



HAL
open science

Etude de quelques gites métallifères alpins par magnétométrie différentielle à haute sensibilité (Le Sapey, Maurienne, Saint-Véran, Queyras)

Pierre Gioan

► **To cite this version:**

Pierre Gioan. Etude de quelques gites métallifères alpins par magnétométrie différentielle à haute sensibilité (Le Sapey, Maurienne, Saint-Véran, Queyras). Géologie appliquée. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1978. Français. NNT: . tel-00725434

HAL Id: tel-00725434

<https://theses.hal.science/tel-00725434>

Submitted on 27 Aug 2012

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

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

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE
ET MÉDICALE DE GRENOBLE



31 MAI 1978

GIOAN = n° 1

ETUDE DE QUELQUES GITES METALLIFERES
ALPINS PAR MAGNETOMETRIE DIFFERENTIELLE
A HAUTE SENSIBILITE.

(Le Sapey, Maurienne, Saint-Véran, Queyras.)

par Pierre GIOAN

Thèse pour obtenir le grade
de Docteur de Spécialité
Spécialité Géologie appliquée

Soutenue le 17 Mai 1978, devant la Commission d'Examen

Président : R. MICHEL, Professeur

Examineurs : P. GIRAUD, Professeur

H. DABROWSKI, Maître Assistant

*A. SALVI, Chef de la Division Magnétométrie
C.E.N. Grenoble*

*F. ROBACH, Docteur-Ingénieur
Groupe GAMCIS
LETI - C.E.N. Grenoble*

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE
ET MÉDICALE DE GRENOBLE



31 MAI 1978

**ETUDE DE QUELQUES GITES METALLIFERES
ALPINS PAR MAGNETOMETRIE DIFFERENTIELLE
A HAUTE SENSIBILITE.**

(Le Sapey, Maurienne, Saint-Véran, Queyras.)

par **Pierre GIOAN**

Thèse pour obtenir le grade
de Docteur de Spécialité
Spécialité Géologie appliquée

Soutenue le 17 Mai 1978, devant la Commission d'Examen

Président : R. MICHEL, Professeur

Examineurs : P. GIRAUD, Professeur

H. DABROWSKI, Maître Assistant

*A. SALVI, Chef de la Division Magnétométrie
C.E.N. Grenoble*

*F. ROBACH, Docteur-Ingénieur
Groupe GAMCIS
LETI - C.E.N. Grenoble*

10445860

MAGNETOMETRIE DIFFERENTIELLE
A HAUTE SENSIBILITE

(Société Industrielle de Saint-Véran, Queyras)

par Pierre GIANI

Merci à tous ceux qui, par leur aide et leur compréhension, ont permis l'aboutissement de ce travail.

Que mes amis de l'U. C. P. A. de la Chalp, ainsi que ceux de Saint-Véran, trouvent ici l'expression de ma gratitude pour leur sympathique collaboration.

Merci également à Messieurs, MICHEL, GIRAUD, DABROWSKI, SALVI, ROBACH.

- T A B L E D E S M A T I E R E S -

INTRODUCTION

A - MAGNETISME

CHAPITRE 1 : PRINCIPES GENERAUX

1.1. Introduction

1.2. Observations générales

1.2.1. Le magnétisme terrestre

1.2.2. Champ magnétique

CHAPITRE 2 : CHAMP MAGNETIQUE TERRESTRE

2.1. Composantes du champ magnétique terrestre

2.2. Répartition spatiale du champ magnétique terrestre

2.2.1. Champ interne, champ externe

2.2.2. Champ du dipôle de Gauss

2.2.3. Champ non dipôle

2.2.4. Magnétopause

2.3. Variations temporelles

2.3.1. Variation séculaire

2.3.2. Variations journalière et annuelle

2.3.3. Causes

2.4. Variations spatiales

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail : plalour@ujf-grenoble.fr

CHAPITRE 3 : MAGNETISME DES ROCHES

3.1. Définitions

3.1.1. Aimantation induite

3.1.2. Aimantation rémanente

3.2. Aimantations des minéraux

3.2.1. Minéraux à aimantation induite

3.2.1.1. Minéraux paramagnétiques

3.2.1.2. Minéraux diamagnétiques

3.2.2. Minéraux à aimantation rémanente

3.2.2.1. Minéraux ferromagnétiques

3.2.2.2. Limite du ferromagnétisme (s.1.)

3.3. Aimantation des roches

3.3.1. Aimantation thermorémanente

3.3.2. Aimantation rémanente visqueuse

3.3.3. Aimantation rémanente détritique

3.3.4. Aimantation rémanente chimique

3.4. Conclusions

B - PROSPECTION MAGNETIQUE (PRESENTATION DU LEVE AEROMAGNETIQUE DU SECTEUR ALPIN)

CHAPITRE 1 : PRINCIPES GENERAUX D'UNE PROSPECTION MAGNETIQUE

1.1. Principes physiques de la prospection magnétique

1.2. La grandeur mesurée

1.3. But de la mesure

1.3.1. Les mesures à faible sensibilité

1.3.2. Les mesures à haute sensibilité

1.3.2.1. Mesure différentielle directe

1.3.2.2. Mesure différentielle différée

1.3.2.3. Critiques

1.4. Présentation des résultats

1.5. Interprétation

1.5.1. Interprétation qualitative

1.5.2. Les cartes transformées

1.5.2.1. Cartes prolongées vers le haut

1.5.2.2. Cartes prolongées vers le bas

1.5.2.3. Réduction au pôle

1.5.2.4. Conclusion

1.5.3. Interprétation quantitative

1.5.4. Conclusion

CHAPITRE 2 : LEVE AEROMAGNETIQUE DE LA FRANCE

2.1. Prospection aérienne

2.1.1. Introduction

2.1.2. Levé magnétique de la France

2.1.3. Résultats

- 2.2. Etude du secteur alpin
 - 2.2.1. Introduction
 - 2.2.2. Interprétation de la carte
 - 2.2.2.1. Analyses
 - 2.2.2.2. Défauts
 - 2.2.2.3. Explications
 - 2.2.3. Conclusions

C - TECHNIQUES DE PROSPECTIONS AU SOL

CHAPITRE 1 : APPAREILS

- 1.1. Appareils à aimants
- 1.2. Magnétomètres à résonance magnétique

CHAPITRE 2 : MAGNETOMETRE DIFFERENTIEL A HAUTE SENSIBILITE

- 2.1. Oscillateur nucléaire
- 2.2. Fréquencemètre et systèmes d'enregistrement
 - 2.2.1. Description
 - 2.2.2. Qualités
 - 2.2.3. Autre type de fréquencemètre
- 2.4. Matériel annexe

CHAPITRE 3 : MODES D'INVESTIGATION

- 3.1. Généralités
- 3.2. Méthodes de reconnaissance

- 3.2.1. Un porteur
- 3.2.2. Deux porteurs
- 3.2.3. Conclusion
- 3.3. Méthodes de prospection fine
 - 3.3.1. Méthodes au sol
 - 3.3.1.1. Mesure continue
 - 3.3.1.2. Mesure point par point
 - 3.3.2. Méthode "ballon"
- 3.4. Conclusions

D - PROSPECTION DU FILON DU SAPEY - ROCHERAY

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE

- 2.1. Localisation
- 2.2. Données géologiques et minières
 - 2.2.1. Pétrographie
 - 2.2.1.1. Couverture sédimentaire
 - 2.2.1.2. Le granite de la forêt du Sapey
 - 2.2.2. Tectonique
 - 2.2.3. Fracturation
 - 2.2.3.1. Interprétation photogéologique
 - 2.2.3.2. Détermination des familles de fracturation
 - 2.2.3.3. Conclusions

2.2.4. Données minières

2.2.4.1. Description du filon

2.2.4.2. Minéralogie

2.2.4.3. Description des travaux

2.2.4.4. Etude et résultats obtenus

CHAPITRE 3 : PROSPECTION MAGNETIQUE

3.1. Zones d'étude

3.1.1. Définitions des zones de travail

3.1.2. Préparation du terrain

3.2. Mesures

3.2.1. Zone F.M.

3.2.2. Zone 2.F.S.

3.2.3. Zone C.S.

3.3. Dépouillement

3.3.1. Conversion des mesures point par point

3.3.2. Conversion des mesures en continu

3.4. Résultats

3.4.1. Zone F.M.

3.4.2. Zone 2.F.S.

3.4.2. Zone C.S.

3.5. Interprétation qualitative

3.5.1. Contact calcaire - spilite

3.5.2. Analyse des résultats magnétiques des zones F.M. et 2.F.S.

3.5.2.1. Zone F.M.

3.5.2.2. Zone 2.F.S.

3.6. Conclusions

E - PROSPECTION DU GISEMENT DE CUIVRE DE SAINT-VERAN

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

CHAPITRE 2 : GEOLOGIE

2.1. Localisation

2.2. Données géologiques et minières

2.2.1. Pétrographie

2.2.1.1. Disposition générale du gîte

2.2.1.2. Description pétrographique de la roche filonienne

2.2.1.3. Variations de faciès du filon

2.2.1.4. Minéralisation

2.2.1.5. Gîte

2.2.2. Travaux miniers

2.2.2.1. Description

2.2.2.2. Géométrie - Teneur - Production

2.2.3. Conclusion

CHAPITRE 3 : PROSPECTION GEOCHIMIQUE

3.1. Méthode

3.2. Données géochimiques

3.3. Conclusion

CHAPITRE 4 : PROSPECTION MAGNETIQUE

4.1. Généralités

4.2. Campagne 1976

4.2.1. Choix des zones

4.2.2. Préparation

4.2.2.1. Zone du col de Longet

4.2.2.2. Zone des Lacs

4.2.3. Mesures

4.2.3.1. Zone du col de Longet

4.2.3.2. Zone des Lacs

4.2.4. Dépouillement

4.2.5. Cartes et profils magnétiques

4.2.6. Interprétation qualitative

4.2.6.1. Col de Longet

4.2.6.2. Zone des Lacs

4.3. Campagne 1977

4.3.1. Secteur d'étude

4.3.2. Piquetage

4.3.3. Mesures

4.3.4. Dépouillement

4.3.5. Résultats

4.3.6. Interprétation qualitative

4.3.7. Conclusions

4.4. Synthèse

CONCLUSION GENERALE

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

Un matériel récent, le magnétomètre différentiel à haute sensibilité est éprouvé au cours de prospections minières dans les Alpes, dans le cadre d'une collaboration entamée entre H. DABROWSKI, de l'Institut Dolomieu, et l'équipe GAMCIS du Laboratoire de Magnétométrie. (Laboratoire d'Electronique et de Technologie de l'Informatique - C.E.N. Grenoble).

Le but de cette étude consiste en une mise au point des techniques et du matériel les plus appropriés à la prospection minière au sol.

Dans une présentation générale, les notions essentielles de magnétisme sont rappelées et permettent une étude de la carte magnétique du secteur alpin.

Un exposé des différentes techniques de prise de mesures avec un magnétomètre haute sensibilité a permis de faire le point sur l'éventail des possibilités d'emploi au sol. Il a été mis en évidence l'intérêt d'une méthode nouvelle : l'emploi d'un ballon captif porteur du capteur, particulièrement adaptée à la prospection minière.

Différents sites ont été retenus pour leurs minéralisations plus ou moins magnétiques :

- le filon fluoré du Sapey (Maurienne),
- le gisement de cuivre de Saint-Véran (Queyras).

Ces différentes prospections nous ont permis d'améliorer la technique de prise de mesure et ont mis en évidence les avantages de la haute sensibilité dans la prospection au sol.

Les résultats magnétiques ont également permis de préciser la géologie des sites étudiés.

A - MAGNETISME

- 1 - PRINCIPES GENERAUX
- 2 - CHAMP MAGNETIQUE TERRESTRE
- 3 - MAGNETISME DES ROCHES

Chapitre 1 :

PRINCIPES GENERAUX

1.1. INTRODUCTION

Bien qu'ils s'agissent de notions connues, il m'est apparu nécessaire de rappeler quelques termes et définitions facilitant la compréhension et la lecture du texte.

1.2. OBSERVATIONS GENERALES

1.2.1. Le magnétisme terrestre

Tout corps aimanté à la surface de la terre s'orientera suivant une direction privilégiée (cas de l'aiguille d'une boussole indiquant le Nord magnétique).

1.2.2. Champ magnétique

On peut assimiler le globe terrestre à une sphère uniformément aimantée et concrétiser avec de la limaille de fer la géométrie des lignes de force du champ magnétique terrestre.

La figure 1 illustre de manière simple, l'effet d'un champ magnétique sur toutes les particules aimantées.

Chapitre 2 :

CHAMP MAGNETIQUE TERRESTRE

2.1. COMPOSANTES DU CHAMP MAGNETIQUE TERRESTRE

En un point O de la surface du globe (voir figure 2), à un instant donné, le champ magnétique terrestre est représenté par un vecteur \vec{B} dont les éléments sont définis de la manière suivante :

- le vecteur \vec{B} , d'intensité B, est rapporté à un trièdre formé du méridien et du parallèle géographique locaux, et de la verticale descendante.

Dans ce trièdre, les composantes Nord, Est et verticale sont respectivement notées X, Y et Z.

- La composante dans le plan horizontal local est notée H et définit avec le vecteur \vec{B} : le méridien magnétique.

- L'angle D entre les méridiens magnétique et géographique est appelé déclinaison et compté positivement vers l'Est.

- L'angle I entre le plan horizontal et le vecteur \vec{B} est appelé inclinaison ; il est positif conventionnellement quand le vecteur \vec{B} est orienté vers le bas et négatif dans le cas contraire, et varie de

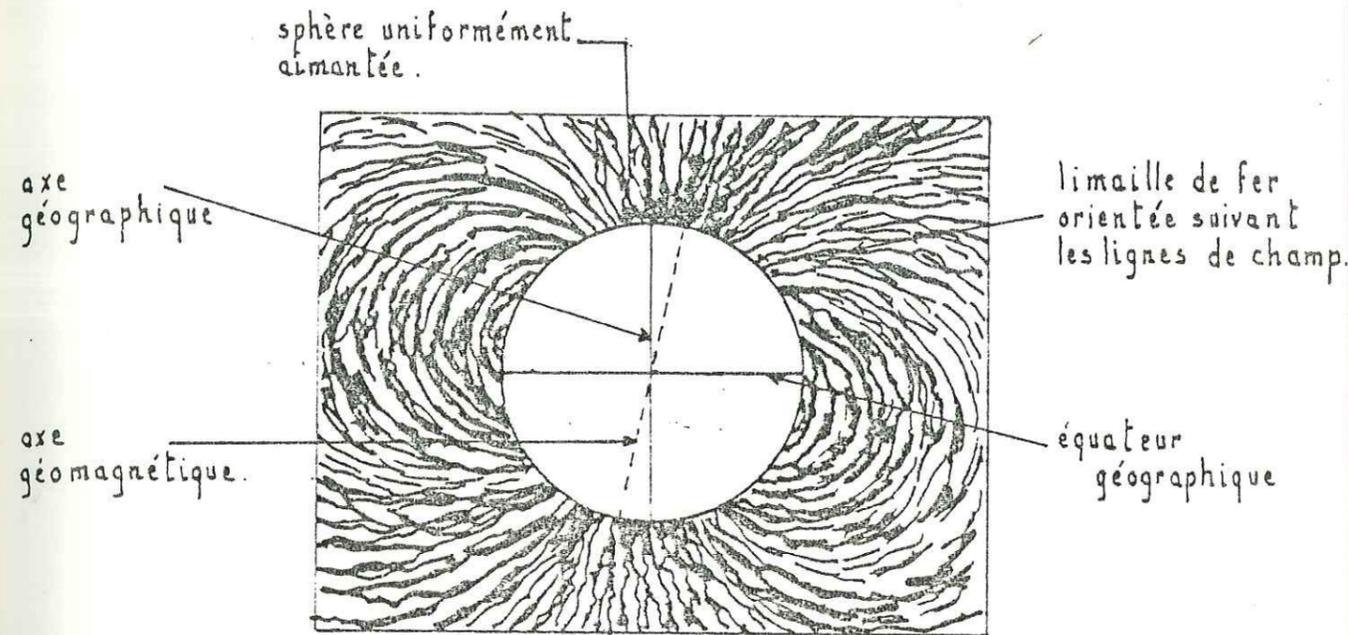


Fig1 - Lignes de force du champ magnétique créé par une sphère uniformément aimantée.

(d'après COURTILLOT. LE MOUËL)

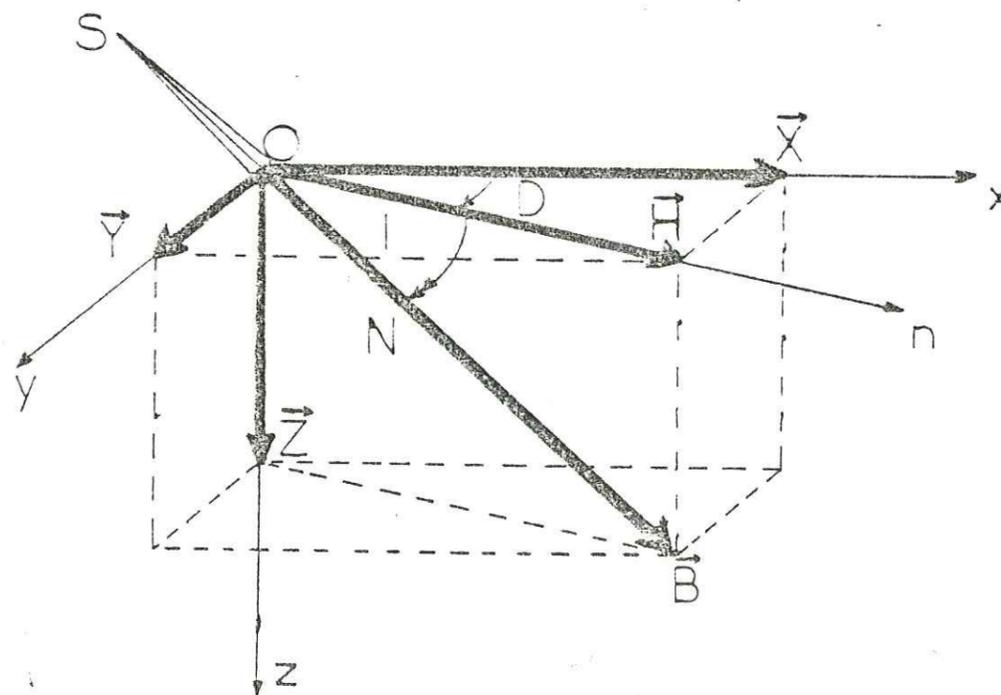


Fig2 - Eléments du champ magnétique terrestre.

(d'après COURTILLOT. LE MOUËL)

+ 90° au pôle Nord magnétique à - 90° au pôle Sud magnétique, il est nul par définition à l'équateur magnétique. Les éléments X, Y, Z, H et B ont la dimension d'une induction et sont mesurés en Tesla dans le système international ; on utilise plutôt un sous-multiple pratique ; le gamma ou nanotesla ($1 \gamma = 10^{-9} \text{T}$) unité C.G.S.

2.2. REPARTITION SPATIALE DU CHAMP MAGNETIQUE TERRESTRE

2.2.1. Champ interne, champ externe

Le champ magnétique terrestre est la somme de plusieurs éléments d'origines interne et externe.

2.2.2. Champ du dipôle de Gauss

Un aimant placé au centre de la Terre, tel que l'illustre la figure 1, est le dipôle magnétique qui constituerait le terme dominant du champ magnétique terrestre : champ du dipôle centré ou champ du dipôle de Gauss.

2.2.3. Champ non dipôle

Le champ privé du champ du dipôle de Gauss est dit : champ non dipôle.

Si le champ du dipôle représente 90% du champ observé, le champ non dipôle est loin d'être négligeable puisqu'il peut dépasser localement 15 000 γ , c'est-à-dire plus du tiers de l'intensité du champ du dipôle.

2.2.4. Magnétopause

On a cru pendant longtemps, environ jusqu'en 1960, que le champ du dipôle était le champ cosmique de la Terre, c'est-à-dire son champ dans tout l'espace extérieur au globe. On a pu mettre en évidence, grâce aux mesures spatiales, que la pression du vent solaire fait que le champ géomagnétique se trouve borné par une surface, dite

magnétopause dont la distance à la Terre est d'environ 10 rayons terrestres et que ses lignes de force se trouvent fortement déformées dans les parties lointaines de la magnétosphère.

2.3. VARIATIONS TEMPORELLES

2.3.1. Variation séculaire

Le champ principal subit, au cours du temps, une évolution régulière, il s'agit de la variation séculaire de l'ordre de 30 γ par an.

2.3.2. Variations journalière et annuelle

Le champ décroît rapidement dans la matinée, passant par un minimum à midi (heure locale) pour remonter lentement dans l'après-midi et la soirée : type de variation diurne. L'amplitude de cette oscillation est maximale en Juin (50 γ) et minimale en Janvier (5 γ) : type de variation annuelle.

2.3.3. Causes

Ces variations sont dues à des courants ioniques extra-terrestres pour les 3/4 de son intensité ; 1/4 seulement est attribuable à des causes intra-terrestres.

2.4. VARIATIONS SPATIALES

Le champ dipôle fait apparaître à la surface du globe des variations en fonction de l'altitude de l'ordre de 0,1 à 1 γ /km et en fonction de la latitude de 10 γ /km.

A ces grands traits se superposent des variations de champ qui s'étendent sur des échelles allant de quelques mètres à quelques centaines de kilomètres.

Ces variations, dont l'amplitude est faible devant celle du champ planétaire, sont engendrées par les roches aimantées de la croûte terrestre.

C'est l'étude de ces variations locales du champ magnétique qui fait l'objet de la prospection minière.

Chapitre 3 :

MAGNETISME DES ROCHES

3.1. DEFINITIONS

On distingue deux types d'aimantation (figure 3) :

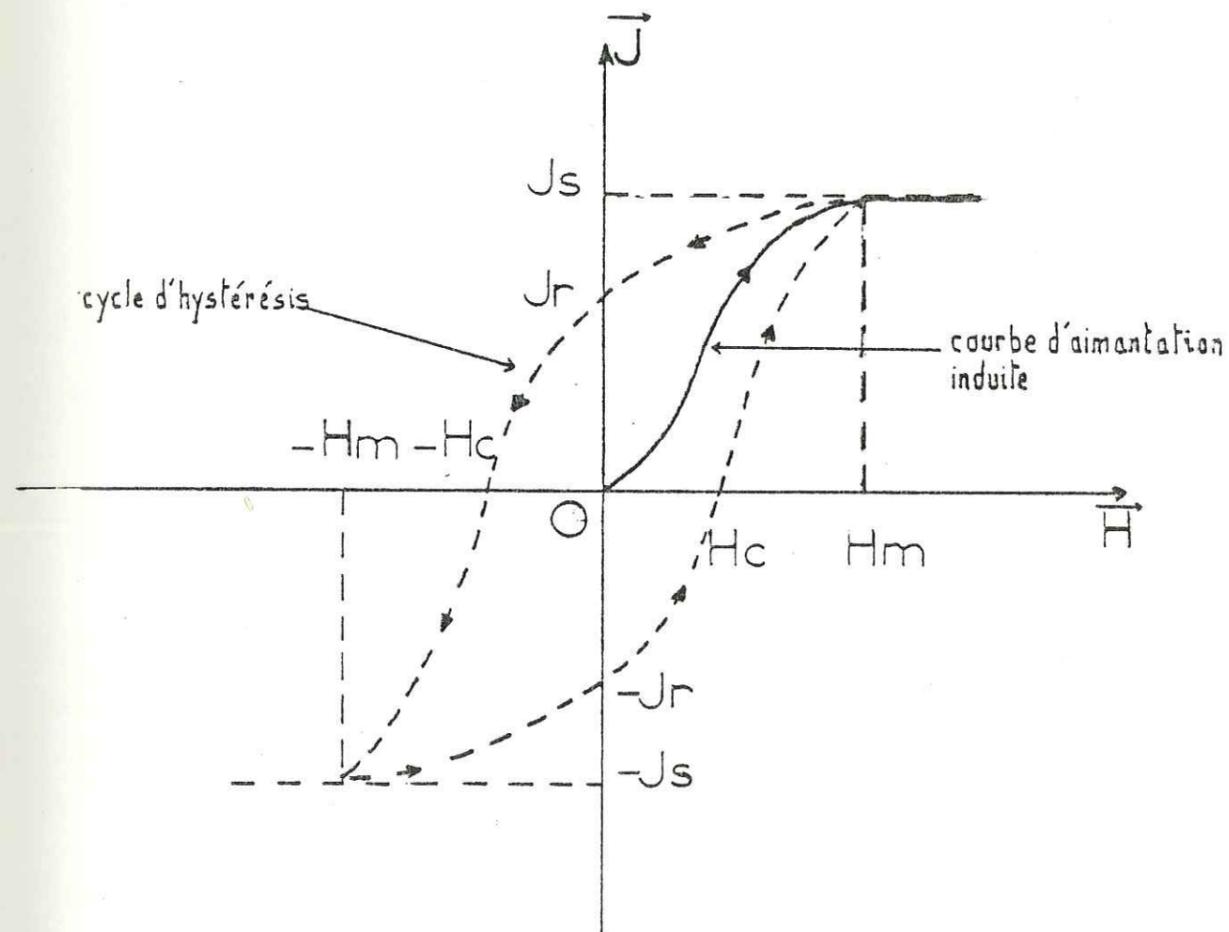
- l'aimantation induite,
- l'aimantation rémanente.

3.1.1. Aimantation induite

C'est l'aimantation acquise par toute substance placée dans un champ magnétique. Cette aimantation disparaît avec la suppression du champ.

3.1.2. Aimantation rémanente

C'est l'aimantation de toute substance qui, même après la suppression du champ magnétique dans lequel elle a été placée, conserve son aimantation.



J_s : Aimantation à saturation.

J_r : Aimantation rémanente.

H_c : Champ coercitif.

$-H_m, H_m$: Valeurs maximums du champ inducteur pour le cycle d'hystérésis.

Fig 3. Aimantation induite - Aimantation rémanente - Cycle d'hystérésis.

3.2. AIMANTATIONS DES MINÉRAUX

L'aimantation des minéraux des roches est un sujet très complexe, dont nous ne retiendrons que des aspects utiles.

On distingue deux grands types :

- les minéraux à aimantation induite,
- les minéraux à aimantation rémanente.

3.2.1. Minéraux à aimantation induite

Pour ces minéraux l'aimantation ou l'intensité d'aimantation est proportionnelle au champ ; elle est caractérisée par un coefficient désigné sous le terme de susceptibilité magnétique.

Cette susceptibilité peut être spécifique ou massique suivant qu'elle se rapporte à l'unité de volume ou à l'unité de masse.

On distingue selon la valeur de susceptibilité :

- les minéraux paramagnétiques,
- les minéraux diamagnétiques.

3.2.1.1. Minéraux paramagnétiques

Ces derniers peuvent acquérir une aimantation induite de même direction et de même sens que le champ auquel ils sont soumis

Exemples : olivines, pyroxènes, micas, amphiboles.

3.2.1.2. Minéraux diamagnétiques

Ils prennent une aimantation induite de même direction que le champ dans lequel ils sont placés mais de sens contraire.

Exemple : quartz, feldspaths purs.

3.2.2. Minéraux à aimantation rémanente

3.2.2.1. Minéraux ferromagnétiques

, Un petit nombre seulement possède la propriété de conserver une aimantation, dite aimantation rémanente isotherme, après la suppression du champ.

Exemple : oxydes de fer, associations avec oxydes de tisan.

3.2.2.2. Limite du ferromagnétisme (s. l.)

Cette propriété disparaît au-delà d'une température appelée température de Curie variable suivant le minéral :

exemple : 580°C pour la magnétite, 670°C pour l'hématite.

3.3. AIMANTATION DES ROCHES

Une roche est constituée de minéraux ferromagnétiques, en général moins de 1%, noyés parmi d'autres minéraux para ou diamagnétiques.

Seuls, les éléments ferromagnétiques confèrent à la roche une aimantation rémanente (surtout étudiée en paléomagnétisme et archéomagnétisme). En plus de l'aimantation rémanente isotherme, les roches peuvent présenter d'autres types d'aimantations rémanentes, dont les principales sont les suivantes :

3.3.1. Aimantation thermorémanente

C'est le type d'aimantation acquis par la roche, au cours de son refroidissement, au-dessous du point de Curie en présence d'un champ magnétique.

3.3.2. Aimantation rémanente visqueuse

Cette aimantation est acquise progressivement sous l'action prolongée d'un champ magnétique constant, à température constante et disparaît progressivement après la suppression du champ.

3.3.3. Aimantation rémanente détritique

C'est le type d'aimantation acquis par un ensemble de grains aimantés, se déposant lentement, en présence d'un champ magnétique, dans une eau calme.

3.3.4. Aimantation rémanente chimique

Elle est acquise par une roche lorsque de petits cristaux de minéraux ferromagnétiques se forment en présence d'un champ.

3.4. CONCLUSIONS

Les roches basiques telles que basaltes, gabbros, etc... seront plus magnétiques, parce que contenant plus d'éléments ferromagnétiques, que les roches acides telles que diorites, granites, etc...

Un tableau schématique des différentes valeurs de susceptibilités magnétiques suivant les principaux types de roches met en évidence les ordres de grandeur et les différences d'aimantation les caractérisant.

Susceptibilités magnétiques des roches en 10⁻⁶ u.e.m. C.G.S.

Roches éruptives

Basaltes	680 à 16 000	Diabases	80 à 420	Granites	300 à 3 000
Gabbros	440 à 4 100	Diorites	3 000	Porphyres	20 à 500
Dolerites et Peridotites	2 000				

Roches métamorphiques

Serpentinites	2 250 à 14 000	Gneiss	10 à 2 000	Schistes	23 à 240
Ardoises	40 à 300				

Roches sédimentaires

Schistes	40 à 50	Grès	0 à 200	Dolomies	1 à 15
Argilites	20	Calcaires	0 à 10	Anhydrite-gypse	2 à 10
Argilites Fe	200				

Ce tableau a pour unique objet une vision d'ensemble des valeurs de susceptibilités des roches, ce qui facilite leur comparaison, mais il ne peut, en aucun cas, servir de référence.

Les différentes définitions précédemment citées vont nous permettre de bien déterminer le cadre de notre étude ainsi que les paramètres employés. Les principaux points auxquels on doit se référer sont les suivants :

- l'importance de la magnétite et son rôle prépondérant dans le ferromagnétisme des roches naturelles ;

- la présence de cette dernière dans toutes les roches du socle cristallin dont l'aimantation est fonction de la proportion de magnétite incluse ;

- la profondeur des sources ferromagnétiques est, au plus, celle de l'isotherme de Curie où les minéraux cessent d'être ferromagnétiques ;

- les sources plus profondes, non ferromagnétiques, qui sont la cause des variations régionales du champ magnétique, n'entrent pas dans le cadre de la prospection magnétique ;

- enfin, la prospection minière s'attache plus particulièrement à l'étude des variations très localisées et de faible extension en surface, dont l'origine est peu profonde.

B - PROSPECTION MAGNETIQUE.

(PRESENTATION DU LEVE AEROMAGNETIQUE DU SECTEUR ALPIN)

1 - PRINCIPES GENERAUX D'UNE PROSPECTION

2 - LEVE AEROMAGNETIQUE DE LA FRANCE

Chapitre 1 :

PRINCIPES GENERAUX D'UNE PROSPECTION MAGNETIQUE

1.1. PRINCIPES PHYSIQUES DE LA PROSPECTION MAGNETIQUE

Les roches sont placées dans le champ magnétique terrestre. Les aimantations induite et rémanente coexistent au sein d'une même roche ; elles ont une résultante dont la direction peut être notablement différente de celle du champ magnétique actuel. Un exemple caractéristique est celui des matériaux des rides médio-océaniques à aimantation inverse alternant avec des matériaux à aimantation normale.

Cette inversion de l'aimantation caractérise des roches dont l'aimantation rémanente est beaucoup plus forte que l'aimantation induite.

Les propriétés magnétiques des roches, souvent sujettes à des variations brutales importantes sur de faibles distances, créent une perturbation du champ magnétique terrestre que la prospection s'efforce de mettre en évidence.

1.2. LA GRANDEUR MESUREE

La grandeur mesurée dans les prospections magnétiques est le champ et le plus souvent simplement une de ses composantes.

D'un point de vue théorique, il y a une certaine équivalence entre ces différentes mesures. La mesure du champ s'accompagne d'une localisation du point de mesure et d'une mesure du temps.

1.3. BUT DE LA MESURE

La mesure a pour objet de mettre en évidence les variations spatiales du champ terrestre d'origine géologique.

On distingue les mesures à faible sensibilité et les mesures à haute sensibilité.

1.3.1. Les mesures à faible sensibilité

Elles s'effectuent en négligeant la variation diurne du champ terrestre ou en établissant une correction très grossière de cette variation (précision de l'ordre de 10γ).

1.3.2. Les mesures à haute sensibilité

Elles se pratiquent en éliminant par une technique différentielle les variations temporelles du champ terrestre réputées homogènes à l'échelle de la prospection.

A partir de ce principe on distingue deux types de mesure différentielle :

- la mesure différentielle directe,
- la mesure différentielle différée.

1.3.2.1. Mesure différentielle directe

Par des moyens techniques appropriés, on enregistre directement la différence en temps réel entre les grandeurs mesurées sur l'ensemble

du secteur à prospecter et celles mesurées en un point fixe.

1.3.2.2. Mesure différentielle différée

On enregistre l'heure en même temps que les valeurs du champ et la position des points ou des lignes de mesure sur la zone de prospection tandis qu'en un point fixe, on mesure les variations temporelles du champ magnétique terrestre. Ce n'est qu'après la prospection qu'on effectue la différence entre les mesures enregistrées.

1.3.2.3. Critiques

Toutefois, un problème se pose dans la mesure haute sensibilité lorsqu'on effectue des campagnes de mesures sur de grande surface ; l'hypothèse de la parfaite similitude de la variation diurne du champ en tout point de la zone d'investigation cesse d'être vraie (échelle de la France par exemple).

1.4. PRESENTATION DES RESULTATS

Les résultats sont généralement fournis sous la forme de cartes de la grandeur mesurée, analogues aux cartes topographiques. Les courbes de niveau sont les isogammes.

Les résultats sous forme de coupe sont désignés par le terme de profil magnétique.

1.5. INTERPRETATION

Elle a pour but de déterminer, à partir des cartes et des profils magnétiques, la structure du sous-sol, et de retrouver les aimantations

responsables des effets observés.

Dans le cas général, elle reste indéterminée.

L'interprétation s'effectue, suivant le cas, en plusieurs étapes.

1.5.1. Interprétation qualitative

C'est l'opération qui consiste à classer visuellement les différentes zones d'anomalies d'une carte magnétique dans une première étape.

L'analyse de l'extension horizontale des anomalies qui est souvent directement liée à la profondeur de la structure magnétique responsable de l'effet enregistré permet de faire la distinction entre les effets d'origine superficielle et ceux d'origine profonde.

L'analyse des orientations constitue également un apport d'informations important.

1.5.2. Les cartes transformées

Diverses opérations mathématiques permettent de transformer les cartes brutes en cartes présentant des caractères particuliers qui simplifient l'analyse qualitative. La description succincte des différentes techniques, donne un aperçu des possibilités offertes.

1.5.2.1. Cartes prolongées vers le haut

Elles sont équivalentes à des cartes levées à une plus grande hauteur.

Les anomalies sont alors plus faibles, mais de plus grande extension. Les effets relativement superficiels sont atténués.

1.5.2.2. Cartes prolongées vers le bas

On se rapproche au contraire des sources, et on accentue par ce procédé les effets des corps relativement superficiels. Cette procédure peut donner des résultats aberrants, si elle est trop hardie (instabilité).

1.5.2.3. Réduction au pôle

Les cartes magnétiques présentent des anomalies qui sont le plus souvent de formes assez complexes avec des valeurs positives ou négatives décalées par rapport aux corps qui les produisent.

La réduction au pôle donne l'image artificielle d'un champ magnétique vertical (au pôle magnétique) qui est plus simple et sans décalage.

1.5.2.4. Conclusion

Ces diverses opérations de même que celles du gradient vertical ou de la dérivée seconde, partent communément de mesures faites sur un plan ; elles simplifient l'analyse, et fournissent déjà des précisions intéressantes sur les dimensions horizontales du corps perturbateur ainsi que sur sa profondeur (A. GERARD ET P. GRIVEAU 1972).

1.5.3. Interprétation quantitative

Son but est de parvenir à déterminer la forme géométrique la plus plausible produisant une anomalie magnétique pratiquement identique à celle obtenue par la mesure.

Généralement, on part d'une hypothèse géométrique, qui s'appuie sur des données géologiques.

Le calcul de l'effet magnétique d'un corps étant une opération simple, on procède par simple comparaison entre les effets théoriques calculés et les effets réels enregistrés.

1.5.4. Conclusion

Toutes ces indications font apparaître :

- la complexité du milieu magnétique initial,
 - l'importance de la mesure différentielle,
 - les limites d'une interprétation purement mathématique
- et le rôle souvent déterminant d'une bonne compréhension géologique.

Chapitre 2 :

LEVE AEROMAGNETIQUE DE LA FRANCE

2.1. PROSPECTION AERIENNE

2.1.1. Introduction

C'est actuellement la méthode la plus employée en tant que moyen de reconnaissance rapide et de prospection minière.

Elle permet également d'effectuer en un temps minime de très nombreuses mesures, précisément situées. Les systèmes de localisation sont nombreux et vont de la photo aérienne au-dessus d'un continent aux différents systèmes de radiolocalisation au-dessus de la mer.

L'altitude de vol doit être fixée avec un très grand soin ; elle dépend, essentiellement, du but de l'étude. Si on veut étudier des structures très superficielles : prospection minière, par exemple, l'altitude de vol sera très basse et les lignes de vol seront serrées ; par contre si on recherche des structures profondes (recherche fondamentale, prospection pétrolière) on volera beaucoup plus haut afin d'éliminer les effets des sources superficielles.

2.1.2. Levé magnétique de la France

C'est dans le cadre de recherches fondamentales que le C.N.R.S. a financé en 1964 - 1965, sous la direction de l'Institut de Physique du Globe de Paris, le levé aéromagnétique de la France.

L'enregistrement des valeurs du champ total s'est effectué à bord d'un avion de l'Institut Géographique National volant à une altitude de 3 000 m et de 5 000 m au-dessus des Alpes.

Le champ magnétique a été mesuré au moyen d'un magnétomètre à pompage optique à vapeur de Cesium C.S.F. Les lignes de vol étaient Nord-Sud distantes entre elles de 10 km et les traverses Est-Ouest distantes de 100 km (au total 80 000 km de profils).

2.1.3. Résultats

Ces données ont été employées pour établir une carte du champ total ramené à la date 1964 - 1965.

La carte d'anomalies se déduit de la précédente en soustrayant en chaque point la valeur du champ normal calculé, à la valeur du champ mesuré. En d'autres termes, le champ régional d'origine profonde a été éliminé afin de mettre en évidence les anomalies dont les sources sont à des profondeurs inférieures à une vingtaine de kilomètres.

La carte des anomalies magnétiques du champ total, sur l'ensemble de la France met déjà en évidence la différence entre la moitié Nord et la moitié Sud. La partie Sud se caractérise par un fond magnétique relativement calme perturbé par de petites anomalies localisées au Massif Central.

Au contraire, dans la partie Nord, une anomalie importante se développe au coeur du Bassin Parisien et dont la source est à quelques kilomètres de profondeur. Son origine peut être imputable à une fissure par laquelle serait monté un magma basique.

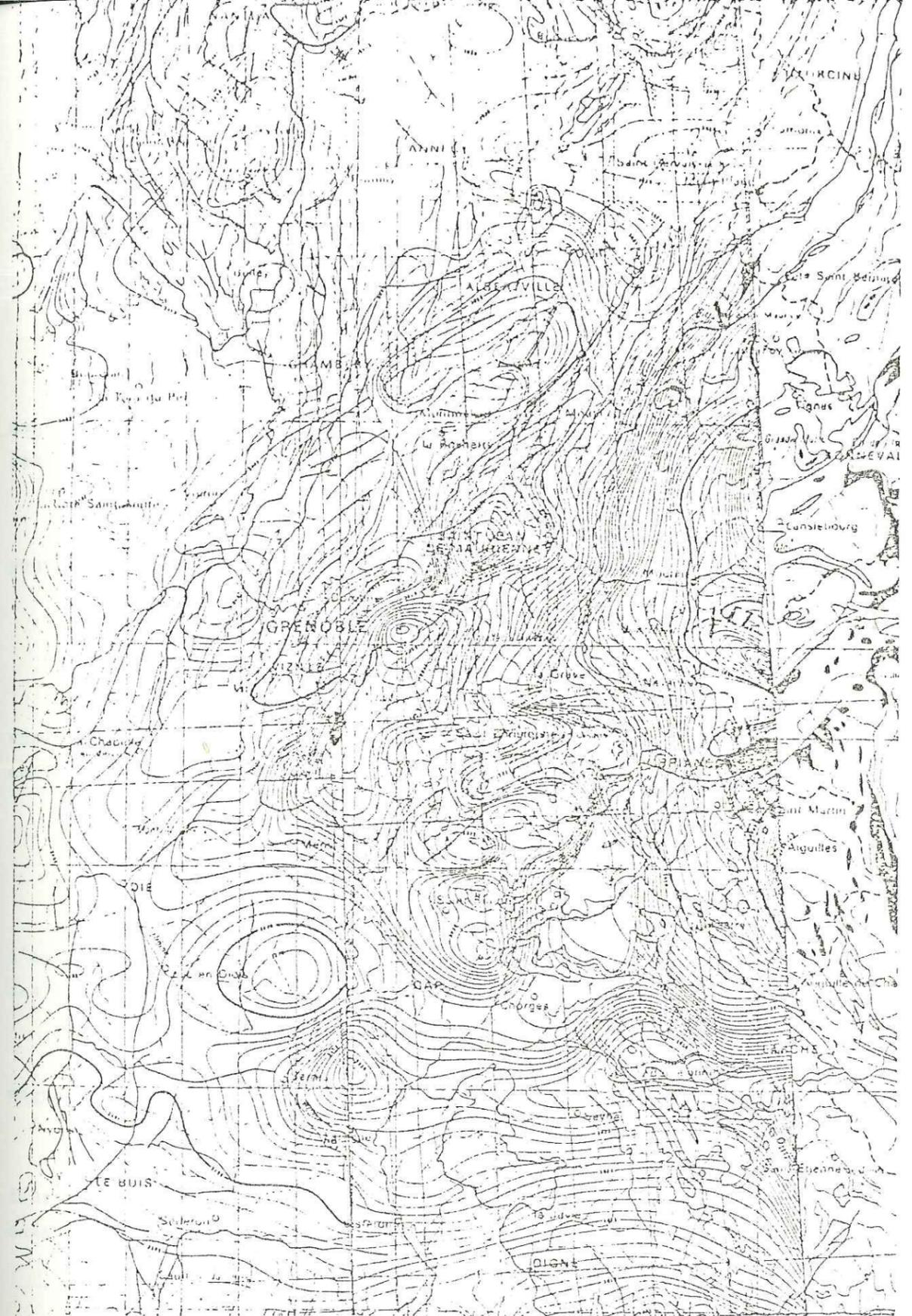


Fig 4. CARTE MAGNETIQUE DU SECTEUR ALPIN (Extrait de la carte magnétique de la France à l'échelle du 1/1000000. Anomalies détaillées du champ total)

2.2. ETUDE DU SECTEUR ALPIN

2.2.1. Introduction

La carte magnétique du secteur alpin extraite de la carte magnétique de France constitue le seul document d'ensemble concernant les régions faisant l'objet de nos prospections.

Le but de cette étude est de rechercher les renseignements pouvant nous être utiles dans nos futures prospections.

2.2.2. Interprétation de la carte (Figure 4)

Cette étude se fait en plusieurs étapes ; tout d'abord une analyse des anomalies, suivie d'une critique du document d'ensemble, enfin les explications relatives à cette critique.

2.2.2.1. Analyse

L'examen général de la carte permet de mettre en évidence l'existence de plusieurs anomalies positives qui se localisent à l'aplomb des différents massifs cristallins.

On peut donc établir une corrélation entre les anomalies magnétiques et les massifs cristallins externes.

Cette analyse permet, également, de faire ressortir les défauts de la cartographie magnétique qui sont des sources d'erreurs dans l'interprétation des résultats.

2.2.2.2. Défauts

Les imperfections de cette carte magnétique se présentent de différentes manières.

On constate, tout d'abord, l'individualisation de deux anomalies distinctes : la première centrée sur Grenoble, la seconde sur Saint Jean de Maurienne, alors que le contexte géologique laisse supposer l'existence d'une seule anomalie.

Certaines courbes isogammes ont une allure anormalement allongée.

2.2.2.3. Explications

Ces effets surprenants sont attribués à deux origines :

- la première provoquant un étirement des anomalies est due à une insuffisance des mesures et au programme d'interpolation.

- la deuxième séparant deux anomalies ayant une même origine est attribuée au programme de tracé qui ne permet pas une bonne corrélation entre les mesures relevées.

2.2.3. Conclusions

Cette étude du secteur alpin ne fournit pas d'informations d'une grande utilité en vue d'une prospection, mais elle met en valeur les risques dus à une interprétation un peu hâtive. Elle signale également les artefacts liés aux méthodes de filtrage des informations et de lissage des courbes qui sont employées pour élaborer un tel document.

Enfin, on peut supposer que les profils d'enregistrement magnétiques bruts, sur un secteur défini, fournissent beaucoup plus

d'informations qu'un extrait de la carte d'anomalies magnétiques destinée à l'étude des structures d'origine profonde.

La comparaison entre les données magnétiques non traitées, d'une part, et les données topographiques et lithologiques le long d'un profil de mesure, d'autre part, constitue la meilleure façon d'utiliser les résultats magnétiques, en vue d'une prospection du secteur alpin.

C -- TECHNIQUES DE PROSPECTION AU SOL

1 - APPAREILS

2 - MAGNETOMETRE DIFFERENTIEL A HAUTE SENSIBILITE

3 - MODES D'INVESTIGATION

Chapitre I :

APPAREILS

La prospection au sol utilise différents types d'appareils qui s'appuient sur des principes physiques différents.

On distingue, essentiellement, deux grandes catégories d'appareils :

- les appareils à aimants,
- les magnétomètres basés sur la résonance magnétique.

1.1. APPAREILS A AIMANTS

Ces appareils contiennent, en général, un aimant qui est pourvu d'un axe de rotation, et que l'on positionne dans l'espace avant la mesure.

L'aimant est soumis à un couple qui tend à l'orienter suivant la direction du champ.

On procède, le plus souvent, par une méthode de zéro, en

opposant au premier couple défini, un couple facilement mesurable.

Les appareils fonctionnant sur ce principe sont :

- la balance verticale de Schmidt employée pour la mesure de la composante verticale du champ magnétique,
- le Q. H. M. (Quartz Horizontal Magnetometer) qui est utilisé pour la mesure de la composante horizontale.

Ces appareils sont de moins en moins employés.

Pour chaque mesure, il est nécessaire de procéder à une mise en station de l'appareil et à des corrections de température pour obtenir une sensibilité de l'ordre de 1γ .

On peut citer, également, les appareils dits à "flux - gate", vanne de flux, qui sont employés en prospection au sol. Bien que ce type d'appareils soit rangé dans cette rubrique, ils sont basés sur un principe différent, qui s'appuie sur l'exploitation des caractéristiques magnétiques d'un matériau ferromagnétique (cycle d'hystérésis). Les performances de ces appareils sont voisines de celles des appareils à aimants.

1.2. MAGNETOMETRES A RESONANCE MAGNETIQUE

Ces appareils sont tous basés sur le principe de la résonance magnétique des particules (protons, électrons). Sommairement, certaines particules atomiques, par exemple un proton, possèdent un moment magnétique et un moment cinétique (spin).

En présence d'un champ magnétique, si on perturbe l'équilibre du noyau, il s'anime d'un mouvement de précession autour de ce champ, avec une vitesse angulaire proportionnelle à l'intensité du champ. On réalise, basés sur ce principe, des appareils capables de convertir l'intensité du champ magnétique en une fréquence.

Le principal intérêt des appareils basés sur la résonance est de pouvoir effectuer la mesure du champ total avec un capteur en mouvement, ce qui supprime la contrainte d'une mise en station.

Le deuxième intérêt, également important, est que la mesure du champ se ramène à celle d'une fréquence, d'où la grande précision de ces appareils.

Ces deux facteurs font que la mesure du champ total connaît un très grand succès et remplace, de plus en plus, la mesure des composantes.

Toutefois, les appareils à résonance magnétique ne sont pas tous identiques; cela s'explique par le fait que la résonance magnétique est difficilement observable dans un champ faible comme le champ magnétique terrestre. Afin de pallier à cette difficulté; on utilise différents procédés pour amplifier le phénomène. On est alors amené à distinguer deux types d'appareils suivant le type d'amplification utilisé :

- les magnétomètres à protons à précession libre,
- les magnétomètres à protons à polarisation dynamique.

Les premiers sont des magnétomètres très courants dont la sensibilité est de l'ordre de 1γ .

Le second type de magnétomètre, est celui qui a été réalisé au Laboratoire de Magnétométrie du L.E.T.I. et qui a été utilisé dans le cadre de ce travail.

Son pouvoir de résolution est de $0,01 \gamma$, ce qui est très performant par rapport à tous les autres appareils décrits précédemment. Toutefois, la sensibilité des magnétomètres à protons à polarisation dynamique est comparable à celle des magnétomètres à pompage optique (résonance d'électron) qui sont peu utilisés en prospection au sol à cause de leur consommation trop importante.

Chapitre 2 :

MAGNETOMETRE DIFFERENTIEL A HAUTE SENSIBILITE

L'exploitation de la haute sensibilité liée au principe de la résonance magnétique nécessite la conception d'un matériel orienté d'emblée vers la mesure différentielle du champ terrestre.

Ce matériel comprend :

- un oscillateur nucléaire qui fournit la mesure haute sensibilité,
- un fréquencemètre numérique qui permet la mesure différentielle directe.

2.1. OSCILLATEUR NUCLEAIRE

Il comprend le capteur proprement dit et le système électronique associé.

Le capteur

Il est basé sur la résonance magnétique nucléaire des pro-

tons avec polarisation dynamique, (ABRAGAM, 1957).

Autour de flacons contenant des liquides fournissant les protons, sont placés des bobinages qui servent à exciter et à observer le mouvement des protons, d'une part.

D'autre part, une cavité haute fréquence englobe le tout. Elle permet, par le phénomène de double polarisation dynamique, d'augmenter le magnétisme apparent des protons (SALVI, 1970).

Electronique associée

Elle sert à amplifier les signaux de la résonance, d'une part, et, d'autre part, à fournir l'énergie haute fréquence requise par la polarisation dynamique.

L'ensemble capteur et électronique permet d'effectuer la conversion du module du champ magnétique en un signal sinusoïdal dont la fréquence est comprise entre 1 et 3 kHz dans le champ terrestre.

Cet ensemble est autonome, on l'appelle oscillateur nucléaire, ou parfois simplement capteur sonde par abus de langage, et son fonctionnement ne nécessite qu'une faible puissance (4 W). Son poids n'excède pas 5 kg et son encombrement est celui d'un cylindre d'un mètre de long ; longueur qui correspond à l'éloignement nécessaire entre liquides et électronique toujours plus ou moins magnétique pour éviter une pollution magnétique.

Enfin, la dernière caractéristique de l'oscillateur nucléaire est la possibilité de transmettre le signal utile par radio (modulation de fréquence), ce qui assure une parfaite indépendance de l'ensemble de prise de mesure sur le terrain.

2.2. FREQUENCOMETRE ET SYSTEMES D'ENREGISTREMENT

2.2.1. Description

La mesure très précise (10^{-7}) d'une fréquence aussi basse que celle émise par l'oscillateur nucléaire nécessite un appareillage spécial.

Le fréquencesmètre présente, également, des caractéristiques très performantes vis-à-vis des appareils classiques.

Il peut effectuer non seulement une mesure de fréquence mais, mieux encore, une différence de fréquence.

La mesure est visualisée directement sous forme numérique, dans le système octal. Elle est convertie en tension pour un enregistrement graphique.

Les données numériques disponibles à la sortie de l'appareil sont enregistrées sur du ruban perforé au cours des différentes applications exposées par la suite.

Cet appareil est relativement lourd, environ 11 kg, dans sa version la plus légère. Il fonctionne sur secteur ou, dans certaines versions, sur accumulateurs au plomb. Un autre avantage est la faculté que possède le fréquencesmètre d'effectuer une mesure à grande cadence, quasiment continue.

2.2.2. Qualités

La haute sensibilité (résolution à 0,01 γ près), la mesure différentielle directe, la visualisation du résultat différentiel en temps réel, la transmission radio du signal du capteur, d'où son autonomie, et la cadence élevée des mesures, toutes ces caractéristiques font de ce magnétomètre un appareil de mesures au sol très performant.

2.2.3. Autre type de fréquencemètre

Le fréquencemètre précédent est lourd et encombrant. Il est apparu nécessaire de mettre au point un appareil beaucoup plus léger : 0,5 kg, et moins performant. Il s'agit d'un petit périodemètre "LORACLE" qui est utilisé pour des mesures non différentielles, à moindre sensibilité.

Il permet de visualiser les mesures du capteur, soit au moyen d'un galvanomètre, soit sur un petit enregistreur graphique à piles.

2.4. MATERIEL ANNEXE

La liaison entre oscillateurs nucléaires et fréquencemètre différentiel peut être faite par câbles coaxiaux. Pour éviter les servitudes imposées par la manipulation des câbles, cette liaison est le plus souvent assurée par une transmission radio comprenant un émetteur associé à l'oscillateur nucléaire et un récepteur à côté du fréquencemètre.

Chapitre 3 :

MODES D'INVESTIGATION

3.1. GENERALITES

Toute prospection commence par une évaluation des conditions de terrain.

Le caractère magnétique du secteur à prospecter, le type de structure recherché, la topographie plus ou moins accidentée, l'absence ou non de végétation, tous ces paramètres ont une importance déterminante pour le choix d'une technique de prise de mesure qui sera la mieux appropriée.

La reconnaissance préalable du secteur d'étude amène à faire la distinction entre les méthodes de reconnaissance avec appareillage léger et les méthodes de prospection proprement dites avec appareillage lourd.

3.2. METHODES DE RECONNAISSANCE (Figures 5 a, 5 b, 5 c)

Elles peuvent se faire de deux manières, soit avec une personne, soit avec deux porteurs.

3.2.1. Un porteur

Les figures 5a et 5b illustrent la répartition de l'appareillage sur l'individu.

Cette méthode nécessite l'usage d'une claie de portage qui permet de maintenir le capteur horizontalement, à environ 2 m du sol, ce qui a pour effet d'atténuer les parasites d'origine superficielle.

Les variations importantes sont localisées par l'observation directe du galvanomètre ou repérées graphiquement sur un enregistreur portable (Figure 5b) de 0,9 kg.

Cette méthode est surtout employée pour une localisation rapide des anomalies magnétiques, pour la recherche des objets métalliques sur un site à prospector, objets qui sont à l'origine d'anomalies gênantes.

Une reconnaissance peut être envisagée également dans le cas où on cherche à délimiter l'extension d'une anomalie afin de mieux préciser la zone de prospection proprement dite.

Si toutes ces applications sont intéressantes, puisqu'elles ne mobilisent qu'une seule personne, elles sont toutefois vite limitées. La mesure n'est pas différentielle et les perturbations magnétiques sont engendrées par l'équipement même ; il s'avère obligatoire de pratiquer cette méthode dans des milieux à contraste magnétique suffisamment élevé, à moins d'employer deux porteurs

3.2.2. Deux porteurs

Le matériel est réparti entre les deux porteurs, comme le montre la figure 5c. Il est alors possible de faire une reconnaissance sur des milieux à contraste magnétique relativement faible. L'appareillage léger a été éprouvé sur un filon de barytine - blende - galène à Condorcet à l'Est de Nyons dans les Baronnies et

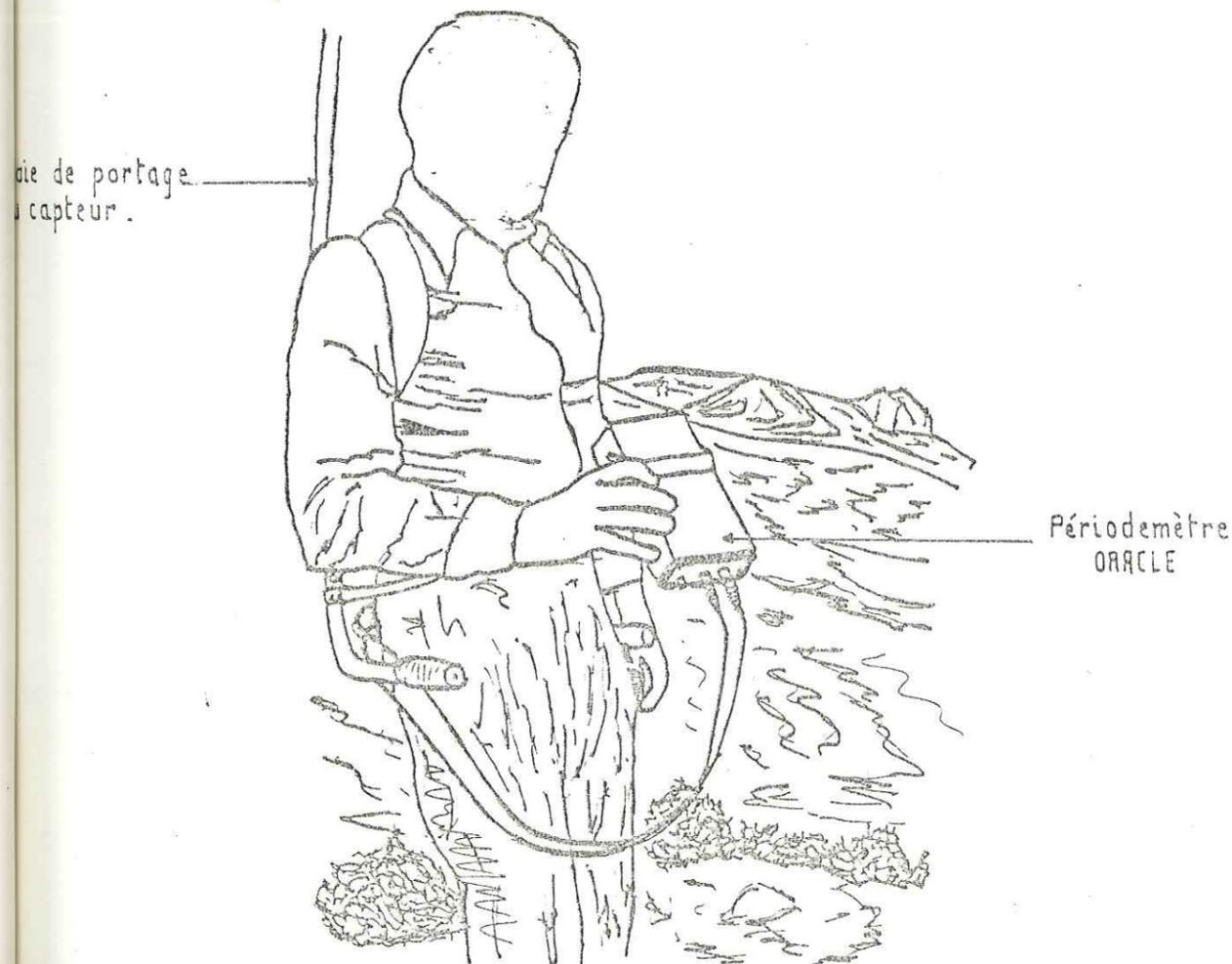
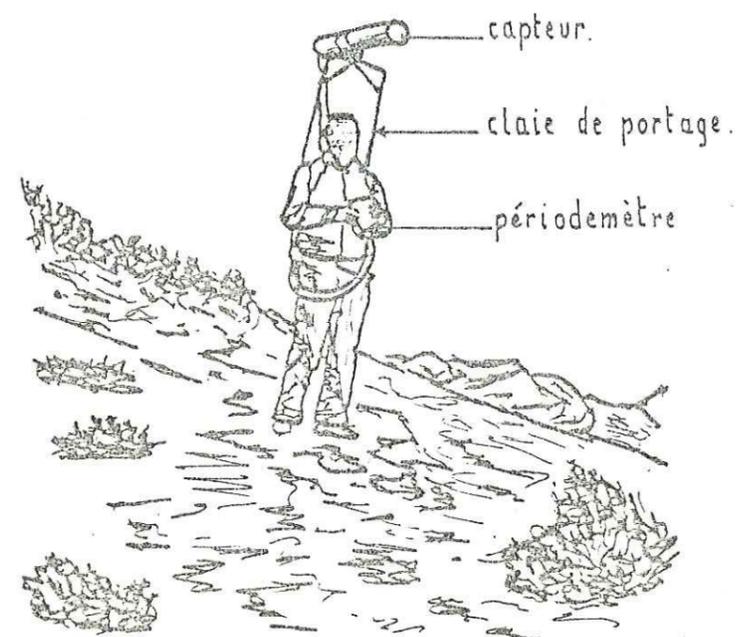


Fig. 5a. Méthode de reconnaissance : un porteur (capteur - périodemètre).

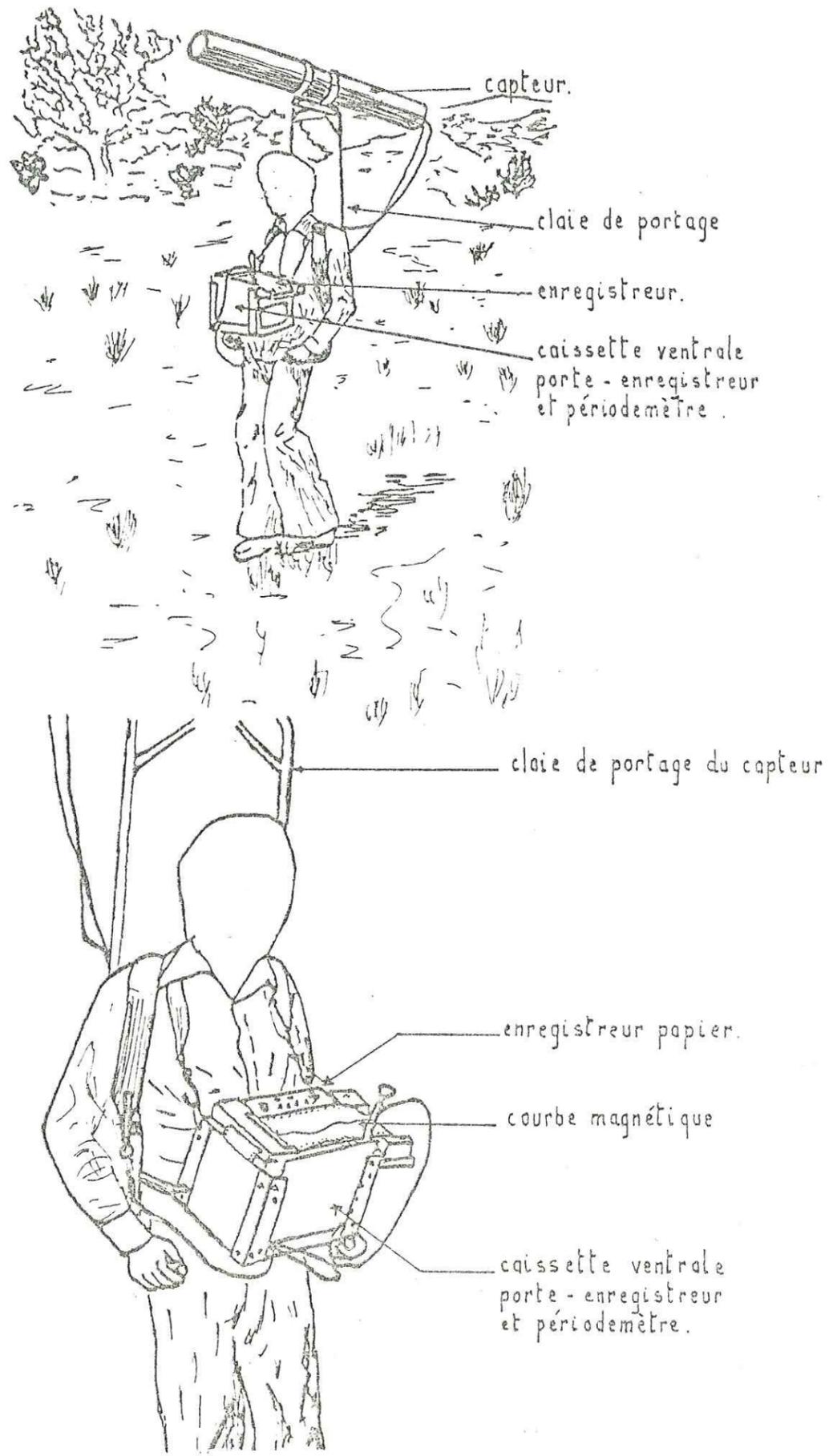


Fig. 5b. Méthode de reconnaissance : un porteur (capteur, périodemètre, enregistreur.)

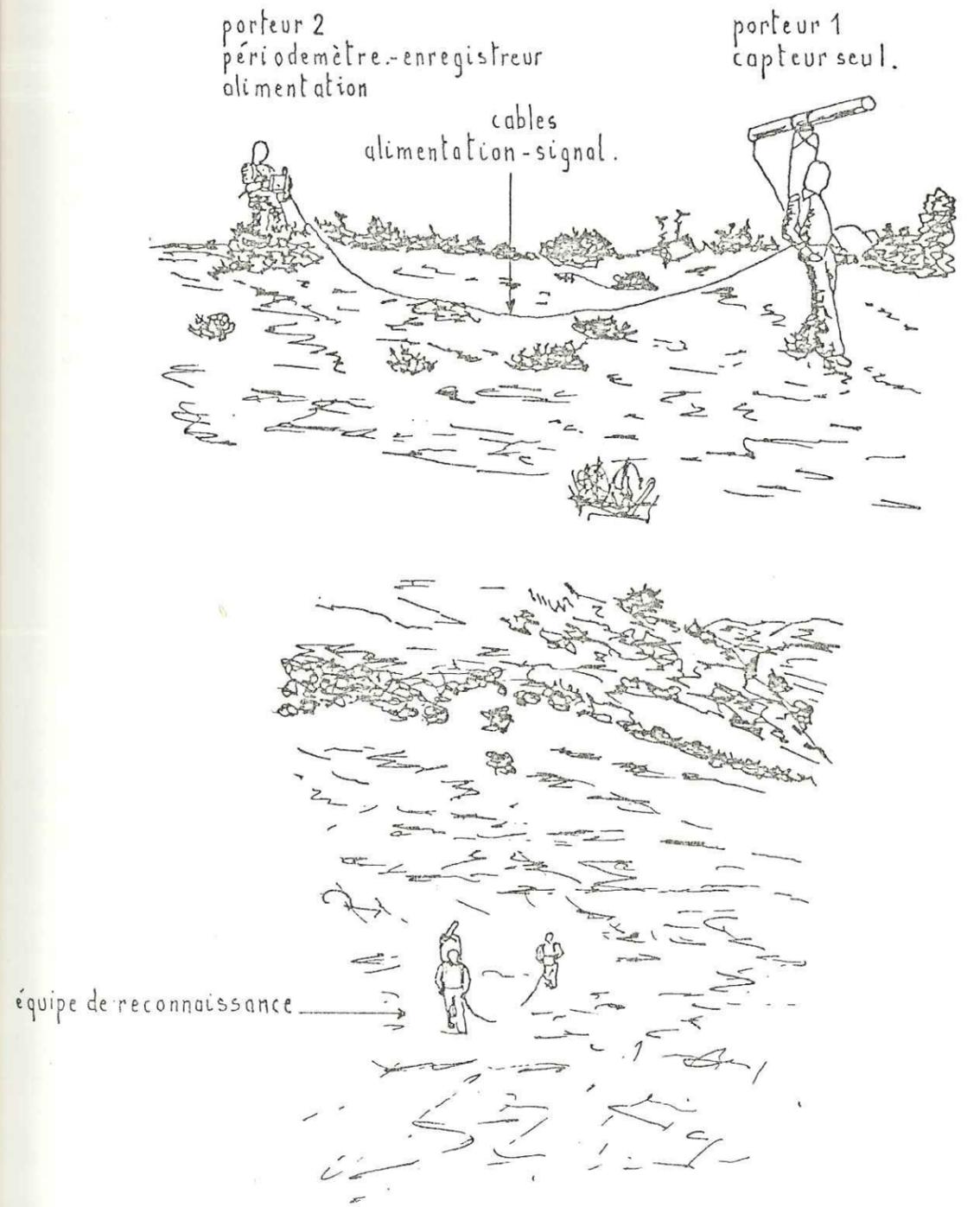


Fig. 5c. Méthode de reconnaissance: deux porteurs (capteur - périodemètre - enregistreur.)

qui marque un contact Trias-Lias (figure 6 a). Bien que les effets magnétiques en terrains sédimentaires soient faibles, la méthode de reconnaissance à deux porteurs a montré son efficacité. La figure 6 b représente une partie de l'enregistrement graphique effectué à l'aplomb du filon et qui est marqué par un effet de 2γ d'amplitude.

Deux autres passages au-dessus du filon ont permis de confirmer la relation existant entre la minéralisation et l'effet magnétique enregistré.

3.2.3. Conclusion

Après les divers essais sur le filon de Condorcet, il est apparu intéressant de poursuivre les travaux dans ce sens. Cet appareillage constitue un peu le prototype du futur matériel de prospection qui, à la différence de celui-ci, permettra la mesure différentielle avec une sensibilité supérieure.

En outre, une prospection fine n'a pu être envisagée et reste à faire sur cette région qui présente un grand intérêt pour la reconnaissance de structures profondes dont le rôle joué dans la minéralisation de cette région reste à préciser.

3.3. METHODES DE PROSPECTION FINE (Figures 7 a, 7 b, 8 a, 8 b)

Au cours des prospections effectuées sur les différents sites envisagés, diverses méthodes de prise de mesure ont été éprouvées. On est amené à distinguer 2 types de prospection :

- la prospection au sol
- la prospection avec un ballon captif.

Cette deuxième méthode a été expérimentée et mise au point sur le gisement de Saint-Véran.

3.3.1. Méthodes au sol (Figures 7 a, 7 b)

Les différents éléments constituant le magnétomètre différentiel se répartissent en 3 groupes :

- une station de référence,
- une équipe mobile,
- une station de mesure et d'enregistrement.

La station de référence se compose d'un capteur et d'un émetteur, à moins qu'elle ne soit reliée directement par câble à la station de mesure.

Le capteur émet en permanence les variations temporelles du champ magnétique ; il est placé en un point où le gradient magnétique est faible.

L'équipe mobile se déplace sur le terrain à prospecter. Le capteur est placé, horizontalement, sur une claie de portage et il émet les variations spatiales et temporelles du champ magnétique vers la station de mesure.

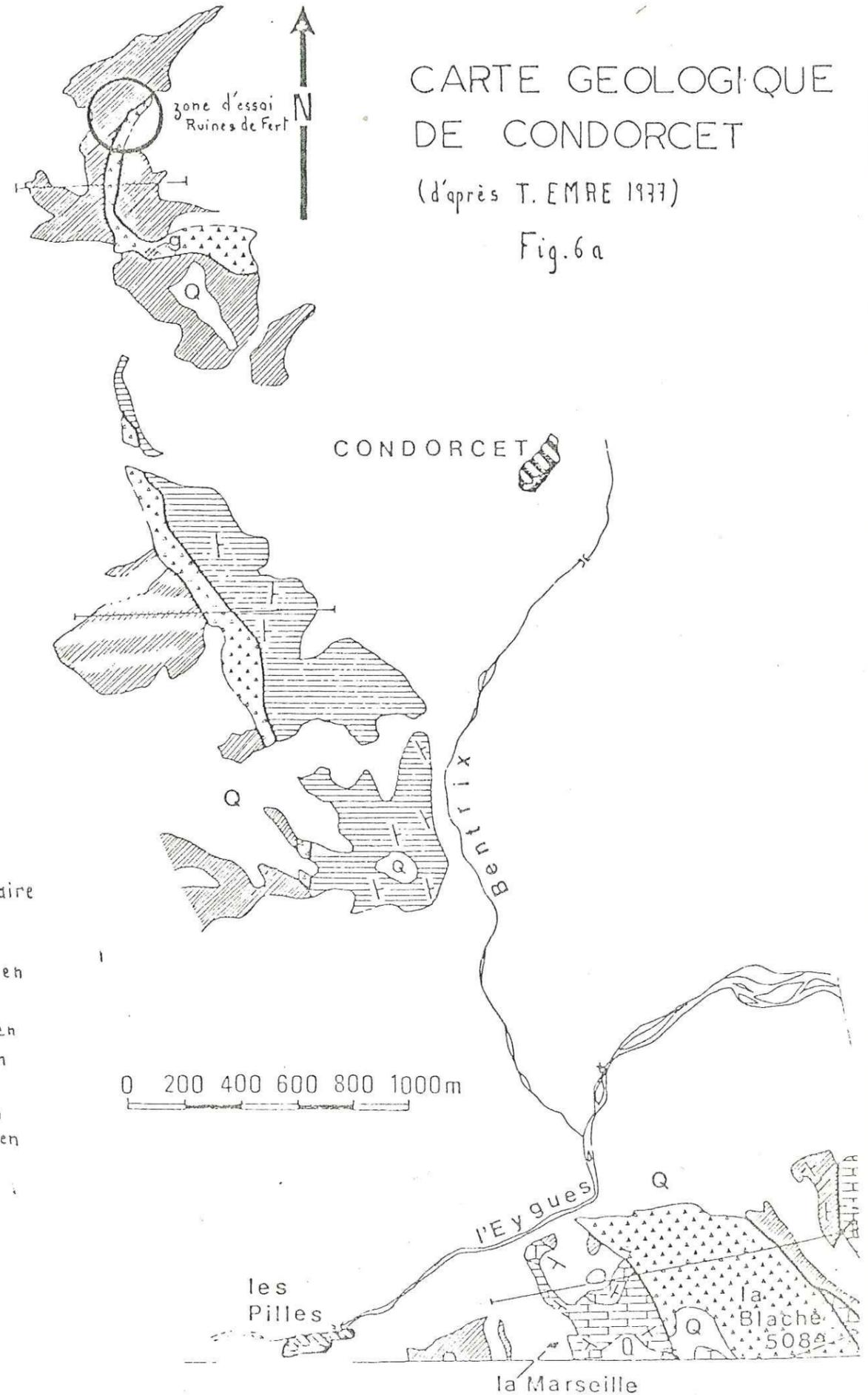
La station de mesure comprend un équipement de réception des signaux radios en provenance des capteurs de référence et mobile. Le fréquencemètre numérique différentiel reçoit les deux fréquences et fait apparaître la valeur différentielle, à la fois sur une baie de visualisation et sur un enregistreur graphique. Actuellement ces différentes valeurs sont également enregistrées sur bande papier.

La prospection au sol peut se faire de deux manières suivant la topographie ou la végétation du terrain d'étude ; on distingue :

- l'enregistrement continu (Figure 7 a)

légende

- Q Quaternaire
- Néocomien
- Oxfordien Argovien
- Callovien Bathonien
- Trias



CARTE GEOLOGIQUE DE CONDORCET

(d'après T. EMRE 1977)

Fig. 6 a

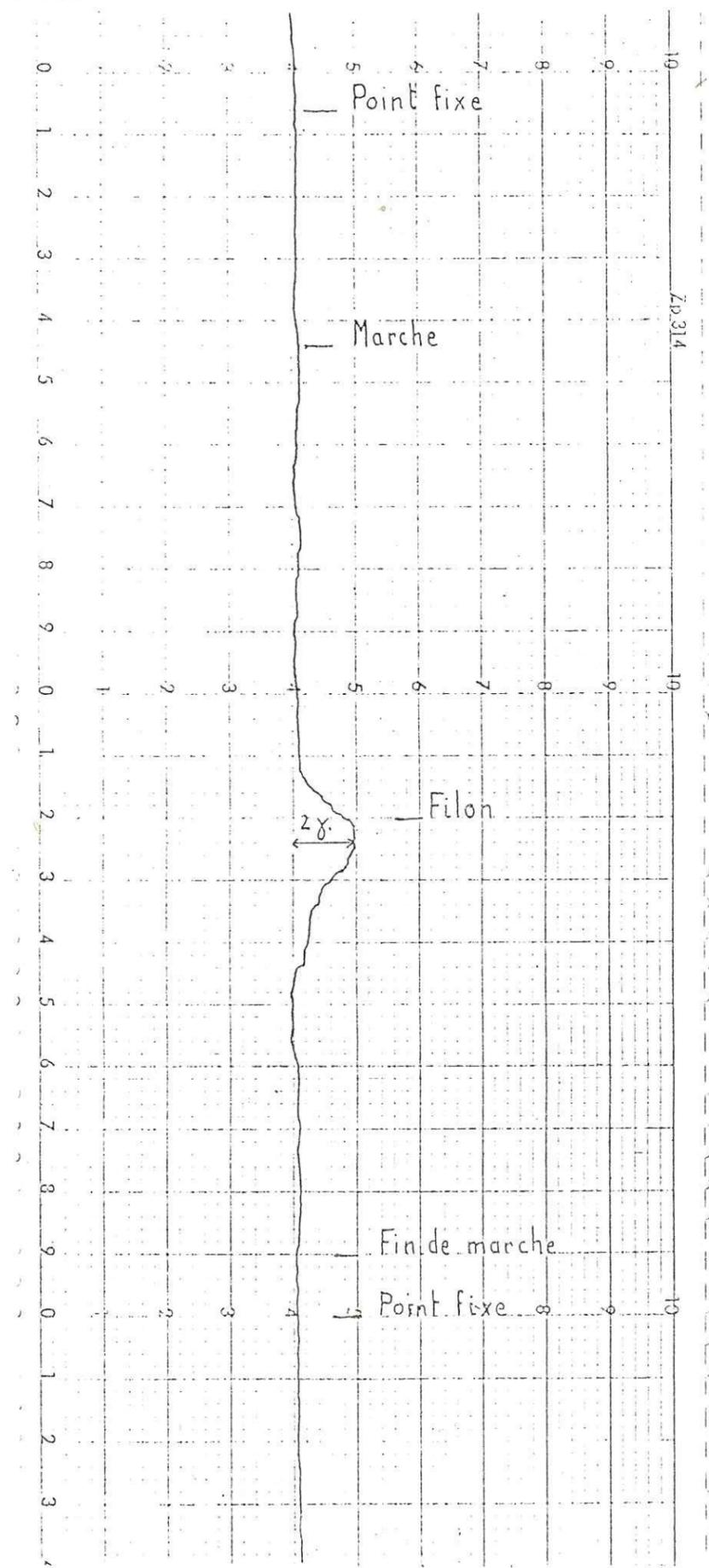


Fig.6b. Résultat de la reconnaissance à 2 porteurs sur le filon de Condorcet.

- l'enregistrement point par point (Figure 7 b)

3.3.1.1. Mesure continue (Figure 7 a)

L'équipe mobile se déplace suivant une allure régulière le long d'un profil marqué par des piquets disposés régulièrement (de 5 à 10 m) qui permettent une localisation précise.

L'évolution de la marche est commentée par le second porteur à l'opérateur de la station de mesure. Les repères topographiques, ainsi que les début et fin de chaque profil, sont signalés afin que toutes les indications figurent sur la bande perforée et le papier enregistreur.

Si la topographie est trop accidentée, ou la végétation trop dense ce qui empêche la marche régulière de l'équipe mobile, il est préférable de procéder à la mesure discontinue en point par point.

3.3.1.2. Mesure point par point (Figure 7 b)

Dans un milieu forestier, les mesures se font uniquement à l'aplomb des piquets de topographie. Le capteur est hissé verticalement à 4 mètres du sol et positionné à l'aplomb du point de mesure. Les coordonnées du point sont transmises à l'opérateur, de la station de mesure, qui enclenche l'enregistreur graphique et le perforateur de bandes, en ayant pris soin, au préalable, d'inscrire les indications du repère du point de mesure.

L'équipe mobile se déplace d'un point à un autre. Cette méthode a été surtout employée dans l'étude haute sensibilité du filon du Sapey (Maurienne) alors que la précédente s'adaptait mieux au site de Saint-Véran. C'est sur ce même site qu'une prospection au moyen d'un ballon captif a été expérimentée. Il semble que cette méthode convienne plus particulièrement aux milieux fortement magnétiques.

3.3.2. Méthode "ballon" (Figures 8 a, 8 b)

Cette méthode conserve, toujours, la même répartition suivant trois groupes.

Toutefois, l'équipe mobile se réduit maintenant à une seule personne. Le porteur du capteur est un ballon météorologique gonflé à l'hélium. Ce ballon est tenu captif par le porteur de l'émetteur. Les différents essais de stabilité ont démontré qu'une seule personne maintenant mieux le ballon à l'aplomb d'un point, que trois.

Avec cette méthode, seule la mesure point par point est possible. Les essais de mesure continue sont peu concluants. Le ballon peut monter le capteur à 25, 50 mètres, ou plus, ce qui entraîne une disposition en conséquence des points de mesure au sol, dont l'intervalle doit être, au plus, égal à cette hauteur.

Le déplacement sur le terrain est facile et cette méthode permet de couvrir une surface importante en peu de temps.

La prise de mesure à différentes hauteurs est très intéressante pour l'interprétation, comme on le verra par la suite.

En outre, 25 et 50 mètres sont les hauteurs les mieux adaptées à la prospection minière et que, seul, le ballon captif peut atteindre.

Un petit nombre de points de mesure fournit une information suffisante.

Malheureusement, cette méthode est tributaire des conditions météorologiques. Un problème de positionnement précis reste à résoudre également.

L'emploi d'un ballon entraîne un transport supplémentaire de matériel lourd (bouteilles d'hélium). Enfin, la présence d'arbres empêche l'utilisation de cette technique. Malgré tout, les essais effectués à Saint-Véran et les résultats obtenus sont tout à fait exploitables.

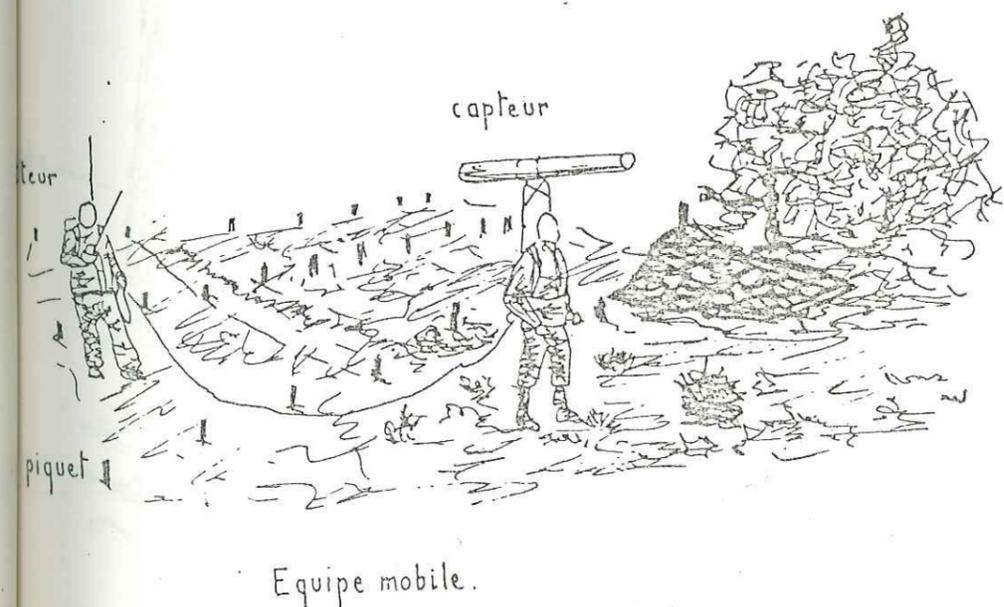


Fig. 7a. Méthode au sol : mesure continue.

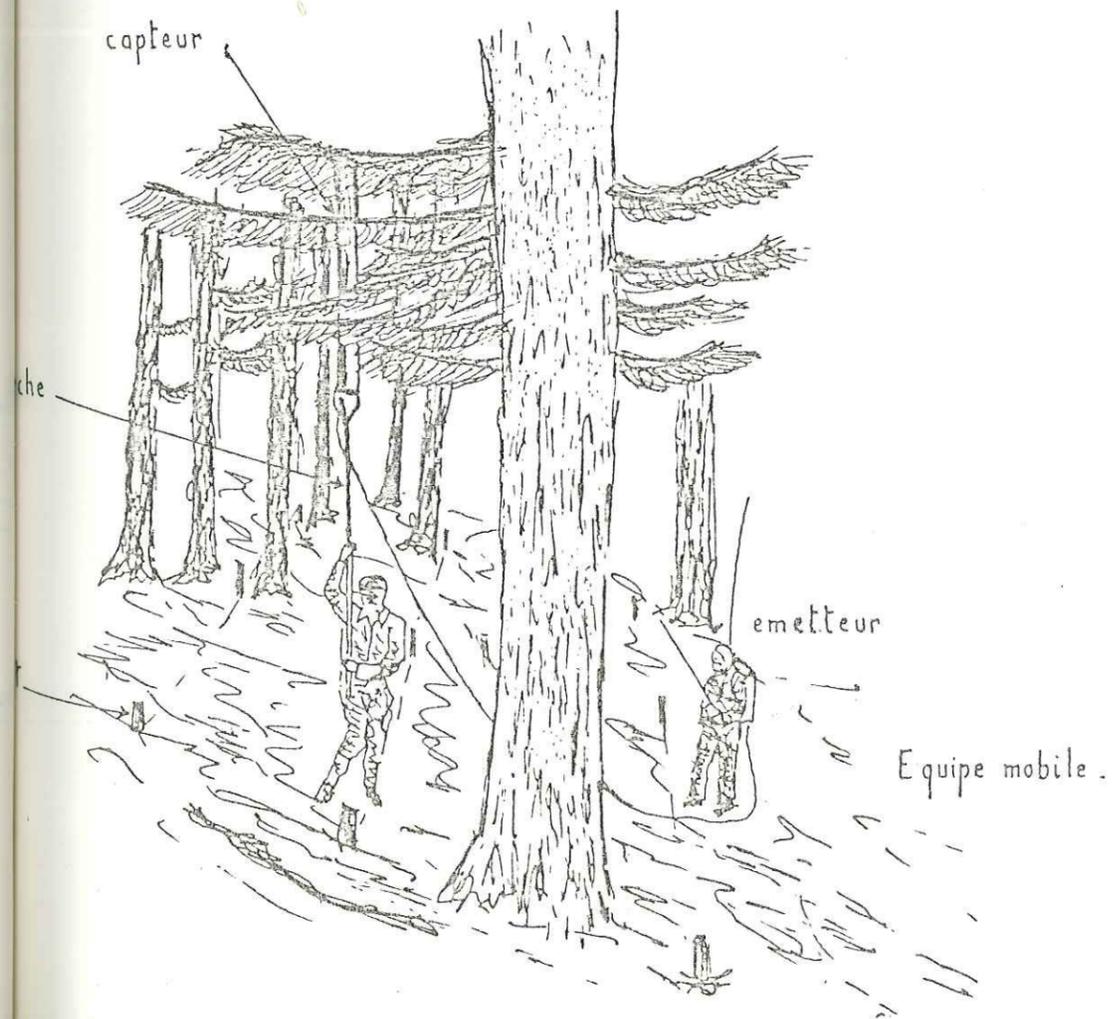
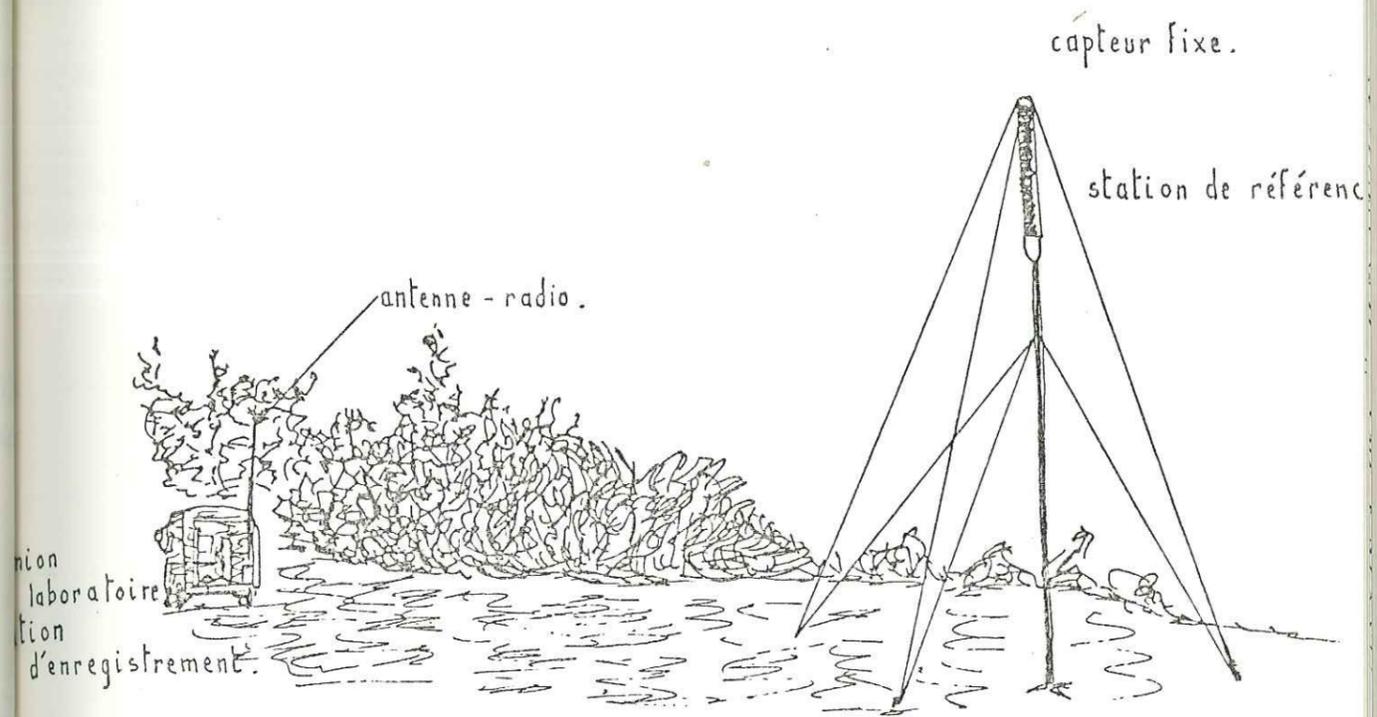


Fig. 7b . Méthode au sol: mesure point par point .

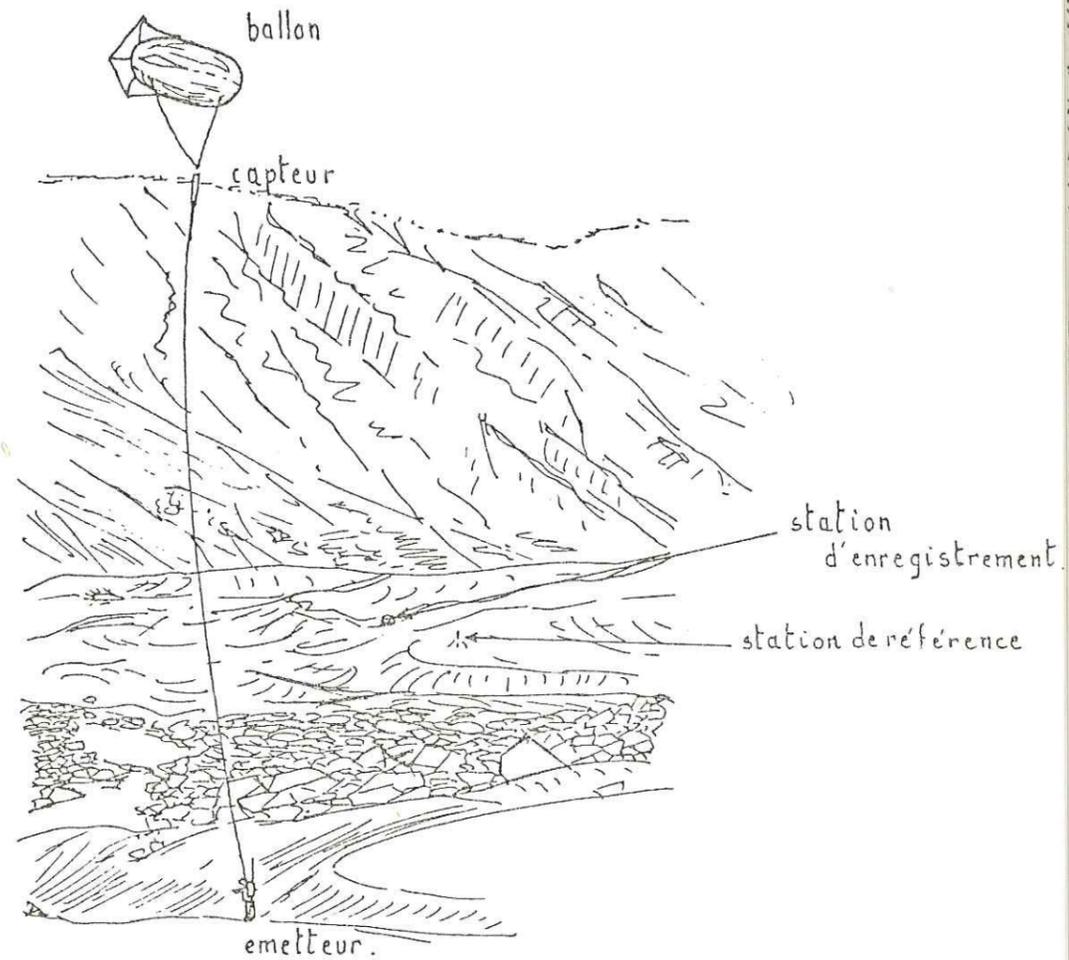


Fig. 8a. Méthode "ballon" : vue d'ensemble.

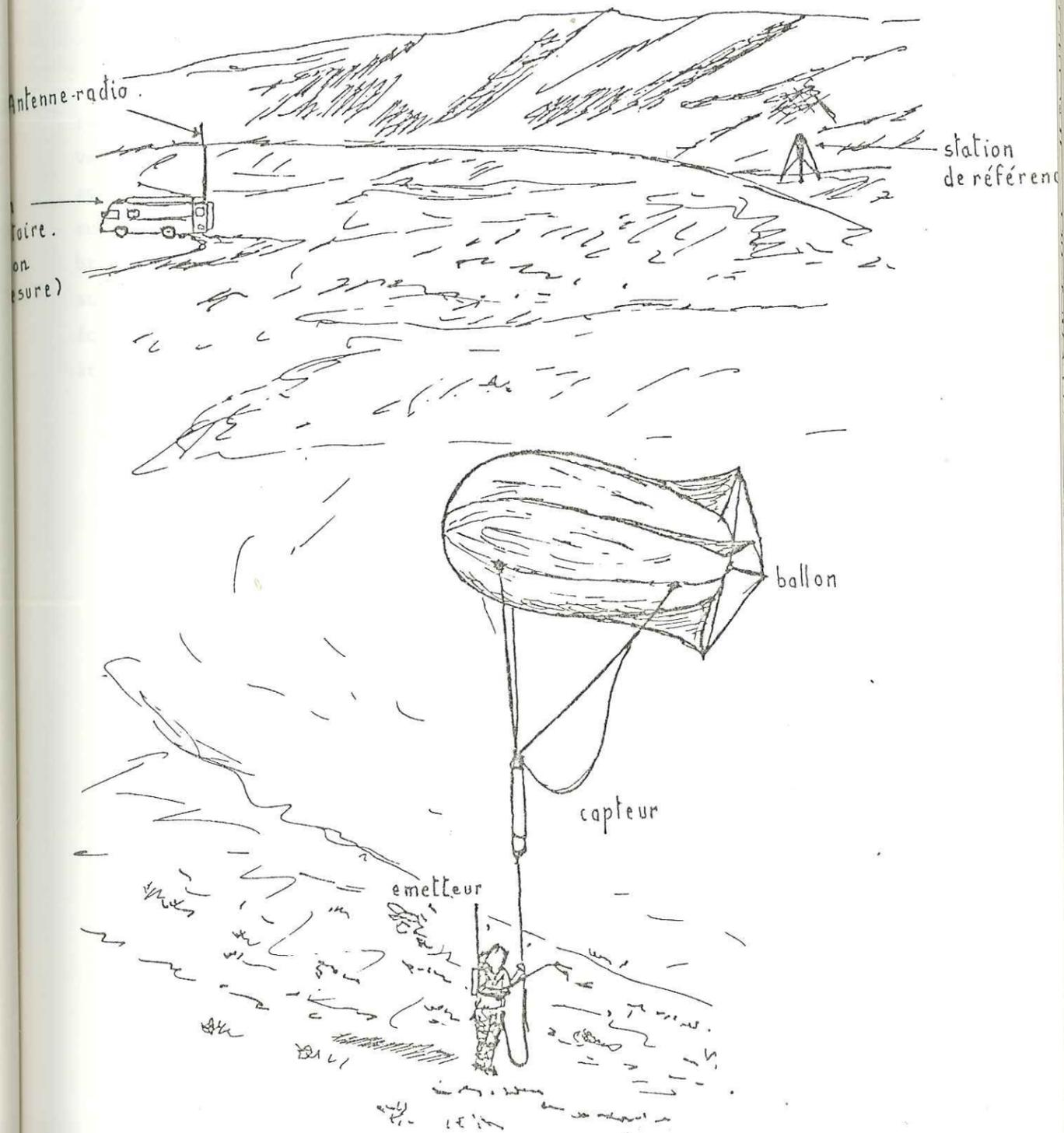


Fig. 8 b . Méthode "ballon" : répartition de l'appareillage .

3.4. CONCLUSIONS

Les différentes méthodes décrites et éprouvées sur le terrain montrent combien l'appareillage est facilement adaptable suivant les problèmes techniques. De nouvelles possibilités semblent apparaître avec l'amélioration de la technologie (enregistrement sur cassette, en particulier) et elles permettent d'envisager à brève échéance une technique de prise de mesure en différentiel au sol avec un matériel léger, en rendant totalement indépendants équipe mobile et station de référence par la suppression de la station de mesure.

D - PROSPECTION DU FILON DU SAPEY - ROCHERAY

1 - INTRODUCTION

2 - GEOLOGIE

3 - PROSPECTION MAGNETIQUE

Chapitre 1 :

INTRODUCTION

Le choix de ce site a été déterminé par la nature minéralogique du filon afin d'éprouver le magnétomètre différentiel haute sensibilité dans la prospection de minerai peu magnétique. C'est donc essentiellement dans un cadre d'essai d'appareil que cette étude magnétique présente un intérêt.

Chapitre 2 :

GEOLOGIE

2.1. LOCALISATION

Cette étude concerne le massif granitique du Rocheray, carte I.G. au 1/20 000 : Saint Jean de Maurienne n° 3 - (figure 9), sur la commune de Jarrier.

Le filon affleure dans la forêt du Sapey en formant une corniche, parfois même une falaise importante (cote 1560).

On accède au massif par la route de Jarrier en prenant après ce village le chemin de la maison forestière de Loulla. A partir de là, on emprunte la route forestière menant aux châlets de la Balme.

La figure 15 permet de mieux situer les zones qui ont fait l'objet d'une étude magnétique.

2.2. DONNEES GEOLOGIQUES ET MINIERES

Le massif granitique du Rocheray a déjà fait l'objet d'étu-

des précises, aussi bien sur le plan pétrographique (VATIN - PERIGNON 1966), que minier (CHERMETTE 1962). Ces informations constituent un apport important de données qui sont exploitées parallèlement aux résultats magnétiques.

2.2.1. Pétrographie

2.2.1.1. Couverture sédimentaire

Le Trias

N. VATIN - PERIGNON 1966 le décrit avec précision en distinguant les termes suivants :

la série triasique débute par des arkoses, "roches très cristallines, grises, où les petits grains de quartz détritique sont toujours bien visibles. Il se poursuit par des dolomies et schistes jaunes, puis par des calcaires dolomitiques à patine capucin. La base de ces calcaires est souvent bréchique. Des calcaires à silex noirs et des bancs de dolomie claire terminent la série". Au-dessus reposent des coulées de spilites.

Le Lias

La série liasique est décrite comme celle de R. BARBIER 1944,
- lacune du Lias inférieur,
- brèches de base à éléments dolomitiques et spilitiques,
- calcaires gris,
- calcschistes gris clair à blancs.

Cette série constitue le Lias moyen suivi par des schistes noirs à patine rouille.

2.2.1.2. Le granite de la forêt du Sapey

VATIN - PERIGNON 1966 distingue les faciès suivants :

"a) granite normal, plus ou moins foncé, souvent cataclastique et altéré, parfois chargé d'un peu de mica blanc ;

- b) les faciès granitiques riches en biotite ;
- c) les faciès de contact granite - amphibolites grenues ;
- d) les granites mylonitiques ;
- e) le granite hololeucocrate de Crève - Coeur."

Le granite qui affleure sur les secteurs étudiés présente plutôt le faciès du type de granite mylonitique.

"Les faciès régulièrement schisteux sont bien observables sur toute la bordure méridionale du granite. Ils sont écrasés et nettement orientés spécialement depuis le ruisseau de la Froidière au Sud, jusqu'au chalets de la Balme. Au niveau de la Balme leur direction est N 30° E avec des pendages de 30° environ au S E "

2.2.2. Tectonique

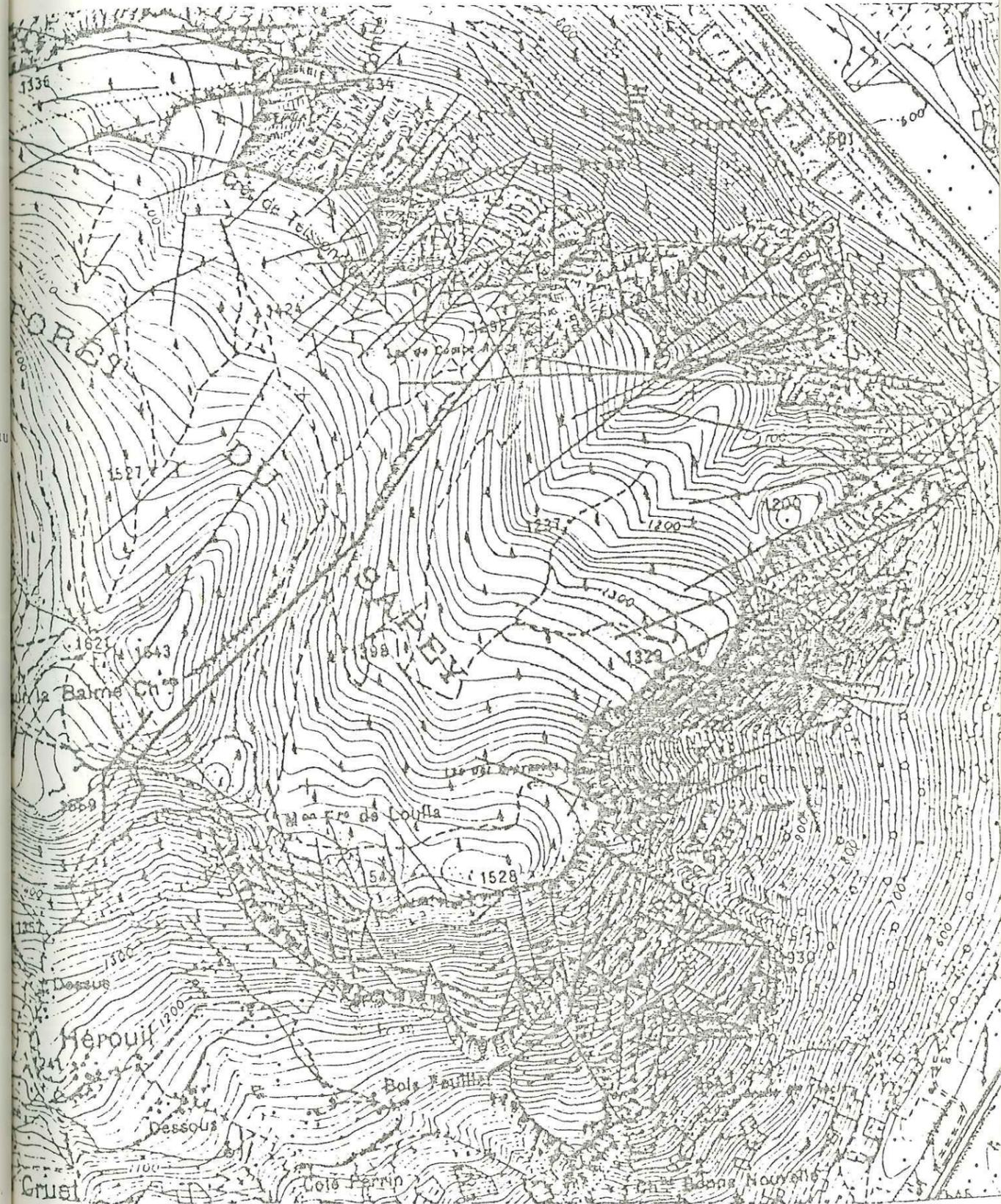
Les principales directions mises en évidence par N. VATIN-PERIGNON (1966) sont classées par ordre d'importance, d'abord la direction moyenne N 20° E, puis la direction N 40° E se manifestant surtout sur la bordure méridionale du massif ainsi que les directions N 135° E et N 60° E.

2.2.3. Fracturation

En complément à cette étude, il m'est apparu intéressant d'envisager une approche de la fracturation par une interprétation photogéologique de la carte du Rocheray extraite de la feuille Saint Jean de Maurienne n° 3.

2.2.3.1. Interprétation photogéologique (figure 9)

Les photographies aériennes I.G.N. agrandies de la mission 1956 Bonneville - Saint Jean de Maurienne nous ont permis de faire une étude de l'ensemble du vaste secteur dans lequel s'inscrit notre prospection magnétique.



INTERPRETATION PHOTOGEOLOGIQUE DU ROCHERAY - Fig.9



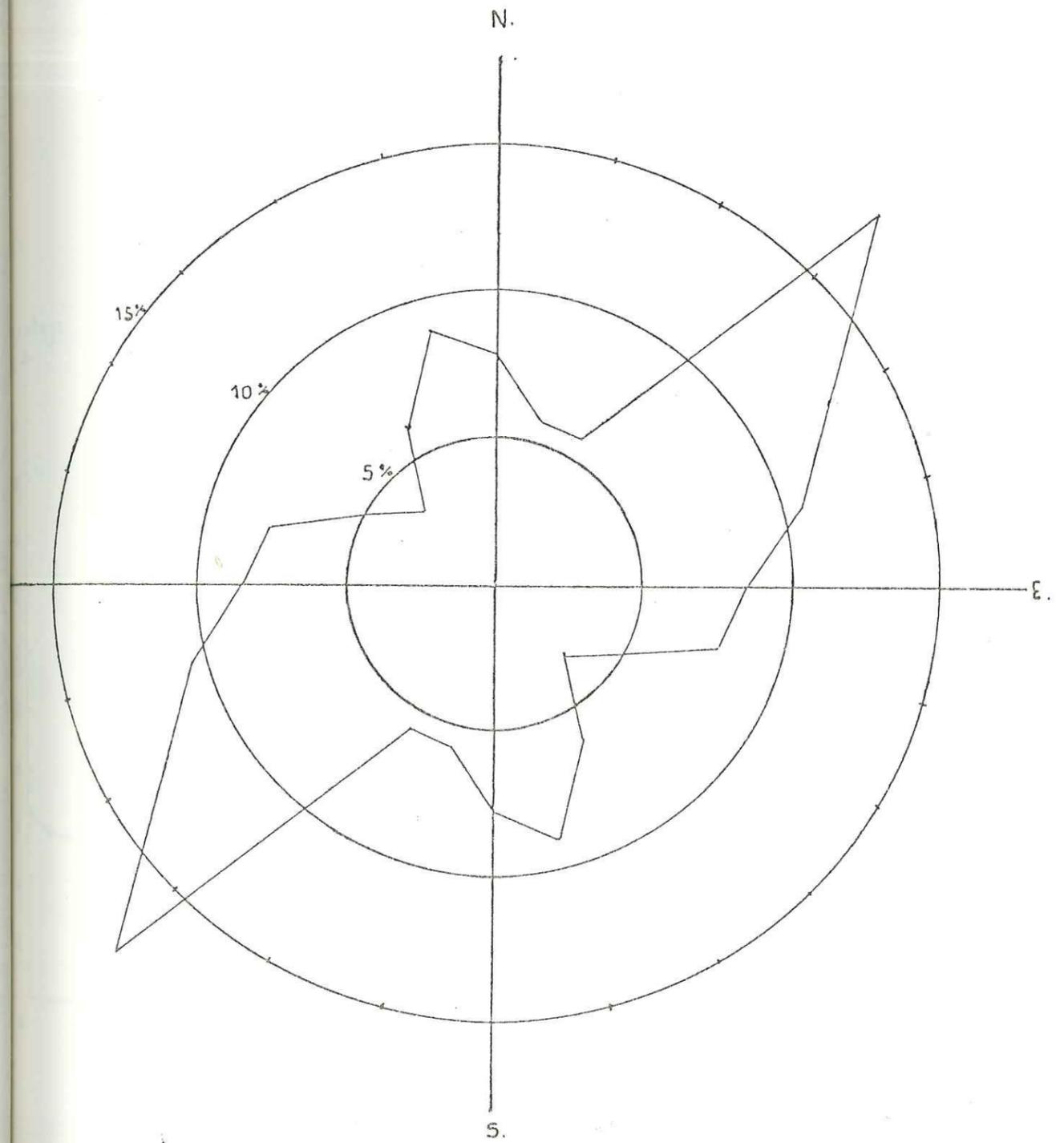


Fig. 10a. Rosace des alignements relevés sur la figure 9.

ROCHERAY

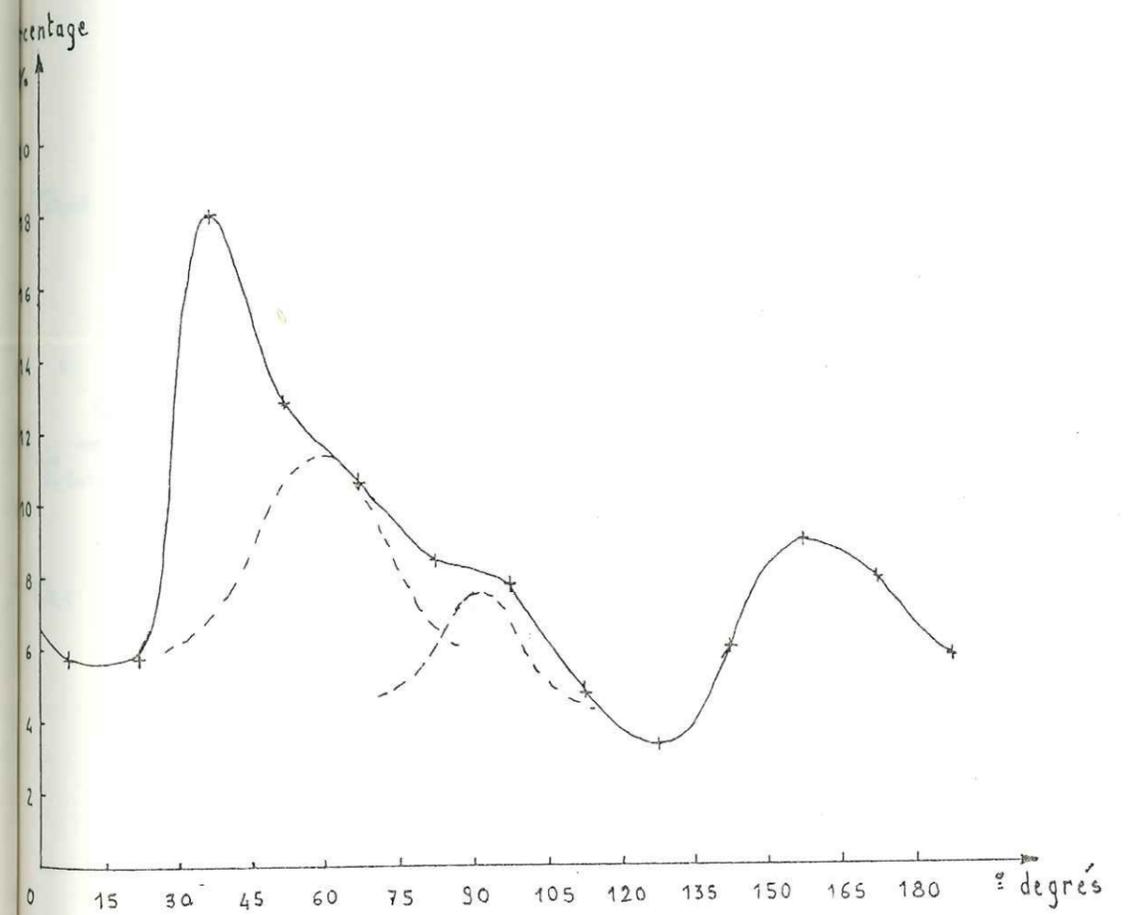


Fig. 10 b. Graphique des alignements relevés sur la figure 9.

ROCHERAY

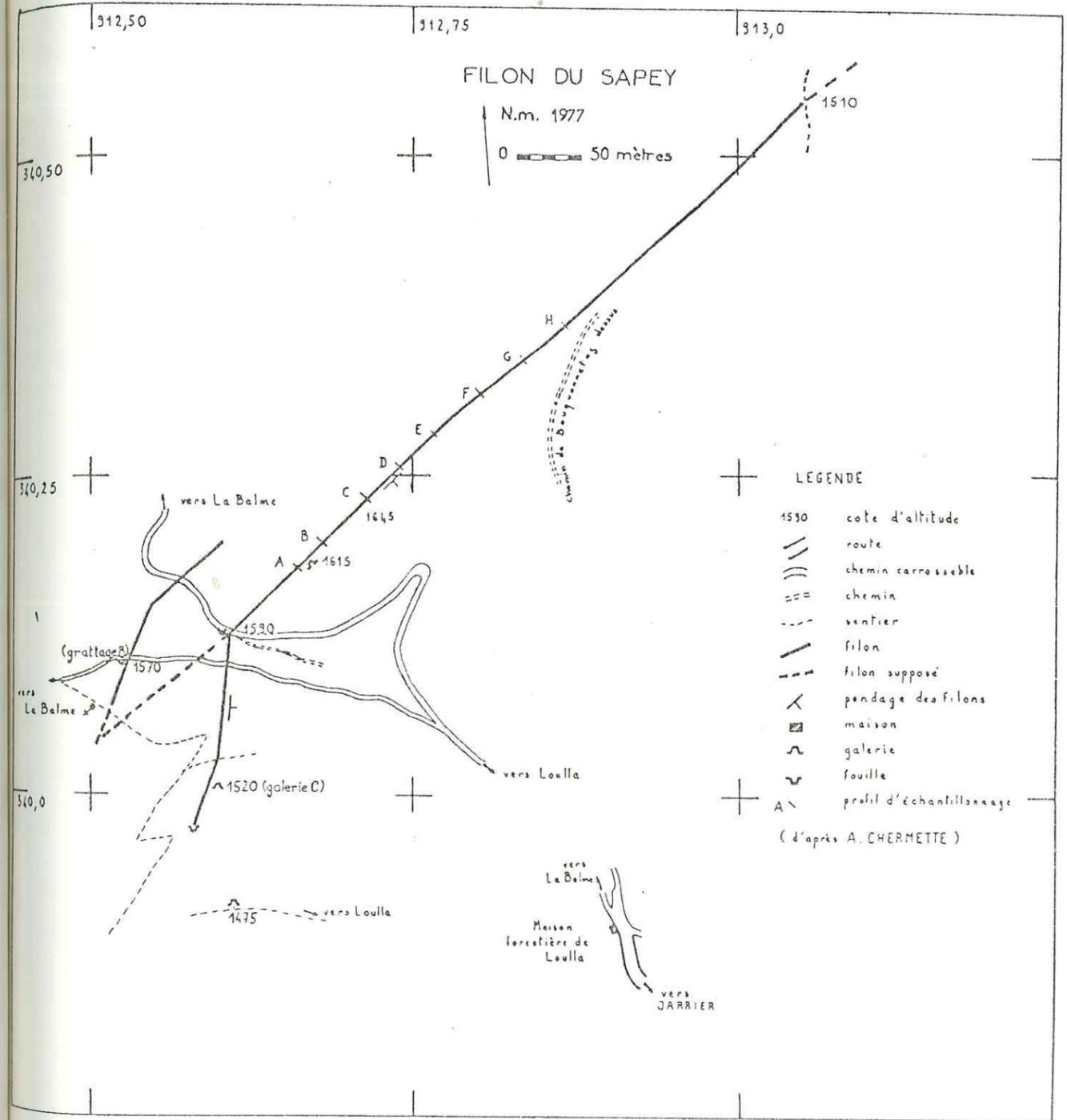
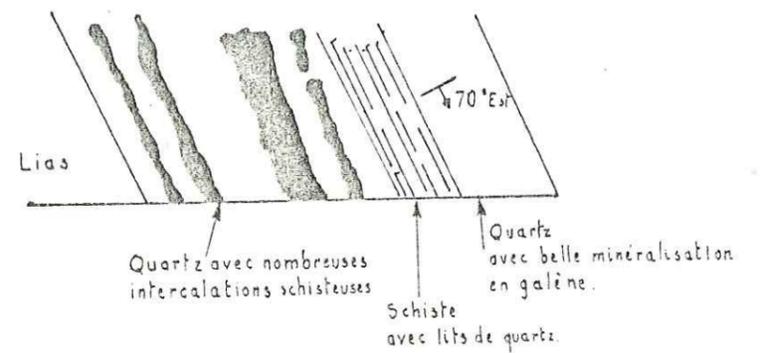


Fig. 11

COUPE -- PROFIL -- ECHANTILLONNAGE --
(FILON DU SAPEY)

Fig. 12a. Coupe prise à la cote 1540

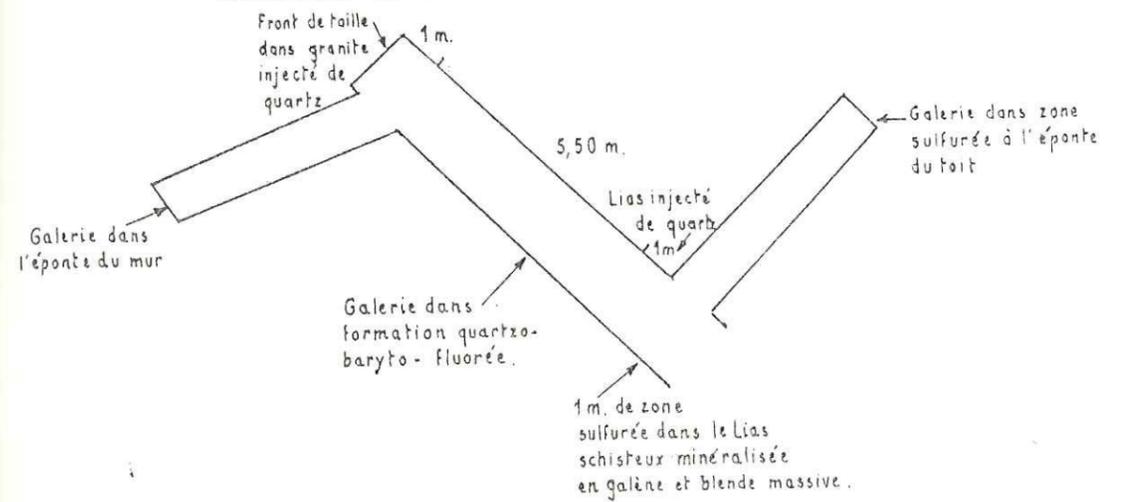
0 2 4 6 8 10 mètres.



Nota: minéralisation:
calco et oxycarbonates juste au contact du mur.
galène semblant localisée aux épontes des bandes quartzieuses avec pyrite de fer.

Fig. 12b. Galerie A dans la formation

0 2 4 mètres



(d'après A. CHERMETTE)

COUPE-PROFIL-ECHANTILLONNAGE-

(FILON DU SAPEY)

Fig. 13a. Formation aberrante Ouest: grattage B

0 0,50 1 mètre

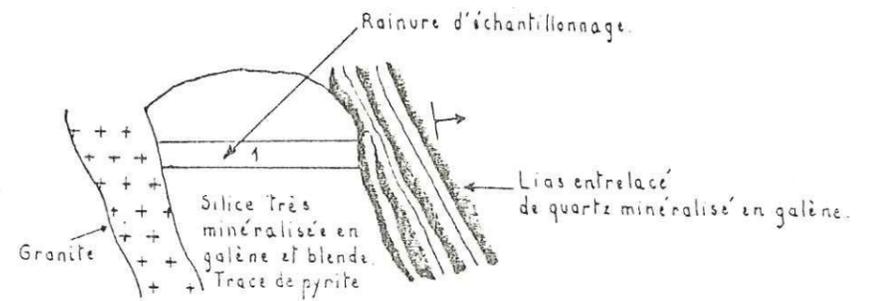
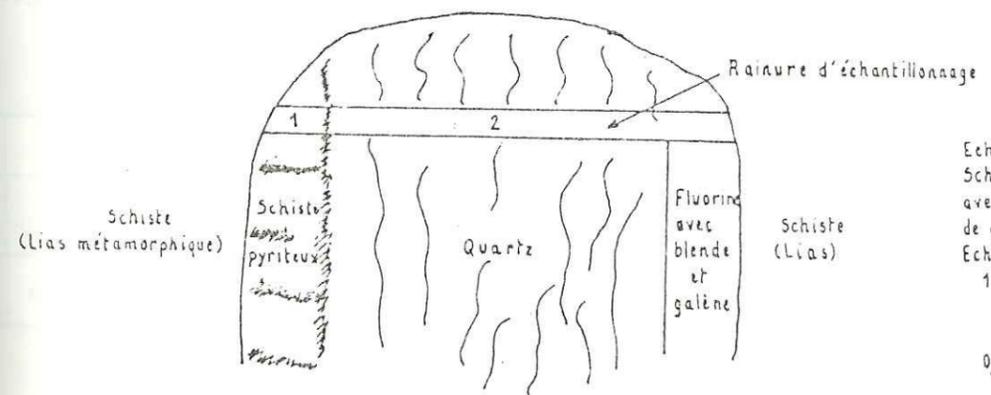


Fig. 13 b. Formation aberrante Est: galerie C

0 0,50 1 mètre



Echantillon 1 = 0,50 m.
Schistes pyriteux sombres avec des filonnets de quartz pyriteux
Echantillon 2 = 1,30 m.
1 m = quartz à grains fins très durs avec blende et galène.
0,30 m = au toit, fluorine avec blende et galène.

(d'après A. CHERMETTE)

La vision directe et stéréoscopique des photos permet de mettre en évidence de nombreux alignements qui sont relevés systématiquement.

Le travail est assez délicat ; certaines directions sont accentuées par des effets d'ombre liés à l'heure de la prise de vue. Une autre source d'erreurs peut être attribuée à la topographie très accidentée du secteur étudié.

Toutefois, l'analyse s'effectue en tenant compte de ces limitations et permet de faire ressortir les principales familles de fracturation ainsi que leur importance respective.

2.2.3.2. Détermination des familles de fracturation

Le relevé systématique terminé (figure 9), on reporte la direction et la longueur de chaque trait dans un tableau, en groupant les directions par intervalles de 15°. Après sommation, on détermine l'importance des diverses familles sous forme de pourcentage.

Par ordre d'importance décroissante, les résultats en pourcentage sont les suivants :

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
30 - 45°	45 - 60°	60 - 75°	150 - 165°	75 - 90°	165 - 180°	90 - 105°	135 - 150°	15 - 30°	0 - 15°	105 - 120°	120 - 135°
17,94%	12,73%	10,55%	8,92%	8,43%	7,88%	7,82%	6%	5,80%	5,78%	4,78%	3,38%

La rosace de la figure 10a traduit en coordonnée polaire les données numériques.

Les résultats sont également présentés sur un graphique rectangulaire avec en abscisse l'orientation et en ordonnées les pourcentages (figure 10b).

Ces deux graphiques (figures 10a et 10b) montrent clairement l'existence de deux directions N 45° E et N 165° E bien individualisées et d'importance inégale : 18 % et 9 % respectivement.

La dissymétrie observée pour la direction N 45° E est manifeste. Elle traduit l'existence d'autres directions de fracturation comprises entre N 45° E et N 120° E, qui sont centrées sur N 60° E et N 90° E la première étant la plus importante.

Ces directions apparaissent nettement sur des rosaces basées sur des secteurs plus réduits ; cette constatation justifie le choix des directions N 60° et N 90° proposées.

2.2.3.3. Conclusions

Cette étude met en évidence l'importance de la fracturation N 45° E qui est la direction générale des minéralisations du Rocheray, que ce soient les filons du Sapey, du Bois-Feuillet et du Rocheray proprement dit. On remarque que les autres directions énumérées sont d'origine alpine ; toutefois les directions N 20° E et N 135° E décrites par N. VATIN - PERIGNON (1966) n'apparaissent pas dans notre zone d'étude. On peut l'attribuer au fait que notre analyse ne s'intéresse qu'à une partie du massif du Rocheray, ce qui n'exclut pas l'existence de ces accidents dans un autre secteur en dehors de nos limites d'investigation.

2.2.4. Données minières

Elles proviennent pour l'essentiel d'un rapport d'étude fait par A. CHERMETTE (1962). Ces données sont utilisées pour confronter et comparer les données magnétiques et minéralogiques.

2.2.4.1. Description du filon (figure 11)

Il s'agit d'un filon important de 5 à 10 mètres de puissance, de direction N 45° E et de pendage 70° vers le Sud Est, formant une faille importante en forêt (cote 1560).

2.2.4.2. Minéralogie

Elle est complexe et comprend du quartz, de la fluorine, de la barytine, de la calcite, ainsi que des sulfures (blende et galène).

"Les sulfures sont surtout concentrés au toit de la cassure. Une étude minéralogique a montré une dissémination assez fine de blende verte pâle et de galène, avec un peu de pyrite automorphe partiellement limonitisée et de cuivre gris associé à la covelline.

On note aussi la présence d'un peu de chalcopryrite avec enduits d'oxycarbonates et quelques encroûtements de nature calaminaire."

2.2.4.3. Description des travaux

La figure 11 répertorie les différents travaux dont le détail est mentionné dans la figure 12a et b.

2.2.4.4. Etude et résultats obtenus

La figure 13a et b illustre ces prélèvements par rainurage.

Les résultats d'analyse en pourcentage de la formation Ouest sont pour la fluorine : 38,5 % et pour la barytine : 1,70 %.

Pour la formation Est, l'échantillon 1 fournit 6,6 % de fluorine et 11,46 % de barytine, alors que l'échantillon 2 donne les résultats suivants : 39,3 % de Ca F₂ et 1,20 % de Ba SO₄. Les autres échantillonnages sont faits au marteau Cobra suivant 8 profils désignés de A à H (figure 11). Les analyses de chaque profil sont reportées sur des graphiques établis à partir des données de A. CHERMETTE (1962) : (figures 14a, b, c, d, e, f, g, h,). On porte en abscisse la distance en mètres tandis qu'en ordonnées sont reportées les hauteurs en mètres ainsi que le pourcentage de minerai recueilli.

Cette présentation originale des résultats d'analyse permet de mieux visualiser la minéralisation, son importance ainsi que ses va-

riations dans l'espace.

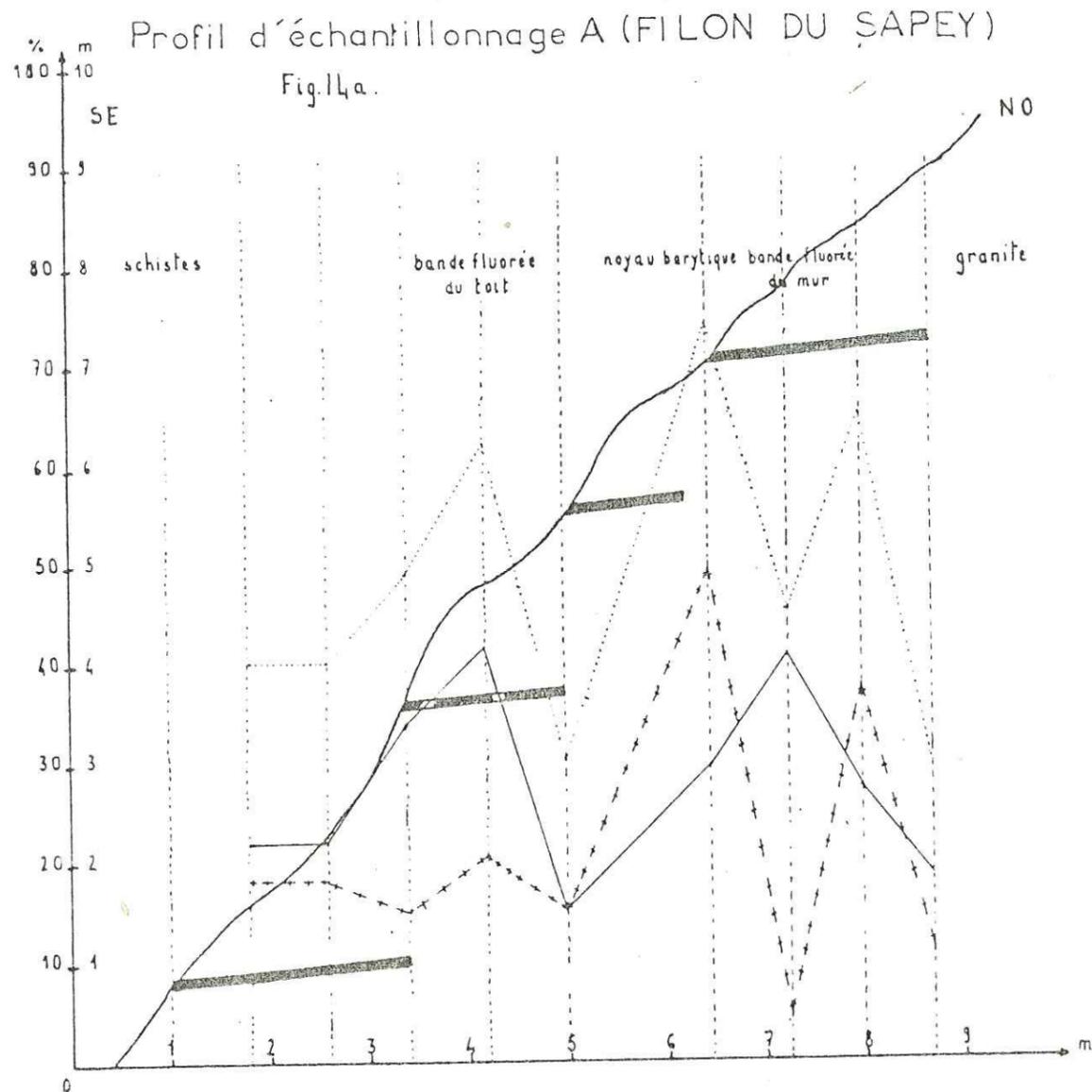
Il ressort que l'extrémité méridionale du filon se caractérise par une teneur appréciable en sulfures et un pourcentage important de fluorine au détriment de celui de la barytine. Les graphiques des échantillonnages montrent une teneur moyenne de fluorine plus élevée que celle de la barytine.

La plus forte concentration de fluorine semble plutôt localisée au toit du filon.

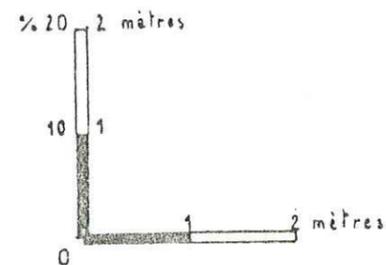
Le filon est régulier et puissant (8 à 10 m) du profil A (figure 14a) au profil F (figure 14f). Le graphique le plus représentatif de la minéralisation est celui du profil B (figure 14b). Elle se présente sous la forme de deux bandes fluorées qui encadrent un noyau de barytine. Cette disposition se retrouve dans les profils A à F, mais à la différence près que le noyau de barytine n'est pas continu, que la bande fluorée du mur disparaît fréquemment alors que celle du toit est constante.

Les profils G et H, plus au Nord, montrent également la persistance d'une bande fluorée de 0,70 à 0,80 mètres de puissance, avec des intercalations stériles importantes qui ont tendance à compartimenter la minéralisation.

Ces données minières nous fournissent des informations indispensables pour fixer des zones tests les plus favorables à une prospection magnétique.



Légende

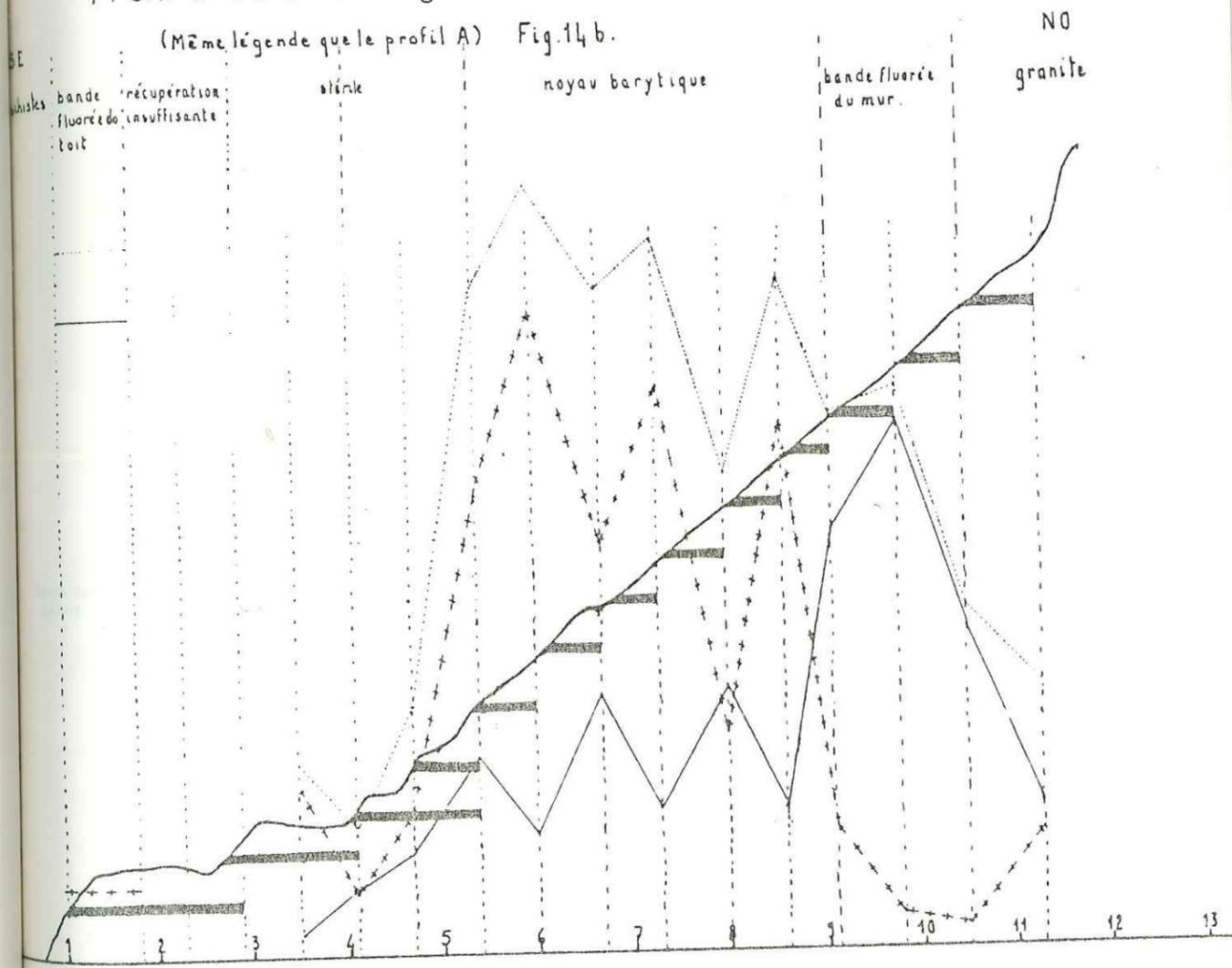


- profil topographique
- rainure d'échantillonnage
- | | épaisseur échantillonnée
- teneur en pourcentage de CaF₂
- + + + teneur en pourcentage de BaSO₄
- teneur en pourcentage de CaF₂ + BaSO₄

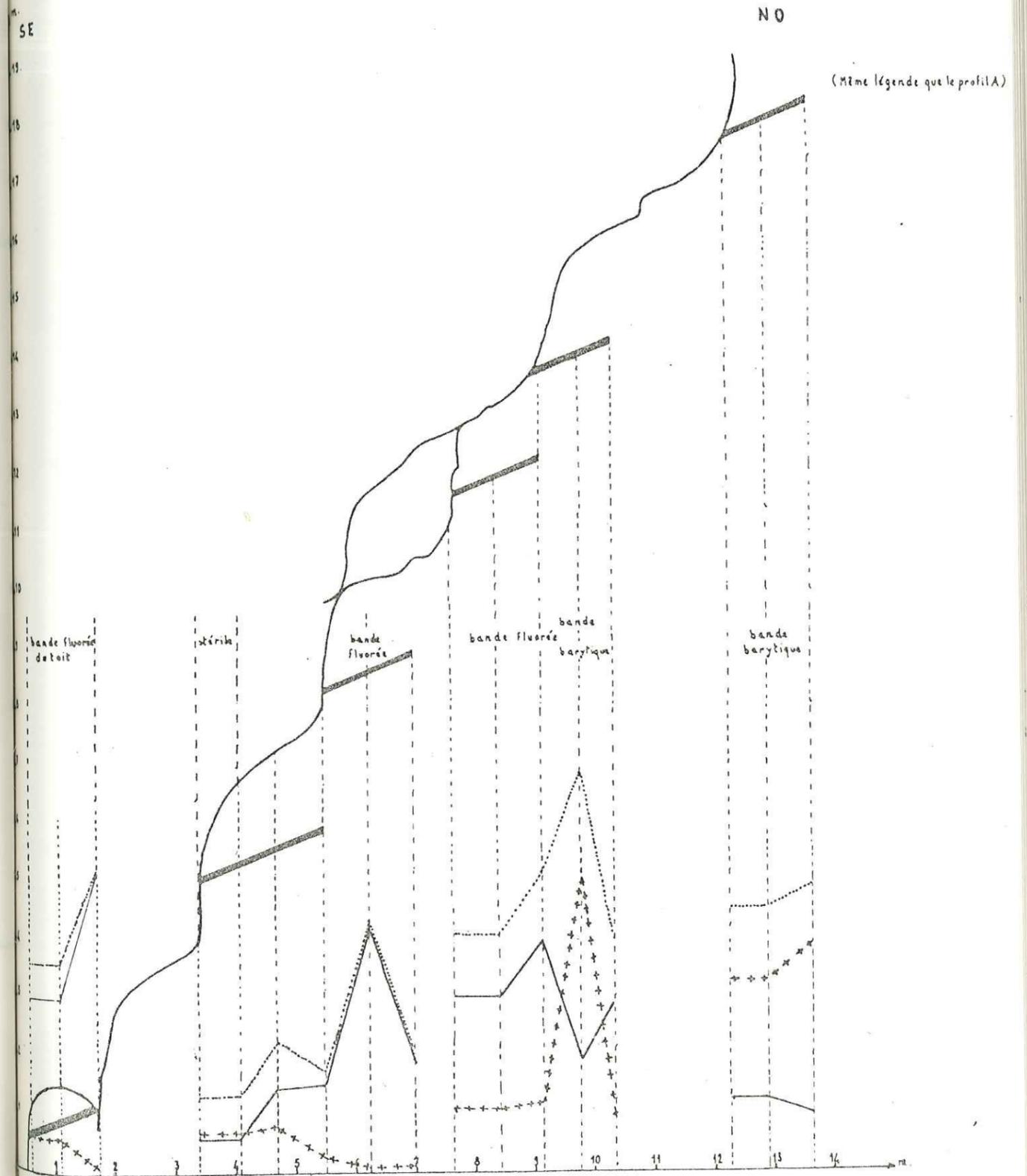
(d'après les données de A. CHERMETTE)

Profil d'échantillonnage B (FILON DU SAPEY)

(Même légende que le profil A) Fig. 14 b.

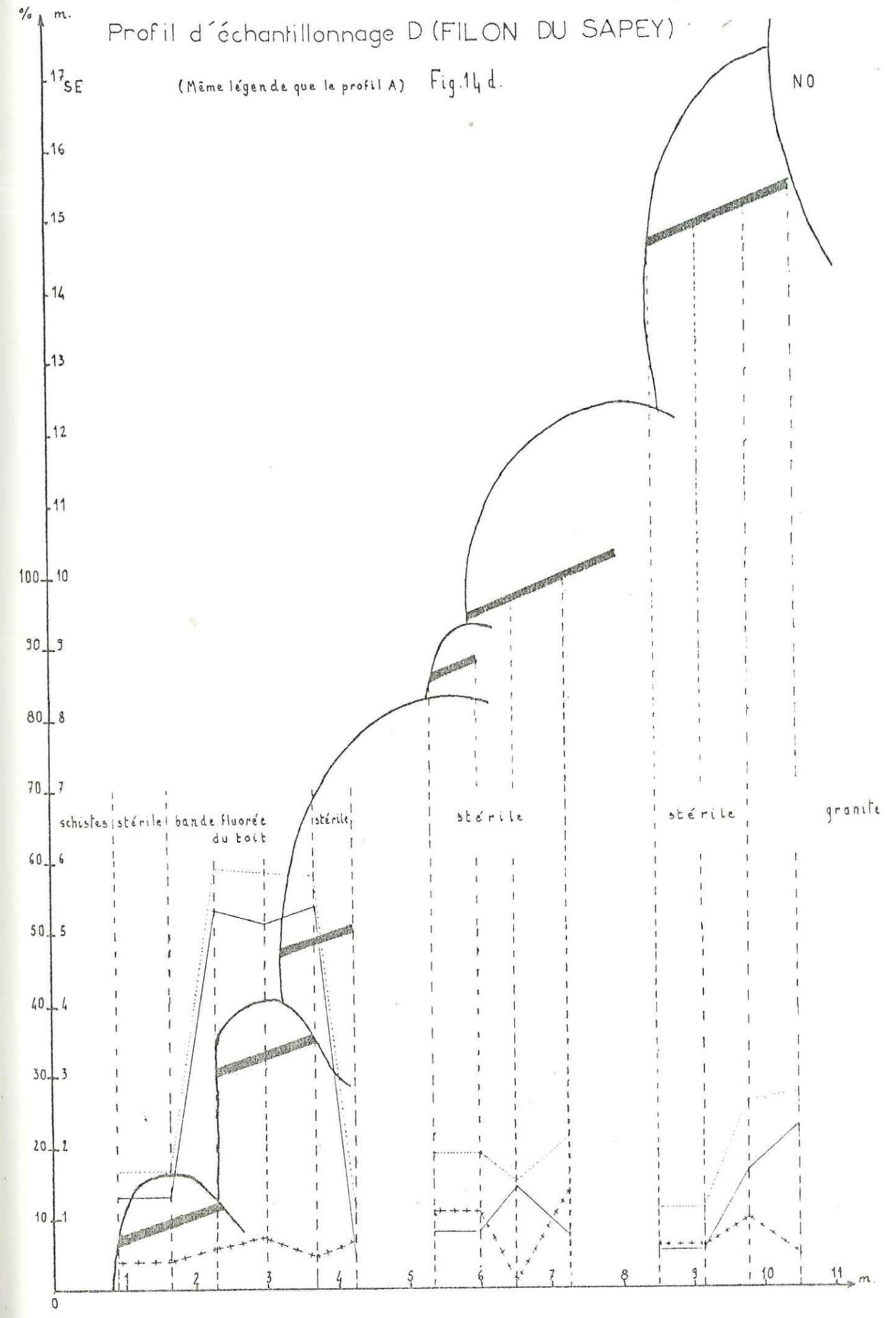


Profil d'échantillonnage C (FILON DU SAPEY)
Fig. 14c.



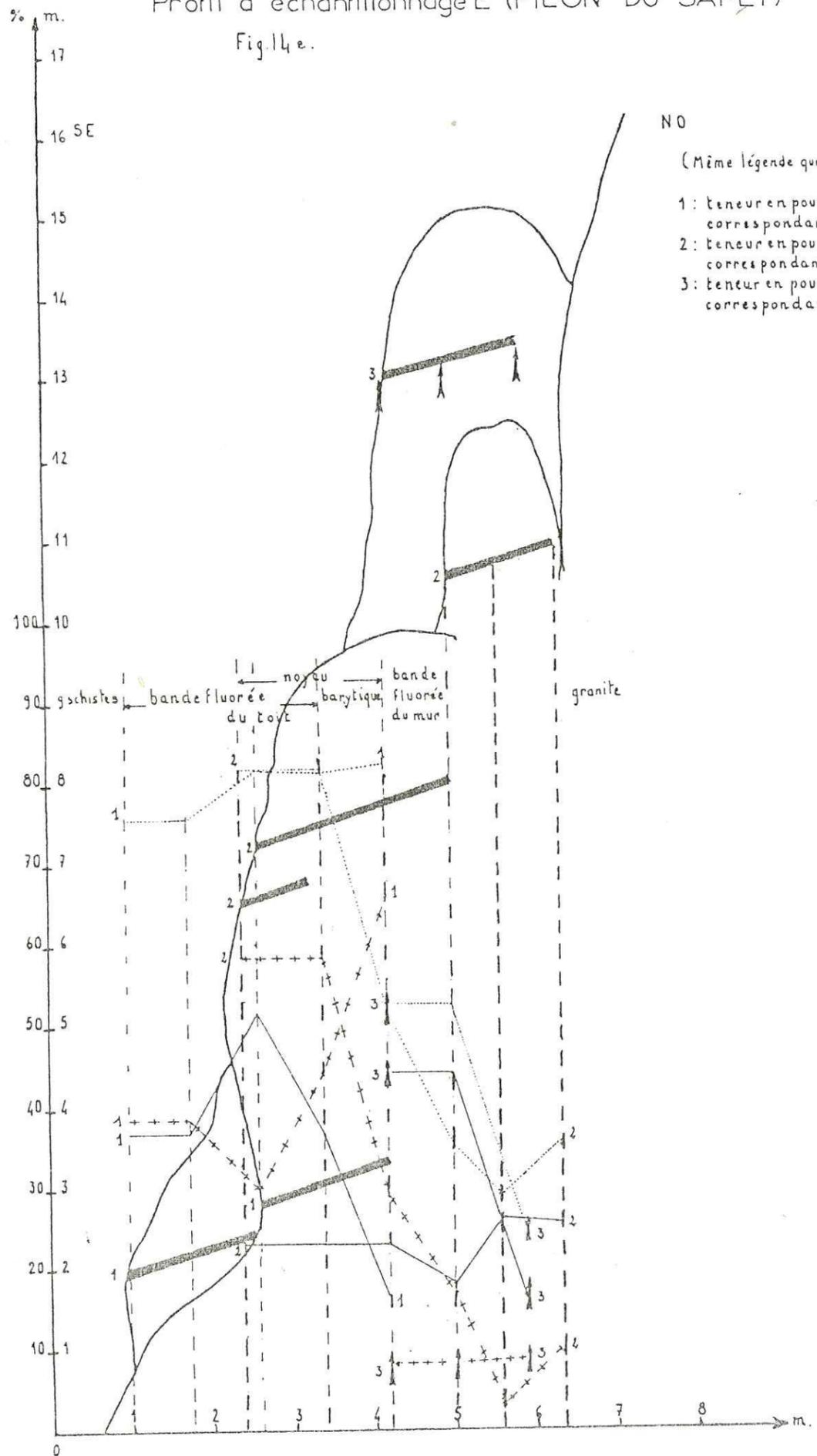
Profil d'échantillonnage D (FILON DU SAPEY)

(Même légende que le profil A) Fig. 14 d.



Profil d'échantillonnage E (FILON DU SAPEY)

Fig. 14 e.

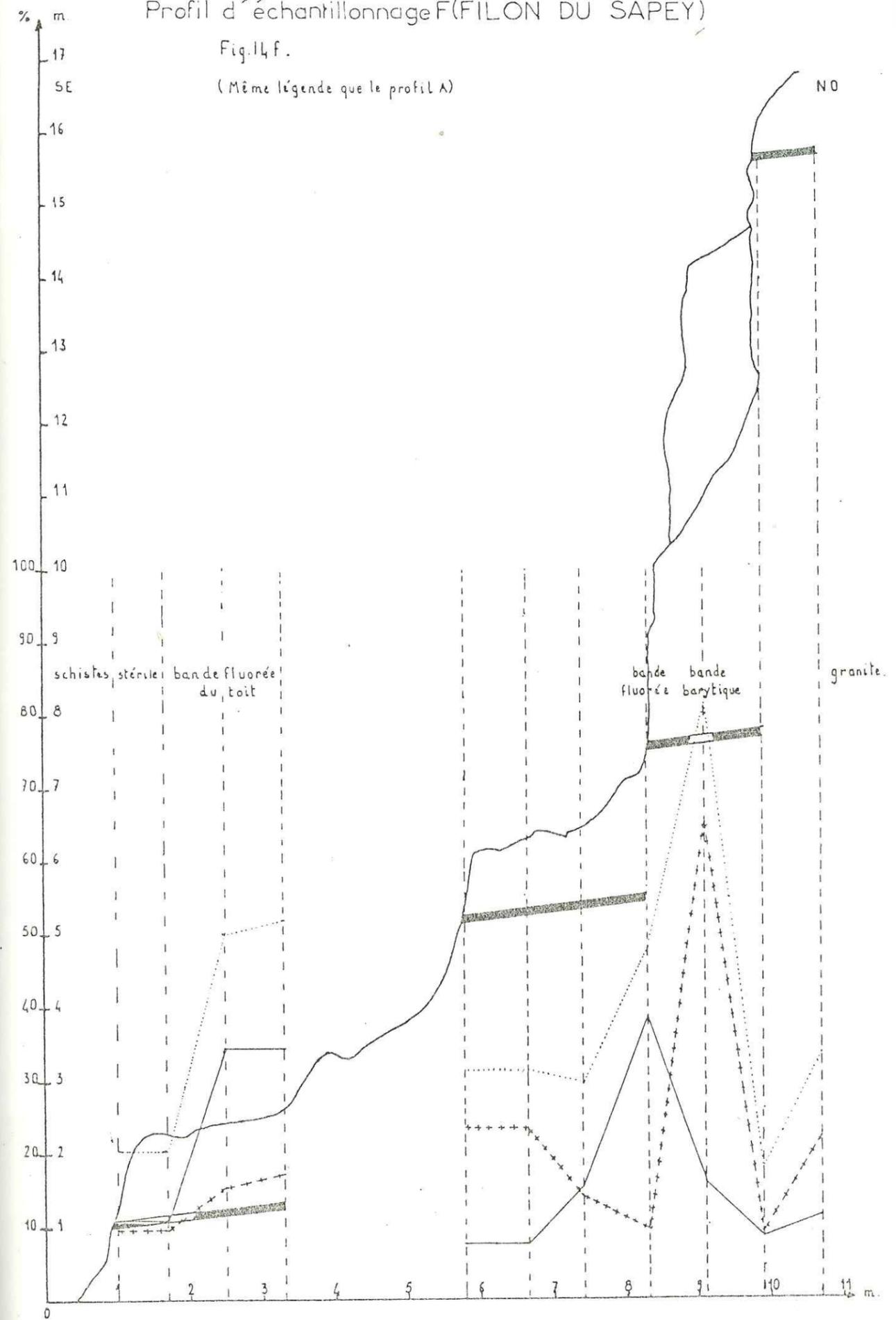


NO
 (Même légende que le profil A)
 1: teneur en pourcentage correspondant à la rainure 1.
 2: teneur en pourcentage correspondant à la rainure 2.
 3: teneur en pourcentage correspondant à la rainure 3.

Profil d'échantillonnage F (FILON DU SAPEY)

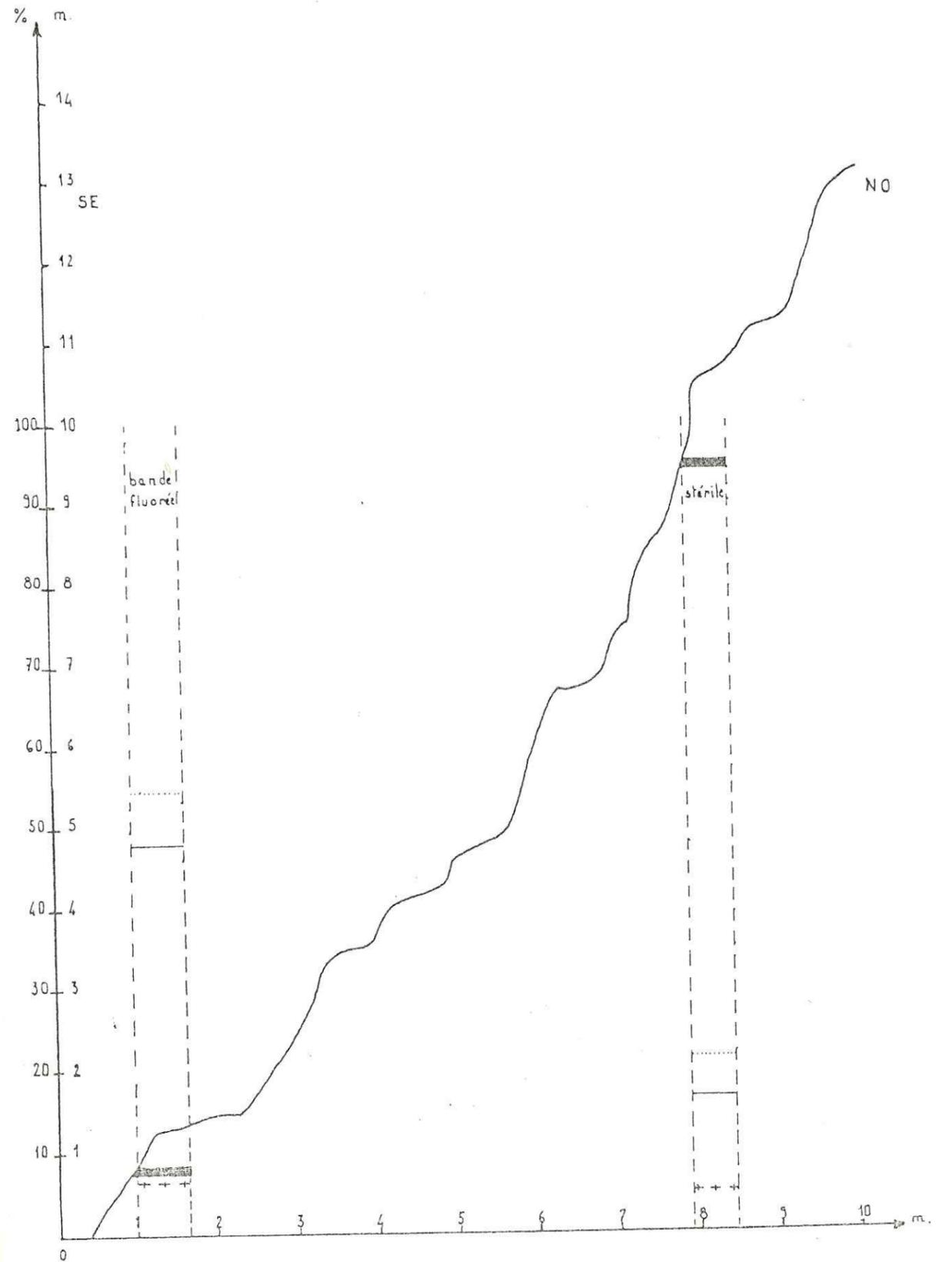
Fig. 14 f.

(Même légende que le profil A)

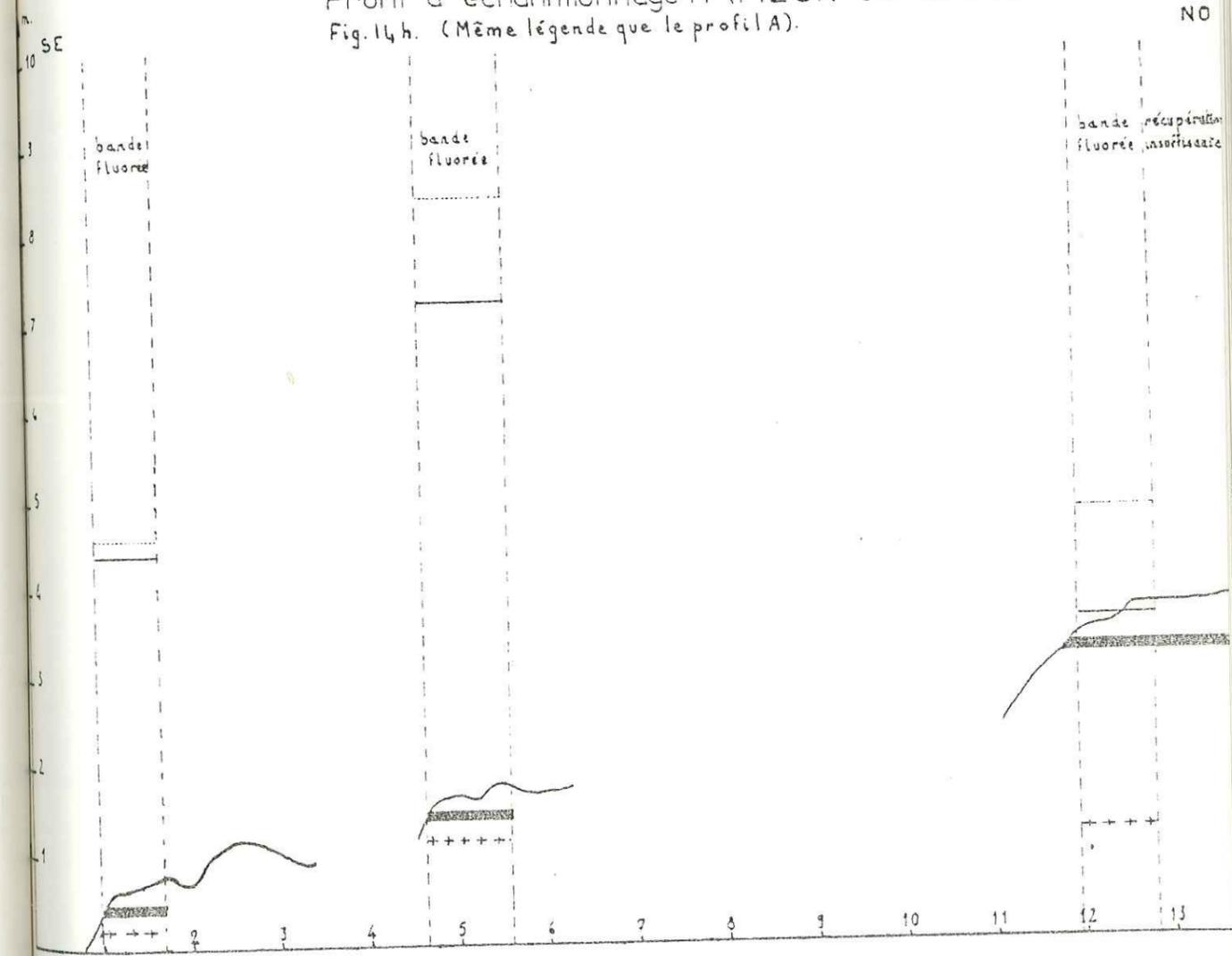


Profil d'échantillonnage G (FILON DU SAPEY)

Fig 14g.
(Même légende que le profil A)



Profil d'échantillonnage H (FILON DU SAPEY)
 Fig. 14 h. (Même légende que le profil A).



Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
 MAISON DES GÉOLOGUES
 DOCUMENTATION
 B.P. 53
 F. 38041 GRENOBLE CEDEX
 Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
 Mail: ptalour@ujf-grenoble.fr

Chapitre 3 :

PROSPECTION MAGNETIQUE

Elle s'est effectuée sur différents secteurs choisis en fonction de critères pratiques et miniers. La figure 15 illustre l'emplacement des différentes zones prospectées.

3.1. ZONES D'ETUDE

3.1.1. Définitions des zones de travail

Les critères qui ont orienté le choix des zones de travail s'appuient sur l'accessibilité, la végétation et la minéralisation.

La zone 2 F.S. (2 filons Sud) a été choisie parce qu'elle se situe en lisière de forêt, d'une part, et dans la partie méridionale la plus riche du filon, d'autre part.

La topographie n'est pas trop accidentée, ce qui laissait supposer la possibilité d'une prise de mesure en continu. Il existe également dans cette zone deux branches filoniennes : la plus occidentale se trouvant dans les calcaires tandis que la plus orientale est au contact granite - schistes liasiques.

La zone F.M. (filon moyen) se caractérise par l'affleurement du filon au niveau le plus accessible de la falaise. Elle correspond, grossièrement, au profil F et se situe au contact granite - spilite. Enfin, la zone C.S. (calcaire - spilite) a pour objet uniquement de mettre en évidence un contact calcaire - spilite masqué par la végétation.

3.1.2. Préparation du terrain

S'agissant d'une prospection haute sensibilité, il est apparu nécessaire de faire le levé topographique précis de l'ensemble du secteur et les levés plus détaillés des zones étudiées.

Le levé a été fait au moyen d'un TO Wild en deux journées. Par contre, la mise en place de l'ensemble des piquets et l'élagage facilitant les passages de la sonde, ont pris plus d'une semaine à une personne.

Le travail de piquetage s'effectue au moyen d'une boussole et d'un hectomètre. Les profils de mesure sont disposés perpendiculairement au filon ou au contact supposé.

Leur longueur est choisie de façon à excéder très largement l'extension de l'anomalie magnétique.

Le repérage des points de mesure s'effectue au moyen de piquets disposés tous les cinq mètres pour une prospection haute sensibilité.

3.2. MESURES

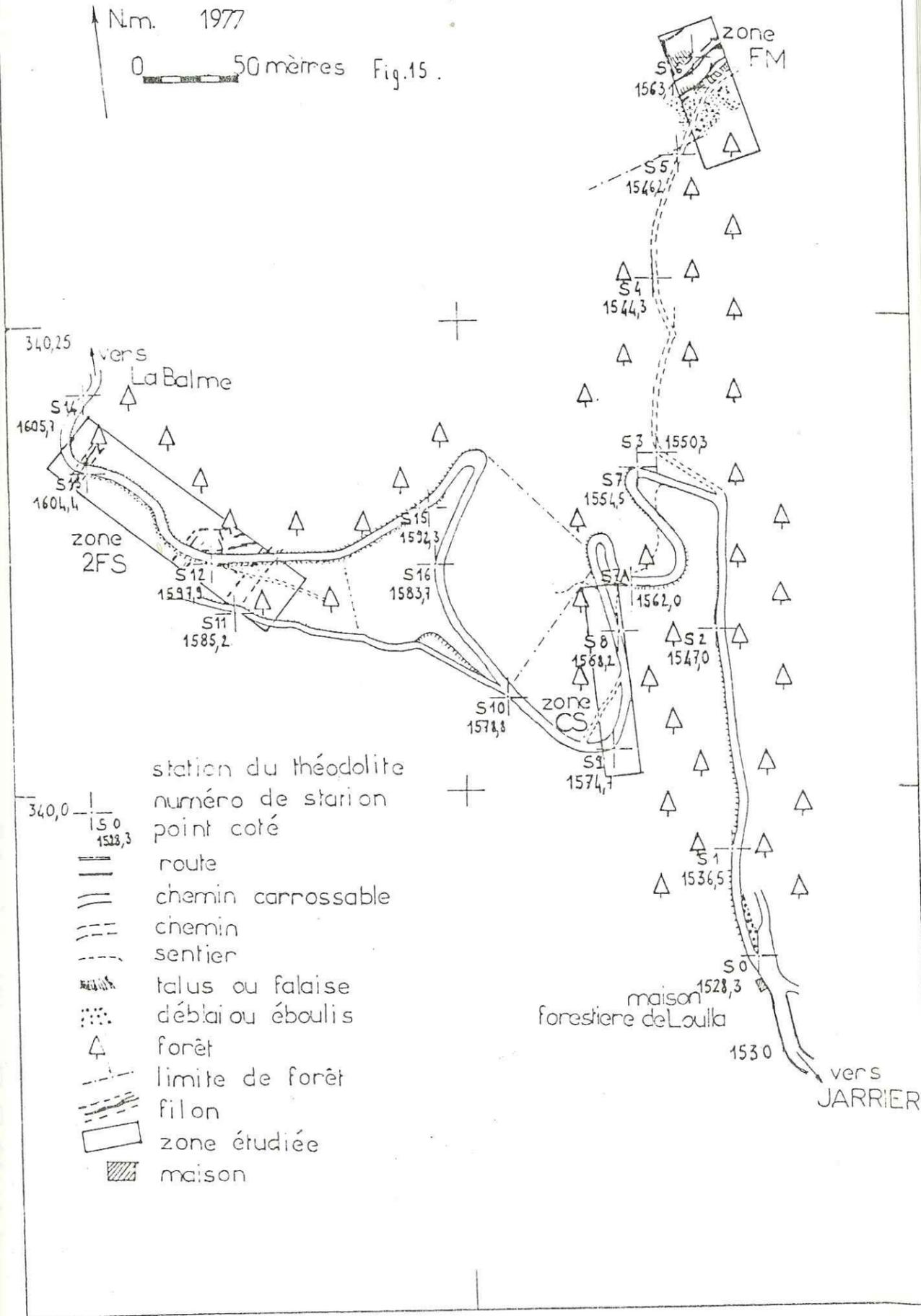
3.2.1. Zone F.M. (figure 16)

Les mesures ont été faites point par point, à l'aide d'une perche de 4 mètres. Cette méthode est la mieux appropriée pour cette topographie. La station de référence est placée à proximité de

FILON DE LA FORET DU SAPEY (S'JEAN DE MAURIENNE N°3)

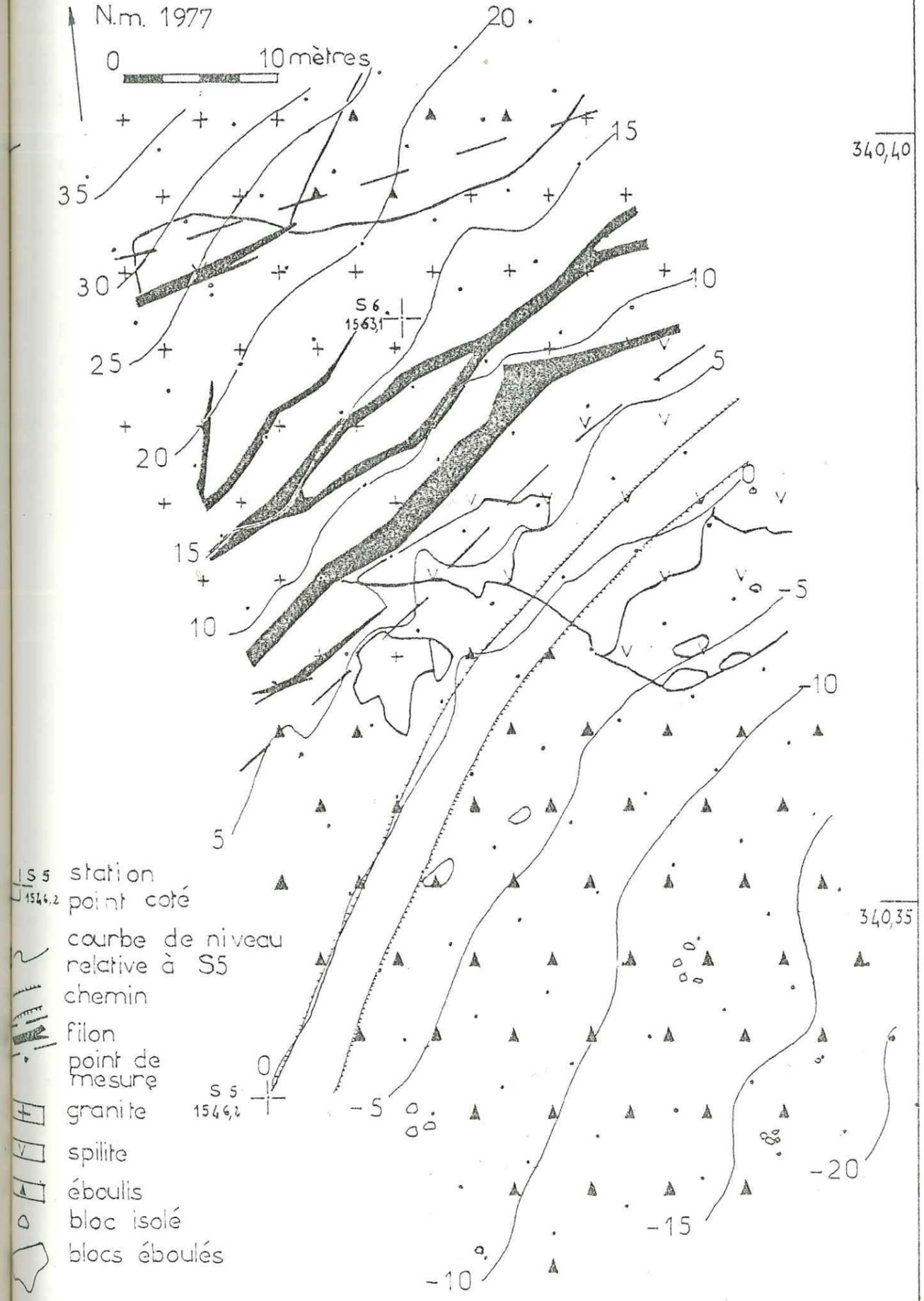
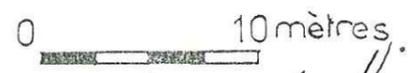
N.m. 1977

0 50 mètres Fig.15.



ZONE FM (FORET DU SAPEY) Fig. 16.

N.m. 1977



S 5 station
1546,2 point coté

— courbe de niveau
relative à S5

— chemin

— filon

+ point de
mesure

+ granite

v spilite

▲ éboulis

○ bloc isolé

◊ blocs éboulés

S 5
1546,2

340,40

340,35

la station de mesure vers le point S 3 : 1550,3 (figure 15). La zone a 30 mètres de large sur 75 mètres de long avec un point de mesure tous les 5 mètres, ce qui fait au total 112 points de mesure.

3.2.2. Zone 2 F.S. (figure 17)

La prise des mesures s'est également effectuée point par point avec le capteur à 4 m du sol. Les stations de mesure et de référence se situent aux environs de S 10 : 1578,8 m. La zone 2 F.S. s'étend sur 35 m de large pour 145 m de long, ce qui fait 240 points de mesure.

3.2.3. Zone C.S. (figure 18)

Ce secteur a 20 mètres de large sur 100 mètres de long. L'enregistrement des mesures magnétiques est en différentiel et de manière continue à 1 mètre du sol. Les profils sont au nombre de 5 c'est-à-dire espacés de 5 mètres. Les stations de mesure et de référence se trouvent aux mêmes endroits que précédemment.

3.3. DEPOUILLEMENT

Ce travail s'effectue au laboratoire au moyen de l'ordinateur. Les données enregistrées sur le terrain ne sont pas directement utilisables pour tracer la carte des isogammes ou les profils magnétiques qui sont les documents de base pour formuler une interprétation.

Pour ce faire, il est absolument indispensable de procéder à diverses opérations de conversion qui aboutissent à l'élaboration des cartes isogammes ou des profils magnétiques.

3.3.1. Conversion des mesures point par point

L'enregistrement du champ s'est effectué par lecture di-

recte des valeurs différentielles affichées sur le magnétomètre. Ces dernières sont, ensuite, converties d'octal en décimal et reportées sur un plan qui permet de visualiser et contrôler les mesures sur le terrain. Au laboratoire, les données topographiques et les mesures sont réunies sous la forme de bande perforée qui permet, par la suite, le traitement automatique des données sur l'ordinateur.

3.3.2. Conversion des mesures en continu

La bande perforée terrain contient les données suivantes : les valeurs du champ anomalique ou total ainsi que les repères indiquant les début et fin de profil et les marques topographiques signalées le long du profil. Le programme de conversion restitue une bande perforée avec le nom du profil, les coordonnées cartographiques du premier point et les intervalles entre les repères.

3.4. RESULTATS

Ils se présentent sous la forme de cartes d'isogammes et de profils magnétiques.

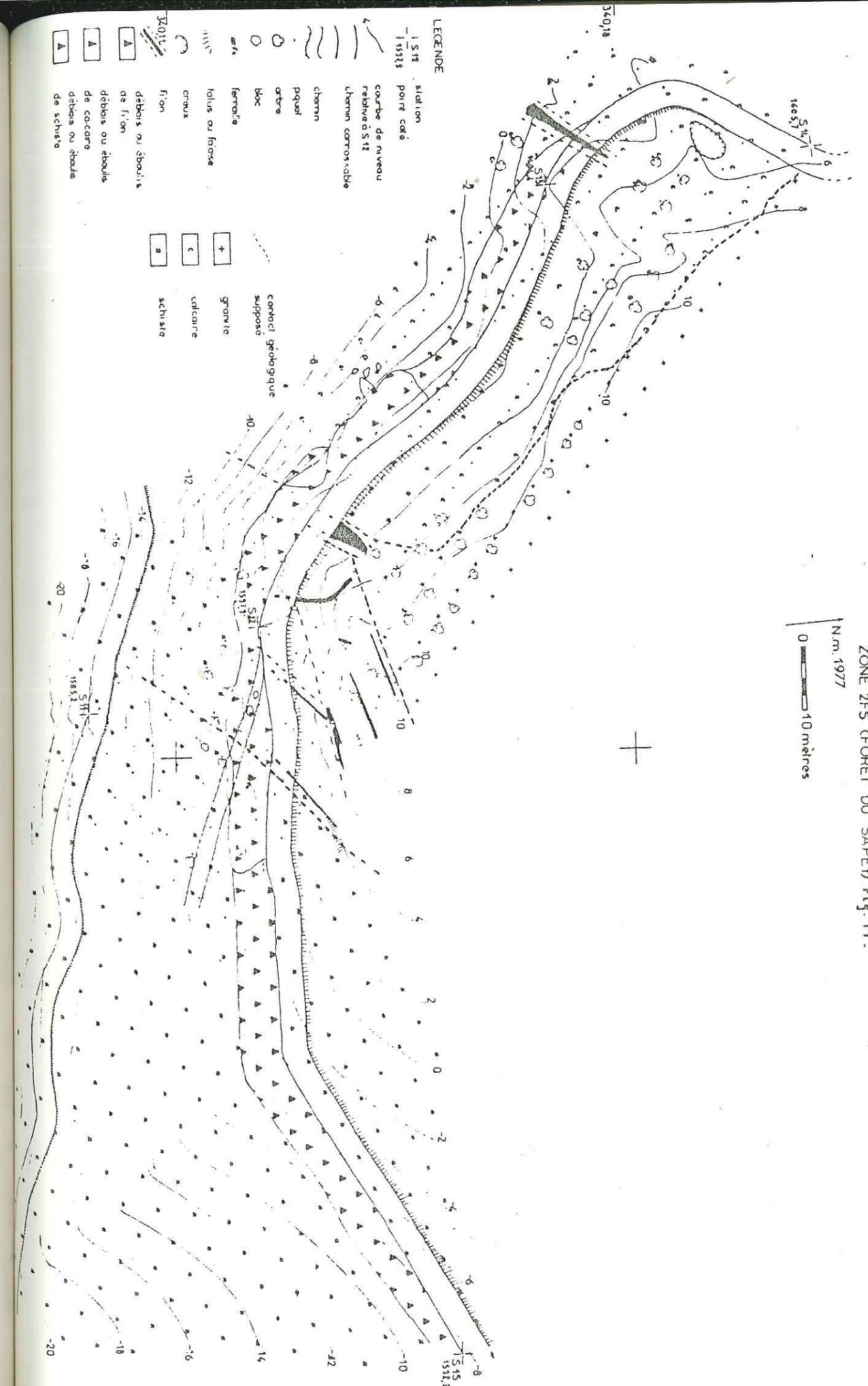
3.4.1. Zone F.M. (Annexe 1)

L'examen de la carte et des profils montrent, tout d'abord, que les anomalies sont faibles et sont comprises entre -4γ et $+4 \gamma$.

La confrontation de la carte et des profils magnétiques permet de mettre en évidence une anomalie négative centrée sur l'isogamme -4γ ainsi qu'une anomalie positive dont la direction est sensiblement $N 45^\circ E$.

3.4.2. Zone 2 F.S. (Annexe 2)

Les anomalies sont également faibles et de l'ordre de

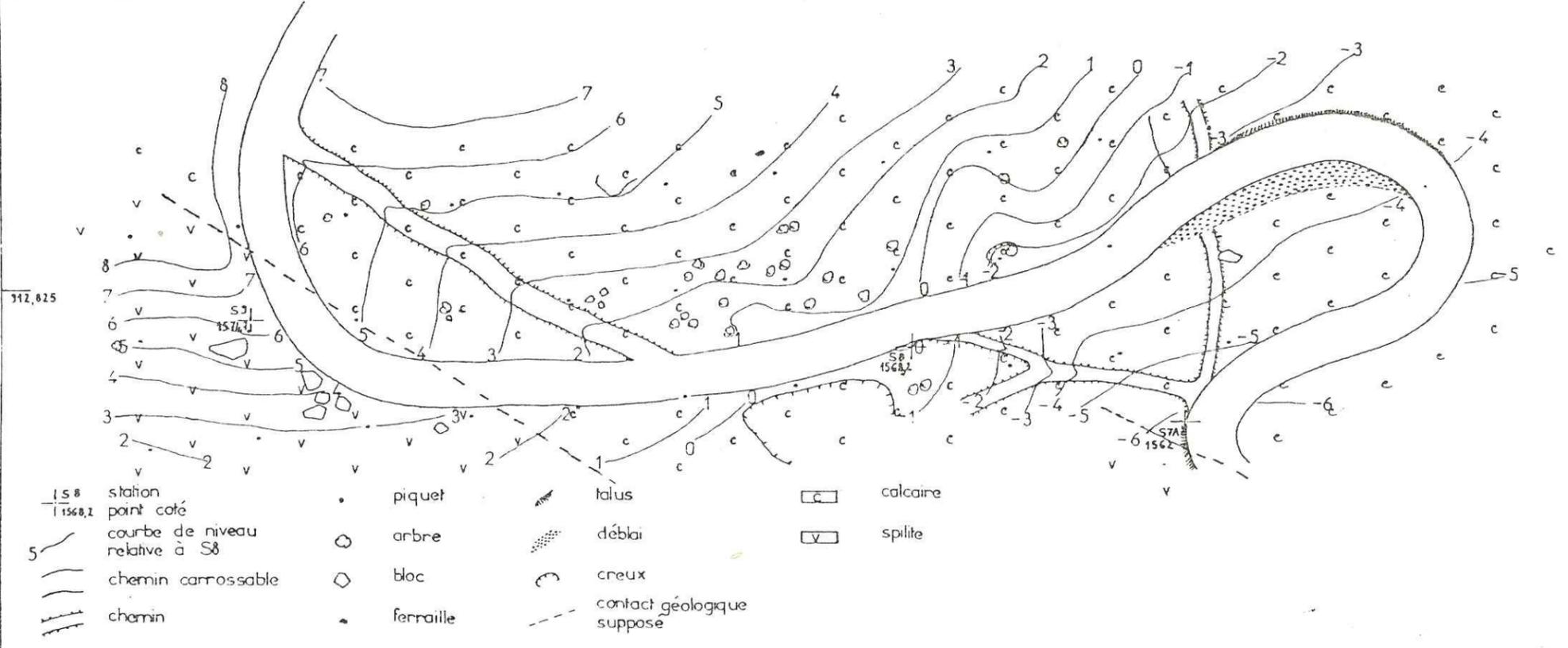


340,05

340,10

ZONE CS (FORET DU SAPEY) Fig.18.

N.m. 1977
0 10 mètres



quelques gammas. Elles se répartissent entre $- 8 \gamma$ et $+ 6 \gamma$. La carte et les profils magnétiques font apparaître une zone plus ou moins médiane relativement perturbée comprise entre 2 secteurs à fond magnétique calme. Il apparaît clairement l'existence de directions privilégiées N 45° E.

3.4.3. Zone C.S. (Annexe 3)

La carte magnétique présente de très nombreuses anomalies entre $- 5 \gamma$ et $+ 5 \gamma$ qui sont bien individualisées et n'indiquent pratiquement pas de direction préférentielle.

3.5. INTERPRETATION QUALITATIVE

Elle s'appuie sur les données magnétiques et géologiques. Le secteur C.S. a été prospecté afin de mettre en évidence le contact calcaire - spilite alors que les deux autres : 2 F.S. et F.M. ont pour principal intérêt de tester l'aptitude du magnétomètre à déceler des minéralisations faiblement magnétiques.

3.5.1. Contact calcaire - spilite (Annexe 3)

L'affleurement de spilite se localise dans le quart Sud du secteur C.S. Le contact est difficile à individualiser sur la carte et les profils magnétiques. Une anomalie magnétique importante en X = 75 m et Y = 10 m est imputable à un effet superficiel, comme la plupart d'ailleurs des anomalies de ce secteur.

La zone de contact calcaire - spilite est floue.

On peut grossièrement prendre la direction N 70° E des isogammes 0 et $- 5 \gamma$ définie par X = 25 m, Y = 20 m et X = 35 m, Y = 0 m comme ligne de changement lithologique. Le contraste magnétique entre les 2 types de roche n'est pas très marqué.

La carte magnétique n'apporte pas de précision au levé géologique.

3.5.2. Analyse des résultats magnétiques des zones F.M. et 2 F.S.

3.5.2.1. Zone F.M. (Annexe 1)

La comparaison entre les différents documents géologiques et magnétiques nous amène à formuler certaines hypothèses. On peut, tout d'abord, établir une relation entre les spilites affleurantes et l'anomalie négative centrée sur -4γ en $X = 30$ m et $Y = 30$ m.

La direction $N 45^\circ E$ est bien marquée par les isogammes $+4 \gamma$ et $+2 \gamma$ en $X = 0$, $Y = 40$ m et $X = 30$ m, $Y = 60$ m. Cette direction correspond à celle du filon.

Bien que la topographie soit très accidentée (falaise) et que ce soit un contact cristallin - sédimentaire avec la présence de spilites sur une partie de la zone, il s'avère que l'amplitude des anomalies reste très faible (8 gammas au total). L'essentiel de l'anomalie provient des spilites qui affleurent à la base de la falaise. L'extension des spilites vers l'Ouest sous le recouvrement d'éboulis, paraît limitée.

Le granite est faiblement magnétique et l'effet topographique est très réduit.

Il s'avère très difficile de préciser la structure géologique responsable de la direction $N 45^\circ E$ des isogammes qui coïncide avec celle du filon, et de faire la part des phénomènes à l'origine d'une telle perturbation : faille, filon, contact granite - spilite.

L'extension latérale de la prospection est impossible à cause de la topographie trop difficile (falaise).

3.5.2.2. Zone 2 F.S. (Annexe 2)

En juxtaposant les cartes magnétique et topographique, on constate, tout d'abord, que le chemin perturbe les courbes isogammes. Par exemple, l'isogamme $+2 \gamma$ est très étirée au niveau de $X = 80$ à 130 m et $Y = 10$ à 35 m de la carte magnétique et suit très précisément le chemin principal ouvert récemment, non revêtu, ni empierré.

Un autre argument en faveur de cette influence se retrouve au niveau des points $X = 30$ m, $Y = 15$ m et $X = 40$ m, $Y = 15$ m où l'isogamme $+4 \gamma$ fait un crochon. La déformation des courbes centrées sur $+7,5 \gamma$ aux points $X = 15$ m, $Y = 10$ m et $X = 30$ m et $Y = 15$ m appuie le fait que les anomalies magnétiques enregistrées sont d'origine superficielle.

L'isogamme $+4 \gamma$ située en $X = 30$ m et $Y = 0$ à 35 m matérialise la séparation de deux zones magnétiques différentes. Il en est de même pour l'isogamme -2γ en $X = 60$ m et $Y = 0$ à 35 m.

Ces deux lignes ont une direction $N 45^\circ E$ et marquent deux accidents visibles sur le terrain. Les deux autres anomalies magnétiques observées se situent à l'aplomb du filon ou de déblais. Une anomalie est centrée sur l'isogamme -8γ ($X = 70$ m, $Y = 10$ m) qui coïncide avec des déblais du filon, vestiges de la fouille à la cote 1590 m (figure 11).

Une autre anomalie négative de -8γ se localise en $X = 95$ m et $Y = 25$ m et se trouve à l'aplomb du filon.

D'autres anomalies s'individualisent et sont marquées par les isogammes -4γ et -2γ et correspondent au filon ou à des déblais du chemin.

L'amplitude des anomalies reste faible. Les contrastes lithologiques sont peu marqués. Par contre, les failles de direction $N 45^\circ E$ apparaissent nettement.

Les anomalies enregistrées à l'aplomb du filon correspondent davantage à des effets ponctuels d'origine superficielle à cause de leur extension réduite, plutôt qu'à ceux produits par une structure continue de type filonien.

L'extension vers le Nord de la zone test se heurte à des difficultés topographiques (falaise).

Encore une fois, l'effet propre au filon est masqué par des effets superficiels parasites plus importants. Une corrélation entre les résultats magnétiques des zones 2 F.S. et F.M et les données de CHERMETTE ne peut pas, actuellement, être envisagée à cause des difficultés rencontrées dans l'interprétation magnétique.

3.6. CONCLUSIONS

Le contexte géologique du filon apparaissait, au départ, relativement magnétique (granite, spilite). Il laissait présager la réussite d'une prospection magnétique.

Il s'avère que les contrastes magnétiques entre les diverses formations géologiques sont faibles. Il est effectivement possible, connaissant la géologie, de retrouver certains accidents dans les cartes magnétiques. La démarche inverse est très délicate. On peut relever dans ces prospections, malgré une prise de mesure à 4 m du sol, l'importance des effets superficiels. La part du chemin dans la carte 2 F.S. est particulièrement significative. Visiblement, un grand nombre d'anomalies se rattache à des effets analogues à ceux décrits par LEBORGNE (1955 - 1960) concernant l'hétérogénéité magnétique de la zone d'altération.

L'expérimentation d'une prospection magnétique haute sensibilité au sol réalisée sur le filon fluoré du Sapey (Rocheray) a mis en évidence l'importance d'une reconnaissance préalable du terrain. Cette constatation a entraîné la mise au point d'un appareillage léger de reconnaissance rapide décrit en C.2.4. et dont l'emploi à Condorcet (Baronnies) fait l'objet d'une étude rapide (C.3.2.2.).

L'emploi d'un matériel à grande sensibilité pour une prospection de minerai faiblement magnétique n'entraîne pas systématiquement la découverte des gisements recherchés. C'est faire abstraction d'une limitation à laquelle se heurte la prospection minière au sol, liée aux anomalies d'origine superficielle. Il s'avère que, même la prise de mesure à quatre mètres du sol est insuffisante pour se soustraire à cette influence, le travail à une plus grande distance du sol est souhaitable.

Il n'en reste pas moins vrai que la prospection d'un filon comme celui du Sapey par magnétométrie haute sensibilité est difficile, au niveau du sol à cause des effets superficiels, à une plus grande hauteur à cause de la faiblesse de l'anomalie provoquée par le filon.

On verra, dans le prochain chapitre concernant la prospection magnétique du filon de cuivre de Saint-Véran, comment l'utilisation d'une nouvelle technique de prise de mesure (ballon captif) permet de s'affranchir des limitations rencontrées au Rocheray.

E - PROSPECTION DU GISEMENT DE CUIVRE DE SAINT-VERAN

1 - INTRODUCTION

2 - GEOLOGIE

3 - PROSPECTION GEOCHIMIQUE

4 - PROSPECTION MAGNETIQUE

Chapitre 1 :

INTRODUCTION

Le site de Saint-Véran, par sa minéralisation et son contexte géologique caractéristiques, correspond, à priori, au type de gisement qui risque de provoquer des effets magnétiques importants.

Une prospection magnétique de ce gisement est envisagée pour :

- expérimenter le magnétomètre différentiel en milieu fortement magnétique,
- tester une technique nouvelle de prises de mesures au moyen d'un ballon captif,
- rechercher la continuité éventuelle de la minéralisation.

Un rappel des études géologiques et la description des travaux miniers fournissent les premiers éléments indispensables à une prospection magnétique au sol.

Il faut ajouter les résultats d'une campagne géochimique qui

complètent les informations nécessaires à l'établissement des zones les mieux appropriées à une prospection magnétique.

Enfin, un exposé des prospections magnétiques proprement dites précède les conclusions tirées des résultats obtenus.

Chapitre 2 :

GEOLOGIE

2.1. LOCALISATION

Cette étude se situe à l'extrémité orientale de la Montagne de Beauregard, carte I.G.N. au 1/ 20 000 ; AIGUILLES N°5.

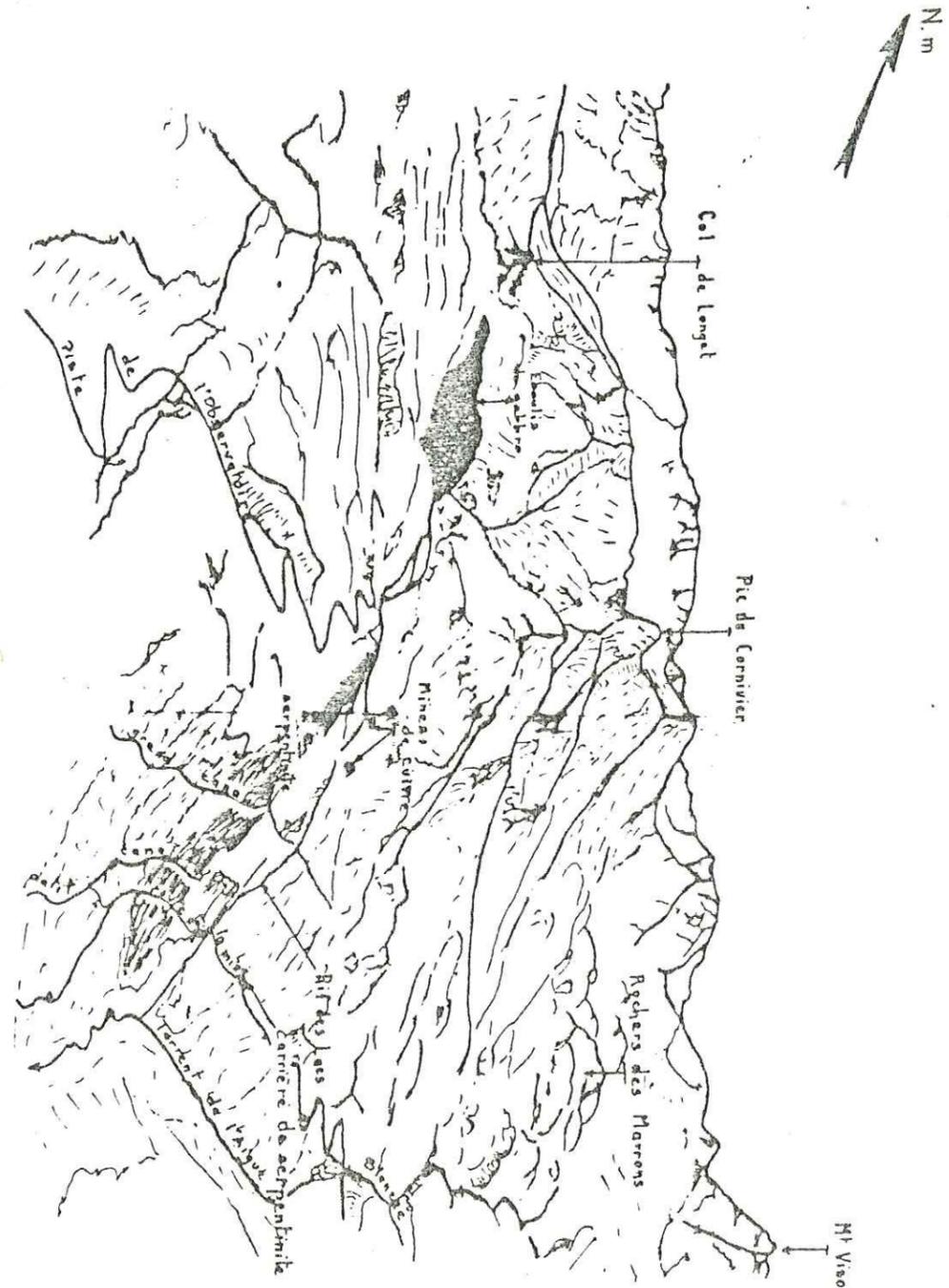
Pour accéder au bâtiment de la mine, il faut emprunter la route menant à la chapelle de Clousis.

Cette exploitation se situe à 6 km, environ, à l'Est du village de Saint-Véran. La figure 19, qui est un dessin exécuté à partir d'un cliché aérien de H. DABROWSKI, donne une assez bonne vision de l'ensemble du secteur et permet de situer assez précisément la zone d'étude.

2.2. DONNEES GEOLOGIQUES ET MINIERES

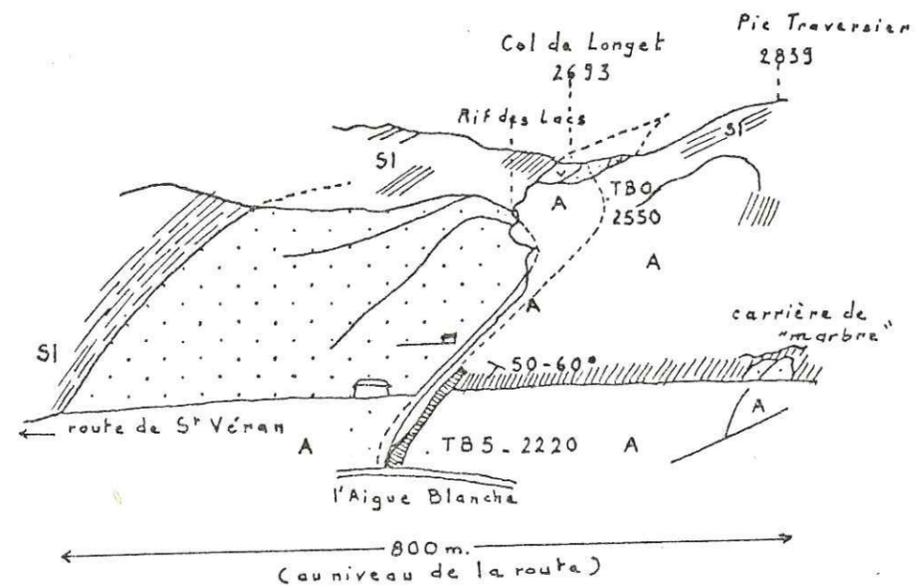
La nature pétrographique caractéristique des roches ainsi que la minéralisation exceptionnelle de Clousis sont à l'origine de nombreuses études géologiques générales (M. LEMOINE 1962) et locales (ROUTHIER P. 1946) ou de notes relatives au gisement (J. MELOUX et P.A. POULAIN 1967).

Fig 19 - Dessin d'ensemble du secteur d'étude de Saint-Véran (d'après une photographie aérienne de H. DABROWSKI)



WNW

ESE



Légende

-  Serpentinite.
-  Paragabbros à glaucophane et lawsonite.
-  Filon. Parties masquées par les éboulis en pointillé.
-  Calcschistes normaux (schistes lustrés).
- A Eboulis.
- TB Ouvertures des travers-bancs supérieur et inférieur.

Fig. 20. Schéma. Coupe montrant les relations spatiales entre les roches vertes de deuxième génération et le filon de Clousis.

(d'après P. ROUTHIER 1946)

Toutes ces informations préalables sont réunies pour envisager au mieux une étude magnétique du site.

2.2.1. Pétrographie

2.2.1.1. Disposition générale du gîte (Figures 19 et 20)

"Dans les environs immédiats de la mine, les roches vertes sont représentées par les paragabbros à glaucophane (col de Longet) et par des serpentinites... La roche minéralisée, qui est dans l'ensemble un schiste quartzeux à riebeckite, présente la disposition d'un filon pendant à 60° vers l'Ouest, de puissance variable de 2 cm à 6 - 8 m, de 2 à 4 m en moyenne.

Vers le Nord, en montant vers le col de Longet, on retrouve un filon de quartzite encaissé dans les serpentinites du col, qui représente certainement la prolongation du filon exploité." (P. ROUTHIER, 1946)

2.2.1.2. Description pétrographique de la roche filonienne

La gangue du minerai de cuivre est le plus souvent une riebeckitite laminée qui affleure au T.B.O (figure 20).

"La composition minéralogique de ces roches est simple : quartz, riebeckite, aegyrine, très accessoirement des paillettes de séricite et chlorite ; minerais : magnétite, sulfures (blende, bornite, chalcosine)."

2.2.1.3. Variations de faciès du filon

On observe au col de Longet "un filon d'aegyrinite à albite enclavé dans des roches chloriteuses, représentant la zone de bordure des serpentinites du col."

On trouve le prolongement du filon au col "dans un schiste rubané quartzeux à glaucophane et sphène, bordé par un schiste quartzeux très riche en chlorite..."

On observe, également, à l'Ouest du travers-bancs 5 à 25 m, environ, "des schistes quartzeux à mica blanc, chlorite, sphène..."

D'après P. ROUTHIER le filon est continu jusqu'au col de Longet, comme en témoignent les différents affleurements décrits. On remarque, toutefois, un appauvrissement du filon vers le col de Longet.

2.2.1.4. Minéralisation

Elle est répartie dans les roches à riebeckite, quartziques ou non, parallèlement à la schistosité de la roche.

Ce sont "principalement des sulfures : blende, bornite, chalcosine, en second lieu des oxydes, magnétite et oligiste..." La paragenèse proposée par P. ROUTHIER (1946) est la suivante : magnétite, oligiste, riebeckite, aegyrine, albite, (quartz), blende, pyrite, bornite, chalcopryrite, chalcosines bleues et blanches, covelline. Il faut, toutefois, y rajouter la galène.

Le cuivre natif a été rencontré 4 à 5 m au-dessus du niveau du travers-bancs 4. Il semble très localisé dans la mine et se trouve au contact de cipolins "fruités" (voir fig. 21) et de talcschistes.

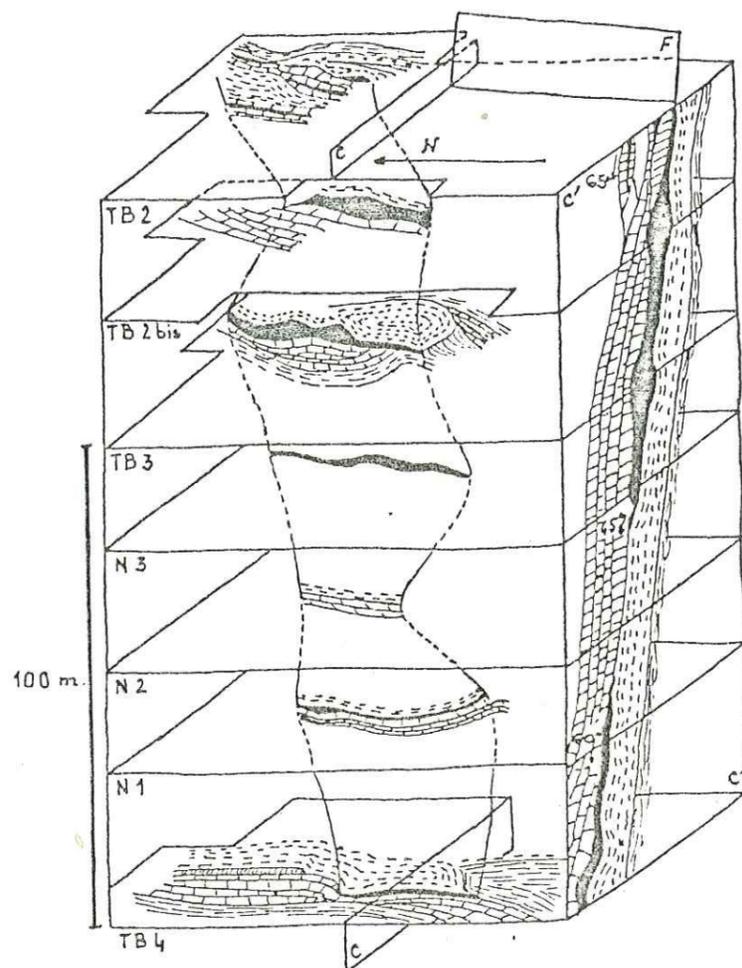
La minéralisation se présente, donc, essentiellement sous la forme de sulfures de cuivre liés à des oxydes métalliques.

La gangue est un quartzite à riebeckite au contact des schistes lustrés et des serpentines.

Au toit de la formation minéralisée se trouve une bande de cipolins "fruités" tandis qu'au mur ce sont des talcschistes.

2.2.1.5. Gîte (Figure 21)

"La puissance de la minéralisation varie extrêmement, que ce soit en différents points d'un même niveau ou à des niveaux différents... On peut se représenter le filon comme un ensemble de grosses loupes réunies par des parties amincies (puissance moyenne de l'ordre de 2 m) et



Légende:

-  Allure de la partie exploitée du gîte.
-  Roches à riebeckite et aegyrine, avec masses sulfurées.
-  Cuivre natif (T.B.4)
-  Cipolins "fruités" à calcite rouge. (1)
-  Calcschistes et cipolins normaux (schistes lustrés)
-  Talcschistes.

TB Plans des travers-bancs.

N Niveaux intermédiaires entre TB 4 et TB 3.

F Plan du filon.

C Coupe Ouest-Est, traduite en C'.

(1) "fruité" qualifie l'aspect des cipolins à nodules rouges de calcite.

1. Modèle volumétrique de la Mine de Saint-Véran, entre les niveaux T.B. 4 et T.B. 2.

(d'après P. ROUTHIER 1946)

couchées dans un plan plongeant en moyenne de 60° vers l'Ouest."

Aux parties riches en riebeckite correspondent généralement les zones richement minéralisées.

"On observe, parfois, des torsions avec de légers décrochements." C'est le cas du travers-bancs⁴ où un petit accident des cipolins du toit décale de 4 à 5 m la glaucophanite avec cuivre natif par rapport au schiste à riebeckite avec sulfures.

2.2.2. Travaux miniers (figures 22 a et 22 b)

2.2.2.1. Description

Les plans des figures 22 a et 22 b illustrent l'ensemble des travaux réalisés entre 1901 et l'époque actuelle.

L'exploitation du cuivre à Saint-Véran, remonte, très probablement, à l'âge du bronze, comme en témoignent les découvertes d'outils faites dans les anciens travaux qui consistent en un grattage de l'affleurement de 150 m de long sur une profondeur d'une vingtaine de mètres suivant la pente, (ISNEL P., 1935).

Ce n'est qu'à partir de 1901 qu'une association de quelques personnes entreprend les premiers travaux importants.

L'exécution de galeries travers-bancs a permis l'extraction du minerai de cuivre sur une hauteur de 180 mètres.

La description succincte des travaux effectués permet une meilleure approche de la géométrie du gisement. La galerie n° 1 dont l'entrée est actuellement éboulée se trouve à 2480 m d'altitude. Elle se trouve dans le filon et recoupe les anciens travaux.

Le travers-bancs n° 2 est situé à 2453 m d'altitude. Après 50 m de galerie, on atteint le filon. L'entrée est également effondrée. Le minerai est extrait comme à l'étage inférieur au mur du filon, c'est-à-dire au contact des talcschistes. Le filon encaissé dans sa partie Nord, entre

les épontes des schistes lustrés n'a pas été exploité.

Le travers-bancs 2 bis, également éboulé, débute à la cote 2428 m et atteint le minerai au bout de 110 m. Le travers-bancs 3 dont l'ouverture, actuellement éboulée, se trouve à 2402 m d'altitude, parvient au minerai après 200 m d'avancement. Les travaux, à ce niveau, ont été importants, le filon ayant jusqu'à 5 m de puissance et étant reconnu sur une longueur de plus de 300 m. La longueur totale des galeries est de 450 m environ.

Des recherches ont également été entreprises dans les prolongements Nord et Sud du filon.

Le travers-bancs 4 s'ouvre à la cote 2302. Sur environ 20 m de haut, se trouve un filon très riche où la bornite massive a une puissance allant jusqu'à 70 cm. Parallèlement au filon de bornite et à 12 m au mur de celui-ci dans les talcschistes, un filon de cuivre natif a été reconnu. Une descenderie de 120 m de longueur, d'une pente de 30° suit le filon de bornite jusqu'à 50 m en aval du T.B.5.

Le travers-bancs 5 se situe à la cote 2230 m. Sa longueur est de 450 m, environ.

2.2.2.2. Géométrie - Teneur - Production

Dans les niveaux supérieurs, des lentilles secondaires de minerai accompagnent le filon principal, la section moyenne de minerai entre l'affleurement (cote 2488 m) et le travers-bancs 3 (cote 2402 m) n'atteint que 110 m². Le niveau intermédiaire, compris entre les travers-bancs 3 et 4 (cote 2302 m) montre une très nette diminution de la section exploitée qui atteint 70 m². Enfin, dans les niveaux inférieurs (entre 2302 et 2230 m) le filon n'a pas été exploité et n'est que partiellement reconnu.

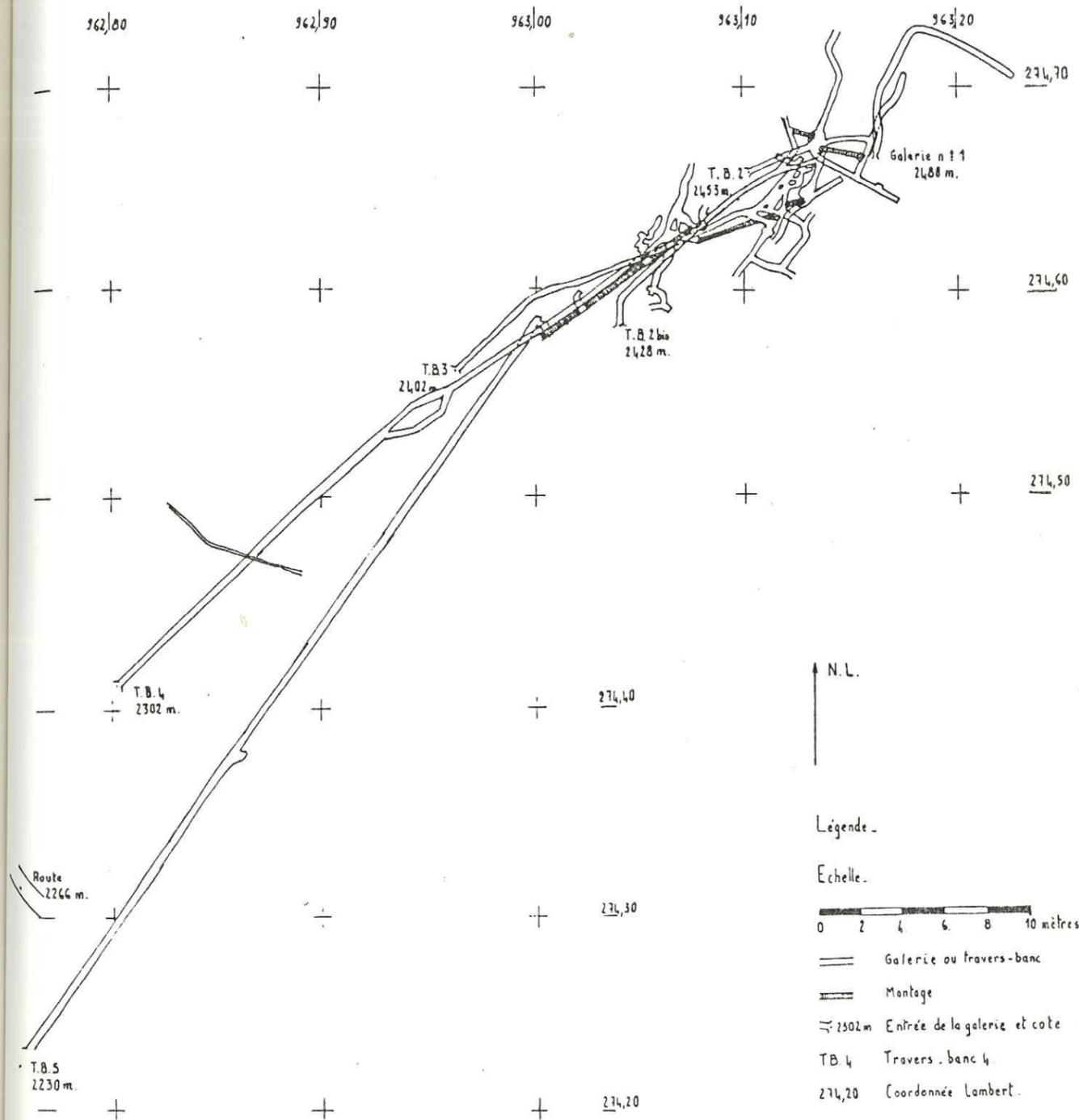


Fig. 22a. PLAN DES TRAVAUX (d'après des documents d'archives)
CONCESSION DES CLOUSIS
SAINT VERAN (05)

(d'après J. MELOUX et P. A. POULAIN 1967)

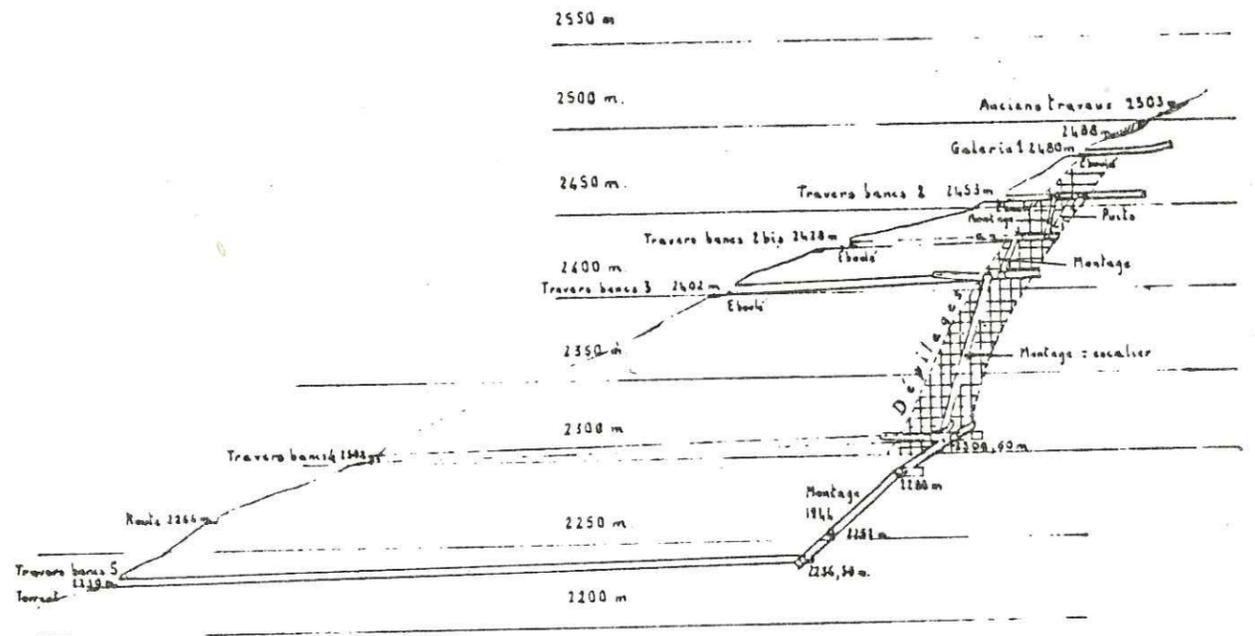


Fig. 22 b.

Echelle



Projection verticale suivant Nord 50 grades.
 Concession des Clousis.
 Saint Véran (05)
 (d'après P.A. POULAIN 1964)

Il semble qu'il y ait encore une diminution de section. La richesse en cuivre du gisement diminue régulièrement au fur et à mesure que l'on s'éloigne des niveaux supérieurs. Au niveau du travers-bancs 2, la teneur semble être de l'ordre de 10 %, alors qu'entre 2 bis et 3 elle passe à 7,5 %, pour donner en 4 des teneurs de l'ordre de 5,5 % pour le filon principal et de 1,8 % pour le filon secondaire.

La production de la mine de Saint-Véran peut se résumer ainsi :

- de 1902 à 1907 : 20 tonnes de minerai à 33 % : montages du travers-bancs 2
6 tonnes de minerai à 45 % : traçages dans la galerie 1
- de 1912 à 1913 : 25 tonnes à 40 % : petite descenderie dans le travers-bancs 2
- de 1917 à 1931 : 1 224 tonnes à 43 % : dépilages entre les travers-bancs 3 et 1 et un panneau de 18 m au-dessus du travers-bancs 4
- de 1938 à 1941 : 1 100 tonnes à 43 % : dépilages entre les travers-bancs 3 et 4
- de 1955 à 1956 : 50 tonnes à 40 % : piliers entre travers-bancs 4 et 2.

Le gisement de Saint-Véran a donné 2 500 tonnes de minerai de cuivre à 40 %, soit 1 000 tonnes de cuivre.

Bien que la teneur soit intéressante, la production reste faible.

2.2.3. Conclusion

Les données géologiques et minières mettent en évidence que la colonne minéralisée exploitée a une extension horizontale limi-

tée à laquelle s'ajoute un appauvrissement en profondeur.

Bien que le gisement se présente davantage comme une succession de lentilles réunies les unes aux autres dans le sens vertical, cette structure, selon l'hypothèse de P. ROUTHIER (1946), se poursuit vers le col de Longet masquée par des éboulis et malgré l'irrégularité de la minéralisation.

Pour vérifier cette hypothèse, la prospection magnétique apparaît comme un moyen d'investigation bien adapté, puisque le contexte géologique est fortement magnétique et contrasté.

En dehors des données géologiques on dispose, également, de l'étude géochimique de P.A. POULAIN (1964) qui fait l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 3 :

PROSPECTION GEOCHIMIQUE

Cette étude effectuée par P.A. POULAIN (1964) entre dans le cadre général de l'étude des roches vertes du Queyras. Toutefois, les résultats d'analyse géochimique qui se rapportent à notre secteur d'étude constituent une source d'information pour élaborer un programme de prospection magnétique sur ce secteur.

3.1. METHODE

L'échantillonnage se fait sur les affleurements, retenus en fonction des conditions d'accès et des caractères pétrographiques des roches. Les échantillons sont dosés par voie chimique pour la recherche du cuivre et du nickel.

La géologie et la localisation des échantillons prélevés concernant uniquement notre secteur d'étude sont illustrées par la figure 23.

GEOCHIMIE DE SAINT-VERAN

Fig. 23 GEOLOGIE

0 100 200 300 400 500 metres

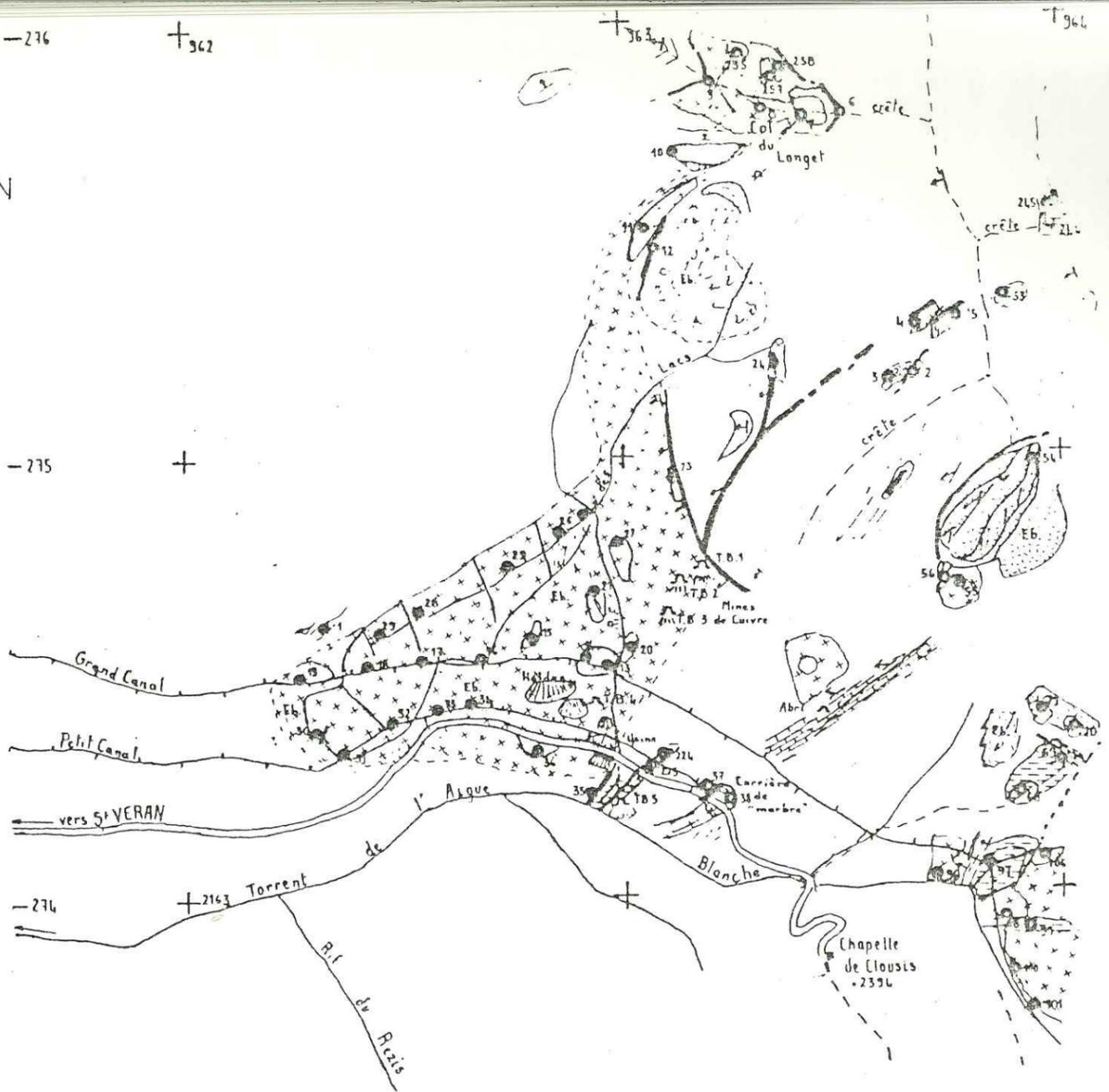
N.L.

- 1 Echantillon et numéro.
-  Roche à Riebeckite
-  Prasinite.
-  Gabbro
-  Serpentine.
-  Eboulis

(d'après P.A. POULAIN 1967)

-275

+



3.2. DONNEES GEOCHIMIQUES

Les résultats des analyses sont reportés et quantifiés sous la forme d'un cercle centré sur le point de prélèvement de l'échantillon. Suivant que ce cercle est plus ou moins noirci, la quantité de nickel ou de cuivre, exprimée en 10^{-6} , est plus ou moins importante.

Les figures 24 a et 24 b illustrent les résultats des analyses géochimiques pour le nickel et le cuivre respectivement.

On constate dans la figure 24 a que la teneur en nickel supérieure à $1\ 000 \cdot 10^{-6}$ se trouve uniquement dans les serpentinites.

Pour les teneurs en cuivre (figure 24 b), les faibles teneurs (inférieures à $25 \cdot 10^{-6}$ se situent au niveau des serpentinites et des schistes lustrés, par contre, les teneurs plus élevées (de 25 à $1\ 000 \cdot 10^{-6}$ se retrouvent dans les roches basiques. Enfin, les fortes teneurs à plus de $1\ 000 \cdot 10^{-6}$ correspondent aux indices répertoriés dans le massif de Saint-Véran par la prospection géologique, en particulier au col de Longet.

3.3. CONCLUSION

Cette prospection géochimique avait pour but la recherche des minéralisations cuprifères dans un contexte géologique identique à celui de la mine de Saint-Véran, à l'échelle du Queyras.

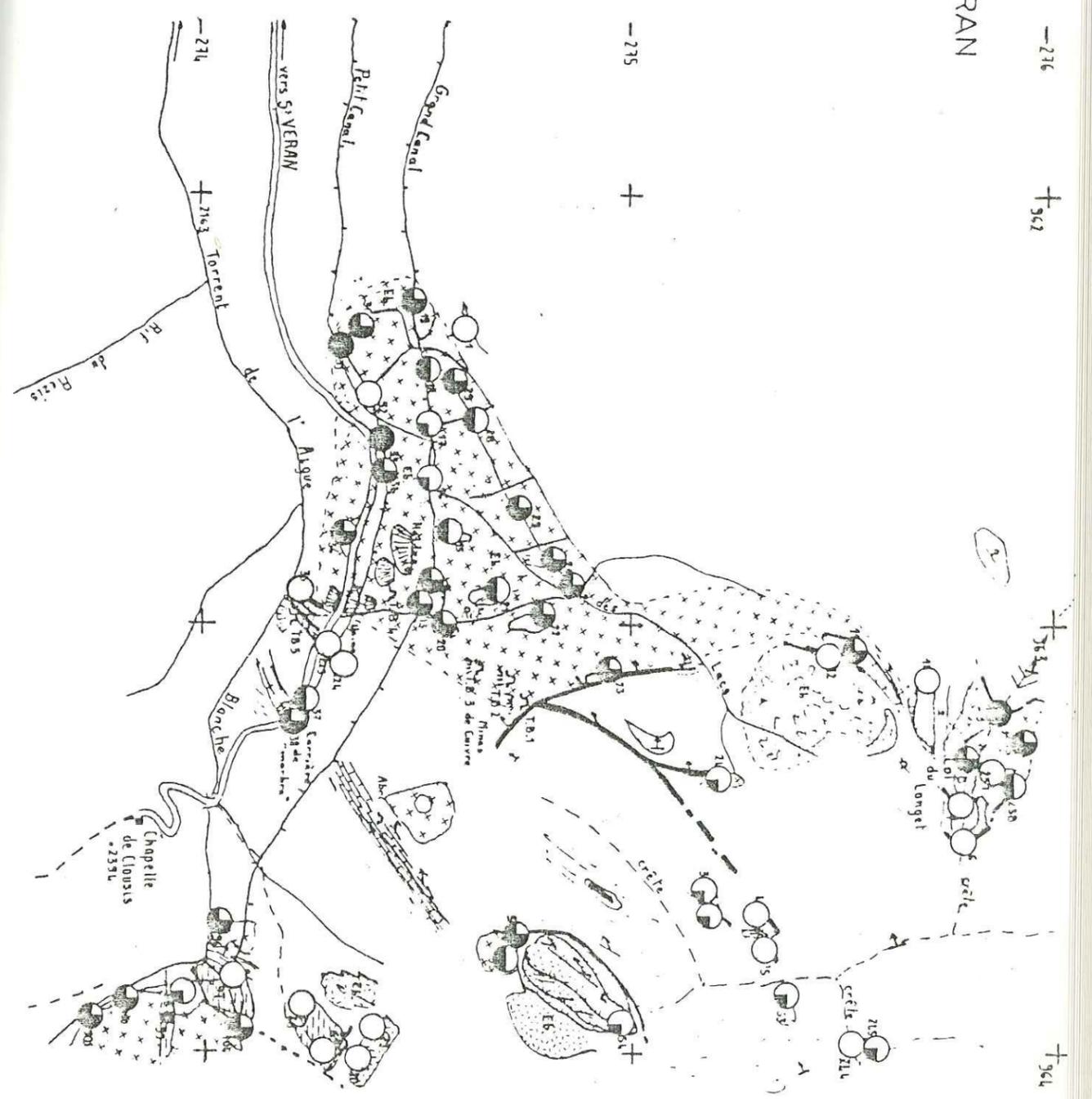
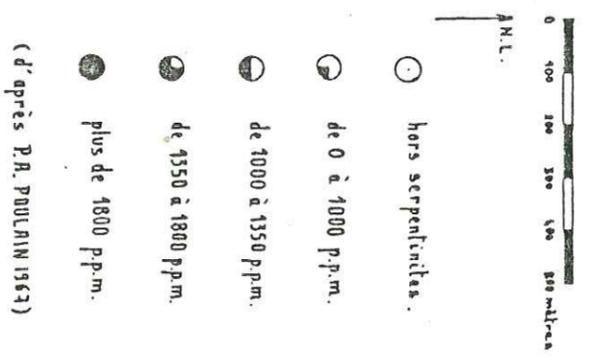
Dans notre optique, cette étude reste assez grossière en raison d'une densité de mesures faible et, comme le remarque POULAIN, la mine de Saint-Véran passe inaperçue.

Cependant, pour notre secteur limité, deux éléments sont à retenir :

- la présence attendue de l'indice du col de Longet,
- l'existence d'une zone au NE de la mine qui groupe un

GEOCHIMIE DE SAINT-VERAN

Fig. 24a. NICKEL



ensemble de concentrations élevées. Ce deuxième secteur peut fournir un objectif pour la prospection magnétique.

GEOCHIMIE DE SAINT-VERAN

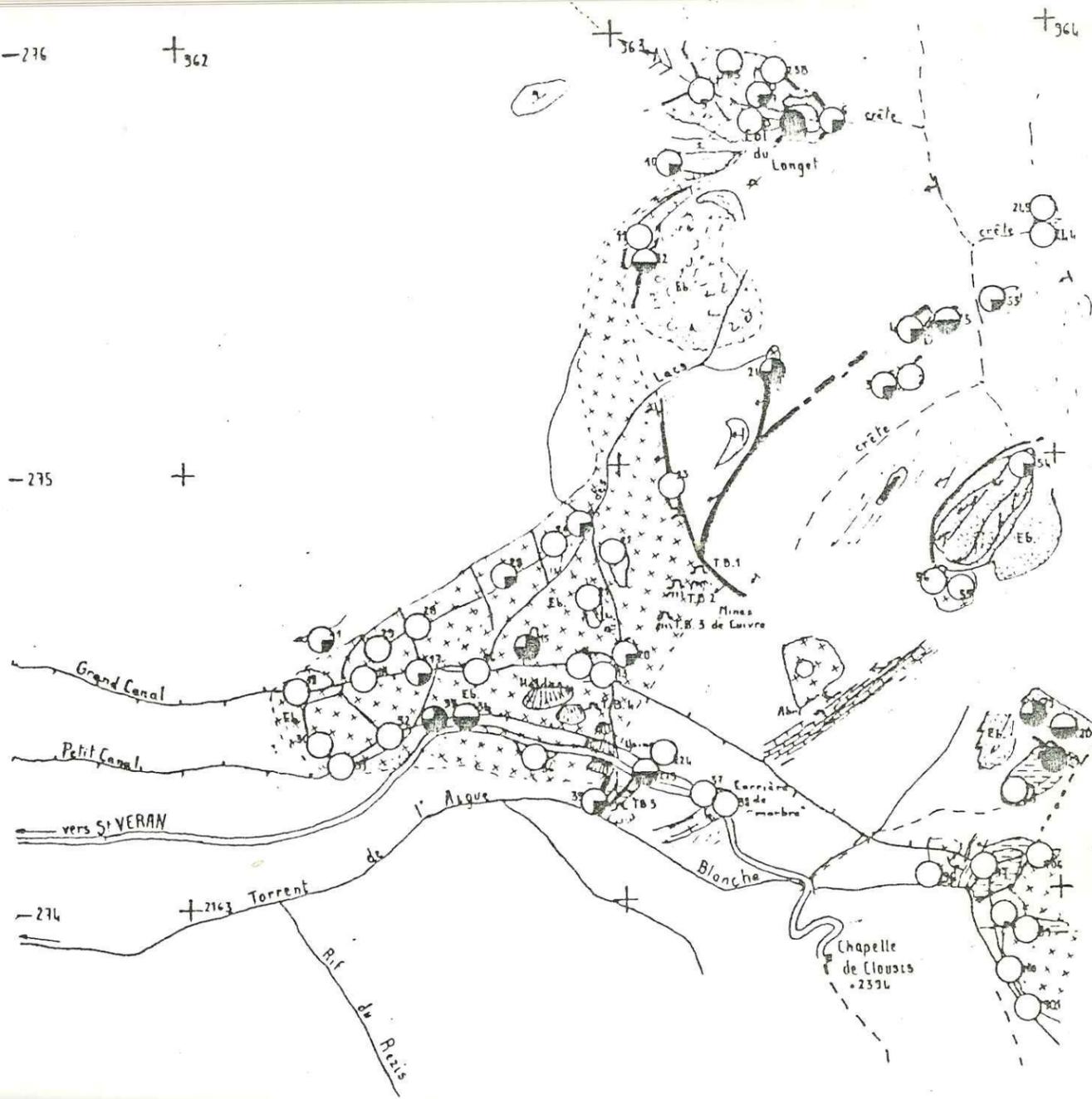
g. 24b. CUIVRE

0 100 200 300 400 500 mètres.

P.N.L.

- moins de 25 p.p.m.
- ◐ de 25 à 50 p.p.m.
- ◑ de 50 à 105 p.p.m.
- ◒ plus de 105 p.p.m.
- plus de 1000 p.p.m.

(d'après P.A. POULAIN 1967)



Chapitre 4 :

PROSPECTION MAGNETIQUE

4.1. GENERALITES

Une prospection au sol dans ces régions de haute montagne (2 300 m - 2 700 m) n'est possible que pendant les 3 mois d'été, lorsque la neige a fondu entièrement ou presque. Il est apparu nécessaire de pratiquer deux campagnes de mesures, la première dans le courant de l'été 1976, la seconde venant compléter les données précédentes pendant l'été 1977.

Ces deux prospections sont traitées en respectant l'ordre chronologique de leur déroulement et les résultats obtenus.

4.2. CAMPAGNE 1976

4.2.1. Choix des zones

La figure 25 présente une vue générale du secteur d'étude qui permet de replacer les différents éléments de la carte topographique détaillée (Annexe 4) dans leur contexte.

Deux zones d'essai ont été retenues et sont appelées :

- zone du col de Longet pour la plus septentrionale
- zone des Lacs pour la plus méridionale.

Pour la première, le choix s'est appuyé sur des critères géologique et géochimique, puisqu'on retrouve la minéralisation, la série caractéristique de la mine de Saint-Véran, ainsi que des teneurs en cuivre élevées.

La deuxième zone se situe en amont de l'exploitation minière, sur la structure minéralisée dans un secteur non exploité. C'est à la fois une zone d'étalonnage et d'exploration.

Ce choix a été renforcé pour des raisons d'accès et de topographie qui expliquent l'élimination de la région caractérisée par l'anomalie géochimique déjà signalée.

4.2.2. Préparation

Après la reconnaissance géologique et la définition des secteurs, un levé topographique (Annexe 4) a été exécuté avec l'aide des étudiants du D.E.A. 1976 de géologie appliquée de Grenoble, à la planchette et au théodolite. L'ensemble du levé a nécessité 2 semaines de terrain. Les deux zones d'étude se situent dans les alpages et la rocaille. Là, les conditions les plus favorables sont réunies pour faire des mesures le long des profils.

4.2.2.1. Zone du col de Longet (Annexe 4)

Le piquetage de la zone s'effectue au moyen d'une boussole et d'un hectomètre. Les piquets sont disposés tous les 10 m le long des profils orientés NO - SE, longs de 290 mètres et de 40 m de largeur moyenne. La forme de la zone est conditionnée par la présence de falaises qui empêche la prise de mesures continue.

Fig. 25. Localisation des zones prospectées (campagne 1976)
(d'après une photographie aérienne de H. DABROWSKI)



4.2.2.2. Zone des Lacs (Annexe 4)

Les limites de la zone d'étude sont fixées à la suite d'une prospection de reconnaissance rapide.

La zone prévue initialement au vu des documents géologiques débutait au niveau de S4 - S5 et s'étendait plus à l'Est. Deux profils de reconnaissance ont été exécutés sur une longueur de 450 m, environ, avec 50 m d'écart.

Cette opération permet de fixer les limites de la zone des Lacs, tout en obéissant aux règles imposées par la technique de mesure et en se cantonnant strictement à l'extension maximale des anomalies.

Les profils ont une orientation pratiquement Est - Ouest. La géométrie du secteur est sensiblement celle d'un rectangle de 300 m de long sur 100 m de large, diminué d'une partie correspondant à une dalle de schiste glissante. Les piquets de repérage sont plantés tous les 10 m, le long d'un profil.

Le piquetage de cette zone a nécessité deux journées à trois personnes alors que seul il a fallu cinq jours pour la zone de Longet. Cette comparaison montre combien la préparation des zones à prospecter est contraignante.

4.2.3. Mesures

4.2.3.1. Zone du col de Longet

Le matériel de mesure et d'enregistrement est transporté au bas du col de Longet. Il se compose des mêmes éléments que ceux employés sur le filon des Rognioux (J. POCACHARD, 1977). Il est ensuite transporté sur la zone d'étude proprement dite.

La station de mesure est installée à l'abri d'une tente et comprend :

- un magnétomètre de conception nouvelle,
- un petit enregistreur graphique,
- une perforatrice de bande,
- une antenne de réception des mesures.

L'alimentation se fait uniquement au moyen de piles et de batteries.

La sonde de référence est placée dans les éboulis géants de gabbro, à proximité de la station de mesure, à laquelle elle est reliée par câble.

La sonde mobile est fixée horizontalement sur la claie de portage à 2 mètres du sol.

La technique de prise de mesure adoptée est en continu. L'ensemble des mesures avec la mise en place et le rangement du matériel a nécessité 3 jours.

4.2.3.2. Zone des Lacs

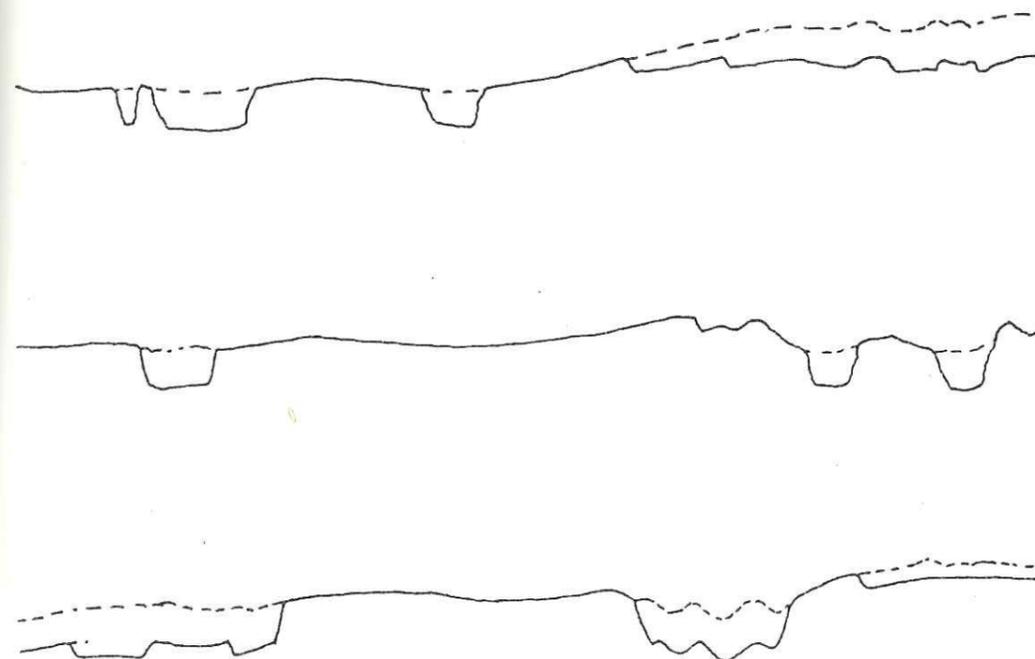
La technique de prospection et le matériel utilisé sont identiques à l'étude précédente. La station de mesure et la sonde de référence sont situées au point S4 à proximité de la zone d'investigation.

La prospection, la mise en place de l'appareillage et son rangement final durent 4 jours.

Il faut ajouter à cela le dépiquetage qui a nécessité 3 jours de travail à deux personnes.

4.2.4. Dépouillement

De retour au laboratoire, on effectue, tout d'abord, les opérations habituelles de transformation des bandes perforées terrain en bandes exploitables pour le traitement par ordinateur. Avant



Légende

Trait continu : courbe numérique erronée.

Trait discontinu : courbe analogique exacte.

Fig. 26. Exemples d'erreurs d'enregistrement numérique.

d'exécuter les tracés des cartes et des profils, un programme de vérification révèle la présence d'une erreur systématique.

Le tracé de profils permet de visualiser la nature de cette erreur qui se manifeste par une série de paliers, (Figure 26).

L'enregistrement graphique est normal, il s'avère donc impossible de déceler directement une erreur de ce type sur le terrain. On l'attribue à une défaillance du système d'acquisition des données numériques.

La chaîne de programme excluait, jusqu'alors, la possibilité d'erreurs en raison de l'infailibilité de la méthode et de la possibilité de refaire les mesures, si besoin était.

La solution de retourner sur le terrain n'étant pas toujours possible, il s'avérait nécessaire de pouvoir corriger les bandes numériques. Il a donc fallu modifier ou mettre au point une série de programmes de visualisation ou de correction, qui constituait une lacune de la chaîne de traitement informatique. L'enregistrement graphique contribue au programme de correction des données numériques; le travail de programmation et de correction s'est réparti sur 4 mois.

La correction des bandes numériques achevée, il est alors possible d'exécuter les programmes de tracé de cartes et de profils magnétiques.

4.2.5. Cartes et profils magnétiques

Zone du col de Longet (Annexe 5 a)

On constate, tout d'abord, que les anomalies magnétiques sont bien marquées (de l'ordre de 1 000 γ). La carte magnétique se divise en 3 domaines distincts.

Un premier domaine, dans la partie NO, du secteur d'étude est une zone magnétiquement calme .

Par contre, le deuxième domaine, qui correspond à la partie centrale, est perturbé par de nombreuses anomalies.

Enfin, le troisième domaine occupe le tiers SE de la zone d'étude et se caractérise, à nouveau, par un fond magnétique calme.

Les profils magnétiques montrent une bonne corrélation des anomalies d'un profil à l'autre.

Zone des Lacs (Annexe 6)

Les effets magnétiques sont également élevés, au total 1 600 γ . La carte magnétique est homogène sauf dans sa partie médiane et à son extrémité orientale, où se localisent d'importantes anomalies. Les profils magnétiques révèlent, également, la continuité des anomalies d'un profil de mesure à l'autre.

4.2.6. Interprétation qualitative

4.2.6.1. Col de Longet (Annexe 5 b)

La confrontation des différents documents magnétiques et géologiques cherche à établir si les anomalies magnétiques correspondent à la nature des roches affleurantes. Les résultats sont présentés sous la forme d'un tableau schématique (Annexe 5 b) contenant l'ensemble des données enregistrées (profils magnétiques, géologie...)

On divise le tableau en trois parties correspondant à des effets magnétiques différents.

Les zones isolées se répartissent de gauche à droite comme suit :

- le secteur Nord Ouest,
- le secteur central,
- le secteur Sud Est.

Secteur Nord Ouest

Il est caractérisé par la similitude des profils magnétiques entre eux. Leur allure en creux est attribuée à l'influence topographique. Cette zone correspond à des schistes.

La limite entre le secteur Nord Ouest et le secteur central est marquée par la ligne 1, de direction N 45° E qui indique le passage d'une zone magnétiquement calme à une zone perturbée.

Secteur central

Le secteur central se distingue par ses anomalies magnétiques corrélant parfaitement d'un profil à l'autre et, qui, généralement, sont attribuées à des structures cylindriques.

Cette zone se subdivise, à son tour, en deux parties qui diffèrent par leurs valeurs magnétiques et par la géologie correspondante.

Une limite qui correspond à la ligne 2 marque un contact géologique invisible sur le terrain.

L'ensemble constitué par une anomalie négative suivie d'une anomalie positive est attribué à la serpentinite qui affleure par endroits sous une couverture d'éboulis.

L'unité correspondant à l'anomalie magnétique négative est bien délimitée par les lignes 2 et 3.

On admet que cet effet est dû à une bande de terrain dont l'aimantation diffère nettement de celles des autres unités reconnues. Cette aimantation correspondrait au gabbro qui est masqué par des éboulis.

L'extension du gabbro vers le S E est limitée par la ligne 3 qui apparaît très nettement d'un profil à l'autre et de direction sensiblement N 58° et ce contact est visible sur le terrain et

correspond à une limite gabbro - serpentinite.

Cette ligne 3 marque également, la séparation entre deux zones magnétiquement différentes : le secteur central et le secteur Sud Est. Il convient, également, de signaler un fait magnétiquement important qui se manifeste au niveau des lignes de contacts 2 et 3, gabbro - serpentinite. Il s'agit de petites anomalies parfaitement bien individualisées, plus particulièrement sur la ligne 3. Ce phénomène magnétique révèle, sans doute, la présence d'une minéralisation se localisant précisément au niveau du contact.

Secteur Sud Est

Au-delà de la ligne 3, on se trouve dans le secteur Sud Est qui est magnétiquement calme.

Toutefois, on individualise deux parties qui diffèrent l'une de l'autre par des critères pétrographiques, révélés, également, par des effets magnétiques.

La ligne 4 de direction N 58° E marque le contact serpentinite - schistes difficile à voir sur le terrain.

La bande limitée par les lignes 3 et 4 correspond à une légère anomalie positive. Des affleurements de serpentinite se situant dans cette zone sont à l'origine de cet effet et les différencient des schistes affleurants à l'extrémité de la zone d'étude.

Il faut signaler que, comparativement, les schistes du secteur Sud Est ont une aimantation supérieure à celle des schistes du secteur Nord Ouest.

La structure géologique du col de Longet, à la lumière des données magnétiques, se présente comme une succession d'unités géologiques bien individualisées, centrées autour d'un gabbro et se répartissant entre une bande de serpentinite, directement au contact, sans doute minéralisé, du gabbro, et une bande de schistes.

L'étude magnétique apporte des informations nouvelles exploitables dans l'interprétation de la structure géologique ; elle permet de délimiter des ensembles pétrographiques à aimantation différente.

En outre, bien que l'emploi de la méthode différentielle à haute sensibilité ne se justifie pas vraiment dans un milieu fortement magnétique, il apparaît, toutefois, que la mesure continue fait ressortir des détails au niveau des contacts géologiques, détails qui, par une méthode point par point, seraient passés inaperçus. Dans ce cas, cette méthode offre des possibilités nouvelles, en particulier une aide précieuse dans une prospection géochimique pour déterminer un lieu d'échantillonnage, dans notre cas la zone de contact gabbro - serpentinite.

4.2.6.2. Zone des Lacs (Annexe 6)

L'analyse détaillée de la carte et des profils magnétiques révèle, encore une fois, la bonne corrélation qui existe de profil à profil.

L'interprétation s'appuie surtout sur la géologie. La répartition des anomalies magnétiques est proposée dans un tableau de synthèse qui réunit les profils magnétiques découpés en plusieurs secteurs particularisés (Annexe 6)

On distingue les secteurs suivants, de gauche à droite, c'est-à-dire de l'Ouest vers l'Est :

- Secteur A
- Secteur B
- Secteur C
- Secteur D sur une partie, seulement, de l'ensemble des profils.

Ces différents secteurs sont bien individualisés, soit par une ligne de séparation, soit par des bandes d'anomalies.

Secteur A

Il se caractérise par une anomalie négative qui apparaît sur la quasi totalité des profils.

Il se situe vraisemblablement dans des schistes ; on admet, toutefois, que cet effet est dû à la proximité de la serpentine. La limite entre les secteurs A et B est précisée par la ligne 1 qui joint l'ensemble des points de séparation entre les 2 types d'anomalie magnétique. Cette ligne a une direction sensiblement N O.

Secteur B

Il correspond davantage à une zone de fort magnétisme. L'effet topographique de la pente importante n'est pas marqué, puisque l'anomalie positive est très régulière sur l'ensemble des profils et constitue un "plateau" magnétique limité à l'Est par la bande 1.

Bande 1 :

Cette bande se caractérise par la présence d'une anomalie magnétique très localisée, se répercutant sur une largeur de 30 - 40 m. On retrouve cette anomalie sur l'ensemble des profils ; elle est plus ou moins marquée.

On attribue l'origine de cet effet à la présence de schistes à riebeckite de faciès identique à celui décrit par P. ROUTHIER.

On remarque, également, que l'anomalie n'a pas la même amplitude sur toute la longueur. Cette variation s'explique par une différence de minéralisation qui est plus ou moins profonde.

Les profils magnétiques P 20 à P 40 révèlent la présence d'une minéralisation affleurante à subaffleurante, ces données sont appuyées par la présence d'un affleurement de schistes à riebeckite

se situant à l'aplomb de cette anomalie. Par contre, les profils P 50 à P 70 témoignent de l'existence d'une discontinuité sans une minéralisation particulière ; ce fait est confirmé par la diminution de la largeur de l'anomalie ne traduisant pas un enfouissement de la même structure mais plutôt un appauvrissement de la minéralisation.

Les profils P 80 à P 170 sont marqués par des anomalies négatives importantes qui révèlent et confirment la continuité de cette structure minéralisée vers le Nord. Cette structure apparaît comme étant subaffleurante au niveau des profils P 90 et P 100 et sur P 130 et P 150.

Cette structure a une direction N O dans la partie méridionale de la bande 1 pour devenir N 30°, dans sa partie septentrionale.

Secteur C

Les profils magnétiques ont une forme très régulière donnant l'aspect d'un "plateau" très plat et qui caractérise l'homogénéité pétrographique des schistes lustrés. La limite de ce secteur se situe au niveau de la bande 2.

Bande 2 :

Elle est caractérisée par une anomalie qui se retrouve sur l'ensemble des profils, anomalie qui est bien marquée entre les profils P 50 et P 100. Toutefois, sa largeur et son amplitude sont moins importantes que celles de l'anomalie de la bande 1. L'effet maximal se situe à l'aplomb d'un grattage effectué dans le niveau à riebeckite. Enfin, il est difficile de séparer les effets qui sont à l'origine de cette anomalie et qui peuvent, tout aussi bien, être attribués à une discontinuité de type structural (accident) ou de type pétrographique (niveau à riebeckite).

Les lignes de points de mesures sont disposées suivant l'orientation N O - S E afin d'être à peu près perpendiculaires aux structures recoupées.

La figure 27 montre l'importance de la surface couverte et les détails de la topographie.

4.3.2. Piquetage

A partir des repères topographiques mis en place l'année précédente, il est très facile de se recalcr sur la base établie au col de Longet. Les lignes de piquet sont, ensuite, repérées de 50 m en 50 m, jusqu'à ce qu'on ait atteint la zone des Lacs. Pour chaque ligne, on met en place, en moyenne, 5 piquets, avec 50 mètres d'intervalle entre eux, au total 80 piquets sont plantés.

L'irrégularité de la zone est due à la topographie (éboulis de gros blocs : figure 27). Pour effectuer ce travail de piquetage, trois jours ont été nécessaires à deux personnes. La surface piquetée représente 15 hectares.

4.3.3. Mesures

L'ensemble du matériel est transporté au moyen du camion laboratoire stationné en S.G. 2.537 (Annexe 4).

La station de référence est mise en place à proximité du camion auquel elle est directement reliée par un câble. Il faut ensuite procéder au gonflage à l'hélium du ballon qui est une opération délicate, compte-tenu du vent, et surtout de la fragilité du ballon.

On fixe le capteur à une attache du ballon ; l'ensemble est relié à un individu porteur de l'émetteur et de l'alimentation. Le porteur en liaison radio avec la station de mesure, en l'occurrence le camion laboratoire, se déplace de point en point et annonce le numéro du point de mesure.

Les mesures sont faites en chaque point à deux hauteurs 50 m et 25 m. Cette pratique permet d'obtenir directement, sans effectuer une opération de transformation, l'effet d'un prolongement vers le haut qui élimine les variations d'origine superficielle au profit de celles d'origine plus profonde.

Pour simplifier le traitement des données, les mesures point par point se font le long de la même ligne, en prenant soin de toujours commencer par la mesure à 50 m. Les mesures des points des deux dernières lignes, dont la première se situe entre la ligne C I.C et le col de Longet, et la seconde correspond à la base du col de Longet, n'ont pu être effectuées, à cause du vent trop violent qui empêchait la stabilisation du ballon à l'aplomb des points. L'ensemble des mesures a été fait en deux jours et demi.

4.3.4. Dépouillement

Les valeurs sont transcrites manuellement en octal. On fait, également, les enregistrements numériques et analogiques qui permettent de vérifier l'exactitude des mesures. On effectue le dépouillement manuellement, c'est-à-dire qu'on digitalise les valeurs du champ converties en décimal en ayant pris soin, au préalable, de séparer les mesures faites à 50 m du sol de celles faites à 25 m. On fait ensuite le tracé des deux cartes aux deux altitudes.

4.3.5. Résultats (Annexe 7 a)

Les deux cartes mettent en évidence l'existence de trois zones magnétiquement bien individualisées.

Les parties septentrionale et méridionale, aussi bien dans la carte à 25 m que dans celle à 50 m, se caractérisent par l'allure particulière des courbes isogammes qui sont orientées NE - SO, c'est-à-dire perpendiculairement aux lignes de mesure alors que dans la partie centrale elles sont NO - SE. Le gradient magnétique est élevé dans la partie orientale de la zone d'étude.

4.3.6. Interprétation qualitative (Annexes 7 a et 7 b)

Avant d'entamer l'interprétation des cartes magnétiques, il convient de signaler les erreurs qui apparaissent sur les documents. La différence entre la carte à 25 m et celle à 50 m se révèle dans une atténuation des anomalies qui se manifeste par un étirement des courbes isogammes.

On constate l'existence de deux erreurs qui se situent dans le secteur occidental de la carte à 25 m. L'anomalie circulaire centrée sur l'isogamme - 50 γ n'existe pas sur la carte 50 m. On en déduit qu'il s'agit, là, d'une erreur due à une prise de mesure effectuée très près du sol et non plus à 25 m.

La deuxième erreur, également remarquée, est située à proximité de la précédente. Elle se localise au niveau de l'anomalie en demi-cercle centrée sur l'isogamme 0.

On constate que l'anomalie reste la même, que ce soit sur la carte à 50 m ou sur celle à 25 m.

Les trois zones, magnétiquement bien individualisées, se répartissent du Nord au Sud entre :

- la zone Nord
- la zone centrale
- la zone Sud.

La zone Nord

Elle se caractérise par l'allure des courbes isogammes qui sont orientées NE - SO. La moitié occidentale, qui est la plus proche du gabbro, a un fort gradient magnétique. La moitié orientale est magnétiquement calme. La ligne l orientée NE - SO sépare ces deux secteurs.

La zone centrale

Elle se distingue par l'allure des anomalies. On attribue l'orientation particulière des courbes dans cette zone à une discontinuité structurale.

La ligne 2 représente l'accident masqué par un glissement de terrain.

La zone Sud

Les courbes isogammes se répartissent, à peu près, de la même façon que celles de la zone Nord.

On distingue un secteur à fort gradient magnétique à l'Ouest de la zone. La deuxième moitié est perturbée. La limite entre ces deux secteurs est matérialisée par la ligne 4 orientée sensiblement N E - S O.

On distingue, également, une anomalie négative représentée par la ligne 3 orientée N N E - S S O qui souligne le prolongement vers le Nord du niveau minéralisé correspondant à la bande 1 définie dans l'interprétation de la zone des Lacs.

Cette même anomalie est très atténuée sur la carte à 50 m ; cet effet est dû à un enfouissement de la structure.

4.3.7. Conclusions

Les résultats acquis au cours de cette campagne ballon, et interprétés par la suite, clarifient les informations géologiques. Les données magnétiques mettent en évidence la continuité vers le Nord du gisement de Saint-Véran. Toutefois, l'extension de la prospection vers l'Est serait souhaitable ainsi qu'un prolongement vers le Sud.

La comparaison entre un profil de mesure au sol avec le

même profil relevé au ballon aurait fourni des données intéressantes pour vérifier, par exemple, la précision du positionnement du ballon.

Cette opération, qui avait été envisagée, n'a pu être réalisée, à cause des conditions météorologiques défavorables.

Cette nouvelle technique de prospection à l'avantage d'être efficace et rapide, bien que d'un emploi restreint, il s'avère que ce compromis entre la prospection au sol et la prospection aérienne reste le seul moyen de faire des mesures différentielles à la hauteur la mieux appropriée pour la recherche de minerais.

4.4. SYNTHESE

La prospection du gisement de St-Véran montre l'efficacité de la méthode magnétique continue au sol, par sa facilité d'adaptation aux conditions du milieu d'étude.

La mesure différentielle à haute sensibilité au sol s'avère très utile, même en milieu fortement magnétique, car elle permet de faire ressortir des anomalies très localisées, qui correspondent à des contacts géologiques précis pouvant présenter un intérêt minier.

Le fait de pouvoir repérer ce type d'anomalie, perceptible uniquement en mesure continue au sol, ouvre des perspectives nouvelles dans la prospection minière, en tant que méthode auxiliaire de la prospection géochimique, par exemple.

L'expérimentation de la méthode ballon, rendue possible par une totale indépendance entre les différents éléments constitutifs de l'appareil, permet maintenant la pratique de la prospection minière à une hauteur, sans doute la mieux appropriée à ce type d'investigation et qui était, jusqu'alors, inexploitable.

Il est bien évident que cette méthode, qui n'est qu'au

stade expérimental, a besoin d'être améliorée pour élargir les possibilités de son domaine de prospection, ce qui a pour conséquence une modification de l'appareillage par un allègement et une restructuration de l'équipe de prospection, études en cours de réalisation.

CONCLUSION GENERALE

Les variations très localisées et faibles du champ magnétique terrestre qui relèvent du domaine de la prospection minière sont perceptibles avec le magnétomètre différentiel à haute sensibilité.

Ce nouveau type d'appareil permet de pratiquer au sol les méthodes réservées, jusqu'à présent, à la prospection aérienne. Les difficultés auxquelles se heurtait la prospection au sol sont, peu à peu, éliminées.

Il faut, tout de même, retenir que les propriétés magnétiques des roches varient, très brutalement, et sur de courtes distances, cela va sans dire que l'interprétation magnétique n'est pas sans difficulté. L'analyse des données brutes mises sous la forme de cartes ou de profils apparaît comme une méthode apportant des informations déjà exploitables dans le domaine de la géologie opérationnelle face aux techniques de modélisation qui se révèlent très complexes.

L'analyse détaillée de la carte magnétique du secteur alpin révèle les différents types d'erreurs dûs au programme de tracé que l'on peut s'attendre à retrouver dans tous les documents traités dans une optique d'étude bien précise.

Cette analyse met l'accent sur les risques encourus lors d'une manipulation maladroite de ce type de résultats. Il est préférable, dans ce cas, de reprendre les données originales.

L'appareillage utilisé dans les prospections magnétiques au sol réunit de nombreuses qualités qui sont essentiellement :

- l'indépendance du capteur
- la prise de mesure continue
- la très haute résolution (0,01 γ près)
- la mesure différentielle directe.

A cela, on peut opposer certaines limitations qui sont en cours d'amélioration. Ce sont, essentiellement, l'encombrement et le poids du matériel d'acquisition et d'enregistrement des données, ainsi que l'alimentation par batteries encore trop lourdes.

Le matériel s'avère, déjà, très efficace et révèle son utilité dans tous les milieux. Dans un environnement à contraste magnétique faible, même à 4 mètres, les effets superficiels sont encore importants, suffisamment pour masquer les effets recherchés. L'étude du filon du Sapey a permis de dégager les enseignements suivants :

1) L'appareillage est adapté à une prospection de ce type de minéralisation, malgré des contrastes magnétiques faibles.

2) Les effets parasites nécessitent une interprétation soignée compte-tenu des données géologiques qui restent toujours à préciser sur le terrain.

3) Il semble que sur ces types de gisement, la surface d'investigation doit être élargie pour en faciliter l'interprétation (élimination des risques de confusion avec des effets identiques d'origines différentes).

4) Il semble également que cette méthode de prospection puisse être améliorée en s'éloignant de la surface au moyen d'une technique telle que celle du ballon captif, voire un nouveau mode de prospection qui reste à mettre au point.

L'étude du gisement de Saint-Véran a permis de mettre en évidence combien la mesure continue pouvait fournir des données nouvelles, même en un lieu fortement magnétique. La multiplicité des détails et la haute résolution sont les atouts principaux de la prospection magnétique au sol avec ce type de magnétomètre.

Enfin, la technique particulière avec ballon abordée à Saint-Véran ouvre une voie nouvelle à la prospection minière. Une multitude d'études nouvelles s'ébauche, tant sur le plan expérimental que sur le plan technologique.

Dans le cadre de perspectives d'études à envisager, on pourrait faire une analyse des profils magnétiques bruts enregistrés lors du levé aéromagnétique de la France, qui, comparativement aux profils topographiques avec la lithologie correspondante, doit révéler, sans doute, l'existence de corrélations entre des anomalies magnétiques locales et des contacts lithologiques.

La prospection magnétique continue en haute sensibilité au sol est une méthode qui, améliorée et allégée, pourrait se révéler un précieux auxiliaire de la géochimie.

Un programme d'essais sur la prospection avec un ballon captif au-dessus de milieux à faibles contrastes magnétiques pourrait être

entrepris et révélerait, peut-être, quelle hauteur de prise de mesure semble la mieux appropriée dans ce type de milieu.

C'est ce type d'investigation qui devait être entrepris à Condorcet et qui n'a pu être réalisé.

Enfin, il apparaît, également, que l'équipe de prospection devrait être munie d'un appareillage léger, le moins encombrant possible ; matériel qui est, actuellement, en cours d'élaboration.

La meilleure formule serait celle mettant en oeuvre deux individus totalement indépendants. Cela reviendrait à supprimer la station de mesure, qui serait remplacée par un enregistrement continu des mesures du champ total sur cassette, pendant l'investigation, tandis qu'en même temps, seraient enregistrées, en un point fixe, les variations temporelles du champ. La mesure différentielle serait alors effectuée en fin de journée, en différé.

Ce prototype de l'équipe future de prospection aura la possibilité d'investir tous les milieux, même les plus défavorables, tel que le milieu alpin, tout en conservant la même résolution.

BIBLIOGRAPHIE

MAGNETISME :

ABRAGAM A. : 1961 - Les principes du magnétisme nucléaire -
1ère édition, P.U.F. 346

ABRAGAM A., COMBRISSEON J., SOLOMON L. : 1957 - Polarisation nucléaire
par effet Overhauser dans les solutions d'ions paramagné-
tiques - Compte rendus Académie des Sciences Paris, 245,
157 - 160

BOYER D. : 1970 - Techniques nouvelles de prospection magnétique de dé-
tail et d'interprétation par modèles réduits, utilisant
les mesures continues du champ magnétique terrestre to-
tal - Thèse Docteur Spécialité, Paris

COLLIN C.R., SALVI A., LEMERCIER D., LERMERCIER P., ROBACH F. : 1973
Magnétomètre différentiel à haute sensibilité - Geophy-
sical prospecting, 21, 704 - 715

COULOMB J., JOBERT G. : 1976 - Traité de Géophysique Interne - Tome 2,
9 - 210, Masson

COURTILLOT V., LE MOUËL J.L. : 1975 - Le champ magnétique de la Terre,
La Recherche, 6, 720 - 730

FAVRE B. : 1962 - Cours de géophysique, Méthodes magnétiques, I.F.P.,
Technip

GERARD A., GRIVEAU P. : 1972 - Interprétation quantitative en gravi-
métrie ou magnétisme à partir de cartes transformées du
gradient vertical. Geophysical prospecting, 20, 459 - 481

- GIRET R., MALMAR L. : 1965 - Un nouveau magnétomètre aérien, le magné-
tomètre à vapeur de césium - Geophysical prospecting, 13,
225 - 239
- GRANT F.S., WEST G.F. : 1965 - Interpretation theory in applied geo-
physics - International Series in the Earth Sciences.
Mc Graw Hill Book Company, 210 - 234, 268 - 354
- HOOD P., WARD S.H. : 1969 - Airborne Geophysical Methods - Advances
in Geophysics - Academic Press New York and London,
13, 2 - 41
- LASFARGUES P. : 1966 - Magnétisme en géologie et prospection magnéti-
que au sol - Masson
- LEBORGNE E. : 1960 - Influence du feu sur les propriétés magnétiques
du sol et celles du schiste et du granite - Annales de
géophysique, 16, 159 - 194
- LEBORGNE E. , LE MOUËL J.L. : 1964 - Magnétomètres à protons - Magnéto-
mètres à pompage optique - Institut de Physique du Globe,
Paris
- LE MOUËL J.L. : 1970 - Le levé aéromagnétique de la France - Calcul
des composantes du champ à partir des mesures de l'in-
tensité - Annales de géophysique, 26, 229 - 258
- NAUDY H., CHASTENET DE GERY J. : 1957 - Interprétation des anomalies
gravimétriques et magnétiques - Geophysical prospecting,
5, 431 - 444
- NAUDY H. : 1970 - Une méthode d'analyse fine des profils aéromagné-
tiques - Geophysical prospecting, 18

- PARASNIS D.S. : 1973 - Methods in Geochemistry and Geophysics -
Mining Geophysics, Elsevier
- ROSSIGNOL J. C. : 1971 - La cartographie magnétique - La Recherche, 2
1065 - 1067
- RUNCORN S.K. : 1960 - Methods and techniques in Geophysics
Interscience Publishers New York - London, Tome 1
- SALVI A. : 1970 - Perfectionnements apportés aux magnétomètres à réso-
nance magnétique nucléaire à pompage électronique - Revue
de Physique Appliquée, 5, 131 - 234
- SOCIETY OF EXPLORATION GEOPHYSICISTS' : 1967 - Mining Geophysics
Tome 2, 422 - 615
- THOMAS J. : 1965 - Le magnétomètre aéroporté M.P. 121.
Sud-Aviation - Geophysical prospecting, 13, 22 - 36

GEOLOGIE :

- BARBIER R. : 1944 - Sur l'existence d'un "dôme" émergé au Lias inférieur dans le massif du Grand Châtelard (Rocheray) près de Saint Jean de Maurienne (Savoie) - Compte rendus sommaires de la Société Géologique de France n° 4, 38 - 39
- CHERMETTE A. : 1962 - Les minéralisations fluorées du massif du Rocheray (Savoie) - D.R.M.M. 1962, A7, B.R.G.M., 34 p
- EMRE T. : 1977 - Contribution à l'étude de quelques diapirs du S E de la France - Thèse Ingénieur Docteur, Grenoble
- ISNEL P. : 1935 - La mine de cuivre de Saint-Véran, son exploitation à l'âge préhistorique - Bulletin de la Société d'Etudes des Hautes-Alpes, 13, 14, 15, 16, 1 - 9
- LACROIX A. : 1964 - Minéralogie de la France et de ses anciens territoires d'Outre-Mer - Librairie Scientifique et Technique, Blanchard, Paris
- LAFFITTE P. : 1972 - Traité d'informatique géologique - Masson
- LEMOINE M. : 1962 - Observations nouvelles et considérations sur la signification des ophiolites dans les schistes lustrés du Queyras (Hautes-Alpes) et des régions voisines - Compte rendus sommaires de la Société Géologique de France, 7, 186 - 188
- LLIBOUTRY L. : 1971 - Cours de Physique du B. G. 2. - Institut de Glaciologie, Grenoble
- MELoux J., POULAIN P.A. : 1967 - Note sur le gisement de cuivre de Saint-Véran - D.R.M.M., B.R.G.M., Division S.E. 59

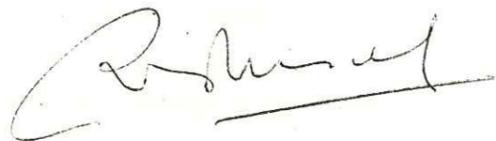
- POCACHARD J. : 1977 - Application du magnétomètre différentiel à double résonance à la prospection minière sur des gîtes métallifères alpins - Thèse Docteur Spécialité, Grenoble
- POULAIN P.A. : 1967 - Premiers résultats de la prospection : Roches vertes du Queyras - B.R.G.M.
- ROUTHIER P. : 1946 - Un type particulier de gîte cuprifère associé à des roches vertes : le gîte de Saint-Véran (Hautes-Alpes) Etude géologique, pétrographique et metallogénique. Bulletin de la Société Française de Minéralogie, 69, 99 - 150
- VATIN - PERIGNON N. : 1966 - Géologie du massif cristallin du Grand-Châtelard (Savoie) - Travaux du Laboratoire de Géologie de Grenoble, 42, 141 - 202
- VIALON P., RUHLAND M., GROLLIER J. : 1976 - Eléments de tectonique analytique - Masson

Dernière page d'une thèse

VU

Grenoble, le 24 avril 1978

Le Président de la thèse



Vu, et permis d'imprimer,

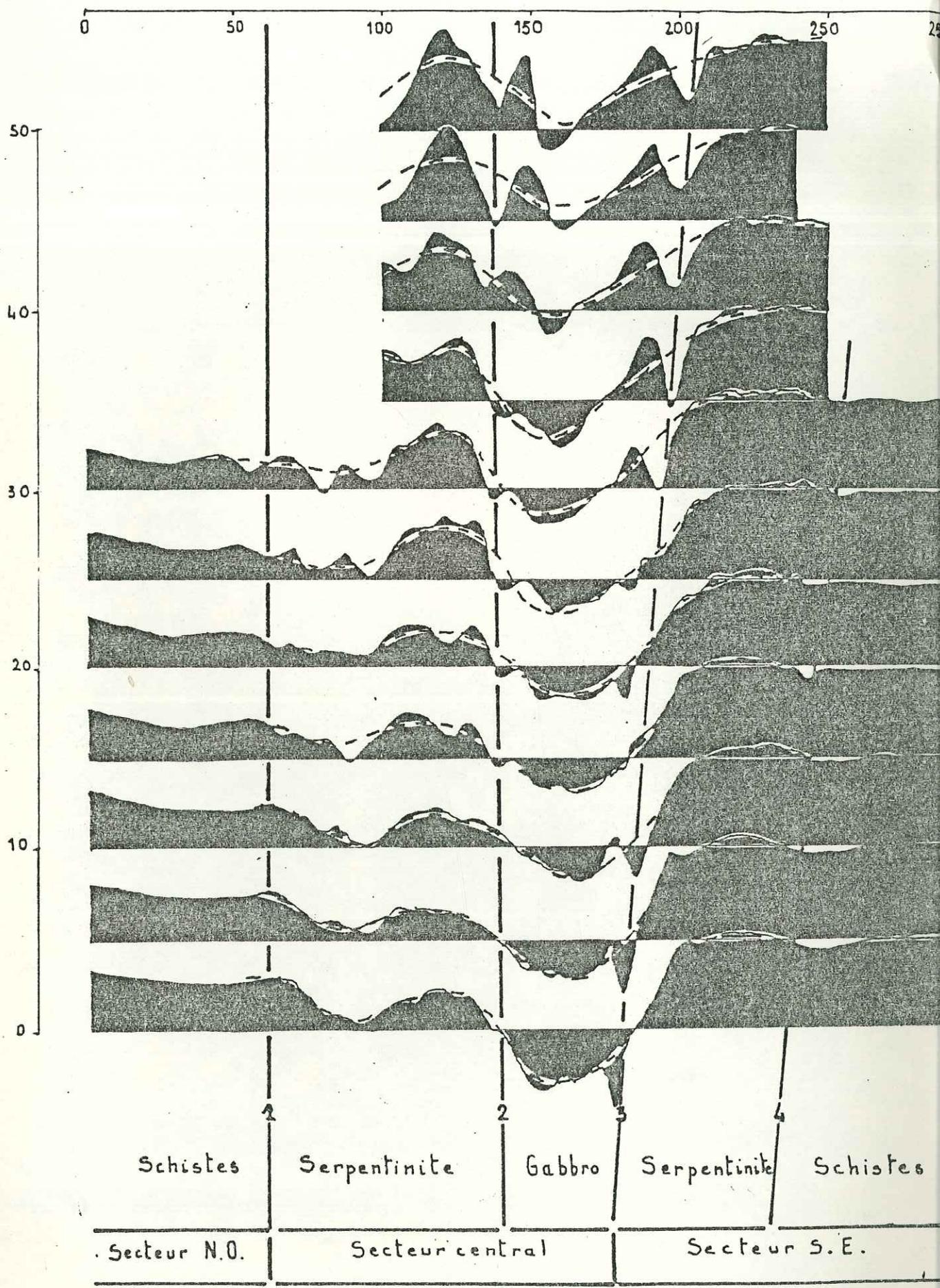
Grenoble, le

Le Président de l'Université
Scientifique et Médicale

G. CAU

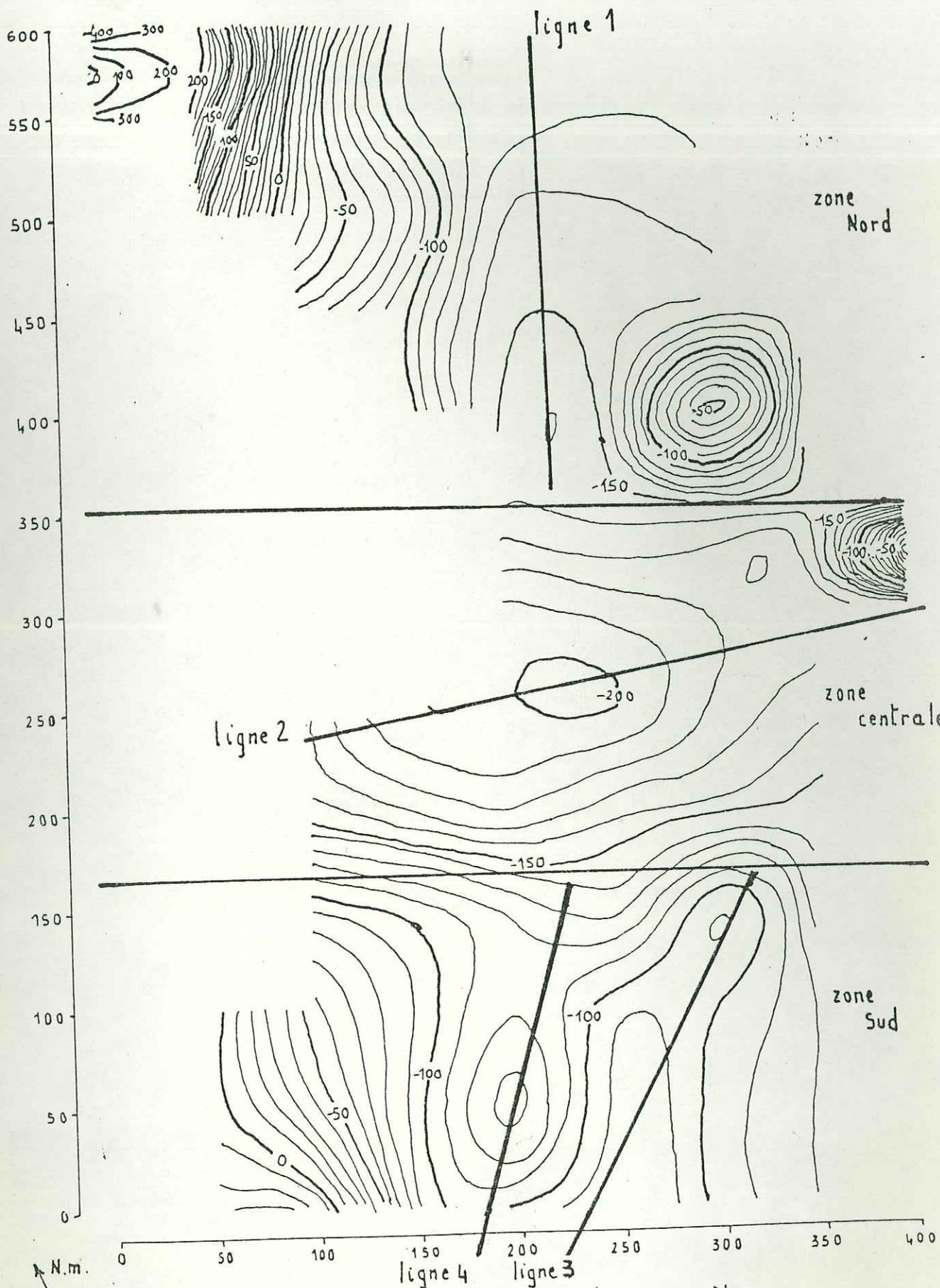
31 MAI 1978

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE
et MÉDICALE de GRENOBLE
INSTITUT DOLOMIEU
Rue Maurice-Cignoux
38 - GRENOBLE



Nm.

Annexe 5b. ZONE DU COL DE LONGET.
Interprétation qualitative.

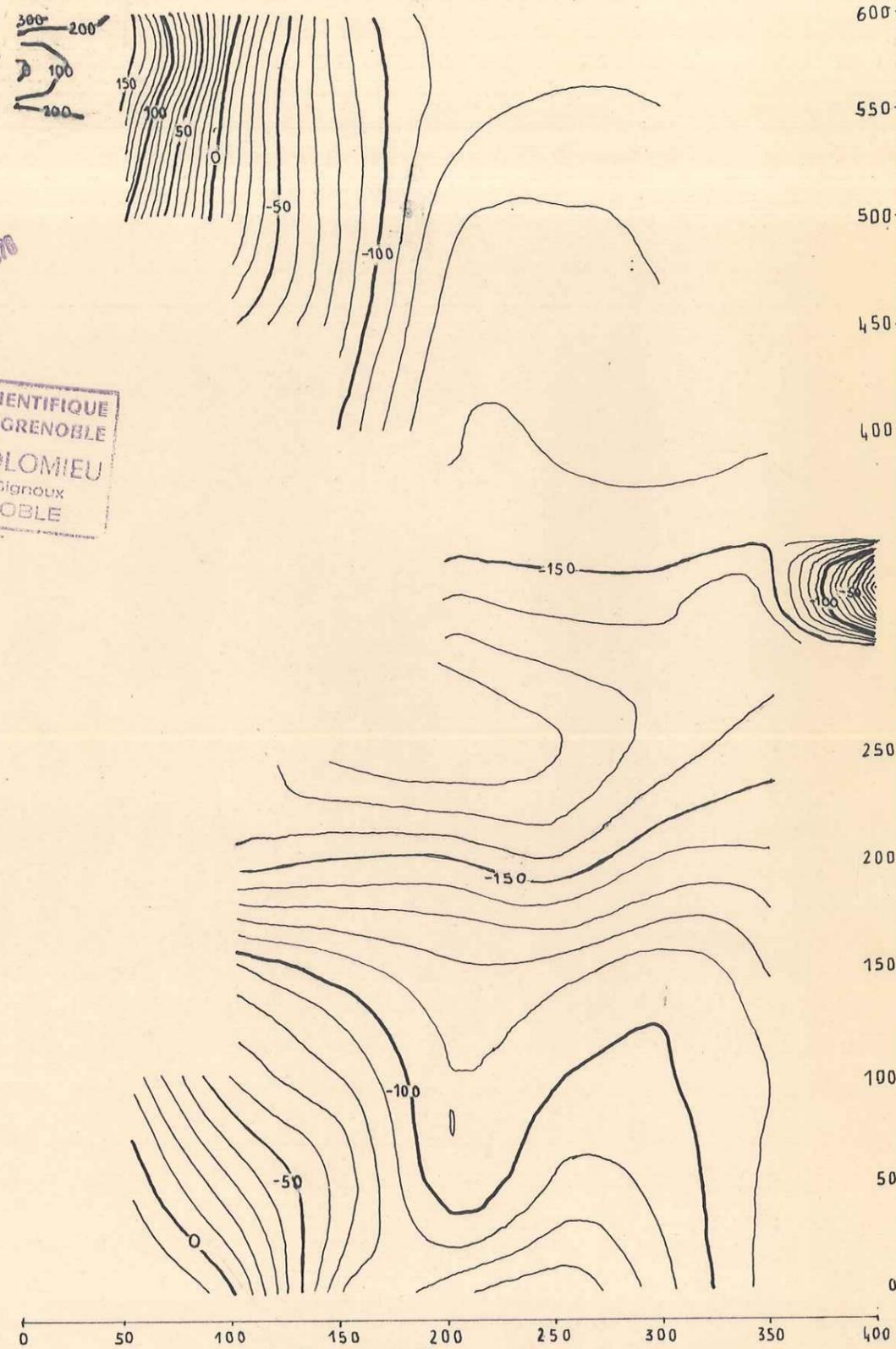


Equidistance des isogammes: 10γ. Distance en mètres.

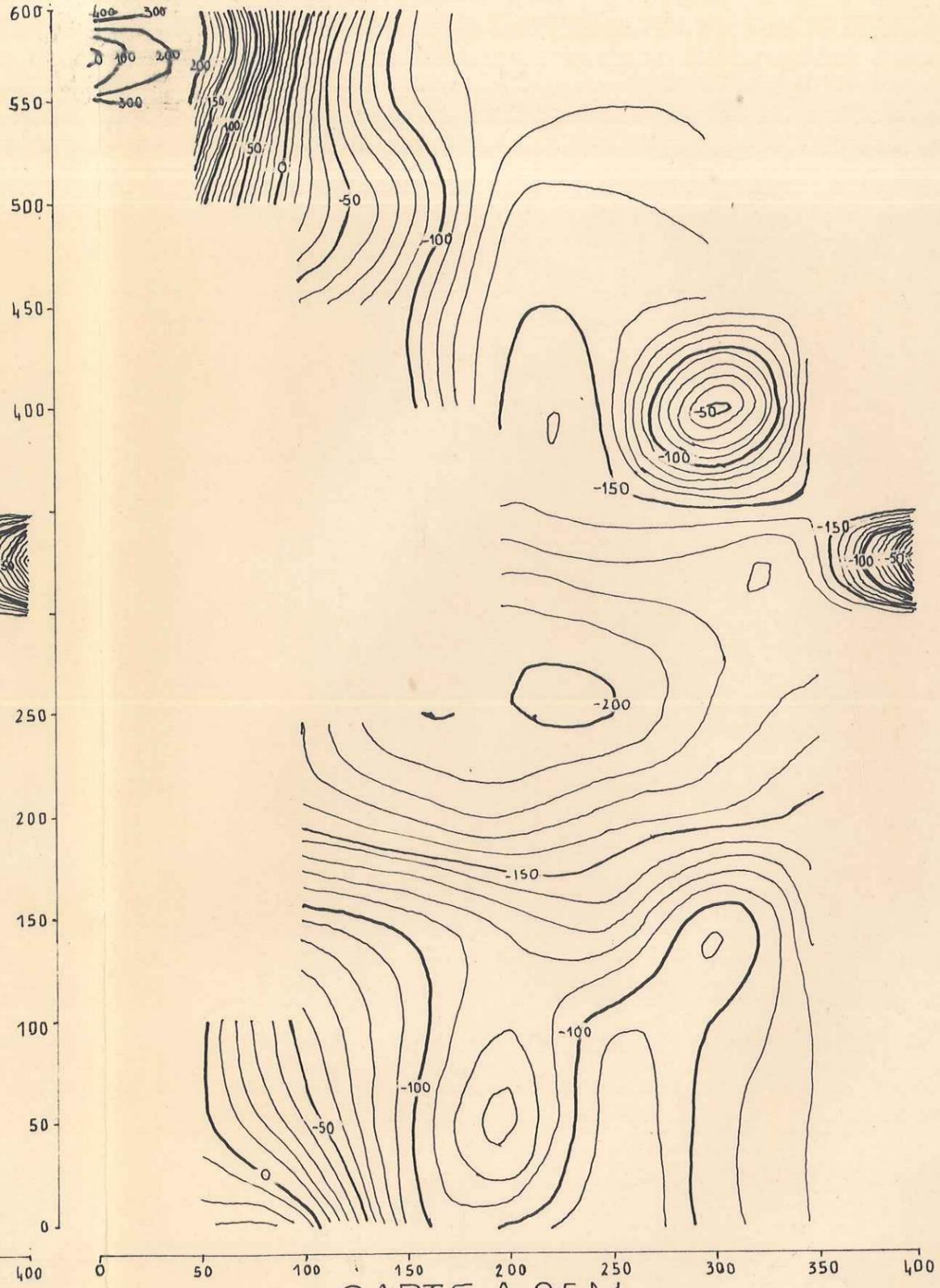
Annexe 7b - ZONE "BALLON". Interprétation qualitative.

31 MAI 1978

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE
et MÉDICALE de GRENOBLE
INSTITUT DOLOMIEU
Rue Maurice-Gignoux
38 - GRENOBLE



CARTE A 50 M.



CARTE A 25 M.

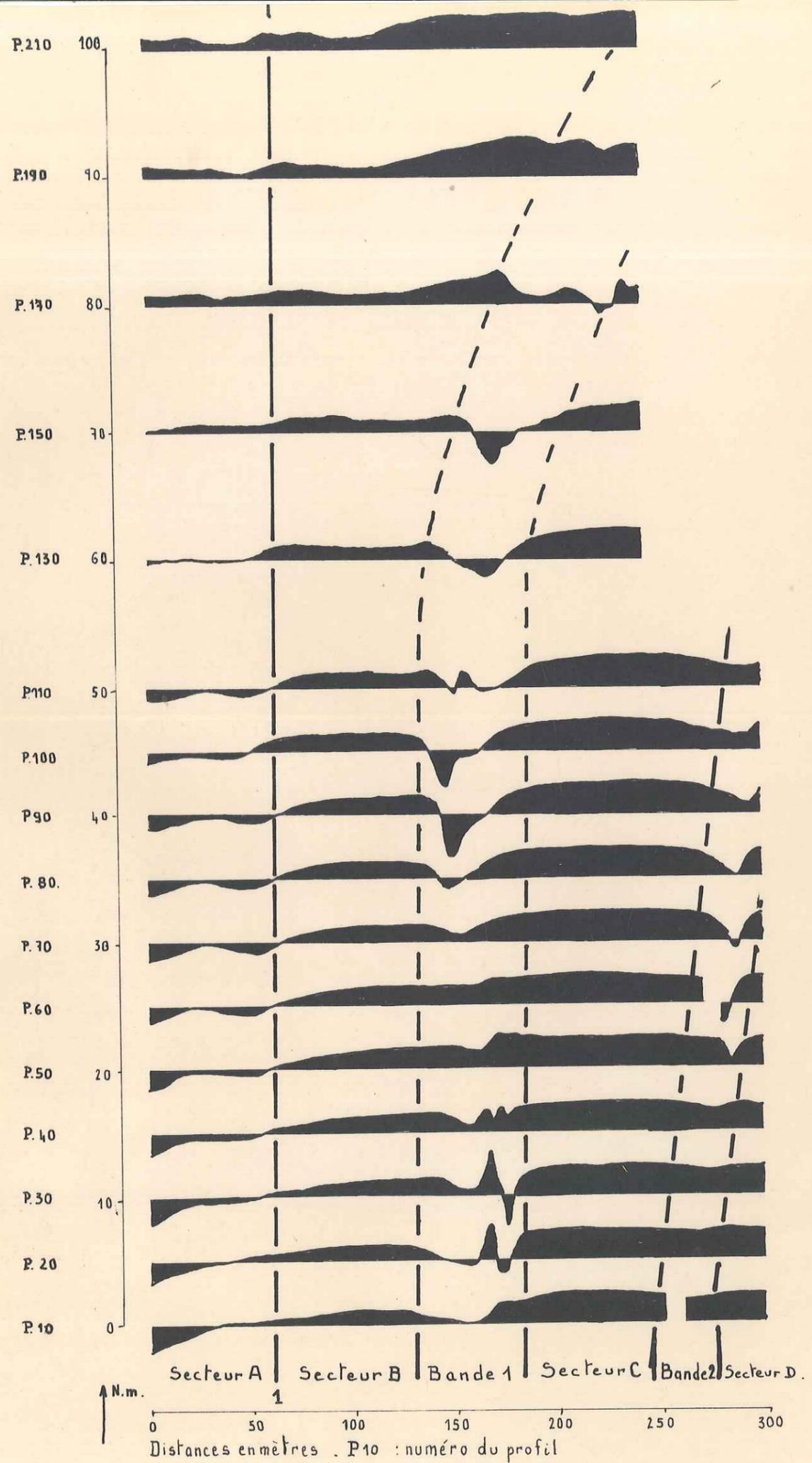
Equidistance des isogammes : 10 γ . Distance en mètres.

Annexe 7a. ZONE "BALLON". CARTES MAGNETIQUES A 50 ET 25 METRES DU SOL.

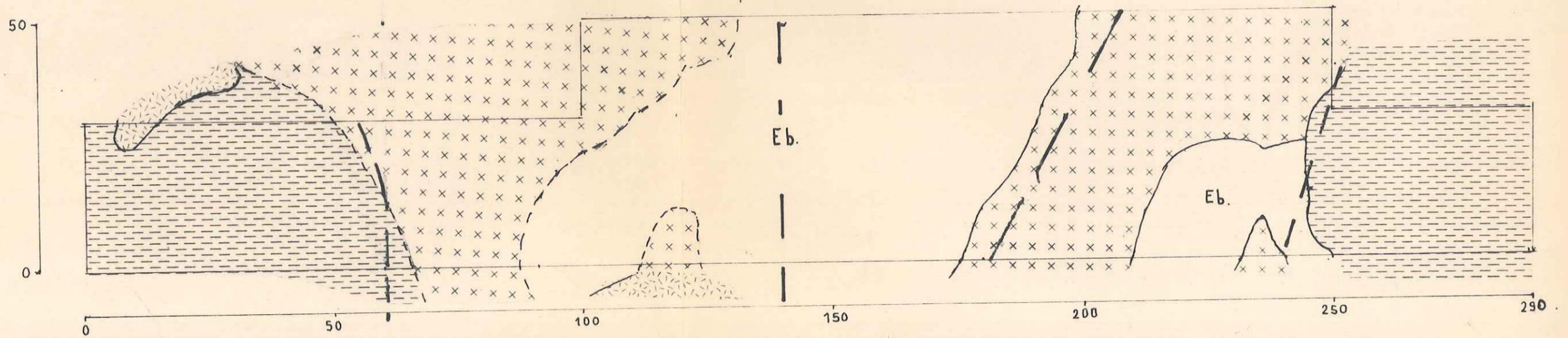
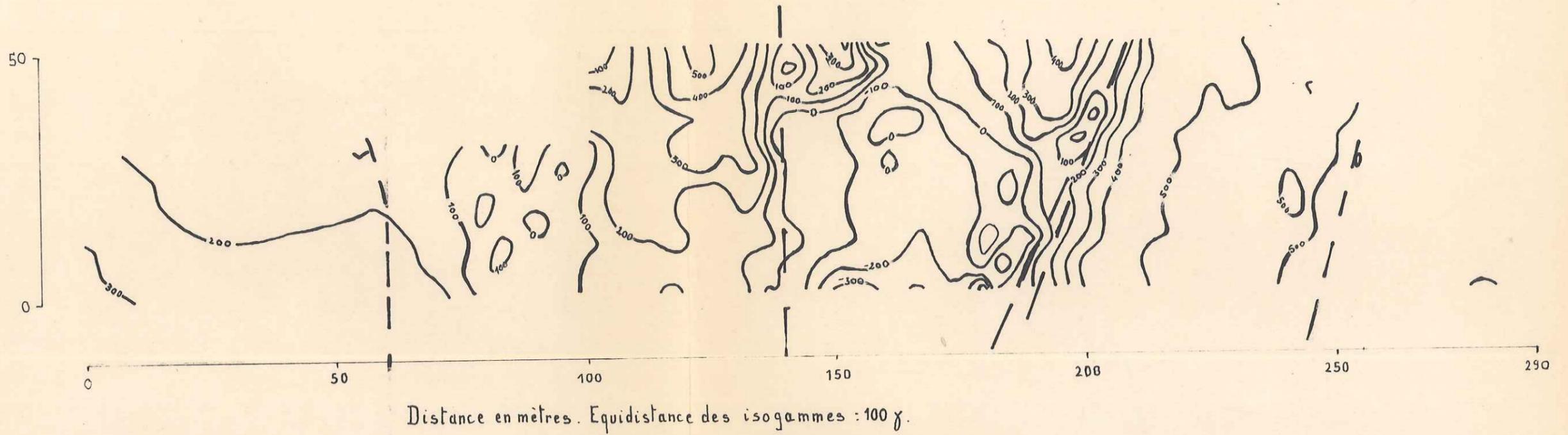
UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE
 et MÉDICALE de GRENOBLE
 INSTITUT DOLOMIEU
 Rue Maurice-Gignoux
 38 - GRENOBLE

31 MAI 1978

Annexe 6. ZONE DES LACS
 Interprétation qualitative.



31 MAI 1978



N.m.



Schistes



Serpentine



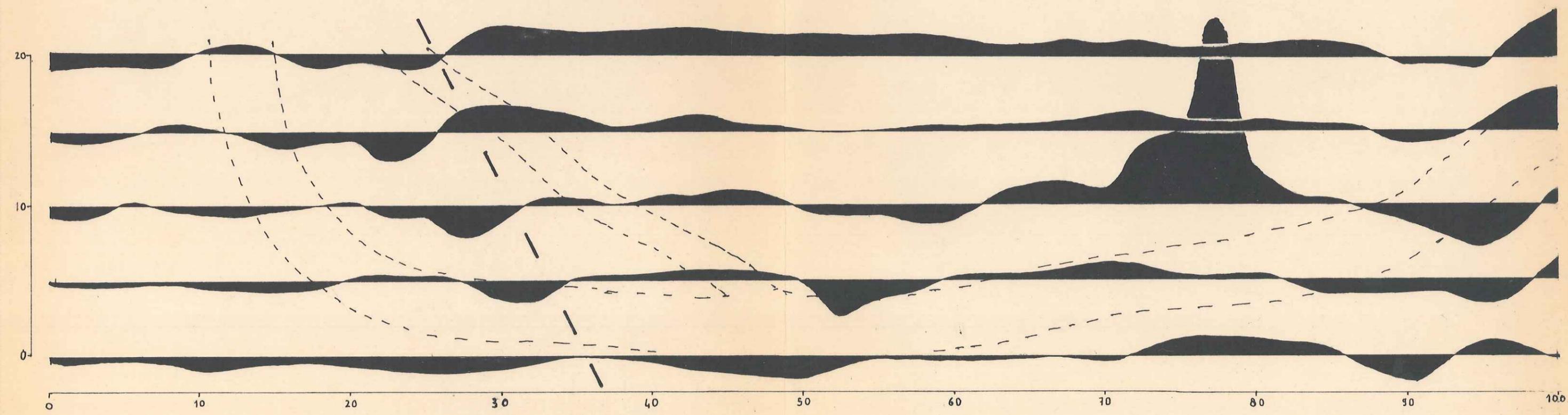
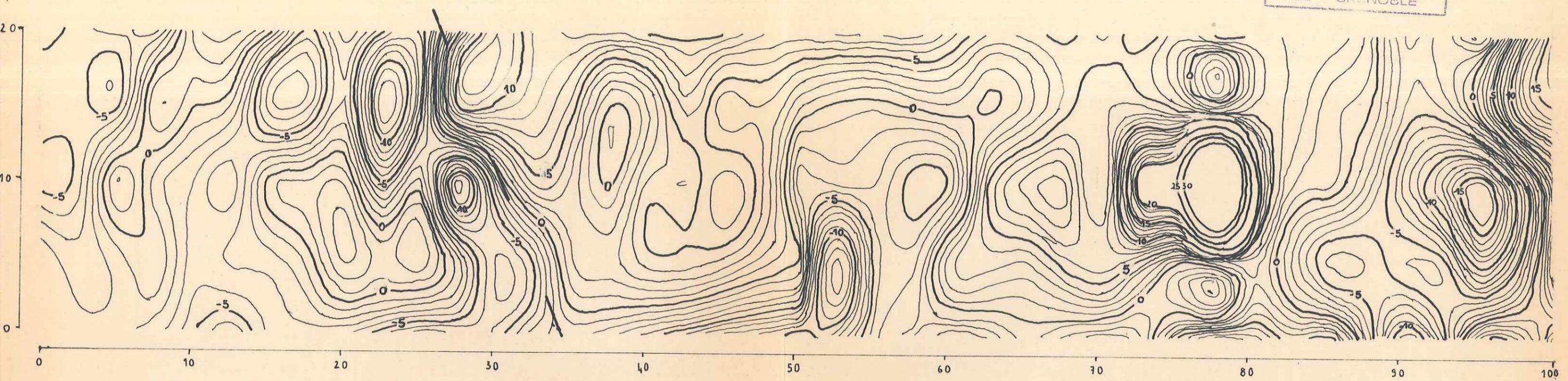
Gabbro



Eboulis

Annexe 5a. ZONE DU COL DE LONGET. RESULTATS.

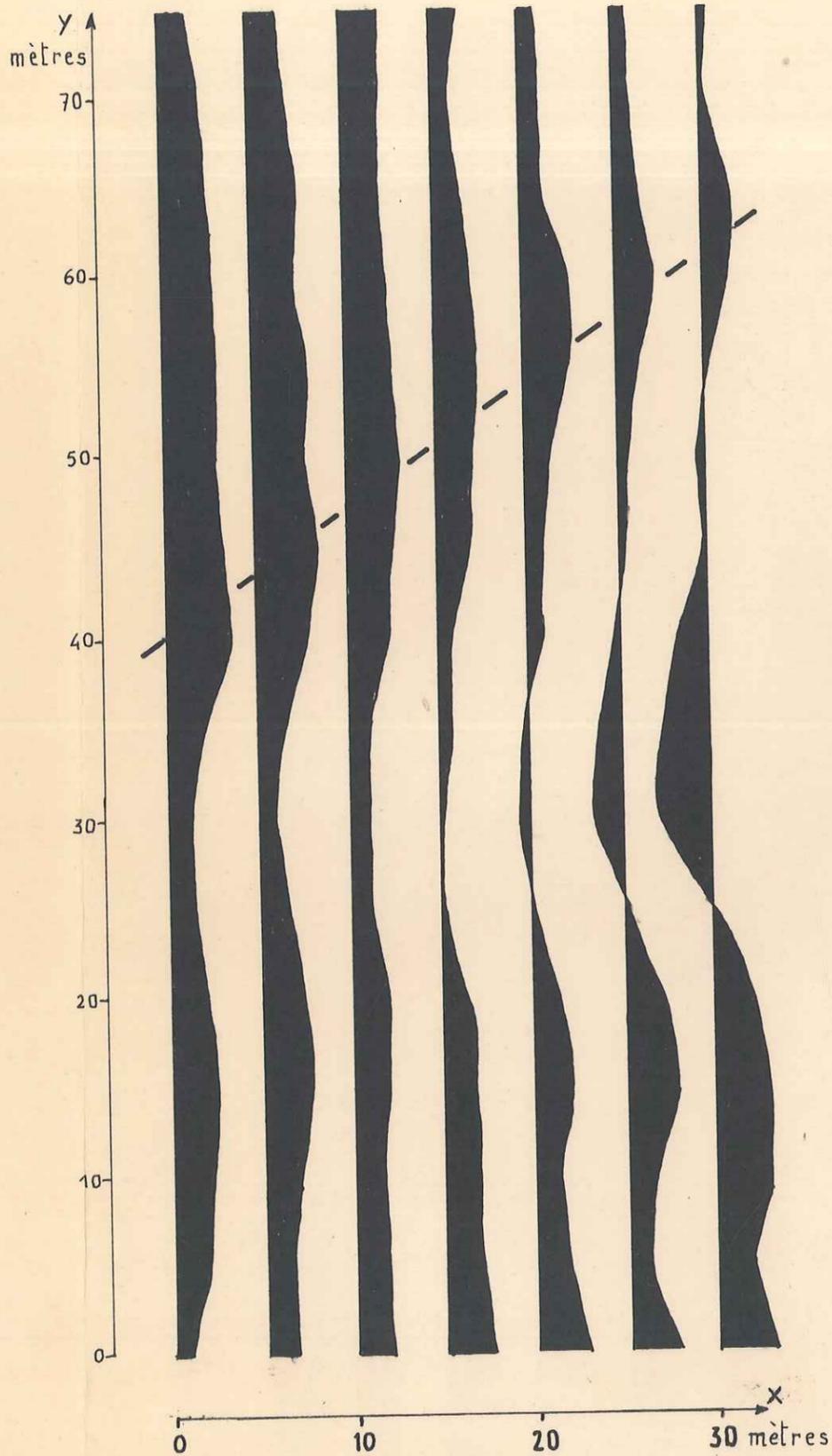
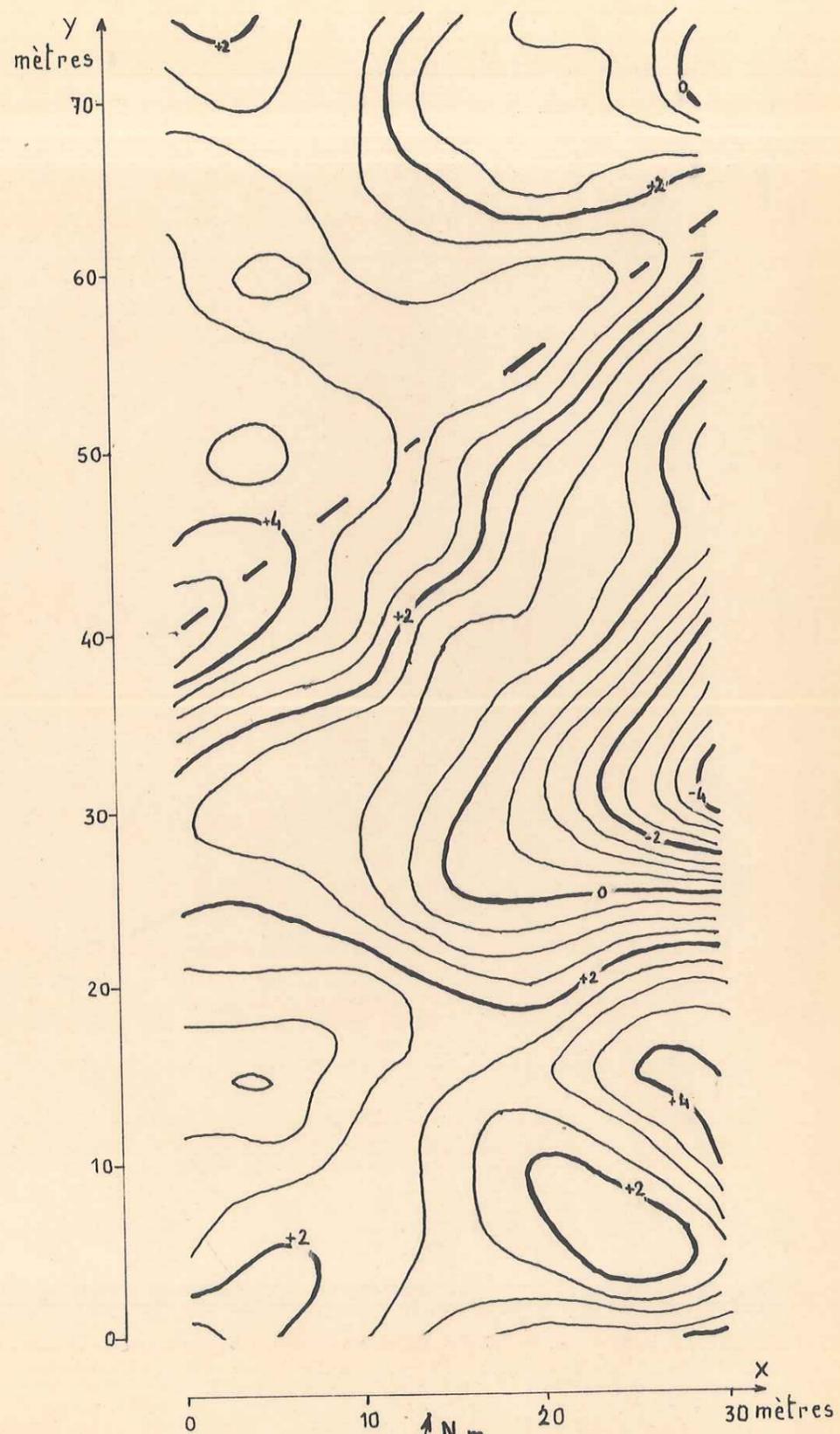
31 MAI 1978



N.m. Equidistance des isogammes : 1γ. Distances en mètres.
Annexe 3 - ZONE C.S. - CARTE ET PROFILS MAGNETIQUES -

31 MAI 1978

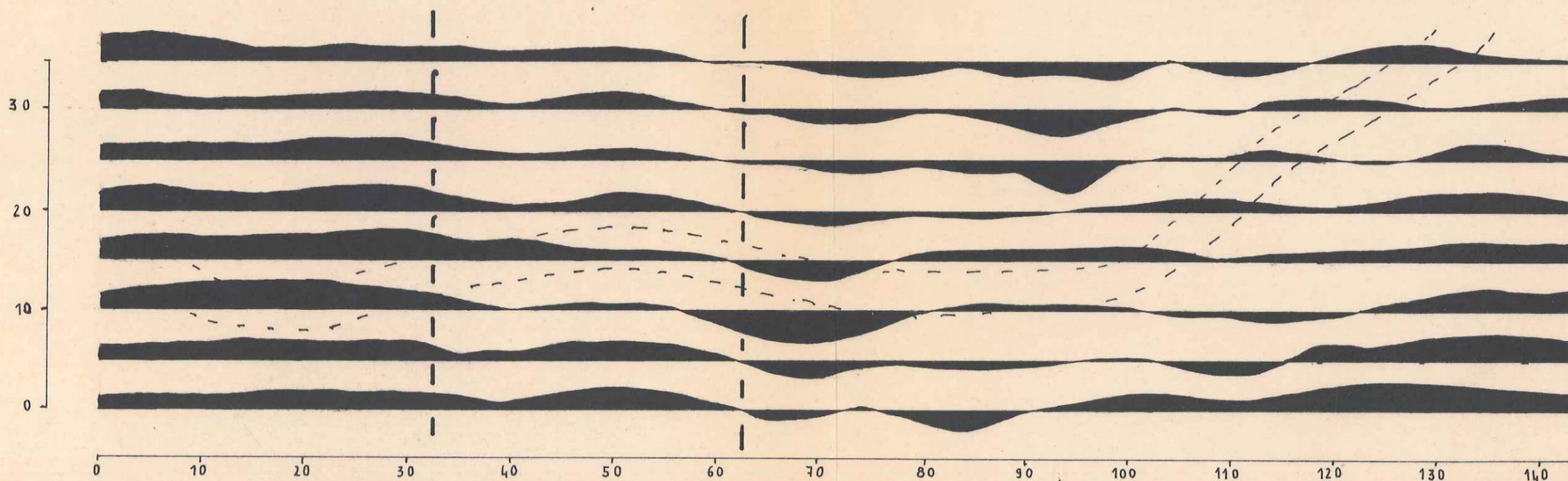
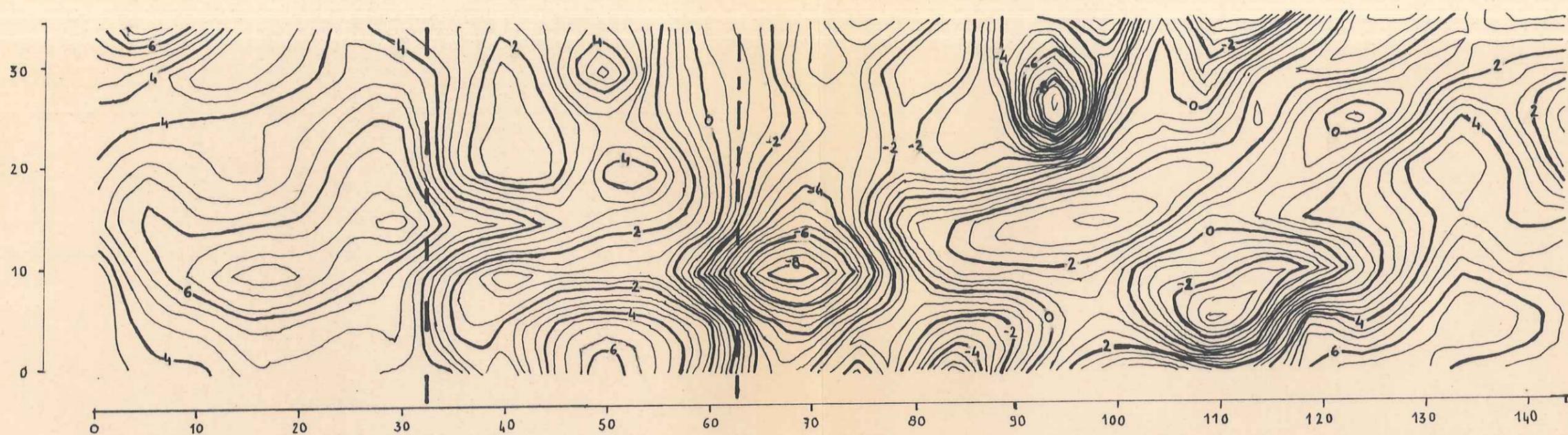
UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE
et MÉDICALE de GRENOBLE
INSTITUT DOLOMIEU
Rue Maurice-Cignoux
38 - GRENOBLE



Equidistance des isogammes : $0,5\gamma$.

Annexe 1. ZONE F.M. - CARTE ET PROFILS MAGNETIQUES -

31 MAI 1978



N.m.

Equidistance des isogammes: 0,5 γ . Distance en mètres.

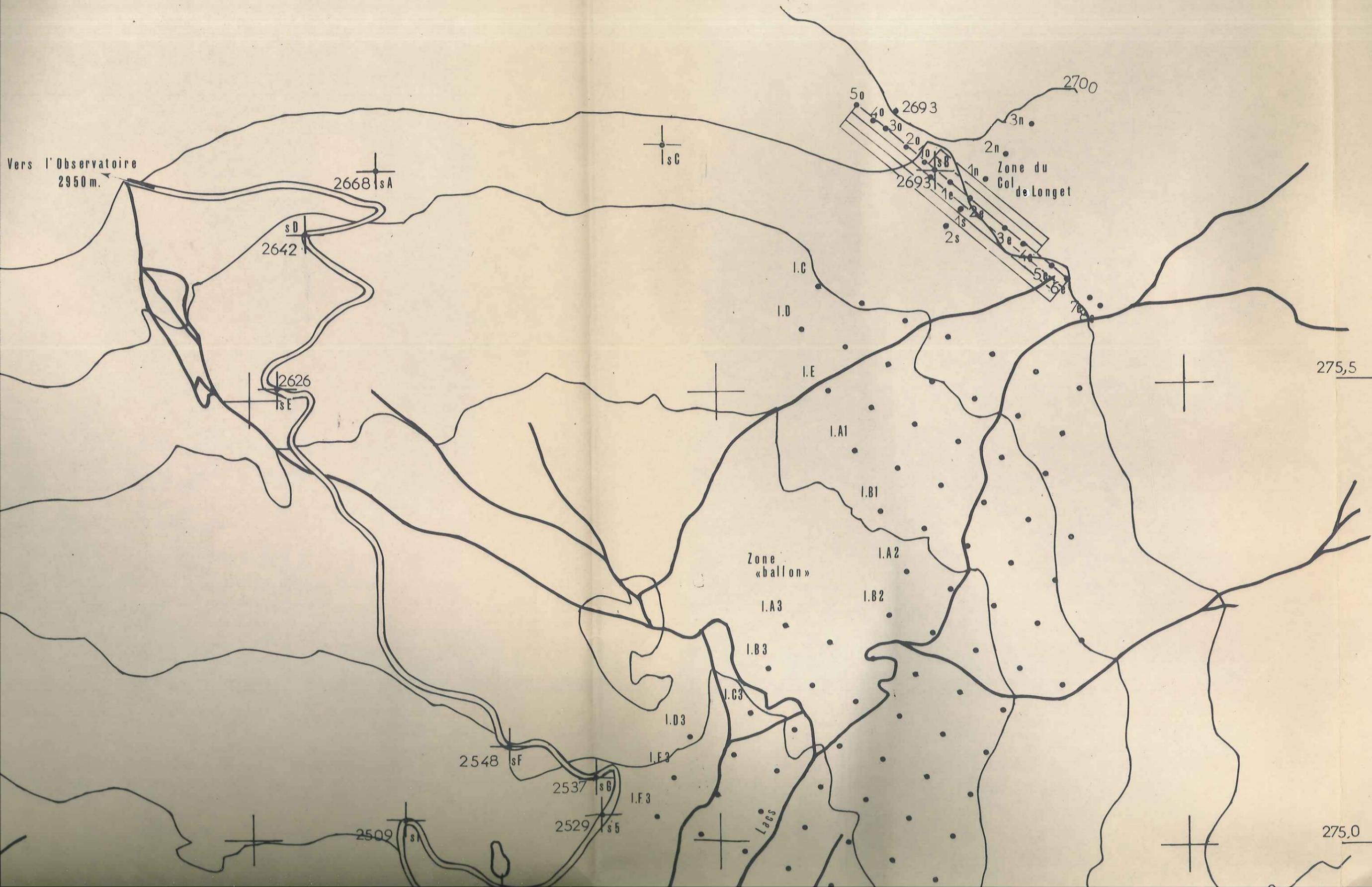
Annexe 2 - ZONE 2FS. - CARTE ET PROFILS MAGNETIQUES -

962,5

963

963,5

Vers l'Observatoire
2950 m.

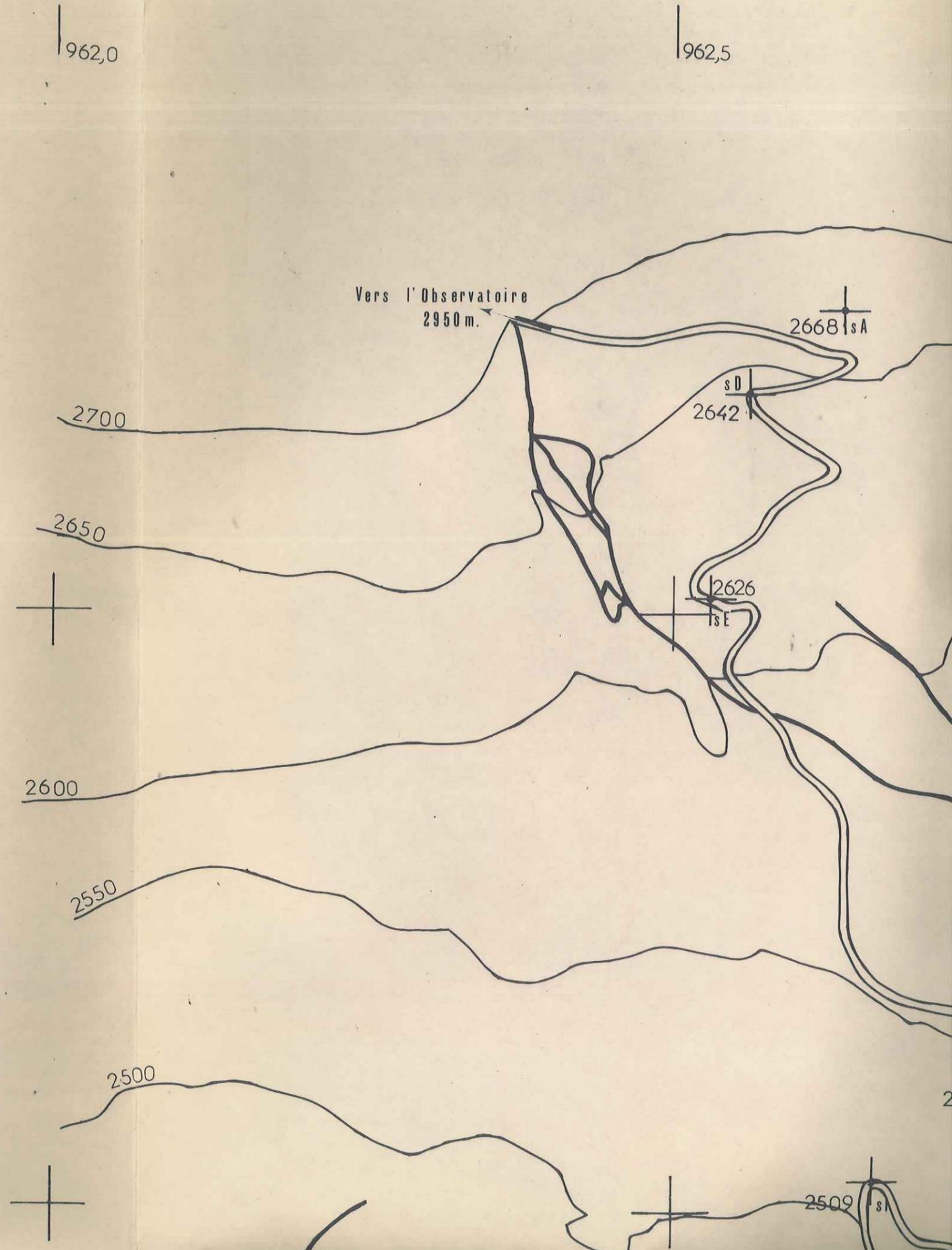


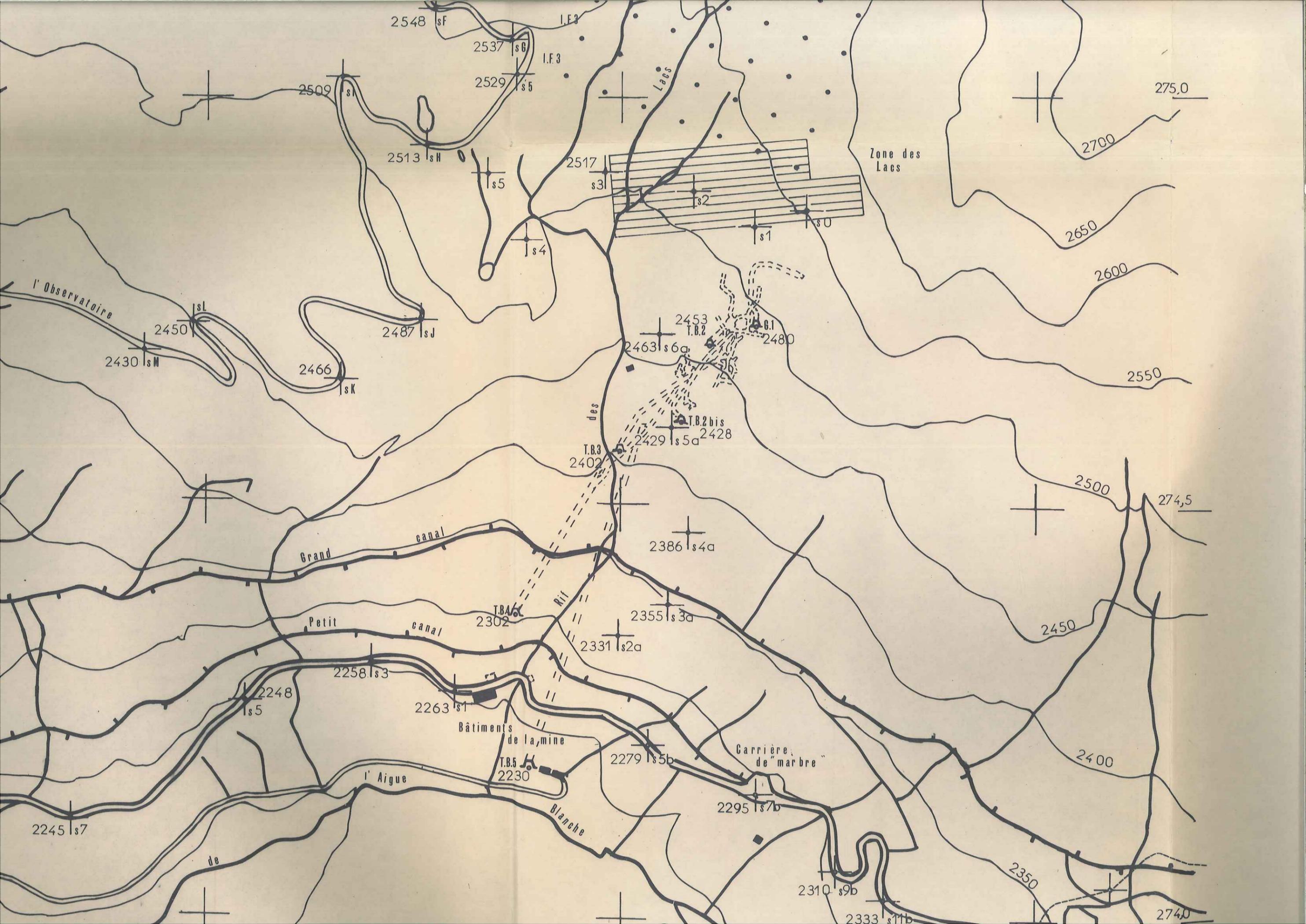
31 MAI 1976

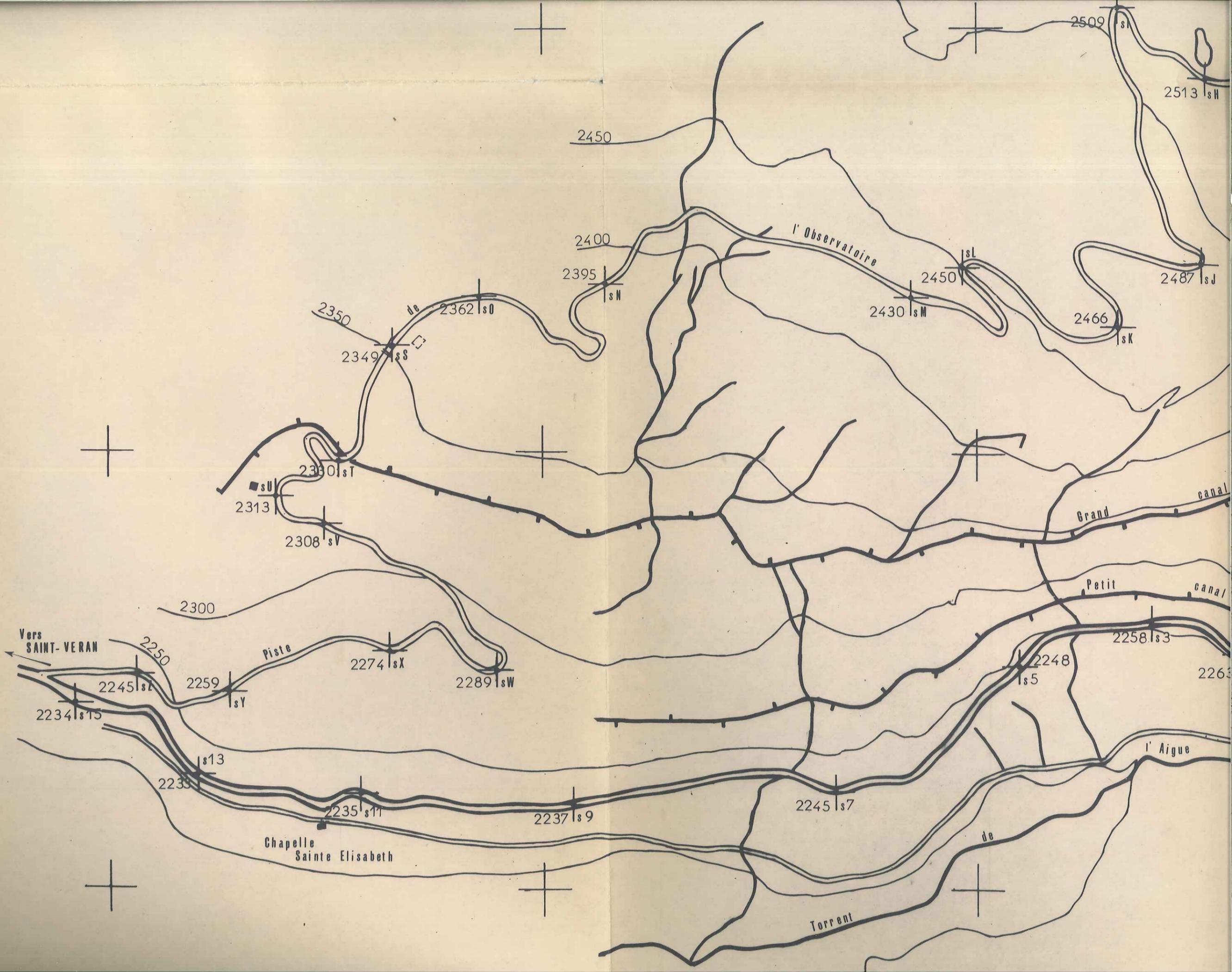
ANNEXE 4
 CONCESSION DES CLOUSIS
 SAINT-VERAN (05)

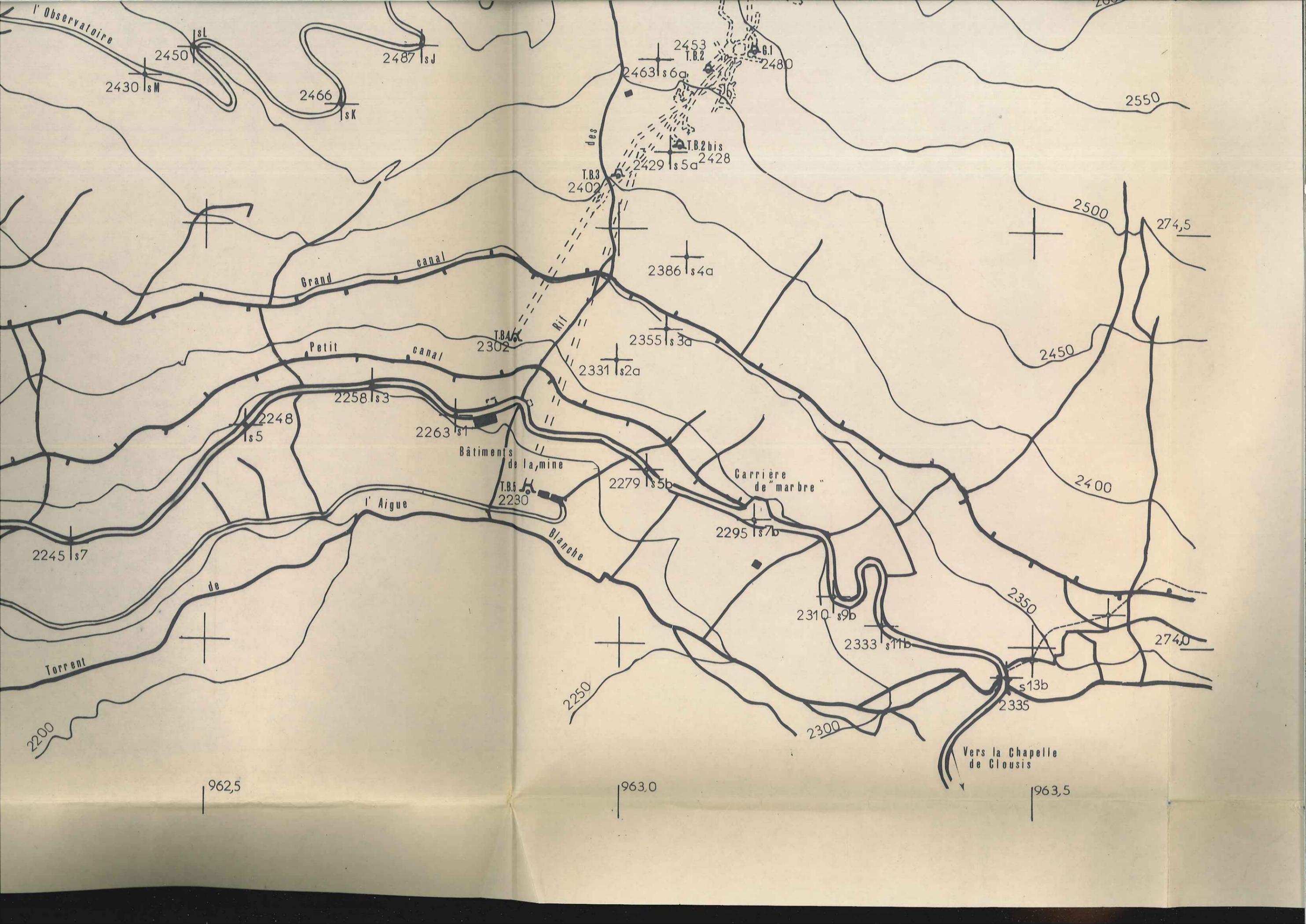
N.M. 1976
 ↑
 ECHELLE (AIGUILLES N°5)
 0 ——— 100 METRES
 LEVE TOPOGRAPHIQUE AVEC A. CAPPONI ET D.E.A. 1976

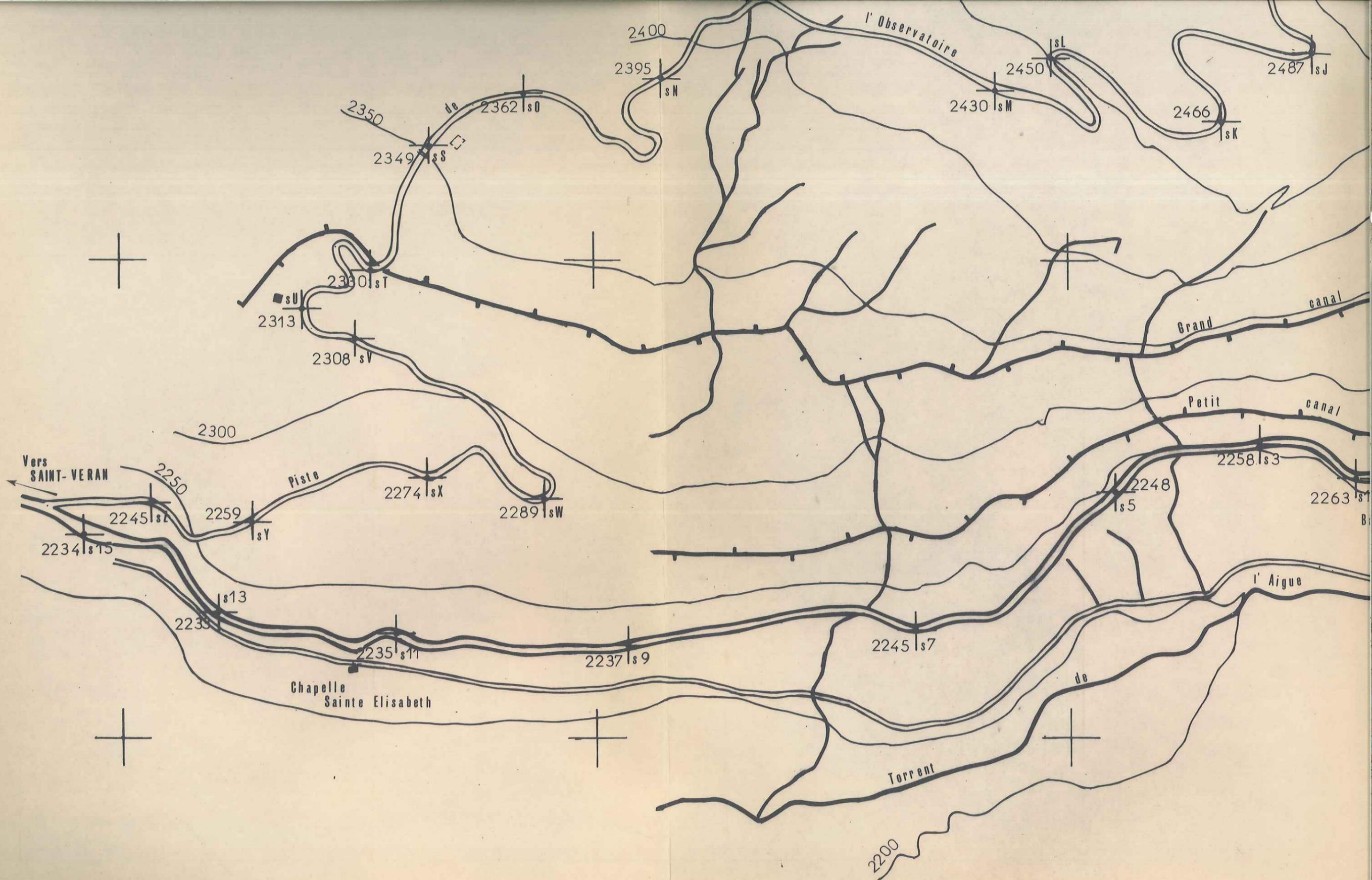
- LEGENDE
-  POINT DE STATION DU THEODOLITE
 2668 | sA NOM ET COTE
 -  ROUTE
 -  PISTE
 -  SENTIER
 -  TORRENT
 -  RUISSEAU
 -  CANAL
 -  CHALET
 -  RUINE
 -  G.T.B. ENTREE DE TRAVERS-BANGS
 2480 COTE
 -  GALERIE
 -  ZONE PROSPECTEE AU SOL
 EN CONTINU
 - I.A. • • • LIGNES DE POINTS MESURES
 - I.B. • • • AU BALLON
 - 2e Piquet de TOPOGRAPHIE
 - 2500 ——— COURBE DE NIVEAU











961,5

962,0

962,5

31 MAI 1978

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE
et MÉDICALE de GRENOBLE
INSTITUT DOLOMIEU
Rue Maurice-Gignoux
38 - GRENOBLE