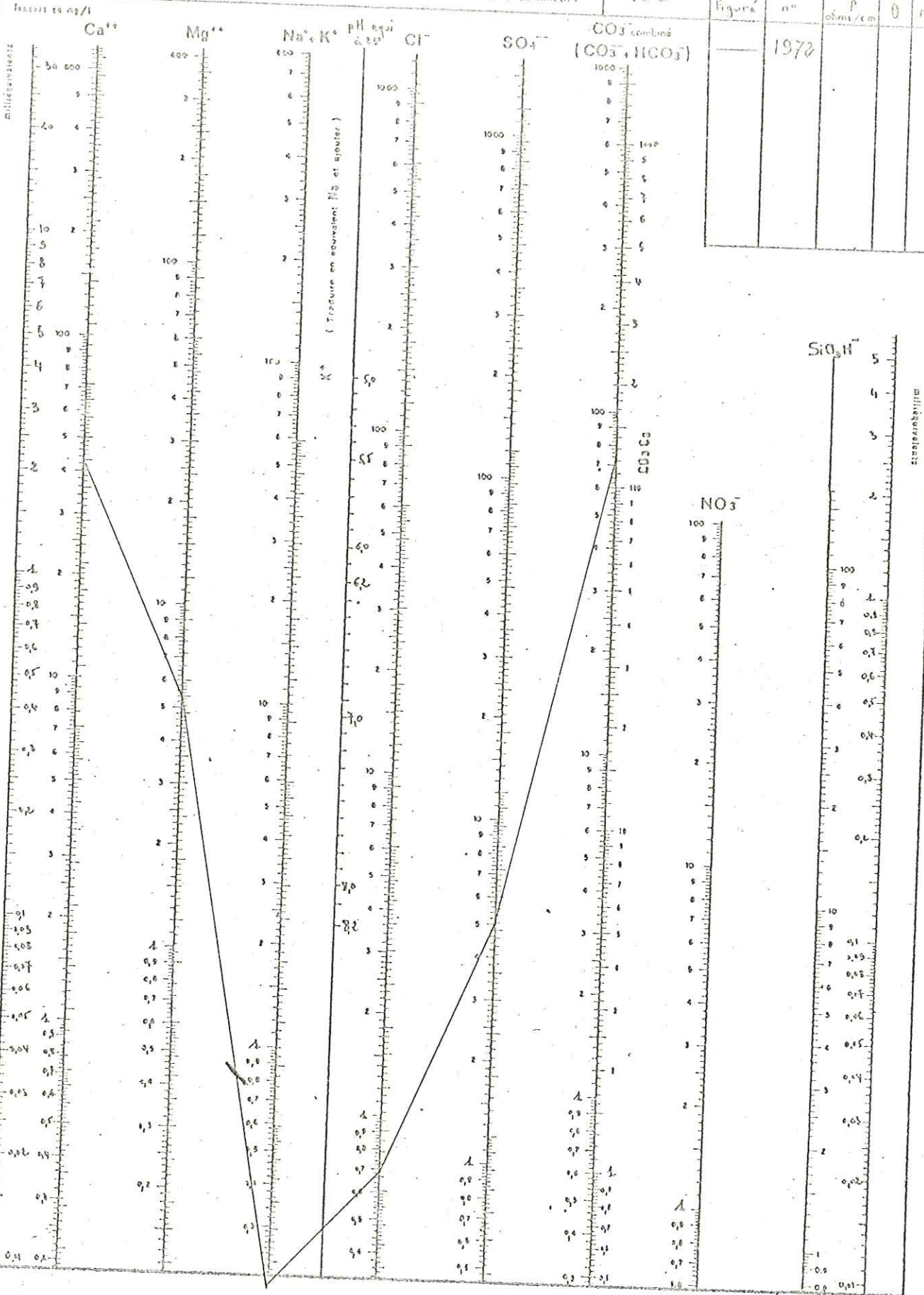
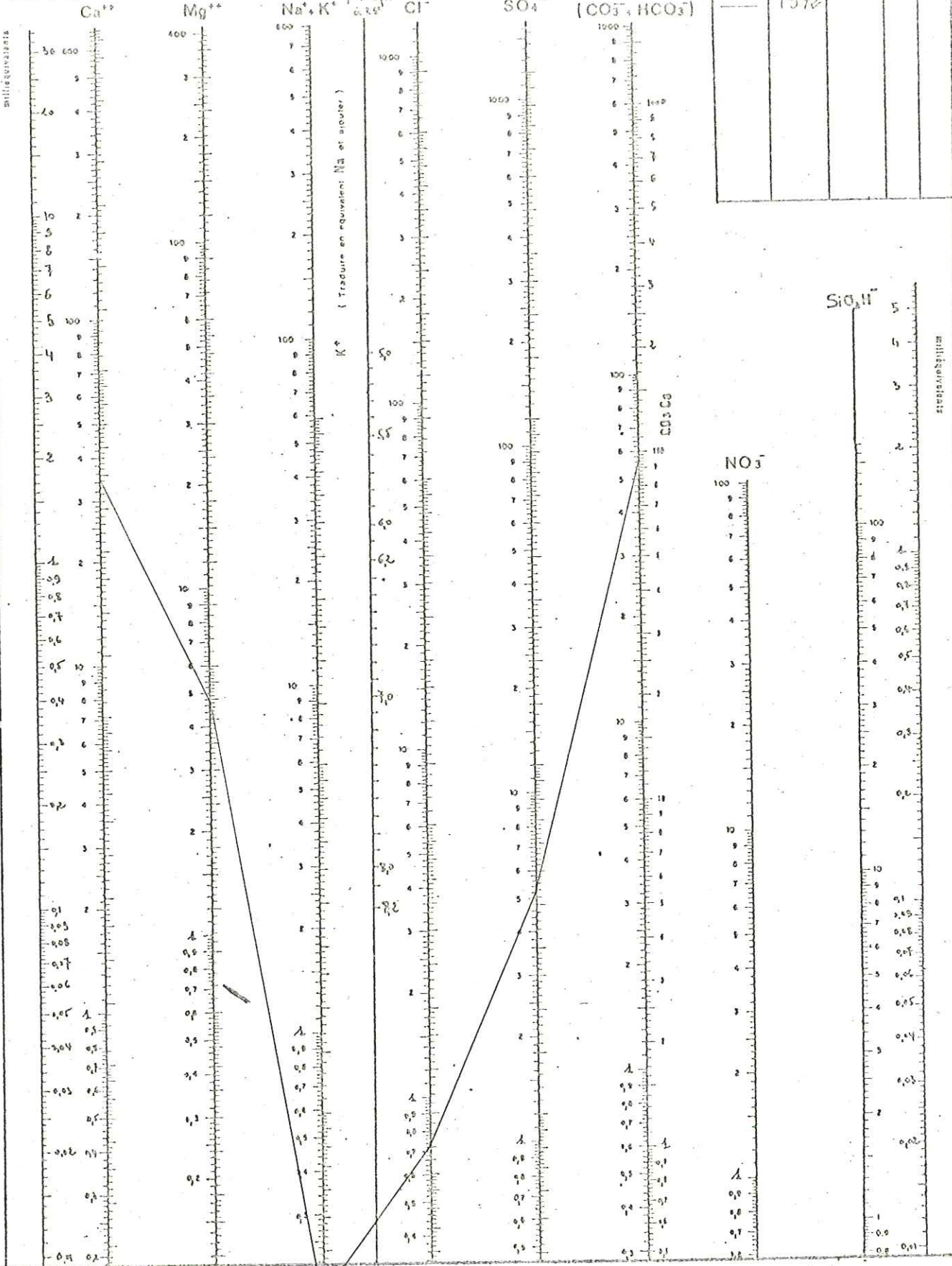


Figure	n°	P ohms/cm	Ø	pt
---	1972			

TRACES EN mg/l



Figuré	n°	P (obus/cm)	θ	pH
—	1972			

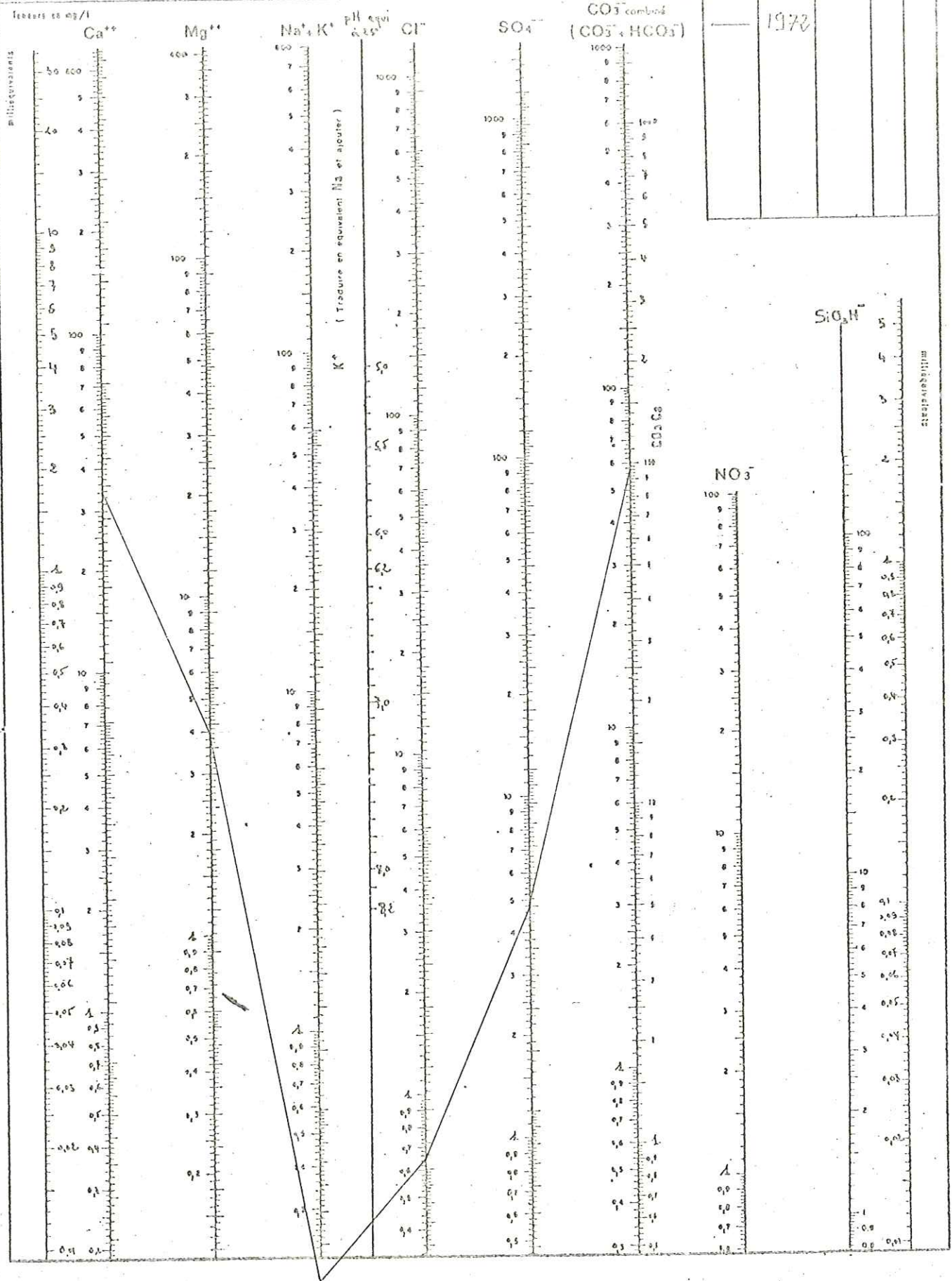
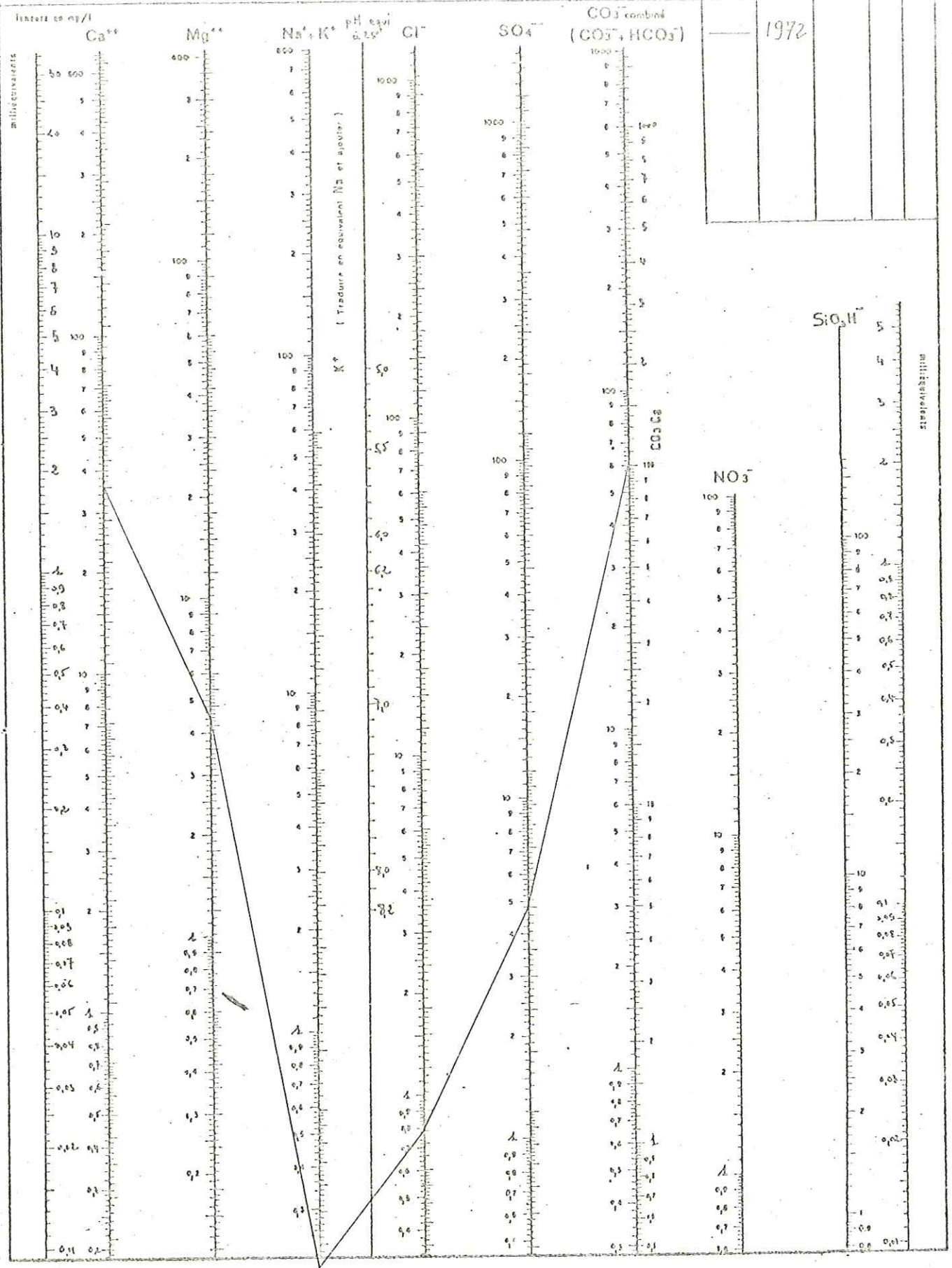
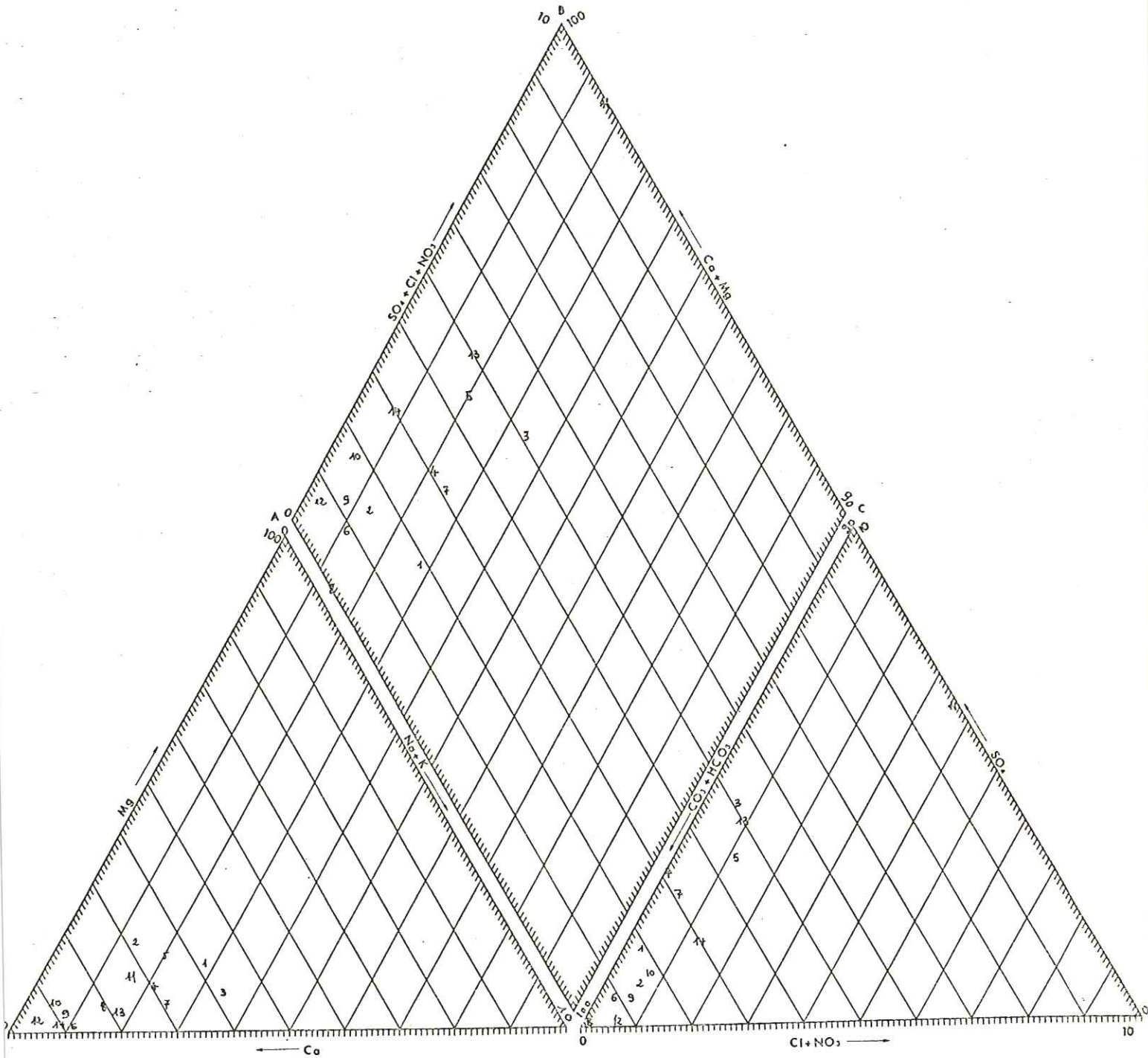




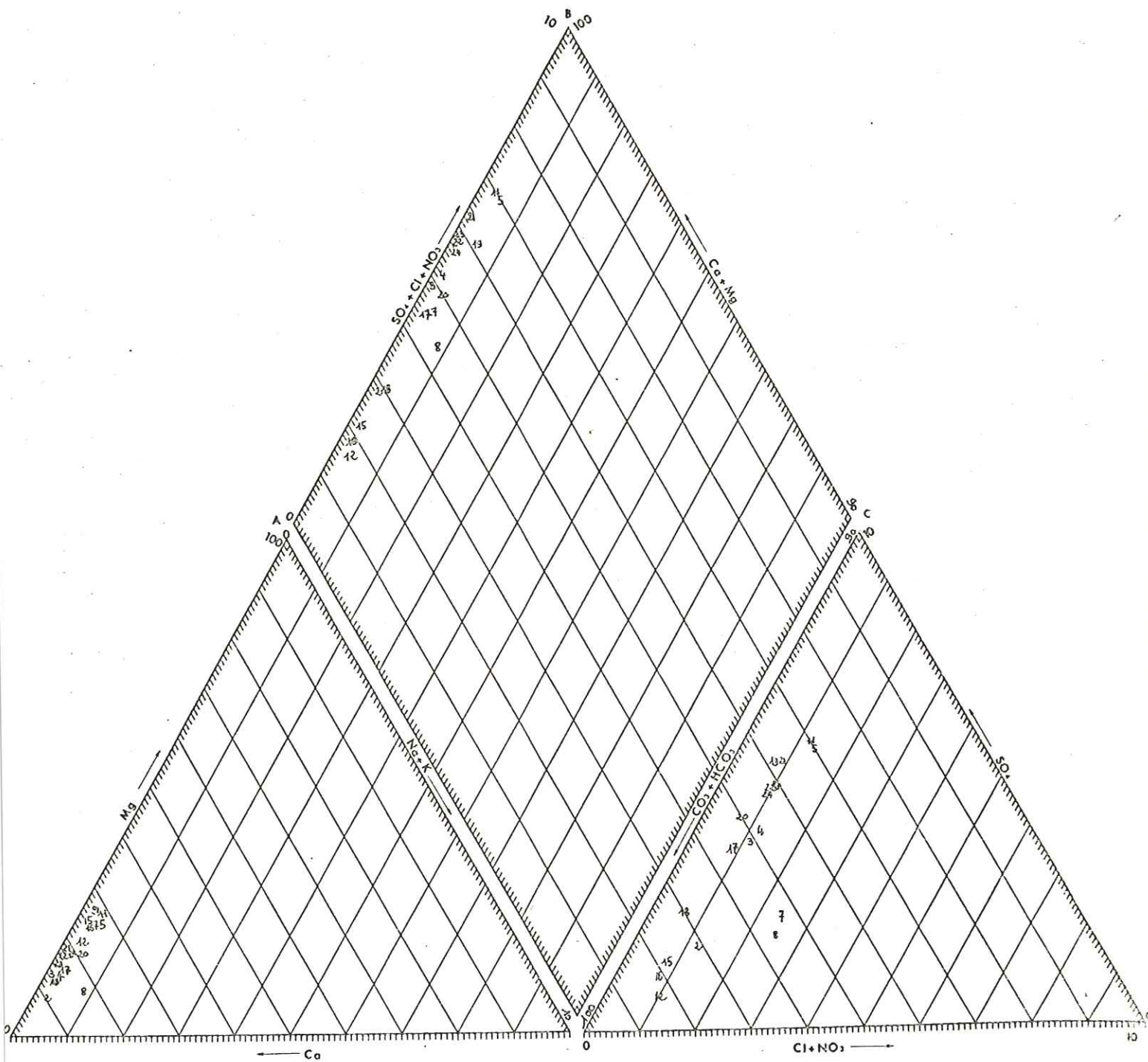
Figure	n°	P obser./cm	Ø	pH
	1972			



ETIAGE d'ETE - AOUT 1966



HAUTES EAUX - AVRIL 1972





## CONCLUSION

En ce qui concerne la géologie du DEVOLUY, cette étude a permis de compléter les connaissances acquises jusqu'à ce jour :

Présence du sénonien inférieur (assise II) dans le site des Gillardes et de certains horizons tertiaires dans la montagne d'Aurouze.

D'autre part, l'étude des structures de la montagne d'Aurouze et de la chaîne du Ferrand-Obiou met en évidence un réseau de fractures intra-sénoniennes N.NW -S.SE qui recoupe Aurouze et le Ferrand-Obiou, fractures plus modestes que celles du réseau NS à N.NE-S.SW mis en relief par les prédécesseurs.

Les observations stratigraphiques, et structurales conduisent à considérer le site des Gillardes comme fortement tectonisé et permettent de dégager des structures diverses délimitées par trois failles.

L'exploration des gouffres s'est avérée déterminante pour la compréhension du système karstique et en particulier a contribué à préciser quelque peu l'extension en profondeur des fractures (celles-ci peuvent s'étager entre 150 m et plus de 400 m) et à dégager leur mode de développement. Les plans de ces fractures s'étagent en profondeur d'W en E, phénomène qui est sans doute à relier avec la poussée alpine EW.

oooooooooooo

Nous nous sommes tout particulièrement attachés à définir le karst des calcaires sénoniens, par des voies différentes, mais complémentaires, géologie régionale et de détail, travaux spéléologiques (explorations de gouffres et d'exurgences fossiles ou semi-permanentes).

Le niveau d'arrêt du karst, en forme de cuvette, est constitué d'horizons s'étageant du kimmeridgien au turonien, mais on peut

penser que les formations du crétacé inférieur jouent dans sa constitution un rôle important. Remarquons que la définition de ce substratum imperméable restera difficile à préciser. La synthèse des facteurs structuraux nous autorise à considérer le Dévoluy comme une vaste cuvette basculée vers le Nord et bombée dans sa partie médiane Sud. Elle est quelque peu disloquée par des réseaux d'accidents (NS et N.NW - S.SE) qui se coupent. Par contre, nous ne pouvons pas déterminer avec précision leur développement en profondeur.

Les conditions de rétention et de circulation offertes à l'eau par la Roche magasin ainsi que les conditions générales et particulières de pénétration de celle-ci par l'eau ont été définies : les éléments tectoniques, structuraux, et morphologiques attribuent un rôle hydrologique primordial aux fractures de tous ordres issues de la tectonique. En comparaison, les joints de stratification jouent un rôle mineur. Puis ces mêmes éléments complétés par les observations souterraines aboutissent à déterminer le sens de la circulation de l'eau dans les fractures. Il est conditionné par deux paramètres : l'axe de l'accident et le pendage des couches.

De même les conditions générales d'infiltration restent subordonnées à la fracturation (chourum d'absorption), le calcaire étant par nature imperméable. De plus, les dépressions fermées, essentiellement les dolines, pièges à neige, constituent un capteur privilégié des précipitations atmosphériques. En relation avec l'évolution tectonique et les conditions climatiques, nous datons de la fin du tertiaire le début de l'évolution du karst, avec comme période paroxysmale d'activité les phases glaciaires.

L'ensemble des observations d'ordre lithologique, structurale, hydrologique et spéléologique, ainsi que topographique, acquises nous permet de mettre en évidence l'existence dans les calcaires sénoniens d'une nappe de chenaux et de fissures qu'il est possible de diviser

en deux parties : l'une, zone piégée, sous le niveau des GILLARDES, l'autre, libre et dynamique, au-dessus, dont le PUIITS DES BANS est un piezomètre naturel.

Ces mêmes éléments conduisent à des hypothèses sur les circulations préférentielles : il est fort probable que les accidents de direction N.S drainent les eaux cheminant dans ceux N.NW - S.SE.

Grâce aux recherches réalisées au Puits des Bans, le niveau de la nappe est atteint. Les premières observations sur son mécanisme de mise en charge sont effectuées : grande sensibilité à la pluviométrie, vidange rapide en l'absence d'alimentation, niveau relativement stable et élevé en période de fusion de la neige. D'autre part, l'étude du site des Gillardes explique l'exurgence du karst grâce à un barrage des eaux dû à des horizons essentiellement marneux du valanginien, ceci à la faveur d'une faille.

oooooooooooo

L'hydrodynamique n'a pas fourni tous les renseignements que l'on pouvait espérer. Les résultats obtenus tant sur le plan de la mesure des précipitations dans le temps et avec l'altitude ainsi que les mesures du débit de la Souloise avant les Gillardes sont pour le moment difficilement exploitables. Malgré tout, l'étude de rares hydrogrammes non influencés ont permis de dégager deux types de circulation karstique :

- l'une de chenaux ( $\alpha : 0,3.10^{-1}$ ) qui correspond à ce que l'on peut observer à partir des cavités,
- l'autre de fissures ( $\alpha : 0,1.10^{-2}$ ), plus difficile à observer sur le terrain et qui est peut-être plus spécifique de l'assise II des calcaires sénoniens.

oooooooooooo

L'ensemble des résultats acquis au cours de cette première étude sur le karst des calcaires sénoniens du DEVOLUY permet donc de le définir dans ses grandes lignes.

En vue de mieux le connaître, il serait souhaitable de pousser les explorations souterraines, afin de localiser plus précisément la nappe, de poursuivre et de compléter les mesures des facteurs météorologiques qui conditionnent pour une grande part l'hydrodynamique du karst. Certes des moyens plus efficaces sont à la disposition de l'hydrogéologue, lui permettant une meilleure investigation dans le domaine de ces recherches dont nous n'avons pu bénéficier pour cette étude de base.

oooooooooooooooooooo

ANNEXE I  
APPAREILS DE MESURE

Nous avons élaboré et réalisé ces appareils, faute d'en avoir eu à notre disposition. Si non, et de toute évidence, nous ne nous serions pas lancé dans cette entreprise démesurée, compte-tenu de notre compétence en la matière et des moyens dont nous disposions.

En fait, dans le domaine de la métrologie, nous ne présentons pas un travail original. Nous nous sommes contenté d'utiliser des principes connus, avec lesquels nous avons tenté de réaliser un appareillage pratique dans le cas d'un hydrogéologue isolé et devant travailler seul, sans aucune assistance technique d'où qu'elle vienne.

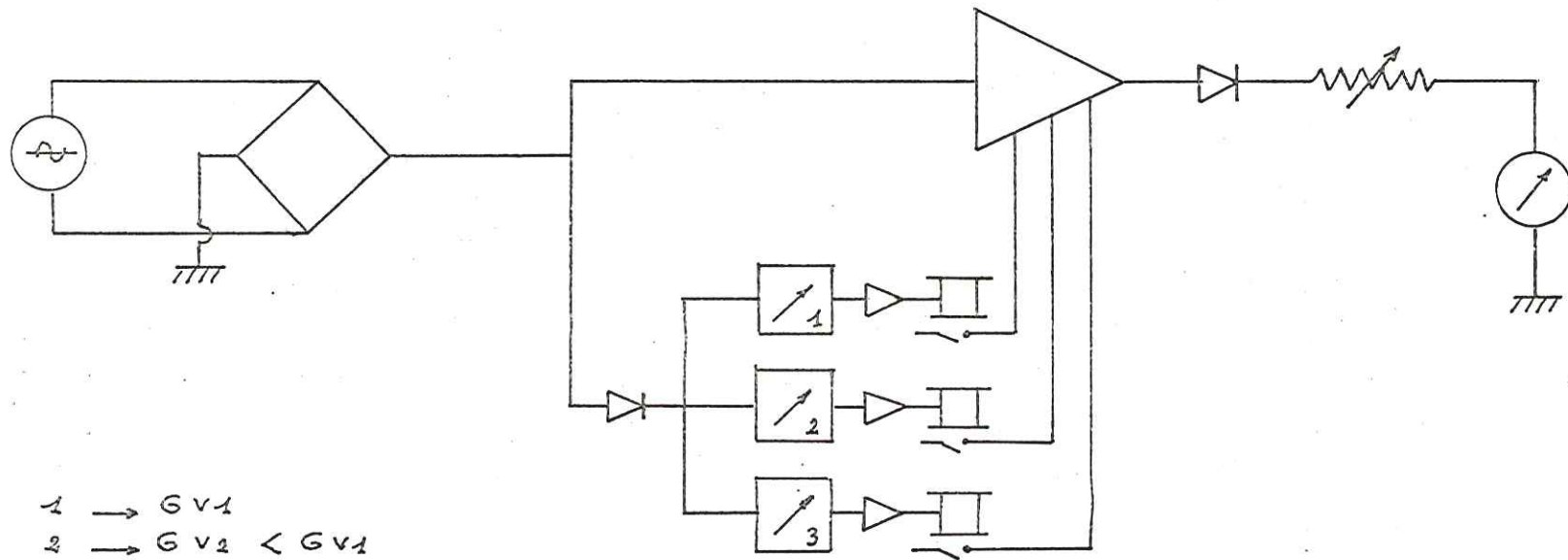
## PLUVIOMETRE

### PRINCIPE


La pluie est recueillie par un capteur dont la couronne pluviométrique a une surface de 400 cm<sup>2</sup>. Elle s'écoule par la base du cône supportant la couronne, puis, par l'intermédiaire d'un tuyau plastique, se déverse dans un petit bac métallique partagé en deux augets, en équilibre autour d'un axe horizontal. Pour chaque auget, deux positions possibles, haute ou basse. L'auget en position haute, se remplit d'eau et pour une certaine quantité, il bascule autour de l'axe ce qui a pour effet de placer l'autre sous l'arrivée d'eau et de vider le premier.

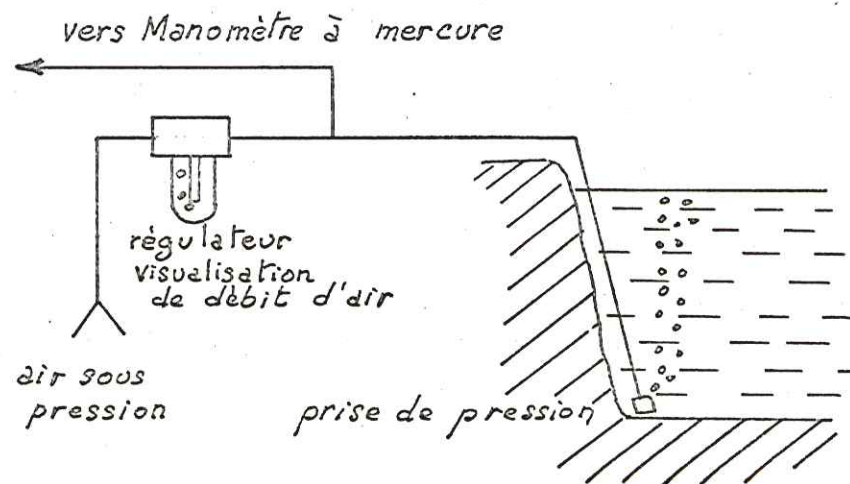
Le basculement de l'auget correspond à 10 cm<sup>3</sup> d'eau recueillie, soit 0,25 mm, pour une couronne pluviométrique de 400 cm<sup>2</sup>. Le nombre de basculements d'augets dépend de la quantité d'eau tombée.

# SCHEMA DE PRINCIPE DU LIMNIGRAPHE



- 1 →  $G V_1$
- 2 →  $G V_2 < G V_1$
- 3 →  $G V_3 < G V_2$

 *Elements bistables à seuils décalés*





On détermine le nombre de basculements à l'aide d'un dispositif électrique.

Ce dispositif de mesure de la pluviométrie par auget basculeur est bien connu. Nous avons seulement étudié le dispositif de comptage pour que l'information soit envoyée sur un compteur d'impulsion ou un enregistreur.

### REALISATION

L'ensemble complet du pluviomètre comprend deux parties : un système de mesure et un seau pluviométrique montés sur tube et fixés sur un tube unique. Il offre de ce fait la possibilité d'un transport aisé et d'une mise en station rapide.

Précision : Celle-ci est évidemment fonction, en premier lieu de l'intensité pluviométrique et de la vitesse de basculement de l'auget. Elle passe de 0 % à 6 % pour une intensité pluviométrique de 300 mm/h, ce qui indique pratiquement cette cause d'erreur reste la plupart du temps assez faible et peu prépondérante ( 1 % à 2 % pour une intensité de 70 mm/H ce qui correspond à une très forte averse )

### LIMNIGRAPHIE

#### PRINCIPE

La mesure de la hauteur d'eau est déterminée par la lecture de la hauteur de mercure équivalente à l'aide d'un manomètre.

Ce principe est réalisé dans le Télémnip de la Société Neyrpic-Alsthom. Le tube, relié à un manomètre à mercure, est plongé dans l'eau à la profondeur désirée. Dans ce circuit, on fait passer un léger courant d'air qui s'échappe par le tube plongeant sous le

niveau du plan d'eau dont on désire mesurer la variation. Dans le Télémnip, les variations de niveau du mercure sont suivies par un flotteur qui constitue le capteur du mécanisme d'inscription.

### REALISATION

Nous avons conservé intégralement le capteur mano-pneumatique Neyrpic et ce n'est que sur la partie comprise entre le manomètre à mercure et l'enregistreur que nous avons réalisé une autre chaîne de transmission, électrique celle-ci, permettant une plus grande souplesse dans le traitement de l'information.

Le détecteur de la variation du niveau du mercure contenu dans le manomètre est une résistance électrique qui est plus ou moins shuntée suivant la hauteur du mercure. Cette résistance est incorporée à un pont de Weston qui de ce fait sera plus ou moins déséquilibré. (On reste dans le domaine linéaire) La variation de potentiel délivrée par le pont est amplifiée avant d'être fournie à un enregistreur.

La hauteur d'eau que nous avons contrôlée pouvant fluctuer sur plus de 3 m, et la longueur de la bande enregistreuse étant de 100 mm, 1 mm sur la bande représente 30 mm, fait qui enlève toute précision dans les bas niveaux. Pour remédier à cela, on utilise plusieurs fois (3 fois) la bande des 100 mm et pour cela, une commutation a été introduite qui commande des gains différents pour l'amplificateur.

#### a) Sensibilité

-----  
L'enregistreur est sensible en :

- 1ère échelle à la variation d'environ 1 mm du plan d'eau
- 2ème échelle                   "                   "                   5 mm                   "                   "

- 3ème échelle à la variation d'environ 30 mm du plan d'eau.

#### b) Précision

Pour une précision donnée de la chaîne de mesure, elle est fonction des diverses échelles et pour une même échelle, elle est croissante du minimum au maximum.

Nous n'aborderons pas la précision donnée par l'ensemble de l'appareillage (à peu près 2 à 3 %), celui-ci ne devant pas resté sous sa forme actuelle. De toute façon, l'erreur due à celui-ci, dans la détermination du débit, est négligeable devant celle inévitable à la courbe de tarage.

#### c) Fidélité

La loi de variation est linéaire, mais notons que le système manométrique donne un phénomène d'"hystérésis" : la courbe de descente est très légèrement décalée par rapport à celle de montée. Toutefois, il est possible de les confondre.

#### CRITIQUES

Le capteur "manomètre - pont de Weston" ne donne pas toute satisfaction ; tout d'abord, parce qu'il est délicat de manipuler sur le terrain un manomètre à mercure. D'autre part, le mercure pose de nombreux problèmes : il s'accroche aux parois du tube ; s'il n'est pas parfaitement propre, il dépose sur la résistance qu'il baigne une pellicule plus ou moins isolante ce qui évidemment n'est pas souhaitable. Nous pensons dans l'avenir remplacer ce système par un capteur à variation d'induction mutuelle.

## CONCLUSION

---

Nous n'avons pas pu traduire ici dans le détail les avantages et inconvénients de ce matériel, dont l'élaboration n'entre pas dans le sujet de ce mémoire. Nous pouvons toutefois préciser que le type de pluviomètre réalisé nous a donné entière satisfaction et que d'autres du même type ont été construits pour une étude hydro-géologique dans le bassin parisien.

Le limnigraphe, plus difficile à mettre au point, fonctionne correctement actuellement, mais nous modifierons cependant le capteur, afin de rendre l'appareil d'un emploi plus commode, ce qui était l'un des buts de notre entreprise.

oooooooooooooooo

ANNEXE .

BIBLIOGRAPHIE

## B I B L I O G R A P H I E

=====

### A) GEOLOGIE

- AFCHAIN Cl. Etudes géologiques dans la région de Saint-Etienne en Dévoluy  
D.E.S. Paris 1961
- d'ALBISSIN M.  
Etude structurale d'un microrli du synclinal de Saint-Disdier en Dévoluy (H.A.)  
B.S.G.F. 7es., T.I 1959
- BEGHOUL M. Contribution à l'étude géologique de la région de Vevnes (H.A.)  
E.M.S.P.M. Thèse d'ingénieur 1962-63
- DECLERCK G. Etudes géologiques dans le cirque de Tréminis massif du Dévoluy  
D.F.S. Paris 1962
- DELTEIL J. Etude géologique dans la région de Rabou et La Roche des Arnauds (massif du Dévoluy)  
D.E.S. Paris 1962
- DESFOUGERES  
Contribution à l'étude géologique de la région d'Agnielles en Beauchaine, Berthauds, et Chateau Vieux  
E.N.S.P.M. Thèse d'ingénieur 1963
- DUBOIS Ch. et FONTES J.C.  
Le crétacé supérieur du Dévoluy. Ses relations avec les régions voisines  
B.S.G.F. 1963
- DUBOIS R. La montagne de Féraud  
D.E.S. Paris 1961
- FONTES J.C. Etudes géologiques de la région de La Cluse en Dévoluy . D.E.S. Paris 1961
- GIGNOUX M. Géologie stratigraphique  
4ème ed. Masson et Cie 1950
- GIGNOUX M., MORET L.,  
et LORY P. Révision de la feuille de Gap au 1/80 000e ext. B.S.C.G.F. 1932

- GIGNOUX M. et  
MORET C. Géologie dauphinoise  
Arthaud 1944
- GIGNOUX M. et  
MORET L. Nomenclature stratigraphique du crétacé  
inférieur dans le Sud-est de la France  
T.L.G. 1958
- GLANGEAUD L. et  
d'ALBISSIN M. Les phases tectoniques du Nord-Est du  
Dévoluy et leur influence structurologique  
B.S.G.F. 1958
- GOGUEL J.  
Contribution à l'étude paléogéographique  
du Crétacé inférieur dans le Sud-est de  
la France  
B.S.G.F. 1944
- Traité de tectonique  
Masson 1952  
et Cie Paris
- GUEYMARD M.E.  
Carte géologique des Hautes Alpes 1830  
Sur la minéralogie et la géologie des  
Hautes Alpes 1830
- KILIAN W., LORY P.  
et PAQUIER V. Etudes géologiques des Alpes Françaises  
T.L.G. 1899-1900
- KILIAN W. et LORY P.  
Notice géologique sur divers points des  
Alpes françaises. Complément au livret  
guide des excursions du 8e congrès géolo-  
gique international  
B.S.S.I. 1900
- KILIAN W.  
Sur la structure des chaînes subalpines  
dauphinoises  
C.R.A.S. 21 janvier 1924
- LABESSE B.  
Etudes géologiques dans le vallon de la  
Jargeatte, la chaîne du Ferrand et les  
Aiguilles de Lus  
D.E.S. Paris 1958

LORY C.

Les terrains du DEVOLUY (Htes-Alpes)  
B.S.G.F. 1852

Esquisse d'une carte géologique du Dauphiné  
B.S.G.F. 1857

Sur le Crétacé du Dauphiné  
B.S.G.F. 1857

Description géologique du Dauphiné  
Thèse Paris 1860

Les terrains du Dévoluy (Htes Alpes)  
B.S.G.F. 1852

LORY P. et LAPPARENT A. de  
Remarques sur le nummulitique du Dévoluy et  
du Champsaur  
B.S.G.F. 1937

LORY P.

Note sur le massif du Dévoluy (Htes Alpes)  
B.S.G.F. 1890-1891

Coup d'oeil sur la structure géologique du  
Dévoluy. B.S.S.I. 1890-1892

Sur les hoplites valançiniennes du groupe  
des hoplites néécomiensis  
B.S.S.I. 1890-1892

Le massif du Dévoluy  
B.S.S.I. 1890-1892

Etude du Dévoluy des environs d'Allevard et  
du Val d'Isère  
B.S.C.G.F. 1894-1895

Sur les plis anciens du Dévoluy et des régions  
voisines à l'époque crétacée  
T.L.G. 1896

Sur les couches à nummulites du Dévoluy  
et des régions voisines  
B.S.G.F. 1896

Feuilles de Die, Gap, Vizille  
C.R. Coll. B.C.G.F. 1896-1897

Feuilles de Die, Gap, Briançon, Vizille et  
Grenoble  
C.R. Coll. B.C.G.F. 1897-1898



- Sur le Crétacé inférieur du Dévoluy et  
des régions voisines  
B.S.G.F. 1898
- Tectonique de la région Dévoluy-Beauchaine  
Ceûze - B.S.G.F. 1898
- Révision des feuilles de Gap, Briançon,  
Vizille et Die  
B.S.C.G.F. 1898-99
- Notice de la carte géologique de Die au  
1/80 000e 1899
- Les mouvements du sol et de la sédimentation  
en Dévoluy durant le crétacé supérieur  
B.C.G.F.  
B.S.G.F. 1900
- Tableau des assises constituant le crétacé  
entre Grenoble et Gap  
T.L.G. 1900
- Contribution à l'étude micrographique du  
Crétacé supérieur dans le Dévoluy et les  
régions voisines  
T.L.G. 1901
- Compte-rendu de l'excursion dans le massif  
de la Mure et le Dévoluy  
8e congrès géol. international, Paris 1901
- Révision des feuilles de Grenoble, Vizille  
et Die, B.C.G.F. 1904-1905
- Recherches sur le Jurassique moyen entre  
Grenoble et Gap 1905
- Révision de la feuille de Vizille au  
1/80 000e B.C.G.F. 1910-1911
- Excursion dans le Beauchaine et le Dévoluy  
B.S.G.F. 1938
- Révision des feuilles de Die et Vizille  
au 1/80 000e  
C.R. Coll. B.C.G.F. 1944-1945
- Etudes géologiques dans la région Veynes  
Montmaur, sud-ouest du Dévoluy  
D.E.S. Paris 1962

MAHE J.

- MERCIER J.                    Le créta   de Lus-La Croix Haute                    1957  
                                   D.E.S. Paris
- Sur l'âge de la phase tectonique anté-sénonienne à l'ouest du massif du Dévoluy, les synclinaux de Lus La Croix-Haute et Glandage-Creyers                    1958  
                                   B.S.G.F.
- NEVEU F.                        Etudes géologiques sur le tertiaire du Dévoluy (Htes Alpes)                    1957  
                                   D.E.S. Paris
- TRUILLET R.                    Le Sud-Est du Dévoluy                    1961  
                                   D.E.S. Paris
- Le Nord-Est du Dévoluy                    1963  
                                   Doctorat 3e cycle Paris
- GIDON                            Carte géologique de Gap au 1/50 000e                    1971

B) SPELEOLOGIE

- ACQUAVIVA G. Massif du Dévoluy (8e expédition) 1964  
Spelunca Bull. n° 4, p.49
- ACQUAVIVA G. et CALFAS P. 1966  
Spéléopérations, bull. du SCM n°71  
p. 22-29
- ACQUAVIVA, CROISSANT, GALOCHER, BONHOMME 1967  
On redécouvre le Dévoluy  
ext. de Spelunca bull. n°2
- BONHOMME J.L. 1962  
"Semaine de Provence" septembre 1962
- BONHOMME, PIETTE (G.S.P.S.I.F.) 1966  
Recherches spéléologiques dans le massif  
du DEVOLUY  
ext. de Spelunca bull. n° 1
- BOURGIN A. 1937  
Spelunca 2ème série VII, p.10 et 11
- BOURGIN A. 1949  
Le Puits des Bans  
Ann. de spéléo IV, 1, p. 5-9
- BOURGIN A. 1942  
Dauphiné souterrain  
Arthaud éd.
- BOURGIN A. 1950  
Rivières de la nuit  
Arthaud éd.
- CASTELAIN B. et GARGUILO H. 1959  
Spéléopérations, bull du SCM, n°49
- CROISSANT P. 1965  
Exploration en Dévoluy, Montagne de  
Costebelle  
Spelunca bull. n°3 , p.5-10
- CROISSANT P. 1965  
Explorations pour l'année 1964  
bull. A.S.E. n°2
- CROISSANT P. 1965  
Tauping, bull. Gr. Catamaran n° 18 et 19

- GALLOCHER P. Dévoluy, Bull. Sect. Provence C.A.F. n° 126  
1956
- GALLOCHER P.  
Le Chourum sans nom 1956  
Spéléopérations Bull. Gr. Sp.  
Sect. Provence CAF N° Special
- GALLOCHER P. Le karst d'Aurouze, Dévoluy. Aperçu 1964  
spéléologique,  
Spelunca Mémoires n°4, p. 74-78
- GALLOCHER P.  
Contribution à l'étude hydro-spéléolo- 1964  
gique du Massif du Dévoluy, Plateau  
d'Aurouze  
Ann. de Spéléo, XIX, 4, P. 639-687
- GIRAUD Abbé  
Le Chourum de Costebelle 1932  
Le Courrier des Alpes 28-7-1932
- GUERIN H.  
Spelunca (2ème série), VIII, P.72 1938
- GROUPE CATAMARAN  
Dévoluy. Spelunca Bull. n°4, P.278 1966
- GROUPE CATAMARAN  
Le Trou du Dessus (Dévoluy) 1967  
Tauping Bull. Gr. Catamaran n°33
- Groupe Lyonnais de Recherche spéléo-karstologique 1967  
Special Dévoluy.  
Bull. de Liaison n°12
- G.S.P.S.I.F.  
Recherches spéléologiques dans le massif 1964  
du Dévoluy, Montagne d'Aurouze  
Spelunca Bull. n°3 p.50-52
- JOLY R. de  
Le Chourum Martin 1929  
Bull. Soc. Statist., Hist. et Archéo.  
Marseille et Provence
- JOLY R. de  
Chourum Martin, Spéléopérations, Bull. 1957  
Sect. Provence C.A.F. n° spécial 24
- LORY P.  
Les abîmes du Dévoluy 1895  
Bull.Soc de spéléo. I,2, p. 67-68

- MARTEL E.A. Bull. Soc. Etude Hautes Alpes 1902
- MARTEL E.A. Nouveau traité des eaux souterraines 1921
- MARTEL E.A. La France ignorée 1928
- MARTIN Abbé  
Les Abîmes et la contamination des sources  
Bull. Soc. de Spéléo (spelunca lère série) 1897  
III, 12, p. 207
- MARTY J.  
Explorations spéléologiques dans la monta-1955  
gne d'Aurouze  
Ann. de spéléo, X, 2, p. 63-72
- S.C.A. de GAP  
Le chourum du Vallon de Serre 1967  
Tauping Bull; Gr. Catamaran n° 35
- S.C.A. de GAP  
Le chourum des Aiguilles 1967  
ext. de Spelunca Bull. n°4
- S.C.A. de GAP  
Le chourum des Aiguilles 1970  
ext. de Spelunca Bull. n° 4
- STERLINGOTS C.  
Grottes et gouffres 1959  
Bull. du S.C.P. n° 16
- STERLINGOTS C.  
Grottes et Gouffres 1960  
n° 24

C) HYDROGEOLOGIE

ABD-EL-AL Ibrahim

Statistique et dynamique des eaux dans 1953  
les massifs calcaires libano-syriens.  
in Actes Colloques, Ankara. Hydrogéolo.  
zone aride UNESCO, Paris. p. 64-80

BOURGIN A.

A propos du réseau souterrain du Vercors:  
la Goule Noire  
Revue Géogr. Alpine, Grenoble, 40, n°2  
p. 307-312

CASTANY G.

Traité pratique des eaux souterraines. 1967  
Dunod ed., 657 p.

CASTANY G.

Prospection et exploitation des eaux sou- 1968  
terraines  
Dunod ed. 717 p.

CASTANY G.

Introduction à l'étude des courbes de  
tarissement  
Chronique hydrogéologique B.R.G.M.

DROGUE Cl.

Essai de détermination des composantes 1963  
de l'écoulement des sources karstiques.  
Evaluation de la capacité de rétention  
par chenaux et fissures  
Annales de Spéléologie XVIII, fasc. 4

DROGUE CL.

Méthode de détermination de la capacité 1963  
de rétention par fissures et micro-poro-  
sité des massifs karstiques à partir  
des variations saisonnières des données  
hydrométriques.  
C.R. Acad. Sciences Fr. 256, p. 5377-5379  
séance du 17 juin 1963

DROGUE Cl.

Etude géologique et hydrométrique des 1964  
principales résurgences de la région Nord  
Montpellieraine : sources du Lez, du Lizou  
et de Sauve  
Doct. 3e cycle, Montpellier, avril 1964

- DROGUE Cl.  
Etude des relations entre les écoulements superficiels et souterrains dans le bassin du Vidourle (Gard)
- FORKASIEWICZ J. et PALOC H.  
Le régime de tarissement de la Foux de la Vis. 1965
- MANGIN A.  
Contribution à l'étude des aquifères karstiques à partir de l'analyse des courbes de décrue et tarissement  
Annales de Spéléologie tome 25, fasc. 3 p. 581-609 1970
- PALOC H.  
Contribution à la connaissance des circulations karstiques dans une région type du midi-méditerranéen. Observations sur le comportement aquifère des dolomies. Mémoires de l'A.I.H., 5, réunion Athènes p.243-248 1962
- PALOC H.  
Méthode d'étude des circulations dans les massifs calcaires et application.
- SCHOELLER H.  
Hydrodynamique dans le karst (Écoulement et emmagasinement)
- SCHOELLER H.  
Le régime hydro-géologique des calcaires éocènes du synclinal du Dyr-el-Kef (Tunisie) 1948  
Bull. Soc. Géol. Fr. ,5,p.167-180
- SCHOELLER H.  
Les eaux souterraines 1962  
Masson ed. 642 p., 187 fig.
- TROMBE F.  
Traité de spéléologie 1952  
Payot, 376 p., 120 fig.

