



HAL
open science

Les sources minérales carbogazeuses de la haute Ardèche : étude géologique et hydrogéologique.

Michel Jeantin

► **To cite this version:**

Michel Jeantin. Les sources minérales carbogazeuses de la haute Ardèche : étude géologique et hydrogéologique.. Hydrologie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1979. Français. NNT : . tel-00605825

HAL Id: tel-00605825

<https://theses.hal.science/tel-00605825>

Submitted on 4 Jul 2011

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

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

UNIVERSITE SCIENTIFIQUE
ET MEDICALE DE GRENOBLE

THESE DE DOCTORAT DE SPECIALITE

Specialite: Géologie appliquée

Mention: Hydrogéologie

**Les sources minérales carbogazeuses
de la haute Ardèche .**

Etude géologique et hydrogéologique

Par MICHEL JEANTIN

SOUTENUE LE SEPTEMBRE 1979 DEVANT LA COMMISSION D'EXAMEN :

R. MICHEL	PROFESSEUR USMG	PRESIDENT
J. MAISONNEUVE	PROFESSEUR UNIV. CLERMONT-FERRAND	EXAMINATEUR
L. MONITION	CONSEILLER SCIENTIFIQUE BRGM	EXAMINATEUR
J.J. RISLER	CHEF DU SERVICE EAUX MINERALES BRGM	EXAMINATEUR
J. SARROT-REYNAULD	PROFESSEUR USMG	RAPPORTEUR

à Cheida

REMERCIEMENTS

Au moment de terminer ce travail, il m'est agréable de remercier tous ceux qui m'ont aidé à le réaliser.

J'exprime ma gratitude à Monsieur le Professeur R. MICHEL pour l'intérêt qu'il a porté à cette étude, et pour l'honneur qu'il me fait de présider le jury.

Monsieur J. J. RISLER Chef de Service des Eaux Minérales et Thermales du BRGM, pour toute l'aide matérielle et scientifique qu'il m'a apporté et dont je lui suis très reconnaissant.

Monsieur J. MAISONNEUVE, Professeur de Clermont-Ferrand pour les conseils qu'il m'a prodigué sur le terrain.

Monsieur le Professeur J. SARROT-REYNAULT, qui a bien voulu suivre et encourager mon travail, et qui a accepté de remplir les fonctions de rapporteur au sein du jury de cette thèse.

Monsieur L. MONETION, Conseiller Scientifique du BRGM pour avoir accepté de juger ce travail en participant au jury.

Monsieur le Professeur P. VIALON, pour les entretiens qu'il a bien voulu m'accorder sur l'aspect structural de la région, et qui ont été très fructueux.

Madame N. VATIN-PERIGNON, maître de recherche au CNRS qui m'a orienté vers ce sujet d'étude.

Ce travail a également bénéficié de l'aide amicale de Monsieur P. GIBERGY et madame F. KELLER.

Merci à Madame D. PARASSOL qui a assuré avec le plus grand soin son travail de dactylographie.

Je n'oublierai pas non plus de mentionner le bon accueil des autorités et des habitants de l'Ardèche qui m'ont apporté une aide très précieuse, et m'ont rendu un séjour très agréable ; plus particulièrement Monsieur BLANC, Ingénieur du Service des Mines, Monsieur POULIQUEN, et Monsieur COULOMB Directeur de SOGEVALS ainsi que Messieurs les Curés de Vals les Bains.

Comment remercier aussi tous mes amis qui m'ont aidé directement ou indirectement dans mes recherches...

Je veux enfin exprimer ma profonde reconnaissance à ma mère et à mon frère Marc qui n'ont pas ménagé leur peine pour m'aider.

S O M M A I R E

AVANT - PROPOS

INTRODUCTION

CHAPITRE I

1-1.	- LOCALISATION GEOGRAPHIQUE	11
1-2.	- RELIEF, CLIMAT, VEGETATION	11
1-3.	- APERCU GEOLOGIQUE	11
1-4.	- HYDROCLIMATOLOGIE	12
	1-4-(1) - Précipitations	12
	1-4-(2) - Températures	16

CHAPITRE II

LE SOCLE

2-1.	- INTRODUCTION	21
2-2.	- LA SERIE ARDECHOISE CATAZONALE	22
	2-2-(1) - Succession lithostratigraphique et métamorphique ...	22
	2-2-(2) - Variations lithologiques	24
	2-2-(3) - Coupe du synclinal du Lignon le long de la vallée de l'Ardèche et description des faciès rencontrés...	26
2-3.	- GRANITES ET MIGMATITES DU VELAY	29
	2-3-(1) - Le granite du Velay	29
	2-3-(2) - Les migmatites	30
2-4.	- GRANITES TARDIMIGMATITIQUES	30
2-5.	- PETITS MASSIFS CIRCONSCRITS ET ROCHES FILONIENNES	32
2-6.	- NATURE DES TERRAINS AFFLEURANT AUX SOURCES MINERALES	33

CHAPITRE III

LE VOLCANISME RECENT DU VIVARAIS

3-1. -	INTRODUCTION	37
3-2. -	PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE CHAQUE VOLCAN PRESENT DANS LE BASSIN VERSANT DE LA HAUTE ARDECHE	39
3-3. -	ALIGNEMENT REMARQUABLE DES VOLCANS ET POSITION DES SOURCES MINERALES PAR RAPPORT A CES VOLCANS	40

CHAPITRE IV

LE DECROCHEMENT SENESTRE DE VALS LES BAINS

4-1. -	INTRODUCTION	49
	4-1-(1) - Les discontinuités élémentaires liées à la zone de décrochement	49
	4-1-(2) - Fracturation du socle et de la couverture secondaire	53
4-2. -	FRACTURATION DE LA COUVERTURE SECONDAIRE. ...	53
	4-2-(1) - Les failles majeures	54
	4-2-(2) - Les failles de deuxième ordre	55
	4-2-(3) - Résumé du style tectonique	57
4-3. -	DEFORMATIONS ET DISLOCATIONS DANS LE SOCLE ...	57
	4-3-(1) - La torsion sigmoïdale	58
	4-3-(2) - Les accidents cassants au Nord de Vals les Bains	58
	4-3-(3) - Ampleur du mouvement et âge du décrochement.	59
	4-3-(4) - Reconstitution graphique du réseau de fractures au cours de décrochement	61
	4-3-(5) - Etude du système filonien	64

CHAPITRE V

ETUDE DETAILLEE DE LA FRACTURATION DANS LE BASSIN VERSANT DE LA HAUTE ARDECHE,

5-1. -	INTRODUCTION	71
5-2. -	ZONE NORD	71

5-2-(1) - Vallées de la Besorgue et de la Volane	73
5-2-(2) - Secteurs d'Aizac et d'Entraygues	81
5-3. - ZONE DE VALS LES BAINS	85
5-4. - ZONE SUD	87
5-4-(1) - Prades	87
5-4-(2) - Jaujac	88
5-5. - ZONE OUEST	92
5-6. - CONCLUSION	99

CHAPITRE VI

LES SOURCES MINERALES DU BASSIN VERSANT DE LA HAUTE ARDECHE

(Etude analytique)

6-1. - INTRODUCTION	103
6-2. - TEMPERATURE	103
6-2-(1) - Températures observées	103
6-2-(2) - Origine de la thermalité	106
6-2-(3) - Causes de la perte de chaleur des eaux minérales	107
6-3. - DEBIT	110
6-3-(1) - Débits observés	110
6-3-(2) - Relation débit température	114
6-4. - LES GAZ	114
6-4-(1) - Débit gazeux de chaque source minérale	115
6-4-(2) - Origine des gaz	117
6-4-(3) - CO ₂ et volcanisme	118
6-4-(4) - Migration du CO ₂	118
6-4-(5) - Rôle du CO ₂ dans la thermodynamique hydrothermale	119
6-5. - LA RESISTIVITE	119
6-6. - RESUME DES CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES EAUX MINERALES	123
6-7. - COMPARAISON DES CARACTERES PHYSIQUES DES SOURCES MINERALES DU BASSIN VERSANT DE LA HAUTE ARDECHE	123
6-7-(1) - Rappel de définitions	123
6-7-(2) - Recherche des aires d'émergence et locali- sation des sources principales	130

6-7-2-(1) - Le groupe d'Aizac	130
6-7-2-(2) - Le groupe de Neyrac	130
6-7-2-(3) - Le groupe de Jaujac	131
6-7-2-(4) - Le groupe de Vals les Bains ...	131
6-7-(3) - Résumé des groupes d'Aizac, de Neyrac, de Jaujac et de Vals les Bains	139
6-8. - CONCLUSION	145
6-8-(1) - Les facteurs structuraux responsables des venues principales thermominérales.	145
6-8-(2) - Les facteurs magmatiques	146

CHAPITRE VII

CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES EAUX MINERALES DE LA REGION DE LA HAUTE ARDECHE.

7-1. - INTRODUCTION	151
7-2. - REPRESENTATION GRAPHIQUE DES ANALYSES CHIMIQUES	157
7-3. - ORIGINE DE LA MINERALISATION	158
7-4. - LES DEPOTS A L'EMERGENCE	159
7-4-(1) - Les dépôts carbonatés	159
7-4-(2) - Les dépôts ferrugineux	163
7-5. - VARIATION DE LA MINERALISATION SUIVANT LES SOURCES	164
7-6. - VARIATION DE LA COMPOSITION CHIMIQUE D'UNE SOURCE A L'AUTRE	165

CHAPITRE VIII

ETUDE DETAILLEE DES SOURCES PRINCIPALES.

8-1. - INTRODUCTION	169
8-2. - CONTEXTE GEOLOGIQUE, FRACTURATION, CARAC- TERISTIQUES DES EAUX MINERALES ET PRECISIONS SUR LE MODE DE CAPTAGE	171
8-2-(1). - Source le Rocher du Merle (Asperjoc) ...	175
8-2-(2). - Source Camuse (Vals les Bains)	175
8-2-(3). - Source des Bains (Neyrac)	175
8-2-(4). - Source Genève (Jaujac)	183
8-2-(5). - Source Saint Laurent les Bains	183

8-3. -	ETUDE DES TEMPERATURES DES EAUX DE SOURCES THERMOMINERALES AUX EMERGENCES ET EN PRO- FONDEUR A L'AIDE DES GEOTHERMOMETRES CHIMI- QUES : SiO^2 , Na/K, Na, K, Ca)	186
8-4. -	CARACTERISTIQUES ISOTOPIQUES ET ORIGINE DES EAUX MINERALES DE L'ARDECHE : étude des teneurs en tritium, en oxygène 18, et en deutérium	191
8-5. -	ETUDE DES GAZ D'ACCOMPAGNEMENT DES SOURCES MINERALES	195
8-6. -	ETUDE DES ELEMENTS TRACES	201
8-7. -	CONCLUSION	203
	INTERPRETATION ET CONCLUSION GENERALE	205
	BIBLIOGRAPHIE	211
	LISTE DES FIGURES	217
	LISTE DES TABLEAUX	223

I N T R O D U C T I O N

Réalisée à l'instigation du B. R. G. M. (service géologique régional du Massif Central), cette étude a pour but de réexaminer le problème des eaux minérales carbogazeuses de la région de Vals les Bains.

En effet, alors que le secteur Nord du Massif Central a été l'objet de nombreuses études dans ce domaine, la bordure orientale, pourtant riches en émergences, n'avait pas encore attiré l'attention des hydrogéologues.

La région de Vals les Bains a connu au XIX^e siècle un certain essor économique, grâce à l'exploitation médicale et commerciale de ses eaux captées par de multitudes forages et émergences naturelles. Aussi dispose-t-on de nombreuses analyses chimiques de ces eaux. Cependant le problème de leur origine, n'avait pas encore reçu de réponse satisfaisante.

Jusqu'à présent la bibliographie ne compte que des documents relatifs à leur mode d'exploitation. Seules les sources de l'agglomération de Vals les Bains avaient été l'objet d'un rapport géologique par J. P. Destombes en 1955. -

Il paraissait donc séduisant de tenter une synthèse de toutes les données disponibles, et de les intégrer dans une étude géologique détaillée de la région.

Nous avons surtout essayé, au cours de ce mémoire, de mettre l'accent sur les relations entre sources et événements magmatiques et structuraux.

Dans cette optique, différentes disciplines ont été utilisées :

- la pétrographie des terrains affleurants aux sources,
- la volcanologie du Quaternaire,
- la structurologie,
- l'hydrologie classique,
- la chimie isotopique des eaux et des gaz.

L'étude pétrographique du socle est présentée de façon succincte, rappelant les travaux de A. Weisbrod (1960) qui a réalisé une carte géologique sur les Cévennes médianes.

L'étude du volcanisme quaternaire ayant fait l'objet de la thèse de E. Berger (1973), nous nous contenterons de préciser la relation possible des sources carbogazeuses, parfois accompagnées de mofettes et pour quelques unes d'une thermalité, avec le volcanisme récent de l'Ardèche.

En ce qui concerne la fracturation du socle, nous avons ajouté quelques éléments nouveaux à la carte tectonique de Weisbrod, par une exploration photogéologique, par la recherche de mylonites, de zones de filons minéralisées, par l'étude de fissures d'extension et du système filonien volcanique. Nous mettrons en évidence les principaux accidents du socle, qui se recoupent à Vals les Bains. La carte des sources minérales superposée au réseau graphique des fractures, nous conduira à une discussion sur les familles de fractures de différents âges qui conditionnent les émergences d'eaux minérales.

Ainsi ce chapitre sera-t-il davantage développé car, il revêt une grande importance dans l'étude des circuits souterrains empruntés par les eaux minérales et les gaz.

L'étude hydrogéologique apportera des renseignements sur la distribution de l'activité thermominérale. Une comparaison des paramètres physico-chimiques des eaux, mettra en évidence les groupes de sources qui cernent les principales venues hydrothermales. Nous verrons qu'elles sont situées dans des zones particulièrement fracturées ou à proximité immédiate d'un volcan.

Les sources les plus intéressantes par leurs caractéristiques physico-chimiques, c'est-à-dire les mieux situées par rapport à ces venues directes et les moins sujettes à des mélanges, feront évidemment l'objet d'une étude détaillée comportant :

- la situation topographique du griffon,
- l'esquisse géologique du secteur environnant la source,
- l'analyse chimique beaucoup plus fine avec les éléments traces et les isotopes des eaux et des gaz qui nous permettent de préciser l'origine des eaux, des sels minéraux et des gaz d'accompagnement.

Toutes les autres sources ont été inventoriées lors d'une enquête sur le terrain. Le deuxième tome présente leurs caractéristiques physiques et chimiques, ainsi que des renseignements divers, comme la description des griffons et leur localisation, ou d'ordre administratif.

A la demande du B. R. G. M. cet inventaire est présenté sous forme de fichier ★ . L'annexe comporte également une carte de répartition de toutes les émergences.

- C H A P I T R E I -

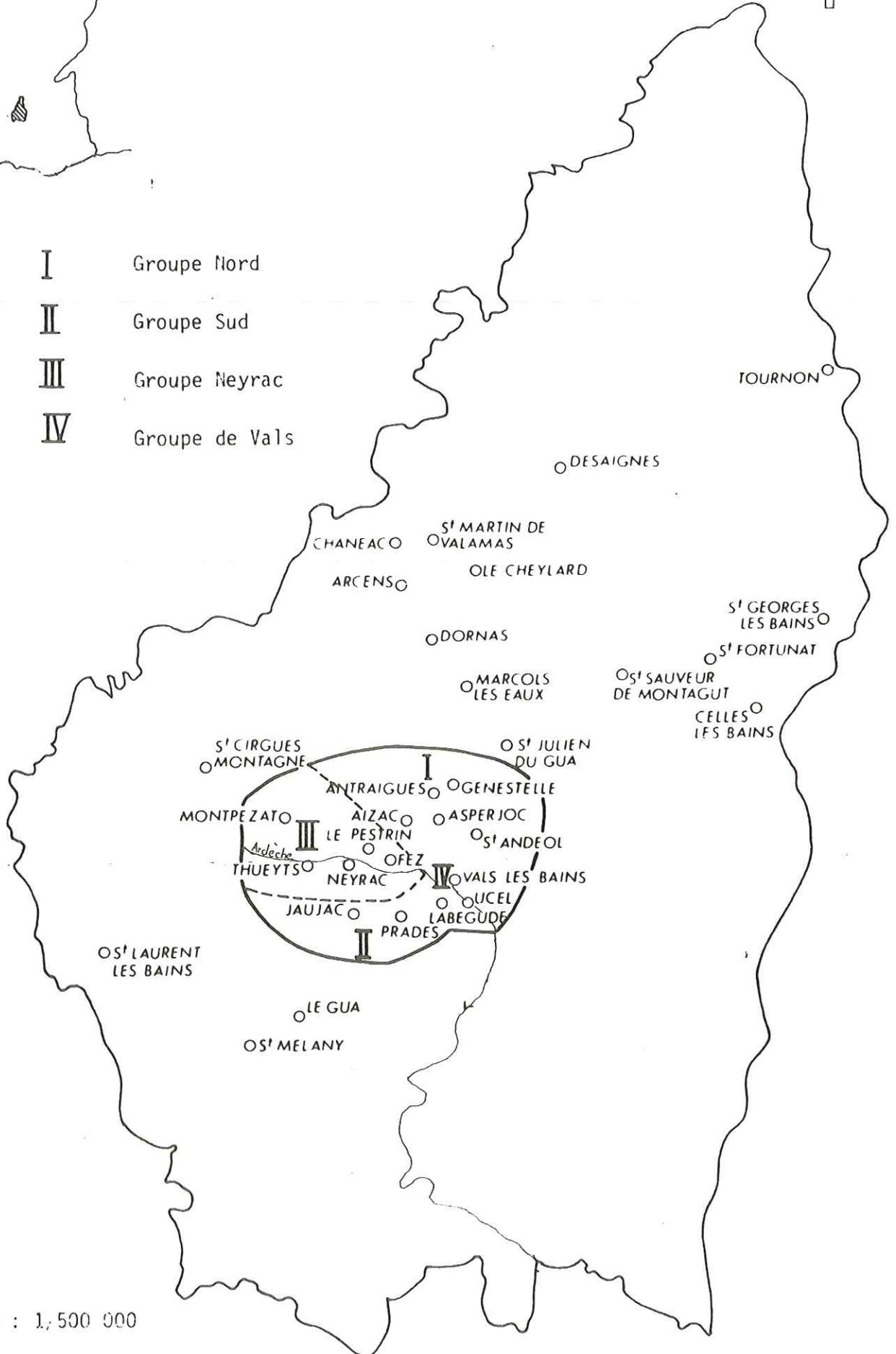
- 1-1 LOCALISATION GEOGRAPHIQUE
- 1-2 RELIEF, CLIMAT, VEGETATION
- 1-3 APERCU GEOLOGIQUE
- 1-4 HYDROCLIMATOLOGIE
- 1-4-(1) Précipitations
- 1-4-(2) Températures

LES SOURCES MINÉRALES DE L'ARDECHE

NORD



- I Groupe Nord
- II Groupe Sud
- III Groupe Neyrac
- IV Groupe de Vals



1-1. -

LOCALISATION GEOGRAPHIQUE :

La région étudiée, ancienne province du Vivarais, correspond au bassin versant de la haute Ardèche. Celui-ci est limité :

- au Nord-Ouest par la ligne de partage des eaux Méditerranée/Atlantique allant de Mezillac au col de la Chavade,
- vers le Sud par la ligne de crête du massif du Tanargue,
- vers l'Est par des lignes de crêtes parallèles de direction Nord-Sud qui suivent plus au moins le contact cristallin sédimentaire.

1-2. -

RELIEF, CLIMAT, VEGETATION.

Dans les hauts plateaux du Vivarais vestiges d'une ancienne pénéplaine, les prairies et les forêts de conifères constituent l'essentiel du couvert végétal (le climat y étant assez rude).

Vers le Sud, les molles ondulations du plateau font brusquement place au talus cévenol, (bassin versant de la haute Ardèche), qui fait déjà partie du versant méditerranéen. Les pentes cristallophylliennes de ce versant sont profondément entaillées par les torrents qui découpent des "serres" longues et étroites bandes de hautes terres aux sommets aplanis, séparées par de profondes vallées. Ce pays cristallin se termine à l'entrée de Vals les Bains où commence le pays sédimentaire au relief en cuestas généralement peu prononcé.

Au dessus de 800 mètres, on ne rencontre que le genêt à balai et quelques pins. Dans les vallées, c'est le domaine du châtaignier, mais actuellement la maladie de l'encre décime peu à peu les arbres. Dans la basse Ardèche, le pays sédimentaire le climat méditerranéen autorise des cultures plus riches, vignes, oliviers, muriers, arbres fruitiers.

1-3. -

APERCU GEOLOGIQUE.

La zone étudiée s'étend sur les feuilles géologiques au 1/80 000 de Privas et de Largentière.

Dans les environs de Vals les Bains, sur une surface relativement restreinte, des terrains de différents âges sont représentés. Le socle cristallin et cristallophyllien est en effet recouvert par un ensemble sédimentaire dont l'âge va du Carbonifère au Crétacé.

C'est dans le socle qu'émergent la plupart des sources minérales étudiées, mais certaines surgissent des formations houillères du petit bassin de Prades, isolé au Sud de notre secteur. Ce sont des eaux minérales bicarbonatées sodiques carbogazeuses, ce type étant classique dans les régions à volcanisme récent comme l'Ardèche où sont présents de nombreux petits volcans très bien conservés, d'âge quaternaire.

A l'Est, dans les formations mésozoïques, il n'existe aucune source minérale connue, la faible perméabilité et l'épaisseur de la couverture sédimentaire formant "éponge" peut justifier l'absence d'émergence.

Notre étude va donc porter essentiellement sur le socle situé à l'Ouest de Vals les Bains.

HYDROCLIMATOLOGIE

Il n'existe dans la région étudiée que cinq stations climatologiques : deux sont situées dans les villes d'Aubenas (260 m) et Vals les Bains (250 m), trois sont situées en altitude, La Souche (600 m) au Sud, Mayres (580 m) à l'Ouest et Montpezat sous Bauzon (570 m) au Nord-Ouest du bassin versant.

Bien entendu une telle région accidentée exigerait un réseau plus dense d'observation, cependant les relevés journaliers de ces différents postes (recensés à la station d'Ancone à Montélimar) nous permettent de préciser les caractéristiques essentielles du bassin ardéchois.

1) Précipitations : du tableau détaillé des moyennes mensuelles et annuelles de précipitation (tableau n° 1-1 et 1-2) il en ressort plusieurs caractéristiques :

- tout d'abord une moyenne pluviométrique annuelle importante 1166 mm dans la période de référence 1961 - 1977 à Aubenas et Vals et 1674 mm à Montpezat.(figure 1-2)

- Un régime méditerranéen de montagne avec un maximum pluviométrique de saison froide et un profond minimum d'été : prédominance des pluies d'automne et en second lieu d'hivers (après les trois mois septembre octobre novembre, c'est janvier qui reçoit le plus de pluies). figures 1-3

- Des années de sécheresse désastreuses par suite de l'absence quasi totale de pluies pendant plusieurs mois consécutifs, ou des séquences exceptionnelles de précipitation. Le rapport entre années sèches et années pluvieuses est d'ailleurs significatif puisque les moyennes annuelles sont largement doublées. C'est ainsi que l'année 1973 a été la plus sèche ; de février à mai les quantités d'eau recueillies ne représentent que 50 % des précipitations normales sur cette période. Le déficit pluviométrique a été également important pour l'année 1978 puisque la sécheresse a persisté durant l'automne.

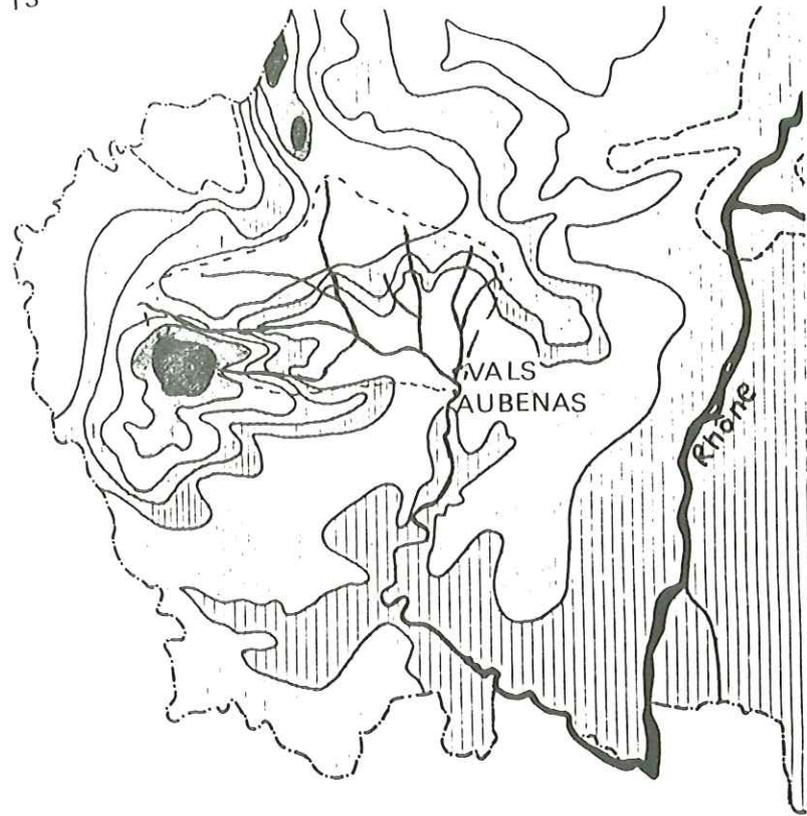
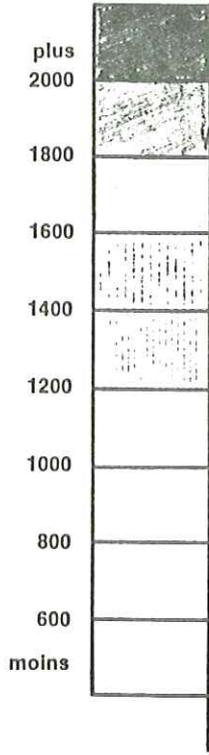
- Enfin une répartition spatiale qui privilégie la haute Ardèche.

Le tracé des isohyètes (carte n° 1-1) qui tient compte de la situation des versants et de leurs expositions aux flux pluvieux, fait ressortir les points suivants:

- C'est la montagne cristalline qui reçoit le plus gros des averses. Il y a généralement 1000 m à 1200 m de dénivellation entre l'origine des torrents cévenols et leurs confluent pour un trajet de quelques kilomètres.

FIG 1-1

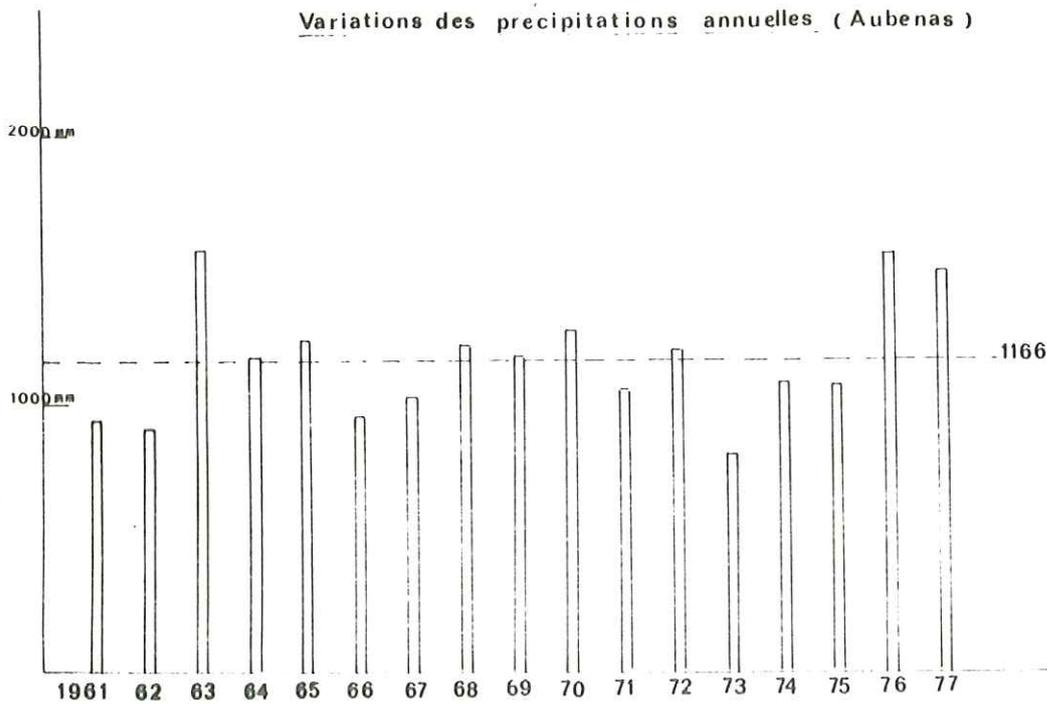
HAUTEUR d'EAU
en millimètres par AN



Source principale : M. Garnier (*Climatologie de la France*, M Paris, 1967, 295 p., cartes en couleur hors texte)

FIG 1-2

Variations des précipitations annuelles (Aubenas)



Precipitations moyennes mensuelles (Aubenas)
(1961-77)

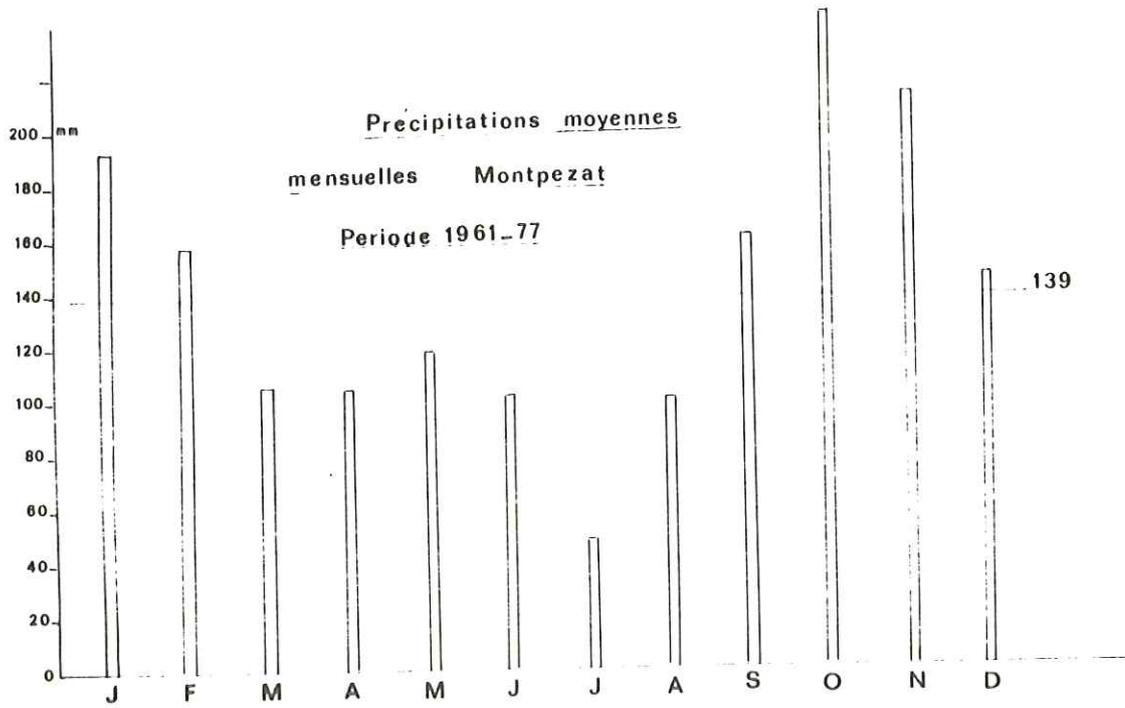
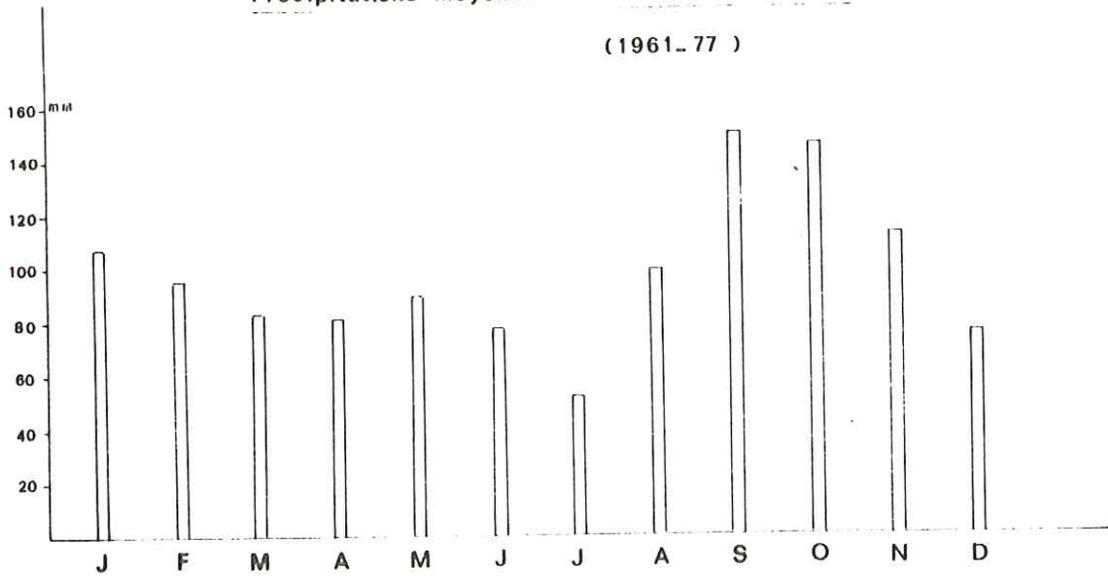
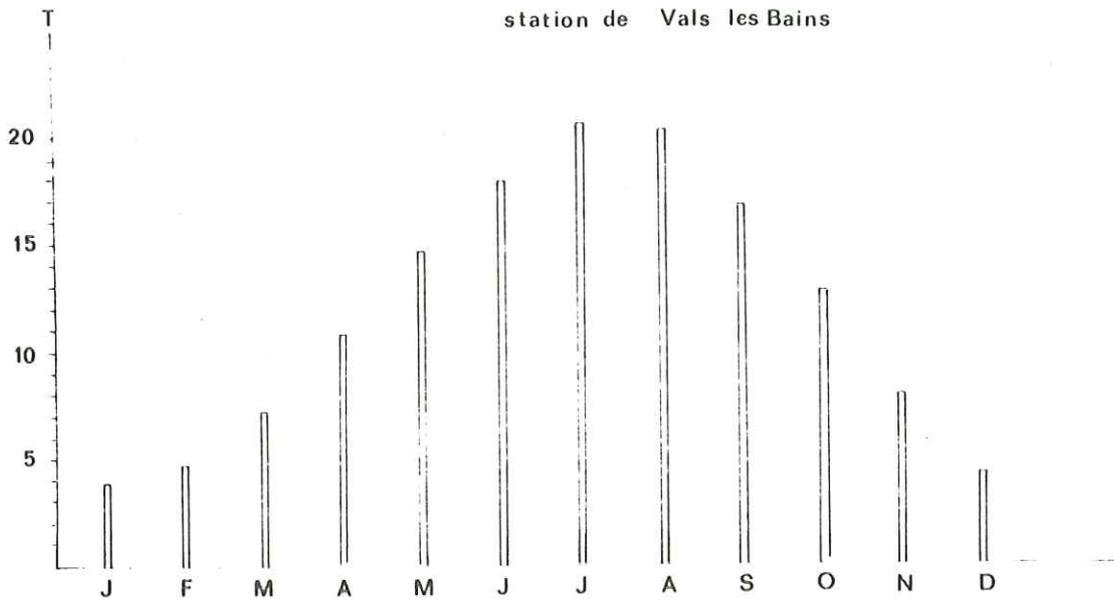


FIG 1.3

FIG 1-5 Température moyenne mensuelle de la période 1956 - 1977

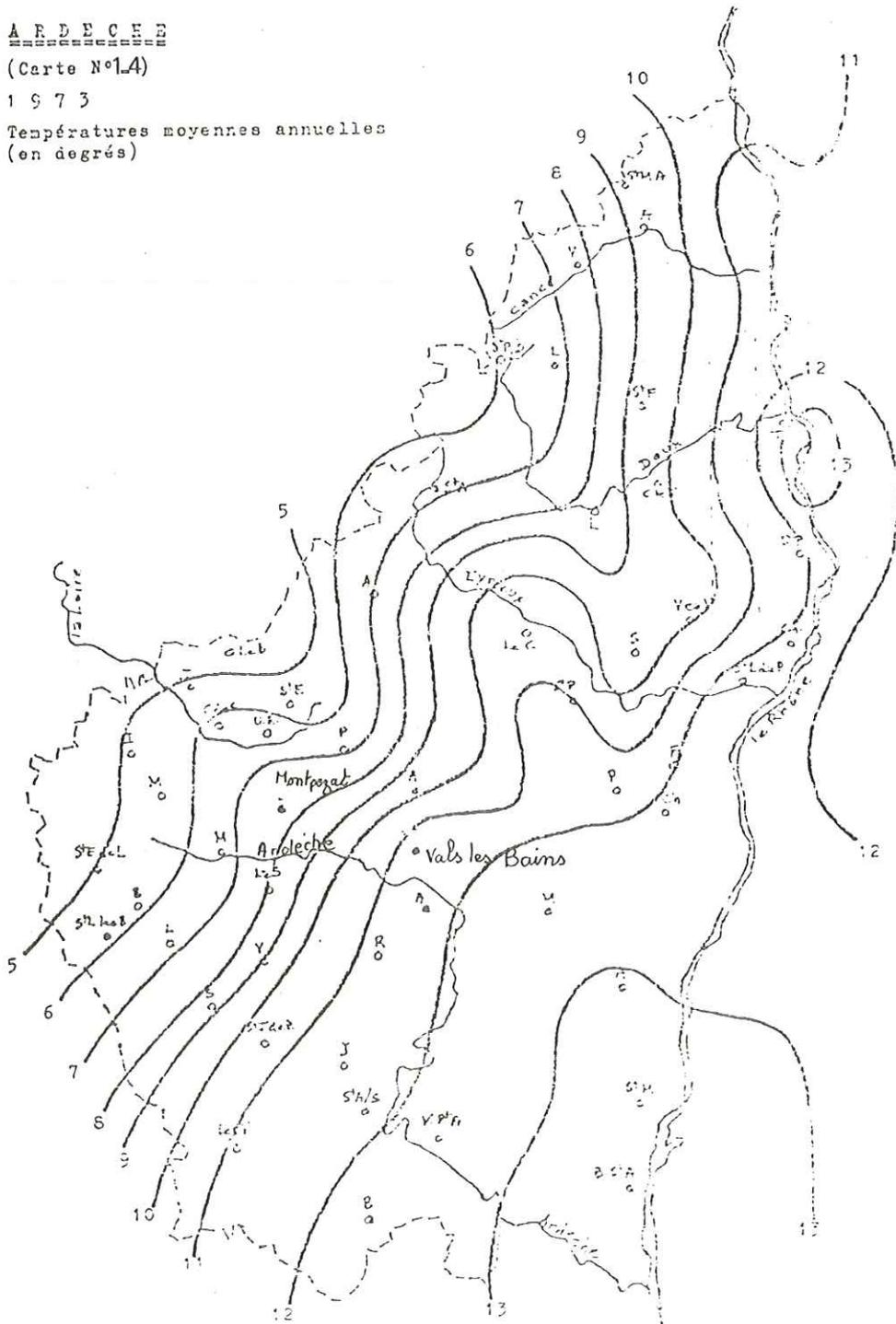


ARDECHE

(Carte N°14)

1973

Températures moyennes annuelles
(en degrés)



Cette élévation brutale des altitudes sur de très courtes distances provoque des pôles de condensations avec genèse de précipitations abondantes.

C'est la montagne, bordure orientale du Massif Central, qui reçoit les premiers flux humides, originaires de la Méditerranée.

Dans le détail des chutes annuelles sont diversifiées par l'exposition des versants et les phénomènes d'abri. Des lanières de sécheresse apparaissent dans les vallées profondes.

Dans notre bassin les courbes isohyets montrent que le maximum de précipitation se produit sur le Tanargue et se prolonge par un axe Nord-Est en direction du Cheylard.

2) Température . La température intervient dans le stockage par le froid des précipitations, par le gel des sols et des rivières puis, quand elle s'élève par la fusion et le dégel.

Le relief influe de façon très sensible sur le tracé des isothermes annuelles ; du SE au NW on note une diminution progressive de la température au fur et à mesure que l'on s'élève en montagne (carte n° 1- 4).

Mais cela est dû également aux remontées d'air chaud qui sont sensibles suivant un axe allant de Vallon à St Félicien.

Dans le tableau (n° 1-3), ayant porté les températures moyennes mensuelles de chaque année de la période 1956 - 1977 (moyenne des $\frac{T \max + T \min}{2}$), nous avons pu calculer la température moyenne annuelle qui est de 11,65°. Le mois de juillet avec 20,6° est le mois le plus chaud, le mois de janvier avec 3,9° est le mois le plus froid.

Il n'y a pas de grandes différences entre les températures moyennes mensuelles des mêmes mois, mais une variation rigoureuse existe suivant la saison. (fig 1-5)

Enfin les variations de la température moyenne annuelle d'une année à l'autre sont très importantes, par exemple la température moyenne annuelle pour 1966 est de 13,5° tandis que pour 1968 cette valeur est de 6,3°.

Evolution de la réserve en eau du sol.

Elle diminue dès le mois de juin en haute Ardèche. La période d'épuisement total de la réserve est courte, au maximum de deux mois, juillet août. En été la rareté des précipitations et la température élevée entraînent une forte évapotranspiration et ont pour conséquence l'absence d'alimentation.

La réserve commence à se reconstituer dès septembre normalement avec les fortes pluies d'automne, mais ensuite elle évolue beaucoup plus lentement en hiver, le sol gelé empêchant l'infiltration.

Les cours d'eaux

Les principaux affluents de l'Ardèche à l'amont de Vals les Bains, sont le Lignon sur la rive droite, la Volane et la Fontolière sur la rive gauche.

cours d'eau	: surface des bassins versants	: longueur des cours d'eau
Volane	92 km ²	16,5 km
Fontaulière	130 km ²	20 km
Lignon	58 km ²	20 km
Ardèche supérieure	475 km ²	38 km

Ces cours d'eau se caractérisent par leur extrême jeunesse. La roche en place apparaît souvent dans leur lit.

L'Ardèche est célèbre par ses crues impressionnantes, et subites, son débit peut passer de 2200 m³ à 7500 m³, pour un bassin de faible superficie.

C'est un bassin très arrosé, dont les lits de rivières présentent des pentes énormes (sur les premiers 25 kilomètres du cours de l'Ardèche, les pentes vont de 10,7 % à 1,7 % ; ceci suffit à expliquer la rapide progression des crues, d'autant plus que ce bassin versant présente des convergences d'affluents.

Malgré l'évapotranspiration les précipitations sont suffisantes pour alimenter les cours d'eaux mais aussi une très forte infiltration.

TABLEAU 1-1

RECIPITATIONS MENSUELLES DE LA PERIODE 1961-77 Aubenas Vals les Bains

ANNEE	JANV	FEVR	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOV	DEC	TOTAL
1961	88,4	36,5	0,2	119,1	115,2	81,7	22,7	2,4	67,8	128,3	181,8	113,4	957,5
1962	82	107	97	131	20	21	17	49	114	73	129	70	915
1963	127	110	66	130	61	238	131	182	155	49	235	98	158,2
1964	59	213	199	90	87	62	23	91	93	166	50	46	1179
1965	105	10	111	21	22	50	90	68	404	162	101	100	1244
1966	81	139	1	143	52	44	21	65	38	225	120	29	958
1967	63	84	88	48	145	41	15	197	71	44	231	8	1035
1968	7	138	37	98	141	45	39	139	255	143	134	31	1207
1969	262	131	108	132	70	56	50	61	159	56	85	11	1181
1970	197	18	111	63	171	85	46	24	60	320	129	60	1284
1971	128	8	103	165	147	141	63	76	78	28	45	75	1057
1972	115	197	92	20	48	100	43	107	80	233	44	123	1202
1973	103	17	22	40	66	50	106	20	82	157	56	91	810
1974	146	136	68	86	55	118	26	48	268	21	75	27	1080
1975	86	104	121	10	106	81	23	105	209	55	55	116	1077
1976	47	88	32	49	36	16	19	246	369	347	177	131	1562
1977	127	90	144	19	171	83	147	198	28	278	64	152	1505

TABLEAU 1-2

PRECIPITATIONS MENSUELLES DE LA PERIODE 1961-1977 DE LA STATION MONTPEZAT.

ANNEE:	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	M.AI.	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.	TOTAL
1961	98	37	0	105	192	109	44	12	98	396	380	105	1581
1962	139	92	96	151	26	51	5	46	51	75	189	103	1030
1963	210	106	48	180	43	297	99	330	131	225	544	142	2355
1964	129	397	168	182	115	53	29	88	90	94	57	71	1473
1965	134	11	111	6	32	54	69	37	504	190	200	135	1483
1966	80	141	10	115	84	106	35	19	52	352	239	47	1280
1967	119	154	246	103	179	57	20	119	130	38	323	13	1501
1968	42	210	31	165	146	54	23	164	151	191	160	88	1425
1969	232	187	173	133	153	80	31	34	269	113	236	73	1714
1970	384	40	121	45	146	60	11	23	101	536	202	59	1748
1971	169	29	150	294	158	177	70	101	40	20	69	148	1425
1972	350	400	128	23	82	162	20	55	68	362	36	370	2056
1973	229	38	24	49	79	77	84	30	251	178	183	416	1641
1974	283	165	110	95	143	109	37	77	139	37	266	55	1521
1975	200	238	213	14	132	98	67	80	209	32	49	108	1444
1976	68	197	25	114	36	2	27	333	394	456	405	252	2315
1977	422	230	110	16	242	172	135	165	32	664	76	275	2545
	Precipitation moyenne mensuelle												
61-77	193	157	105	105	116	101	47	100	159	234	213	144	1674

TABLEAU 1.3

TEMPERATURES MENSUELLES MOYENNES DE L'AIR. 1956-1977. Vals les Bains

ANNEE	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.	
1956	4.9	-3.1	6.6	9.2	16.3	17	20.1	19.1	17.4	10.7	5.7	4.8	
1957	3.3	6.3	9.9	11.2	13.5	17.4	20.4	19.6	16.8	12.3	6.9	4.3	11.8
1958	3.8	6.4	5.9	9.6	16	17.2	19.7	20.1	17.6	11.2	7.3	4.9	10.7
1961	3.1	7.8	9.4	13.2	14.4	18.7	20.1	20.5	19.6	13	7	5.1	12.7
1962	6.6	5.3	5.4	11.1	14.1	18.3	21.4	21.7	17.2	12.5	5.7	1.5	11.7
1963	-0.1	0.9	7.2	10.8	15	17.1	20.4	16.6	15.3	11.8	8.1	2.6	10.5
1964	3.4	7.3	8.2	12.9	18.3	21.2	24.9	21.6	18.8	11.7	9.1	4.5	13.5
1965	4.9	3.6	8.2	12.1	16.8	20.4	20.9	21.3	15.8	14.9	7.8	6.3	12.8
1966	4.2	8.1	8.9	12.5	16.9	20.9	21.2	21.3	21.2	14.6	6.4	6.5	13.5
1967	3.5	5.1	8.5	10.5	13.5	16.9	21.8	19.4	15.4	13.6	7.9	2.7	11.6
1968	-2.1	1	1.9	5.1	8.5	11.5	13.5	12.5	10.4	8.5	4.1	1.2	6.3
1969	5.1	2.6	7.3	11.1	14.2	16	20.3	19.7	16.4	13.7	6.9	1.5	11.2
1970	5	5.2	5.3	9.3	13.7	20.9	20.5	20.2	17.8	12.1	8.7	3.5	11.4
1971	3.3	5.6	4.2	12.3	14.5	16.1	20.7	20.2	17.2	13.3	5.4	5.4	11.5
1972	4.3	6.4	6.6	10.6	13.4	15.8	19.8	25	14.8	12.1	8.2	5.7	11.9
1973	3.9	-0.1	6.7	9	14.9	18.4	19.9	21.5	18	11	7.4	4.6	11.3
1974	6	5.7	7.8	10.6	14.5	17.9	21.6	21.8	15.5	8.2	7.6	7.8	11.1
1975	6.9	7	7.3	11.1	14.7	17.8	22	21.7	17.5	10.9	7.6	3.8	12.4
1976	5.2	6	8	10.2	16.5	22.4	23	20.2	15	11.6	6.6	3.9	12.4
1977	4.3	6.5	9.1	10.5	13.5	16.9	20	19.1	16.3	13.3	7.5	5.1	11.8
MOY.	3.97	4.68	7.12	10.65	14.66	17.93	20.61	20.15	16.7	12.05	7.09	4.28	11.65

CHAPITRE IILE SOCLE2-1 - INTRODUCTION2-2 - LA SERIE ARDECCHOISE CATAZONALE

2-2-(1) - Succession lithostratigraphique et métamorphique

2-2-(2) - Variations lithologiques

2-2-(3) - Coupe du synclinal du Lignon le long de la vallée
de l'Ardèche et description des faciès rencontrés2-3 - GRANITES ET MIGMATITES DU VELAY

2-3-(1) - Le granite du Velay

2-3-(2) - Les migmatites

2-4 - GRANITES TARDIMIGMATITIQUES2-5 - PETITS MASSIFS CIRCONSCRITS ET ROCHES FILONIENNES2-6 - NATURE DES TERRAINS AFFLEURANT AUX SOURCES MINERALES

Chapitre II. -GEOLOGIE DE LA REGION ETUDIEELE SOCLE2-1 - INTRODUCTION

Nous nous proposons, dans ce chapitre, de décrire les différentes formations cristallophylliennes, et les massifs granitiques, rencontrés dans la région.

L'étude pétrographique du socle a été entreprise récemment par Weisbrod qui a établi la carte géologique (au 1/50 000) des Cévennes Médiannes. (WEISBROD 1967). Cet auteur a divisé le socle antésthéphanien des Cévennes Médiannes en trois grands domaines.

- Au Sud, les schistes des Cévennes : (figure 2-1) ensemble schisto-gréseux épi-et mésozonal, monotone, très épais, de la région de Joyeuse, La Beaume.

Cet ensemble, situé en dehors de la région étudiée, est relayé dans la partie centrale par :

- La série ardéchoise, entièrement catazonale. Un des traits dominants de cet ensemble cristallophyllien est la présence d'un horizon de base quartzo-feldspathique très continu de gneiss ocellés et de leptynites.

- La partie Nord est occupée par le noyau arverne : Nous sommes à l'extrémité méridionale du plus grand ensemble migmatitique français, plus communément appelé granite du Velay, très hétérogène.

La région étudiée est implantée, dans la zone de transition entre la série ardéchoise et le domaine de la migmatisation vellave, que nous étudierons successivement.

2-2 - LA SERIE ARDECHOISE2-2-(1) - Succession lithostratigraphique et métamorphique.

Cette série présente schématiquement une succession de trois formations qui sont de haut en bas :

- les micaschistes et gneiss variés de l'unité supérieure
- les leptynites de l'unité moyenne
- les gneiss ocellés de l'unité inférieure

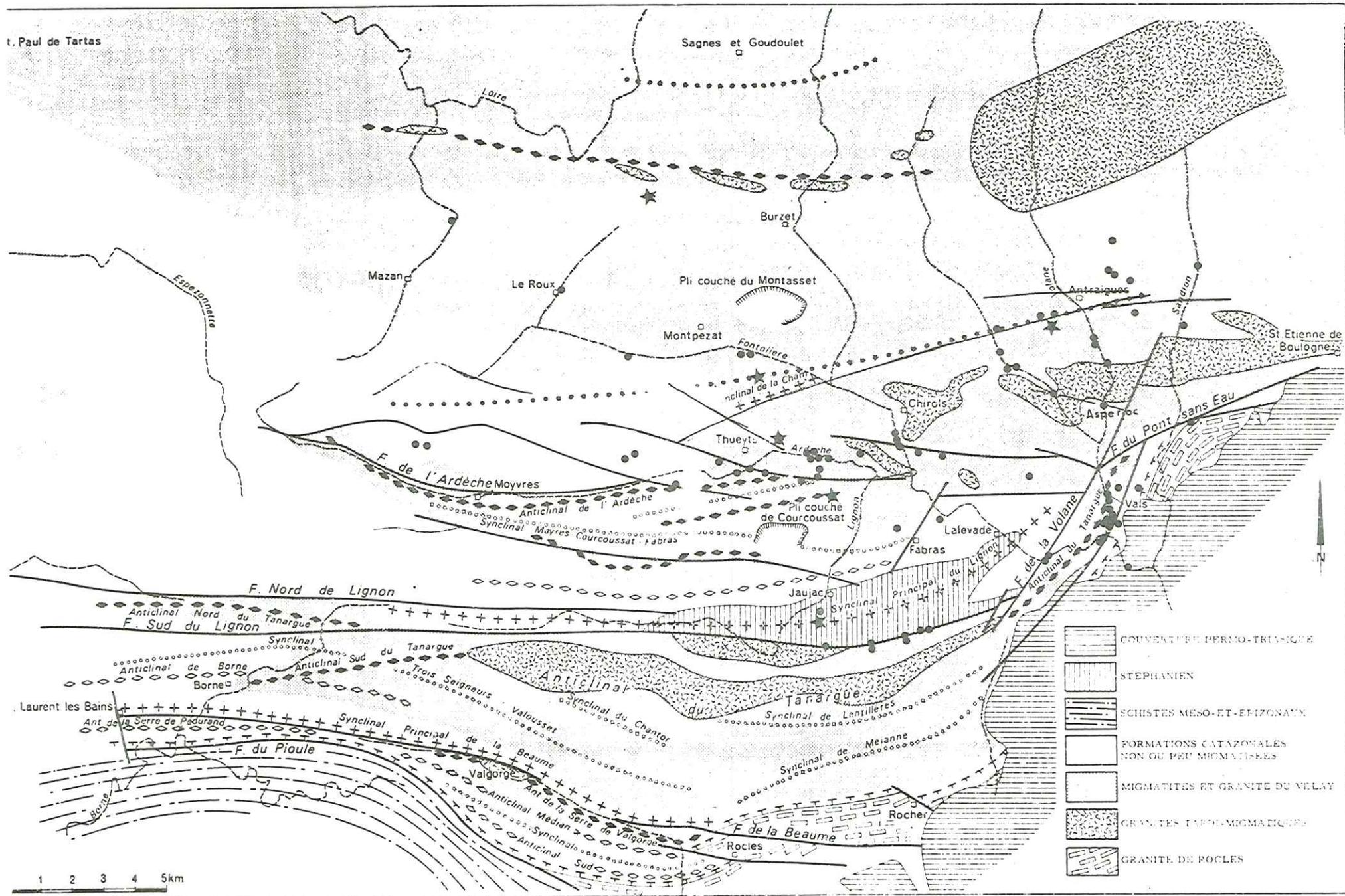


fig. 2-1 CARTE GEOLOGIQUE SIMPLIFIEE d'après Weishrod 1967

- source minérale
- ★ volcan

Il est évident que ces trois ensembles ne sont pas parfaitement homogènes et que la dénomination ne reflète que le caractère pétrographique dominant de la formation :

a) L'unité supérieure

La pétrographie des roches de cette unité est très variable, puisque divers faciès peuvent être reconnus tels que :

- des micaschistes alumineux à biotite sillimanite,
- des gneiss lités,
- des gneiss grenus à grain fin,
- des gneiss quartzitiques,
- des quartzites micacés,
- des gneiss conglomératiques (au Nord de Thueyts),
- des amphibolites rubanées (chemin de Thueyts à la Gravenne de Montpezat),
- des quartzites à minéraux calciques (au Nord Ouest de Lalevade),
- des épibolites.

Certains de ces faciès peuvent prendre localement une plus grande importance : ainsi au Nord, prédominent des gneiss grenus et quartzitiques qui s'associent en intercalations décimétriques et rythmiques, pour former des gneiss rubanés, tandis qu'au Sud prédominent les micaschistes.

b) L'unité moyenne

L'unité moyenne est représentée par des leptynites compactes et dures qui forment des éperons rocheux ; mais lorsqu'elles ont été soumises à des broyages intenses, elles deviennent très altérables. On en rencontre divers types :

- leptynites rubanées, litées, grenues, granitoïdes (où aucune schistosité n'est visible) et oillées.

Un deuxième niveau de leptynites, de moindre importance, peut s'intercaler dans les gneiss oillés de l'unité inférieure.

c) L'unité inférieure

La schistosité des gneiss oillés est bien marquée à l'Est, alors qu'à l'Ouest elle est discrète ; les lits micacés dessinent de nombreux plis désordonnés. Le passage des gneiss oillés aux leptynites peut être franc ou progressif. Dans les gneiss oillés (ainsi que dans les leptynites) se rencontrent parfois des affleurements de vaugnérites et d'amphibolites, (par exemple sur la route d'Arlix à Vals les Bains, en rive gauche de l'Ardèche.) photos

2-2-(2) -

Variations lithologiques

Les principales variations enregistrées dans cette série sont de deux types :

- d'une part, dans certains secteurs, la coupure entre les formations de leptynites et de gneiss oillés tend à s'estomper, donnant une formation quartzofeldspathique indifférenciée (figure 2-3, log C).

Formation des gneiss et micaschistes à lithologie variée (gneiss "supérieurs")

Formation des leptynites

Formation des gneiss "inférieurs"

Formation des gneiss oillées

Formation des gneiss et micaschistes à lithologie variée.

Formation quartzofeldspathique indifférenciée.

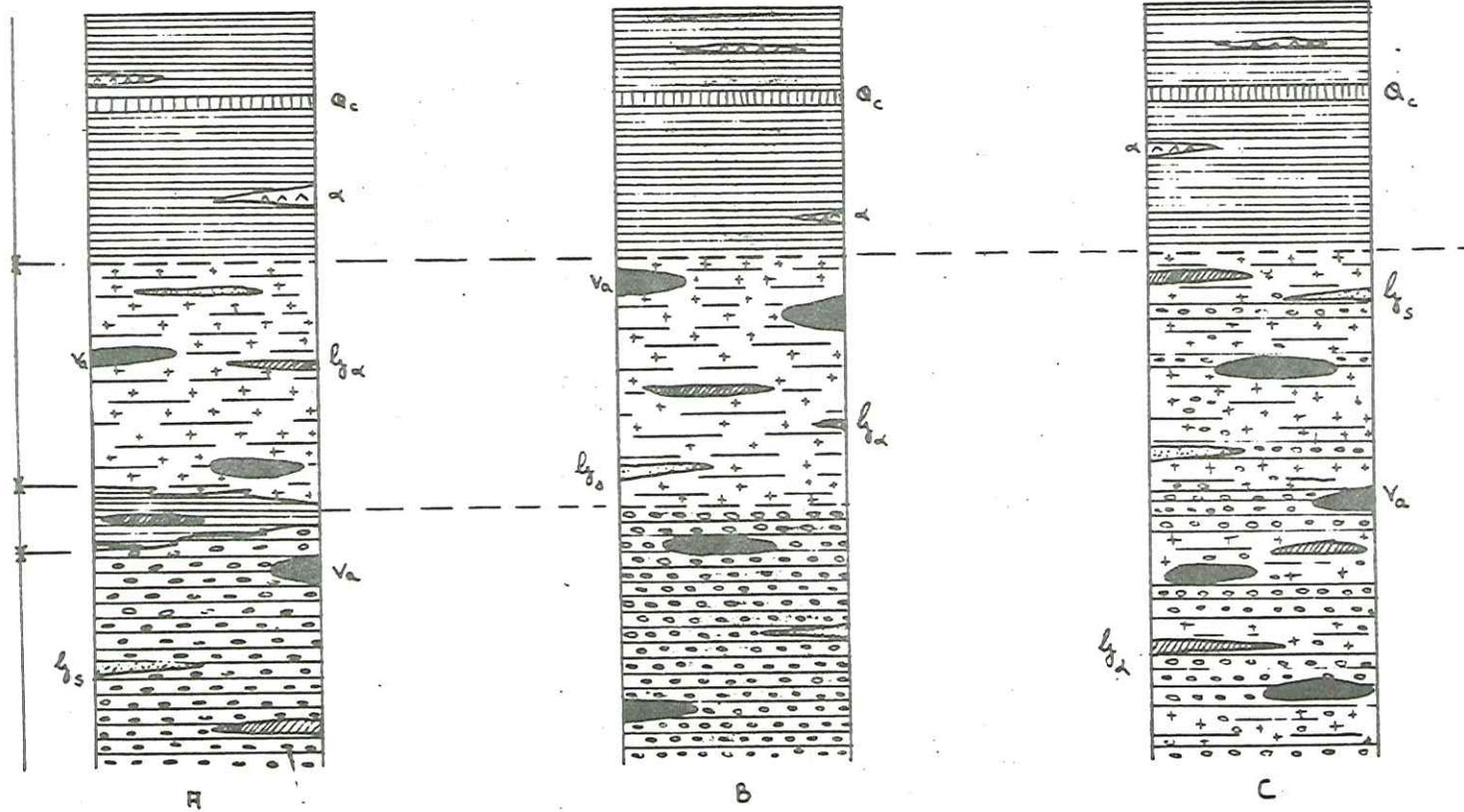


Figure 2-3 Logs schématiques dans la série ardéchoise catazonale (du haut en bas)

A Secteur Sud - B Succession type - C Succession atypique des secteurs occidentaux des Cévennes Médiannes.

α Amphibolites l_{ps} Gneiss amphiboliques l_s Gneiss surmicacés φ Quartzite à minéraux calciques

V_a Vaugnérites (chaque formation a une puissance apparente de plusieurs centaines de mètres.)

- d'après A. Weisbrod 1967

- d'autre part, entre les leptynites et les gneiss ocellés, s'intercale dans certains secteurs (entre Lalevade et Vals les bains) un niveau de gneiss biotitiques, dit " gneiss inférieurs " (pour les distinguer des gneiss et micaschistes variés de l'unité supérieure.) Ce faciès prend de plus en plus d'importance vers l'Est. (diagrammes lithostratigraphiques A et C atypiques de la figure 2 - 3)

Néanmoins, malgré ces variations, les trois unités distinguées par Weisbrod (1967) sont bien individualisées :

les gneiss ocellés et leptynites constituent en particulier, deux niveaux repères d'un grand intérêt pour la compréhension des structures régionales. Ils montrent nettement que, d'une manière générale, cette série est caractérisée par une succession d'anticlinoriaux et de synclinoriaux d'axe Est - Ouest ; le coeur des antiformes étant occupé par des gneiss ocellés et des leptynites (horizon de base), le coeur des synformes par des micaschistes.

Ces trois unités de la série ardéchoise, micaschistes leptynites et gneiss ocellés se voient nettement en bordure de l'Ardèche, de Lalevade à Chamblas en rive gauche, où elles constituent la terminaison périclinale de la synforme du Lignon :

2-2-(3) -

Coupe du synclinal du Lignon le long de la vallée de l'Ardèche et description des faciès rencontrés (figure 2 - 4)

a) Les gneiss et micaschistes de l'unité supérieure sont visibles au lieu dit le Pra (fig 2 - 4). La foliation pend vers le Sud Est, ce qui indique que nous sommes sur le flanc Nord de la synforme. Les micaschistes constituent une série assez monotone. Il s'agit d'un faciès à débit schisteux, riche en biotites et feldspaths peu visibles à l'oeil nu.

Ces micaschistes renferment de la sillimanite nacréée blanche et fibreuse. La distinction entre gneiss et micaschistes n'est pas nettement définie dans cette unité supérieure.

Par endroits, le micaschiste est remplacé par un gneiss à biotite à litage millimétrique avec de petits feldspaths ocellaires. Au lieu dit le Pra, les gneiss et micaschistes sont fortement tectonisés.

La déformation est postschisteuse avec des plis ouverts qui reprennent la foliation (ces plis ont une allure de kink - bands décimétriques). Plus en aval, on peut observer les filonnets de quartz boudinés et plissés à plan axial synschisteux et à charnière épaissie, le plissement étant là, contemporain de la foliation. Peu à peu, le pendage se redresse à la verticale et s'inverse vers le Sud Ouest, nous nous trouvons alors sur le flanc Sud de la synforme.

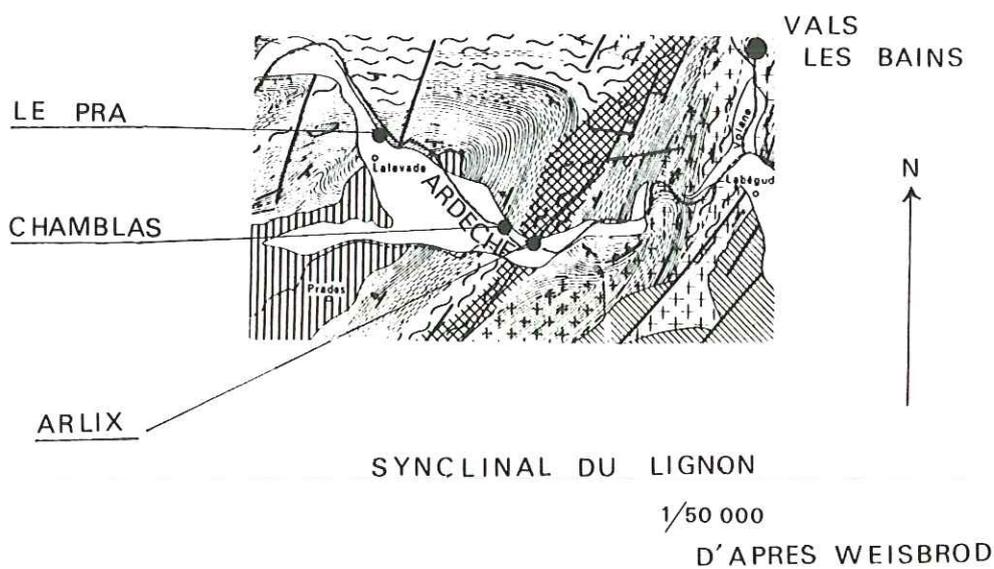
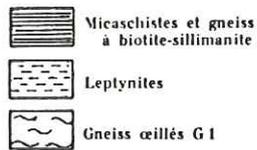


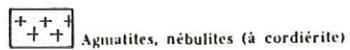
Fig. 2-4

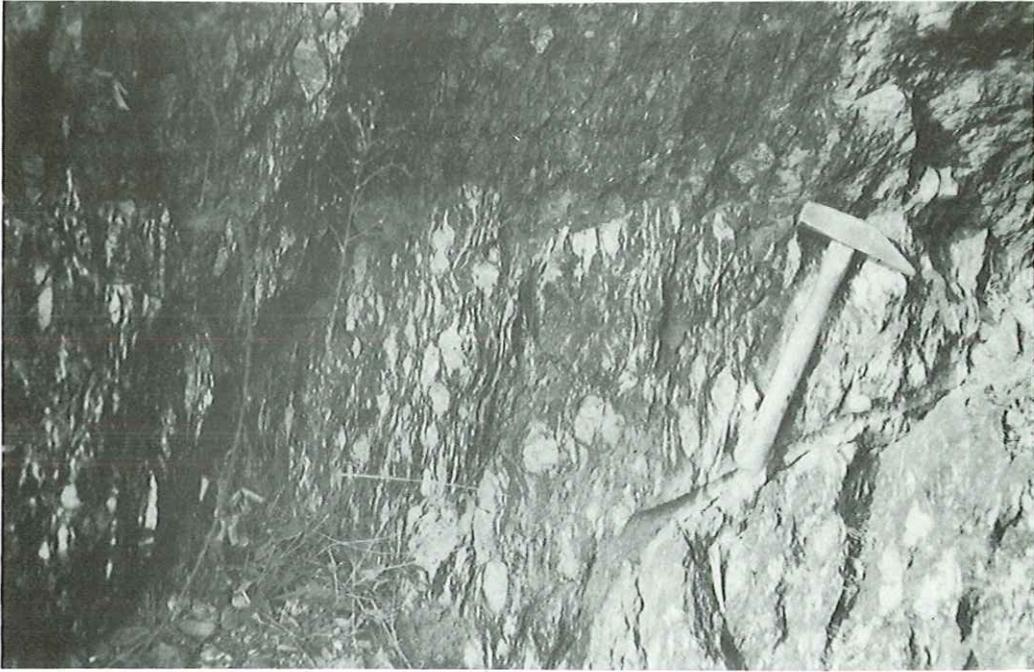


FORMATIONS CRISTALLOPHYLLIENNES



GRANITES





gneiss oeilles route d'Arlix



b) Au lieu dit Chamblas (figure 2-4) leptynites de l'unité moyenne.

La roche a un aspect massif, de couleur bien caractéristique :

blanc rosé. Au point de vue minéralogie, nous avons du quartz et des feldspaths essentiellement, avec des micas chloritisés et des grenats bien visibles. Les cristaux d'orthose peuvent atteindre le centimètre.

Par enrichissement en quartz, nous passons à des leptynites quartzieuses ou à des quartzites feldspathiques, par enrichissement en ferromagnésiens, nous passons aux gneiss leptyniques.

Dans les leptynites, la foliation n'est pas toujours observable. Souvent la biotite disséminée dans la roche, présente une vague structure planaire.

c) En poursuivant la coupe vers l'Est, nous passons à Arlix aux gneiss ocellés de la série inférieure. Ces gneiss montrent les minéraux suivants :

biotite, muscovite, quartz, feldspaths potassiques en gros cristaux et plagioclases. Ces gneiss sont ici traversés de filons d'aprites métriques, auxquels sont liées les émergences d'eaux minérales de Malpas. (Ces filons verticaux, sont orientés N 120).

Le faciès des gneiss est très cataclasé : la fissuration très dense emprunte les plans de foliation. Plus à l'Est, la roche est franchement mylonitisée et écrasée. Elle devient méconnaissable, les fractures découpant des blocs de petites dimensions.

En cet endroit passe un grand décrochement sénestre (décrochement de Vals les Bains qui affecte la terminaison périclinale de la synforme du Lignon. Passé cette zone de mylonites, nous entrons dans le domaine de la migmatisation vellave.

2-3 - Granites et migmatites du Velay

Ces roches prennent, au Nord, une extension considérable.

2-3-(1) - Le granite du Velay.

Ce granite très hétérogène, présente de nombreuses enclaves, des passages continus à des migmatites, des variations de granulométrie, de minéralogie, et de composition chimique. Généralement, c'est un granite leucocrate alcalin à calcoalcalin, qui se caractérise par la présence de nombreuses taches de cordierite quelquefois en prismes automorphes, le plus souvent en gros nodules poecilites centimétriques, avec parfois une auréole de réaction aplitique.

La roche altérée prend une teinte rouille qui témoigne de l'abondance de la biotite.

Les enclaves peuvent être de grande taille (jusqu'à plusieurs centaines de mètres), on reconnaît alors la plupart des termes de l'unité supérieure de la série ardéchoise . Ce granite est surtout présent au Nord de la région à Aizac.

2-3-(2)- Les migmatites,

Elles se localisent à la périphérie du granite du Velay. Il existe un passage continu des migmatites au granite d'anatexie. Classées par degré croissant de migmatisation, on distingue quatre types :

a) Dictyonites : ce sont des roches peu transformées où les mobilisats de granite, nébulite et aplites, sont en filonnets flous, taches ou bouffées à bords diffus.

b) Crocydites : ce sont des roches où les recristallisations internes sont de plus en plus prononcées. La schistosité commence à disparaître, les mobilisats forment un réseau flou.

c) Agmatites : ce sont des roches dans lesquelles le constituant granitique est prépondérant, la roche originelle ne subsiste qu'à l'état d'enclaves nombreuses.

d) Nébulites : ces roches forment un ensemble très hétérogène et complexe. Roches dans lesquelles des traînées de minéraux sombres, des schlieren, des bouffées tourbillonnaires de biotite, dessinent une vague structure planaire. Dans d'autres échantillons, on passe fréquemment au granite, la structure gneissique disparaît alors complètement.

Une coupe, établie dans la vallée de la Volane, à Asperjoc, montre l'hétérogénéité de cette famille de roches. (Fig 2-5).

La migmatisation vellave peut se suivre dans tous les types de roches du domaine catazonal ; c'est un phénomène qui a affecté de façon discordante, toutes les formations déjà métamorphisées et plissées.

2-4 - Granites tardimigmatitiques

Ces granites, bien que tardifs par rapport à la migmatisation vellave, sont étroitement liés au granite du Velay.

a) Dans notre région, on distingue le granite du Tanargue qui forme deux massifs allongés de direction Est-Ouest, situés approximativement dans l'axe des grands anticlinaux migmatitiques :

- au Nord le massif d'Asperjoc - St Etienne de Boulogne est situé à deux kilomètres au Nord de Vals les Bains.
- au Sud le massif du Tanargue long de 15 kilomètres, est situé en bordure Sud du bassin houiller de Prades.

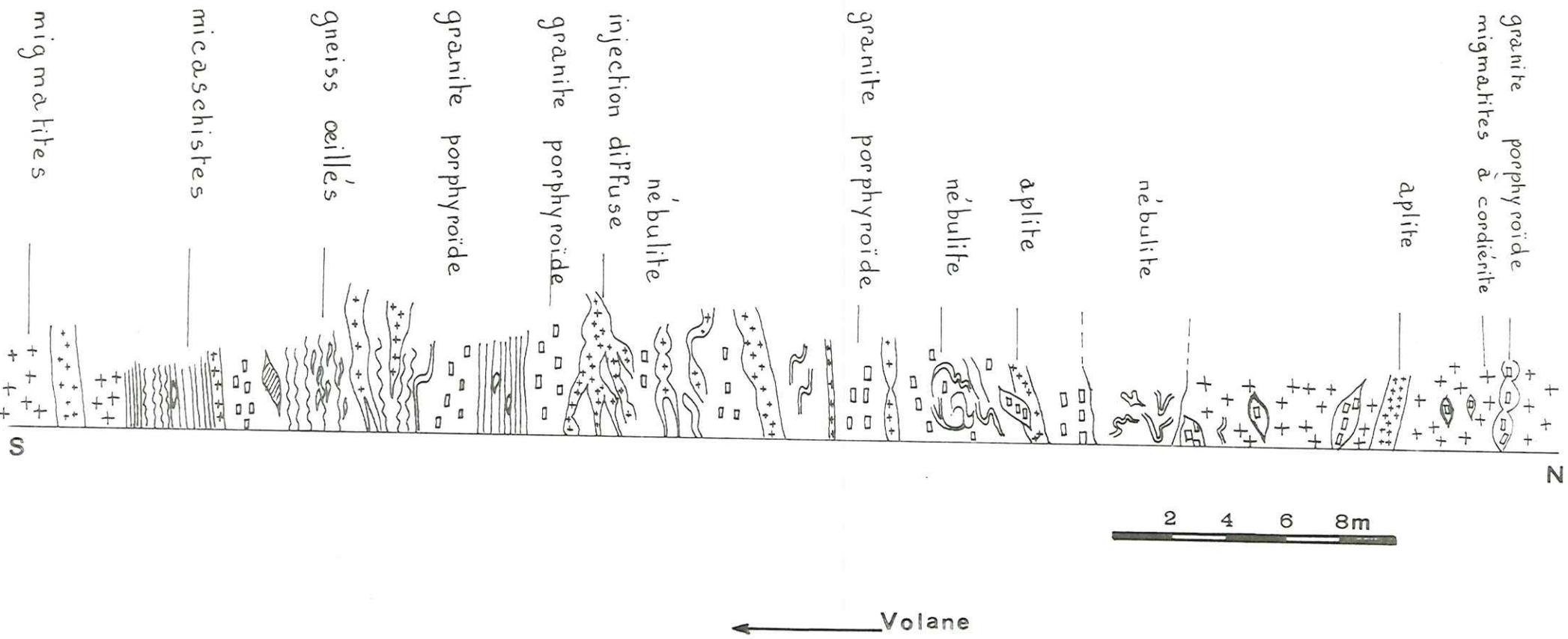


fig. 2-5 Coupe au lieu dit le Rigaudel (vallée de la Volane en rive droite)

C'est un granite à tendance porphyroïde (phénoblastes d'orthose maclée), pauvre en cordiérite, riche en petites enclaves différentes des roches du socle :

ces enclaves ovoïdes grises à grain très fin sont de même composition que le granite. En bordure de ces massifs, les porphyroblastes ont tendance à s'orienter. (Ceci est bien visible à Asperjoc et à Pont de Bridou en bordure de la nationale n°578 dans la vallée de la Volane).

Le granite du Tanargue est localement accompagné de faciès de bordure, de filons de granite à grain fin, et de microgranites dépourvus d'enclaves.

Les contacts avec l'encaissant sont toujours francs et montrent que le granite recoupe les migmatites du Velay.

b) Parmi les autres granites présents dans la région, il faut citer le granite porphyroïde dit de Rocles qui correspond à un granite syncinématique, intercalé au sommet de la série ardéchoise.

Ce granite est surtout présent en dehors de notre région étudiée, à 20 kilomètres au Sud Ouest de Vals les Bains. Il s'agit d'un vaste laccolite concordant, que l'on suit depuis Dompnac jusqu'à Rocles.

Ce laccolite, décroché par le grand accident sénestre de Vals les Bains, se retrouve en lambeaux dans la vallée du Sandron, 1 kilomètre à l'Est de Vals les Bains.

Il a été signalé en 1957 par Chantal Sanitas sous le nom de granite de Vals St Andéol. Ce granite présente des faciès à biotite, à deux micas, ou à muscovite.

2-5 -

Petits massifs granitiques et roches filoniennes.

Des petits massifs circonscrits et des roches filoniennes affleurent dans la région, recoupant toutes les autres formations du socle ; ils sont toujours à proximité des grands accidents cassants (Est Ouest et Nord Est).

a) Le petit massif de Fabras, au Nord du bassin de Prades, est constitué par un granite à muscovite, à reflets bronzés. Il semble découpé par de nombreuses fractures NE, enduites de minéralisations de fluorine et de produits uranifères.

b) Il existe des filons de roches dacitiques et andésitiques abondants sur le Tanargue, plus dispersés dans le reste de la région. (Route de Tauljac-Prunet).

c) Les filons de microgranite affleurent surtout le long d'une étroite bande, qui va de Labastide de Juvinas à St Cirgues en Montagne, en passant par le Suc du Pal.

2 -6 -

Nature des terrains affleurant aux sources minérales.
 =====

C'est dans le socle cristallin qu'émergent toutes les sources minérales. La nature lithologique des différents terrains rencontrés, ne semble pas jouer un rôle dans la répartition des sources minérales.

Nous remarquons simplement que les sources issues des migmatites et granites du Velay sont plus nombreuses que celles issues des terrains métamorphiques, car ces derniers couvrent une petite surface au Sud du bassin versant étudié (région de Prades).

Il est possible toutefois, de concevoir un plus grand nombre d'émergences dans les terrains granitiques et migmatitiques, qui se comportent dans la région comme des matériaux rigides et cassants.

Nous verrons dans les chapitres suivants que c'est avant tout la tectonique qui conditionne la position des sources minérales, comme elle avait conditionné celle des volcans.

CHAPITRE III

LE VOLCANISME RECENT DU VIVARAIS

- 3-1 - INTRODUCTION
- 3-2 - PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE CHAQUE VOLCAN
PRESENT DANS LE BASSIN VERSANT DE LA HAUTE
ARDECHE
- 3-3 - ALIGNEMENT REMARQUABLE DES VOLCANS ET POSI-
TION DES SOURCES MINERALES PAR RAPPORT A CES
VOLCANS

Chapitre III -

LE VOLCANISME RECENT DU VIVARAIS

3-1 -

INTRODUCTION

Le volcanisme du Vivarais a fait l'objet de la thèse de Berger (1973) qui a étudié le dynamisme éruptif, la nature des produits émis, les âges respectifs de chaque volcan.

Nous rappellerons seulement les résultats principaux de ce travail.

a) Le volcanisme du Vivarais, d'âge quaternaire est représenté par dix petits appareils de forme très fraîche. (figure 3-1).

Le dynamisme est de type explosif, certains volcans témoignent en outre d'une activité hawaïenne épisodique.

Toutes les coulées de laves se sont épanchées dans les vallées actuelles, reposant souvent sur des alluvions. Elles sont fragmentées par l'érosion, et ne subsistent qu'à l'état de témoins.

Ce sont des émissions de laves très fluides; caractéristiques des éruptions de magma basaltique : la plus longue coulée de lave est celle du Ray Pic, qui s'étend sur 21 kilomètres dans la vallée de la Fontolière.

b) La composition chimique des produits émis, indique un magma sous saturé en silice, qui correspond à des basanitoïdes néphéliniques d'après la définition de Lacroix.

Ces laves proviendraient de la fusion partielle des péridotites du manteau supérieur : mécanisme qui expliquerait la grande richesse en nodule de péridot (olivine). Aussi ces laves ont dû emprunter des cicatrices profondes du socle pour venir s'épancher en surface.

c) L'âge des éruptions a pu être déduit ;
- partiellement par une étude de la mise en place des différentes coulées. Les résultats peuvent se résumer ainsi : la coulée de Jaujac est plus récente que celle du Souillol puisqu'elle a été barrée par cette dernière dans la vallée du Lignon.

La coulée du Souillol est plus récente que la coulée du Ray Pic (vallée de la Fontolière) puisqu'elle la recouvre à Pont-de-Labeaume.

Au Nord Ouest, le volcan du Chambon est plus récent que la coulée de la Gravenne de Montpezat, qui a bloqué l'avancée d'une coulée de lahars venue du Chambon.

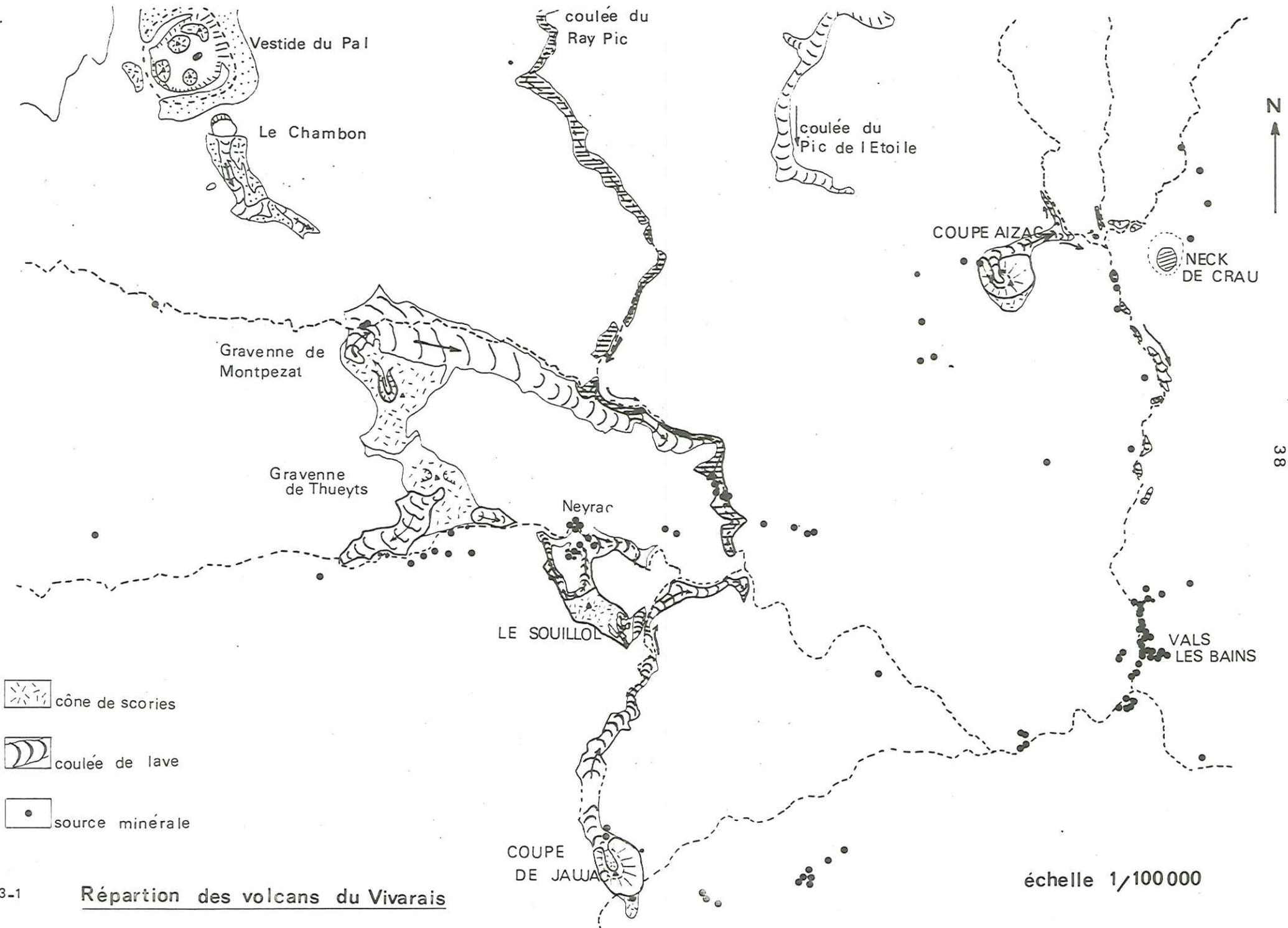


fig.3-1

Répartition des volcans du Vivarais

Plus en aval, dans la vallée de la Fontolière, la coulée principale issue de la Gravenne de Montpezat, surmonte la coulée du Ray Pic qui est donc plus ancienne.

- Deuxièmement, l'âge des éruptions a pu être déduit par une étude de datation absolue au carbone 14, sur des bois fossiles ou des paléosols trouvés à la base ou entre les coulées :

les mesures de Berger (1973) ont fourni les âges suivants :
 pour le cône du Souillol : 35 000 ans
 pour la coulée du Ray Pic : 25 000 ans \pm 270 ans
 pour la coulée du Souillol : 11 700 ans

- Troisièmement l'âge des éruptions a été déduit par l'étude du paléomagnétisme : Berger et Bonhommet (1973) ont mis en évidence deux phases éruptives :

- une phase volcanique ancienne antérieure à - 35 000 ans
 - une phase volcanique récente datée de - 11 700 ans

3-2 Principales caractéristiques de chaque volcan présent dans le bassin versant de la haute Ardèche. (tableau n° 3-1)

Le tableau suivant résume les principales caractéristiques des volcans de Jaujac, du Souillol, de Montpezat, du Chambon, de la Vestide du Pal, d'Aizac ainsi que du Neck de Crau.

3-3 Alignement remarquable des volcans de l'Ardèche, et position des sources minérales par rapport à ces volcans.

Les volcans que nous venons d'étudier se rangent selon deux alignements Nord Ouest de cratères, quasi parallèles, espacés de 10 kilomètres.

Le premier comprend la coupe de Jaujac, le Souillol, les Gravennes de Thueyts, de Montpezat, le volcan du Chambon, et la Vestide du Pal. Ces six appareils sont régulièrement espacés sur un axe long de 15 kilomètres, orienté Nord 150.

Le deuxième alignement comprend la coupe d'Aizac, le Pic de l'Etoile, le Ray Pic.

Le chapitre suivant traitera de la tectonique du socle, mais signalons, dès maintenant, l'existence d'un réseau dense de fissures d'extension orientées Nord 150 également ; fissures qui ont été mises en évidence par une exploration photogéologique et par une étude du système filonien volcanique.

Il est probable que cette fracturation N 150 ait commandé la position des bouches volcaniques lors du volcanisme quaternaire, les intrusions basaltiques profondes ont dû suivre ces fractures de distension. Nous verrons que ces mêmes failles sont toujours vivantes, puisqu'elles constituent actuellement des voies d'acheminements des fluides jusqu'aux griffons.

En effet, de nombreuses sources minérales jalonnent ces fractures et l'étude hydrologique montrera que les sources les plus intéressantes par leurs propriétés physicochimiques, sont toujours à proximité immédiate d'un volcan.

Les volcans semblent donc curieusement conditionner les émergences et expliquent l'altitude des sources minérales situées au Nord Ouest, dans les hauteurs du bassin versant.

Il ne s'agit que d'une simple observation qui méritera une étude plus approfondie, afin de saisir la relation pouvant exister entre ces sources minérales, ces volcans, et la tectonique profonde du socle.

TABLEAU n° 3-1

Principales caractéristiques de chaque volcan présent dans le bassin
versant de la haute Ardèche

Nom du volcan	Situation Géographique et géologique	Description de l'appareil
Jaujac	500 m au SE de Jaujac - Installé au milieu de la depression du bassin houiller de Prades, c'est le seul exemple dans la région d'appareil ne reposant pas directement sur le sol migmatitique.	- Cratère égueulé vers le Nord - son flanc Sud se présente légèrement entaillé par deux petites carrières de pouzzolanes. Il est constitué de basaltes scoriacés et de bombes. -
Le Souillol	- Perché à l'aplomb de Neyrac sur une crête cristalline.	- Volcan placé sur un versant, Il ne reste qu'une montagne de scories, au sommet de laquelle ressort en relief des laves scoriacées, pouvant correspondre à l'emplacement de la cheminée centrale.
La Gravanne de Thueyts	- située en rive gauche de l'Ardèche à proximité de Thueyts. - Ce volcan repose sur des terrains migmatitiques. -	- Deux carrières ont entaillé profondément les flancs Sud et Nord du cône. La stratification est bien marquée. - Les produits émis sont des scories et des bombes. -
Aizac	- Situé au Sud-Ouest d'Entraygues sur une montagne granitique. -	- Cône de scories de forme très fraîche égueulé vers le Nord. -
Neck de Crau	- Situé à l'Est d'Entraygues en rive gauche du Mas. -	- Une montagne de basaltes à sommet aplani recouverte d'éboulis sans cône et sans coulée. -

Dynamisme	43 Coulée de lave et âge de la coulée	Sources minérales situées au voisinage du volcan
<p>- De type explosif - les produits émis ont été projetés assez loin vers le Sud constituant une stratification fine de scories de faible densité - le cratère a été durant certaine période le receptacle d'un lac de laves comme en témoignent les traces de laves figées sur les rives à différentes hauteurs des parois internes;</p>	<p>- A partir de ce cratère égueulé vers le Nord s'échappe une seule coulée de lave qui gagne la vallée du Lignon (longue de 3,5 kilomètres) - Elle a été barrée dans son avancée par la coulée du Souillol plus ancienne.</p>	<p>- Le Peschier - Le Cratère - La Peyrouse toutes au pied du cratère.</p>
<p>- Explosif. - Le cône est contitué d'une alternance de coulées et de projections</p>	<p>- Deux petites coulées peut être antérieures aux projections, divergent à partir de ce point d'émission - vers le Sud la coulée du Lignon bien développée, vers le Nord la coulée de Neyrac qui se divise en deux langues qui se rejoignent dans la vallée de l'Ardèche</p>	<p>- Neyrac le Bas - Neyrac les Bains avec présence d'une mofette - Neyrac le Haut</p>
<p>- Explosif. - Il n'y a pas de coulées basaltiques interstratifiées dans les scories, seuls les niveaux supérieurs présentent des laves scoriacées. -</p>	<p>- Deux coulées d'importance inégales : l'une très courte a suivi le cours de l'Ardèche, l'autre très puissante remonte la vallée sur 1,5 kilomètres le cône se serait mis en place avant la coulée qui a été forcé de s'accumulér à l'amont du volcan</p>	<p>- Le Luzet - Vernède - Le Pont du Diable - Mercier - Neyrac</p>
<p>- Type explosif - l'âge exact de cette éruption reste à préciser.</p>	<p>- La coulée a emprunté le cours du Fuel ; arrivée à Entraygues elle s'est divisée en plusieurs langues qui ont reflué dans toutes les vallées sur quelques centaines de mètres. Le trop plein a suivi le cours de la Volane sur 5 km.</p>	<p>- De la Coupe - Du Volcan - Le moulin la Coste - Rosa - Le Rocher du Merle</p>
	<p>- D'âge plus ancien que les volcans quaternaires. R. Michel (1976) le rattache aux nombreuses extrusions miopléocènes du Mezenc et du Coiron situés plus au Nord de notre région.</p>	

Nom du volcan	Situation Géographique et Géologique	Description de l'appareil
La Gravenne de Montpezat	- Située en rive droite de la Fontolière, sur une crête cristalline migmatitique. -	- La structure du cône et les nombreuses coulées superposées indiquent une histoire complexe de ce volcan. -
Le Chambon	- Situé sur le flanc Sud de la Vestide du Pal dans le haut vallon du ruisseau du Chambon	- Dépression circulaire de 500 mètres de diamètre bordée de paroi granitique verticale. - Il s'agit d'une petite caldéra d'explosion. -
La Vestide du Pal	- Appareil volcanique très complexe situé entre Montpezat et Rieutord au Sud-Est du Suc de Bazon. C'est ici que la Fontolière prend sa source. -	- Caldéra sous forme d'une vaste dépression circulaire de 1,7 kilomètres de diamètre. -

Dynamisme	45 Coulée de lave et âge de la coulée	Sources minérales situées au voisinage du volcan
<p>- Le cône volcanique de type explosif s'est édifié après la mise en place de la principale coulée. Le cratère profond de 80 m, est ouvert en direction du NW. - Cet éguelement est sans doute plus tardif ainsi que les petites coulées antikaramitiques qui se superposent au rocher noir.</p>	<p>- La plus importante coulée basaltique correspond à la première émission sans doute d'origine fissurale longue de 5 km, large de 500 m, et puissante de 45 m, à Montpezat. Elle a emprunté la vallée de la Fontolière et surmonte la coulée du Ray Pic plus ancienne.</p>	<p>- Bonnefond . - - Malfaugères. -</p>
<p>- l'histoire de ce volcan est lié à celle de la Vestide du Pal. -</p>	<p>- Selon R. Michel : 1 cône de scories strombolien et émission d'une coulée de lave. 2. Caldéra d'explosion, projection de tufs. 3. Déclanchement d'une coulée de lahars. -</p>	
<p>- Les premières manifestations ont un caractère explosif : (dépôts de couches successives de tufs). Suit un épisode à tendance Hawaïenne : Lac de lave dans la caldéra, et effondrement du plancher. -</p>		<p>- Le Roux</p>

ANALYSES CHIMIQUES NOUVELLES (B. USELLE et F. KELLER - Institut Dolomieu, Grenoble, 1970)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Si O ₂	47,75	45,50	43,60	44,90	45,2	46,90	43,60	43,00	42,60	43,60	44,15	44,15	45,45
Al ₂ O ₃	15,50	13,35	15,80	12,85	12,35	16,05	14,00	13,50	13,05	14,10	13,85	12,85	15,90
Fe ₂ O ₃	5,75	5,35	5,65	5,75	3,70	6,40	4,70	5,20	4,95	5,05	4,50	4,45	7,20
Fe O	5,80	5,75	6,25	5,25	6,70	4,50	6,40	6,10	6,65	6,75	6,85	6,70	4,75
Mg O	7,55	11,90	8,30	13,30	14,00	8,05	12,90	12,40	12,50	11,70	11,35	13,65	6,55
Ca O	8,75	9,40	10,00	9,30	9,05	8,55	10,20	10,30	10,80	10,35	10,60	9,40	7,70
Na ₂ O	5,25	4,20	5,00	4,40	4,20	4,60	4,30	4,45	4,00	4,00	4,25	4,05	4,90
K ₂ O	2,25	1,85	1,95	1,95	1,85	2,00	1,40	1,90	2,05	1,90	1,60	1,80	2,30
Ti O ₂	2,35	1,90	2,50	1,60	1,70	2,50	2,10	2,30	2,45	2,05	2,25	2,30	2,50
P ₂ O ₅	0,90	0,75	0,80	0,80	0,70	0,65	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	0,75	1,15
Mn O	0,20	0,20	0,25	0,25	0,20	0,20	0,20	0,25	0,25	0,20	0,20	0,20	0,20
H ₂ O -	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30
H ₂ O +	0,05	0,15	0,35	0,00	0,00	0,10	0,10	0,00	0,10	0,15	0,05	0,05	0,25
Total	100,10	100,30	100,60	100,35	99,65	100,50	100,75	100,20	100,20	100,65	100,45	100,35	100,15
% Néph.	15,05	12,76	19,38	15,05	14,77	9,37	16,19	20,16	18,46	16,19	14,77	14,20	9,94

- 1 - Suc de Bauzon - coulée (à l'amont de Rieutord)
- 2 - Vestide du Pal - bloc dans les basaltes scoriacés (versant ouest)
- 3 - Le Chambon - coulée (au Sud du Fau)
- 4 - Ray - Pic - coulée (à l'amont de Saint - Pierre - de - Colombier)
- 5 - Ray - Pic - coulée (cascade du Ray - Pic)
- 6 - Gravenne de Montpezat - coulée principale (Les Soubeyrols)
- 7 - Gravenne de Thueyts - coulée (cascade de la Gueule d'Enfer)
- 8 - Gravenne du Souillol - coulée orientale (confluent Ardèche - Lignon)
- 9 - Coupe de Jaujac - coulée (à l'aval de Jaujac)
- 10 - Coupe d'Aizac - coulée (à l'aval d'Antraigues)
- 11 - Coupe d'Aizac - coulée (vallée de la Volane, à l'amont d'Antraigues)
- 12 - Pic de l'Etoile - coulée (Labastide - de - Juvinas)
- 13 - Pic de l'Etoile - dyke (C. D. 354).

C H A P I T R E --- I VLE DECROCHEMENT SENESTRE DE VALS LES BAINS4-1 - INTRODUCTION

4-1-(1) - Les discontinuités élémentaires liées à la zone de décrochement

4-1-(2) - Fracturation du socle et de la couverture secondaire

4-2 - FRACTURATION DE LA COUVERTURE SECONDAIRE

4-2-(1) - Les failles majeures

4-2-(2) - Les failles de deuxième ordre

4-2-(3) - Résumé du style tectonique

4-3 - DEFORMATIONS ET DISLOCATIONS DANS LE SOCLE

4-3-(1) - La torsion sigmoïdale

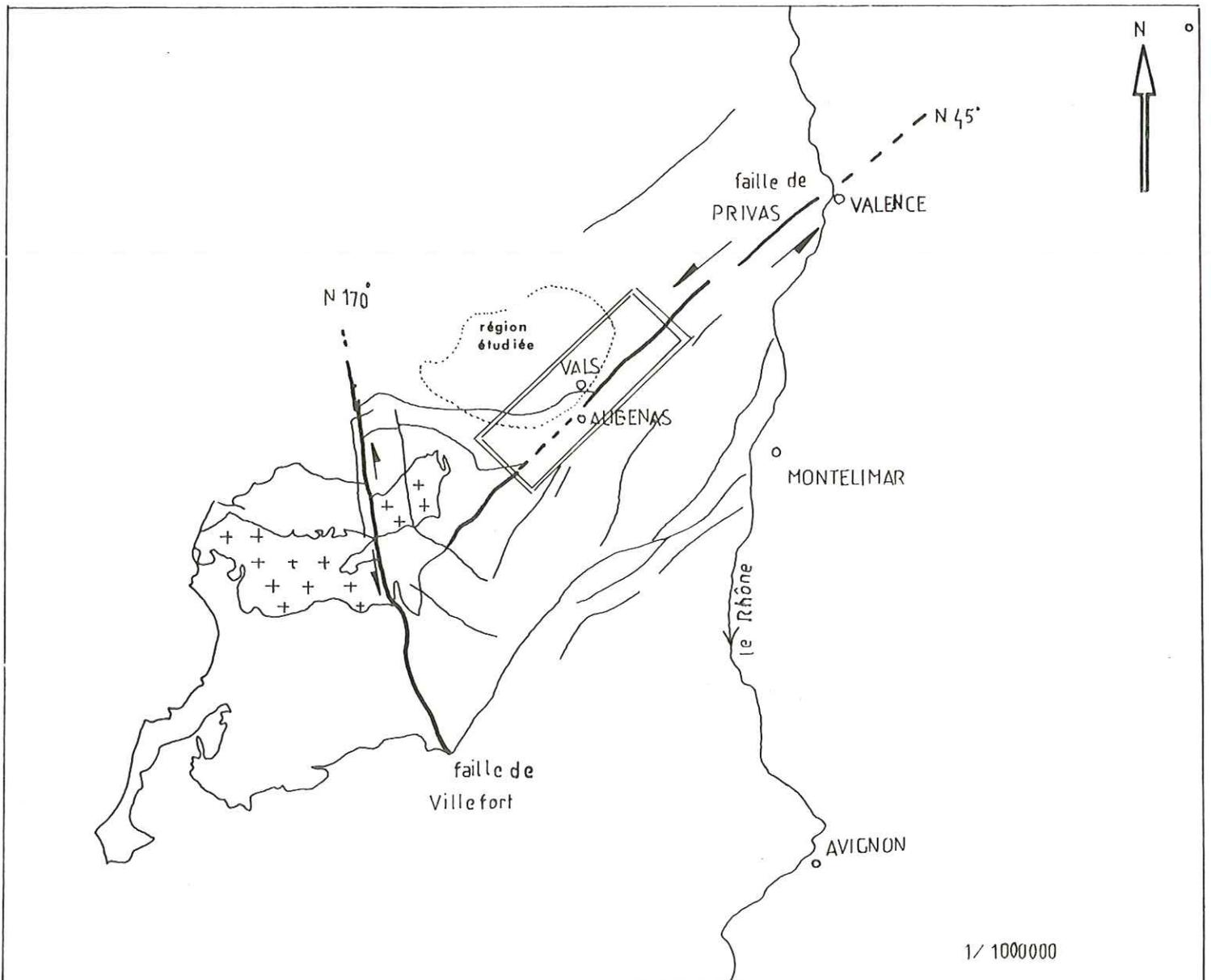
4-3-(2) - Les accidents cassants au Nord de Vals les Bains

4-3-(3) - Ampleur du mouvement et âge du décrochement

4-3-(4) - Reconstitution graphique du réseau de fractures au cours du décrochement

4-3-(5) - Etude du système filonien

PLANCHE 4.1



SCHEMA DE SITUATION

Chapitre IV

LE DECROCHEMENT SENESTRE DE VALS LES BAINS
=====

4-1- INTRODUCTION
=====

Le caractère tectonique dominant de la région de Vals est un grand décrochement sénestre de direction moyenne Nord 40°.

Cet accident, appelé faille de Vals, décale vers le Nord Est tout le bloc oriental, affectant aussi bien le socle que les formations sédimentaires du Houiller et du Secondaire.

Il se poursuit sur des centaines de kilomètres vers le Nord Est en passant par le col de l'Escrinet. Vers le Sud Ouest, il se heurte à la faille de Villefort. (Planche 4-1)

L'accident de Vals les Bains, postéphanien, a dû rejouer à différentes époques géologiques durant le Secondaire et le Tertiaire ; il a constitué ainsi une véritable limite paléogéographique pour toutes les formations sédimentaires allant du Trias au Crétacé. (Planche 4-2)

Un tel accident affecte à Vals les Bains une bande large de plusieurs kilomètres, ce qui souligne son ampleur. Dans cette zone de décrochement, sont présents des discontinuités élémentaires qui semblent se résoudre en un nombre limité de failles suivant le modèle théorique proposé par Vialon, Ruhland, Grolier (1976). (Figure n° 4-3).

4-1-(1) - Notre premier travail sera une analyse cartographique de toutes ces discontinuités élémentaires ayant pris naissance aussi bien dans le socle à l'Est de Vals les Bains, qu'à l'Ouest dans la couverture sédimentaire.

Cette analyse présente l'intérêt de repérer les cisaillements et les fissures d'extension liés au décrochement lévogyre.

D'après les mouvements le long des décrochements principaux et les valeurs des angles entre les différentes fractures, il nous est possible de distinguer les groupes de failles suivantes :

- des fractures N20 - N30 qui correspondraient aux failles synthétiques R sénestres (Riedels)
- des fractures N130 - N150 qui correspondraient aux failles antithétiques R' dextres (Riedels)
- des fractures N170 - N0 à remplissage de matériaux volcaniques, qui pourraient être des fissures d'extension T du système, bissectrices des fractures conjuguées R et R'

Couverture sédimentaire

	Miocène
	Crétacé inférieur
	Bathonien sup. à Portlandien
	Hettangien à Bathonien inf.
	Trias Rhétien
	Houiller

Socle

	Granites porphyroïdes d'Asperjoc et du Tanargue fardimigmatitiques
	Granite de Rocles
	Migmatites

Terrains métamorphiques (Série Ardéchoise)

	Anticlinorium
	Synclinorium

Fracturation ancienne antéstéphanienne

	Mylonites
	Faille E-W

Fracturation liée au décrochement de Vals. Dans la couverture secondaire:

Failles majeures: D₁ Faille de Vesseaux, D₃ Faille de l'Escrinet, D₂ Faille d'Ucel, D₅ Faille de Coux
Failles satellites: R₆, R₇ Failles d'Aubenas

. Dans le socle:

Failles majeures: D₁ Faille de Vals

Failles satellites: R₁ Faille de la Volane, R₂ Faille d'Arlix, R₃ Faille de Lalevade

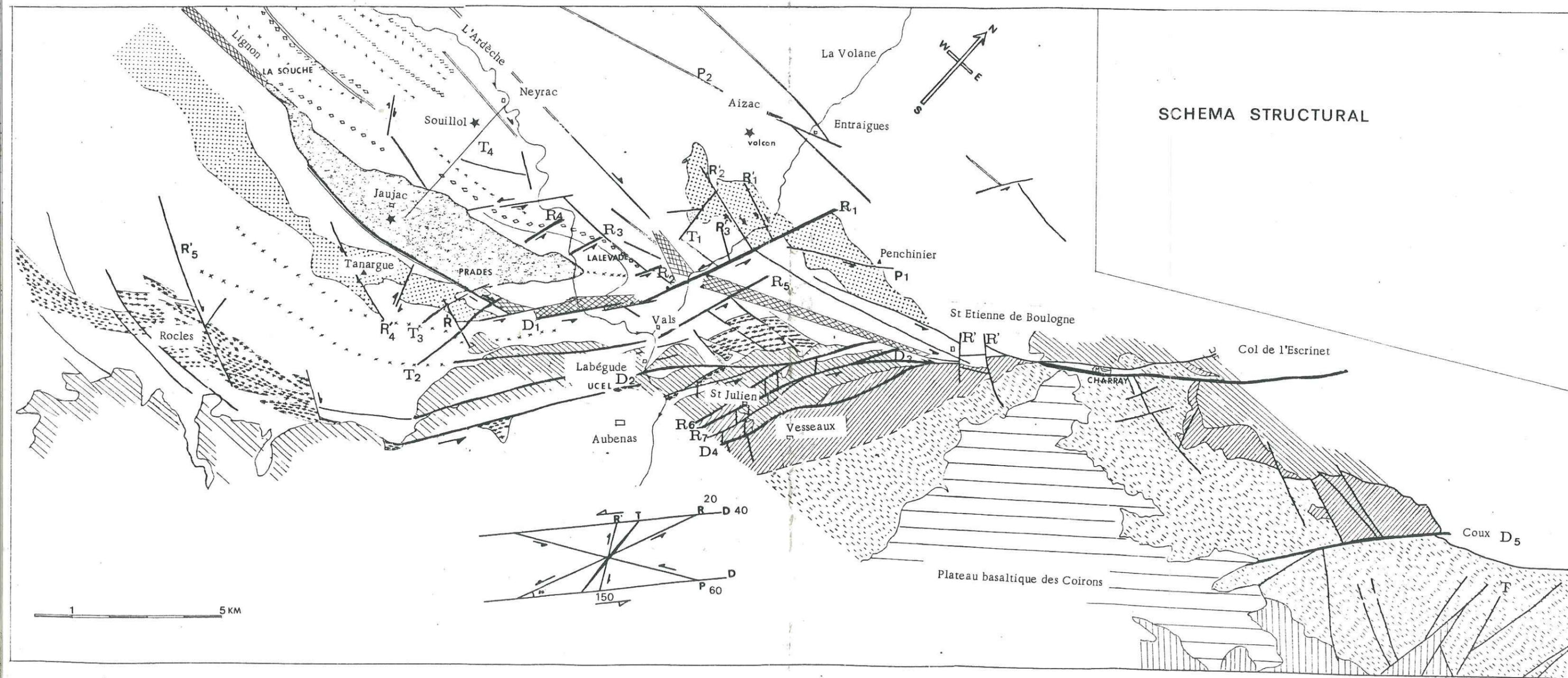
R₄ Faille des Terrisses, R₅ Faille de Labégude

R' R'₁ Faille d'Asperjoc, R'₂ Faille de La Besorgue, R'₃ Faille Pont de Bridou

R'₄ Faille du Tanargue, R'₅ Faille de Rocles

P₁ Faille du Penchinier P₂ faille d'Aizac

T₁ Faille du Nouzet, T₂ Faille de Fabrias Prades, T₃ Faille de Coulet T₄ faille de Chiroi



SCHEMA STRUCTURAL

fig.

D'après les cartes de Weisbrod 1967 pour le socle
 Dessignées Leduc pour la couverture secondaire
 1957

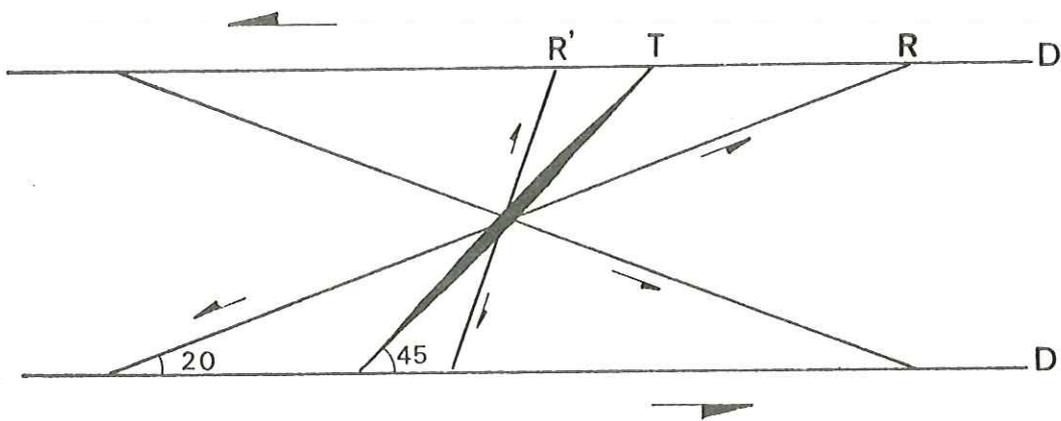


Fig 4-3 - Discontinuités élémentaires liées à une zone de décrochement. -

- des fractures orientées N60 - N70 qui correspondraient à des cisaillements sénestres de type P et symétriques de R. Ces fractures sont moins fréquentes que les précédentes, elles contribuent au déplacement général et n'apparaissent que dans le socle, où elles ont pris naissance, sous des contraintes plus élevées.
- Toutes ces fractures de deuxième ordre ainsi décrites, sont complétées par des failles de type D de premier ordre, parallèles à la direction du décrochement principal N35 - N55 et de même sens sénestre. Elles sont bien accentuées dans notre région.

4-1-(2) -

FRACTURATION DU SOCLE ET DE LA COUVERTURE
 =====
SECONDAIRE
 =====

Dans le socle l'analyse de la fracturation apparaît difficile. Le réseau complexe des dislocations s'est échaffaudé par le jeu successif de plusieurs phases de déformations.

Il nous faudra tenter de distinguer les fractures postéphaniennes liées au grand accident de Vals les Bains (D, R, R', P et T), des fractures antéstéphanien-associées à d'anciennes structures tectoniques d'axe E - W et qui ont été dérangées et réorientées par ce décrochement.

Cette interprétation de la fracturation, sera appliquée à l'étude de la circulation des eaux minérales en terrain fissuré, notamment par la recherche des fissures d'extension.

Elle peut apporter aussi une explication sur la répartition des cheminées volcaniques, par rapport aux grandes fractures du socle.

Fracturation de la couverture secondaire.

Nous allons tout d'abord analyser la fracturation plus simple de la couverture secondaire située à l'Est de la région étudiée.

Elle se résoud en un nombre limité de familles de fractures :

ne sont présentes que les Riedels associés R et R', les failles majeures de type D orientées N35 - 55 selon le décrochement général.

L'étude des plus récentes fractures montrera que le décrochement s'est poursuivi jusqu'au Tertiaire.

4-2

FRACTURATION DE LA COUVERTURE SECONDAIRE
 =====

Nous ne disposons actuellement que des travaux de Desoignes et Leduc (1960) qui concernent la couverture secondaire, comprise entre Aubenas et Privas. La feuille au 1/50 000 d'Aubenas en cours d'élaboration par Elmi (Faculté de Lyon) n'a pu être utilisée dans notre schéma structural au Sud d'Aubenas (planche 4-1).

Néanmoins les travaux de Desoignes et Leduc sont suffisamment précis pour notre étude de la couverture secondaire extérieure à notre région.

Ces travaux ont mis en évidence des failles majeures, que nous définissons comme des failles de type D. Parmi ces failles, celles de Vessaux-l'Escrinet, d'Ucel et le Coux seront prises comme exemples.

Ces accidents ont constitué des limites paléogéographiques, à différentes époques, durant tout le Secondaire.

Ces mêmes auteurs ont remarqué un certain nombre de petites failles mineures, obliques, par rapport aux précédentes. Leurs orientations et leurs sens de décrochement nous amènent à les considérer comme des failles satellites de type Riedel.

4-2(1) - LES FAILLES MAJEURES

a) La faille de Vessaux-l'Escrinet D₄

Cette faille présente un tracé sinueux. On peut la repérer immédiatement à l'Ouest de la route qui mène au col de l'Escrinet. Avec une direction moyenne N 40, elle varie entre N 15 et N 55. Cette dispersion semble résulter de la combinaison successive des failles de type D + R.

Le tracé de cette faille courbe peut être suivi sur des dizaines de kilomètres jusqu'au col. Au niveau de Saint-Etienne-de-Boulogne, elle est déplacée plusieurs fois par des accidents R' dextres de second ordre (failles de Saint-Etienne-de-Boulogne).

Selon Desoignies et Leduc (1957), elle met en contact, au niveau de Vessaux, le Trias supérieur et le Bajocien. Au Nord-Est elle se poursuit dans le Trias où elle s'amortit et se perd finalement.

Au Sud-Ouest, elle semble s'atténuer au niveau des marines du Bathonien avant de disparaître sous les alluvions de l'Ardèche. Cette faille aurait été réactivée à plusieurs reprises, jusqu'à des époques récentes du Tertiaire :

aux environs de Charray, existe un petit affleurement de Miocène attribué au Pontien selon Desoignies. Ce niveau est surmonté de basaltes du Coiron. Ces deux niveaux sont affectés par des rejets tardifs de la faille.

b) La faille d'Ucel D₂

C'est une faille majeure de type D orientée N 45°. Bien que masquée par la végétation, elle est longue de plusieurs kilomètres. Visible à Ucel, près de Vals les Bains, elle met en contact le Trias à l'Ouest et le socle à l'Est. Elle intéresse donc le socle. Elle détermine d'autre part, un compartiment Est élevé à Saint-Julien, plus au Nord le rejet s'inverse.

Cette faille se poursuit dans le socle et se perd dans la zone particulièrement affectée de Saint-Etienne-de-Boulogne.

c) La faille de Caux D₅

Cette faille orientée N 40, est située aux environs de Privas. Elle met en contact à Coux les séries du Lias et du Bajocien avec l'ensemble Bathonien-Callonien.

Elle détermine un compartiment Est abaissé. Vers le Sud, elle disparaît sous la couverture basaltique du Coiron, d'âge miopliocène. Elle est accompagnée au Sud d'une faille satellite R, N 20.

4-2-(2) -

LES FAILLES DE DEUXIEME ORDRE

a) Les failles satellites de type R sont orientées N 20 - N 30.

Le plus souvent, elles se combinent avec des failles de type D, orientées N 35-N 55, entraînant l'existence de failles courbes.

La faille d'Aubenas (R₆ et R₇) est située entre les failles d'Ucel et de Vesseaux. Au Nord elle est orientée N 30 - N 40 sur un court trançon, ensuite aux environs du confluent de l'Oize et du ruisseau de Boulogne, cette faille se divise en deux accidents R₆ - R₇ orientés N 20°. Ces deux failles constituent un réseau de fractures de second ordre de type R, entre lesquelles s'organisent en échelon de petites failles de type R' orientées N 135-N 140.

Il est à remarquer qu'ici, les R' sont de moindre importance, à l'inverse des failles D + R bien développées. Cela peut signifier entre autre que les déplacements sur le décrochement principal, sont plus importants que les effets de blocage

Longue de plusieurs dizaines de kilomètres, cette faille se poursuit dans le socle jusqu'à Saint-Michel-de-Boulogne où elle devient alors difficile à suivre.

b) Les failles satellites de type R'

Elles appartiennent au système conjugué de Riedel de direction moyenne N 135-N 140.

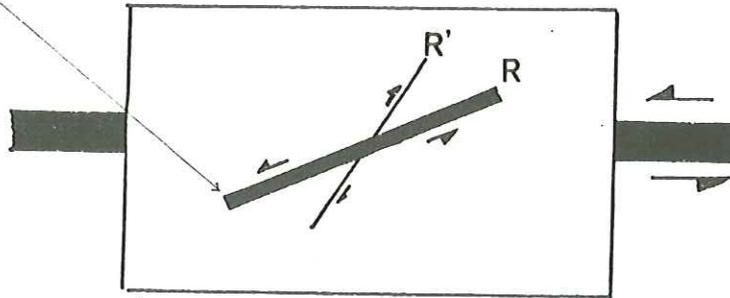
- Elles se rencontrent dans la région de Saint-Julien associées à la faille d'Aubenas, leur longueur ne dépasse pas 500 m. On observe leur disparition progressive dès que l'on atteint vers le SE les termes du Lias :

au niveau du Bajocien leur rejet est négligeable et elles ne sont plus visibles au Jurassique. Selon Desoignes et Leduc (1960) il s'agit de failles subverticales.

- Région de Saint-Etienne-de-Boulogne

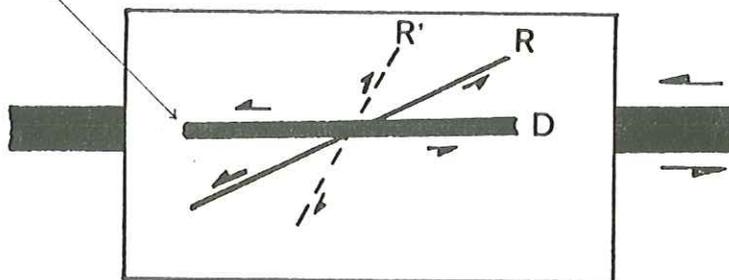
Le schéma tectonique (planche 4-2) indique dans cette région la présence de deux accidents dextres orientés N 135-N 140 ; nous avons vu que ces deux Riedels R' décrochent la faille de Vesseaux-l'Escrinet. Ils affectent aussi bien le socle que la couverture secondaire et ils apparaissent nettement plus développés que ceux de la région de Saint-Julien. Ce sont des fractures réactivées à plusieurs reprises :

Faille d'Aubenas R 6



Au Sud R est le siège de glissements importants les R' apparaissent

Faille de Vesèaux



Au Nord les R' n'apparaissent pas

Fig 4-4 Deux types de rupture de couverture sur un mouvement décrochant sénestre du socle d'après Fabre et Robert 1976.

l'accident situé plus au Sud, long de 1,5 kilomètres s'amortit dès le Lias supérieur, alors que le second, long de 2,5 kilomètres, décroche encore nettement les termes du Jurassique inférieur.

4-2-(3) -

RESUME DU STYLE TECTONIQUE DE LA COUVERTURE

Nous avons mis en évidence deux types de rupture de couverture sur un mouvement décrochant du socle. (figure 4-4)

Nous remarquons que l'association des failles de Vesseaux D_4 et d'Aubenas R_6 dessine des amygdales. Il s'agit de structures caractéristiques des zones de cisaillement (Robert et Vialon 1976). La couverture sédimentaire reposant sur la zone de décrochement est découpée en blocs losangiques D + R kilométriques.

Dans l'évolution du glissement, ceux-ci ont subi un aplatissement et un étirement, du fait que les deux discontinuités se mettent dans le prolongement l'une de l'autre, donnant l'apparence d'une seule faille courbe.

L'étude de la fracturation de la couverture secondaire située en dehors de notre secteur, met clairement en évidence des failles majeures N 35-N 55 et des Riedels N 20 associés au décrochement de Vals les Bains. Nous allons tenter de retrouver ces mêmes accidents dans le socle situé à l'Ouest de Vals les Bains.

4-3 -

DEFORMATIONS ET DISLOCATIONS DANS LE SOCLE

C'est dans le socle qu'émergent toutes les sources minérales. La tectonique du socle mérite donc une étude approfondie que nous présenterons dans le chapitre suivant.

Dans ce chapitre nous allons simplement présenter les grands traits structuraux de la région, et nous envisagerons l'histoire géologique de l'accident de Vals les Bains.

Le décrochement de Vals affecte à l'emporte-pièce les formations cristallophyliennes et migmatitiques, les terrains du Houiller, ainsi que les anciennes structures tectoniques.

Associées à ce grand accident, apparaissent des formes structurales différentes, au Nord et au Sud, du fait de l'hétérogénéité du milieu.

- Au Sud apparaissent une flexuration et un plissement important d'axe subvertical, dans les terrains métamorphiques plus souples, de la ceinture cévénole.

- Au Nord de Vals les Bains s'observent des ruptures dans un matériel granitique cassant :

faille de Vals (D_1), faille de Labégude (R_5),
faille d'Aizac (P_1).

4-3-(1) -

LA TORSION SIGMOIDALE

Considérée comme une dislocation continue, cette torsion ou "flexure" (Weisbrod 1967) a pris naissance dès le début du décrochement. Elle est très bien marquée sur la feuille géologique au 1/50 000 établie par Weisbrod (planche (4-2)).

- Elle affecte à deux kilomètres à l'Ouest de Vals les Bains, la terminaison périclinale de la synforme du Lignon, lui faisant subir une rotation importante. Originellement dirigé Est-Ouest, l'axe de cette synforme a été réorienté N 60° à Lalevade.

- Il en est de même des sédiments houillers de Prades installés dans ce synclinal.

- La faille Nord du Lignon, orientée Est-Ouest à la Souche (15 kilomètres au Sud Ouest de Vals), a subi elle aussi, les effets de la flexuration. Elle se présente dans le secteur de Vals les Bains, tordue et réorientée N 40. En cet endroit, elle est très étirée et se combine à la faille de Vals (D₁).

La faille Nord du Lignon est considérée comme une ancienne cicatrice de socle, soulignée par de puissantes mylonites. Elle est antéstéphanienne, puisqu'à la Souche ses mylonites sont recouvertes par le Stéphanien transgressif.

Au niveau de Vals les Bains, ces mylonites très étirées dessinent une torsion importante. En se déplaçant le long de la flexure on remarque des secteurs où elle est déjà accidentée d'une rupture (faille de Vals D₁ et ses satellites).

Cette ancienne cicatrice réorientée N 40 a dû servir ici au décrochement général sénestre. Plus au Nord, le mouvement s'amplifiant, les ruptures remplacent nettement les dislocations continues.

4-3-(2) -

FRACTURATION AU NORD DE VALS LES BAINS

C'est ainsi que la faille de la Volane R₁, prend le relais de la flexure de Vals. Orientée N 22 la faille de la Volane peut correspondre à un Riedel de type R.

Elle décale nettement des unités géologiques, tel le granite tardimigmatitique d'Asperjoc. Les secteurs ainsi déplacés permettent de confirmer son décrochement sénestre et dévaluer son rejet apparent, à 1 kilomètre.

Cette faille semble suffisamment développée pour constituer localement une zone de décrochement de deuxième ordre, auxquels sont associées des failles satellites R' de deuxième ordre et des failles de type T.

La faille de Labégude R₅ orientée Nord 20° parallèle à la faille de la Volane est également un Riedel de type R bien développé à Vals les Bains.

Les failles d'Aizac P₂ (N 70) et du Penchinier P₁ (N 70) peuvent correspondre à des discontinuités de type P sénestres.

Elles sont bien développées dans le socle et elles ont dû prendre naissance sous des contraintes très élevées, contribuant au déplacement général du bloc oriental vers le NE.

La faille du Lignon se retrouve dans ce secteur, franchement décalée par la faille de la Volane (R₁) et présente une orientation nouvelle N 70 dans le compartiment oriental, parallèle à la faille du Penchinier.

Elle a dû rejouer comme cette dernière en décrochement sénestre de type P.

D'autres discontinuités élémentaires ont pris naissance dans le socle; elles seront étudiées en détail dans le chapitre suivant,

Mais retenons dès à présent que le modèle théorique sur la distribution géométrique des Riedels semble se vérifier aussi bien dans la couverture sédimentaire que dans le socle.

Nous venons de présenter les grandes structures tectoniques de la région de Vals à une échelle plurikilométrique. Pour terminer cette présentation générale nous allons tenter de reconstituer l'histoire géologique régionale du décrochement de Vals les Bains.

4-3-(3) -

AMPLEUR DU MOUVEMENT ET AGE DU DECRO-
CHEMENT

C'est dans le socle que sont visibles les plus anciens mouvements liés au décrochement de Vals les Bains. Ils ont permis l'élaboration d'un vaste flexure au Sud Ouest de Vals les Bains, qui peu à peu par étirement a évolué en accident cassant au Nord Est.

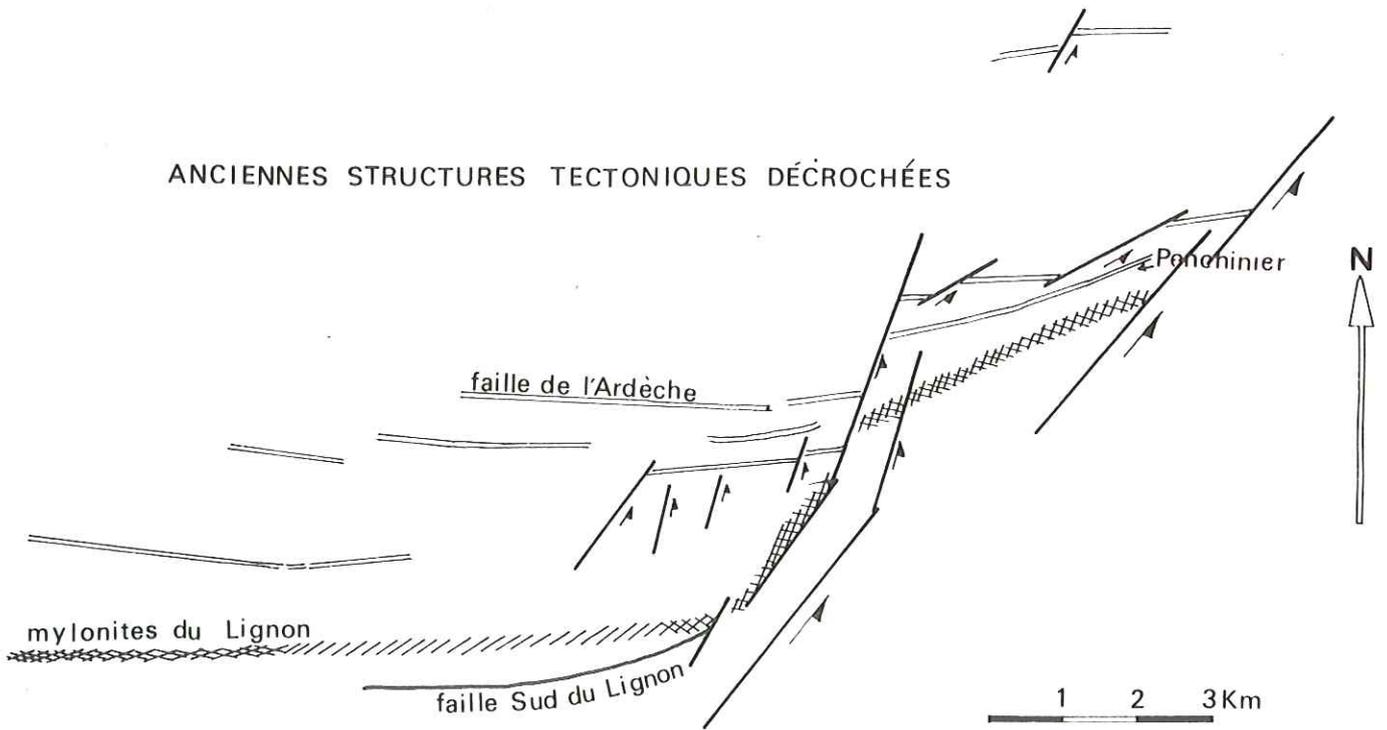
Ces deux formes structurales sont concomittentes et se complètent mutuellement. La flexure associée aux ruptures indique une extension considérable du décrochement.

a) Ampleur du mouvement :

Il faut sortir de notre région pour évaluer l'amplitude du mouvement (planche 4-5).

On trouve à l'Est de Vals les Bains des lambeaux du massif granitique de Rocles qui se rattachent, dans le compartiment Ouest, au laccolite de Rocles. Installé au sein des schistes des Cévennes, 20 kilomètres plus au Sud Ouest, ce laccolite aurait été tordu et décroché sur des dizaines de kilomètres.

Le décrochement est donc considérable, puisque dans le compartiment oriental, il affleure dans la vallée du Sandron. De Rocles jusqu'à Vals les Bains, ce granite se suit en chapelets, comme le témoignent quelques affleurements isolés, émergeant de la couverture Secondaire (Vallée de la Landre, environs d'Ailhons, NE de Mercuer).



ENTRAINEMENT ET DECROCHEMENT DES UNITES GEOLOGIQUES

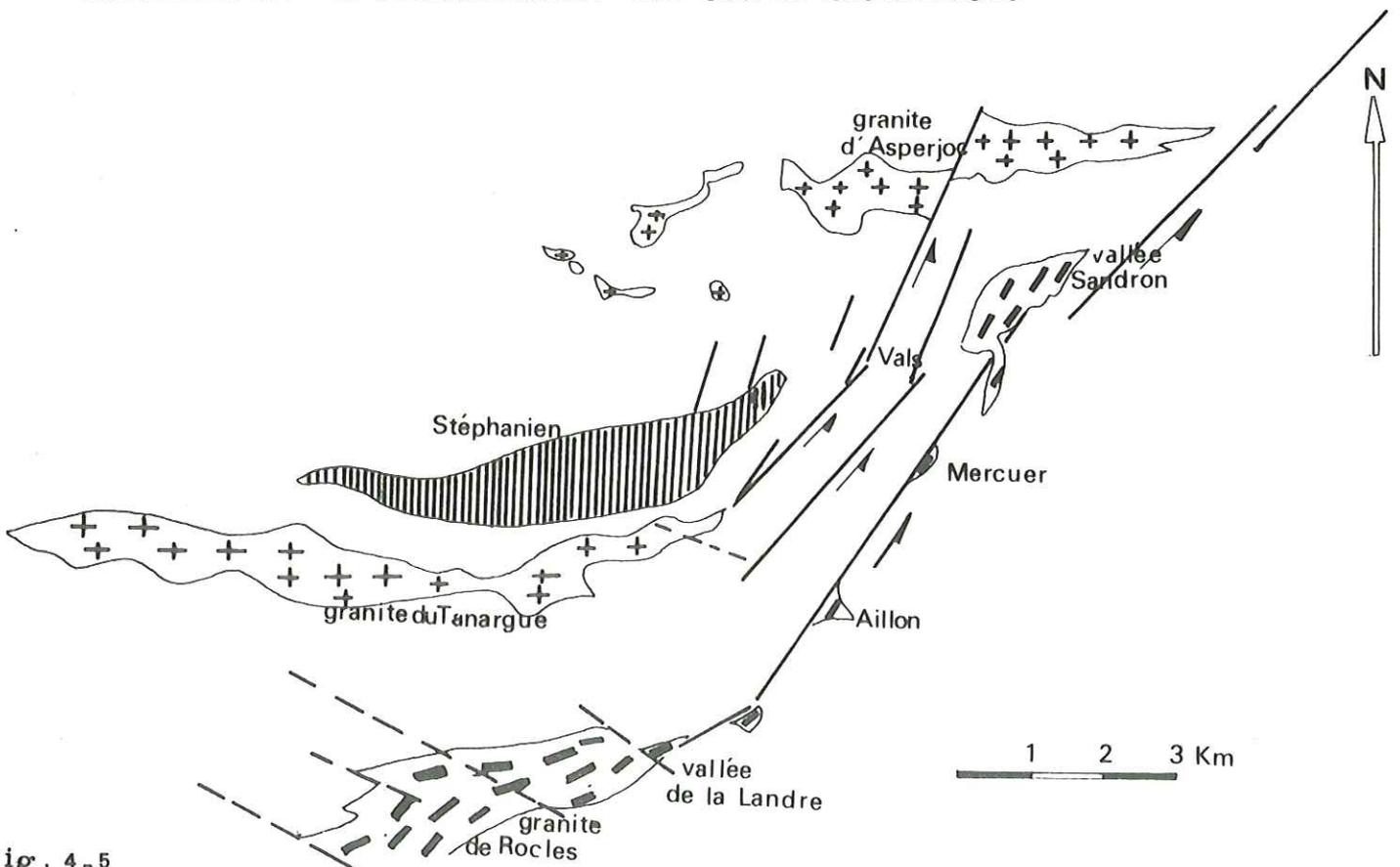


fig. 4.5

A Vals les Bains, il est interrompu par une série de failles parallèles orientées N 70. (Faille du Penchinier P₁, mylonites), mais il se poursuit vers le NE puisqu'on le retrouve encore en dehors de la carte dans la boutonnière de Mezayon, au NW de Privas, au sein de la couverture sédimentaire.

On peut donc suivre ce granite déplacé sur plus de trente kilomètres.

b) Age du décrochement (planche 4-5)

Le décrochement a dû jouer surtout après les dépôts stéphanien, puisque ceux-ci ont été entraînés par le déplacement général et réorientés.

Selon Weisbrod (1967) le granite de Rocles se range dans la catégorie des granites dits syncinématiques. Ce granite a été flexuré et décroché avant les dépôts du Permien, qui le recouvrent au niveau de Largentière.

La couverture sédimentaire, beaucoup moins désorganisée que le socle sous-jacent, a dû se mettre en place sur une zone de décrochement déjà bien évoluée.

Le décrochement s'est poursuivi durant tout le Secondaire puisqu'il constitue une véritable limite paléogéographique valable à chaque époque géologique.

Il a également affecté les formations du Miocène et du Pontien au niveau du Signal du Charray vers Saint-Etienne-de-Boulogne.

c) Largeur de la zone affectée par le décrochement de Vals les Bains.

Cette zone semble s'étendre largement vers l'Ouest de Vals les Bains, comme en témoignent les anciennes structures tectoniques entraînées par le décrochement.

Il faut s'éloigner de 10 kilomètres à l'Ouest de Vals les Bains pour retrouver, aux environs de la Souche, la mylonite du Lignon avec son orientation Est-Ouest d'origine.

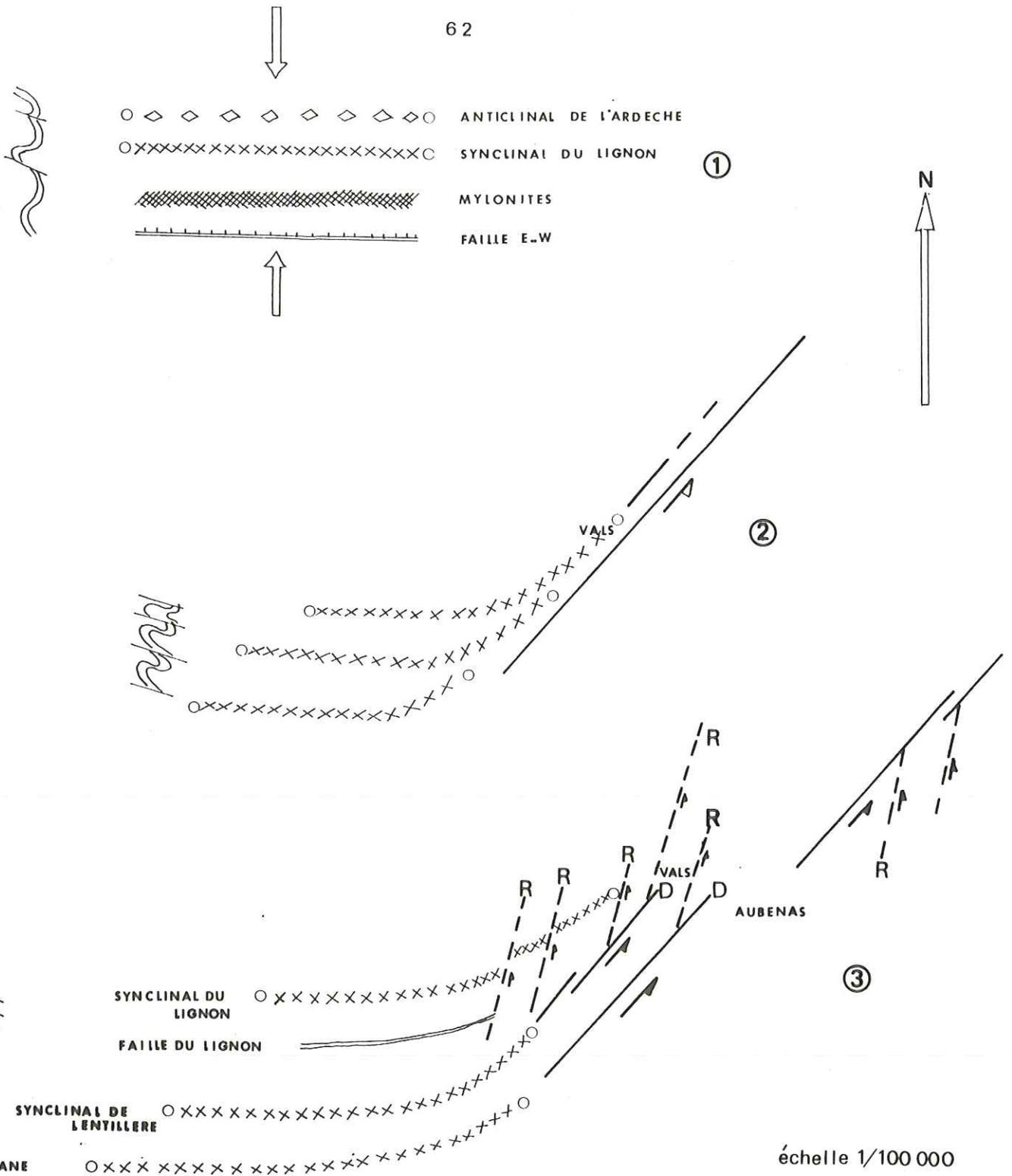
4-3-(4) -

RECONSTITUTION GRAPHIQUE DU RESEAU DE FRACTURES AU COURS DU DECROCHEMENT.

En conclusion nous avons tenté une reconstitution graphique du réseau de fractures au cours du décrochement. (Figure 4-6)

(1) A l'origine les structures tectoniques anciennes sont orientées Est-Ouest :

- Au Sud, nous avons, dans un matériel métamorphique, une succession Est-Ouest d'anticlinoriums séparés par des synclinaux principaux : (anticlinal de l'Ardèche, synclinal du Lignon)



Reconstitution graphique du réseau de fractures au cours du décrochement

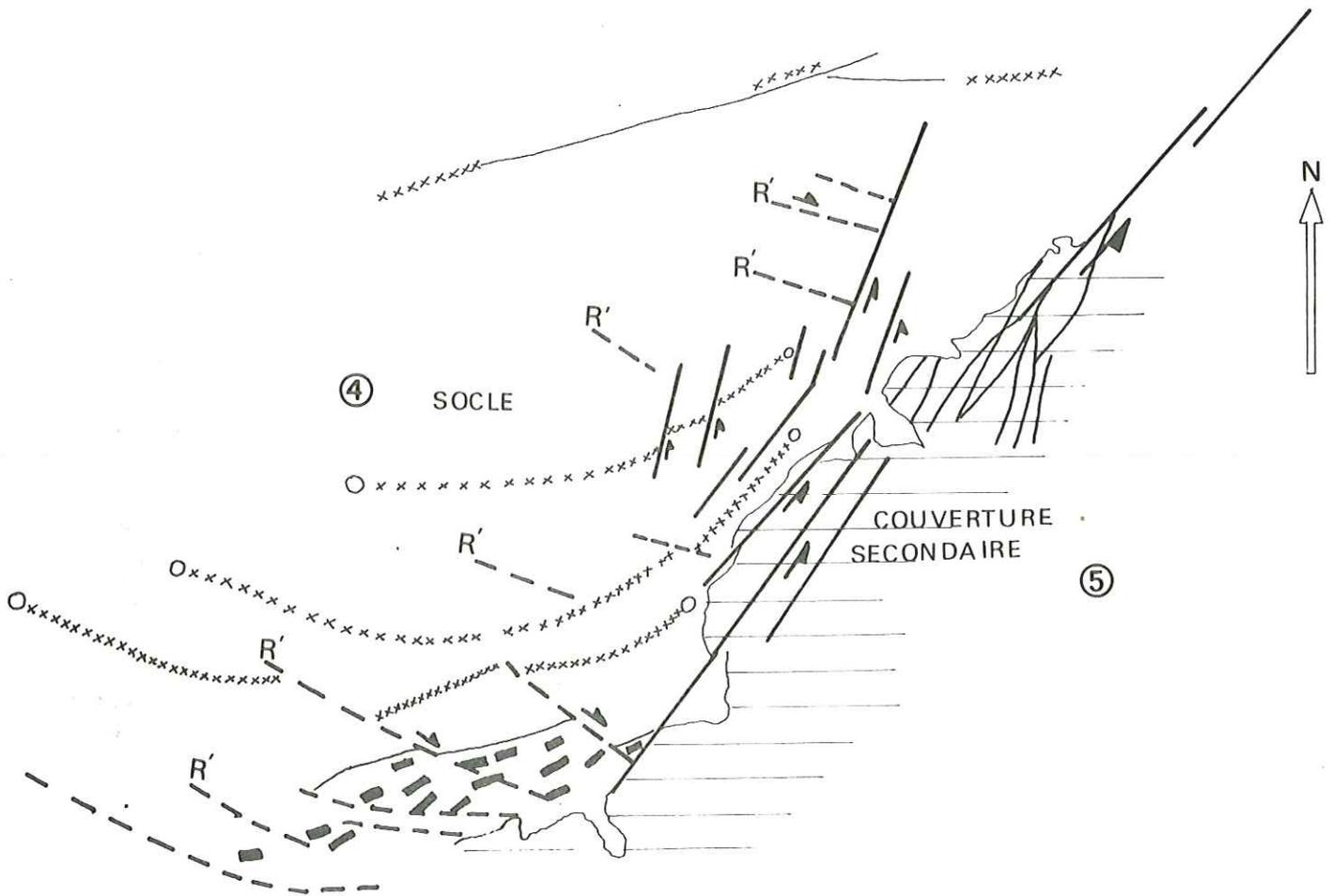


fig. 4-6

- Au Nord, la migmatisation a en partie effacé ces plis ; toutefois on retrouve l'équivalent des synclinaux sous forme de lambeaux schisteux subverticaux pincés dans le granite et qui constituent des zones de faiblesse.

En réagissant aux sollicitations tectoniques, ces lambeaux vont favoriser l'apparition d'accidents cassants (la faille d'Aizac est un très bel exemple). (planche 4-6 N° 4)

2 - Le début de décrochement, se manifeste d'abord par une flexuration et un serrage des plis, puis par l'apparition d'accidents cassants, le long des flancs des plis Est-Ouest, qui permettent des coulissements dextres (failles N du Lignon).

3 - Le décrochement se poursuivant, il y a apparition de Riedels R, qui se mettent en échelons dans la zone de cisaillement. Ces Riedels décrochent :

les plis Est-Ouest, failles et mylonites anciennes et corps géologiques.

Sous l'effet du décrochement général, la faille Nord du Lignon, devient une faille chevauchante sur le Houiller.

4 - Accentuation du décrochement, flexuration démesurée et ruptures :

apparition de Riedels R' qui contribuent à un effet de blocage.

L'angle que font ces Riedels avec la direction du décrochement principal D, va tendre à augmenter par rotation induite, et ces fractures orientées N 130-N 150 vont s'ouvrir dans les stades ultimes du décrochement. (Nous verrons qu'au Tertiaire ces fractures ont permis les éruptions volcaniques du Velay).

5 - Enfin, mise en place de la couverture Secondaire : le décrochement se poursuivant, on observe des structures d'amygdales dans les terrains triasiques peu épais.

En résumé : le réseau complexe des dislocations s'est donc échaffaudé par le jeu successif de deux phases de déformations ; ainsi nous avons tenté de distinguer sur la carte (planche 4-2) les fractures liées au grand décrochement de Vals les Bains (D, R, R', T et P), des fractures plus anciennes associées aux plis d'axe Est-Ouest qui ont été dérangées et réorientées par l'accident de Vals les Bains. (Diagramme n° 4-7).

4-3-(5) -

ETUDE DU SYSTEME FILONIEN.

La carte du système filonien établie à partir des travaux de Yasdi (1957) indique les directions des plus importants filons de la région. (planche 4-8).

accident de Vals les Bains

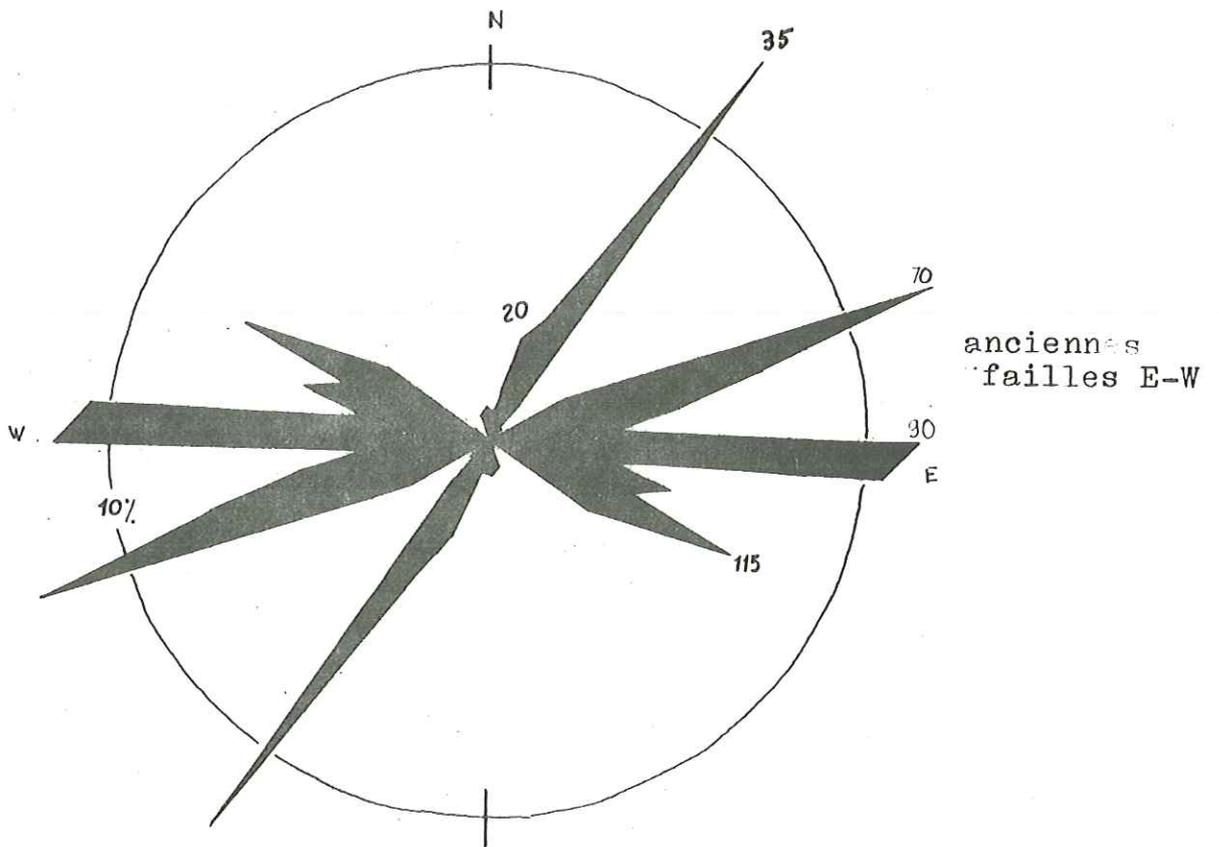
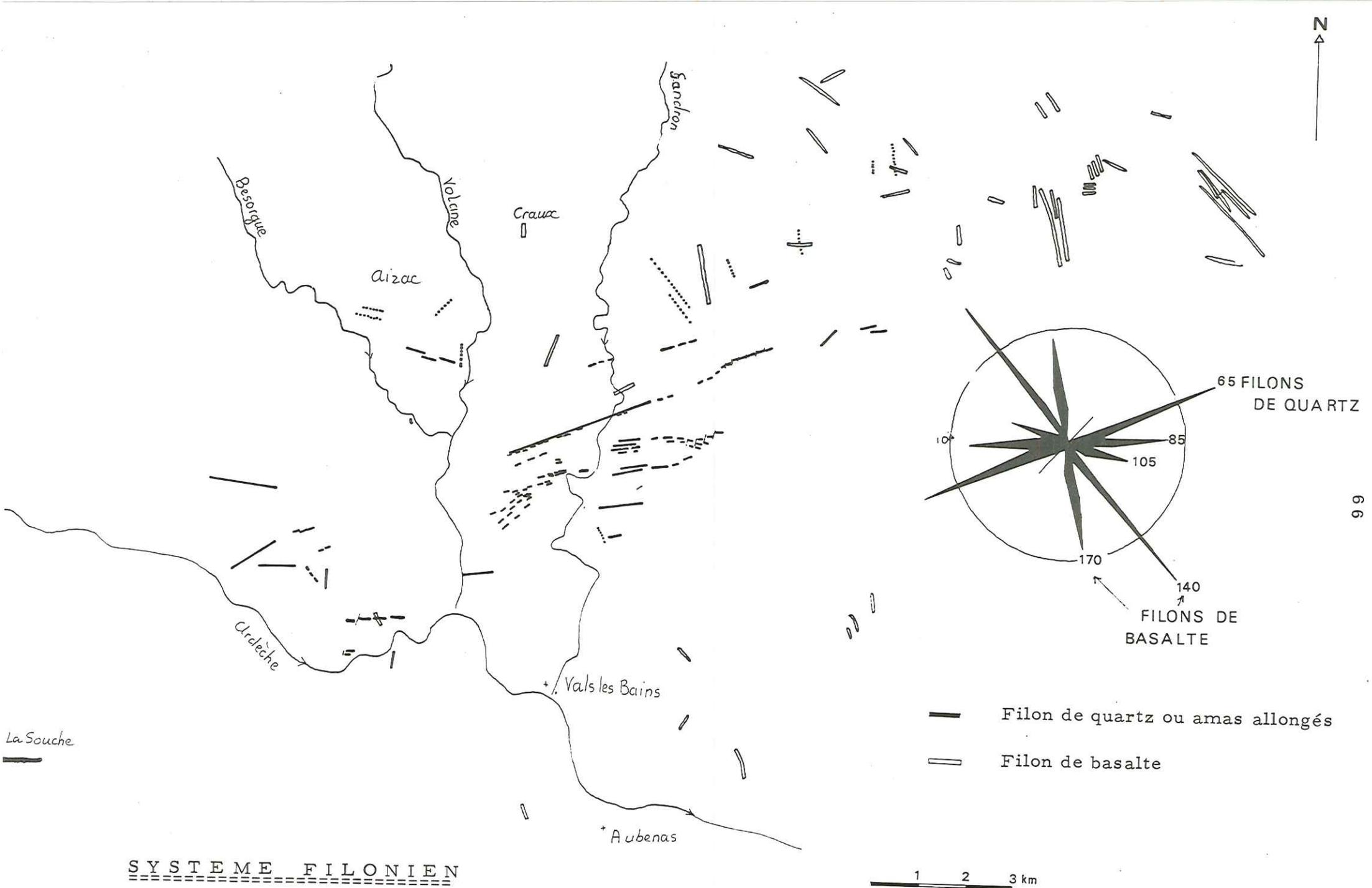


DIAGRAMME D'ORIENTATION DES FRACTURES
% en longueurs cumulées

FIG. 4 - 7



SYSTEME FILONIEN

FIG. 4-8

On distingue deux systèmes qui soulignent :

- des fractures anciennes originellement orientées Est-Ouest,
- des fissures d'extension de type T et R' du système de Riedel, dans la zone du décrochement de Vals les Bains.

a) Les filons de quartz E-W.

Les filons de quartz soulignent les cicatrices anciennes du socle qui suivent les grandes lignes structurales des formations métamorphiques .

- A l'Est de Vals les Bains, ils se présentent décrochés par l'accident principal ; et sont réorientés N 105-N 65°).
- 10 kilomètres plus à l'Ouest, aux environs de la Souche, leur direction E-W est presque toujours concordante avec les directions des anciennes structures tectoniques.

A la Souche, le plus grand ensemble filonien jalonne la faille mylonitisée du Lignon. Nous pouvons observer, à quelques centaines de mètres de la zone mylonitisée, des filons de quartz épais de 50 mètres qui se suivent sur des dizaines de mètres.

Dans la mylonite même, le quartz existe en filons de petite importance ou filonnets et en masses discontinues.

b) - Les filons de basalte.

Ces filons de basalte se sont mis en place au Tertiaire et au Quaternaire ; ils accompagnent les éruptions volcaniques rencontrées dans la région.

Les filons de basaltes s'orientent suivant deux directions principales :

- une direction N 170-NS qui confirme l'existence de fissures d'extension de type T ayant pris naissance dans la zone du décrochement de Vals les Bains. (Nous avons trouvé dans le secteur d'Entraygues un filon de basalte épais de 5 mètres, long de 15 mètres orientés NS et situé à 200 mètres au Sud du neck de Crau.

Sur le flanc Nord de ce volcan existe une source minérale (Sce Revescut) qui semble être liée à cette fracture d'extension.

- Il existe une autre famille de filons de basalte orientée N 150-N 155 . Ces filons mettent en évidence des fissures d'extension qui pourraient correspondre à des Riedels R'. Nous avons vu que ces Riedels peuvent jouer en extension ; ils apparaissent sous l'effet de l'accentuation du décrochement de Vals les Bains.

Ces fissures ont été reconnues en photoaérienne et sur le terrain. Elles correspondent d'autre part à la direction N 150 de l'alignement des volcans quaternaire du Vivarais.

Ces deux directions d'extension sont particulièrement intéressantes pour la recherche des voies de cheminement des eaux minérales; aussi elles seront l'objet d'une étude détaillée dans le chapitre suivant.

CHAPITRE VETUDE DETAILLEE DE LA FRACTURATION DANS
LE BASSIN VERSANT DE LA HAUTE ARDECHE.

- 5-1 - INTRODUCTION
- 5-2 - ZONE NORD
- 5-2(1) Vallées de la Besorgue et de la Volane.
- 5-2-(2) Secteurs d'Aizac et d'Entraygues.
- 5-3 - ZONE DE VALS LES BAINS
- 5-4 - ZONE SUD
- 5-4(1) Prades.
- 5-4(2) Jaujac.
- 5-5 - ZONE OUEST
- 5-6 - CONCLUSION

ETUDE DETAILLEE DE LA FRACTURATION DANS
LE BASSIN VERSANT DE LA HAUTE ARDECHE.

5-1 -

I N T R O D U C T I O N

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté la fracturation de la région de Vals les Bains à une échelle plurikilométrique. Maintenant, il convient d'étudier en détail les failles présentes dans le bassin versant, notamment celles susceptibles de faciliter les émergences d'eaux thermominérales.★)

Plusieurs méthodes de travail vont être utilisées : l'analyse cartographique, l'exploration photogéologique, les mesures statistiques de diaclases auxquelles s'ajoutent bien entendu, les observations de terrain.

Nous allons successivement étudier :

1° la zone Nord qui comprend les vallées de la Volane, de la Besorgue, les secteurs d'Aizac et d'Entraygues.

2° La zone de Vals les Bains qui se limite à l'étroit périmètre de la commune de Vals.

3° La zone Sud de Prades, Jaujac.

Ces trois zones présentent une fracturation essentiellement commandée par le grand accident de Vals les Bains.

4° La zone Ouest, qui comprend les vallées de l'Ardecche et de la Fontolière, et où prédominent les accidents Est-Ouest antéséphaniens.

★). En effet, une source minérale est une manifestation géologique ; son existence répond à certains critères structuraux liés aux conditions locales et régionales.

Une eau minérale a suivi généralement un trajet en profondeur. Dans son trajet ascendant elle emprunte un drain provoqué par une manifestation structurale : une faille, un filon de quartz, un dyke ect... Nous essayerons ainsi de définir, les facteurs structuraux responsables des émergences d'eaux minérales, ou métallotectes(Routhier).

5-2-

Z O N E N O R D

Cette zone est particulièrement intéressante à étudier, parcequ'elle regroupe de nombreuses sources thermominérales, de la vallée de la Besorgue, de la vallée de la Volane, d'Aizac et d'Entraygues.

DECROCHEMENT SENESTRE
DE LA FAILLE DE LA VOLANE

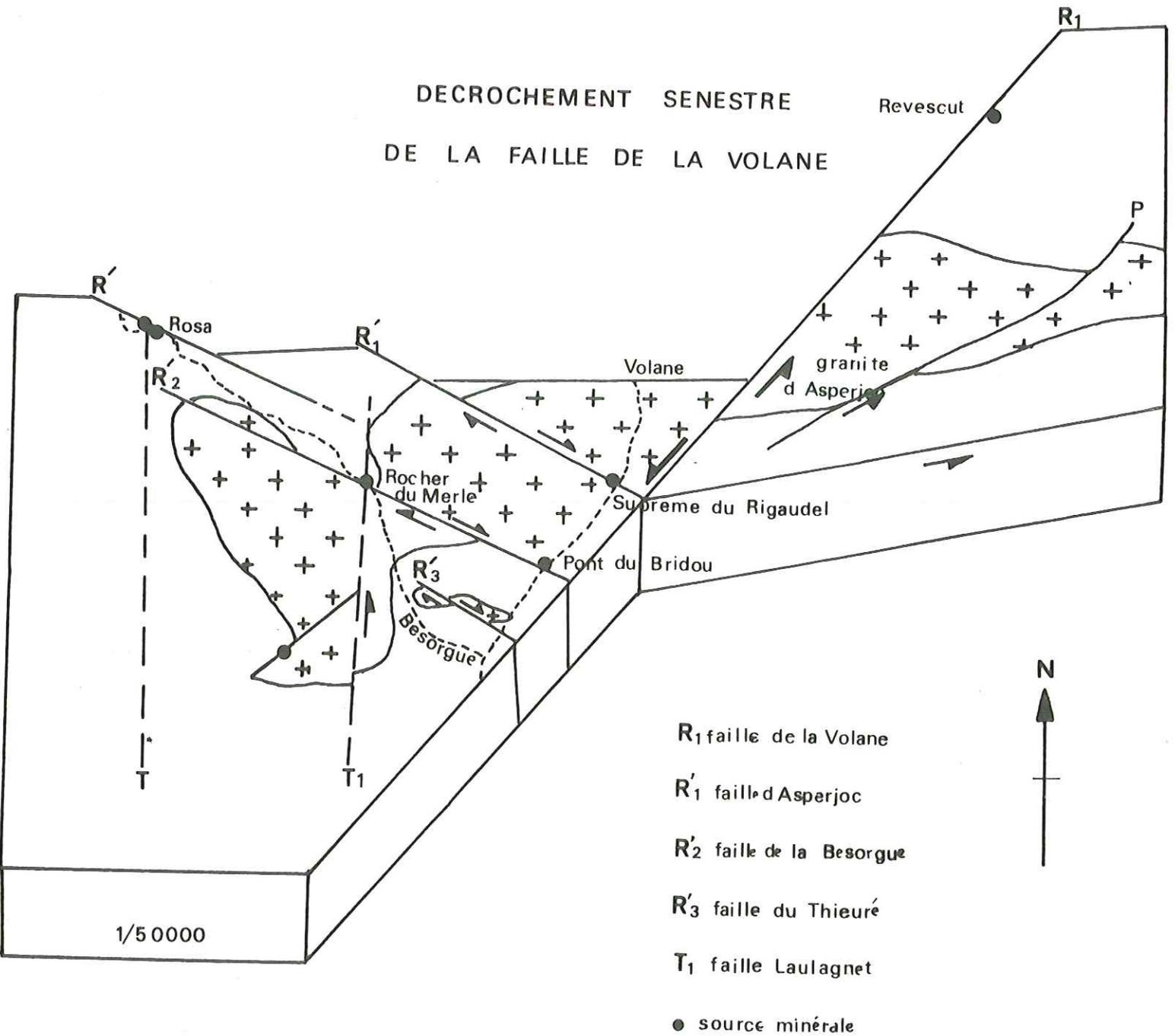


fig. 5-1

5-2-(1) - Vallées de la Besorgue et de la Volane (figure 5-1)

a) Analyse cartographique.

- La faille de la Volane (R_1) a été reconnue comme l'une des plus importantes du secteur. Son rôle et les déplacements qu'elle crée, sont compatibles avec les mouvements sénestres décrochants. Orientée N22, elle peut correspondre à un Riedel de type R. Cette faille participe, avec celle de Labégude (R_5), qui lui est parallèle, à un couloir de décrochement (voir la zone de Vals les Bains). Au Nord, ces deux Riedels semblent avoir pris de l'importance au cours de l'évolution. Ils nous apparaissent dans le détail comme des zones de décrochement, où s'engagent des discontinuités élémentaires de troisième ordre réparties suivant le même dispositif de base

Les données cartographiques font apparaître trois failles satellites : les failles d'Asperjoc, de la Besorgue et du Thieuré orientées N110 - N140 de type R' et une fracture d'extension de type T (N70); la faille de Laulagnet d'allure sigmoïdale (planches c et d).

Les failles satellites R' dextres

- La faille de Thieuré (R'_3) : cette faille décrochante dextre décale nettement sur 100 mètres, le petit massif de granite porphyroïde, satellite du Massif d'Asperjoc et, situé 500 mètres au Sud du Pont du Bridou. Elle est orientée N140 (figure d).

-- La faille de la Besorgue (R'_2) : cette faille affecte le massif de granite porphyroïde d'Asperjoc, dont les contours semblent dessiner un décalage vers l'Est du compartiment Nord sur 1 kilomètre (figure 5-1). De nombreuses sources minérales jalonnent cette faille : source du Chayne, source Rosa, source du Pré du Moulin (ou Rocher du Merle) dans la vallée de la Besorgue et la source du Pont du Bridou dans la vallée de la Volane.

- La faille d'Asperjoc (R'_1) : parallèle à la précédente, elle affecte aussi le Massif d'Asperjoc. Dans la vallée de la Volane, elle donne naissance à de nombreuses émergences d'eaux minérales, notamment la Suprême du Rigaudel qui est actuellement exploitée. (figure 5-1 et figure d).

Les failles du type T

- La faille de l'Aulagnet (T_1) : orientée N-S, elle peut correspondre à une faille d'extension de deuxième ordre d'allure sigmoïdale, ou bien à un Riedel de troisième ordre, car elle présente un petit rejet sénestre. On aurait ici, localement superposition de deux fractures de différents ordres et de même orientation. Notons que la source du Rocher du Merle, se situe juste à l'intersection de cette faille avec celle de la Besorgue. Cette source se distingue des autres, par ses propriétés physicochimiques. Nous verrons, dans le chapitre suivant, qu'il s'agit d'une émergence principale.

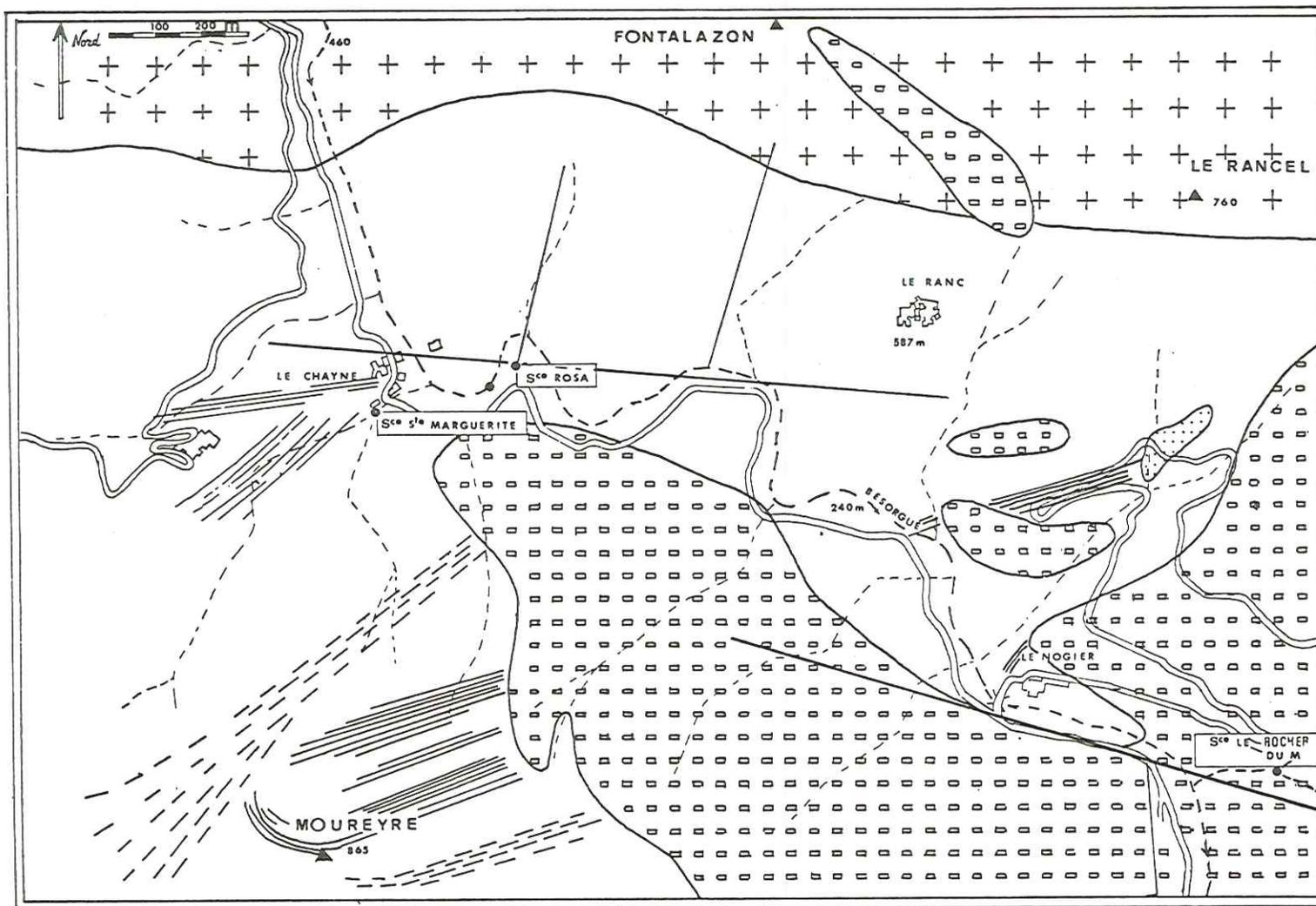
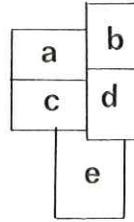


PLANCHE c

VALLEE DE LA BESORGUE

SCHÉMA D'ASSEMBLAGE
DES PLANCHES



LEGENDE



COULEE DE LAVE



CONE DE SCORIES



PROJECTIONS SCORIAEES



GRANITE TARDIMIGMATIQUE

FACIES PORPHYROIDE

FACIES A GRAIN FIN



GRANITE MIGMATITIQUE



AGMATITES NEBULITES & cordierite



RESTITES

GNEISS OEILLES

MICASCHISTES et GNEISS
& biotite-sillimanite

LEPTYNITES



SOURCE MINERALE



EMPLACEMENT DE SOURCE MINERALE
DISPARUE



F AILLE



MYLONITES

GRUPE NORD

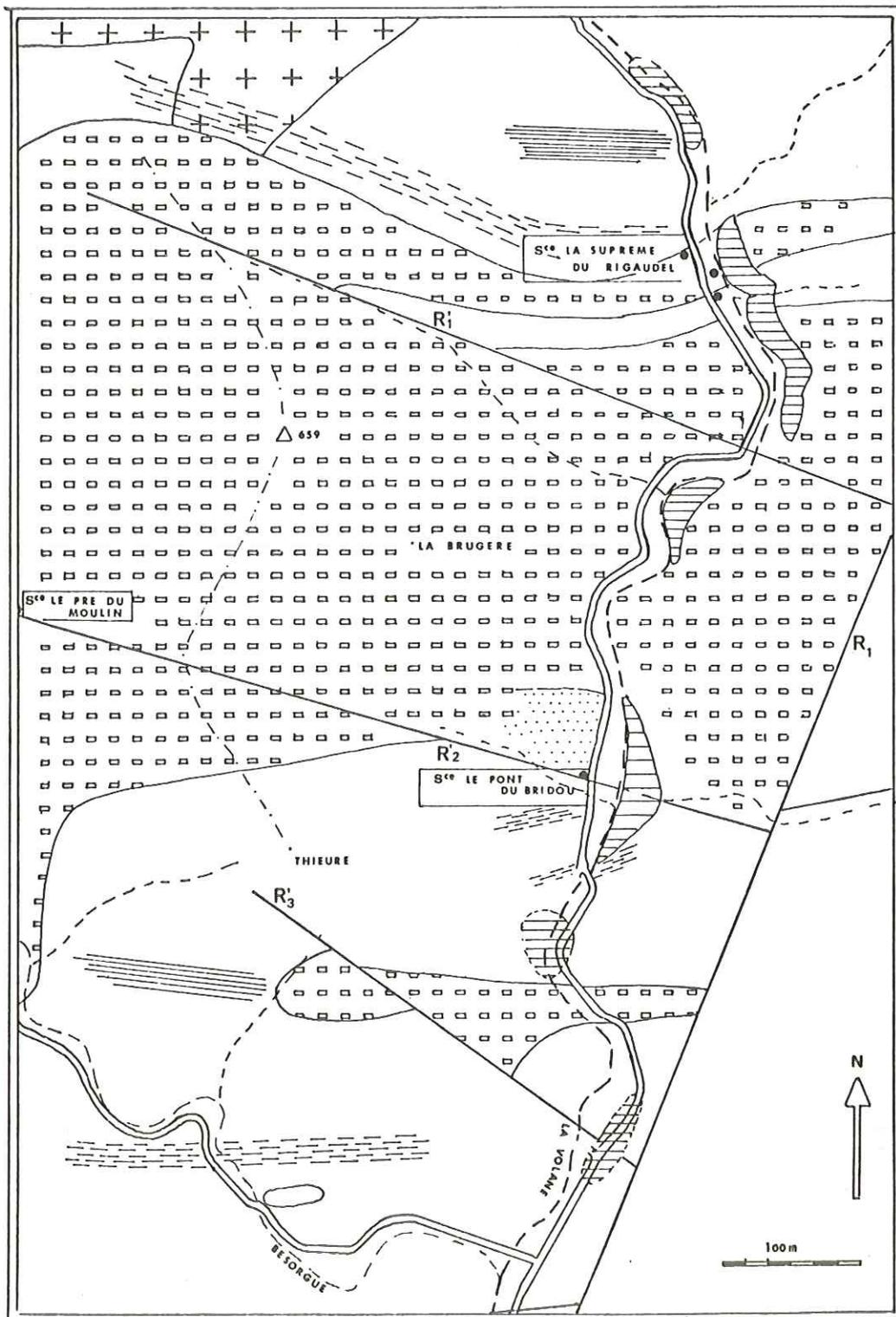


PLANCHE d VALLEE DE LA VOLANE

b) Les mesures statistiques de diaclases et la carte photogéologique font apparaître d'autres fracturations habituellement associées à cette zone de décrochement (figure 5-2). Les mesures statistiques de diaclases faites en des stations régulièrement espacées, sont présentées sous forme de diagrammes d'orientation de diaclases.

Les diagrammes B, C, D, confirment l'existence des failles d'Asperjoc et de la Besorgue, indiquées sur la carte géologique. Ils font de plus apparaître deux familles de fentes d'extension :

- des fentes de deuxième ordre N170 à NS bien développées : le diagramme D, met en évidence une fissure N170 qui a également été remarquée en photoaérienne. La source Rosa, se situe juste à l'intersection de cette fissure avec la faille de la Besorgue (N120)

- des fentes de troisième ordre orientées N150 ; elles sont très abondantes dans la région et, sont pratiquement présentes dans tous les diagrammes.

- Les autres directions indiquées sont de moindre importance. A noter, que les fractures (N20) correspondant à la direction de la faille de la Volane (R₁) ou, de celle de Labégude (R₅) sont mal représentées dans les diagrammes : probablement parce que ces failles, qui présentent une grande extension, sont peu nombreuses, et que l'emplacement des stations de mesure a été mal choisi. Les deux Riedels R₁ et R₅, sont par contre reconnus en photoaérienne.

c) Les observations de terrain (figure 5-3)

L'orientation des décrochements observés vérifie pour l'essentiel, le modèle adopté de la répartition du système de Riedel :

les cisaillements se présentent comme des fissures fermées qui peuvent couper et décaler des corps géologiques.

Les fissures d'extension se présentent, comme des fissures ouvertes remplies de matières étrangères. Leur direction indiquent deux familles : N150, et NS. D'après les mesures statistiques de diaclases ces fissures d'extension ont des fréquences élevées.

LEGENDE DE LA FIGURE 5-3

- A) - Vallée de la Besorgue : vue en coupe d'un filon d'aplite intercalé dans des plans de schistosité et recoupé par des cisaillements sénestres (N 40°).
- B) - Chamblas près de Vals les Bains :
cisaillement sénestre décalant un filon granitique.
- C) - Vallée de la Volane (le Pont de l'Ocre)
filon basique faillé par un cisaillement dextre.
- D) - Fissures d'extension à Aizac sans rejet apparent.
- E-F) - Fissures d'extension minéralisées en quartz
avec des rides favorisant les circulations des eaux. -

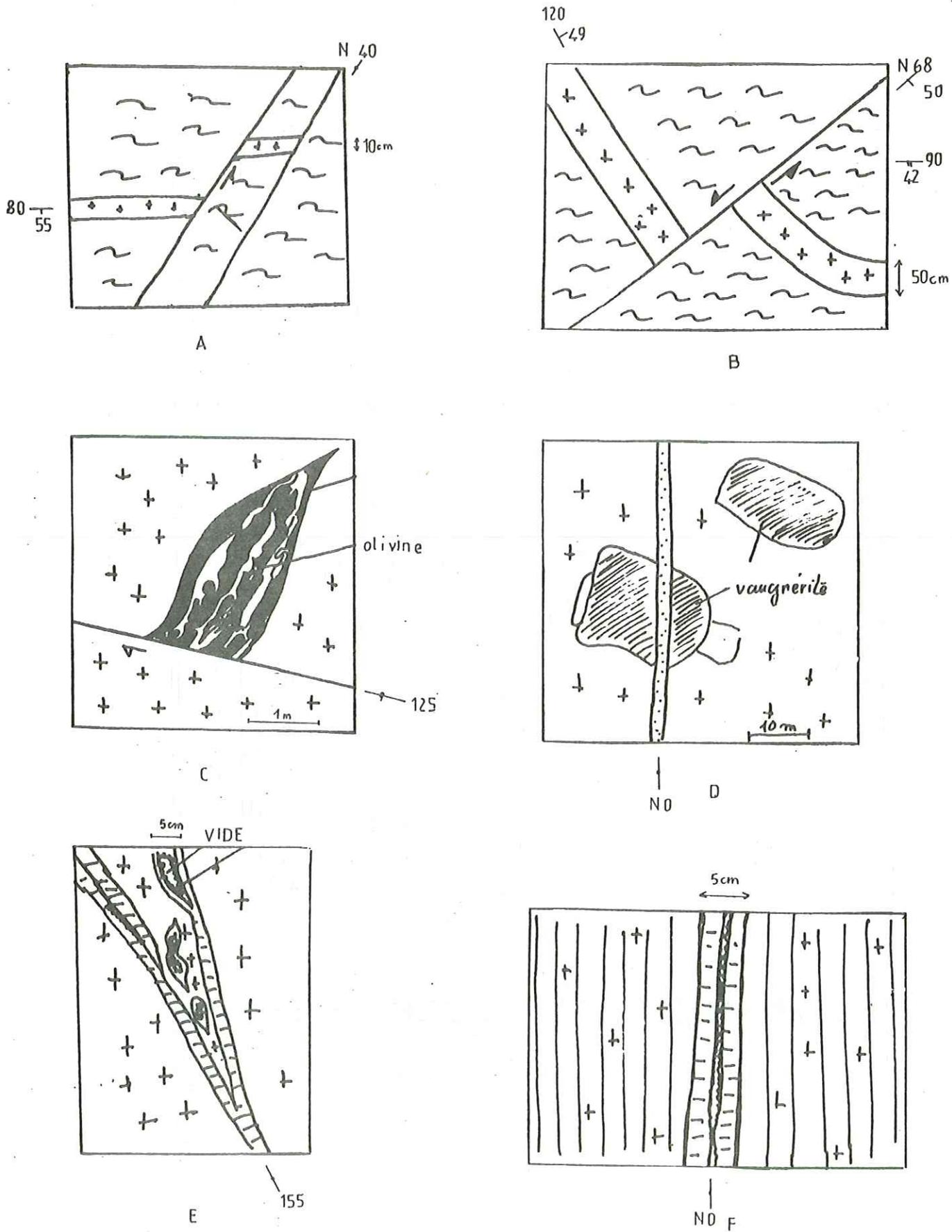
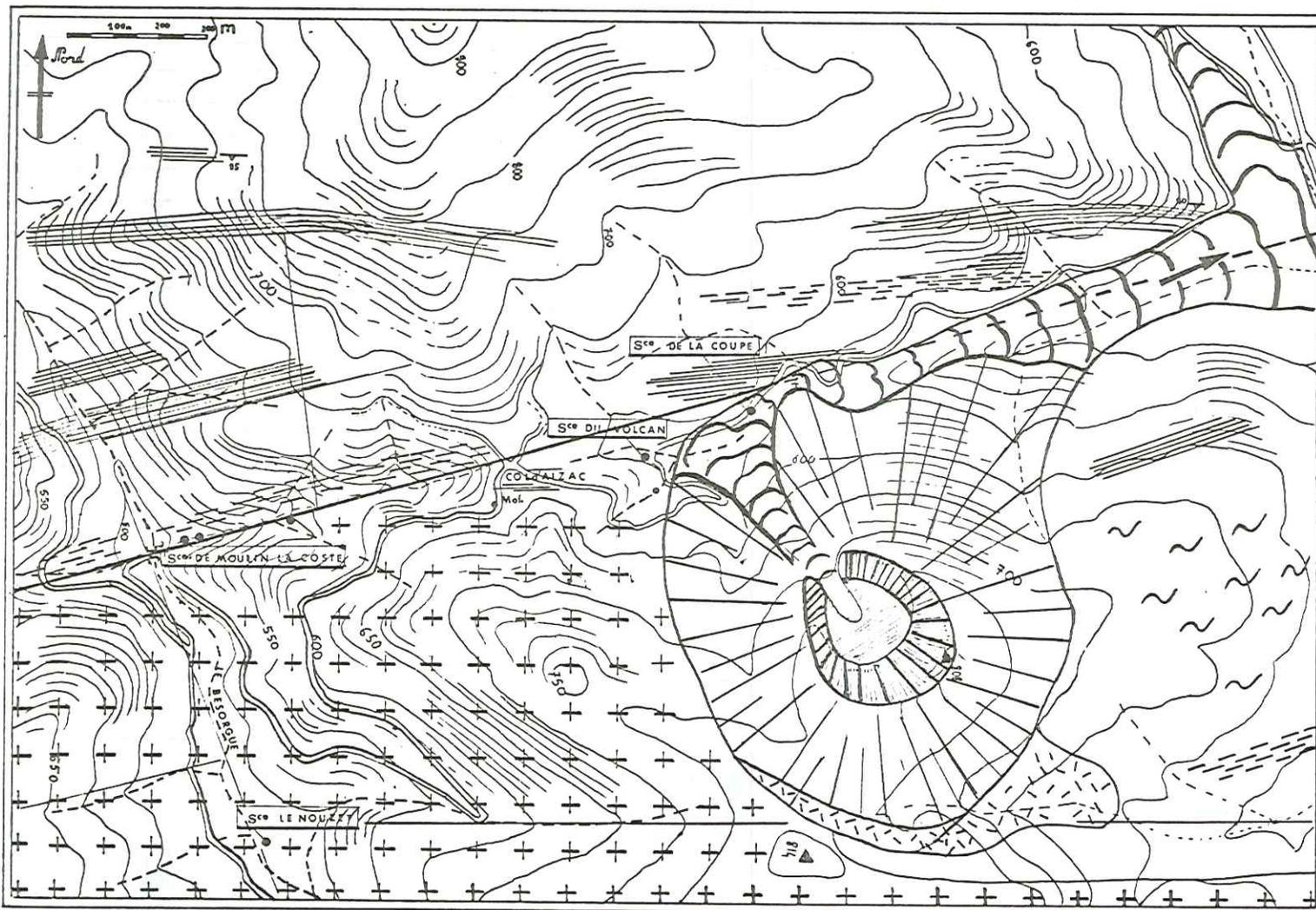


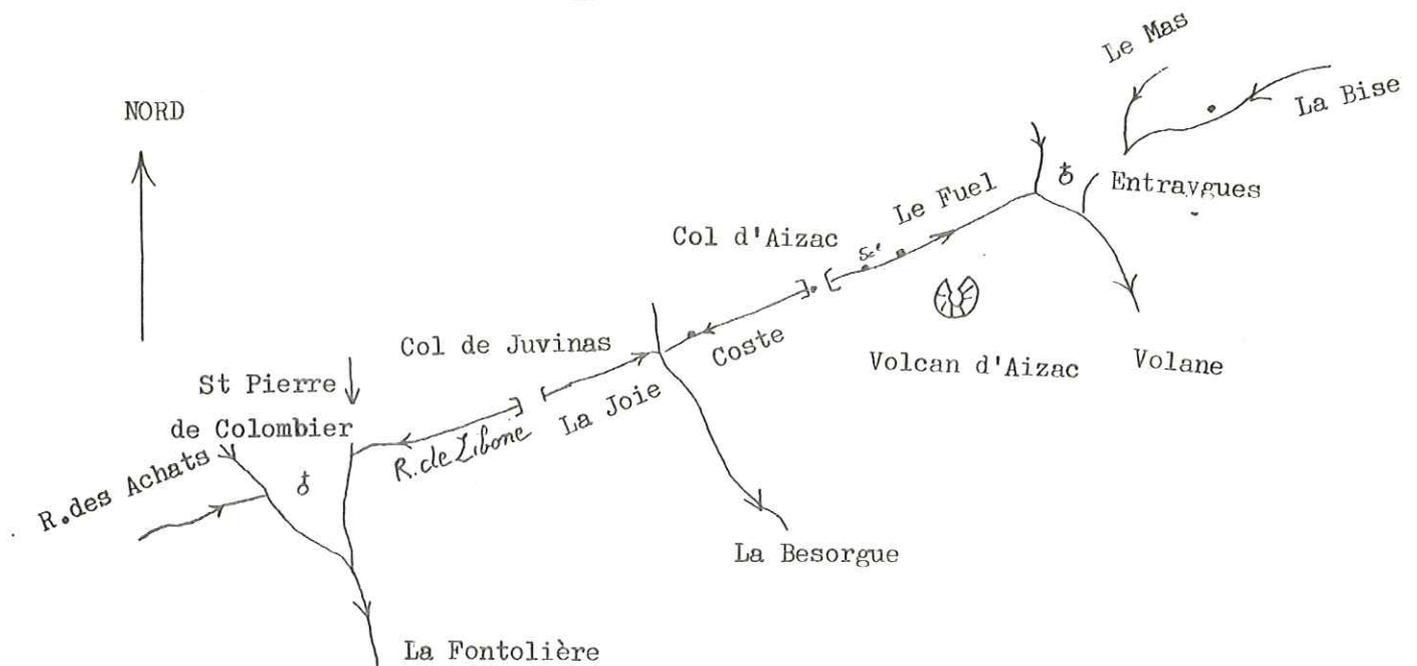
fig. 5-3



PLANCHÉ a

AIZAC

5-2-(2) -

SECTEUR D'AIZAC (planche A)

La faille d'Aizac est la plus importante de ce secteur ; longue de 10 kilomètres environ, elle est visible à partir de St Pierre de Colombier et se poursuit vers le N-E jusqu'à Entraygues. Cette faille est très bien soulignée dans la topographie. Les vallons du Libonne, de la Joie, de la Coste du Fuel et de la Bise, sont des exemples d'adaptation du réseau hydrographique à la structure tectonique.

Au col de Juvinas et au col d'Aizac, on peut se rendre compte de l'importance d'une zone de broyage qui souligne la présence de la faille. La roche se présente mylonitisée sur une bande large de 100 mètres environ.

D'autre part, de nombreuses sources jalonnent cette faille dans les secteurs d'Aizac et d'Entraygues : sources du Volcan de la Coupe n° 1 situées au pied d'un petit volcan quaternaire (coupe d'Aizac). Au col d'Aizac, il existe même une mofette connue de la population (planche a).

Plus au Nord-Est, dans le secteur d'Entraygues, les sources d'Estelle et d'Avellan (planche b), semblent être sur le prolongement de la faille d'Aizac ou à proximité dans les thalwegs.

L'orientation N70 de la faille d'Aizac, nous amène à penser à une discontinuité de type P. A Aizac, elle met en contact les migmatites (compartiment Nord) avec les granites migmatiques (compartiment Sud) (planche a), mais ceci ne permet pas de vérifier son sens de décrochement dextre.

b) - Les mesures statistiques de diaclases (figure 5-2) : confirment l'existence de cette faille (diagrammes E, F, G,) et mettent également en évidence des diaclases orientées N150 . Au moulin de la Coste, ces fissures sont remplies de matériaux aplitiques, au col d'Aizac ces fissures ouvertes ne présentent pas de rejet apparent.

d) - L'exploration photogéologique confirme l'existence de la faille d'Aizac, au nord du volcan. Une autre faille a été de plus observée au Sud du volcan ; faille orientée Est-Ouest qui pourrait expliquer les émergences d'eaux minérales de la source du Nouzet (vallée de la Besorgue) (planche c), et de la source La Reine du Fer (vallée de la Volane) (planche d).

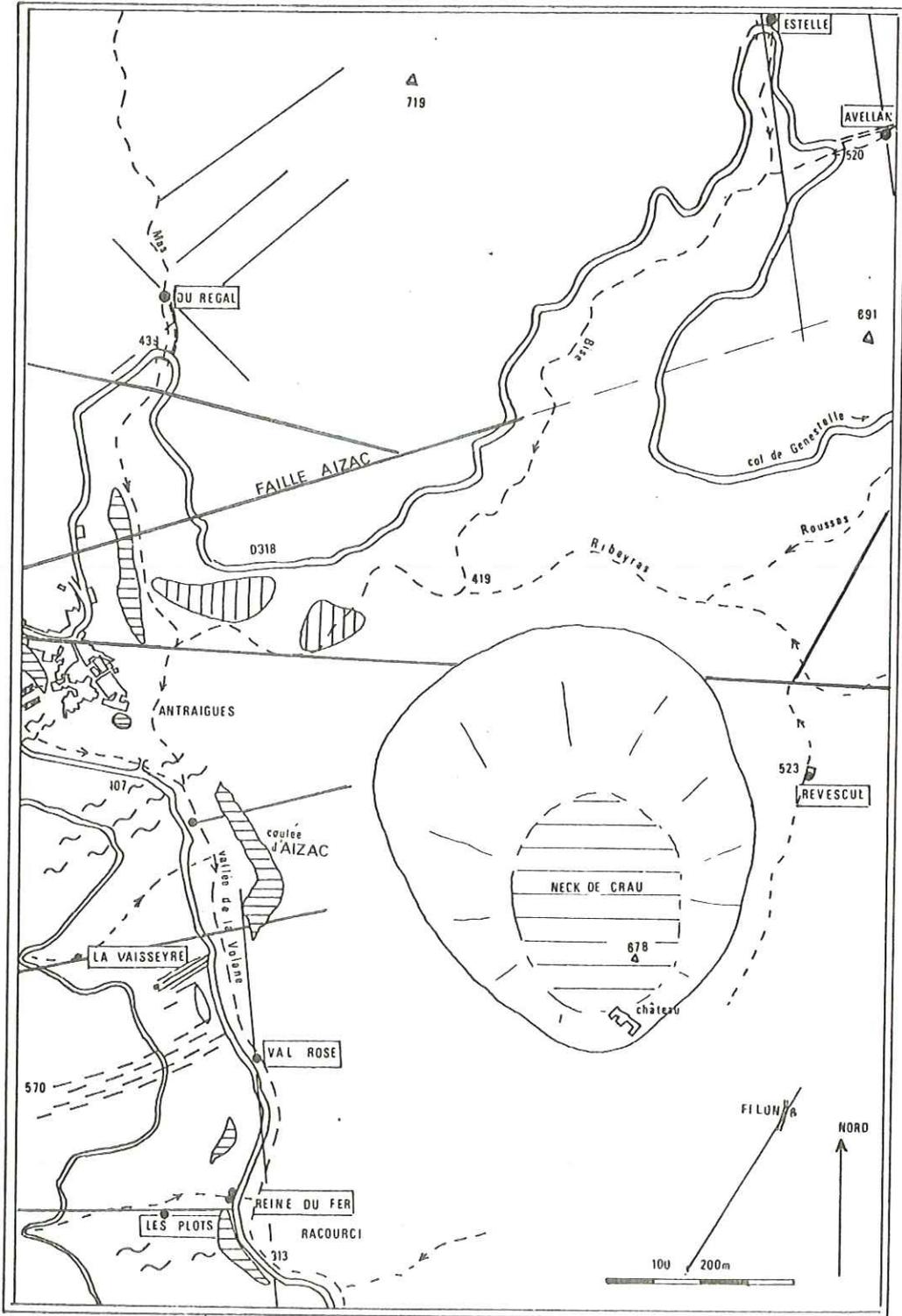
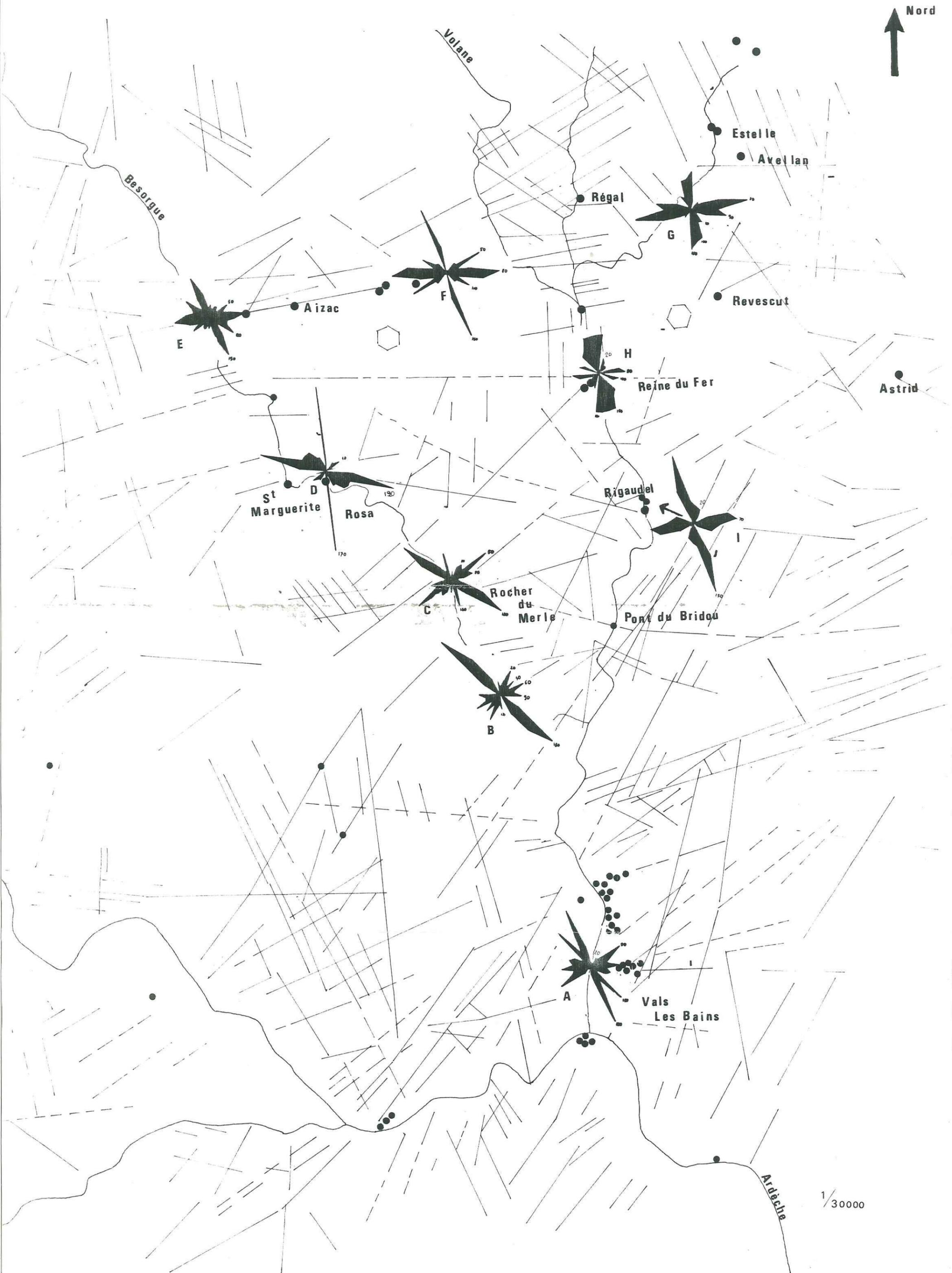


PLANCHE b

GROUPE NORD

Figure 5.2 Diagramme d'Orientation des Diaclases



**CONTEXTE GEOLOGIQUE
DES SOURCES DE VALS**



5-3 -

VALS LES BAINS.a) - Observations cartographiques.

Les sources minérales de Vals les Bains, sont issues d'un socle migmatique présentant par endroits des vestiges de micaschistes et de gneiss. Ce granite migmatique est délimité par deux failles parallèles orientées N22 ; la faille de la Volane et la faille de Labégude (planche).

- A l'Est : la faille de Labégude R₅ met en contact les migmatites avec les micaschistes de la série métamorphique catazonale ardéchoise. Cette faille suit une ligne de crêtes :

- A l'Ouest : la faille de la Volane (R₁) relayée au Sud par la faille de Vals (D₁), met en contact les migmatites avec les gneiss ocellés de l'unité inférieure de la série ardéchoise. Ces deux failles, R₁ et R₅, délimitent donc un horst cristallin à Vals les Bains.

Les sources minérales sont cantonnées dans le fond de la vallée de la Volane, en rive gauche, au milieu du horst. Néanmoins quelques unes se trouvent en altitude dans le ravin des Sausses. Nous verrons que ces derniers se présentent comme les plus minéralisées et les plus riches en gaz (chapitre suivant).

Un filon de quartz à allure de stockwerk orienté N70 à N80, suit le ravin des Sausses sur plusieurs dizaines de mètres, et ressort en relief derrière l'établissement thermal. Il est probable, que ce filon de quartz soit à l'origine des émergences localisées dans le ravin des Sausses. L'intersection du filon avec la faille de Labégude, peut constituer un chenal suffisamment important pour faciliter la principale venue hydrothermale de Vals les Bains.

- Les mylonites de Vals les Bains. (figure e).

Vals les Bains est un secteur encadré par d'épaisses bandes de mylonites qui jalonnent, au Sud, la faille de Vals (D₁), avant d'être décrochées au Nord par la faille de la Volane. Nous avons étudié dans l'introduction tectonique, la forme en S de ces mylonites qui soulignent une flexure sigmoïdale provoquée par le décrochement sénestre général. Il est à remarquer que ces zones de broyage plus ou moins kaolinisées, ne donnent lieu à aucune émergence d'eau minérale ; les sources sont plutôt groupées à proximité de l'accident cassant de la faille de Labégude.

b) - Mesures statistiques de diaclases (figure 5-2).

Le diagramme A met en évidence une fissuration, E-W à N70, correspondant à l'orientation du filon de quartz. Il met en évidence également une autre famille de fissures orientées N150, fissures d'extension de troisième ordre qui conditionnent de nombreuses émergences naturelles dans le lit de la Volane. Il est possible de voir de nombreuses bulles de gaz carbonique s'échapper par ces fissures ouvertes.

c) - L'étude photogéologique ; confirme l'existence de toutes les failles précédemment décrites.

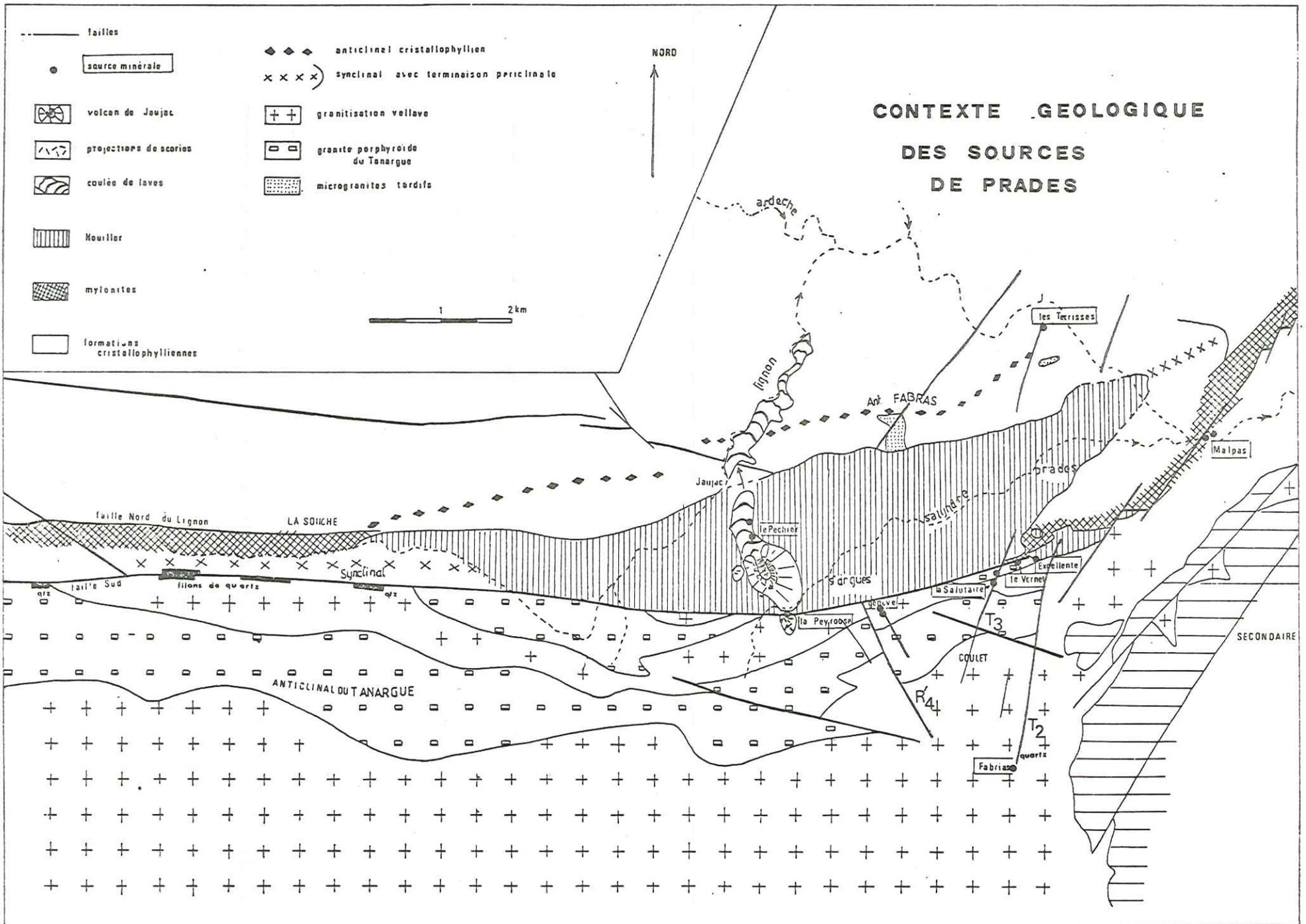


planche f

5-4

ZONE SUD.

5-4-(1) -

LES SOURCES DE PRADES.a) Analyse cartographique (planche f)

- La faille Sud du Lignon : apparaît comme l'accident le plus important de la région. Cette faille délimite le bord Sud du petit bassin houiller de Prades; faisant chevaucher à Prades le granite porphyroïde du Tanargues sur le Houiller (figure 5-4). Un tel chevauchement indique l'existence de poussées tangentielles dirigées vers le Nord-Est. Cette faille constitue un accident très important qui s'étend sur des dizaines de kilomètres.

- A l'Ouest, elle est cimentée par un remplissage de quartz : la vieille route qui mène de la Souche au col de la Croix de Bauzon, regroupe plusieurs fois de nombreux filons de quartz larges de plusieurs dizaines de mètres. Ces filons ont d'ailleurs donné lieu à des exploitations. En cet endroit, la faille Sud du Lignon se présente orientée N90° parallèlement aux anciennes structures tectoniques : plis d'axe Est-Ouest.

- Vers le NE, nous entrons dans la zone affectée par le grand décrochement de Vals les Bains. La faille Sud du Lignon, originellement orientée E-W, s'incurve peu à peu, subissant une torsion sous l'effet du décrochement général. A Prades, elle se présente orientée N70 et chevauchante sur le Houiller.

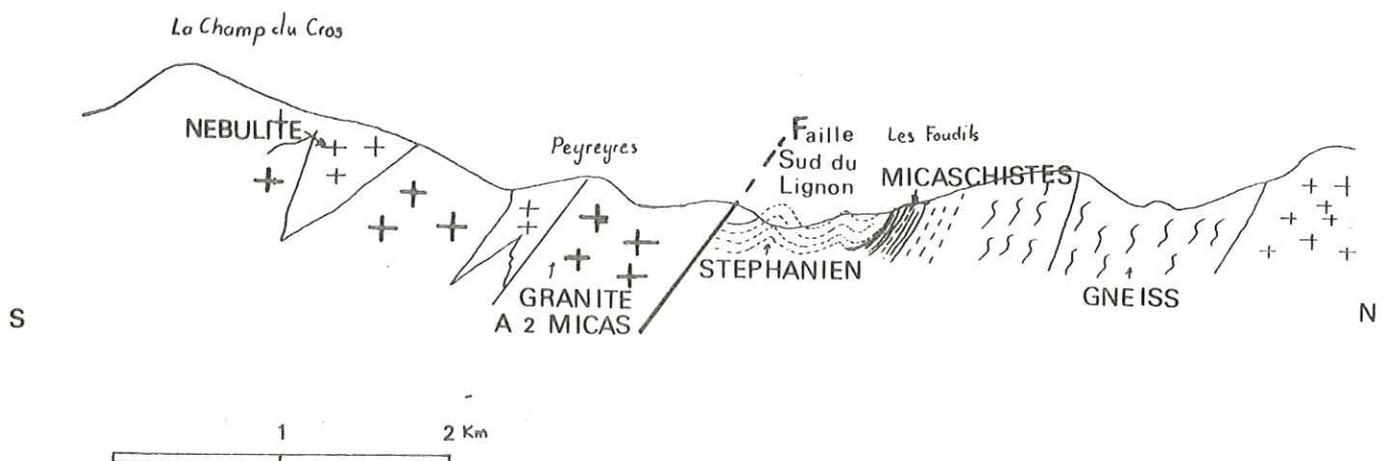


Fig. 5-4

Coupe transversale du bassin de Prades

d'après Lapadu-Hargues

- A Malpas, elle est ensuite relayée par la faille de Vals les Bains (D_1).

De nombreuses sources minérales jalonnent la faille Sud du Lignon, entre Jaujac et Prades, on compte : la source de Peyrouse, les sources de Pouzoula Genève, les sources du Coulet (Salutaire, Thérèse, Stimulante) la source du Vernet, et la source Excellente. (Il existait d'après les archives, d'autres sources comme la Lyonnaise, le Fulachier, actuellement disparues, et toujours situées sur la faille du Lignon).

Nous avons ici un bel exemple de sources alignées sur une faille, et ceci sur une distance de plus de trois kilomètres. Mais nous remarquons qu'en dehors du trançon allant de Jaujac à Prades, il n'existe pas de sources minérales. On pourrait s'attendre, par exemple que, plus au Sud de Jaujac à la souche, cette faille soulignée par d'importants remplissages de quartz, donne encore naissance à des émergences. Nos recherches dans ce secteur ont montré qu'il n'en était rien. En fait, une étude détaillée de la carte géologique, montre que toutes les sources minérales émergent à l'intersection de deux fractures. La position des griffons n'est donc pas quelconque, ils soulignent l'intersection de la faille Sud du Lignon et de failles orientées NO à N15 qui doivent véhiculer les fluides. Il est logique de penser que l'eau minérale ascendante à plus de facilité pour se frayer un chemin à l'intersection de deux fractures :

- L'intersection de la faille du Lignon avec la faille de Fabrias (T_2) donne lieu à l'émergence de la source Excellente. Cette faille d'allure sigmoïdale orientée N5 à N10 peut correspondre à une fracture d'extension de type T. Plus au Sud dans le ravin de Fabrias, elle est accompagnée d'une autre source minérale sauvage, bien visible en rive gauche du ruisseau par ses dépôts rouges et ses dégagements de gaz. (figure f) (Sce de Fabrias).

- La faille du Coulet (T_3) parallèle à la faille de Fabrias donne naissance aux émergences de la Salutaire, de Thérèse, et de la Stimulante.

- Enfin, plus à l'Ouest les sources de Pouzoula Genève sortent à l'intersection de la faille Sud du Lignon avec la faille de Genève (R'_4) orientée N140.

L'orientation de cette faille et son sens de décrochement dextre nous amènent à la considérer comme un Riedel de type R' , lié à la zone du décrochement principal.

5-4-(2) -

LES SOURCES DE JAUJAC. - (figure f)

a) analyse cartographique.

Les sources de Jaujac émergent au milieu de la dépression du bassin houiller, au pied du volcan de Jaujac. On dénombre trois sources qui semblent s'aligner selon une direction N140 : la source du Peschier et du Cratère au Nord du volcan et au Sud, la source La Peyrouse. La carte géologique n'indique pas la faille en cet endroit cependant, il est probable qu'une fracture, orientée N140, parallèle à celle de Genève (R'_4), conditionne ces trois émergences :

- La source La Peyrouse pourrait donc correspondre à l'intersection de la faille Sud du Lignon et d'une fracture orientée N140.

- Les eaux minérales du Peschier et du Cratère émergeant au milieu du bassin, doivent emprunter la fissure volcanique. En cet endroit, les sédiments stéphanien masquent la faille Nord du Lignon, faille que nous avons décrite dans le chapitre précédent comme une ancienne cicatrice de socle, visible à la Souche par ses épaisses mylonites. Il est probable que le magma se soit frayé un chemin à l'intersection de cette cicatrice avec une faille liée au décrochement de Vals N140.

Il ne faut pas confondre la faille Nord du Lignon antéstéphanienne, avec la faille Sud du Lignon poststéphanienne.

La première est située en rive gauche du Lignon, à la Souche, et ses mylonites sont recouvertes par le Houiller transgressif. La deuxième qui lui est parallèle, est située en rive droite du Lignon et elle est soulignée par d'importants filons de quartz.

Ces deux failles^{ne} sont distantes l'une de l'autre, que de quelques centaines de mètres. Toutes deux soulignent l'existence d'une grande cicatrice de socle, et témoignent d'une réactivation de l'accident avant et après les dépôts du Stéphanien.

b) - L'exploration photogéologique confirme l'existence des failles précédemment décrites, notamment la faille Sud du Lignon qui se suit assez bien de Malpas jusqu'à la Souche. (figure 5-5).

La carte photogéologique met, d'autre part, en évidence un peu à l'Ouest du Volcan, une longue faille NS qui se suit en relais jusque dans la vallée de la Fontolière, et qui est peut être responsable du coude que dessine la rivière à Chirols. Elle peut correspondre à une faille d'extension de type T.

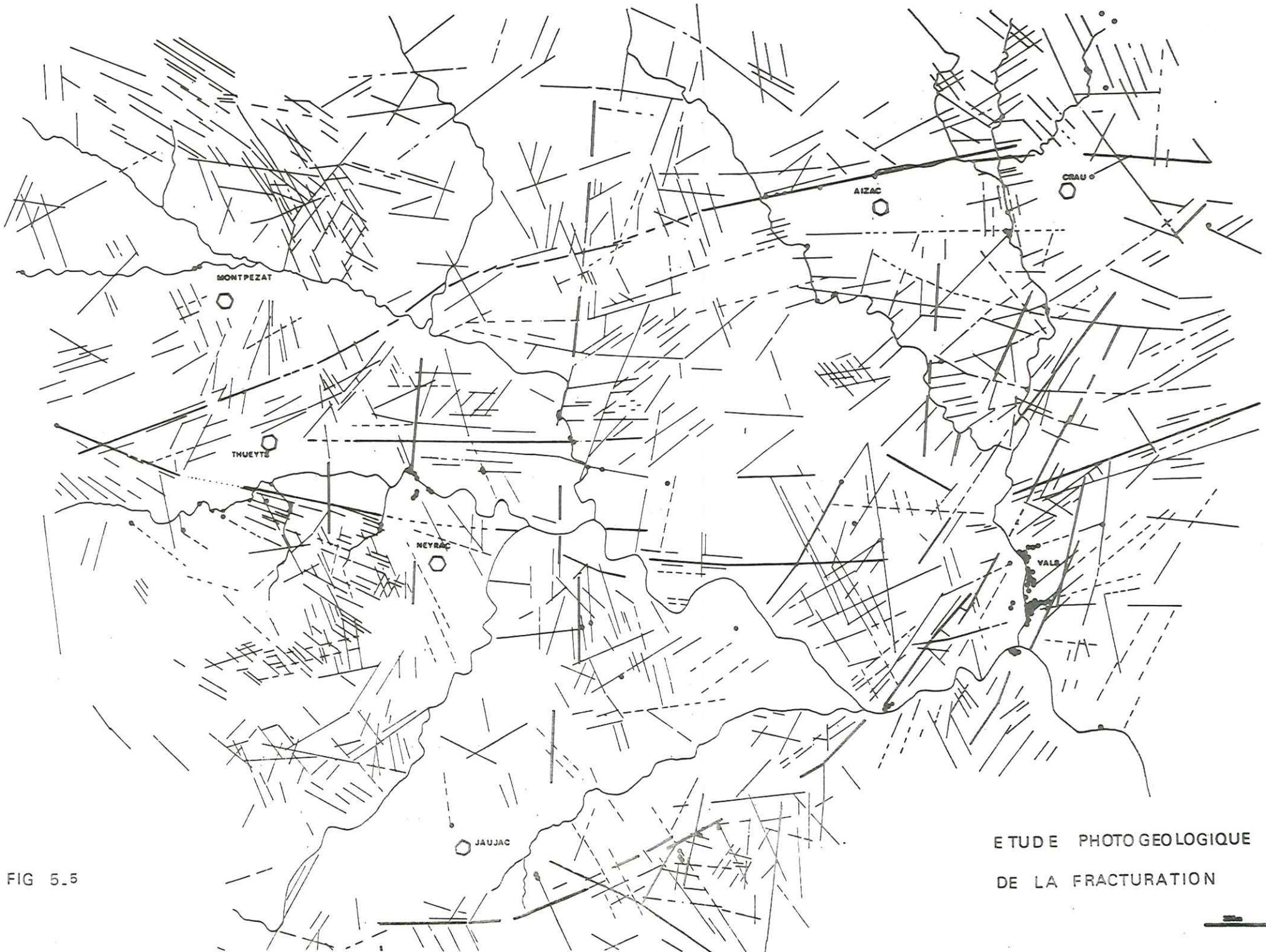


FIG 5.5

ETUDE PHOTOGEOLOGIQUE
DE LA FRACTURATION



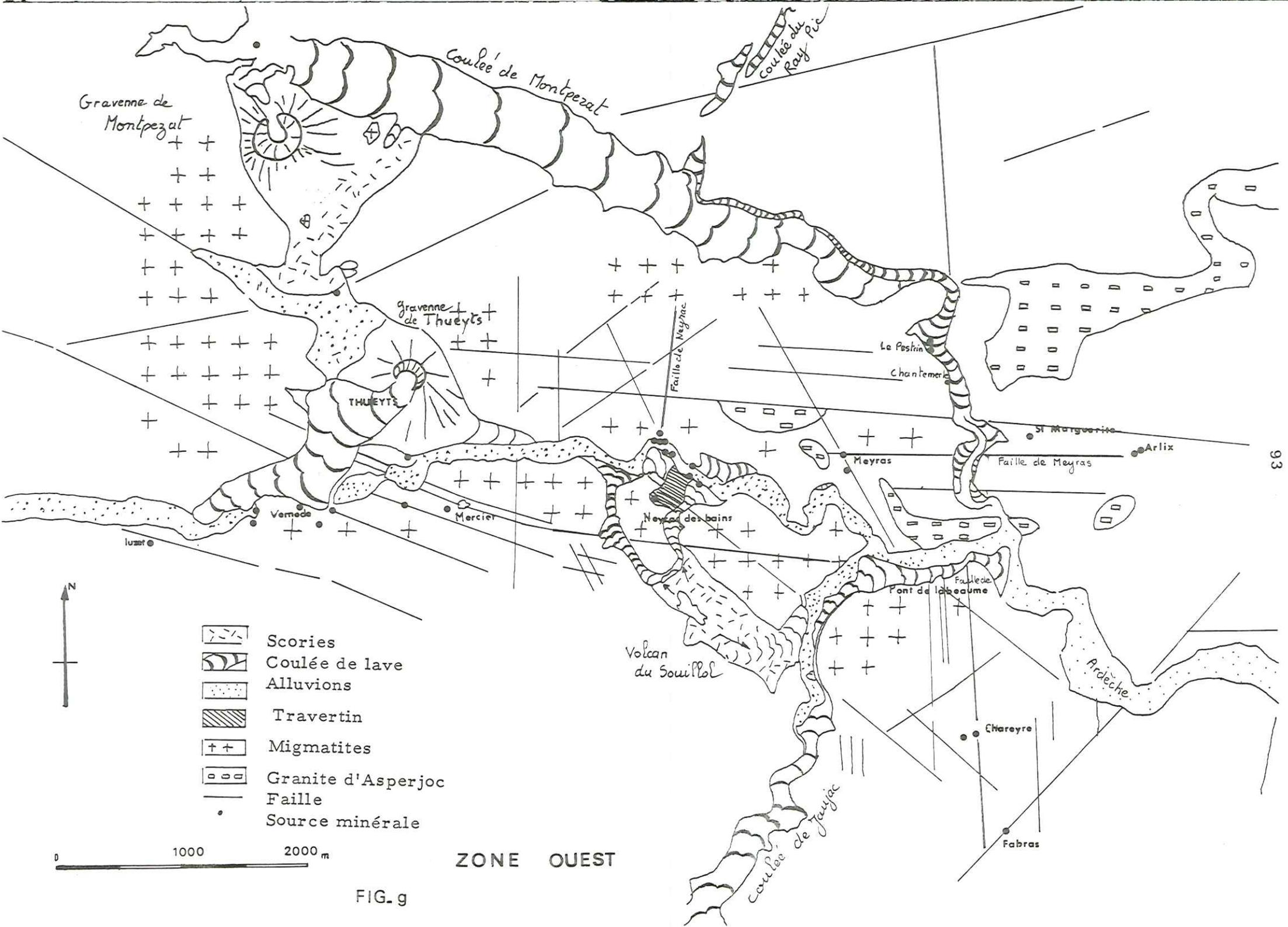
5-5

ZONE OUEST DU BASSIN VERSANT DE LA HAUTE ARDECHE.

Cette zone comprend les nombreuses sources minérales disséminées le long de la vallée de l'Ardèche (de Mayres jusqu'à Neyrac), et le long de la vallée de la Fontolière (affluent de l'Ardèche),

Dans ce secteur, le socle est constitué essentiellement de migmatites et de granite d'anatexie, avec de nombreux petits massifs de granite porphiroïde, semblables pétrographiquement au granite tardimigmatitique d'Asperjoc : (Pont-de-Labeaume, Meyras, Chirols).
(planche 9).

Cette zone est particulièrement intéressante pour l'étude de la fracturation ancienne antéstéphanienne. En effet, 15 kilomètres à l'Ouest de Vals les Bains, la fracturation dominante est avant tout de direction Est-Ouest à Est Nord-Ouest. Il s'agit de grandes cicatrices de socle, soulignées par d'épaisses bandes^{de} mylonites, que l'on suit sur des kilomètres. La faille Nord du Lignon que nous avons décrite dans la région de Jaujac en fait partie.



-  Scories
-  Coulée de lave
-  Alluvions
-  Travertin
-  Migmatites
-  Granite d'Asperjoc
-  Faille
-  Source minérale

On retrouve, dans la région de Neyrac, les mêmes accidents Est-Ouest parallèles à la faille du Lignon, anciennes cicatrices séparant des blocs migmatiques.

Dans ce secteur, ces failles ont déterminé le tracé actuel de l'Ardèche.

a) Analyse cartographique (figure 9) On distingue parmi ces accidents : la faille de Meyras sur laquelle s'alignent les sources minérales de Meyras (400 m), source Amicie Laure Marguerite (328 m) et d'Arlix (425 m). Il est à remarquer que ces sources sont à des altitudes très variées.

Cette faille visible à partir de Meyras, traverse perpendiculairement la vallée de la Fontolière et emprunte vers l'Est le vallon de Brussinard.

- Au Sud de Neyrac, existe une autre faille orientée Est-Ouest à Est-Nord Ouest jalonnée par les sources minérales de Thueyts (450 m), de Mercier (420 m) et de Neyrac le Haut (485 m). C'est à Mercier que cet accident est bien visible (faille de l'Ardèche). Il passe par le col de Péoul et suit le vallon des Armands. Les ruptures tectoniques occupent une bande dont l'épaisseur peut varier de la dizaine de mètres à la centaine de mètres. Cette bande est formée de ruptures grossièrement parallèles et se coupent à angles aigus, délimitant de lentilles étroites étirées de roches moins déformées et entourées d'une zone d'intense broyage.

De part et d'autre de la faille on observe une intense fissuration simple du granite qui facilite les nombreuses émergences et, des dégagements importants de gaz carbonique (à Mercier).

Cette faille traverse la vallée de l'Ardèche et se poursuit au Sud de Thueyts où elle prend de plus en plus d'importance, puisque la bande mylonitisée s'épaissit Vers l'Ouest.

- Enfin plus au Sud, une troisième faille Est-Nord Ouest doit être à l'origine des sources minérales du Luzet et de Vernède dans la vallée de l'Ardèche.

Nous remarquons que les sources minérales, par suite de ces accidents parallèles à la vallée de l'Ardèche, n'ont pas toujours leur point d'émergence au point le plus bas de la vallée. Les griffons restent sur les hauteurs des versants aussi, leurs positions sont intéressantes car, elles permettent de confirmer l'existence de ces grands accidents,

b) L'étude photogéologique souligne ces failles anciennes Est-Ouest. D'autre part, elle met en évidence une fracturation intense Nord-Sud. Ces failles peuvent être des discontinuités élémentaires de type T liées au décrochement Vals les Bains. Elles sont également à l'origine de nombreuses émergences d'eaux minérales.

Parmi celles-ci on distingue :

- La Faille de Pont de Labeaume qui donne naissance aux sources minérales du Pestrin et de Chantemerle (vallée de la Fontolière). En cet endroit l'influence de cette faille se manifeste par le brusque changement de direction de la Fontolière.

Au Sud de Pont de Labeaume cette faille se poursuit assez loin jusqu'à Chareyre où se situent deux autres sources minérales. Elle a une extension considérable puisque plus au Sud, on la retrouve aux environs de Jaujac.

La faille de Neyrac, parallèle à la précédente, est à l'origine des nombreuses sources de ce secteur.

Il existe un lot important de sources à Neyrac que l'on peut répartir en trois groupes suivant leur altitude. Les sources de Neyrac le haut (altitude 485 mètres), au nombre de deux, sont situées dans le vieux village. Elles sont à proximité d'une faille ancienne Est-Ouest (Faille de l'Ardèche).

Les sources de Neyrac les Bains, au nombre de trois, sont à une altitude de 380 mètres. (C'est ici qu'émerge la source des Bains, la plus remarquable de la région par sa température 23°C et son débit 150^l/m).

Les sources de Neyrac le Bas (altitude 350 mètres) sont installées dans le fond de la vallée de l'Ardèche. C'est dans les points les plus bas que les émergences sont les plus nombreuses. On dénombre une dizaine de forages sans compter les nombreux suintements sauvages dans le rocher, qui se font au travers de fissures et diaclases toutes orientées Nord-Sud bien parallèles et très denses.

La faille de Neyrac est donc certainement à l'origine des sources minérales de Neyrac le Bas et Neyrac les Bains.

Signalons enfin qu'une autre famille de fissures orientées N150 a été mise en évidence par photoaérienne. Ces fissures semblent assez nombreuses dans le secteur de Neyrac et de Thueyts. Il est probable que l'intersection de ces fissures d'extensions N150, avec les fissures Nord-Sud, et les failles anciennes Est-Ouest, ait permis la venue au jour des sources chaudes de Neyrac les Bains ; il a dû ^{en} être de même, pour les éruptions volcaniques quaternaires du Souillol et de Thueyts.

Tableau n° 5-1

RESUME DES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES FAILLES
ETUDIEES

ZONE NORD	
<u>Faille d'Aizac</u> P ₂	Longue de 10 km, faille de type P à proximité du volcan d'Aizac et du neck de Craux. Mise en évidence sur le terrain en photogéologie : trois sources de présentent bien alignées sur cette faille : <u>Le Moulin la Coste</u> , <u>la Coupe n° 1</u> et <u>du Volcan</u> .
<u>Faille E-W</u> au Sud d'Aizac	Longue de 1,4 kilomètres, située au Sud du cratère d'Aizac, mise en évidence par la photoaérienne. Deux sources ont leur griffon installé sur cette faille : <u>Le Nouzet</u> et <u>La Reine du Fer</u> .
<u>Faille d'Asperjoc</u> R' ₁	Longue de 1,5 kilomètres, faille de type R' dextre, mise en évidence sur le terrain et par exploration photogéologique. La source <u>La Suprême du Rigaudel</u> est située au niveau de cette faille dans la vallée de la Volane.
<u>Faille de la Besorgue</u> R' ₂	Longue de 2,5 kilomètres, faille de type R' dextre, mise en évidence sur le terrain, par la photo aérienne et par les mesures statistiques de diaclases. Faille soulignée par les sources de la vallée de la Besorgue : <u>Ste Marguerite</u> , <u>Rosa</u> (au Chayne), <u>le Rocher du Merle</u> , et <u>le Pont du Bridou</u> (vallée de la Volane.)
<u>Faille de Laulagnet</u> T ₁	Longue de 1,5 kilomètre, orientée NS, faille de type T ou R Riedel de troisième ordre, mise en évidence sur le terrain, par les mesures statistiques de diaclases, par la photogéologie : la source <u>du Merle</u> se situe à l'intersection de cette faille avec le faille de la Besorgue.
<u>Faille de la Volane</u> R ₁	Longue de 5 kilomètres, orientée N22, faille de type R sénestre, mise en évidence sur le terrain, et par photo aérienne. Cette faille peut conditionner un alignement des sources de la vallée de la Volane : source le <u>Pont du Bridou</u> , source la <u>Suprême du Rigaudel</u> , source <u>Revescut</u> .

ZONE DE VALS LES BAINS	
<u>Faille de Labégude</u> R ₅	Longue de 3,5 kilomètres, orientée N22 faille de type R qui délimite avec la faille de la Volane, un horst cristallin à Vals les Bains. Mise en évidence sur le terrain et en photoaérienne, Elle doit conditionner les principales venues d'eaux minérales de Vals les Bains (dans le ravin des Sausses), et de Labégude plus au Sud .
<u>Fissures d'extension</u> N 150	Elles sont généralisées dans tout le secteur, fissures mises en évidence par les mesures statistiques de diaclases et observées sur le terrain comme des extensions.
ZONE DE PRADES JAUJAC	
<u>Faille Sud du Lignon</u>	Longue de plusieurs kilomètres, orientée E-W à N70, il s'agit d'une faille ancienne reprise par le décrochement de Vals les Bains. Mise en évidence sur le terrain et par les photos aériennes. Les sources de la <u>Peyrouse</u> , de <u>Genève Pouzoula</u> , du <u>Coulet</u> , du <u>Vernet</u> et <u>Excellente</u> jalonnent cette faille
<u>Faille Nord du Lignon</u>	Longue de plusieurs dizaines de kilomètres, orientée Est-Ouest, il s'agit d'une ancienne cicatrice de socle antéstéphanienne, bien visible à la Souche par ses épaisses bandes mylonitiques. Elle conditionne la position du volcan de Jaujac et les émergences du <u>Peschier</u> et du <u>Cratère</u>
<u>Faille de Fabrias</u> T ₂	Longue de deux kilomètres, faille sigmoïde de type T, les sources de Fabrias et Excellente sont situées sur cette faille. (La source <u>Excellente</u> est à l'intersection de cette faille avec la faille Sud du Lignon.)
<u>Faille du Coulet</u> T ₃	Longue de deux kilomètres, elle est parallèle à la faille de Fabrias. L'intersection de cette faille avec la faille Sud du Lignon permet les émergences des sources du Coulet ; (<u>La Salulaire</u> , <u>Thérèse</u> et <u>Stimulante</u> .)
<u>Faille de Genève-Pouzoula</u> R' ₄	Longue de 1,5 kilomètre, orientée N140, elle correspond à un Riedel R' dextre. Elle affecte le granite porphyroïde du Tanargue, son rejet apparent est de 50 mètres. Les sources de Genève Pouzoula sont situées à l'intersection de cette faille avec la faille du Lignon.

<p><u>Faille de Vals</u> D₁</p>	<p>Faille de type D, orientée N40 selon la direction du décrochement principal. Elle affecte les mylonites de la faille Nord du Lignon. A la traversée de la vallée de l'Ardèche, cette faille donne naissance aux sources de <u>Malpas Chamblas</u>.</p>
<p><u>ZONE OUEST</u></p>	
<p><u>Faille de Meyras</u> <u>Est-Ouest</u></p>	<p>Faille ancienne soulignée par d'importantes mylonites. Elle est située à Meyras. Trois sources minérales se présentent alignées sur cette faille : source la <u>Vivaraise</u> (à Meyras), <u>source Amicie Laure Marguerite</u> et source <u>d'Arlix</u>.</p>
<p><u>Faille de l'Ardèche</u> <u>Est-Ouest</u></p>	<p>Parallèle à la précédente, elle est soulignée par les sources de Neyrac le Haut, de Mercier et de Thueyts.</p>
<p><u>Faille de</u> <u>Pont de Labeaume</u> T</p>	<p>Faille N-S de type T, mise en évidence sur le terrain et par la photo aérienne. Elle doit conditionner les venues d'eaux minérales du <u>Pestrin</u> et de <u>Chantemerle</u>.</p>
<p><u>Faille de Neyrac</u> T</p>	<p>Faille orientée Nord-Sud de type T mise en évidence sur le terrain par l'étude de la fissuration du socle et par la photoaérienne. Les sources de <u>Neyrac les Bains</u> et <u>Neyrac le Bas</u> sont situées sur cette faille.</p>

5-5

CONCLUSION
=====

Nous avons déterminé un certain nombre de failles qui conditionnent les émergences d'eaux minérales.

Le tableau précédent résume les principales caractéristiques de ces failles pour chaque secteur.

Il résulte de cette étude plusieurs remarques :

a) A l'Est du bassin versant de la haute Ardèche, ce sont d'abord les discontinuités élémentaires de la zone du décrochement de Vals les Bains, qui facilitent les émergences, notamment les Riedels R R' et les fissures d'extension T; par exemple :

- R - failles de la Volane et de Labégude
- R' - failles de la Besorgue, d'Asperjoc, de Genève
- T - failles de L'Aulagnet, de Fabrias
- P - faille d'Aizac.

Les failles anciennes orientées Est-Ouest comme la faille Sud du Lignon à Prades, ne conditionnent qu'indirectement les émergences lorsqu'elles sont recoupées par un Riedel, l'intersection de deux failles constituant un chenal privilégié pour les eaux minérales ascendantes.

b) - A l'Ouest du bassin versant, l'influence du décrochement de Vals les Bains est plus faible. On note quelques fissures de type T à Neyrac. Mais dans ce secteur se sont avant tout les nombreuses failles Est-Ouest qui jouent un rôle sur la distribution des sources minérales.

c) D'autre part, nous avons remarqué dans la région la présence généralisée de fissures N150 d'extension. Cette direction correspond à l'alignement des volcans quaternaires de l'Ardèche.

Il est possible que ces fissures soulignent un accident majeur non visible en surface et qui aurait permis les émissions volcaniques.

CHAPITRE VILES SOURCES MINERALES DU BASSIN VERSANT DE
LA HAUTE ARDECHE (étude analytique)

- 6-1 INTRODUCTION
- 6-2 TEMPERATURE
- 6-3 DEBIT
- 6-4 LES GAZ
- 6-5 LA RESISTIVITE
- 6-6 RESUME DES CARACTERISTIQUES PRINCIPALES
DES EAUX MINERALES
- 6-7 COMPARAISON DES CARACTERES PHYSIQUES DES
SOURCES MINERALES DU BASSIN VERSANT DE LA
HAUTE ARDECHE
- 6-8 CONCLUSION

Chapitre VI

LES SOURCES MINÉRALES DU BASSIN VERSANT DE LA HAUTE ARDECHE (étude analytique)

6-1

INTRODUCTION

Le bassin versant de la haute Ardèche compte 60 sources minérales bien réparties spatialement, ainsi que 140 forages groupés dans l'agglomération de Vals les Bains.

Les chapitres précédents ont permis de présenter une étude de leur contexte structural, par la détermination des failles qui favorisent les émergences.

Cette analyse doit être complétée par une étude hydrologique, qui nous apportera des renseignements sur la distribution de l'activité thermominérale. En effet, une comparaison des paramètres physiques des eaux minérales, mettra en évidence des groupes de sources qui cernent les principales venues hydrothermales.

Les sources les plus intéressantes par leurs caractéristiques physiques, c'est-à-dire les mieux situées par rapport à ces venues directes, feront évidemment l'objet d'une étude détaillée.

Nous chercherons alors à préciser les causes naturelles de ces émergences. Nous verrons que ces sources se situent dans des zones particulièrement fracturées ou à proximité d'un volcan.

Une synthèse générale des données structurales et hydrologiques sera ensuite présentée, et accompagnée d'une discussion sur le rôle de la tectonique et du volcanisme dans la répartition des aires d'émergences reconnues.

L'étude hydrologique a été menée en fonction de la documentation présentée dans l'annexe.

Cette annexe contient une fiche pour chacune des sources minérales disséminées dans la campagne.

Chaque fiche présente brièvement le contexte géologique de la source et les résultats des mesures des caractéristiques physiques de l'eau, effectuées durant l'année 1978-79. Elle est complétée, par un schéma descriptif du mode de captage.

Les paramètres mesurés sont :

la température, le débit, la résistivité, la teneur en gaz dissous et le pH.

6-2

TEMPERATURE

6-2-(1) Dans le tableau n° 6-1 est indiqué la température des sources minérales du bassin versant de la haute Ardèche, mesurée au griffon en °C;

TEMPERATURES OBSERVEES DANS LES SOURCES MINERALES ETUDIES

Sources	Région	N° : Température mesurée :				Altitude en m	
		Emer- gen.	4.78	8.78	2.79 4.79		
Du Volcan	Aizac	1	10,5	11	13,5	11,5	580 m
De La Coupe	"	2	11	11,3	13,4	10	580
Le Moulin de la Coste	Vallée de la Be- sorgue	3	10,5	11	10	10,1	510
St Marguerite le Chay	"	5	9	12	9	9,5°	460
Rosa	"	6	8°	*	9,5	8,5	440
Asperjoc Le Rocher	"	7	8°	13°	8°	9,5	395
La suprême Rigau- del	Vallée de la Vo- lane	9	10,2	16	9	11	340
La reine des Basal- tes	"	10	11	13	11	12	374
Daniel	"	11	9	13,5	9	10,5	390
La ferrugineuse in- comparable	"	12	10,5	12,7			370
Du Régat	Entraygues	14	10	13	8	12,5	440
Estelle n° 1	Genestelle	15	11°	11,5°			520
Estelle n° 2	"	16	10,2	12	10,5	11,5	500
Avellan	"	17	10,8	12	12	13	540
Revescut	Craux	18	9,5	14	7,3	9,7	523
Le Vernay	Genestelle	19	10,5		9,8	12	560
Astrid	"	20	9,5	13	10,5	11	465
Bertoile	St Andéol de Vais	21		12,7	10,5	10	
Le Peschier	Jaujac	23	10,7	11,5	10,6	11	450
Geneve Pouzoula n° 1	"	25	9,8	11	10,2	10,5	435
Geneve Pouzoula n° 2	"	26	10	11,3	10	12,5	433
La Salutaire	Prades	30	9	11,9	9	11,5	390
Le Vernet	"	31	11	14	11,8	11,5	400
Excellente	"	32	8,6	12,5	11,5	8	390
Chamblas n° 1	Malpas	33		12,7	11	12,5	255
Chamblas n° 2	"	34	9,5	14	11	12,2	255
Terrisses	Lalevade	36	9,2	12		9,5	285
Romégier	"	37	8,8	13,5			300
La Peyralade	Mayres	38		10	10,2	10	810
Luzet	Thueyts	41	9	11	8,6	10	440
Vernede n° 1	"	42	10	13,5	9,8	15	400
Vernede n° 2	"	43	11,5	14	9,5	10	420
Mercier n° 1	"	45	8	13	7		450
Mercier n° 2	"	46	11,5		10	12	420
Volcanique n° 4	Neyrac Le Bas	48	10,5	13	12,5	10,5	350
Délicieuse	"	49	10,5	14,2	13,5	12	350
Volcanique n° 6	"	50	17,5	17	17,5	18	350
Des Bains	Neyrac les Bains	52	20	23	20,5	18	390
Bienvenue	"	53	12,8	16			390
Meyras	Meyras	54	9,5	17			400
Arlix	Chirols	55	9	12	9,5	9	425
Marguerite Amicie Laufe	"	56	10,9	13	11,5	10,7	328

Sources	Région	N° Emer: gen.	Température mesurée en °C				Altitude en m
			4.78	8.78	2.79	4.79	
Chantemerle	Le Pestrin	57	11,5	13,5	10,5	15	330 m
Pauline	"	58	11	14,5			334
Ventadour	"	59	12	15	12		334
Bonnefont	Malfaugères	61		10	9,7	9,5	660
Le Roux n° 1	Le Roux	62	10	9,5	8,5	9,5	900

★ Certaines cases ne présentent pas de mesures par des raisons diverses :

- source encore inconnue à cette époque,
- source noyée par le ruisseau en crue (en hiver, automne.)
- condition d'accès impossible - pompe arrêtée - exploitation abandonnée.

Nous avons relevé les températures au début du printemps et de l'été 1978, ainsi qu'en hiver et au printemps 1979.

La température n'est pas un caractère significatif pour ces sources. On voit clairement que ce sont des sources froides (20°) variant entre :

8° et 11,5° en avril 78
 10° et 14° en août 78
 7° et 13° en février 78
 8° et 13° en avril 78

Dans la région la majorité des sources ont une température qui n'est pas plus élevée que la température moyenne annuelle de l'air.

Cependant il existe deux sources chaudes ou tièdes dans la région de Neyrac les Bains, et situées à l'aplomb du volcan du Souillol :

ce sont les sources Des Bains et Bienvenue.

- La source Des Bains voit le jour à des températures de 18° en hiver et 23° en été.

- La source Bienvenue, à 100 mètres de la précédente, a une température variant entre 13° et 17°.

Elles sont intéressantes car elles constituent deux exceptions dans la région.

Nous allons essayer de connaître les facteurs qui ont déterminé les températures des sources minérales. Ces facteurs sont nombreux et variés, aussi la signification de la température des sources minérales est extrêmement complexe.

Si les sources se présentent froides ou chaudes aux émergences, il ne faut pas oublier que, ce que l'on observe en surface, n'est que l'aboutissement de la veine thermominérale, et il est probable qu'en profondeur, il doit exister des aquifères à une température plus élevée.

Généralement, les sources minérales sont alimentées par des eaux d'infiltration qui descendent à une profondeur suffisante et circulent assez lentement dans le sous-sol pour atteindre une température élevée.

Par la suite, lors de leur remontée, ces eaux subissent des chutes de température plus ou moins importantes.

Si le refroidissement est total pour la majorité des sources, il existe quelques sources qui émergent en conservant une partie de leur thermalité, comme la source Des Bains 23°, ou bien, en dehors de notre secteur d'étude, celle de St Laurent les Bains qui sort très chaude (51,5°) ; (cette dernière est située à 50 kilomètres au Sud-Ouest de Vals les Bains).

Toutes deux peuvent témoigner de l'existence d'un aquifère profond avec des températures élevées.

6-2-(2) -

ORIGINE DE LA THERMALITE

L'apport de la chaleur en profondeur peut être dû à plusieurs facteurs.

a) Le gradient géothermique de la région

L'élévation de température, au fur et à mesure que l'on s'enfonce sous terre, est très variable, selon les lieux. Le plus souvent on prend le gradient géothermique constant et on l'estime en moyenne de 1° par 35 mètres. Mais dans les régions volcaniques, l'augmentation peut atteindre 1° par 15 mètres de profondeur.

Ceci peut être suffisant pour élever la température de l'eau, à condition qu'elle s'infilte lentement. L'eau chaude doit ensuite remonter avec une extrême rapidité des profondeurs pour qu'elle puisse conserver sa chaleur et alimenter la source thermale.

b) L'eau peut être aussi en contact avec des roches extraordinairement chaudes à des profondeurs beaucoup moins considérables :

formation d'un batholite ou plus simplement d'un réseau de dykes individuellement peu épais, susceptibles de se refroidir rapidement. Cette hypothèse est plus vraisemblable, car la région a été le théâtre d'activités volcaniques récentes.

Le magma en cristallisant apporte, non seulement la chaleur, mais expulse aussi des produits volatils à haute pression et haute température qui se mêlent à l'eau météorique infiltrée. (L'existence de ce mélange peut être attesté dans certaines sources notamment par la présence d'arsenic ou de bore.)

Il conviendra d'apprécier la proportion de ces ions dans notre étude de la géochimie des eaux.

c) Les mouvements orogéniques de l'écorce dégagent eux aussi de la chaleur en raison des frottements qui se produisent le long des grandes failles.

Les roches peuvent en garder suffisamment pour élever pendant longtemps la température de l'eau qui la traverse.

d) La désintégration des minéraux radioactifs contenus dans les roches de l'écorce dégage de la chaleur de façon continue. La concentration localisée d'éléments radioactifs peut élever la température et réchauffer les eaux.

Il faudrait donc voir si ces sources sont très radioactives pour que l'on retienne cette explication.

6-2-(3) -

CAUSES DE LA PERTE DE CHALEUR DES EAUX
 =====
MINÉRALES.
 =====

Ces causes sont nombreuses et complexes, nous n'exposerons que les plus importantes.

a) L'abaissement de la température peut être dû à la détente adiabatique du gaz carbonique contenu dans les eaux aux émergences.

b) La température de l'eau peut également diminuer par contact avec la paroi froide de la fissure lors de sa remontée, surtout si le diamètre de la fissure est faible et ne permet le passage que d'un mince filet d'eau.

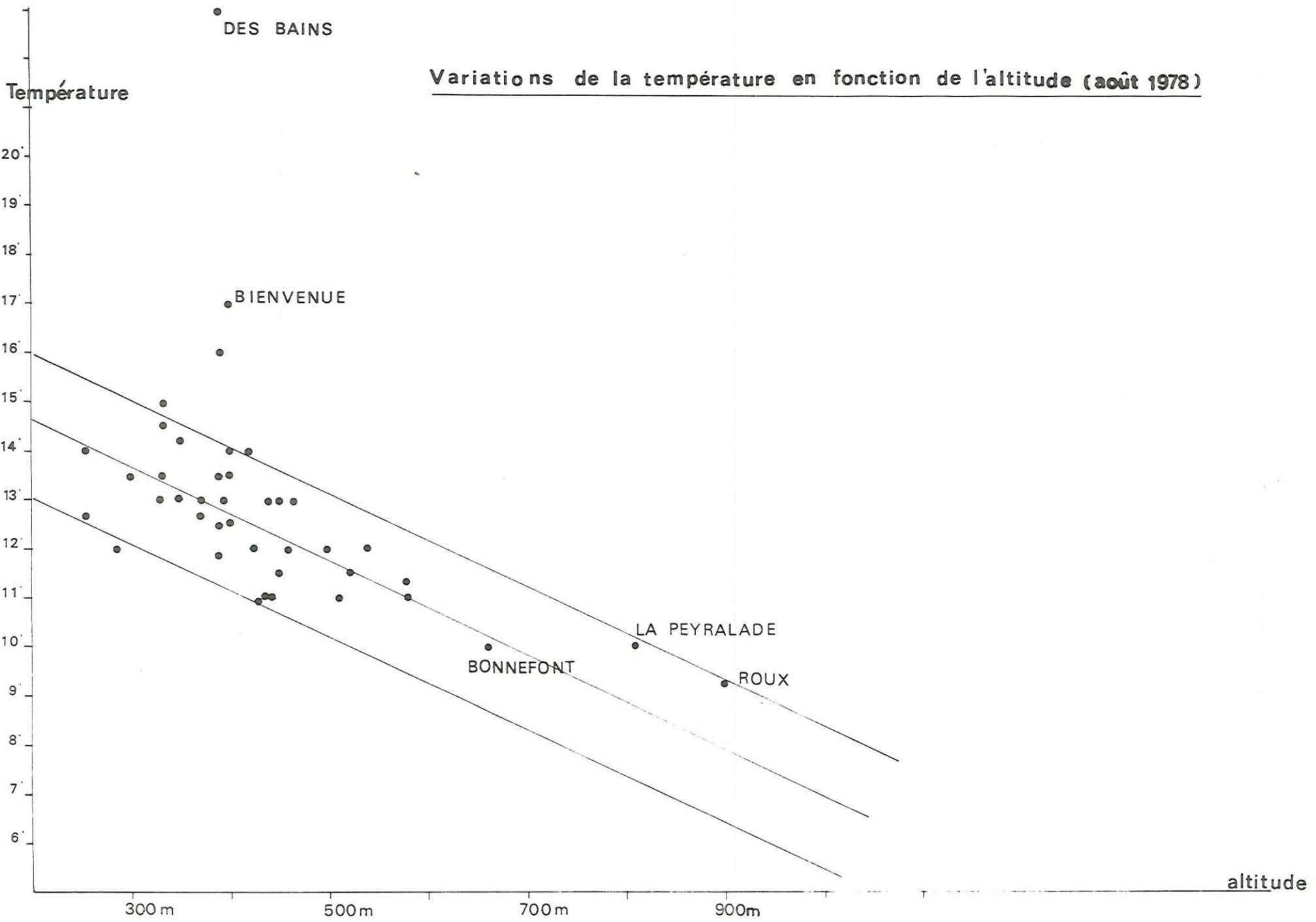


FIG. 6-1

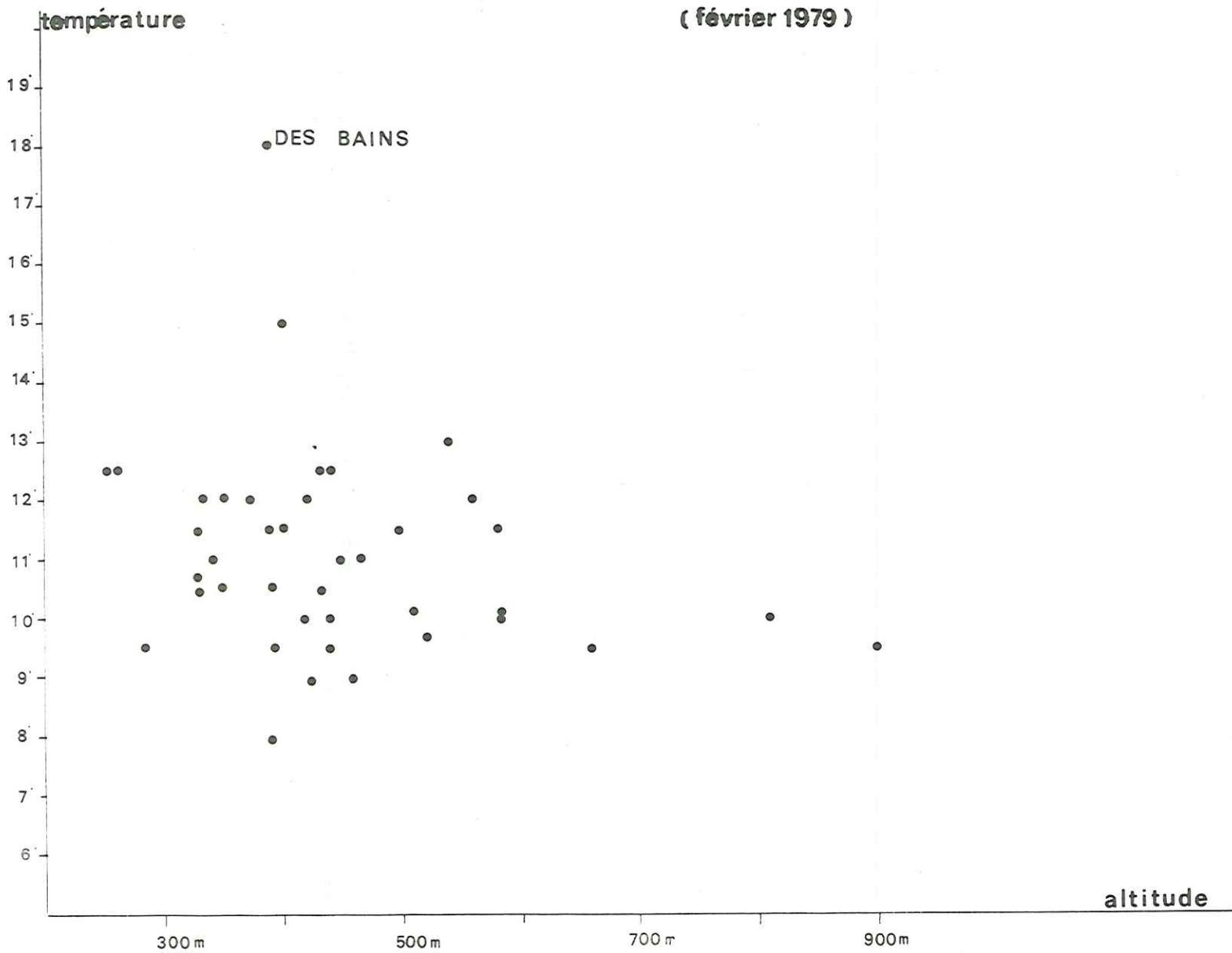


Fig 6-1

c) La température d'une source diminue lors du mélange avec les eaux froides superficielles et plus particulièrement en automne pendant la fonte des neiges. Ceci a été constaté systématiquement pour chaque source comme l'indiquent les mesures des températures effectuées à différentes saisons. (Tableau n° 6-1)

On voit clairement que les températures suivent assez bien les variations saisonnières de la température ambiante. La plupart du temps, ces mélanges sont superficiels et s'effectuent dans la zone où toutes les diaclases et fissures se présentent ouvertes du fait de la décomposition des terrains.

Ces mélanges peuvent également s'effectuer lors de la traversée par l'eau minérale de terrains perméables, tels les alluvions ou les cônes d'éboulis.

Dans ces cas, l'abaissement de la température est accompagné d'une diminution de la minéralisation, de la teneur en gaz carbonique dissous et d'une augmentation de débit, puisqu'il y a dilution avec les eaux douces superficielles.

Un abaissement brusque de la température et une augmentation rapide du débit, caractérisent donc une nappe peu profonde avec influence superficielle.

d) La température des sources minérales est aussi fonction de l'altitude des points d'émergences, surtout dans une région aux reliefs accidentés comme l'Ardèche (voir les figures n° 6-1 qui ont été établis pour les mois d'août 1978 et février 1979).

- En août 1978, les mesures montrent un net abaissement de la température en fonction de l'altitude.

- En février 1979, les mesures sont dispersées. Un autre facteur, comme l'influence des eaux superficielles, doit davantage se faire sentir en cette saison, ce qui modifie la température des eaux minérales.

6-3 - DEBITS

6-3-(1) - DEBITS OBSERVES

Dans le tableau n° 6-2 nous avons indiqué les mesures de débit des sources minérales.

Si l'on ne tient pas compte des sources exploitées par pompe qui présentent des débits modifiés, on constate que les débits de la majorité des sources sont très faibles, ils sont compris entre 0,3 et 5 litres par minute à l'exception de la source chaude de Neyrac les Bains (120 à 180 litres par minute).

Les débits renseignent sur l'état de fracturation du sous-sol et la dimension des fractures ; des diaclases ou des fissures peu ouvertes sont suffisantes pour laisser passer de minces filets d'eaux qui donnent lieu à de petits débits.

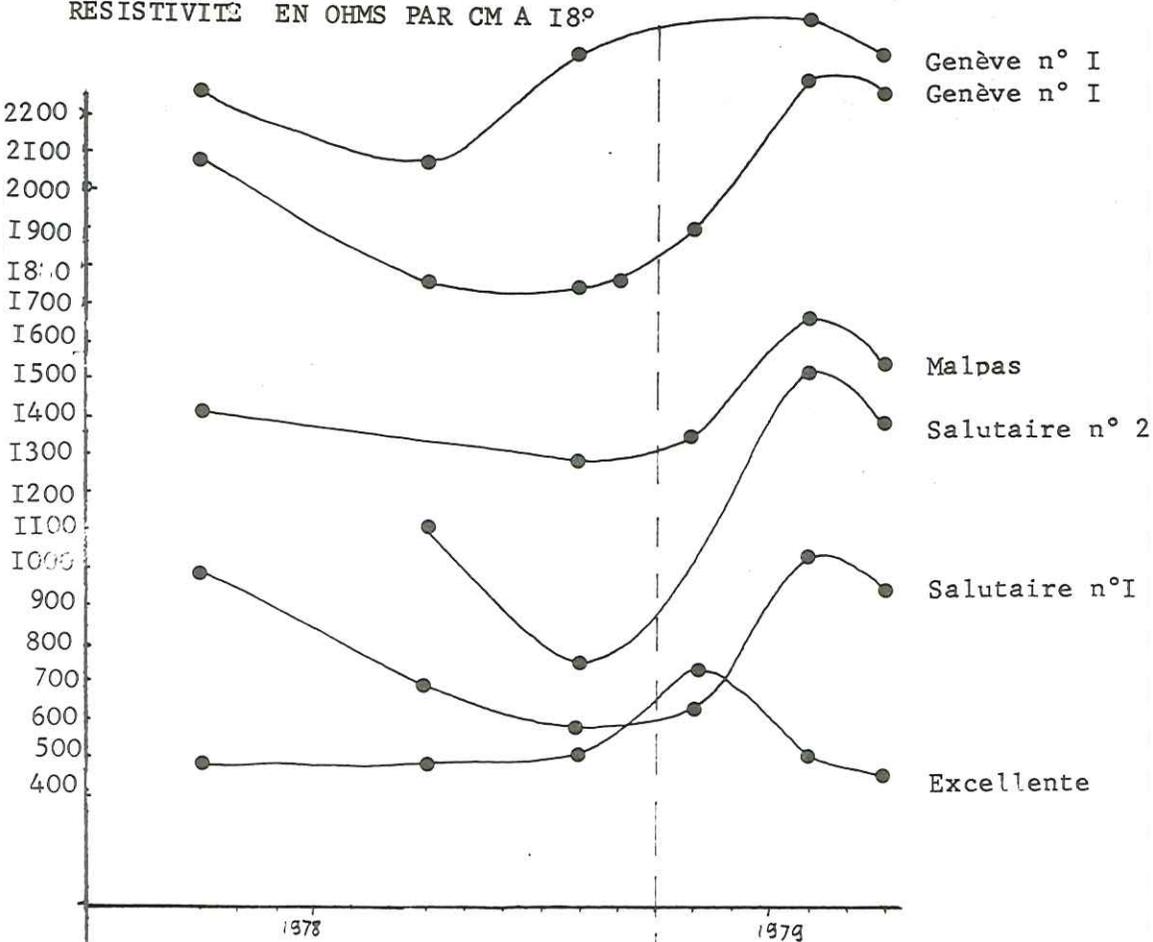
Ces fissures sont toutefois nombreuses vu l'abondance et la multiplication des griffons le long d'une zone à émergences diffuses, comme par exemple celle de Vals les Bains.

T A B L E A U N° 6 - 2

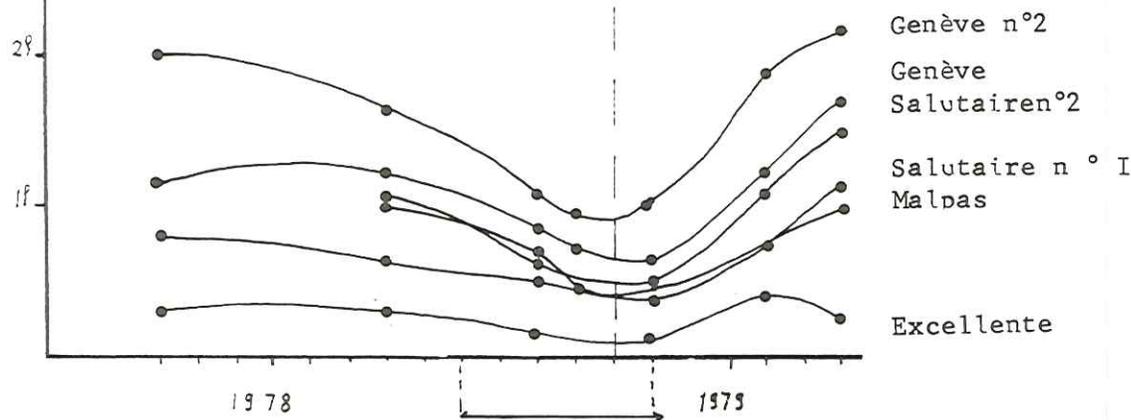
DEBITS DES SOURCES MINERALES ETUDIEES

Sources	Région	N°	Débit en l/mn			
			Emergence	4-1978	8-1978	2-1979
Du Volcan	Aizac	1	15	débit réglé par pompe		
De La Coupe	"	2	1	débit réglé par pompe		
Ste Marguerite Le Chayne	Vallée de la Besor-	5	0,3	1,2	0,5	1,1
Le rocher du Merle	guff	7	0,8	0,44	1	0,8
La suprême du Ri- gaudel	Asperjoc	9	7	débit réglé par pompe		
La Reine des Basaltes	"	10	3,75	à 4 débit réglé par pompe		
Daniel	"	11	3	débit réglé par pompe		
Estelle n° 1	Genestelle	15	3,4	2,85		
Estelle n° 2	"	16	1,5			4
Astrid	"	20	0,54	0,48	0,50	0,63
Bertoile	"	21	0,33	0,20		
Le peschier	Jaujac	23	3,7		4	3,75
Pouzola Genève n° 1	"	25	1,2	0,83	0,74	1,2
Pouzola Genève n° 2	"	26	1,2	1,09	1,81	1,7
La salutaire n° 1	Prades	30	0,6	0,5	0,75	0,77
La Salutaire n° 2	"	30	1,2	0,63	1,27	1,2
Le Vernet	"	31	35	débit réglé par pompe		
Excellente	"	32	0,3	0,16	0,41	0,25
Malpas n° 1	Malpas	33		0,7	0,75	0,92
Chamblas	"	34	1	0,5	1	0,75
Luzet°	Thueyts..	41	9	9,3	8	10
Vernède n° 1	"	42	1,5			4,5
Vernède n° 2	"	43	1			0,48
Mercier	"	45	0,85	0,33		
Bienfaisante	Neyrac	47	6,5	débit réglé par pompe		
Volcanique n° 4	"	48	0,36	0,37	0,33	0,33
Délicieuse	"	49	0,63	0,75	0,55	0,66
Des Bains	"	52	180 à 120			
Chantemerle	Le Pestrin	57	1,1	0,5	0,4	1,15
Pauline	"	58	10	débit réglé par pompe		
Ventadour	"	59	25	débit réglé par pompe		
Le Roux	Roux	62		0,42	0,5	0,47

RESISTIVITE EN OHMS PAR CM A 18°



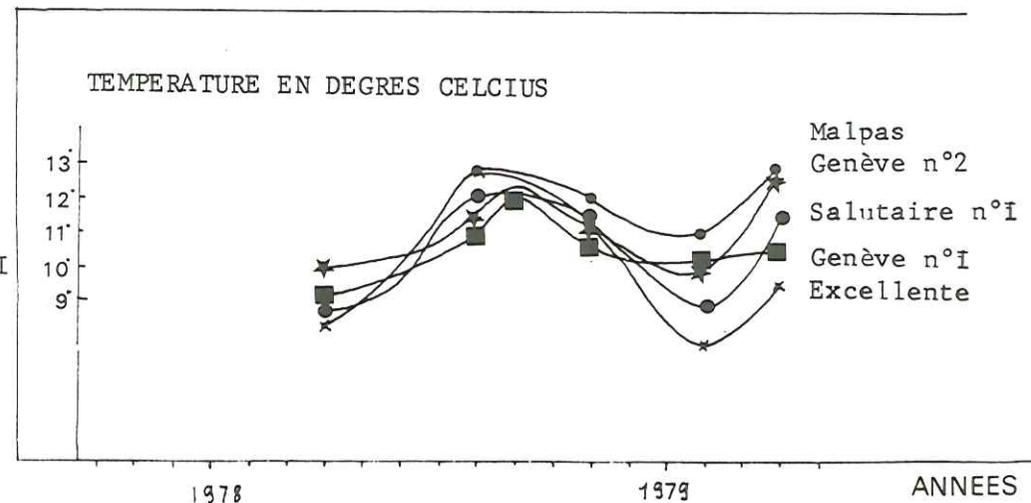
DEBIT EN LITRES PAR MINUTES



Période de sécheresse

Fig 6-2

LES SOURCES DE PRADES



Variation du débit en fonction de la température

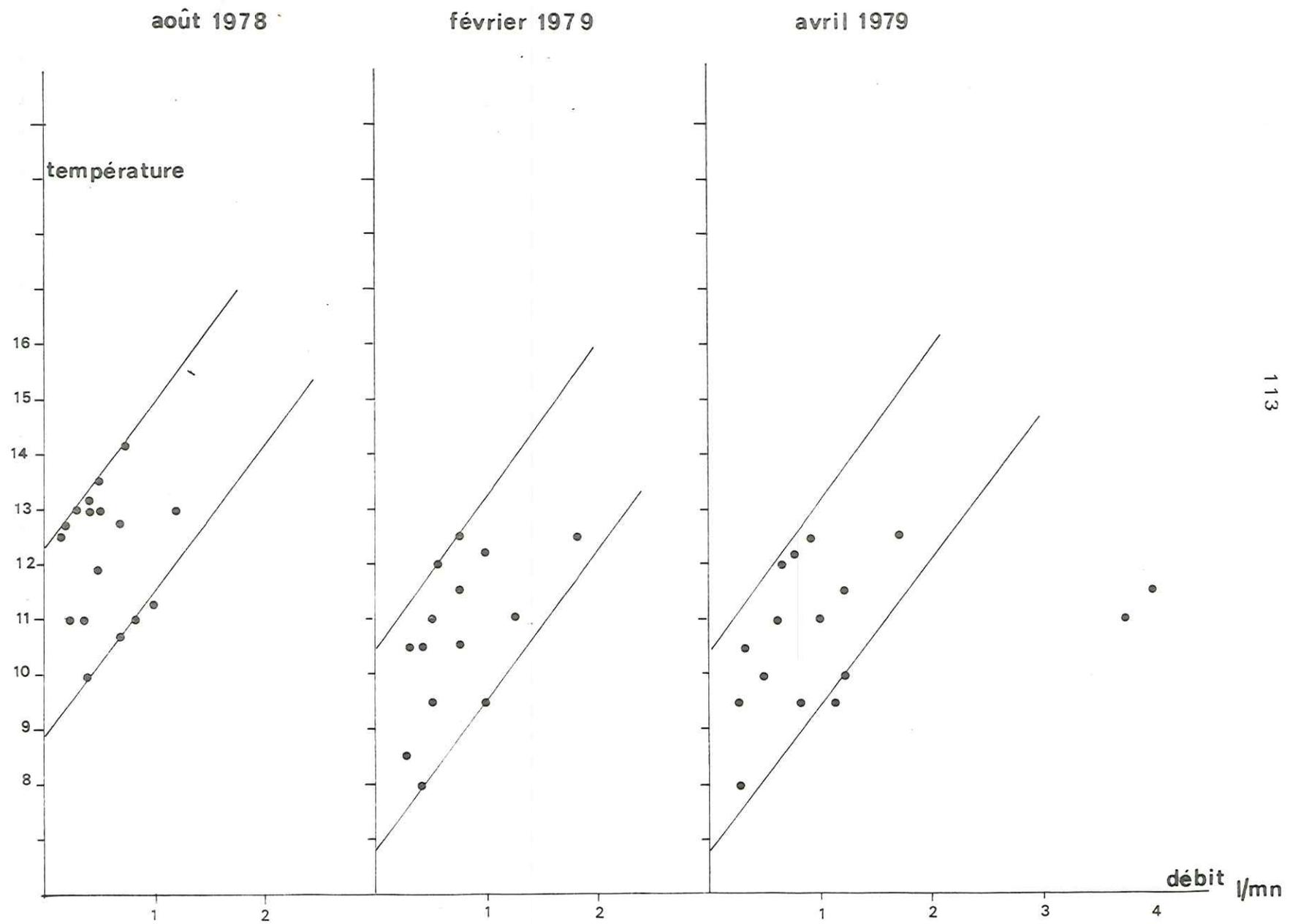


Fig 6-3

Une faille mieux ouverte doit permettre la remontée d'une plus importante quantité d'eau. Ce serait peut-être le cas de la source des Bains à Neyrac.

Les eaux chaudes doivent remonter par un cheminement plus direct, avec un débit concentré à la faveur d'une fracture bien ouverte. Ce phénomène permettrait d'ailleurs à l'eau de conserver sa thermalité.

6-3-(2) -

VARIATION DE DEBIT

Les débits montrent des variations qui suivent assez fidèlement les saisons de sécheresse et de pluie. Nous avons choisi comme exemple les sources de Prades, situées au Sud du bassin versant de la haute Ardèche, et dont les débits ont pu être mesurés sans trop de difficultés. (Figure n° 6-2).

Toutes les sources minérales voient leur débit diminuer du mois d'avril au mois d'octobre. Les débits réaugmentent ensuite à partir du mois de novembre, période où commencent les pluies pour l'année 1978.

Les résistivités tendent à suivre la même variation. Au fur et à mesure que le débit des sources diminue la résistivité diminue également. Quand à la température des sources, elle diminue progressivement du mois d'août au mois de février de la même manière que la température atmosphérique.

Ces sources subissent donc, des influences superficielles: une absence de précipitation pendant 5 mois entraîne une diminution de débit et de la résistivité.

6-3(3) -

RELATION DEBIT TEMPERATURE

La figure 6-3, montre les variations de la température en fonction du débit. On voit que les sources minérales qui ont un débit supérieur à 1 litre ont une température plus élevée que celles avec un débit plus faible.

Les mesures d'août 1978 se rassemblent bien sur une droite; on observe par contre une plus grande dispersion durant les mois de février 1979 et d'août 1979.

6-4-

LES GAZ

Les eaux minérales de la région étudiée sont riches en gaz carbonique. C'est le constituant principal auquel sont associés quelques gaz en très faible quantité :

hydrogène H₂, azote N, et quelques gaz rares.

L'anhydride carbonique CO₂ se présente sous forme combinée ; il entre dans la constitution de l'anion CO₃H₂ mais peut aussi être à l'état dissous, sous forme libre.

A l'aide d'un appareil Karat, nous avons pu estimer la quantité de CO₂ libre, contenue dans un litre d'eau à 18°C .

T A B L E A U N° 6 - 3

QUANTITE DE GAZ CARBONIQUE MESUREE DANS LES SOURCES MINERALES

Sources	Région	N°	Quantité CO ₂ libre contenue dans 1 litre d'eau en cm ³ / l			
			Eme- rgen:	4-1978	8-1978	2-1979
Du Volcan	Aizac	1		1340	1160	1220
DE La Coupe	"	2		1060		1030
Le Moulin de la Cos-	Vallée de la Besor-	3	1090	1200	1220	1150
te Marguerite le	gue	5	1230	1240	1210	1200
Chayne	"	6	1520		1235	1550
Rosa	"	7	1490	1120	1540	1410
Le Rocher du Merle	"	9	1180	1170	1190	1180
La Suprême du Ri-	Vallée de la Vola-	10	1030	1200	1080	1100
gaudet	ne					
La Reine des Basal-						
tes						
Daniel	"	11	1065	1110	930	980
Du Régal	Entraygues	14	950	830	1135	900
Estelle n° 1	Genestelle	15	1310	1250		
Estelle n° 2	"	16	1170	1170	1150	1170
Avellan	"	17	1390	1330	1280	1270
Revescut	Craux	18	915			1030
Le Vernay	Genestelle	19	900	1100	540	440
As ride	"	20	1340	1300	1390	1380
Bertoile	St Andéol de Vals	21	1310		1050	950
Le Peschier	Jaujac	23	1200	1040	1035	1180
Genève Pouzoula n° 1:	"	25	1110	1200	1050	1000
Genève Pouzoula n° 2:	"	26	1178	1280	1160	1130
La Salutaire n° 1	Prades	30	1390	1320	1150	1370
La Salutaire n° 2	"	30	1290	1170		1240
Le Vernet	"	31		860	900	810
Excellente	"	32	1235	1175	1300	1340
Chamblas n° 1	Malpas	33		1250	1070	1160
Chamblas n° 2	"	34		1090	1230	1100
Les Terrisses	Lalevade	36	925	920		740
Romégier	"	37	660	610		
LA Péryralade	Mayres	38		1160	1040	1120
Luzet	Thueyts	41	1120	1370	1180	1150
Vernède n° 1	"	42	1125	990	610	
Vernède n° 2	"	43		500	1220	1180
Mercier n° 2	"	45	1100	1050	620	330
Mercier n° 1	"	46	880	290		
Volcanique n° 4	Neyrac le Bas	48	1035	1160	1230	1180
Délicieuse	"	49	1250	1090	1135	1170
Volcanique n° 6	"	50	960	1030	945	990
Des Bains	" Les Bains	52	960	885	965	1170

Sources	Région	N°	Quantité CO ₂ libre contenue dans 1 litre d'eau en cm ³ /l			
			Emer:	4-1978	8_1978	2-1979
Meyras	Meyras	54		600		
Bienvenue	Neyrac les Bains	53		300		490
Arlix	Chirols	55	450	900	920	650
Amici e Laure Mar- guerite	"	56	1080	1120	1025	590
Chantemerle	Pestrin	57	1220	1015	1100	1060
Pauline	"	58	1275	1110		
La Ventadour	"	59	1080	1110	1140	
Bonnefont	Malfaugères	61		1250	1180	1090
Le Roux	Le Roux	62		1430	1280	1330

Cette valeur nous donne une idée approchée du débit gazeux de chaque source (tableau n° 6-3). Pour la plupart des sources ce volume de gaz est supérieur à 1 000 cm³/l.

Le record est atteint par la source le Rocher du Merle à Asperjoc, située au pied du volcan d'Aizac, avec 1 540 cm³/l en février 1979, dont une grande partie s'en dégage brutalement à l'émergence par décompression de l'eau.

6-4-(2) -

ORIGINE DES GAZ

Dans toutes les eaux de surface, il existe du gaz d'origine exogène. Le gaz carbonique hydrothermal, quant à lui, est d'origine endogène. Le gaz peut avoir une origine exogène :

toutes les eaux de surface contiennent, en petite quantité, du gaz carbonique provenant de l'atmosphère et du sol végétal grâce à l'activité biologique des plantes.

Ce CO₂, entraîné par les eaux d'infiltration, se trouve dans toutes les eaux superficielles. Les analyses chimiques des eaux douces de notre région, montrent qu'elles en contiennent 10 à 20 mg/l sous forme de CO₃H⁻.

Par contre, les sources minérales en contiennent 1 000 à 4000 mg/l, ce qui est considérable, sous forme de CO₃H⁻, auquel s'ajoute le CO₂ libre qui se dégage à l'émergence et qui n'est pas pris en compte dans les analyses.

Il est vraisemblable qu'une aussi importante quantité de gaz dissous ait une autre origine :

le gaz doit provenir de la profondeur, en relation plus ou moins étroite avec les phénomènes tectoniques et magmatiques. Ce serait un gaz en partie d'origine endogène. De nombreuses hypothèses existent quant à l'origine profonde de ce gaz carbonique.

Selon certains auteurs, il proviendrait soit de la croûte inférieure, soit du manteau. Touret (1974), a émis l'idée qu'au delà de la discontinuité du Conrad (dans la zone du faciès granulite) l'eau tend à être remplacée par un autre fluide : le gaz carbonique.

Cette hypothèse s'appuie :

- sur l'absence d'eau dans la constitution des minéraux caractéristiques de ce faciès (les pyroxènes et les grenats sont dépourvus d'ions OH⁻).

- sur l'étude des inclusions fluides des minéraux du faciès granulite, qui a montré qu'elles sont essentiellement formées de CO₂.

D'autres auteurs ont montré que ces fluides imprégnaient également les zones profondes du manteau supérieur :

Roedder (1972-1975) a identifié des inclusions de CO₂ dans des péridotites et dans des nodules de basaltes à olivine et Mitchell dans des Kimberlites, tous ces échantillons de roches provenant du manteau supérieur.

Ces idées pourraient très bien s'appliquer dans le Massif Central :

F. H. Forestier a reconnu des inclusions de fluides carboniques dans des séries granulitockarnokitiques affleurantes.

- Brousse (1962) et Bilai (1975) ont également montré que le CO_2 est le constituant majeur dans les enclaves homogènes des basaltes du Massif Central.

6-4-(2) -

CO₂ et volcanisme

Nous savons que l'Ardèche a été le théâtre d'un volcanisme récent quaternaire, avec des émissions de basaltes à olivine et péridotite, d'origine mantellique.

Il est probable que ce volcanisme, actuellement en sommeil, continue à se manifester par des exhalaisons gazeuses de CO_2 . Il a été reconnu deux mofettes dans la région : l'une au pied du volcan du Souillol à proximité de la source Des Bains, l'autre au pied du volcan d'Aizac (au col d'Aizac).

Nous pouvons faire une corrélation entre région à volcanisme récent et région riche en sources carbo-gazeuses et à émanation spontanée de gaz carbonique sec. Mais, il n'y a seulement qu'une corrélation qui n'est pas forcément une liaison génétique. Il est possible que le gaz carbonique ne soit qu'une manifestation associée au volcanisme.

Emanations carbo-gazeuses et volcanisme superficiel ne sont peut-être que deux effets d'une même cause. Selon Maisonneuve et Risler (1974), la tectonique cassante permet aux fluides hydrothermaux comme aux laves, de venir à la surface de la terre, mais le gaz carbonique peut provenir tout autant de la zone du manteau, où prend naissance le magma basaltique, que de la zone infracrustale du faciès granulite. " C'est donc tout autant du gaz carbonique mantellique, que du gaz carbonique infracrustale qui se dégage à la surface de la terre. "

Dans notre région, les fractures de l'écorce doivent être suffisamment profondes pour atteindre la zone génératrice de magma basaltique et permettre aux laves, comme aux fluides hydrothermaux, de venir à la surface.

Il est important d'insister sur l'origine probablement profonde des gaz, car notre étude de la fracturation, associée à notre étude hydrologique, nous permettra de déterminer avec plus de précision les fractures majeures, responsables du volcanisme et des émanations gazeuses.

6-4-(3) -

MIGRATION DU CO₂

La migration du CO_2 se fait sous forme dissoute dans l'eau puisque toutes les sources minérales en contiennent. Certainement, lors de sa remontée, le gaz doit rencontrer des veines aquifères et c'est par les circuits hydrothermaux que le CO_2 parviendra à la surface.

D'autre part, une faille hydrothermale plus ou moins ouverte, peut conduire à la surface des émanations de gaz sec ou mofettes, sans aucune venue d'eau, si le niveau supérieur atteint par l'eau thermale reste inférieur à la surface topographique. Il est probable qu'en altitude, il y ait un dégagement continu de CO_2 , tout au long des fractures hydrothermales, et qu'il passe totalement inaperçu.

A l'exception de deux mofettes reconnues dans la région, les émanations de gaz ne sont donc vérifiées que lorsqu'elles sont associées à des sources minérales.

Aussi l'estimation de la quantité de CO_2 libéré par des fractures du socle, est impossible à faire ; les émanations connues ne sont que des points isolés qui ne représentent qu'une faible part du volume gazeux qui à chaque instant, s'échappe du sol. Nous pouvons affirmer seulement que la Haute Ardèche est une région riche en émanations de CO_2 . Ces émanations sont évidemment plus nombreuses dans le socle. Le fluide carbonique pourra s'échapper d'autant plus facilement vers la surface que le socle ardéchois présente une tectonique de distension liée à des failles profondes (structure en horst et en graben).

6-4-(4) - ROLE DU CO_2 DANS LA THERMODYNAMIQUE HYDROTHERMALE

- La détente adiabatique du CO_2 intervient sur le refroidissement d'une eau thermale lors de sa remontée à la surface, mais il est difficile de quantifier le rôle de cet effet sur la température. Maisonneuve (1974), pense que l'abaissement de la température se manifeste près de l'émergence dans les derniers décimètres. Ceci intervient en même temps que d'autres facteurs tels les mélanges d'eaux superficielles que nous avons déjà évoqués précédemment dans le paragraphe n° 6-2-(3) - c).

- Les gaz occlus et dissous ont une double action physique et dynamique, dans la circulation des eaux thermominérales. D'une part, ils abaissent le poids spécifique de l'eau, d'autre part, la pression des gaz émulsionne l'eau et provoque son ascension. C'est près de l'émergence que cet effet intervient essentiellement, lorsque le gaz dissous passe en phase gazeuse et allège la colonne d'eau.

- Le dégagement du CO_2 est sensible aux variations de la pression atmosphérique. Une baisse de pression entraîne un accroissement du gaz dégagé et provoque un bouillonnement important de l'eau à l'émergence. Ce phénomène a été observé par exemple pour quelques sources de Vals les Bains : Désirée et Précieuse. (figure n° 6-4).

Une variation de 20 millimètres de mercure peut entraîner une modification de 20 à 30 % dans le débit

6-5 - LA RESISTIVITE.

6-5-(1) - RESISTIVITES OBSERVEES.

La résistivité a été mesurée sur le terrain, à l'aide d'un audithomètre. Les résultats des mesures sont donnés dans le tableau n° 6-4 en ohms centimètres à 18° Celsius. La mesure de la résistivité est une opération importante, c'est un paramètre inversement proportionnel à la minéralisation globale de l'eau, c'est une valeur très utile pour vérifier les variations de composition d'une source et pour faire des comparaisons.

Les eaux de surface ne présentent jamais une aussi forte concentration de sels dissous, aussi la résistivité est beaucoup plus élevée que celle des eaux minérales.

Dans notre région, constituée de terrains granitiques, la résistivité des eaux minérales est très faible et varie entre 120 et 1 500 $\Omega \cdot \text{cm}$.

La mesure de la résistivité est un moyen commode de contrôler la qualité des eaux. Si la résistivité est constante, c'est que l'influence des eaux de surface est minime.

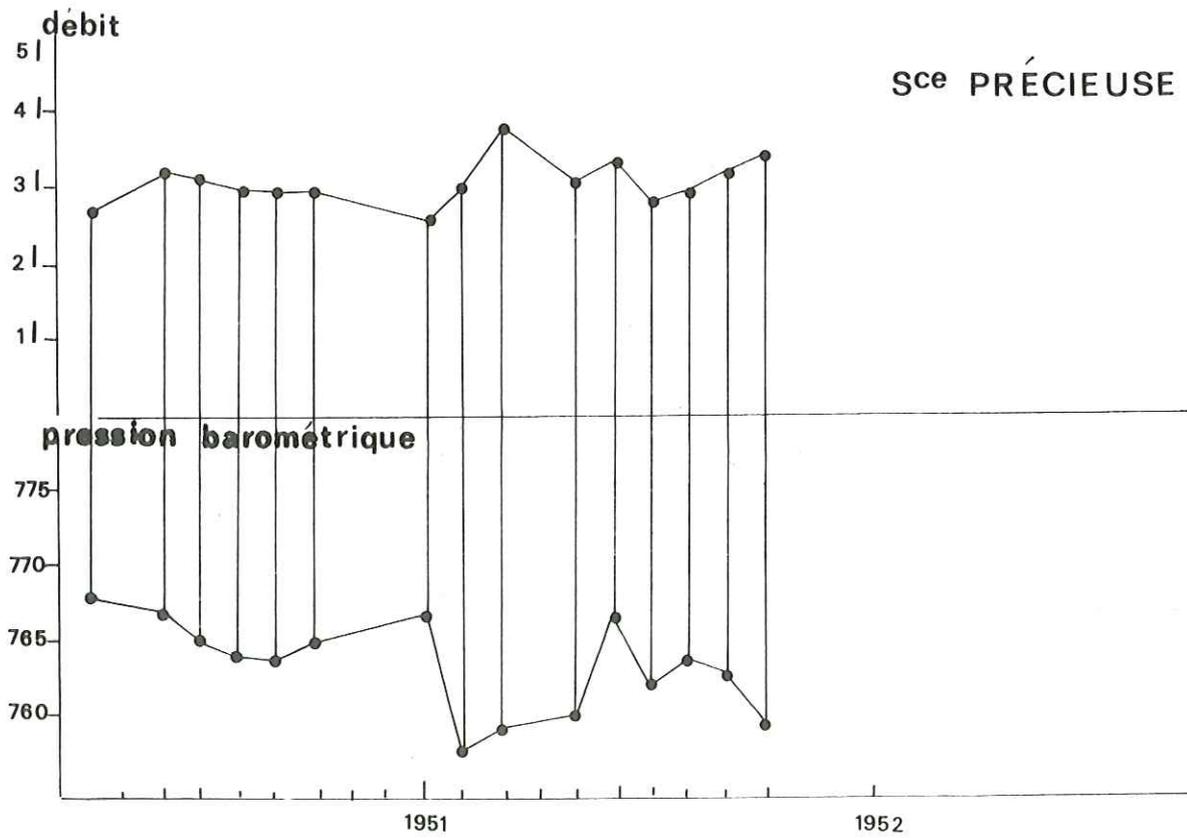
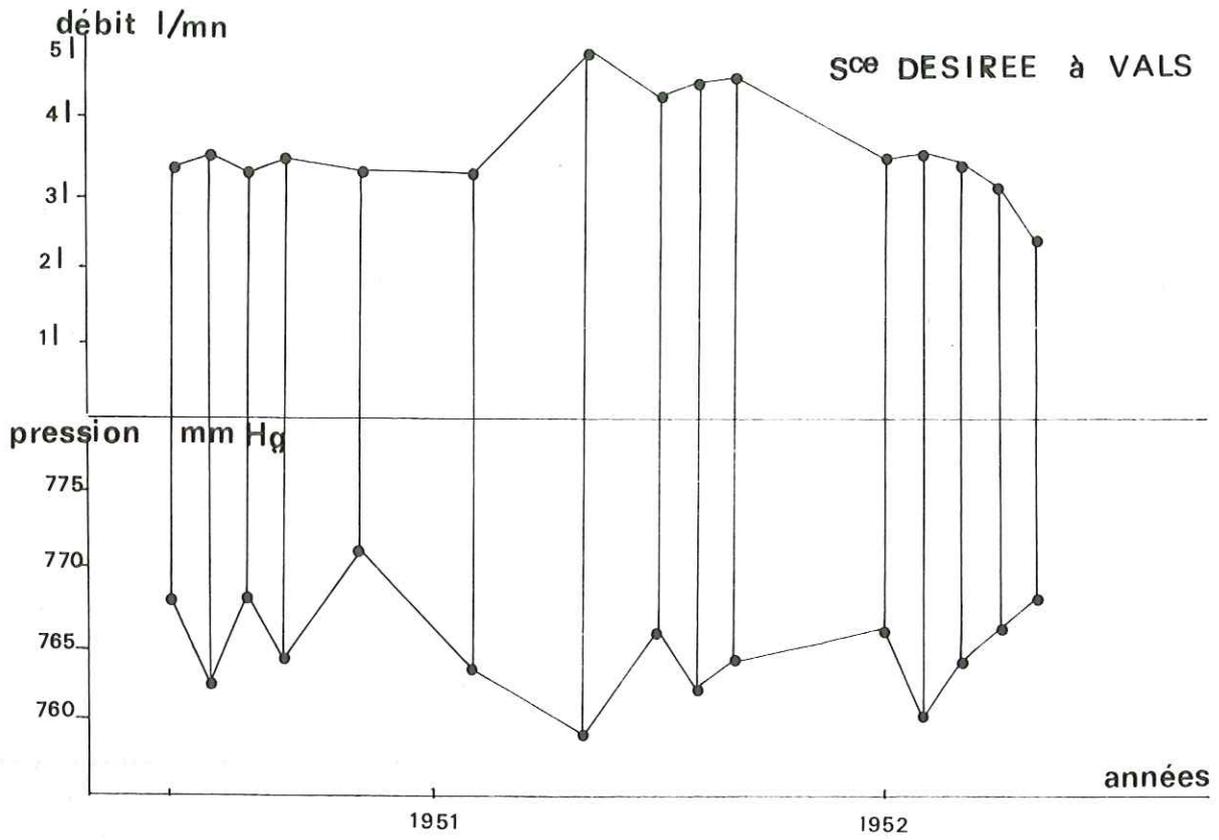


FIG. 6-4

6-6 -

RESUME.

Nous venons de présenter les caractéristiques principales des eaux minérales.

- La température ne nous apparaît pas comme un caractère significatif puisque toutes les sources ont des températures froides pas plus élevée que la température de l'air ambiant, à l'exception de celles de Neyrac les Bains.

- La teneur en gaz carbonique et la résistivité constituent par contre, deux caractères exceptionnels pour nos sources minérales : ce sont des sources très minéralisées et riches en gaz carbonique.

Ces deux caractères peuvent servir de comparaison entre toutes les sources afin de rechercher celles qui sont les plus intéressantes. Nous serons amenés alors à déterminer les causes naturelles de la localisation de ces émergences. Les chapitres tectoniques et volcanologique, ayant été largement développés, nous permettront de mettre l'accent sur la relation de ces émergences avec les événements structuraux et magmatiques.

6-7 -

COMPARAISON DES CARACTERES PHYSIQUES DES SOURCES MINERALES DU BASSIN VERSANT DE LA HAUTE ARDECHE.

6-7-(1) -

RAPPEL DE DEFINITIONS

a) Le griffon : c'est le point de sortie de l'eau minérale où l'on aborde en réalité le circuit hydrominéral.

b) Aire d'émergence : un groupement de points nous permet de tracer une aire d'émergence, comme un territoire dans lequel les facteurs structuraux majeurs influent inconstestablement, sur la localisation de l'ensemble de ces griffons.

c) Venue hydrothermale : ou filon d'eau minérale. Un filon d'eau minérale se manifeste en surface par une aire d'émergence, mais il peut toutefois être assez bien localisé par la recherche de la source la plus remarquable par son débit, sa richesse en gaz carbonique, sa forte minéralisation et sa thermalité (source principale).

d) Voies de cheminement des eaux ascendantes thermominérales :

- circulation profonde : souvent la circulation profonde de l'eau ascendante ne se fait pas dans toute l'étendue des fissures. L'eau suit un trajet dont, les dimensions latérales sont limitées à un chenal qui correspond à l'intersection de deux ou trois failles majeures. Ce chenal peut être élargi par les circulations privilégiées d'eaux qui dissolvent la roche encaissante.

- En se rapprochant de la surface, ce chenal alimente directement la source principale, mais il n'est pas aussi simple. Peu à peu, les fissures se présentent ouvertes augmentant la porosité de la roche, du fait de la décompression des terrains. Le chenal présente donc dans les niveaux supérieurs, des anastomoses recevant ou renvoyant des ramifications.



R - AVRIL 78.

RESISTIVITES OHMS . CM . 18°

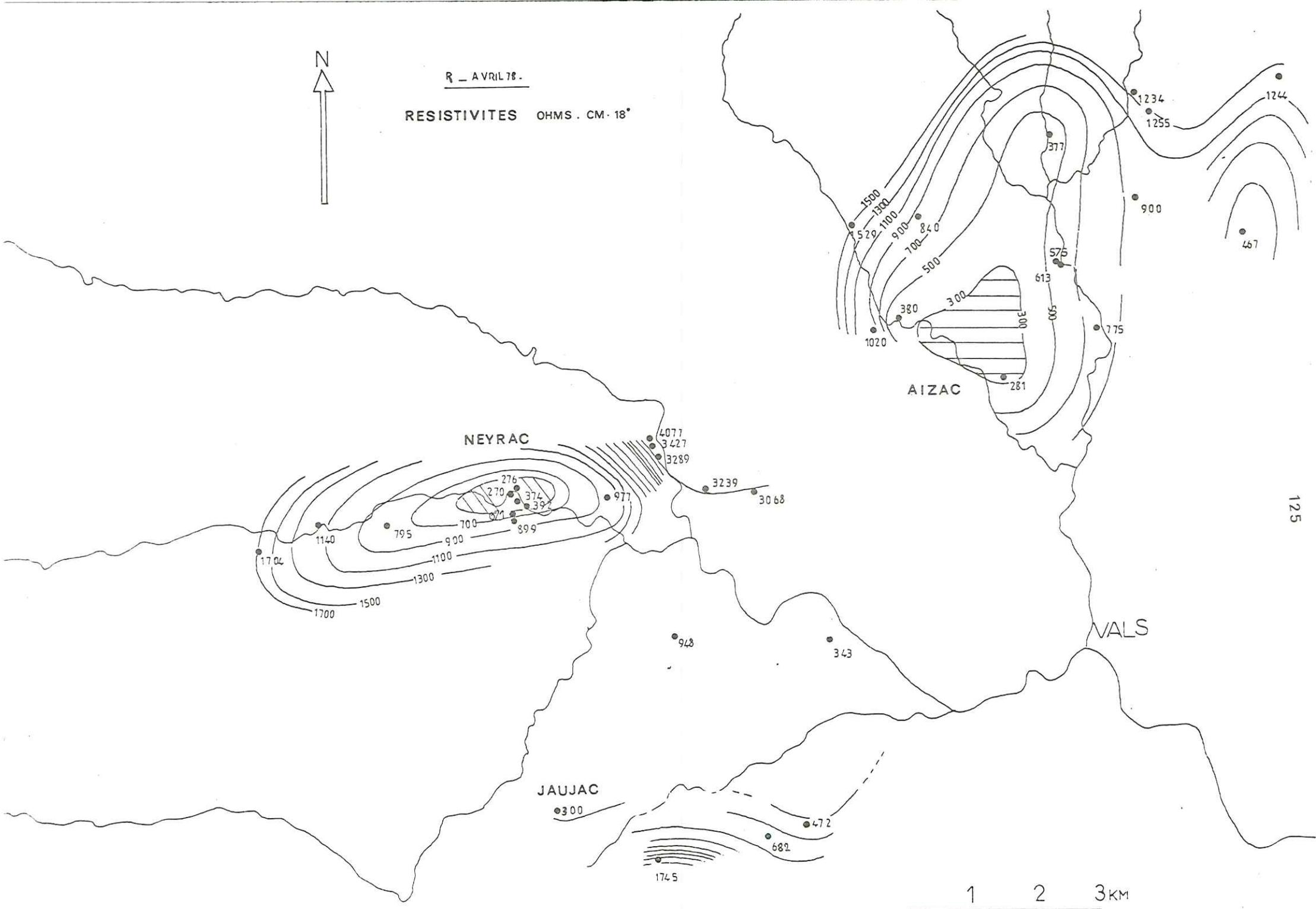
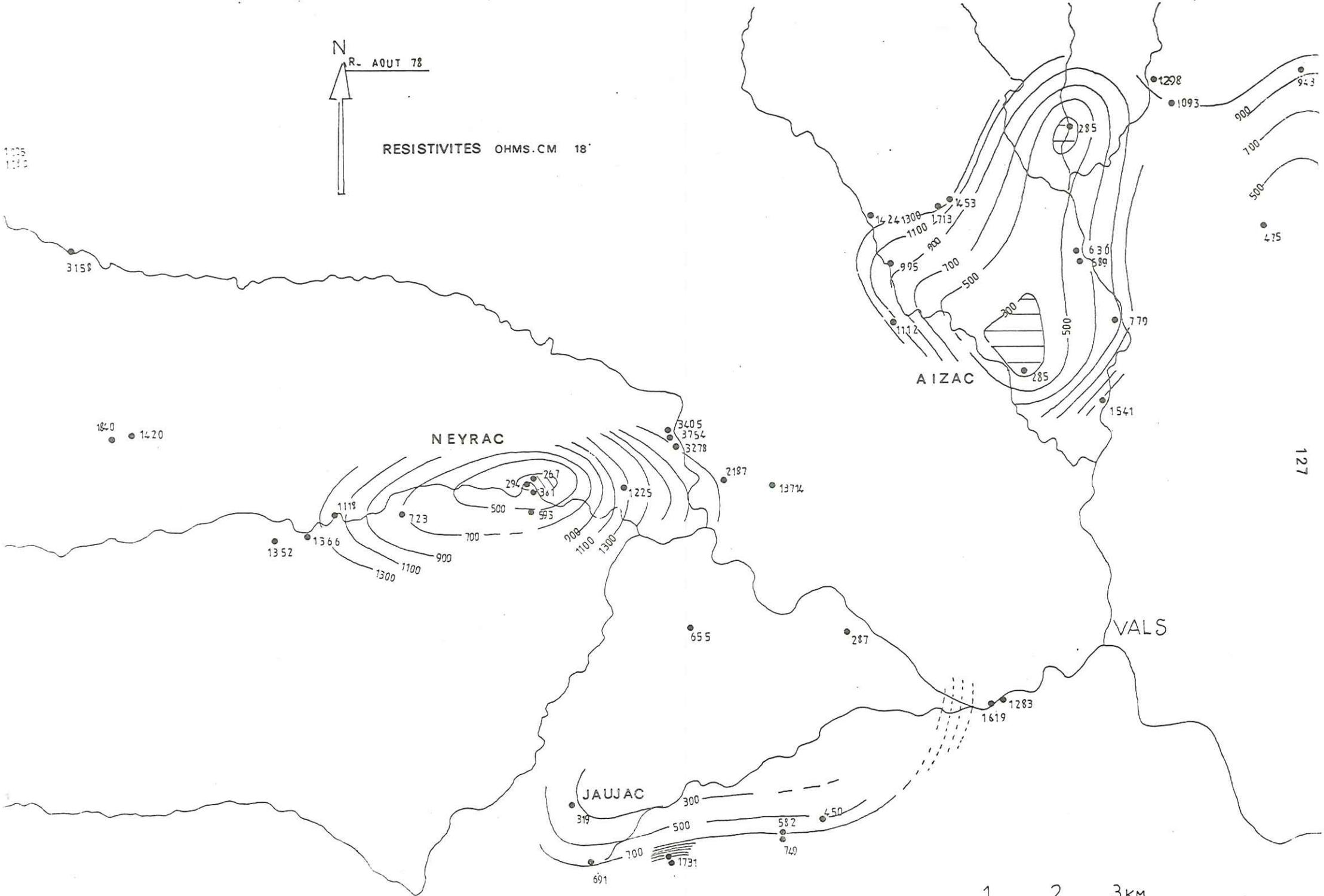


FIG. 6 - 6

1025
1030



RESISTIVITES OHMS.CM 18''



127

FIG. 6-8

1 2 3 KM

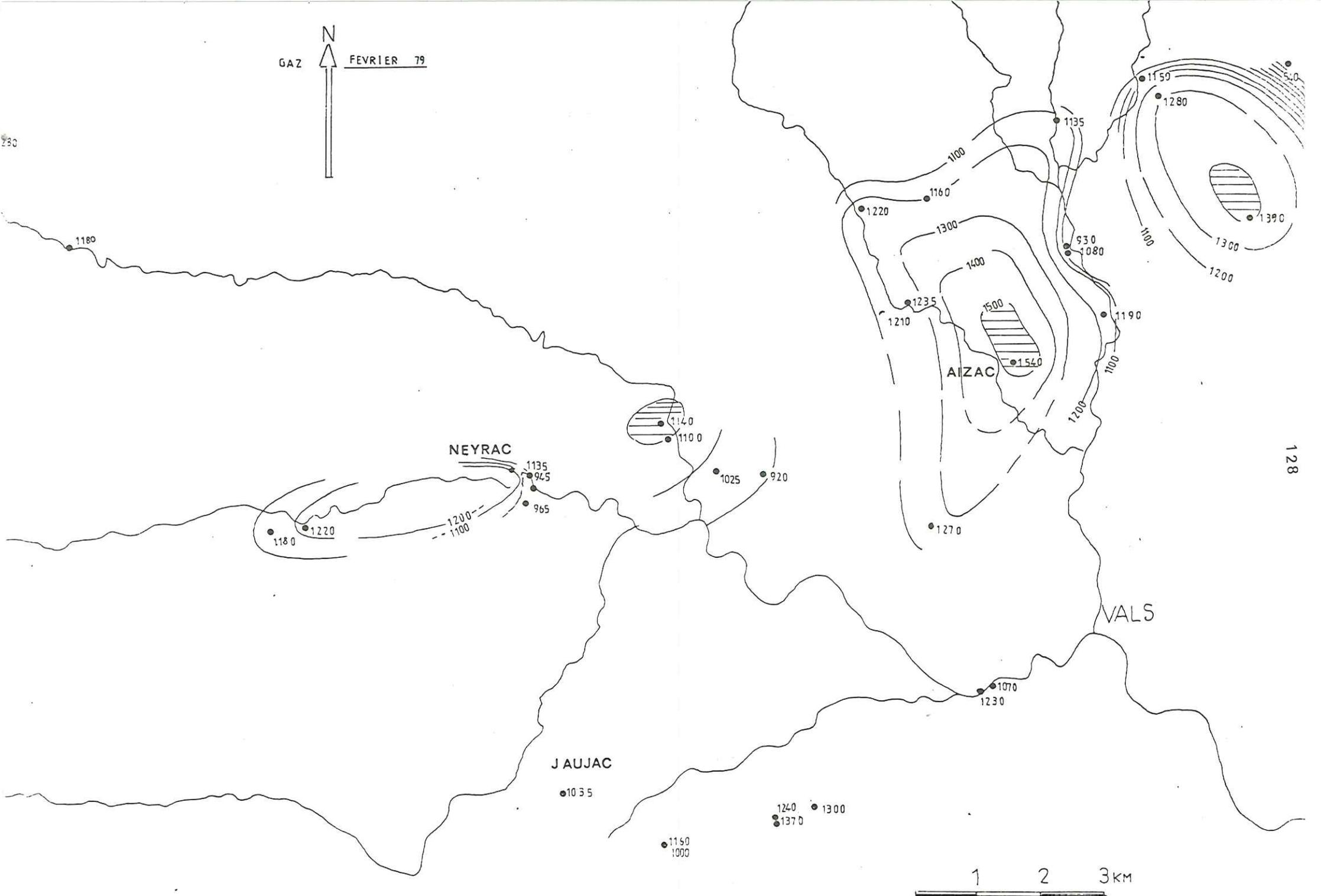
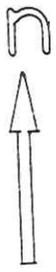


FIG. 6-9



R. FEVRIER 79

RESISTIVITES OHMS.CM 18'

59

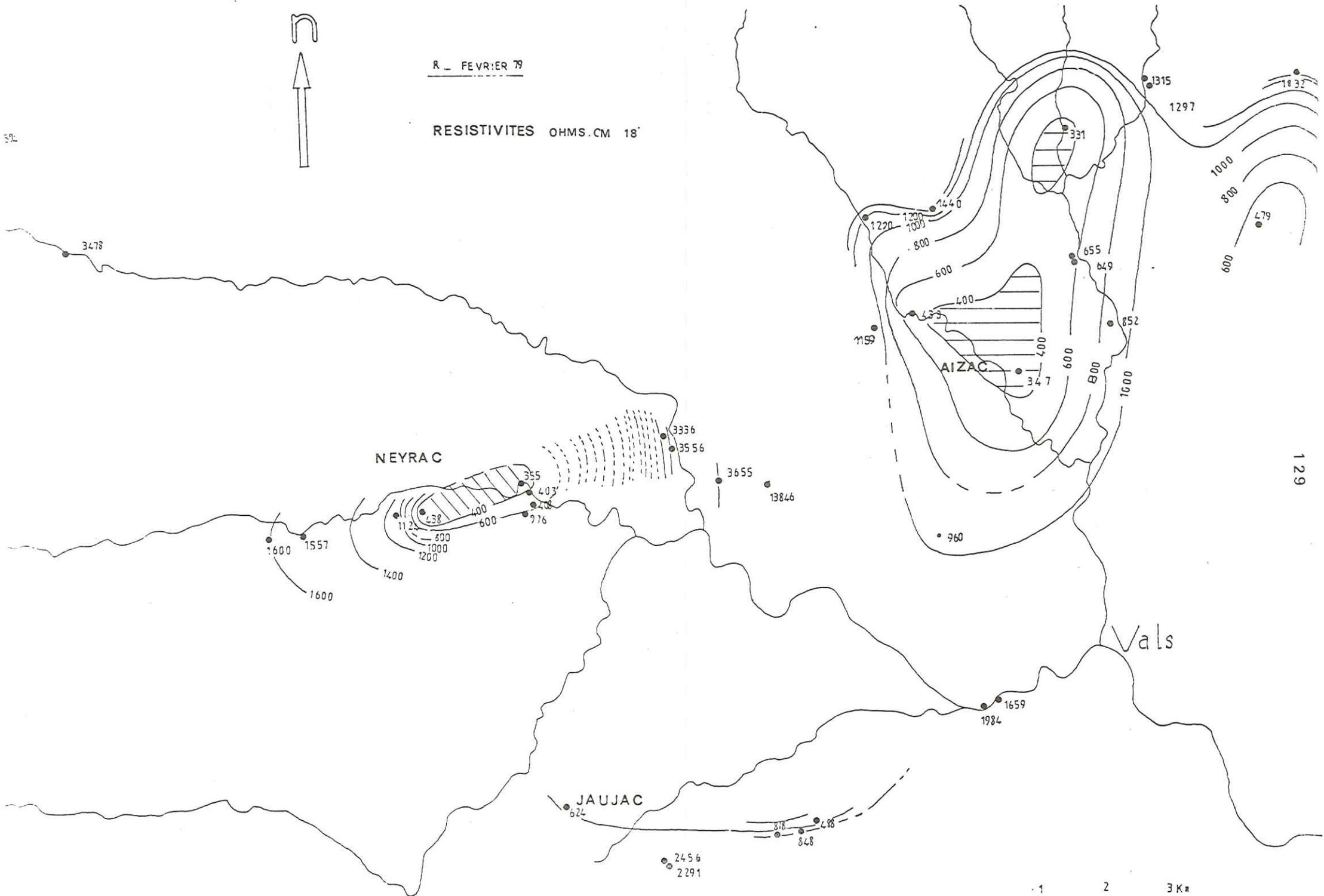


FIG. 6-10

1 2 3 Km

e) Source principale : une source principale se définit comme étant à l'emplacement de la venue directe hydrothermale, et dont les caractéristiques physicochimiques, nous donnent une idée approchée de ce qu'est l'eau minérale ascendante avant son mélange avec les eaux de surface. Ces sources sont considérées aussi bien du point de vue hydrogéologique, que du point de vue économique, comme les plus intéressantes.

6-7-(2) -

RECHERCHE DES AIRES D'EMERGENCE ET LOCALISATION DES SOURCES PRINCIPALES.

Il apparaît évident, d'après ces définitions, que notre travail doit commencer par la recherche des aires d'émergences, et la recherche des sources principales. Nous allons procéder pour cela, à une comparaison des mesures physicochimiques de toutes les sources minérales. Deux critères ont été retenus afin d'appuyer notre raisonnement :

- la résistivité inversement proportionnelle à la minéralisation de l'eau,
- la teneur en gaz carbonique dissous.

Ces deux paramètres sont faciles à mesurer sur le terrain et apparaissent les plus significatifs pour faire des comparaisons. A partir des mesures reportées sur la carte des émergences (figures 6-5, 6-6, 6-7, 6-8, 6-9, 6-10), nous avons tenté avec beaucoup de réserves, de tracer des courbes d'isorésistivités, ainsi que des courbes d'isoteneurs en CO₂. Ces courbes sont très critiquables si l'on considère l'éloignement des sources entre elles, néanmoins, elles mettent en évidence, quatre aires d'émergences dans le bassin versant de la haute Ardèche. Ce sont les groupes d'Aizac, de Neyrac, de Jaujac et de Vals les Bains.

1 - Le groupe d'Aizac.

Les sources de ce groupe sont situées au Nord-Est du bassin versant. Les valeurs s'ordonnent très bien à partir d'une zone centrale. Il existe, dans ce secteur un nombre de sources suffisamment important pour pouvoir cerner sans trop d'erreur la source principale : le Rocher du Merle (vallée de la Besorgue), la plus riche en gaz 1540 cm³/l et la plus minéralisée 300 Ω cm. En s'éloignant progressivement de ce centre, les sources périphériques présentent des taux de minéralisation et des débits gazeux qui vont en décroissant. (Voir cartes).

Ces sources s'inscrivant assez bien dans une géométrie régulière de la carte ^{des} isorésistivités et ^{des} isoteneurs en gaz, nous pouvons considérer ces résultats comme significatifs. Les mesures effectuées à différentes saisons ne font qu'appuyer notre hypothèse, les courbes redessinant à chaque saison la même aire d'émergence principale.

2 - Le groupe de Neyrac.

Il semble que Neyrac soit également à l'emplacement central d'une venue thermominérale. La teneur élevée en CO₂ 1100 cm³/l, la forte minéralisation 267 Ω cm (en août 78 pour la source Délicieuse à Neyrac le Bas) et même la thermalité 23° pour la source Des Bains à Neyrac les Bains, montrent que ces eaux viennent directement d'un tronc thermal.

En s'éloignant de Neyrac, aussi bien à l'Est qu'à l'Ouest, on observe une diminution progressive de la minéralisation et de la teneur en gaz dissous, d'autant plus marquée que les eaux ont dû suivre un plus long parcours à partir du tronc thermal. (Figures n° 6-5 à 6-10).

3 - Le groupe de Jaujac.

Les sources de ce groupe, émergent à la périphérie du petit bassin houiller de Prades ; les sources de Prades, jalonnent la bordure Sud du bassin (faille Sud du Lignon), les sources des Terrisses et Lalevade, la bordure Nord, les sources de Malpas sont au Nord-Est . Les sources de Jaujac à l'Ouest traversent les sédiments du Houiller, mais à la faveur d'une intense fracturation qui a donné lieu à une éruption volcanique (Coupe de Jaujac).

Il semble que les sédiments houiller, masquent ou empêchent les émergences d'eaux minérales. Ces formations peuvent "éponger" les eaux minérales ascendantes qui les traversent. Aussi l'aire d'émergence semble plus difficile à cerner, les courbes n'ont pu être tracées complètement. Nous retiendrons, deux sources (Excellente et Salitaire), qui par leur constance de résistivité, et leur richesse en CO_2 , peuvent être désignées comme sources principales.

4 - Le groupe de Vals les Bains. (figure 6-11)

(Caractères physicochimiques et modalité d'émergence des eaux minérales de Vals les Bains).

- Introduction : le très grand nombre de forages de Vals les Bains, concentrés sur une aire assez réduite, mérite une étude particulière. Disposant d'une documentation considérable sur les eaux de Vals, il nous a été possible de faire une observation précise de l'aire d'émergence et de bien définir les sources principales de ce secteur.

- Localisation géographique : toutes les émergences sont groupées sur la rive gauche de la Volane. Les concentrations de points sont accrues aux confluent des ravins des Sausses, de Béatrix et de Lachaux avec la Volane , tandis que se trouve blottie sur la rive droite, la vieille agglomération de Vals les Bains, sans point d'émergence. Dans les archives on note que 169 sources ont fait l'objet d'une déclaration ministérielle d'exploitation ; actuellement ne sont autorisées que 50 sources par suite de nombreuses obturations et d'abandons.

Néanmoins, nous disposons encore d'un nombre suffisant de mesures pour faire des comparaisons. Les mesures des eaux minérales vont nous permettre de mieux situer le filon aquifère ascendant d'origine profonde. D'autre part, elles vont nous permettre de préciser les modalités de mélange avec les eaux de surface ; l'intérêt de ce groupe de sources, étant la surface restreinte de l'aire d'émergence.

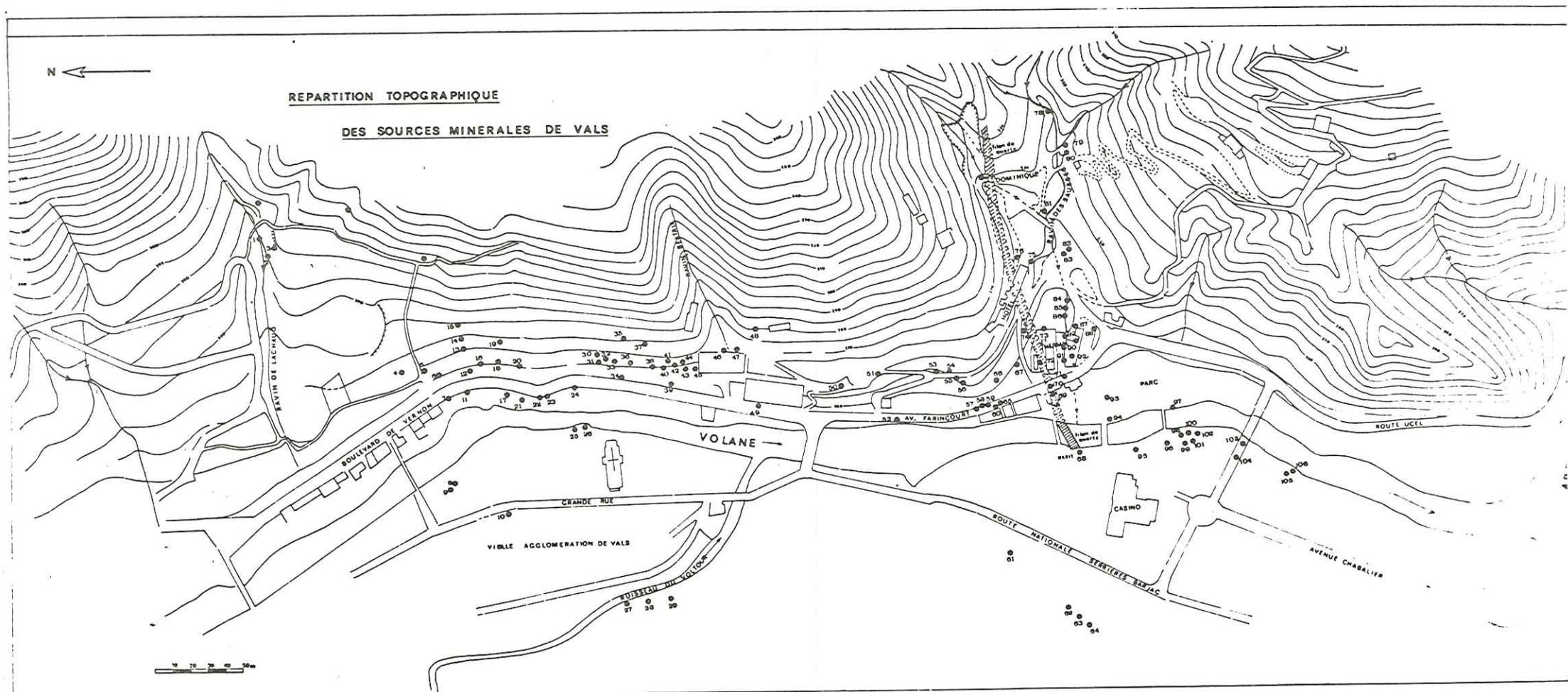


Fig 6-11

INDEX DES SOURCES MINÉRALES DE VALS LES BAINS (figures 6-11)

<u>Nom de la source</u>	<u>N°</u>		
<u>St Jean Lachaud</u>	1	Apollon	53
Berthe	2	Aimée	54
St Jean des Garneyres	3	Elisabeth	55
Sirène	4	Romaine	56
<u>Idéale</u>	5	Des Bernardins	57
Gauloise	6	Fauvette	58
Phénix	7	Henri	59
St Félicien	8	Victoria	60
Céline	9	Fédérale	61
Philomène	10	Lamartine	62
Stella	11	Lucette	63
La Rose	12	Colbert	64
Jeanne d'Arc	13	<u>Des Rois</u>	65
Carmen	14	Lucie	66
<u>Mireille</u>	15	Sultane	67
Diamant	16	Marie	68
Immortelle	17	Avenir	69
St André	18	<u>Hélène</u>	70
Renommée Casimir	19	Champagne	71
St Pierre	20	<u>St Jean bis</u>	72
Napoléon	21	Charmeuse	73
<u>Lemery</u>	22	<u>Des Bains Alexandre</u>	74
<u>Du Pasteur</u>	23	<u>Constantine</u>	75
St Martin	24	<u>Pauline</u>	76
Vals 3 étoiles	25	<u>Dominique</u>	77
<u>Reine St Martin</u>	26	St Louis du Bois	78
Ste Jeanne	27	Adrienne	79
St Félix	28	<u>Bénédictine</u>	80
St Philippe	29	<u>Rigolette</u>	81
<u>Amélie</u>	30	<u>Camuse</u>	82
Victoire	31	<u>Désirée</u>	83
Croix de Malte	32	<u>Des Princes</u>	84
<u>Magali</u>	33	Préférée	85
Calonie	34	<u>Duchesse</u>	86
Diane	35	<u>Tourette</u>	87
Croix Bleue	36	<u>La Reine</u>	88
Croix de Vals	37	Emilienne	89
Mady	38	<u>Pétillante</u>	90
St Jacques	39	Incomparable	91
<u>Manon</u>	40	Zélie	92
Emilie	41	<u>Précieuse</u>	93
<u>Perle n° 7</u>	42	Magdeleine	94
<u>Perle n° 3</u>	43	Sophie	95
<u>Progrès</u>	44	Vivaraise E	96
<u>Aïda</u>	45	<u>Digestive</u>	97
<u>Bréatrix</u>	46	<u>Vivaraise D</u>	98
Gazeuse	47	<u>Vivaraise C</u>	99
Soleil	48	<u>Vivaraise B</u>	100
<u>Impératrice</u>	49	Vivaraise A	101
<u>St Jean</u>	50	Juliette	102
Santé	51	Isor	103
St Jean ter	52	<u>Du Parc</u>	104

Les sources soulignées bénéficient d'une autorisation

d'exploitation.

- Caractères physicochimiques des sources.

Nous avons choisi d'appuyer notre raisonnement sur quatre critères : la thermalité, la résistivité, la minéralisation en chlorure et en anion CO_3H^- . Toutes les mesures ont été faites en juillet 1977, période sèche de l'année. Les cartes établies révèlent que les sources se divisent en trois lots.

a) La thermalité fig 6.12

1 - Le lot du ravin des Sausses au Sud-Est, est le plus important en nombre de forages, ils est également constitué par des sources les plus intéressantes. Ces émergences s'inscrivent dans une géométrie régulière de la carte des isothermes. Une veine aquifère s'élève à travers les migmatites à la faveur d'un filon de quartz orienté Nord 70° . En surface la fissuration contribue à la dissipation de l'énergie calorifique. Les sources les plus chaudes 16° se situent dans le fond du ravin. Les sources les plus froides 12° sont de part et d'autre sur une ceinture un peu plus élevée.

2 - Le second groupe, est situé au Sud-Ouest dans la vallée de la Volane à l'intérieur de la zone urbanisée. Les courbes isothermes font apparaître deux sources chaudes.

3 - Le troisième lot de Béatrix, est plus complexe. Les Sources les plus chaudes se cantonnent sur le versant en altitude, comme l'avaient remarqué les exploitants " l'eau minérale provient de la montagne ". En se rapprochant de la Volane, la température diminue progressivement. A noter qu'ici, les courbes isothermiques se calquent aux courbes topographiques, redessinant les talwegs de Béatrix et de Lachaux. Cette situation provient, du fait que la diffusion de chaleur apportée par l'eau thermale est contrariée par les eaux de ruissellement de surface, chaque petit talweg morcelant le front qui, sans cela eut été continu.

b) Résistivité fig 6.13

Les gradients de résistivité sont très parlants. Une notion fondamentale se dégage de la carte ; toutes les sources dont la résistivité est supérieure à $200\Omega\cdot\text{cm}$ (en dehors de la zone hachurée), peuvent être suspectées de n'être qu'un mélange avec les eaux de surface.

Les courbes d'isorésistivités se calquent sur les courbes isothermes.

- dans le fond du ravin des Sausses, le taux de minéralisation est le plus élevé.

- Les courbes d'isorésistivités des sources du deuxième lot dessinent également, une zone centrale très minéralisée.

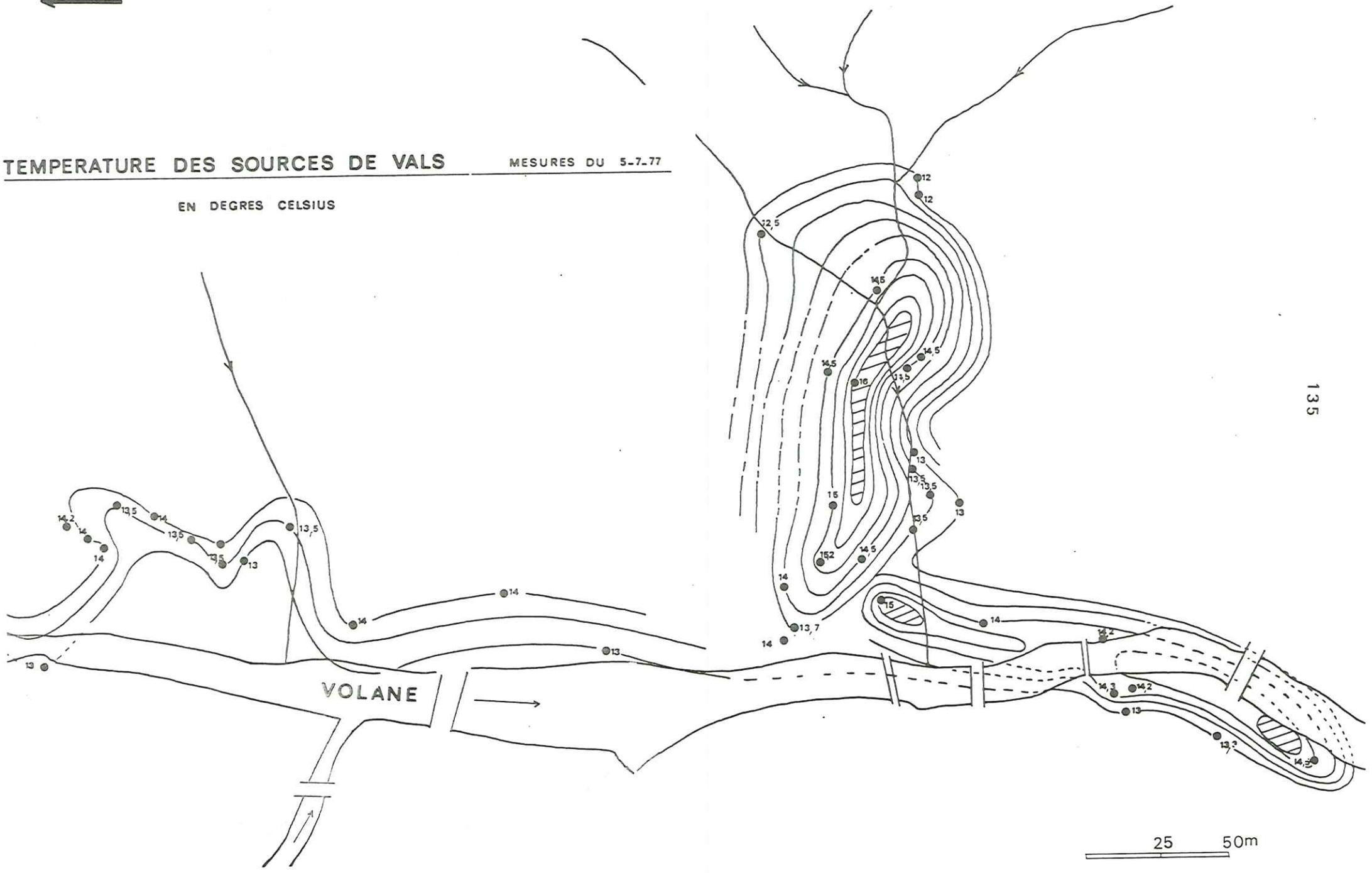
- Les sources du troisième groupe, mettent en évidence un front de minéralisation qui est fonction de l'altitude. Au fur et à mesure que l'on descend la pente, le taux de minéralisation décroît régulièrement.



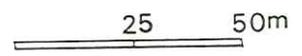
TEMPERATURE DES SOURCES DE VALS

MESURES DU 5-7-77

EN DEGRES CELSIUS



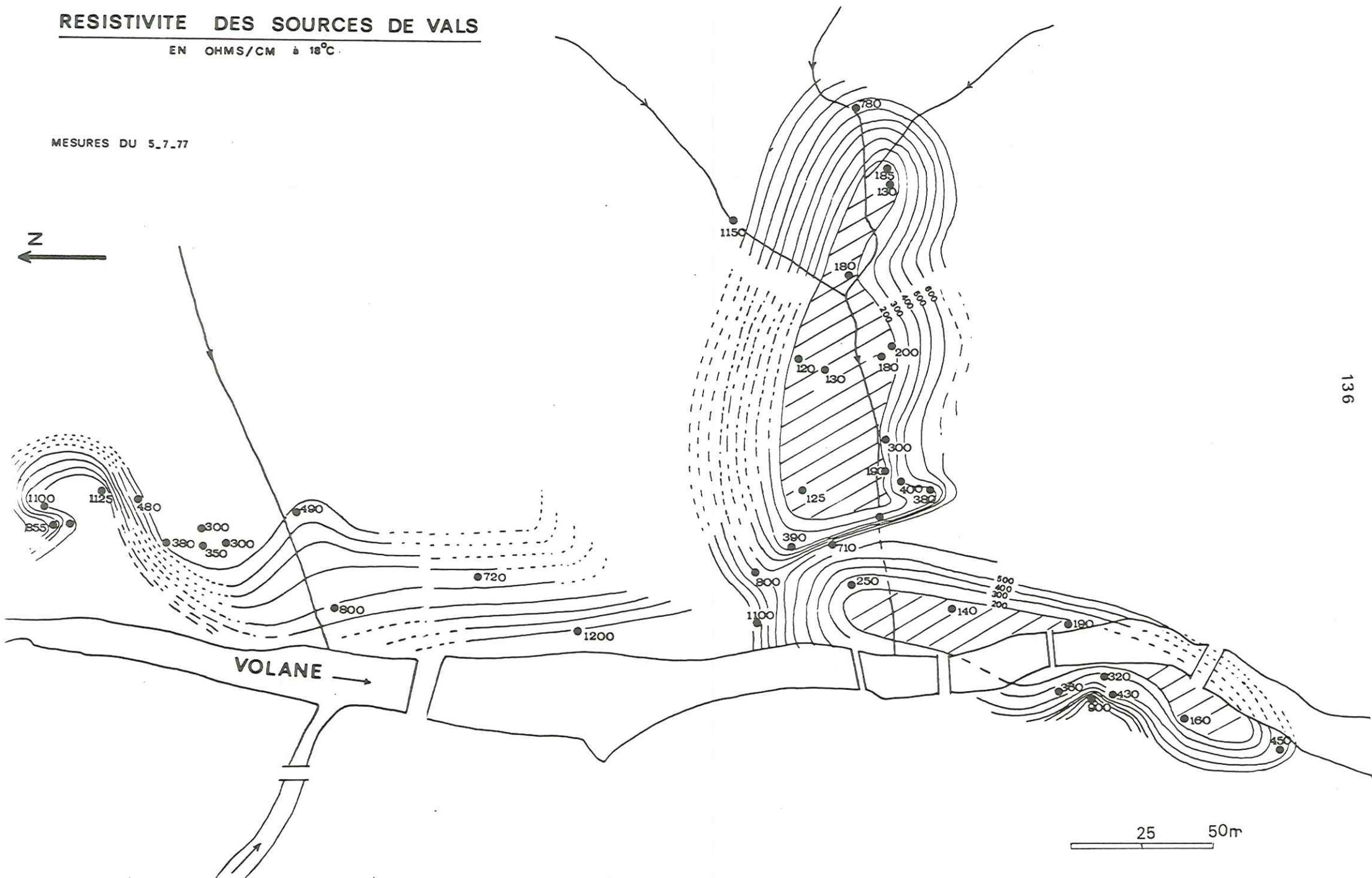
135



RESISTIVITE DES SOURCES DE VALS

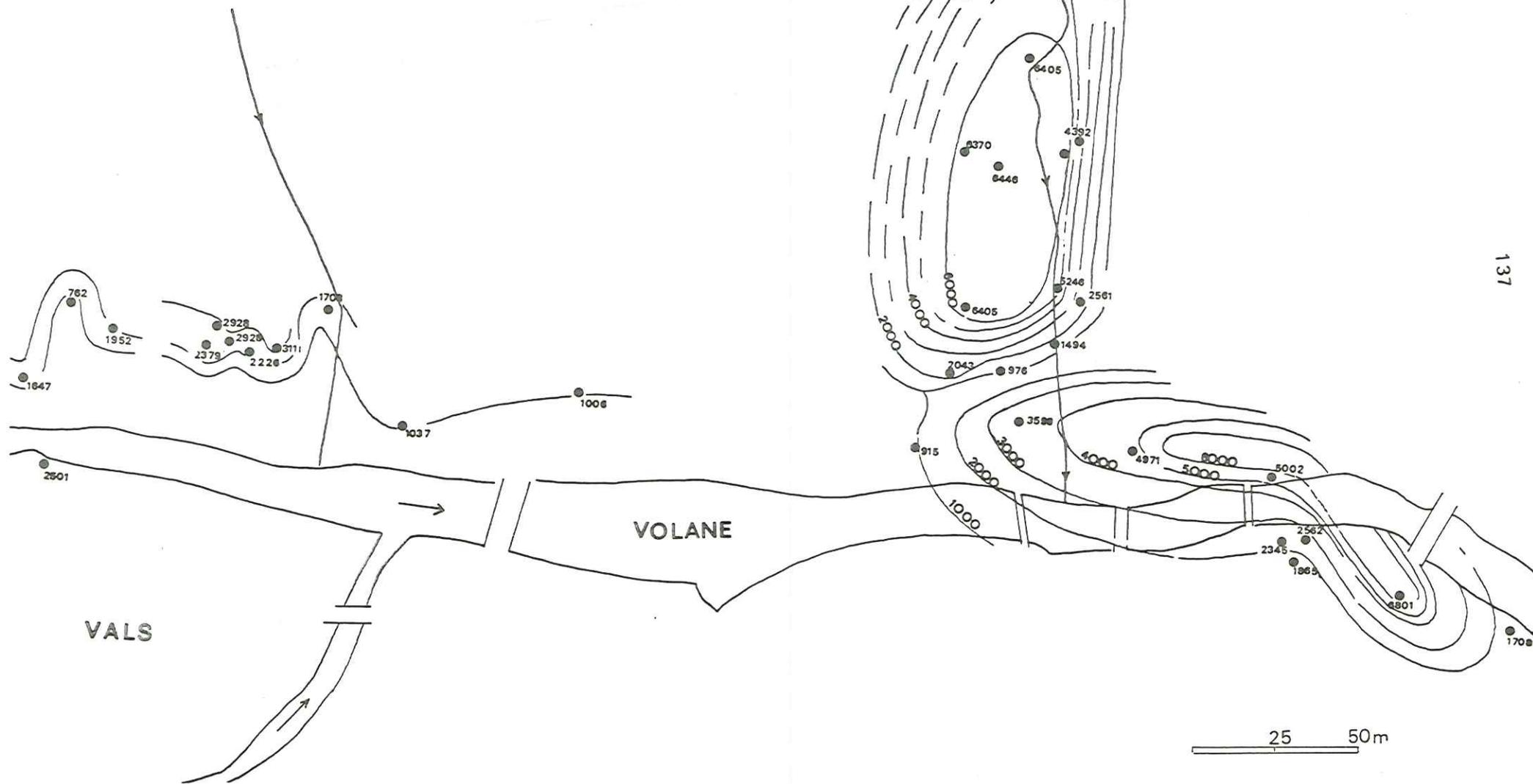
EN OHMS/CM à 18°C

MESURES DU 5.7.77





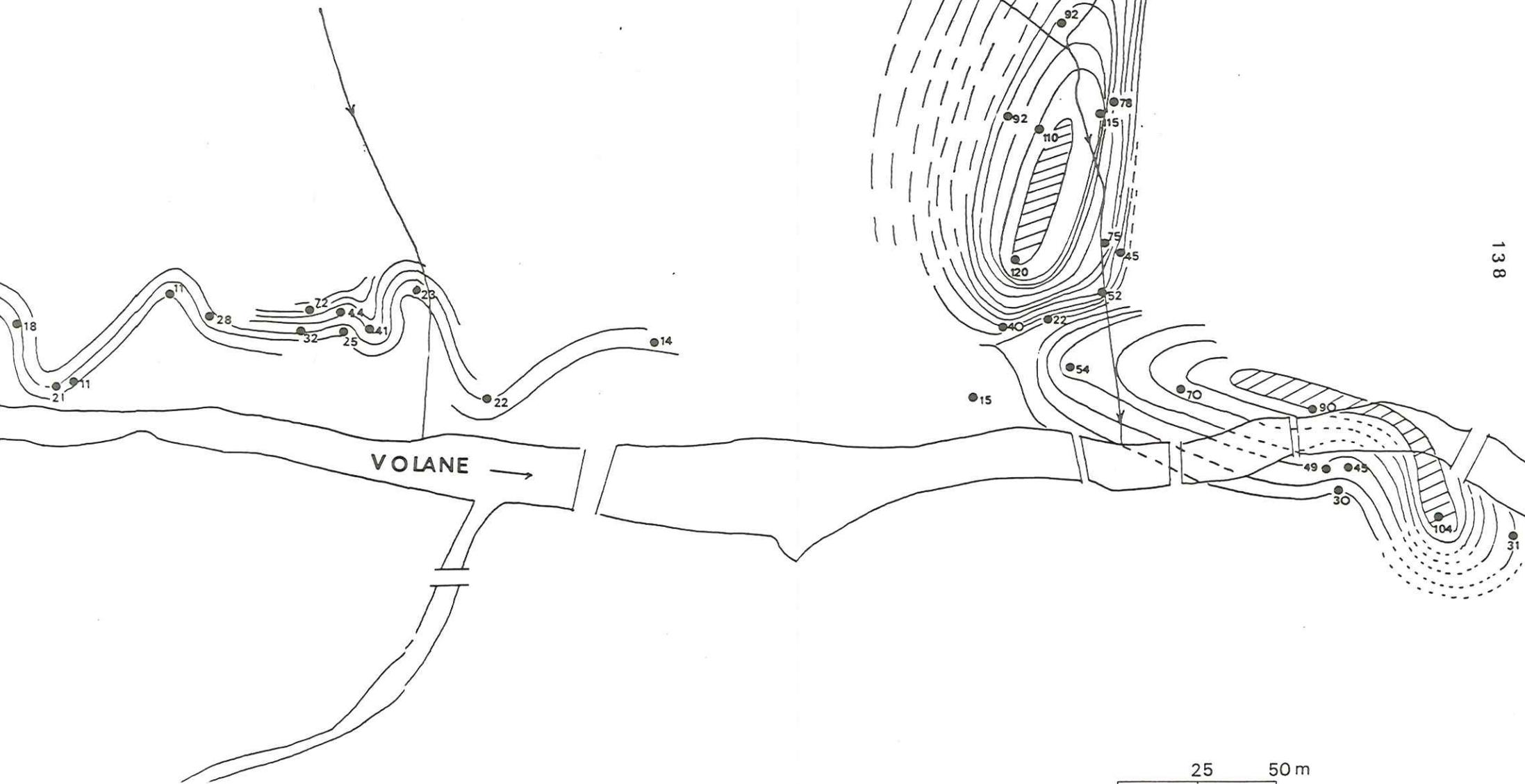
CO₃H⁻ en mg/l MESURES DU 5.7.77



137



CHLORURES cl'en mg/l DU 5.7.77



138

c) Bicarbonates CO₃H- et chlorures fig 6-14 et 6-15

Les courbes d'égales teneurs en CO₃H- et ion CL-, s'inscrivent dans la même géométrie. Elles confirment l'existence de trois zones (indiquées en hachures sur les cartes) regroupant, les sources principales qui émergent sans trop subir de modification. Ces trois zones sont situées, la première au fond du talweg des Sausses, la deuxième au Sud, en aval de la Volane, la troisième au Nord dans la montagne.

Toutes les sources, en dehors des aires hachurées, ne sont que des mélanges avec les eaux superficielles. Les courbes ont l'intérêt de montrer que ces mélanges, se font progressivement au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la veine aquifère ascendante, à l'exception, des sources St Jean, Hélène et Pétillante qui sont alignées sur une fissure Nord. Ces sources doivent subir des mélanges importants et rapides, avec les eaux d'infiltration car, cette ligne de sources froides sépare brutalement les sources chaudes du premier groupe de celles du deuxième groupe. Ces deux lots, ne font partie en fait, que d'une seule venue hydrothermale qui sans la faille n'aurait pas été morcelée.

En résumé :

Les sources minérales de Vals les Bains, présentent des différences de température et de composition chimique, qui sont en fonction de facteurs locaux tels, que la topographie, la fracturation du socle et les conditions locales de l'infiltration et du transfert souterrain des eaux de pluies.

Quelques sources principales, situées dans le ravin des Sausses et de la Volane, soulignent l'emplacement de la venue hydrothermale directe.

Les autres sources périphériques ne sont que des mélanges avec les eaux superficielles (météoriques). La multiplication des forages destinés à recueillir les anastomoses (filets d'eau dispersés au travers de petites diaclases), a été d'un grand intérêt pour l'étude de la géométrie précise de l'aire d'émergence.

6-7-(3) -

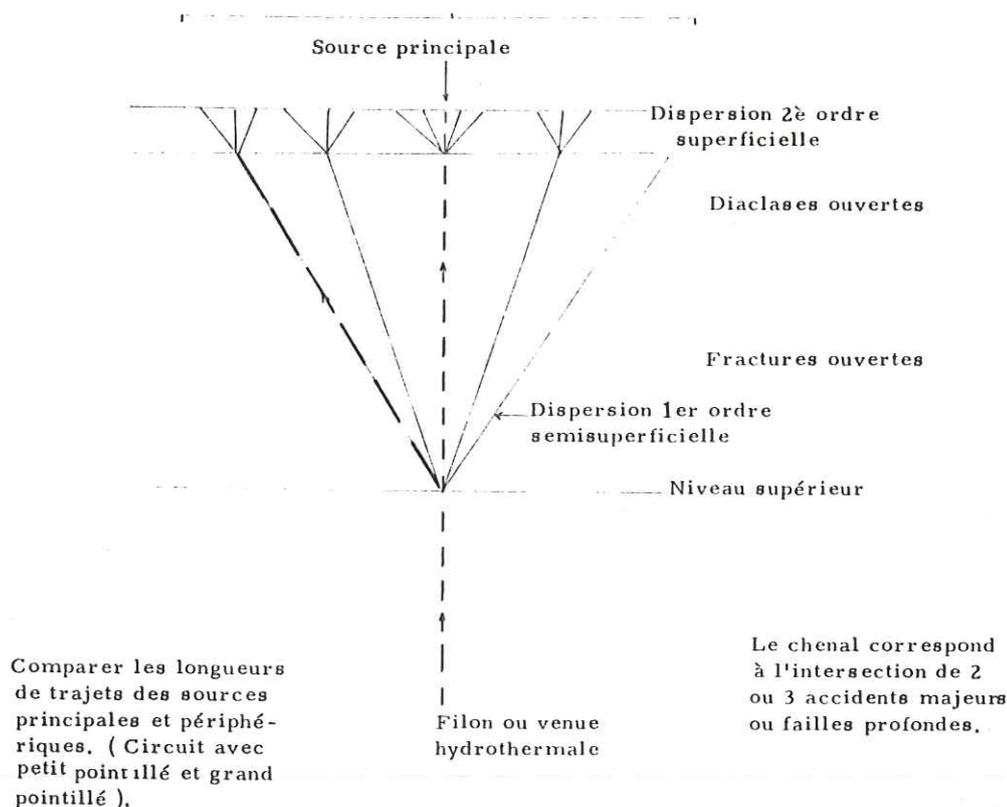
RESUME DES GROUPES D'AIZAC, DE NEYRAC, DE
JAUJAC ET DE VALS LES BAINS.

a) Nous venons d'étudier les sources minérales du groupe de Vals les Bains à une échelle bien différente de celle des autres groupes. Néanmoins, nous retenons pour chaque groupe, l'existence d'une aire d'émergence, dans laquelle on donne le nom de sources minérales à des points, qui ne sont que la manifestation d'une seule venue hydrothermale.

Le fait de changer d'échelle ne change en rien cette interprétation. En effet, nous pouvons imaginer les modalités de dispersions du filon aquifère à différentes profondeurs : tout dépend, de la profondeur du départ des ramifications : Les anastomoses sont toutefois moins nombreuses que dans les niveaux superficiels, où les fissures et diaclases sont denses et bien ouvertes, multipliant les émergences, mais seulement sur un petit rayon. (Exemple de Vals les Bains).

Le schéma suivant met en évidence les voies de cheminement des eaux minérales de différents ordres.

Aire d'émergence



En s'éloignant de la source principale, le mélange avec les eaux météoriques devient de plus en plus important, du fait d'un plus long trajet souterrain, les probabilités de rencontre des eaux météoriques infiltrées, seront plus fortes. D'après la longueur des ramifications (plusieurs kilomètres), il est probable que ces mélanges soient semi-superficiels, ce phénomène se traduisant par une diminution de la minéralisation, du débit gazeux et de la température pour toutes les sources périphériques.

b) Comparaison des mesures de CO₂ libre en différentes saisons. (fig 6.5 à 6 - 10)

Une notion fondamentale se dégage de l'examen de ces cartes. Les courbes d'isoteneurs en gaz, mettent en évidence des dômes de pression centrés autour des sources principales.

- C'est en août 1978, que ces dômes sont les plus larges, comme le témoignent les aires hachurées. Dans chacune d'elle existent plusieurs sources présentant des débits gazeux élevés.

- Au printemps 1978, les aires hachurées sont plus petites, et seule la source principale a un important débit gazeux. Ce phénomène permet de mieux cerner l'emplacement de la venue thermominérale.

<u>Août 1978</u>			<u>Avril 1978</u>	
Groupe d'Aizac	(De la Coupe	1340	Le Rocher du Merle	1490
	(Rosa	1240	Rosa	1520
Groupe Neyrac	(Des Bains	1090	Des Bains	1230
	(Pestrin	1100	Pestrin	1275
	(Amicie	1100		
Groupe Jaujac	(Salutaire	1320	Salutaire	1390
	(Genève	1280		

Ce resserrement du dôme de pression accompagné d'un plus fort débit gazeux, peut s'expliquer par l'influence des eaux superficielles abondantes en hiver. Ces eaux, en s'infiltrant par les fissures secondaires, doivent s'opposer au filon aquifère ascendant qui, dans les niveaux supérieurs présente des anastomoses. Le conflit, entre les eaux de surface descendantes et les eaux minérales ascendantes, peut se manifester au printemps par une concentration des gaz, au niveau de la source principale.

En été, période de sécheresse, les forces ascensionnelles des gaz sont suffisantes pour permettre une diffusion des gaz par toutes les fissures et sur une plus large surface. La pression des gaz doit être en cette saison supérieure à la pression hydrostatique des eaux superficielles infiltrées.

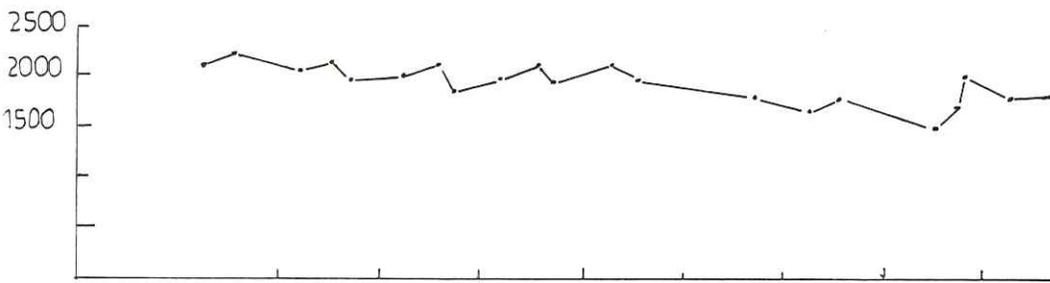
c) Etude des variations en fonction du temps, de la résistivité et de la température. (Exemple du groupe de sources d'Aizac). fig 6-17

Les sources minérales, durant leur période d'exploitation, ont été l'objet d'un contrôle semestriel de la résistivité et de la température. Les dossiers de chaque source, consultés au Service des Mines d'Aubenas, fournissent les mesures de ces deux paramètres sur une période qui remonte à des dizaines d'années. Cette documentation est intéressante, car elle nous permet d'étudier les variations en fonction du temps de ces deux paramètres, plus particulièrement pour le groupe d'Aizac où six sources ont pu être contrôlées. (Pour les autres groupes, nous ne disposons pas d'une documentation aussi complète de chaque source).

Ces sources sont :

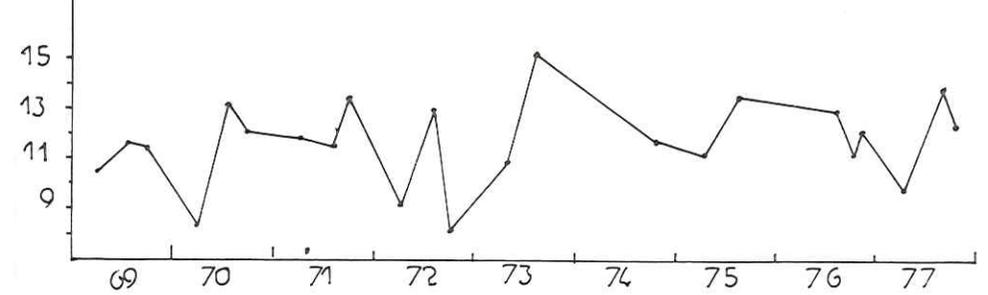
Sce Rosa	vallée de la Besorgue
Sce Ste Marguerite	
Sce La Ferrugineuse	
Incomparable	vallée de la Volane
Sce La Reine des Basaltes	
Sce La suprême du Rigaudel	vallée de la Volane
Sce de la Coupe	à Aizac

Résistivité

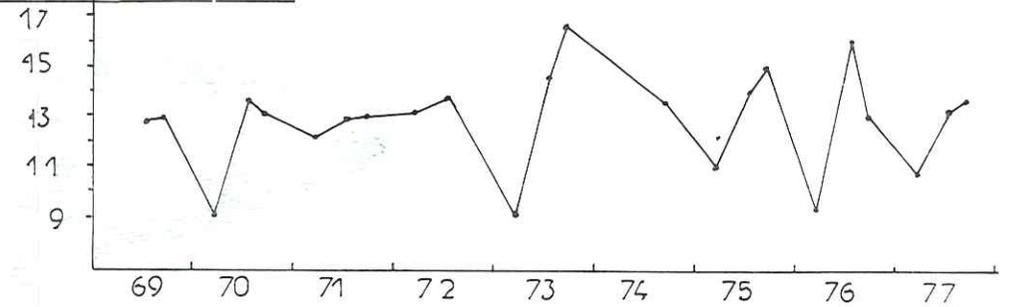
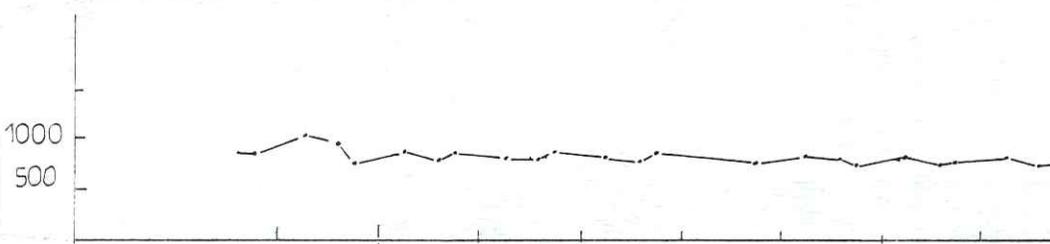


Température

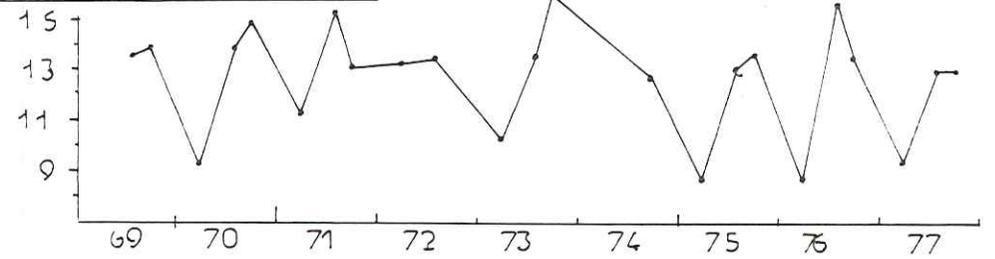
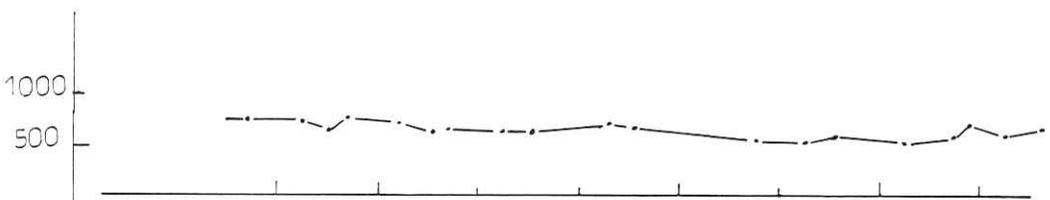
AIZAC



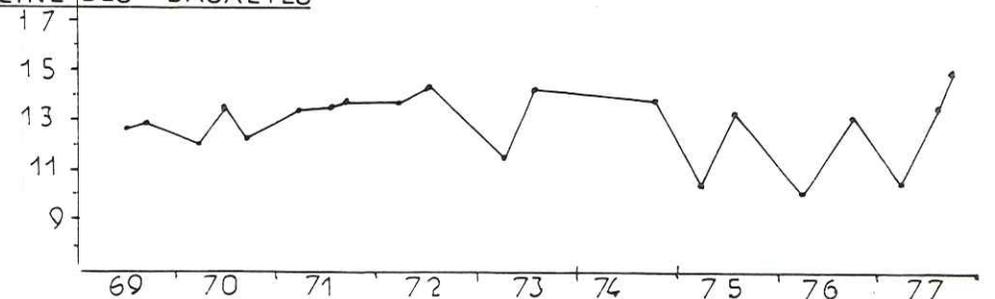
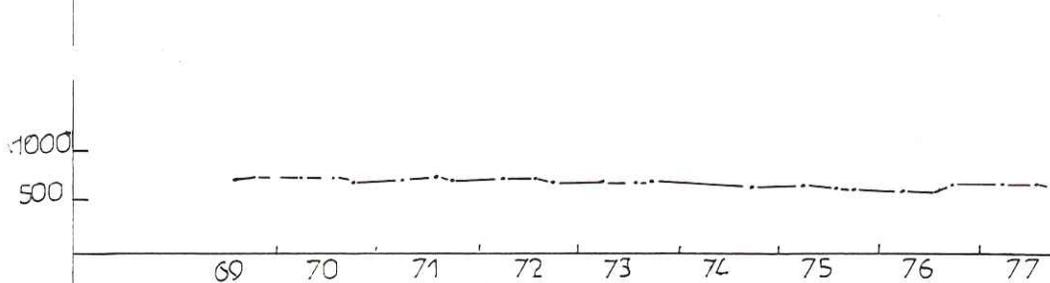
LA SUPREME DU RIGAUEL



LA FERRUGINEUSE INCOMPARABLE



LA REINE DES BASALTES



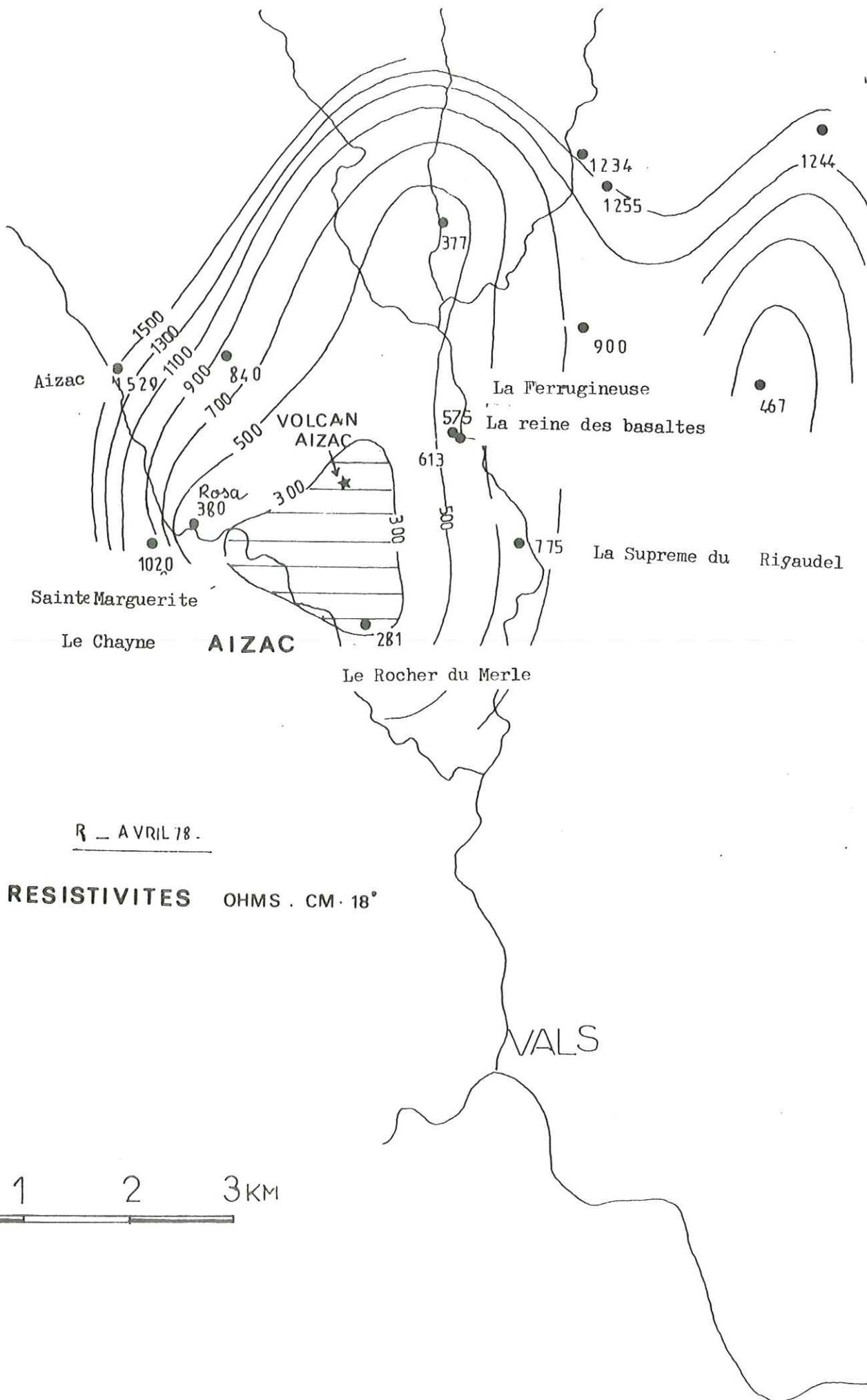


FIG 6-17

- Résistivité.

Les courbes de résistivité ont été tracées uniquement à titre indicatif. Ces courbes ne peuvent être complètes étant donné que nous ne disposons que de deux mesures de résistivité, effectuées au mois de mars et d'août.

Il aurait fallu une moyenne mensuelle, pour avoir une idée précise des variations saisonnières.

La source Rosa.

Nous allons commencer par étudier cette source qui d'après la carte (figure n° 6-1 7) semble la plus proche de la source principale. Distante de 1400 mètres de cette dernière, la source Rosa ne présente pas de grandes variations de résistivité. Durant la période d'exploitation, de 1953 à 1965, la résistivité la plus faible enregistrée est de 500 ohms centimètre, la résistivité la plus forte : 700 ohms centimètre.

La constante de minéralisation signifie que cette source est peu sujette à des mélanges d'eaux superficielles, ce qui est normal, si l'on considère que l'eau minérale provient directement, de la venue principale, sans trop subir de modifications par les infiltrations d'eaux météoriques.

- La source Ste Marguerite présente une résistivité un peu plus élevée allant de 600 à 800 ohms centimètre : la variation de résistivité étant encore réduite, nous obtenons toujours une droite.

- Les sources : la Reine des Basaltes et la Ferrugineuse (figure n° 6-16) Incomparable, étant à proximité l'une de l'autre présentent les mêmes taux de minéralisation. Leur résistivité varie de 550 à 800 ohms centimètre. Cette fois-ci, la courbe oscille légèrement au cours des saisons.

- La source la Suprême du Rigaudel encore plus à la périphérie de la venue principale, présente une résistivité comprise entre 750 et 1000 ohms centimètre.

- Enfin la source d'Aizac, située tout à fait à la périphérie de l'aire d'émergence, voit sa résistivité plus forte, varier de façon très nette de 1500 à 2200 ohms centimètre. Ceci est significatif d'un mélange plus important avec les eaux superficielles.

En résumé, les sources périphériques présentent des variations saisonnières de la résistivité, d'autant plus fortes qu'elles sont éloignées de la source principale. Ceci permet de confirmer l'hypothèse d'un mélange important dans les ramifications de la veine thermominérale.

Malheureusement nous ne disposons pas de mesures pour la source principale : Le Rocher du Merle, qui n'a jamais été exploitée. Il serait pourtant nécessaire, de vérifier si cette source garde une minéralisation constante au cours des saisons et ceci sur une longue période. Nos mesures effectuées sur une courte période de 1977 à 1979, indiquent que la résistivité ne varie presque pas. L'intervalle de variation n'étant que de 60 ohms centimètre entre l'hiver et l'été.

Températures :

Les températures varient beaucoup au cours des saisons et ceci pour toutes les sources.

	Températures minimales observées	Températures maximales observées
Rosa	8°	15° période de : 1953 à 1965
Ste Marguerite	9°	13° période de : 1950 à 1959
Ferrugineuse Incomparable	8,8°	16° période de : 1968 à 1977
Reine des Basaltes	10°	15° période de : 1968 à 1977
Suprême du Rigaudel	9°	16°6 période de : 1969 à 1977
Aizac	8°	15° période de : 1968 à 1977

Remarquons que les courbes se ressemblent et présentent les mêmes pics aux mêmes moments. Ceci pouvant indiquer que les eaux minérales sont issues d'une seule venue.

6-8

CONCLUSION

A l'échelle du bassin versant, les soixantes sources minérales disséminées dans la campagne ne sont en réalité que des points d'émergence de quatre venues hydrothermales. Nous avons pu localiser les troncs thermominéraux par la recherche des sources principales.

Notre étude structurale, entreprise dans le chapitre précédent, dans le but de déterminer les familles de failles susceptibles de véhiculer les fluides, peut être complétée à présent en fonction de ces nouveaux résultats.

6-8-(1) -

FACTEURS STRUCTURAUX

Ce qui nous intéresse fondamentalement, ce sont les facteurs structuraux responsables de ces quatre venues principales.

La circulation profonde des eaux minérales dépend des failles majeures. Nous allons donc nous intéresser aux grands accidents du socle, voir si les directions structurales majeures se combinent à Aizac, à Vals les Bains à Jaujac et à Neyrac, cela en considérant la position des sources principales par rapport au schéma structural. figure 4.2

1) A Aizac : la source principale "le Rocher du Merle" a son griffon à l'intersection de la faille de la Besorgue (Riedel de type R') avec la faille de Laulagnet (fente d'extension de type T).

2) A Vals les Bains, nous avons mis en évidence une venue thermominérale dans le ravin des Sausses. En cet endroit les sources principales se situent à l'intersection d'un ancien filon de quartz, orienté Est-Ouest, avec la faille de Labégude (Riedel de type R), orientée Nord 20°, à ces deux directions principales s'ajoute une intense fissuration Nord 150°.

3) A Jaujac l'aire d'émergence semble plus difficile à encadrer, car elle est en partie masquée par les sédiments du Houiller de Prades. Cependant, sur la bordure Sud, on note que la faille Sud du Lignon, facilite de nombreuses émergences. Cette faille, ancienne, orientée Est-Ouest est réactivée par le décrochement de Vals les Bains puisqu'elle est recoupée par des Riedels R, R', T, (Nord 20°, Nord 140° et NS) qui doivent jouer en cisaillement et en extension.

Les sources principales : La Salutaire, Excellente et le Peschier sont à l'intersection de ces Riedels avec l'ancienne structure tectonique Est-Ouest.

4) A Neyrac, la source Des Bains est située au croisement de trois failles fondamentales. Il est possible d'envisager l'emplacement de la veine thermale, à l'intersection de la faille de l'Ardèche (Est-Ouest), avec des fractures d'extension Nord 150° ainsi que des failles d'extension de type T.

En somme, les sources principales ont leurs griffons installés à l'intersection de failles anciennes - (Est-Ouest), de Riedels R, R' et de fentes d'extension de type T. L'emplacement de chaque venue thermominérale semble être conditionné par une combinaison différente de ces failles, mais ce n'est pas là, une condition nécessaire et suffisante pour faciliter le passage d'une venue thermominérale directe.

D'après le schéma structural (figure 4-2) chapitre IV, on voit qu'il existe dans la région, des combinaisons de Riedels et de fentes d'extension avec d'anciennes failles Est-Ouest, qui ne donnent lieu à aucune émergence connue. Nous ne pouvons donc pas expliquer précisément les emplacements des troncs thermaux d'Aizac, de Vals les Bains, de Jaujac et de Neyrac, par la seule étude de la fracturation.

6-8-(2)

LES FACTEURS MAGMATIQUES.

Il est possible que l'on trouve une explication à la distribution de ces quatre aires d'émergences principales, par l'étude des facteurs magmatiques.

Rappelons qu'il existe dans la région un alignement remarquable de six volcans, selon une direction moyenne Nord 150°. Les bouches volcaniques sont situées aussi bien dans les fonds de vallée que sur les crêtes des montagnes. Remarquons d'autres part, que les émergences principales sont souvent à proximité d'un volcan. Ainsi la source principale le Rocher du Merle est situé à 800 m du cratère d'Aizac. De même l'aire d'émergence de Prades est à proximité du volcan de Jaujac. Plus à l'Ouest, l'aire d'émergence de Neyrac, semble être en liaison avec les volcans du Souillol et de Thueyts situés au Sud-Est et au Nord-Ouest de la source principale des Bains.

Par une simple observation cartographique, nous nous apercevons donc que ces trois aires d'émergences semblent être en liaison avec les volcans quaternaires; aussi est-il probable que les venues thermominérales empruntent en profondeur les fissures volcaniques, puisque les sources principales sont situées à proximité de volcans.

Toutefois, le groupe de sources de Vals les Bains ne répond pas à cette condition puisqu'il n'existe aucun appareil volcanique dans ce secteur. Nous remarquons que Vals les Bains, constitue le point le plus bas du bassin versant de la haute Ardèche cristalline. D'autre part, Vals les Bains se situe sur une zone extrêmement fracturée, par rapport au reste de la région.

Il est peut-être préférable de nous poser le problème de la répartition géographique des aires d'émergences à une autre échelle.

A l'échelle du Massif Central, le secteur de Vals les Bains se situe au carrefour de trois dislocations majeure profondes.

- Le plus ancien accident est représenté par les failles Est-Ouest, soulignées par de larges bandes de mylonites. Considérées comme d'anciennes zones de dislocations, elles délimitent la bordure Sud du Noyau arverne et séparent deux blocs cratoniques.

- L'accident de Vals les Bains, décrochement sénestre orienté Nord 40° , constitue le deuxième accident majeur de la région. Il se manifeste sur une zone où s'engagent de nombreuses discontinuités élémentaires.

- Il existe enfin, une troisième direction majeure qui semble conditionner l'alignement Nord 150° des volcans du Vivarais et même du Velay. Cette orientation des volcans indique un amincissement de la croûte. Roblot a même émis l'hypothèse de l'existence d'un Rhegme (juin 1978).

L'intersection de ces trois accidents majeurs, se faisant dans le secteur de Vals les Bains, peut justifier les quatre venues thermominérales dans cette région. Ces quatre venues à l'échelle du Massif Central, peuvent être interprétées elles-mêmes, comme la manifestation d'une venue principale, centrée au carrefour de ces trois accidents. Le fait de changer d'échelle, nous amène chaque fois à interpréter le circuit souterrain des eaux minérales à des profondeurs de plus en plus importantes et inconnues.

C H A P I T R E VIICARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES EAUX MINERALES DE LA REGION DE LA
HAUTE ARDECHE

7-1

INTRODUCTION

7-2

REPRESENTATION GRAPHIQUE DES ANALYSES CHI-
MIQUES.

7-3

ORIGINE DE LA MINERALISATION

7-4

LES DEPOTS A L'EMERGENCE

7-5

VARIATION DE LA MINERALISATION SUIVANT LES
SOURCES.

7-6

VARIATION DE LA COMPOSITION CHIMIQUE D'UNE
SOURCE A L'AUTRE (PROPORTIONS VARIABLES DES
DIFFERENTS CATIONS).

CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES EAUX MINÉRALES

7-1

INTRODUCTION

Nous venons de faire la synthèse des données structurales et magmatiques afin de mieux saisir les modalités du circuit souterrain emprunté par les eaux minérales. Plus précisément, nous avons basé notre étude sur la position des griffons, points où l'on aborde en réalité la fin du circuit souterrain.

La géochimie des eaux va être présentement étudiée. Elle nous aidera à connaître le reste du circuit souterrain, c'est à dire l'infiltration des eaux et leurs parcours prolongés sous terre. Dans ce chapitre nous ferons une étude des éléments majeurs présents dans chaque eau, mettant en évidence les variations de compositions chimiques observées d'une source à l'autre.

Dans le chapitre suivant, des analyses récentes des éléments traces et les compositions isotopiques, réalisées sur un certain nombre de sources principales, nous permettront de déterminer plus précisément l'origine des eaux minérales de l'Ardèche.

Ce n'est qu'après cette présentation, que nous serons en mesure de tenter de comprendre l'origine de la minéralisation de l'eau, les conditions de dissolution des ions, et de déterminer ceux liés plus spécifiquement au volcanisme et ceux liés au socle.

De plus cette étude apportera encore des éléments nouveaux sur le cheminement possible des eaux souterraines.

Dans ce chapitre nous allons décrire les eaux minérales du point de vue chimique, ceci à partir des nombreuses analyses chimiques effectuées sur les eaux de sources qui ont fait l'objet d'une exploitation à un moment donné ou à un autre :

- Nous disposerons d'une trentaine d'analyses pour les sources extérieures à Vals les Bains ; elles sont mentionnées dans le tableau n° 7-1. Les résultats sont exprimés en milliéquivalents, cette notation permettant le contrôle de la valeur d'une analyse grâce à la balance ionique.

- Les sources minérales de Vals les Bains connues depuis longtemps fournissent un plus grand nombre d'analyses chimiques (une cinquantaine) et sont parfois plus récentes. Elles sont mentionnées dans un deuxième tableau (n° 7-2).

Nous avons ajouté sur ces tableaux les analyses récentes effectuées par le BRGM en septembre 1978 sur six sources principales. Ces analyses correspondent assez bien avec les anciennes qui sont donc relativement précises. Elles vont nous servir à une représentation graphique de la composition chimique des sources minérales de la région.

TABLEAU N° 7-1

TENEURS DES ELEMENTS MAJEURS EN MILLIEQUIVALENTS
SOURCES MINERALES EXTERIEURES A VALS-LES-BAINS

SOURCE	N°	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	RAPPORT EQUILIBRE		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	DATE
						CATIONS	ANIONS				
Ste-Marguerite	E5	2,45	0,13	4,63	1,19	8,4	7,95	7,53	0,42		1961
Rosa	E6	22,21	1,66	5,93	5,71	35,51	35,65	34,50	1,15		"
	E6	13,47	0,38	6,07	2,08	22,23	24,51	23	1,29	0,22	Nov. 1958
Le Rocher du Merle	E7	33,47	0,50	8,05	5,91	47,97	44,81	44,48	1,86	0,29	Sept. 1978
Pont du Bridou	E8	17,31	0,98	4,72	3,88	26,8	25,6	24,34	0,98	0,28	1961
La Suprême du Rigaudel	E9	8,53	0,45	3,26	1,85	14,09	15,7	14,8	0,59	0,32	Mars 1958
La Reine du Fer	E10	10,4	0,60	8,83	3,81	23,65	23,44	22,8	0,39	0,20	Fév. 1958
Val Rose	E13	5,21	0,22	7,29	1,86	14,58	16,65	15,80	0,40	0,45	Avril 1963
Avellan	E17	0,61		9,5	1,45	11,56	12,37	12,29	0,05	0,03	1961
	E17	0,44	0,03	8,42	0,42	9,31	10,3	10,2	0,18		Mars 1958
Le Peschier	E23	24,34	1,58	11,9	9,39	47,21	47,16	45	1,17	0,99	Avril 1967
	E23	24,04	1,57	10,04	10,36	46	46	44,25	0,98	0,78	1961
Genève											
Pouzola	E25	2,78	0,16	2,08	1,69	6,67	6,63	6,39	0,10	0,14	Sept. 1978
Ste-Catherine											
Thérèse	E28	34	2,3	6,41	3,08	45,79	46,38	45,6	0,56	0,22	Juil. 1958
Stimulante	E29	24,03	0,07	5,48	3,32	32,90	32,88	31,33	0,75	0,80	1961
La Salutaine	E30	8,4	0,49	3,98		12,87	12,87	12,71	0,16		1961
Lithine		22,10	0,38	5,0	3,0	30,48	32,81	30,55	2,08	0,18	1961
Le Vernet	E31	11,34		2,2	0,93	14,47	14,74	14,3	0,19	0,25	"
Le Vernet	E31	8,5	0,71	1,42	1,11	11,74	12,62	12,1	0,22	0,3	Juil. 1958
	E31	5,07	0,44	1,39	1,02	7,95	7,94	7,6	0,19	0,09	Janv. 1977
Bienfaisante	E47	10,03		5,58	3,96	19,57	19,36	18,12	0,47	0,77	1961
Volcanique n° 3	E48	37,44	0,09	15,41	5,97	58,91	59,19	52,23	0,8	0,11	"
Volcanique n° 5	E49	25,97	0,06	15	4,15	45,18	45,41	44,68	0,58	0,15	"
Volcanique n° 7	E50	43,95	1,31	20	8,56	73,82	74,09	70,80	1,47	1,82	"
Volcanique n° 8		34,58	0,36	15,36	4,48	54,78	55,06	52,61	1,54	0,91	"
Des Bains	E52	9,82	0,94	10,07	4,12	24,95	24,16	23,48	0,29	0,29	Sept. 1978
	E52	8,7	0,8	10,3	5,3	25,1	22,5	21,7	0,25	0,56	AOÛT 1978
	E52	8,69	1,64	11,75	4,38	26,46	26,73	24,24	0,66	1,83	1961
	E52	12,9	1,38	12,11	5,51	31,9	34,15	31,45	0,31	2,39	1931
Bienvenue	E53	15,35	0,74	13,35	5,45	34,89	35,26	34,76	0,28	0,22	1961
Pauline	E58	0,44	0,03	0,98	0,78	2,23	2,44	2,27	0,09	0,08	"

TABLEAU N° 7-2

TENEURS DES ELEMENTS MAJEURS EN MILLIEQUIVALENTS
SOURCES MINERALES DE VALS-LES-BAINS

SOURCE	N°	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	RAPPORT EQUILIBRE		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	DATE
						CATIONS	ANIONS				
St-Jean Lachaud	1	2,62	0,2	2,6	2,3	7,72	7,84	6,96	0,23	0,65	Juillet 1970
	1	4,26	0,13	2,26	1,25	7,9	8,07	7,72	0,15	0,20	1961
Sirène	4	3	0,07	1,28	0,57	4,92	5,14	4,5	0,34	0,3	"
Idéale	5	7,91	0,86	1,61	1,76	12,14	12,67	12	0,31	0,36	"
Gauloise	6	21,03		1,8	0,04	22,87	22,84	22,81	0,03		"
Jeanne d'Arc	13	14,54	0,44	1,1	0,44	16,52	16,31	15,78	0,53		"
Saint-Pierre	20	26,78		4,28	2,87	33,9	32,20	31,63	0,59		"
Lemery	22	9,03	0,51	1,8	1,47	12,81	12,63	11,66	0,24	0,73	"
Du Pasteur	23	10,55		2,14	1,85	14,55	15,23	13,6	0,54	1,09	"
Saint-Martin	24	29,34	0,8	2,71	2,03	34,88	34,52	32,95	1,07	0,5	"
Reine St-Martin	26	14,51	0,63	4,84	2,92	22,9	22,83	21,11	0,85	0,87	"
Amélie	30	18,26		4,81	2,97	26,04	26,06	25,19	0,87		"
Croix de Malte	32	50,1	2,9	7,42	6,2	60,62	67,15	65,11	1,52	0,52	"
Magali	33	42,72	2,62	5,86	4,96	56,16	56,43	54,68	1,28	0,47	"
Diane	35	12,29	0,93	1,64	1,38	16,24	16,36	15,73	0,34	0,29	"
La Perle n° 7	42	32,24		9,8	2,64	44,68	45,21	40,98	3,76	0,47	"
La Perle n° 3	43	18,13		6,91	1,05	26,09	26,27	24,35	0,16	1,76	"
Du Progrès	44	54,87	0,01	7,78	7,55	70,21	70,1	68,57	0,97	0,56	"
Aïda	45	48,24	0,55	6,04	6,2	61,03	61,12	59,01	1,62	0,49	"
Béatrix	46	27	1,6	4,32	3,69	36,6	36,7	35,12	1,09	0,52	"
St-Jean Impératrice	49	23		7,21	6,63	38,84	40,31	39,18	0,78	0,35	"
Saint-Jean	50	21,46	0,43	4,30	1,84	28	28,2	26,42	1,02	0,76	"
St-Jean Santé	51	4,21	0,4	4,4	2,89	12,08	12,75	10,54	0,39	1,82	Mars 1968
St-Jean Ter	52	14,39		2,95	2,46	19,8	20,26	18,49	0,73	1,04	1961
Victoria	60	9,74		5,27	2,53	17,54	17,89	16,57	1,02	0,3	"
Lucette	63	69	4,64	3,38	4,58	81,6	81,5	78,39	2,22	0,94	"
Des Rois	65	25,4	1,72	3,58	3,69	34,39	34,73	33,48	0,78	0,47	"
Lucie	66	21	0,35	1,5	0,91	23,76	24,51	23,29	0,41	0,81	"
Sultane	67	40,26	2,48	1,69	1,8	46,23	45,13	41,6	1,45	2,08	"
Constantine	75	98,92		3	3,82	105,7	105,4	101,57	3,53	0,42	"
St-Jean Pauline	76	13,63		2,62	2,16	18,41	18,37	17,34	0,68	0,35	"
Adrienne	79	68,3	1,99	2,3	2,96	75,55	74,04	71,14	1,88	1,02	"
Bénédictine	80	58,33	3,39	2,8	3,1	67,62	65,86	62,95	1,47	1,44	"
Rigolette	81	95,52		3,17	4,71	103,4	99	95,18	2,87	0,95	"
Désirée	83	97,95		3,14	4,45	105,5	101,06	97,37	2,82	0,87	"

TABLEAU N° 7-2 TENEURS DES ELEMENTS MAJEURS EN MILLIEQUIVALENTS

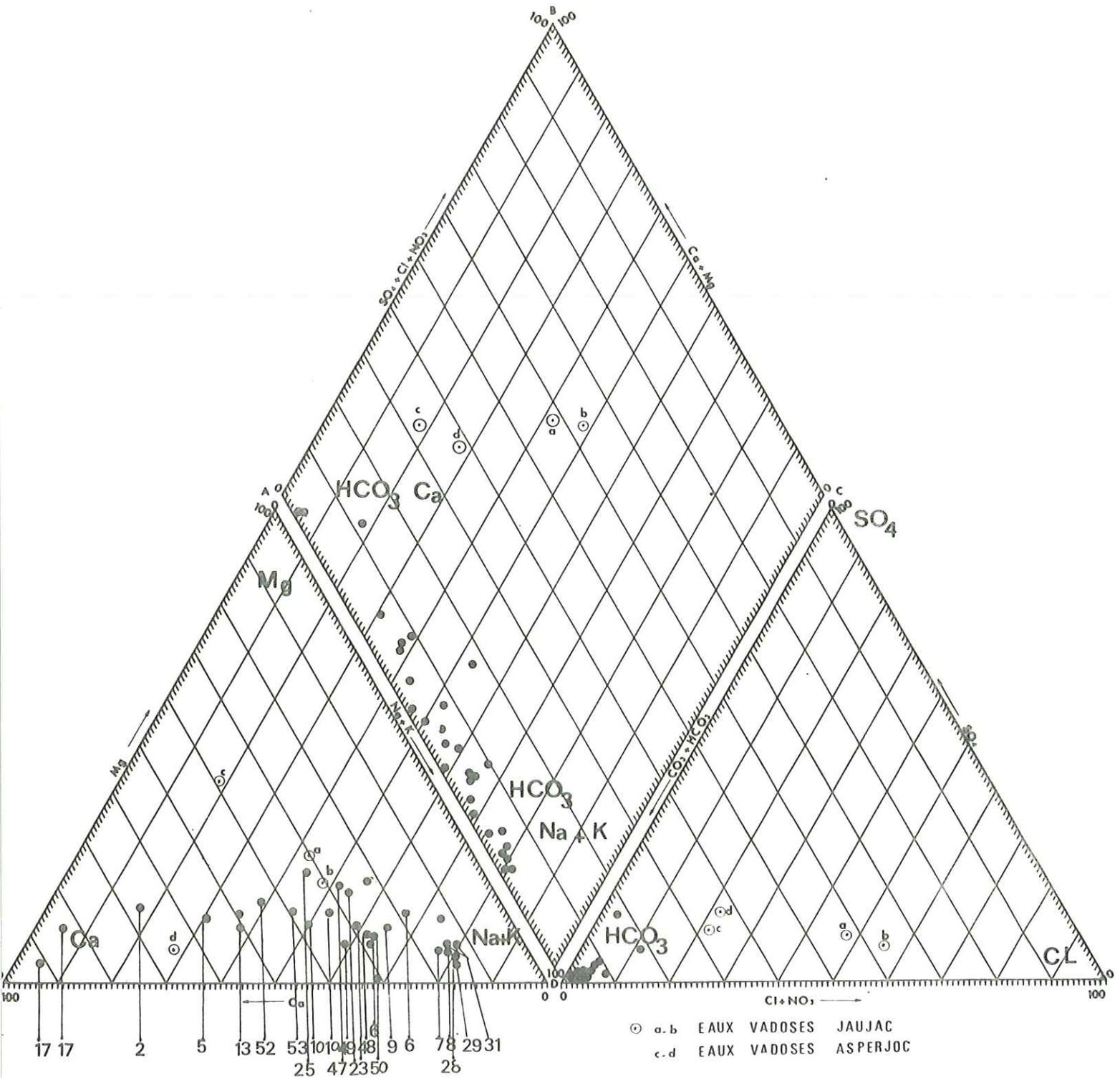
SOURCE	N°	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	RAPPORT EQUILIBRE		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	DATE
						CATIONS	ANIONS				
La Duchesse	86	98,35	1,56	2,93	1,8	104,64	104,9	101,5	2,91	0,5	1961
Tourette	87	89,5		2,8	2,56	97,93	93,44	4,49			"
Reine	88	25,08		0,38	0,58	26,04	26	25,04		0,96	"
La Pétilante	90	40,85		3,56	2,39	46,80	46,48	45,24	1,01	0,63	"
Précieuse	93	101,6		3,21	4,35	109,1	104,4	100,75	2,93	0,75	"
Digestive	97	16,82		1,46	1,98	20,26	20,42	18,34	1,24	0,84	"
	97	48,4	2,12	1,56	0,91	53	56,22	53,5	1,84	0,92	Janvier 1958
Vivaraise D	98	79,43		2,42	2,92	84,77	84,9	82,45	2,03	0,42	1961
Vivaraise C	99	56,08		2,25	2,73	61	60,83	59	1,43	0,40	"
Vivaraise B	100	49,43		2,03	1,78	53,24	53,38	51,88	1,18	0,32	"
Du Parc	104	97,3	4,54	4,26	5,32	111,42	107,34	103,2	3,25	0,89	"
Délicieux	106	21,95	1,13	2,5	1,01	26,6	28,2	26,9	0,8	0,59	"

B.R.G.M.
Hydrogéologie

FIG. 7-1

DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU

d'après PIPER (U.S. Geological Survey)



REPRESENTATION GRAPHIQUE

Nous avons choisi d'utiliser les diagrammes de Piper (1944), afin d'avoir une vue globale de l'ensemble des analyses. Ces diagrammes permettent de représenter toutes les analyses chimiques par des points, sur un même graphique. Ce graphique comporte : figure 7-1

- Un triangle pour les anions dont les sommets correspondent à $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{--}$, Cl^- et SO_4
- Un triangle pour les cations dont les sommets correspondent à Ca^{++} , Mg^{++} et $\text{Na}^+ \text{K}^+$.
- Un losange adjacent aux deux triangles ; et formant avec eux un triangle plus grand ; il est divisé en quatre petits losanges correspondant chacun à une classe d'eau minérale.

Dans le cas des sources minérales de l'Ardèche, on peut faire les remarques suivantes :

- dans le losange, le regroupement de points, montre que toutes les eaux minérales appartiennent bien à une même classe d'eau : bicarbonatée sodique et calcique.

- Le triangle des anions, indique une concentration de points vers le pôle $\text{CO}_3 \text{H}^- + \text{CO}_3^-$. L'anion le plus abondant est donc le bicarbonate ; sa teneur est supérieure à 90 % de la somme des anions exprimés en milliéquivalents, voir même 95 %.

- Le triangle des cations indique que ceux-ci se répartissent entre les pôles (calcium et sodium + potassium). Le magnésium est souvent inférieur à 20 % de la somme des cations (en meq).

A titre de comparaison, il a été ajouté quelques analyses d'eaux douces sur les diagrammes. Ces analyses proviennent de différents secteurs de la région Asperjoc, au Nord, Vals les Bains, et à Jaujac au Sud.

Les eaux de surface contiennent les mêmes éléments majeurs que les eaux des sources thermominérales, mais en beaucoup moins grande quantité 20 mg/l et on note quelques différences dans la composition chimique :

- Les eaux vadoses renferment à côté des ions bicarbonates, des ions chlorures en proportion non négligeable.
- Parmi les cations, le magnésium et le calcium sont généralement associés en proportion assez voisine à l'exception d'une source à Asperjoc, où le magnésium est en moindre quantité (source Napoléon) "n° d".

Dans le losange, les eaux vadoses se situent au centre du diagramme et se distinguent aisément du groupement des sources minérales concentrées sur le côté Na + K, Ca du losange.

ORIGINE DE LA MINERALISATION

Le processus de la minéralisation d'une eau thermominérale est assez complexe car de nombreux facteurs entrent en jeu ; et il est souvent difficile de distinguer l'importance de leurs participations respectives. Nous allons les examiner successivement afin de discuter l'origine des sels minéraux et les variations de composition chimique enregistrées d'une source à l'autre.

Le circuit thermominéral joue un rôle déterminant dans la composition chimique d'une eau :

- la longueur du trajet, la nature des terrains traversés, la profondeur des eaux infiltrées, le temps de contact de l'eau avec les roches encaissantes, l'influence d'un flux géothermique, la rencontre de fumerolles et de gaz carbonique, sont autant de facteurs responsables de la minéralisation d'une eau.

- Selon le schéma classique du circuit thermominéral, les eaux météoriques pénètrent dans un massif cristallin par une multitude de fissures plus ou moins largement ouvertes, et atteignent une zone profonde où elles sont réchauffées par une source de chaleur. Les eaux ainsi réchauffées auront un pouvoir dissolvant plus fort sur la roche encaissante.

- Mais il semble que les facteurs essentiels de la minéralisation, lorsque les roches traversées sont cristallines, soient la présence d'un élément minéralisateur ; l'anhydride carbonique, et le temps de contact avec les roches encaissantes.

Le CO₂ est un corps extrêmement répandu dans notre région. C'est à grande profondeur que les eaux infiltrées doivent rencontrer ce gaz. En se chargeant en CO₂ jusqu'à saturation, l'eau devient acide et acquiert une certaine agressivité qui lui permet d'attaquer les roches encaissantes qu'elle traverse.

Par rapport à l'eau pure, l'eau enrichie en anhydride carbonique, a un pouvoir dissolvant extrêmement accru. Il a été souvent constaté, que ces eaux ont tendance à arracher aux roches encaissantes, notamment aux feldspaths, les cations Na, Ca, Mg, et K. Ces quatre cations sont les constituants essentiels des eaux minérales issues d'un socle cristallin.

En somme la minéralisation à une origine double :

- la plus grande partie des anions a une origine profonde, et joue le rôle de minéralisateurs ; (les bicarbonates CO₃H⁻ ont la même origine que le gaz carbonique qui provient du dégazage de la croûte inférieure ou du manteau supérieur).

- Quand aux cations, ils proviennent de l'attaque des roches traversées par les eaux chargées de CO₂. Ainsi la présence des bicarbonates permet à l'eau d'acquérir une minéralisation complémentaire (Na, Ca, Mg) et ceci se fait en partie au cours du trajet ascendant de l'eau après, sa rencontre avec le gaz carbonique.

Nous ne connaissons pas toujours très bien les réactions d'interaction de l'eau, avec la roche encaissante en profondeur. Mais de nombreuses expériences de lixivation nous permettent de mieux saisir les mécanismes de mise en solution.

A ce sujet, les expériences de lixivation effectuées sur les granites par G. Pedro (1960) nous sont apparues très significatives. Cet auteur s'est consacré à l'étude expérimentale de l'altération de roches cristallines en présence de conditions physicochimiques variées. Pedro a opéré notamment dans des conditions voisines du milieu souterrain (pression de CO_2 et température élevée) en provoquant l'attaque des granites grâce à un lessivage continu par des eaux chargées de CO_2 . Les résultats de ces expériences ont confirmé le rôle important du CO_2 .

- Le CO_2 renforce l'action de l'eau pure, il permet un lessivage 8 à 10 fois plus intense des cations alcalinoterreux Ca Mg.
- D'autre part le CO_2 favorise sensiblement l'exportation de la silice (1,4 fois plus).
- La présence du CO_2 provoque également l'élimination du fer qui dans les essais à l'eau pure ne fait pas partie de la phase migratrice de l'altération.
- La présence du CO_2 a aussi un effet sur l'exportation de l'alumine qui est 10 fois moins exportée qu'en présence d'eau pure.

L'étude des lessivats d'accumulation qui résultent de la concentration progressive des eaux de drainage, apporte également des renseignements intéressants.

Selon Pedro on assiste surtout à la formation, de carbonates de calcium pour les eaux ayant lessivé des granites.

La composition chimique de l'eau minérale exprime donc non seulement la nature des roches traversées, mais aussi les conditions thermodynamiques de mise en solution (CO_2 et température).

Les ions en solution Fe, Na, K, Ca, Mg, CO_3 H^- , les gaz, et l'eau proprement dite, peuvent provenir de zones très différentes et n'ont donc pas la même origine.

7-4

LES DEPOTS AUX EMERGENCES

Les sources minérales de notre région sont accompagnées de deux types de dépôts ; des dépôts calcaires et des dépôts ferrugineux qui sont évidemment liés au type de minéralisation de l'eau.

7-4-(1) -

LES DEPOTS CALCAIRES

Les sources fortement minéralisées peuvent constituer d'importants encroûtements calcaires ou travertins, liés au dégagement du CO_2 à l'émergence.

Lors de sa remontée vers la surface par suite d'une baisse de pression, le gaz carbonique dissous va tendre à s'échapper, et à passer en phase gazeuse, simultanément l'eau va perdre son acidité, provoquant une précipitation du carbonate de calcium.

Ainsi se forment les travertins accompagnant un bon nombre de sources minérales, ils peuvent constituer à la longue de véritables petites collines.

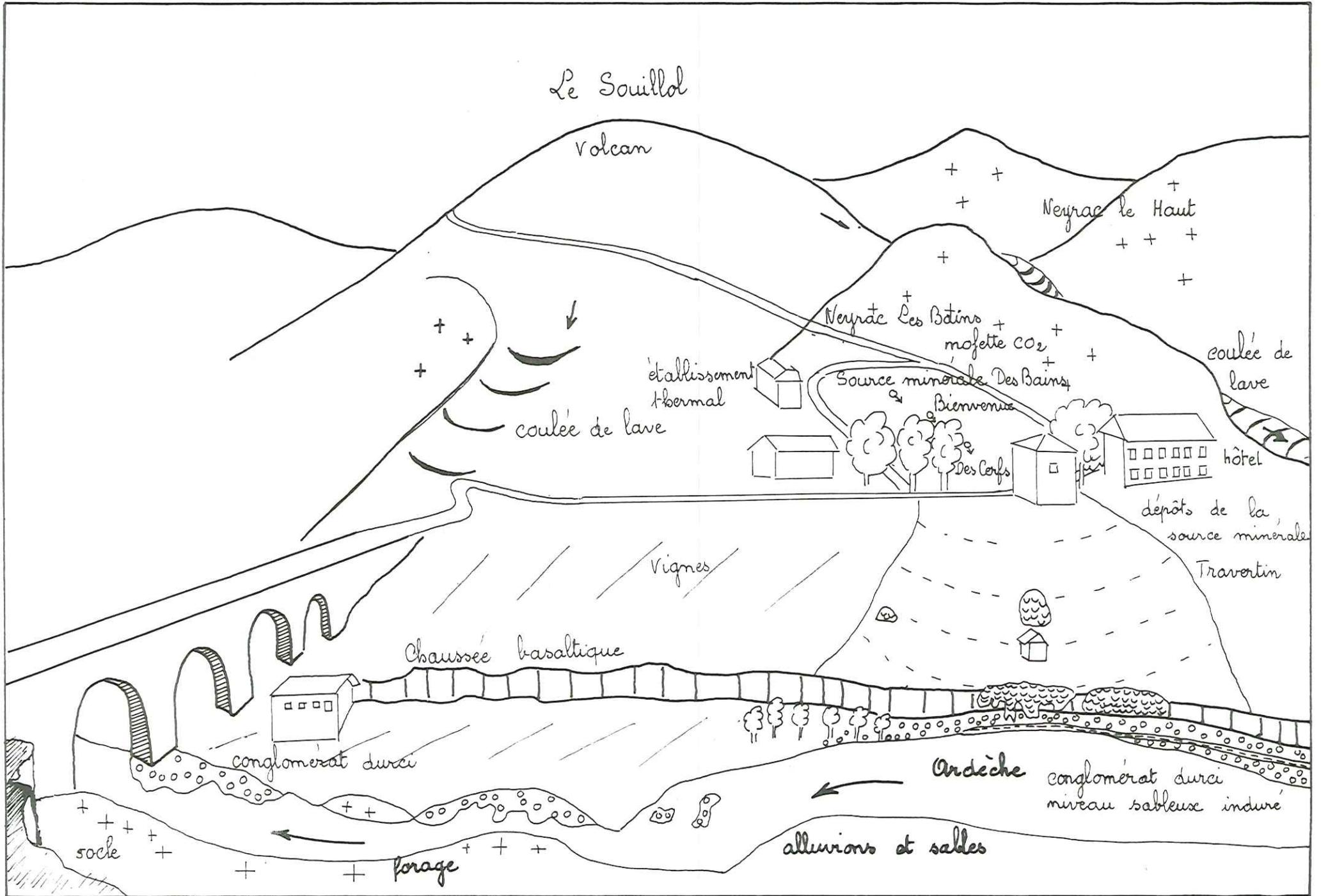


FIG 7-2

NEYRAC

a) - Les dépôts de travertin de Neyrac les Bains sont les plus remarquables de la région.

Ces travertins incrustants, reliant ensemble feuilles et fragments de bois, ont été remarqués par Dalmas en 1872 qui les décrit de la manière suivante : (figure 7-2)

" Ces dépôts commencent à se former à quelques pas en aval de l'orifice de la source thermale, et continuent sans interruption sur les parois verticales même de la chaussée basaltique jusqu'à la rivière d'Ardèche. "

" Ces dépôts enveloppent et unissent en masses solides tous les corps mis en contact. Ils durcissent et transforment les sables et les cailloux de l'Ardèche en un poudingue très solide" (ou agglomérat-)

C'est une sorte de béton recouvrant sur des centaines de mètres le lit de l'Ardèche et qui se différencie aisément du ciment des piles du Pont de Neyrac construit sur cet agglomérat. - Afin de prouver que ces deux ciments ont une origine différente, l'une naturelle, l'autre artificielle nous avons analysé le ciment du Pont qui met en évidence d'autres constituants tels que le quartz, des matières charbonneuses associées.

D'autre part, l'aspect et la granulométrie très hétérogène ne pose aucun doute sur l'origine différente de ces deux matériaux.

Ces dépôts sont considérables, si on longe le lit de l'Ardèche sur 400 m. on peut voir de nombreux suintements d'eaux minérales, chaque source déposant ses carbonates qui recouvrent le rocher par plaques. On trouve des milliers d'alvéoles de la taille du cm^2 qui tapissent le rocher.

Par endroit on peut assister à la formation récente d'agglomérats ; les alluvions traversées par les suintements d'eau minérale durcissent très vite et résistent ensuite à l'érosion de la rivière.

La source principale des Bains a élaboré un agglomérat de 15 à 20 mètres de puissance, formé à partir d'alluvions reposent sur la chaussée basaltique du Souillol, et ^{qui} constituent actuellement une ancienne terrasse suspendue. Sur cet agglomérat repose une épaisse couche de travertin pure (5 m), la dénivellation étant importante, la source principale a déposé des dépôts stratifiés de pentes, bien visibles, dans une petite carrière de pierres, au milieu des vergers et des vignes.

L'ensemble de ces dépôts (agglomérat + travertin) constitue une formation suffisamment importante pour être cartographiée. (large de 140 m et longue de 300 m).

Les analyses par diffractométrie ont précisé la composition minéralogique de ce travertin qui est formé de calcite rhomboédrique sans trace d'aragonite.

b) Etat de saturation des eaux thermominérales vis à vis du carbonate de calcium à l'émergence.

Nous avons appliqué la méthode de l'indice de saturation (Langelier 1938) basée sur la comparaison du Ph réel de l'eau au Ph qu'elle aurait si elle était saturée en carbonate de calcium.

La différence entre les deux valeurs $\text{Ph} - \text{Ph}_r$ est l'indice de saturation I_s . S'il est positif l'eau est sursaturée, sinon elle est sous-saturée.

- Camuse
- Le Rocher du MerLe
- - - La Chatelaine
- St Laurent
- + + + Jaujac

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

(D'après H. Schoeller)

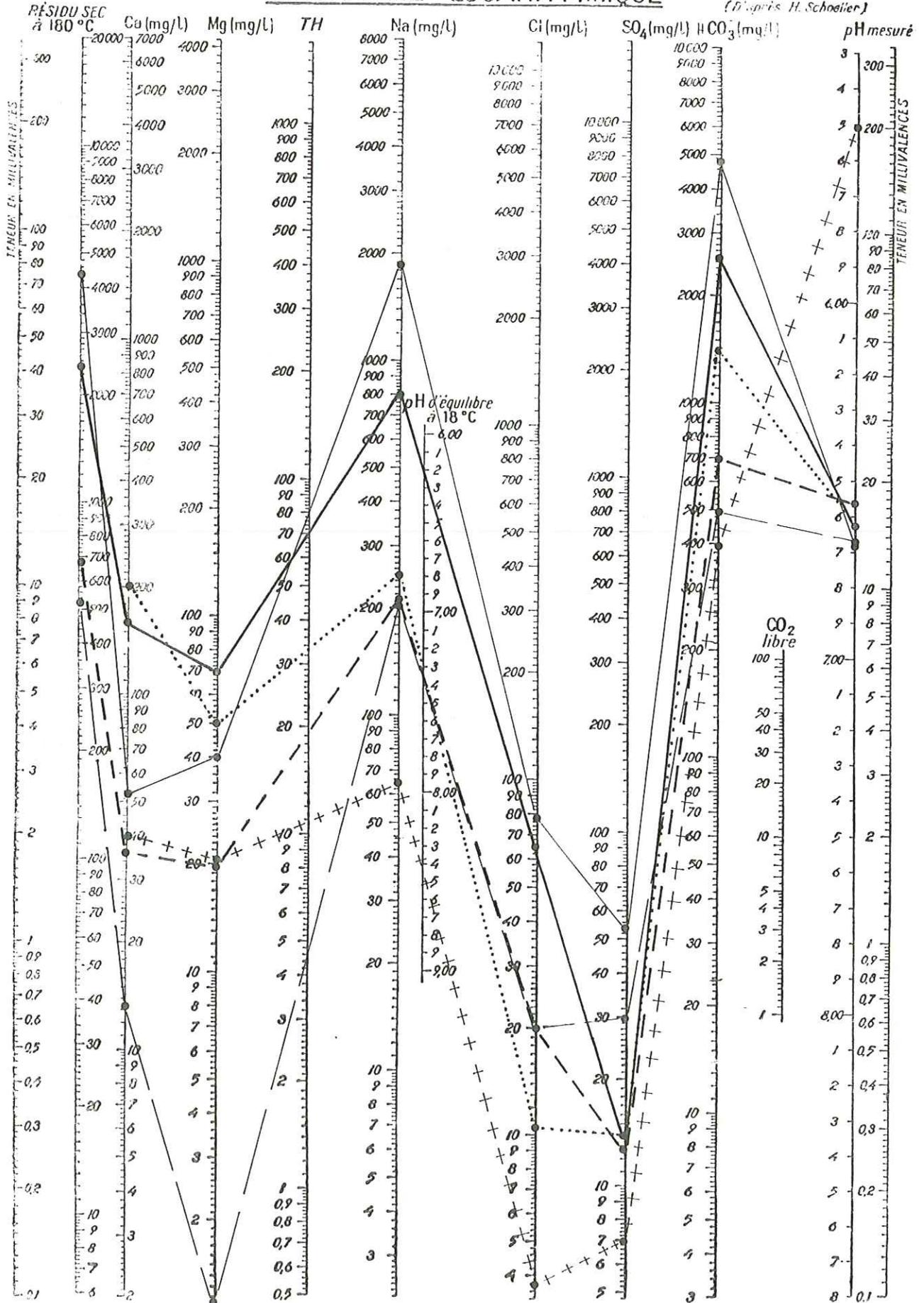


FIG. 7-3

Le tableau suivant montre la liste des sources saturées qui doivent déposer du carbonate de calcium à l'émergence, notamment la source des Bains.

Pour les autres sources, les encroûtements sont assez discrets et sous forme de minces pellicules le plus souvent en raison des conditions particulières d'émergence.

Signalons tout de même qu'à côté des sources de Neyrac les Bains, les sources de Mercier à Theyts (à l'Ouest) et du Régal à Entraygues (au Nord) sont remarquables par leurs importants agglomérats qui s'étalent sur plusieurs mètres carrés autour des griffons. Ces agglomérats ont été découverts à la suite d'une prospection systématique dans la région. Ils sont très intéressants, car il est très curieux de constater que d'aussi faibles suintements soient accompagnés d'une aussi importante masse de carbonates.

7-4-(2) -

LES DEPOTS FERRUGINEUX

Associés aux travertins, les eaux minérales déposent des boues rouges dont les qualités médicales ont été reconnues par les médecins qui l'utilisent pour la fabrication de pommades dermiques.

Ces dépôts sont dus à la floculation du fer à partir de colloïdes présents à l'émergence. Les colloïdes se forment par oxygénation de l'eau au point de sortie, ceci indique que le milieu est réducteur à une certaine profondeur.

Ces transformations sont responsables des accumulations de boues rouges non consolidées que l'on rencontre à toutes les sources minérales même en l'absence de dépôts carbonatés.

- Les analyses aux rayons X n'ont fait apparaître aucune trace de minéral formé, il s'agit de colloïdes d'oxydes ferriques (dôme de fer).

- Les analyses chimiques par fluorescence x ont donné les résultats suivants pour les sources de Neyrac les Bains (à l'Ouest) et de Genestelle (au Nord de la région).

Echantillon prélevé	:	à la source des Bains	:	Source Estelle
	:	%	:	%
	:	d'oxyde	:	d'oxyde
	:	:	:	:
Labo. de Flo x Grenoble	:	:	:	:
n° de référence A 222	:	24,19	:	13,01
et A 223 analyste F Keller 3/79	:	1,64	:	0,48
	:	47,50	:	63,50
	:	:	:	:
	:	0,06	:	0,21
	:	0,09	:	0
	:	3,97	:	2,31
	:	0,19	:	0
	:	0,38	:	0,05
	:	0,10	:	0,01
	:	1,33	:	0,87
perte au feu	:	19,40	:	18,42
	:	:	:	:
Total :	:	98,85	:	98,86

Les mesures n'ont pu être très précises du fait de l'abondance du Fer et de l'absence de silice. (le fer masque les autres éléments -47,5 % et 63,5 %))

La perte au feu provient de l'abondance du carbone de CaO et de la présence de matières organiques (il s'agit peut être d'algues associées à ces boues, qui se développent abondamment).

D'après certains auteurs le titane serait un élément caractéristique des boues de Neyrac ; ceci n'est pas vérifié (0,1 %) par contre on note la présence de phosphore (1,33 %). Ces boues sont d'autre part peu magnésiennes et peu manganésifères.

Pour la source Dominique à Vals les Bains une analyse complète avait été effectuée en 1939 par Piery, Enselme et Jourdain, voici leurs résultats :

Fe	38,12 %	Fl	0,03
Al ₂ O ₃	9,78	B ² O ³	0,005
Ca	5,12	S	-
As	0,23	N	0,07
Mn	0,008		
Mg	0,32		
Cl	trace		
Si O ₂	7,38		
SO ³	0,27		
CO ₂	0,24		
PO ⁴ M	0,02		

Il s'agit d'un composé férique riche en matières organiques

7-5 -

VARIATIONS DE LA MINERALISATION SUIVANT LA

SOURCE.

Pour les sources principales c'est à dire les moins sujettes à des mélanges d'eaux superficielles, la minéralisation reste à peu près constante. Une comparaison des sources minérales de la région a montré que :

- les eaux les plus minéralisées sont celles des sources de Vals les Bains avec des valeurs atteignant 6g/l (la source du Parc 6082 mg/l)
- les eaux de Prades Jaujac ont des valeurs variant entre 1,8 à 2,4 g/l
- les eaux de Neyrac ont des résidus secs mesurés variant entre 1 à 1,5 g/l

- Enfin les eaux du groupe d'Asperjoc semblent les moins riches en sels minéraux avec 0,8 à 1,2 g/l.

En somme, la majorité des sources très minéralisées se situent au Sud - Sud-Est du bassin versant. Nous allons voir que les sources minérales enregistrent des variations de compositions chimiques au niveau des cations, variations qui semblent être progressives du Sud-Est au Nord-Est, et en liaison avec les taux de minéralisation des eaux minérales.

7-6

VARIATION DE LA COMPOSITION CHIMIQUE D'UNE

SOURCE A L'AUTRE.

- D'après leurs teneurs en anions, toutes les eaux minérales de notre région appartiennent à la classe des eaux bicarbonatées où $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^-$. Il n'existe pas de sources minérales en dehors de cette classe.

- Les cations permettent tout de même de faire une distinction et de classer les eaux minérales de la région en deux types :

- le type bicarbonaté calcique

$\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{K}$

- et le type bicarbonaté sodique

$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K}$

En effet les cations sont inégalement répartis dans l'ensemble des eaux.

Le sodium prédomine souvent (à Vals les Bains, à Prades Jaujac) mais dans certains secteurs le calcium prédomine. (Asperjoc, Genestelle).

Nous avons reporté les teneurs en Ca et Na + K sur la carte des sources (en pourcentage de la somme des cations en milléquivalents). Les analyses chimiques sont suffisamment nombreuses et correspondent à des sources minérales ayant une assez bonne répartition spatiale pour que l'on puisse faire des comparaisons et tracer des courbes d'isoteneur en % Ca et % Na + K. (figures 7-4 et 7-5)

La carte montre que les sources bicarbonatées calciques sont avant tout situées au Nord et au Nord-Ouest du bassin versant, c'est à dire en altitude, tandis que les sources bicarbonatées sodiques sont situées au Sud et au Sud-Est dans les points bas du bassin versant.

Il s'agit d'une observation qui mériterait d'être confirmée par un plus grand nombre d'analyses modernes puisque la région est riche en sources minérales sauvages.

Néanmoins, il nous semble évident qu'il existe une variation du Nord-Ouest au Sud-Est de la teneur des cations Ca et Na + K. Il conviendra d'interpréter cette variation qui semble assez progressive d'après les courbes d'isoteneurs.

CAUSE DES PROPORTIONS VARIABLES DES DIF-

FERENTS CATIONS.

Les eaux minérales étudiées sont avant tout des eaux à caractère endogène, avec la présence de l'anion prédominant CO_3H^- . Les seules différences observées dans la composition chimique, sont dues à la répartition des cations à caractère exogène dans l'ensemble des eaux, du Nord-Ouest au Sud-Est que nous allons essayer d'interpréter à présent.

FIG. 7.4 % Na+K de la somme des cations en milliéquivalents

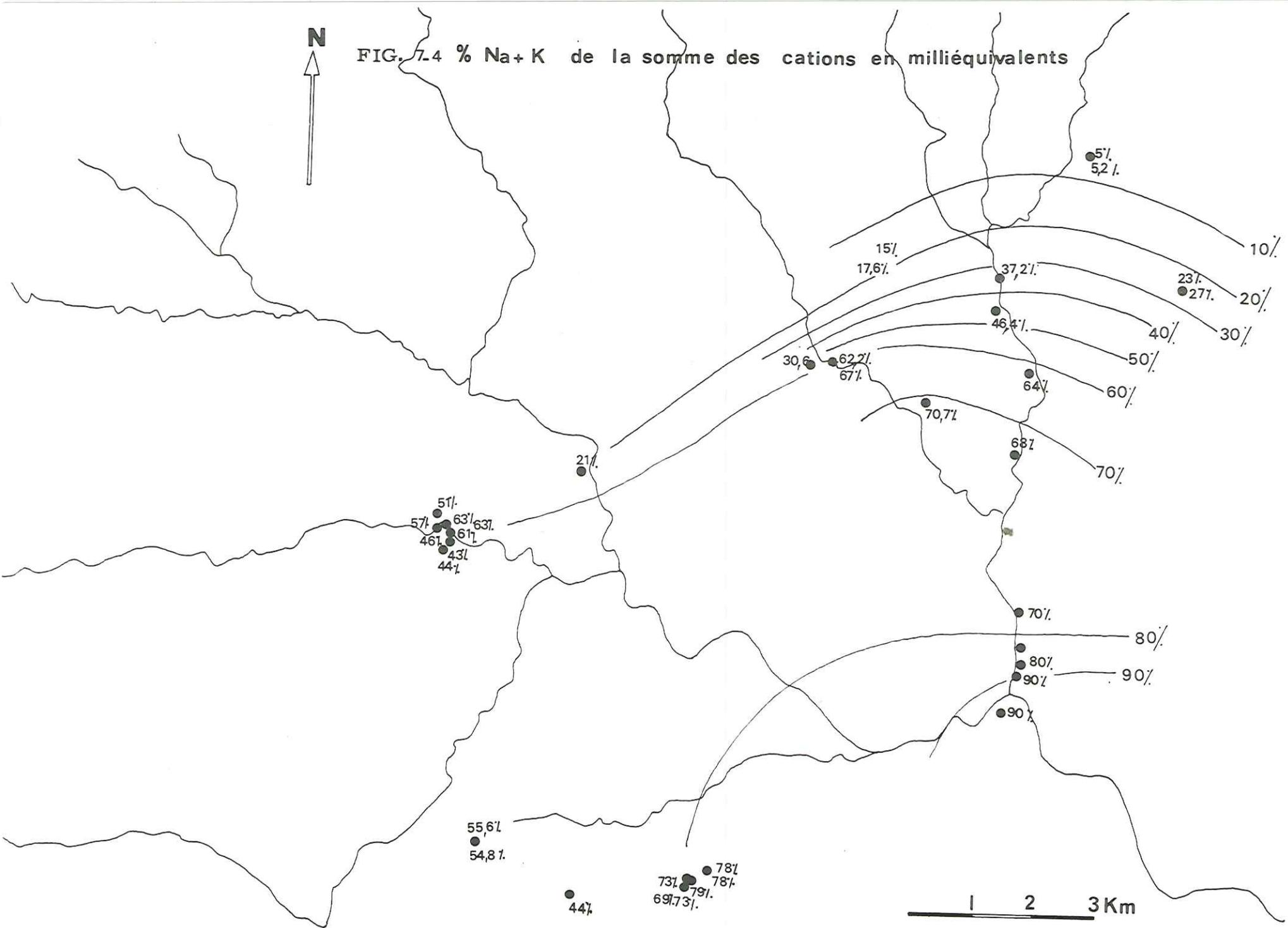
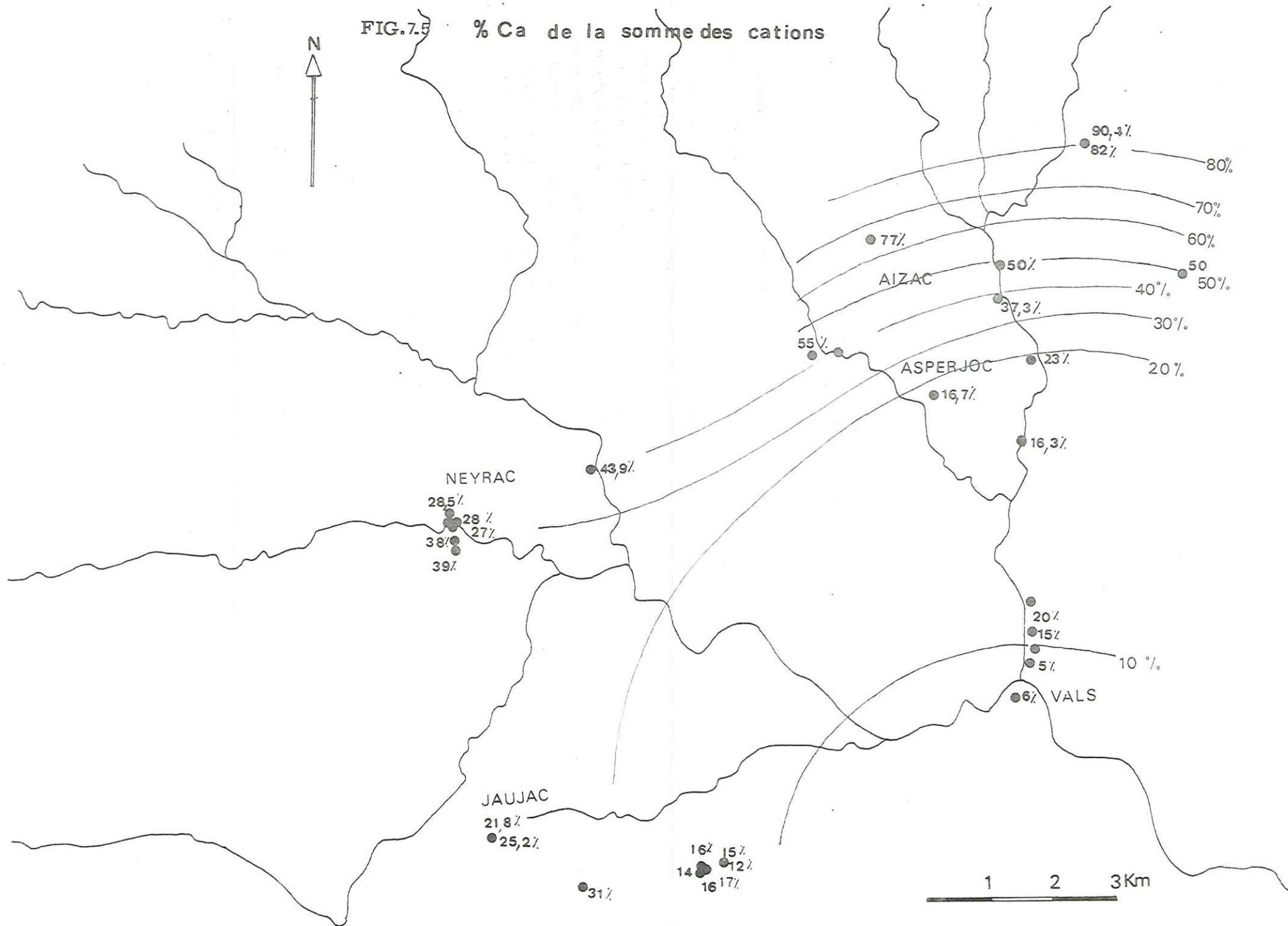


FIG.7.5 % Ca de la somme des cations



- Précisons dès maintenant, qu'en Ardèche toutes les sources minérales sont situées dans un même environnement cristallin. Aussi la variation de la répartition des cations ne semble pas être liée à la nature pétrographique du terrain, qui est pratiquement identique au Nord-Ouest comme au Sud-Est.

Les nombreuses analyses chimiques des granites et des migmatites témoignent d'une homogénéité dans la composition chimique.

- Nous devons plutôt chercher une explication dans l'allure du circuit souterrain : la diversité de l'alimentation (plusieurs venues d'eaux) est peut être responsable des différences de compositions chimiques enregistrées.

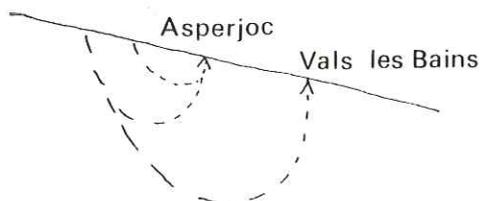
Deux points essentiels ont été remarqués qu'il convient de rappeler :

- les sources les plus minéralisées sont situées au Sud-Est du bassin versant à Vals les Bains.

- Ces sources situées dans les points bas du bassin, sont d'autre part riches en sodium, potassium, tandis que les sources minérales d'Asperjoc et de Neyrac, déjà en altitude par rapport aux précédentes, se présentent moins minéralisées et pauvre en sodium potassium.

Il y a donc une relation certaine entre eaux fortement minéralisées et eaux riches en sodium potassium. En fonction de ces observations, nous pouvons émettre l'hypothèse suivante.

Tout semble dépendre de la longueur du trajet des filets d'eaux et du temps de séjour en profondeur. Il est vraisemblable que si l'eau séjourne longtemps en profondeur sa concentration en sels dissous augmentera et les rapports des cations varieront dans le sens d'une augmentation de la teneur de Na, K. On peut envisager un circuit souterrain beaucoup plus long et plus profond pour les sources de Vals les Bains, que pour les sources d'Asperjoc et de Neyrac. Ces dernières étant situées sur les hauteurs du bassin versant, sont peut être aussi à proximité de l'aire d'infiltration des eaux météoriques : d'après le schéma suivant, elles seraient alimentées par des eaux ayant séjourné moins longtemps en profondeur.



Nous nous heurtons ici au problème de l'allure du circuit souterrain emprunté par les eaux minérales.

Des hypothèses ont été émises mettant simplement en relation la teneur en sodium potassium et la forte minéralisation d'une eau :

- une composition à forte prédominance sodique, serait une caractéristique des eaux ayant eu des temps de contact prolongés avec l'encaissant cristallin.

Une tendance calcique, caractériserait des eaux ayant séjourné moins longtemps en profondeur.

Des indications intéressantes recoupant ces résultats acquis par l'étude des analyses chimiques, vont être obtenues dans le chapitre suivant en étudiant les isotopes naturels stables (oxygène 18, deutérium) et instable (tritium) contenus dans les eaux.

CHAPITRE VIIIETUDE DETAILLEE DES SOURCES PRINCIPALES

- 8-1 INTRODUCTION
- 8-2 CONTEXTE GEOLOGIQUE; FRACTURATION, CARACTERISTIQUES DES EAUX MINERALES ET PRECISION SUR LE MODE DE CAPTAGE.
- 8-3 ETUDE DES TEMPERATURES DES EAUX DES SOURCES THERMOMINERALES AUX EMERGENCES ET EN PROFONDEUR, A L'AIDE DES GEOTHERMOMETRES CHIMIQUES : (SiO₂, Na/K, Na, Ca)
- 8-4 CARACTERISTIQUES ISOTOPIQUES ET ORIGINE DES EAUX MINERALES DE L'ARDECHE : ETUDE DES TENEURS EN TRITIUM, EN OXYGENE 18, ET EN DEUTERIUM.
- 8-5 ETUDE DES GAZ D'ACCOMPAGNEMENT DES SOURCES MINERALES.
- 8-6 ETUDE DES ELEMENTS TRACES.
- 8-7 CONCLUSION.

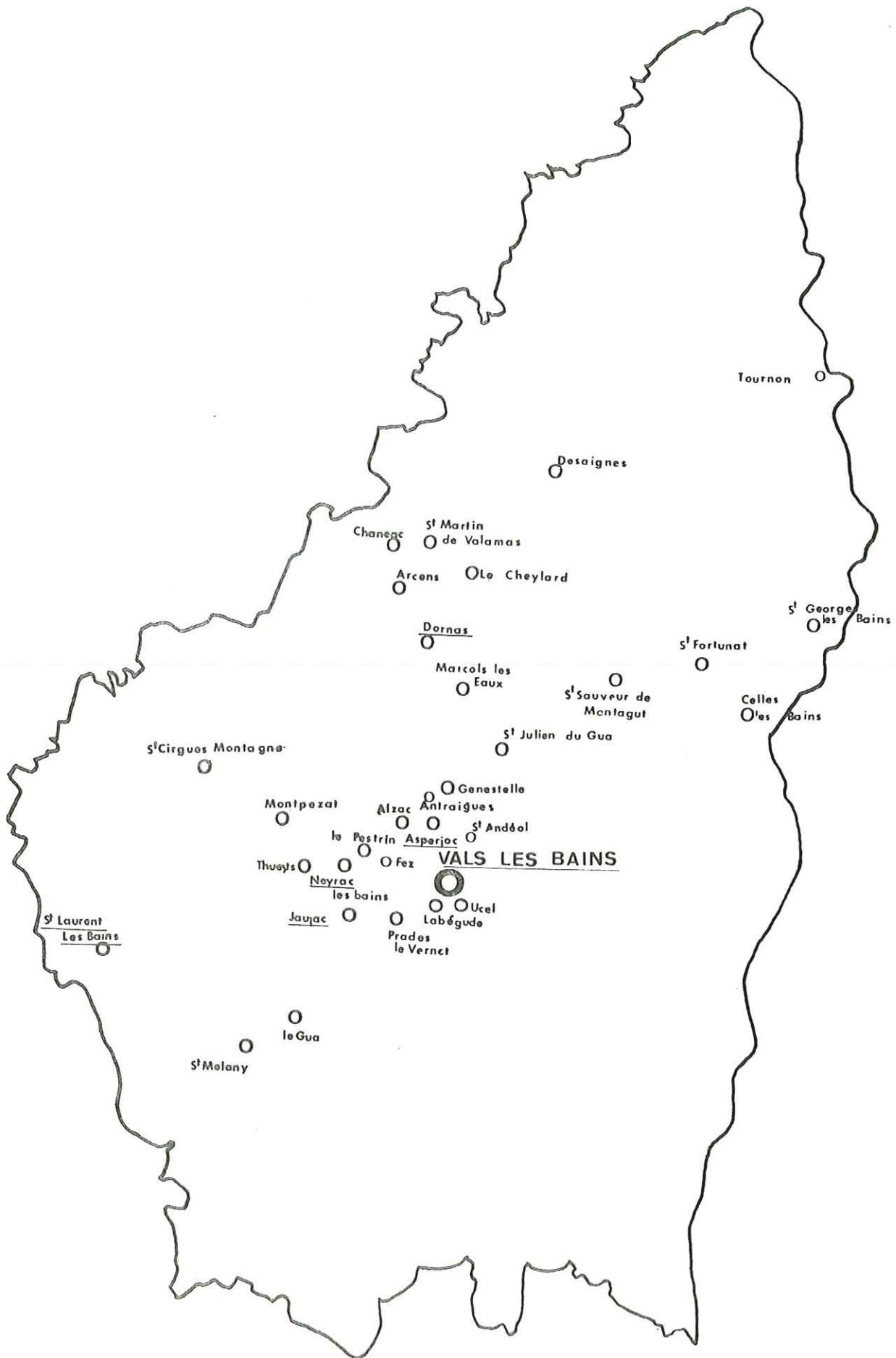


Fig. 8-1

LES SOURCES MINERALES DE L'ARDECHE

8-1 -

INTRODUCTION.

Dans le cadre des recherches sur les sources minérales de la bordure orientale du Massif Central, le B. R. G. M. a réalisé un certain nombre d'analyses modernes à l'aide de techniques fines permettant des éléments traces et des compositions isotopiques - tableau.8-1

En Ardèche six sources minérales ont été analysées.
- Quatre appartiennent au bassin versant étudié de la Haute Ardèche. Ce sont les sources principales : (figure 8-1)

- le Rocher du Merle à Asperjoc
- Camuse à Vals les Bains
- Des Bains à Neyrac
- Genève Pouzoula à Jaujac

Elles ont été choisies, parcequ'elles sont situées à proximité des venues directes thermominérales précédemment décrites, et parcequ'elles sont contrôlées par des structures géologiques majeures.

Les deux autres sources :

- St Laurent à St Laurent les Bains
- et la Chatelaine à Dornas,

sont en dehors de notre région.

La première est située au Sud-Ouest du bassin, elle est célèbre par sa thermalité (51°) depuis les temps les plus reculés.

La deuxième est située plus au Nord de la région. Elle est actuellement l'objet d'une exploitation intense pour la mise en bouteille.

Les prélèvements ont été faits au mois de septembre 1978, période des basses eaux et de sècheresse en Ardèche, ceci afin d'éviter de trop grandes proportions de mélanges d'eaux superficielles aux émergences qui modifieraient les caractéristiques des eaux profondes.

Les sources de St Laurent les Bains et Dornas nous permettront de faire des comparaisons avec les sources minérales du bassin de Vals, et d'élargir notre étude aux autres sources de l'Ardèche, qui sont toutes bicarbonatées sodiques à mixtes carbogazeuses.

Nous rappellerons le contexte géologique de ces sources, afin de relier aux facteurs géologiques, les résultats fournis par l'étude des isotopes des eaux et des gaz, et l'étude des éléments traces contenus dans les eaux.

Bien entendu, nous ne pouvons pas tirer des conclusions définitives à partir de ces analyses. L'étude d'un plus grand nombre de sources, portant sur une ou plusieurs années serait nécessaire, afin de déterminer plus précisément l'origine des eaux minérales de l'Ardèche et leur cheminement possible dans le sol.

8-2 -

CONTEXTE GEOLOGIQUE DE CES SOURCES -

8-2(1) -

ASPERJOC.

TABLEAU 8-1

EAUX THERMOMINÉRALES DE L'ARDECHE

Localisation	K°	Date	t°	pH	Résidu sec mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	PO ₄ ⁻⁻ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	B mg/l	F mg/l	SiO ₂ mg/l	Li mg/l	Sr mg/l	H ₃ UT	¹⁸ S ‰	³⁴ S ‰
ASPERJOC - Sce du Merle	19	19.9.78	13°5	6,28	2412	161,4	71,9	770	19,8	2715	66	14	15,0	0,1	0,6	0,3	1,30	34	2,15	3,72	45 [±] 5	-7,8 [±] 0,1	-44,4 [±] 0,5
VALS-LES-BAINS Sce Camuse	20		13°5	6,68	4458	53,6	39,9	1720	124	4789	78	54	22	0,3	1,2	3,8	3,20	73	7,58	0,42	46 [±] 5	-9,4 [±] 0,1	-68,1 [±] 0,5
NEYRAC-LES-BAINS	23	20.9.78	23°2	6,0	1316	202	50,2	226	37,0	1464	10,5	14	6,6	0,2	0,3	≤0,1	0,84	98	1,24	1,30	76 [±] 7	-7,6 [±] 0,1	-44,1 [±] 0,5
JAUJAC S ^m -CIRGUES	24	"	12°	5,52	350	41,8	20,6	64	6,3	406	3,8	7	≤1	≤0,1	0,4	≤0,1	0,41	36	0,53	0,12	95 [±] 8	-7,1 [±] 0,1	-41,8 [±] 0,5
DORNAS Sce Chatelaine	21	19.9.78	11°	6,78	680	36,4	19,8	209	10,1	726	20	13	3,6	≤0,1	0,4	≤0,1	1,50	26	0,38	0,25	72 [±] 6	-7,7 [±] 0,1	-49,6 [±] 0,5
DORNAS Le Chateau	28	"	12°	-	-	82,6	11,9	147,9	7,2	634	16	27	1,6	≤0,1	0,1	≤0,1	1,95	21	0,27	0,22	-	-7,7 [±] 0,1	-49,0 [±] 0,5

Vals-les-Bains : Eau minérale naturelle gazeuse - Analyse sur bouteille de commerce 1970 = 115[±]9 en Tritium

GAZ THERMAUX

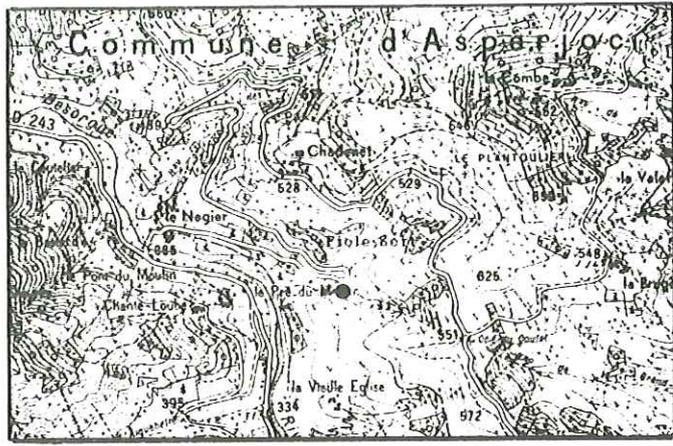
TABLEAU 8-1

	KARAT cm ³ CO ₂ /l	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$ U.S. PDB CO ₂ Gaz	CH ₄ Gaz
ASPERJOC Sce du Merle	1000	-7,1 \pm 0,1	-27,4 \pm 0,1
VALS-LES-BAINS Sce Comuse	825	-4,1 \pm 0,1	-25,5 \pm 0,1
NEYRAC-LES-BAINS	650	-5,1 \pm 0,1	-27,6 \pm 0,1
DORNAS Châtelaine	975	-5,1 \pm 0,1	-25,3 \pm 0,1
JAUJAC ST-CIRGUES	1100	n. d.	n. d.

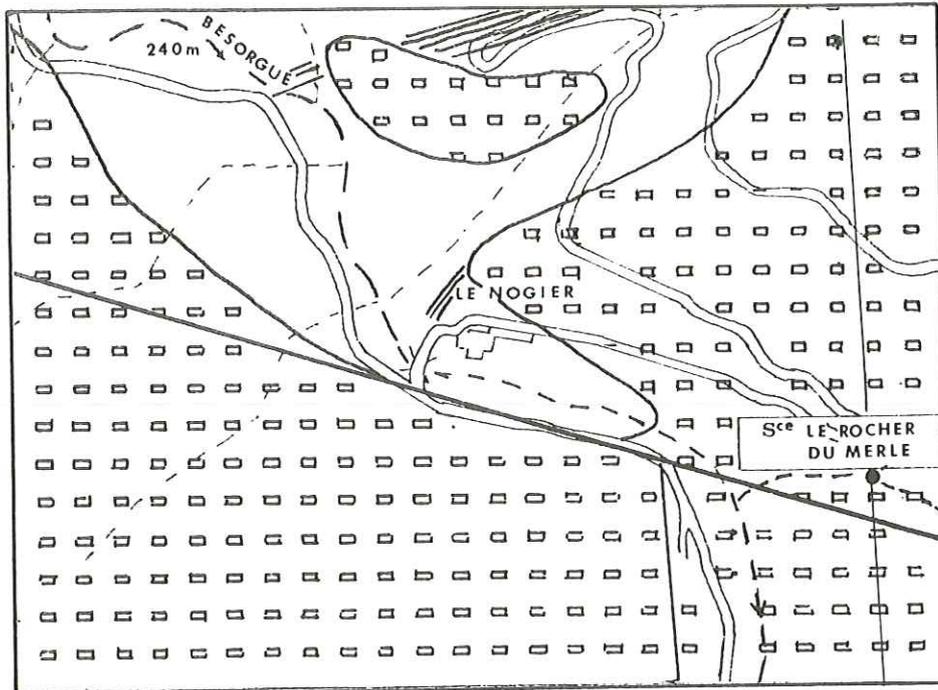
M. RISLER - SGAL
M. JEANTIN s/c M. RISLER - Grenoble
Mlle BATARD - SGR AUV.

ASPERJOC

Sce LE ROCHER DU MERLE



situation de la source 1/25000



carte geologique 1/10000

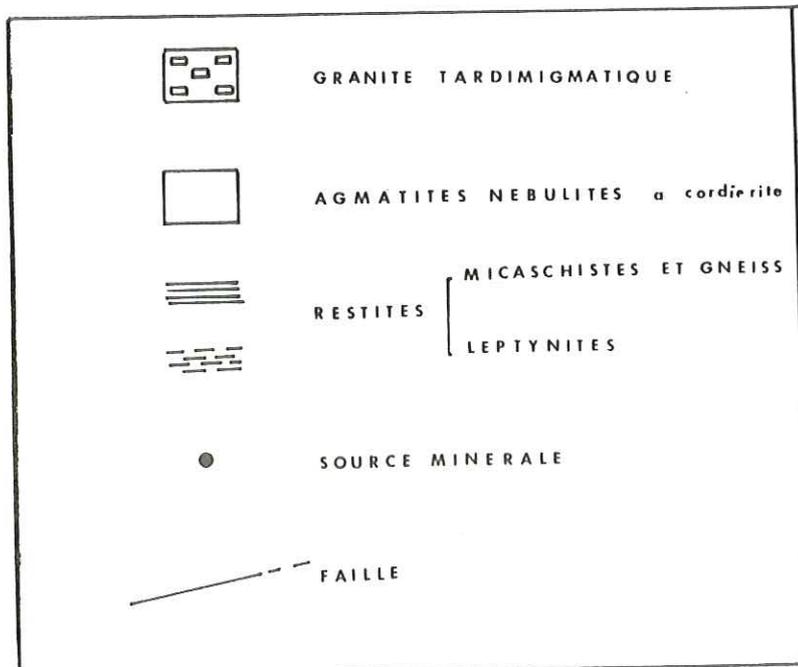


FIG. 8-2

Situation de la source : le Rocher du Merle- (Fig 8 - 2)

Cette source se situe à 5 kilomètres au Nord-Ouest de Vals les Bains, dans la vallée de la Besorgue au lieu-dit : le Pré du Moulin. Le terrain affleurant à la source est le granite porphyroïde d'Asperjoc. Cette source est d'autre part à 800 m du cratère d'Aizac. (au Nord)
fracturation :

L'eau minérale sort à l'intersection de la faille de la Besorgue (Nord 110) avec la faille de l'Aulagnet (Nord-Sud). La source est à une altitude de 395 mètres, soit 20 mètres au dessus du lit de la rivière. De petits dépôts de travertin sont visibles à l'émergence.

Caractéristiques physicochimiques

Cette source n'a jamais été l'objet d'une exploitation, son captage est rudimentaire ; un simple petit tuyau a été fixé au rocher, pour- tant elle s'est révélée d'après notre étude, comme une source très minérali- sée et riche en gaz carbonique (plus de 1500cm^3 par litre de CO_2 dissous).

La résistivité varie entre 280 et 400 Ω xcm

La température entre 8° et 13,5°

Son débit est inférieur à 1^l/mn

8-2-(2) -

VALS LES BAINS - (figure n° 8-3 - 8-4).

Situation de la source Camuse à Vals les Bains.

La source Camuse se situe dans le ravin des Sausses à l'emplacement de la venue directe principale, mise en évidence dans le chapitre précédent.

Le terrain affleurant à la source est un granite d'anatexie.

Fracturation : l'intersection du filon de quartz qui ressort en relief dans le ravin des Sausses avec la faille de Labégude (Nord 20), doit permettre la re- montée des eaux minérales d'origine profonde (voir bloc diagramme : 8-4)

Caractéristique^s physicochimiques

La résistivité de cette source varie entre 170 et 350 Ω x cm d'après des mesures faites sur une période de 10 ans (1968-1978).

La température varie entre 13° et 16°

Son débit est inférieur à 1^l/mn

Nous avons choisi d'analyser cette source, car elle s'é- coule naturellement à l'inverse des nombreuses autres sources qui sont exploi- tées par pompe, et dont les caractéristiques physicochimiques risquent d'être modifiées.

8-2-(3) -

NEYRAC LES BAINS - (figure 8-5)

Situées à l'Ouest du bassin versant dans la commune de Meyras, les sources de l'établissement thermal émergent dans une dépression comblée de terrains de couverture d'âge quaternaire. Elles sont à proximité d'un relief cristallin constitué d'agmatites et de nébulites, et se situent juste à l'aplomb du volcan du Souillol.

La fracturation du socle est essentiellement Est-Ouest (failles anciennes mylo- nitisées), Nord-Sud (failles d'extension) et Nord 150.

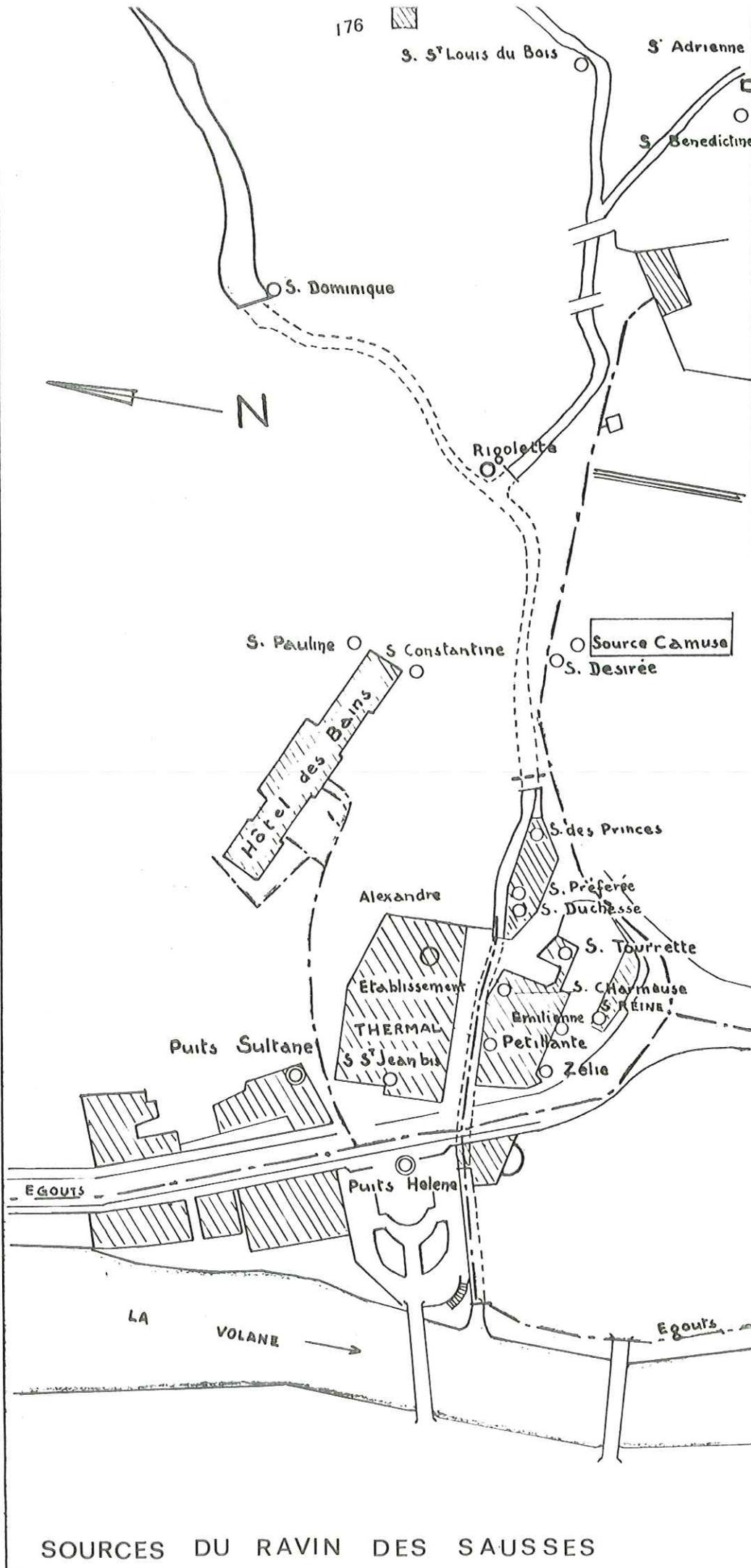


FIG. 8-3

SOURCES DU RAVIN DES SAUSSES

FIG. 8-4

BLOC DIAGRAMME DE LA REGION DE VALS LES BAINS

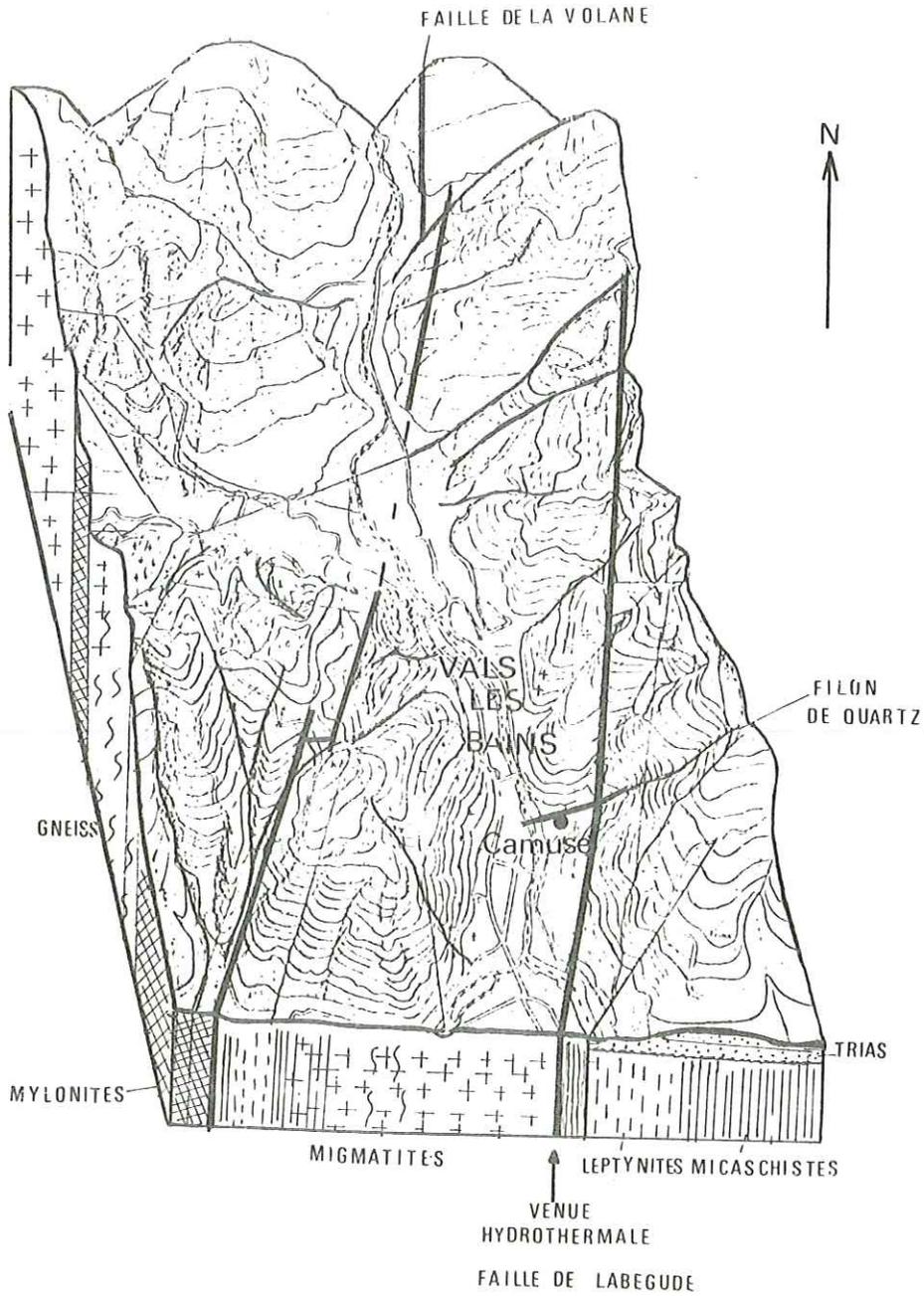
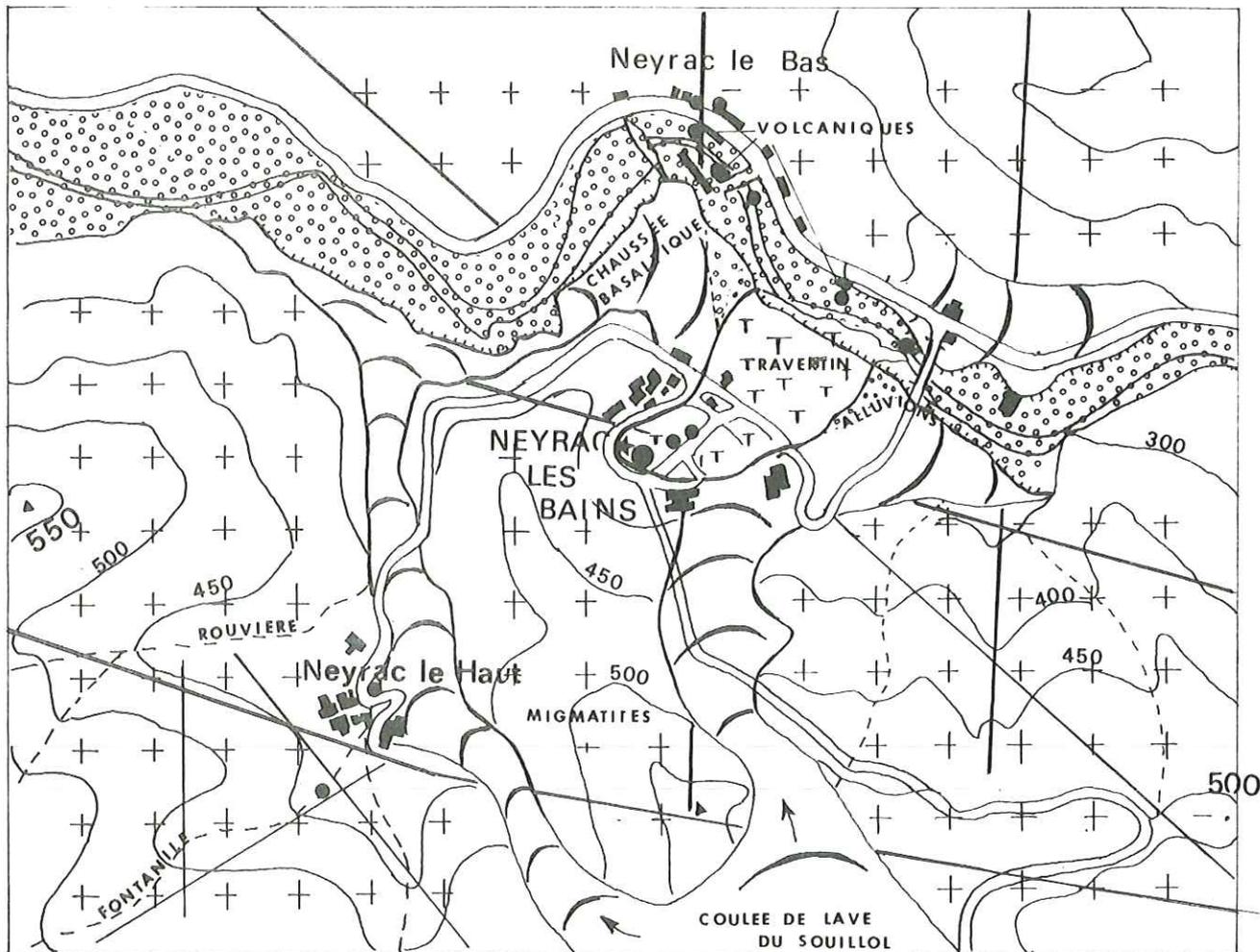
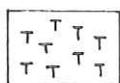


FIG. 8.5

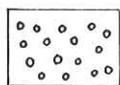
NEYRAC



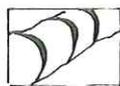
carte géologique



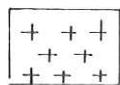
TRAVERTIN



ALLUVIONS DE L'ARDECHE



COULEE DE LAVE



SOCLE



FAILLE



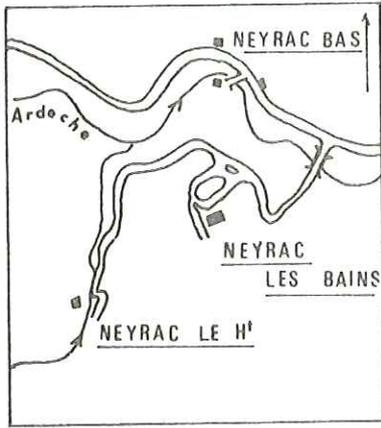
SOURCE THERMALE
DES BAINS



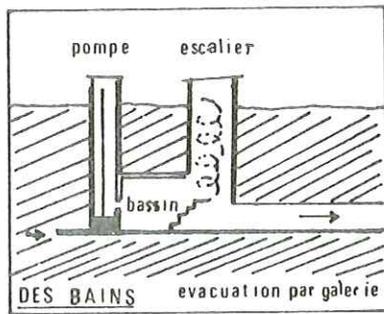
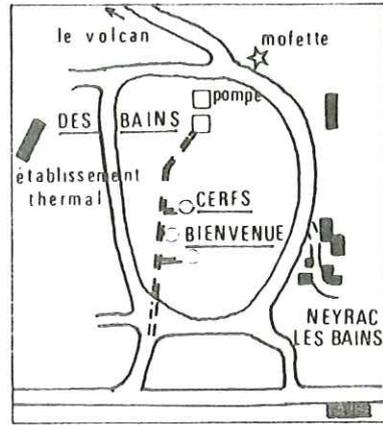
MOFETTE

100 200 300m

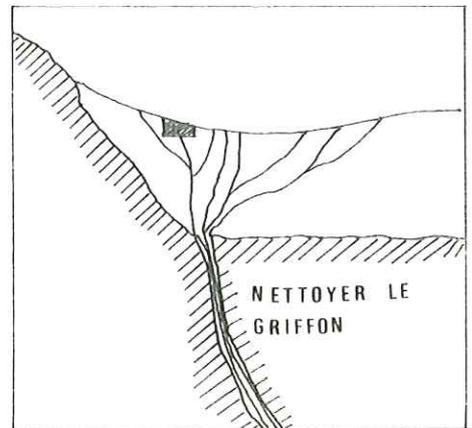
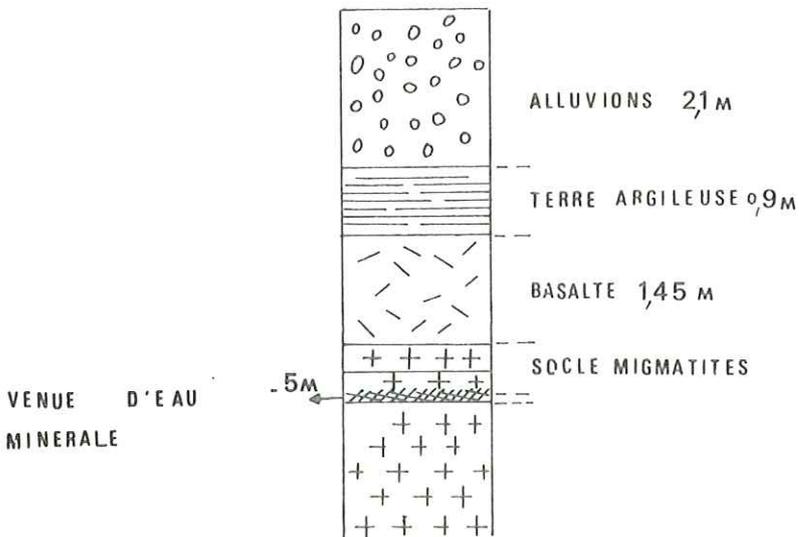




situation de la source des Bains



mode de captage



coupe du puits des Bains

FIG. 8-6

—●— température de la source thermale Des Bains
- - - - - température de l'air ambiant

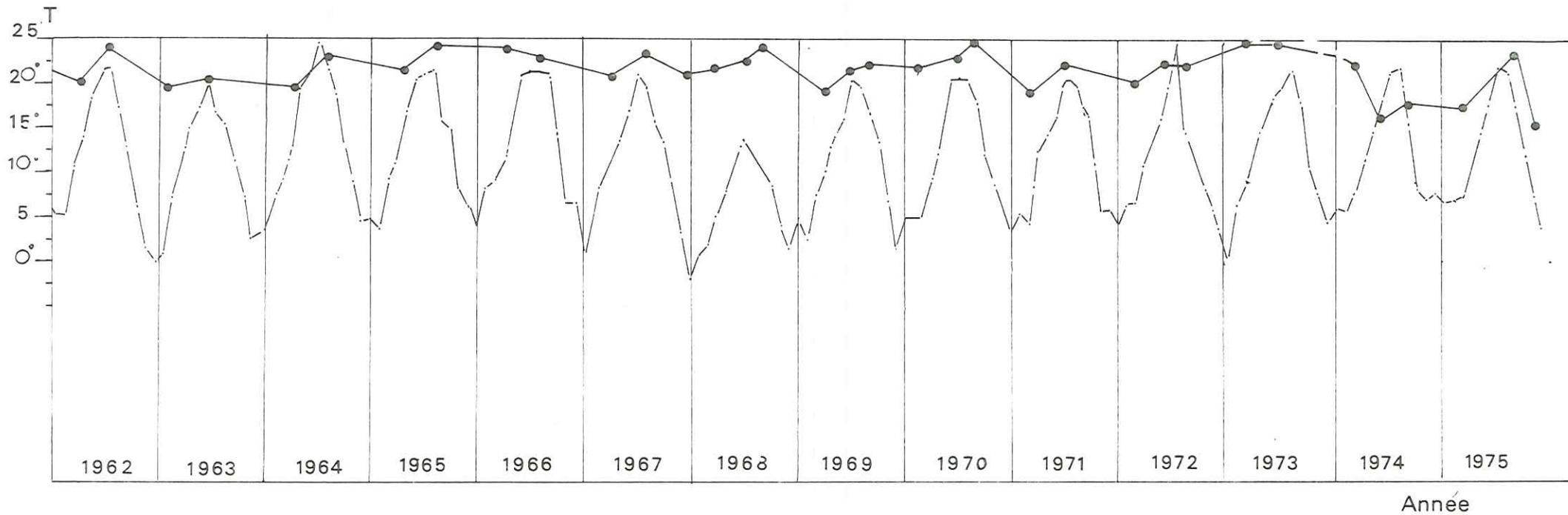


FIG. 8-7

Caractéristiques physicochimiques

Nous avons choisi d'étudier la source des Bains de la station thermale, qui est exceptionnelle sur de nombreux aspects par rapport aux autres sources de la région :

- c'est une source chaude 20°
- son débit 150 l/mn est nettement supérieur à toutes les autres sources.
- Elle dépose une quantité importante de boues rouges, et ses dépôts de travertins s'étalent sur plusieurs dizaines de mètres carrés.
- Elle est à 10 mètres d'une moffette : la Grotte de la Mort bien célèbre dans la région.
- Elle voisine avec les sources froides, concentrées en aval dans les points bas de la vallée.

A Neyrac les Bains existent trois sources minérales :

- la source des Bains 18 à 23°.
- La source Bienvenue 13 à 17° et distante de 100 m.
- La source des Cerfs à 10 m de la précédente (10 à 13°).

Ces sources émergent dans une dépression comblée de matériaux volcaniques surmontés d'alluvions de travertins.

Les matériaux volcaniques proviennent de la coulée de lave du volcan du Souillol, qui est venue butter contre un relief cristallin pour le contourner à l'Est et à l'Ouest. Les deux bras ainsi formés se rejoignent ensuite en une coulée unique dans la vallée de l'Ardèche.

Les alluvions (sables fins et graviers) ont été déposés par l'Ardèche sur la chaussée basaltique. Ils constituent actuellement une ancienne terrasse suspendue, (la rivière ayant par la suite entaillé la coulée basaltique jusqu'au soubassement granitique à Neyrac le Bas).

Nous avons déjà décrit les importants dépôts de travertins qui recouvrent alluvions et basaltes. Ils se suivent très bien quelques mètres à l'aval de la source principale des Bains jusqu'à la rivière.

Type de captage : (figure 8-6)

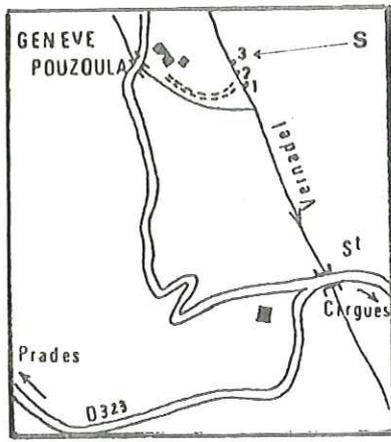
Une coupe figurant dans les archives du Service des Mines montre que la source des Bains a son puits creusé dans 2 mètres d'alluvions, 90 cm de terre argileuse, qui surmontent 1m45 de matériaux volcaniques. La source des Bains émergeait à l'origine avec un dépôt en relief de travertin. De ce dépôt plus rien n'est visible depuis qu'en 1941 on a entrepris de creuser un puits pour aménager le griffon. A trois mètres de profondeur l'eau s'est perdue dans un niveau très perméable, on a dû alors descendre le puits à 5 mètres de profondeur pour retrouver la veine d'eau minérale. A présent, c'est au contact socle granitique et brèches volcaniques, que vient l'eau de l'Est par un chenal naturel.

Il doit exister une fracture béante dans le socle masquée par ces dépôts superficiels. Actuellement l'eau minérale doit se frayer un chemin au travers de ces terrains perméables, pour émerger en différents points, et il est probable que la traversée de ces terrains soit accompagnée de mélanges superficiels avec les eaux météoriques. En effet :

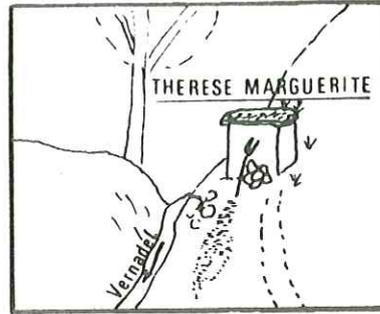
le débit de la source des Bains varie de 120 à 180 l/mn, sa température baisse de 4° en hiver et sa résistivité, de 600 $\Omega \times \text{cm}$ en été, monte à 900 $\Omega \times \text{cm}$ en hiver.

Ces paramètres ne sont pas stables et montrent que la source des Bains est l'objet d'un mélange très important, surtout, durant les saisons de fortes pluies. (figure 8-7).

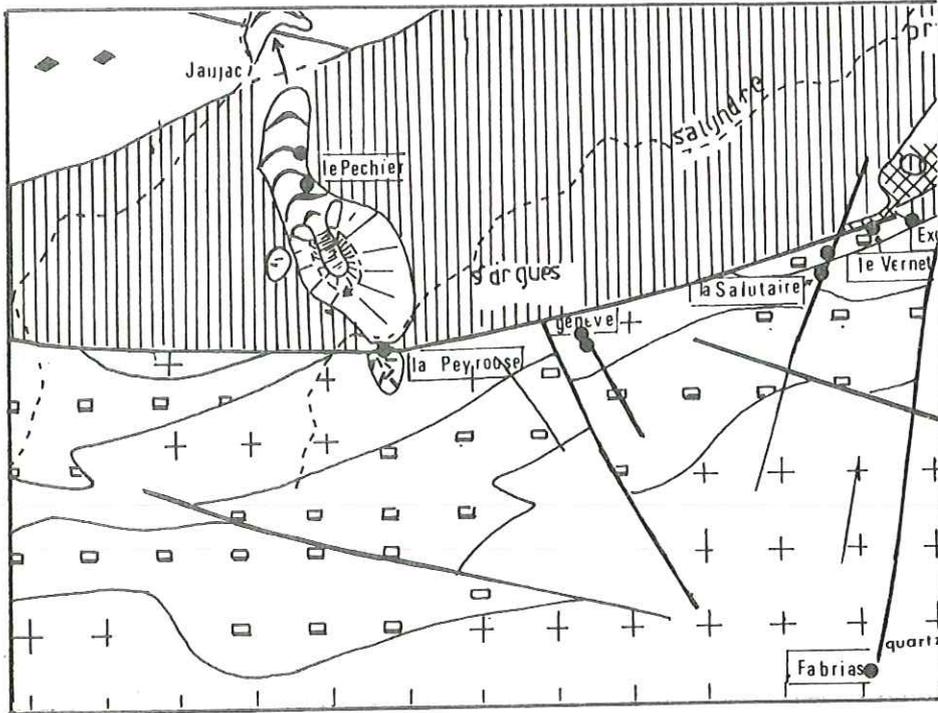
GENEVE



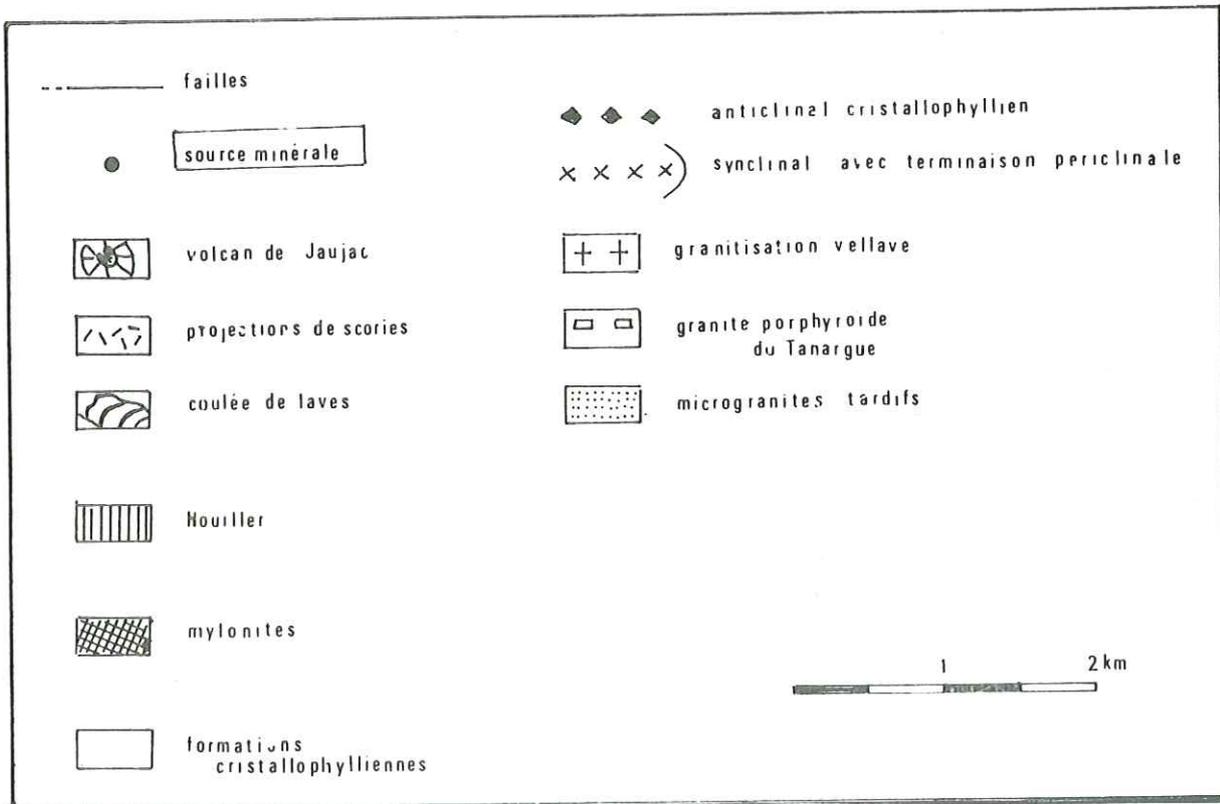
situation de la source



mode de captage



carte geologique



Il apparaît évident que les sources thermales de Neyrac les Bains sourdent parmi une nappe phréatique froide peu minéralisée, car :

- la prairie est reconnue instable pour toute construction. (les petits pavillons abritant les griffons sont complètement fissurés et disloqués).
- On a observé de nombreux roseaux dans les points bas du pré.
- Les sources Bienvenue et des Cerfs situés plus en aval de la prairie ont perdu leur thermalité et leur minéralisation. Ceci pouvant s'expliquer par le trajet prolongé de l'eau minérale dans les sédiments, avec une possibilité plus grande de mélange avec les eaux froides superficielles qui s'écoulent par gravité du Sud vers le Nord jusqu'à l'Ardèche.

Il s'en suit donc des situations propices au mélange à l'émergence, l'eau thermique venant se diluer dans les eaux froides superficielles. Afin d'améliorer le captage il serait nécessaire de nettoyer le griffon jusqu'à l'endroit où l'eau sort du granite, et de drainer les écoulements superficiels.

8-2-(4) - GENEVE POUZOULA (JAUJAC) (figure 8-8)

a) Situation géographique -

Le hameau de Genève Pouzoula (commune de St Cirgues de Prades) se situe au Sud du bassin versant étudié.

Les sources minérales ont une altitude de 435 mètres et sont en rive gauche du ruisseau de Vernadel au bas du village.

b) Terrain affleurant aux sources et fracturation.

En cet endroit passe la faille Sud du Lignon orientée Est-Ouest, qui limite la bordure Sud du bassin houiller de Prades. Le contact socle houiller est visible en bordure de la route qui monte au village. Le socle est constitué par le granite porphyroïde du Tanargue.

L'intersection de la faille Sud du Lignon avec la faille de Genève (N140) qui emprunte le thalweg de Vernadel doit permettre la venue au jour des eaux minérales.

Signalons enfin que nous sommes à proximité du volcan de Jaujac, qui s'est installé au fond de la dépression du bassin de Prades.

c) Caractéristiques physicochimiques :

trois émergences distantes de quelques mètres présentent les mêmes caractères physiques et chimiques.

Ce sont des eaux froides de 9° à 12°.

Leur résistivité varie entre 1700 et 2000 $\Omega \times \text{cm}$.

Leurs débits voisinent autour de 1^l/mn.

Nous mesurerons l'une d'entre elle : la source Thérèse Marguerite.

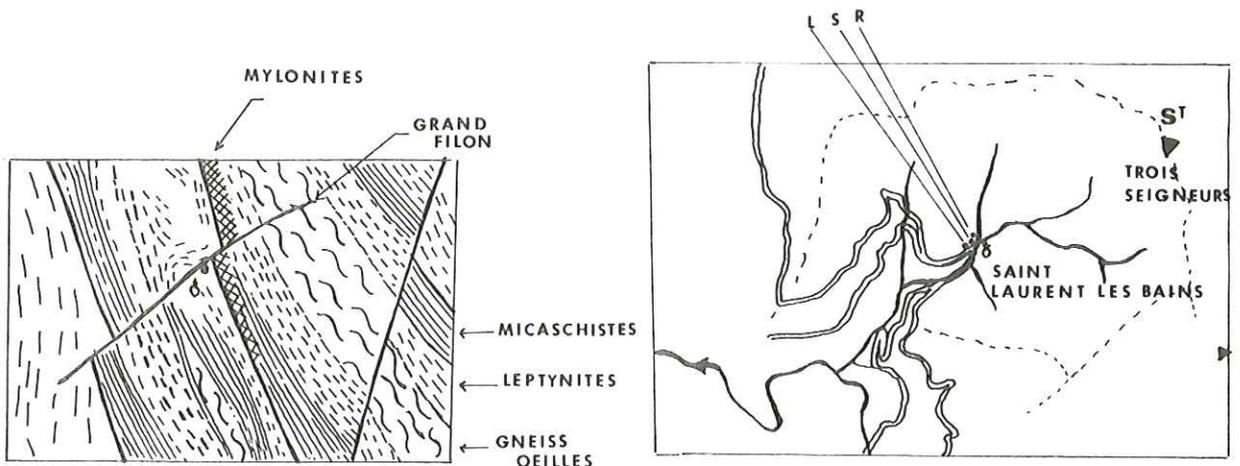
Ces sources n'ont jamais été exploitées, aussi le mode de captage est rudimentaire ; l'eau s'écoule naturellement par un simple tuyau fixé au rocher .

8-2-(5) - SAINT LAURENT LES BAINS - (figure 8-9)

a) Situation géographique -

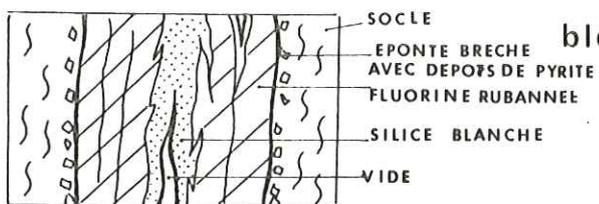
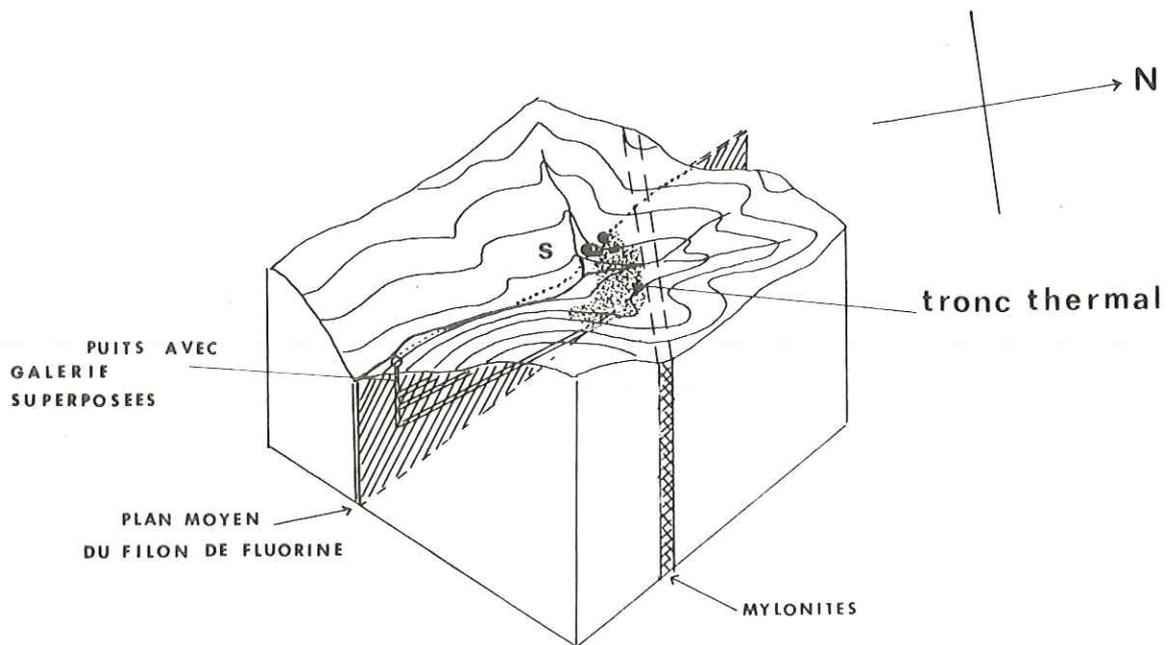
La station thermale de St Laurent les Bains est située 50 km au Sud-Ouest de Val les Bains, dans une région au relief très accidenté.

SAINT LAURENT LES BAINS



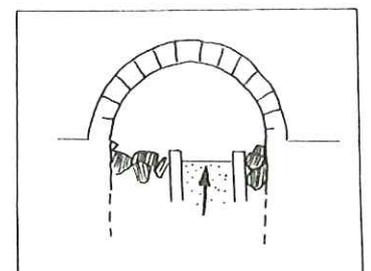
carte geologique
D'APRES WEISBROD 1/50000

situation des sources
1. 50000



coupe du filon
D'APRES AVIAS

bloc diagramme de la region



captage de la source
St Laurent

L'utilisation thermique des sources de Saint Laurent les Bains remonterait à l'époque romaine.

Trois sources émergent dans le village en rive droite du ruisseau de Saint Laurent.

- La source Saint Laurent qui a été l'objet d'une analyse chimique et isotopique (débit 120^l/mn, température 51, 3 à 53, 5° altitude 845 mètres).

- La source Rouvayrol : (débit 15^l/mn altitude 843 mètres).

- La source Lassaigne : (70^l/mn, température 53° altitude 837 mètres).

b) Terrains affleurant aux sources -

Les sources émergent au sein de la série catazonale ardéchoise représentée par des micaschistes, leptynites et gneiss ocellés.

c) Fracturation -

C'est une région particulièrement affectée de ruptures tectoniques de différents âges : failles Est-Ouest anciennes mylonitisées reprises par des failles Nord-Sud qui ont joué une extension à un moment donné, puisqu'elles sont soulignées par d'importants filons de quartz et de fluorine.

Le filon de fluorine le plus important, dit grand filon, passant par Saint Laurent, fut l'objet d'une exploitation intense de 1922 à 1927 et de 1848 à 1958. Il peut se suivre en surface, grâce aux effondrements qu'a entraîné le défilage des exploitations. Ce filon subvertical a été exploité par galeries superposées dont la plus basse est à la côte 780 mètres. Sa puissance varie de 1 à 10 mètres.

d) Circuit emprunté par les eaux thermales.

Ce filon de fluorine est à l'origine des trois venues thermominérales de la station, comme l'a montré l'incident survenu en 1958 lors de l'exploitation de la mine, et qui mérite d'être rappelé.

En effet en octobre 1958 à la suite d'un tir de mine dans la galerie à la côte 700 mètres, soit 185 mètres au-dessus de la station, de l'eau chaude fit irruption au front de la taille. Cet incident provoqua le tarissement complet des sources Saint Laurent et Rouvayrol, ainsi qu'une diminution du débit de la source Lassaigne. Des observations ont pu être faites à l'époque par J. Avias, Delmas et Tirat, qui démontrèrent qu'une ramification à terminaison en cul de sac du tronc thermal avait été touchée par les exploitations souterraines, ceci provoquant une vidange du tronc thermal.

Par la suite, un barrage en béton établi dans la galerie, a permis de ramener les eaux à la surface. Des observations détaillées ont été faites sur la remontée progressive des pressions, des débits, et des températures, en fonction du temps ; trois mois plus tard, les débits des sources étaient revenus à leur valeur initiale.

Cet événement exceptionnel a permis de préciser les caractères du tronc thermal sur les derniers 200 mètres de son trajet ascendant,

- Ainsi les eaux thermales de la source de Saint Laurent, circulent au travers du filon de fluorine.

- Le tronc thermal en se dispersant dans des fractures annexes du socle vient alimenter la source Rouvayrol, située à proximité du grand filon;

- Enfin la source Lassaigne qui a son griffon installé sur un petit filon de fluorine parallèle au grand filon, a également été touchée dans son débit ; ceci indique l'existence de communications entre ces deux filons.

e) Relation minéralisation et eaux hydrothermales.

Sur le schéma est indiqué une coupe de filon de fluorine : le centre du filon est occupé par des vides tapissés de silice blanche, les éponges sont soulignées par des brèches à dépôts de pyrite. Selon J; Avias, il semblerait qu'à Saint Laurent les Bains, on ait affaire à la dernière phase d'une importante émission hydrothermale.

Les eaux après avoir minéralisé en pyrite puis en fluorine les fractures d'extension par lesquelles elles arrivaient au jour, ne sont plus aujourd'hui susceptibles, dans les rares espaces filonniens non comblés, que de déposer de la silice.

8-3 -

ETUDE DES TEMPERATURES DES EAUX DE SOURCES
THERMOMINERALES AUX EMERGENCES ET EN PROFONDEUR A L'AIDE DES GEO-
THERMOMETRES CHIMIQUES CLASSIQUES (Si O₂, Na/K, Na/KCa)

8-3(1) -

INTRODUCTION.

Les eaux chaudes en traversant les roches ont une action dissolvante particulièrement puissante, et elles peuvent acquérir des compositions chimiques différentes des sources froides.

Aussi à partir de la composition chimique de l'eau arrivant en surface, on peut essayer de déterminer la température de l'eau en profondeur. Plusieurs méthodes basées sur la solubilité de certains éléments (SiO₂, Na, K, Ca) ont été mises au point dans ce but.

Bien entendu l'application de ces géothermomètres, suppose l'existence de certains équilibres dans le réservoir profond entre l'eau et les minéraux, et l'absence d'évolution des éléments entre le fond et la surface.

Ceci est vrai pour certains éléments (Na, K) dont les teneurs nous permettront de déterminer la température maximale atteinte par les eaux en profondeur.

Mais si les événements successifs modifiant la composition chimique de la solution au cours du trajet ascendant, ne sont pas mis en évidence, les résultats obtenus par les géothermomètres sont aberrants.

Par exemple le géothermomètre silice permet de calculer la température à laquelle la silice a été mise en solution. En fait dans le cas de mélange entre eaux chaudes profondes et eaux froides superficielles, la température TI calculée par ce géothermomètre, correspond à la température nécessaire à la mise en solution de la quantité de silice contenue par les eaux à l'émergence. Mais il se peut très bien qu'une partie de la silice contenue dans les eaux chaudes profondes, ait précipité sur les éponges du filon hydrothermal, dans la zone de mélange, du fait de l'abaissement de la température des eaux.

8-3-(2) -

LE GEOTHERMOMETRE SILICE,

Ce géothermomètre permet donc de calculer la température de l'eau dans la zone où les eaux chaudes profondes se mélangent aux eaux froides superficielles à des profondeurs relativement faibles. Les températures obtenues seront donc toujours inférieures aux températures maximales atteinte par les eaux à plus grande profondeur. On calculera les températures par la formule de R.O. Fournier et A.N. Truesdell (1974).

$$T^1 = \frac{1522}{5,75 - \text{Log Si O}^2 \text{ en ppm}} - 273$$

8-3-(3) -

LES GEOTHERMOMETRES Na/K et Na - K - Ca -
(FOURNIER TRUESDELL)

Ces géothermomètres permettent de calculer la température maximale atteinte par l'eau en profondeur. En effet :

lors du trajet ascendant les teneurs respectives en sodium et en potassium ne doivent pas être trop modifiées, car les concentrations atteintes restent très inférieures aux solubilités maximales de ces éléments, même à des températures faibles. Avec Na, K

$$T_2 = \frac{908}{\log (Na/K) + 0,7} - 273$$

avec Na, K, Ca

$$T_3 = \frac{1647}{\log Na/K \times \beta \sqrt{Ca}/Na + 2,24} - 273$$

$$\text{ou } \beta = 1/3 \text{ ou } 4/3$$

La température est ici calculée à partir de la composition molaire des eaux. Ces formules sont basées sur la solubilité de ces ions lors des réactions qui affectent les minéraux des roches cristallines (essentiellement les feldspaths).

8-3-(4) -

LE GEOTHERMOMETRE GEOLOGIQUE DE
SCHOELLER 1976.

Ce géothermomètre permet également d'estimer la température T_4 des eaux chaudes en profondeur.

Na et K sont des éléments qui dépendent beaucoup de la pétrographie régionale. Ce sont des indices qui doivent être établis pour la région. Il est possible, connaissant la composition chimique moyenne de la roche dans laquelle se fait la mise en solution, de calculer les coefficients de réaction n et m entre roche initiale et argile (produit final de décomposition des feldspaths).

Le tableau N°8-2 présente la composition chimique moyenne des roches cristallines qui nous permettra de calculer n et m,

$$n = \frac{Na + K}{Si O_2 - Si O_2'} \qquad m = \frac{Na + K + Ca + Mg}{Si O_2 - Si O_2'}$$

Na K Ca Mg sont exprimés en milliéquivalents

Si O₂ en moles

Si O₂' est la quantité de silice restant fixée sous forme d'argile lors de la décomposition du feldspath alcalin.

Si O₂' = 2 (Al₂O₃)

Il est possible de calculer d'après les formules

$$\frac{Na + K - cl}{n} = Si O_4 H_4$$

$$\frac{Na + K + Ca + Mg - cl}{m} = Si O_4 H_4$$

COMPOSITION CHIMIQUE DES ROCHES CRISTALLINES CALCULEE
AU POINT D'EMERGENCE DE CHAQUE SOURCE EN % D'OXYDES

	Si O ₂	Al O ₃	MgO	Ca O	Na O	K ₂ O
<u>ASPERJOC</u> (migmatites)	69,44	15,16	1,21	1,48	2,99	3,18
<u>VALS LES BAINS</u> migmatites et moyenne gneiss leptynites	72,47	14,43	0,55	0,98	4,21	3,57
NEYRAC LES BAINS migmatites	69,44	15,16	1,21	1,48	2,99	3,18
<u>JAUJAC</u> granite porphyroïde moyenne gneiss oeillés le. p tynites	73,21	13,05	1,03	0,88	2,89	3,92
DORNAS migmatites	67,2	14,9	1,95	1,65	3,85	2,37
<u>ST LAURENT LES BAINS</u> gneiss oeillés moyenne leptynites	71,6	14,6	0,86	0,81	2,49	4,73

D'après les analyses chimiques de J. P. Destombes, pour les terrains
granitiques et de Weisbrod pour les terrains cristallophylliens.

On a pour :

ASPERJOC	n = 0,188	m = 0,253
VALS LES BAINS	n = 0,230	m = 0,264
NEYRAC	n = 0,188	m = 0,253
JAUJAC	n = 0,180	m = 0,222
DORNAS	n = 0,207	m = 0,247
ST LAURENT LES BAINS	n = 0,197	m = 0,230

où les teneurs en ions contenues dans les eaux sont exprimées en milliéquivalents et où Si O₄ H₄ est obtenu en millimoles - on a alors :

$$T_4 = \frac{1522}{5,75 - \log \text{Si O}_4 \text{H}_4} - 273$$

qui est la température maximale atteinte par les eaux chaudes en profondeur avant leur mélange avec les eaux superficielles.

8-3-(5) -

RESULTATS -

Le tableau n° 8-3 regroupe les valeurs de température T₁, T₂, T₃, T₄, déterminées à partir des différents géothermomètres établis par Schoeller, Fournier, et Truesdel, qui nous paraissent les mieux adaptés pour les sources d'eaux thermales issues des roches cristallines et cristallophylliennes.

TABLEAU N° 8-3

émergence

TEMPERATURE DES EAUX EN PROFONDEUR

t	LIEU	T ₁ Si O ₂	T ₂ Na/K	T ₃ Na KCa	T ₄ n	T ₄ m	T ₅	% d'eau superficielle
13° 5	ASPERJOC	69	88	171	160	163	-	-
14°	VALS LES BAINS	121,5	166	196	196	194	-	-
23° 2	NEYRAC Les BAINS	143	258	260	106,5	131	-	-
12°	JAUJAC	100	195	216	61	83	-	-
11°	DORNAS	88,5	129	200	95	99	-	-
51° T	St LAURENT Les BAINS	121,5	122	198	96	94	259	84%

T₁ = température du mélange eau profonde - eau superficielle calculée à partir de la teneur en silices.

T₂ = température des eaux chaudes profondes calculée par le géothermomètre Na/K

T₃ = température des eaux chaudes fournies par le géothermomètre NaK-Ca

T₄ = température de la roche en profondeur calculée par la méthode de Schoeller

T₅ = température de l'eau en profondeur calculée à partir du diagramme de mélange des eaux profondes et superficielles.

Courbes représentatives de la température, et de la teneur en silice à l'émergence
 en fonction du pourcentage de mélange.

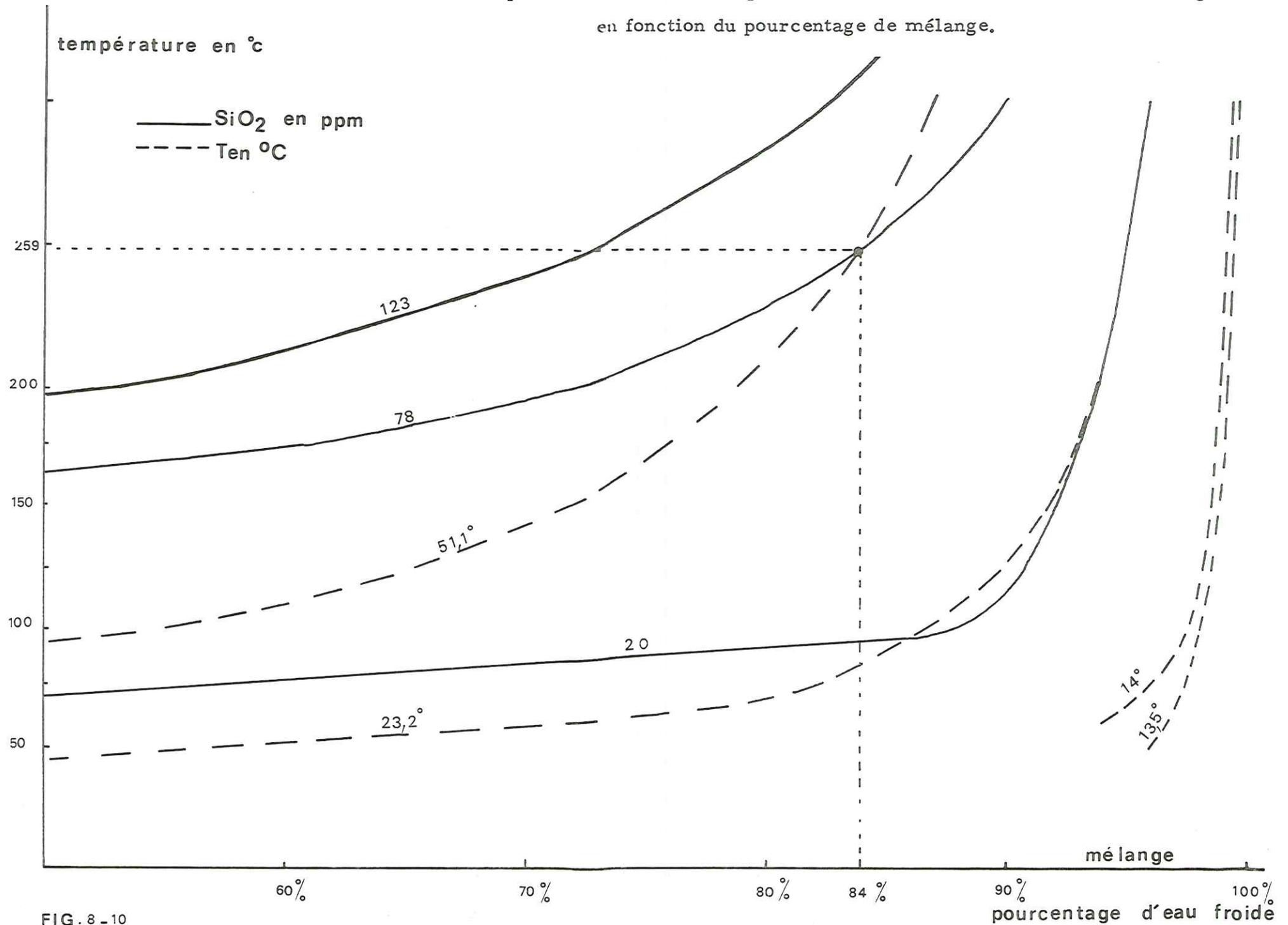


FIG. 8 - 10

Dans la région on obtient des températures au niveau des réservoirs, comprises entre 100 et 260°.

Pour les sources de Vals les Bains et d'Asperjoc, les ordres de grandeurs des températures calculées restent comparables. Pour les autres sources les températures T_4 calculées par le géothermomètre géologique sont nettement inférieures aux autres valeurs, ce phénomène anormal doit indiquer des mélanges très complexes.

Nous avons d'autre part tenté de construire sur un diagramme les courbes représentatives de la température à l'émergence en fonction du pourcentage de mélange, et les courbes de la teneur en silice à l'émergence en fonction du pourcentage de mélange (méthode proposée par Fournier et Truesdell 1974) (figure 8-10).

La teneur moyenne des eaux normales en silice est de (10 mg/l), et la température moyenne des eaux normales à l'émergence est de 12°.

L'intersection des deux courbes indique la température des eaux chaudes qui participent au mélange et la proportion d'eau froide dans le mélange.

A l'exception de la source St Laurent les Bains, les deux courbes construites pour les autres sources ne se recoupent qu'à des températures peu vraisemblables. En somme il est probable que le mélange ne soit pas aussi simple, et qu'il se fasse notamment entre plusieurs constituants.

8-4 -

UTILISATION DES METHODES ISOTOPIQUES.

8-4-(1)

INTRODUCTION

L'utilisation des isotopes du milieu (tritium, oxygène 18 deuterim) qui constituent les seuls traceurs intrinsèques de la molécule d'eau, vont permettre également de préciser l'origine des eaux minérales de la haute Ardèche et les conditions de mélange des eaux qui parviennent aux émergences.

Le B. R. G. M. a procédé au dosage de ces isotopes dans des échantillons d'eaux provenant des cinq sources minérales. A Asperjoc (source le Rocher du Merle) à Vals les Bains (source Camuse), à Neyrac (source des Bains), à Jaujac (source Genève), à Dornas, et à Laurent-les-Bains. (TABLEAU 8-1)

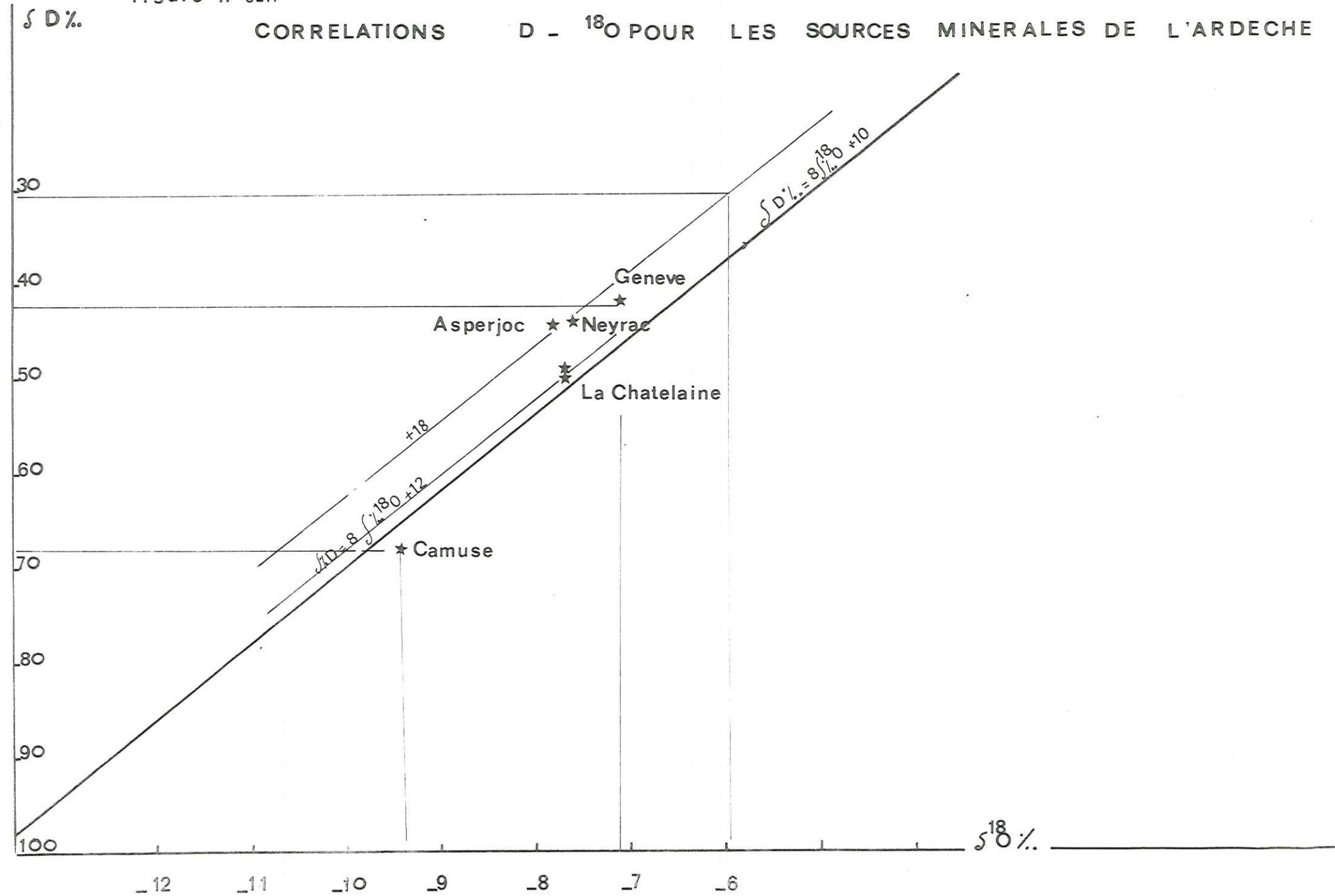
8-4-(2) -

ETUDE DES TENEURS EN TRITIUM DES EAUX MINERALES

Avant 1954, la teneur moyenne en tritium de toutes les eaux quelque soit leur origine était de l'ordre de quelque UT.

Depuis les premières explosions thermonucléaires de 1954 à 1965, la teneur en tritium des précipitations a augmenté de façon considérable, des valeurs records atteignirent 6000 UT en 1963. Par la suite avec l'accord des arrêts des essais aériens la quantité de tritium dans l'atmosphère n'a cessé de décroître. A l'heure actuelle les teneurs moyennes en tritium des précipitations dans les régions tempérées de l'hémisphère Nord voisinent autour de 100 UT à 80 UT. Une eau de pluie chargée en tritium et s'infiltrant dans un massif cristallin, sans subir d'apports ultérieur de la surface, perdra par désintégration radioactive la moitié de son activité en 12,3 ans - L'infiltration des eaux en profondeur, se faisant de façon très lente, alors que leur remontée est rapide, il est généralement admis que les circulations thermales les plus profondes sont très pauvres en tritium.

CORRELATIONS D - ¹⁸O POUR LES SOURCES MINERALES DE L'ARDECHE



Les compositions isotopiques en tritium des sources de l'Ardèche permettent de distinguer :

- les eaux à teneurs faibles qui correspondent aux sources de Vals les Bains (45 UT) et d'Asperjoc (46 UT)
- des eaux à fortes teneurs qui correspondent à la teneur moyenne en tritium des eaux de pluies actuelles (76 à 95 UT) sources de Neyrac et Jaujac et Dornas.

En somme, la présence du tritium est une preuve de l'origine météorique des eaux de sources étudiées.

Les eaux qui parviennent aux émergences sont probablement le résultat d'un mélange d'eaux anciennes à faible teneur en tritium avec des eaux superficielles plus récentes. Ces dernières pourraient être la composante principale, surtout pour les sources de Neyrac, Jaujac et Dornas.

8-4-(3) - ETUDE DES TENEURS EN OXYGENE 18 DES EAUX MINERALES ET DES TENEURS EN DEUTERIUM. -

Nous avons procédé également à la détermination de la teneur en oxygène 18 et en deuterium.

Les eaux de sources d'Asperjoc, de Neyrac, de Jaujac, et de Dornas, ont des teneurs en $\int^{18}\text{O}\%$ pratiquement identiques (7, 8, - 7, 6 - 7, 1 et 7, 7). Elles sont à des altitudes respectives de 395 mètres, et de 435 mètres, donc sans différences notables.

Seule la source de Vals les Bains présente une valeur différente (-9, 4), et elle émerge à une altitude de 230 mètres.

Le circuit thermominéral emprunté par les eaux de Vals les Bains semble donc se distinguer de ceux des autres sources.

Nous allons voir d'autre part que les valeurs $\int^{18}\text{O}\%$ et $\int\text{H}_2\%$ des eaux prélevées aux émergences, caractérisent des eaux météoriques.

Lors des épisodes précipitations les teneurs en oxygène 18 et en deutérium sont corrélées linéairement.

Toutes les eaux météoriques présentent en effet des relations précises entre $\int^{18}\text{O}\%$ et $\int\text{H}_2\%$ obéissant à la relation $\int\text{H}_2 = 8 \int^{18}\text{O} + d$

La valeur (d) est voisine de 10 pour nos régions (Craig 1961). Nous nous référerons donc à l'équation de Craig, (figure 8-11)

Nous avons reporté sur un diagramme la droite des eaux météoriques établie par cet auteur, ainsi que les points représentatifs des teneurs en oxygène 18 et deuterium de nos sources minérales.

On peut voir que les eaux minérales ne se situent pas toutes sur la droite de Craig, aussi plusieurs hypothèses peuvent être envisagées.

- Si l'on prend comme équation le droite de Craig $8 \int\%^{18}\text{O} + 10$, on voit que les sources d'Asperjoc, de Neyrac les Bains, et de Genève, ont des valeurs anormalement élevées en deutérium par rapport à l'oxygène 18, car il y a un échange entre ^{18}O et l'eau et celui de CO_2 . Ceci a été démontré par Fontes (1976) pour les sources incrustantes.

Les eaux des mofettes très riches en CO_2 subissent un échange isotopique, qui conduit à un enrichissement du CO_2 en ^{18}O . Les eaux se trouvent donc ici appauvries par l'effet de bilan.

- Ces trois sources peuvent aussi être comparées à la droite d'équation $8 \int\%^{18}\text{O} + 12$, le même raisonnement reste encore vrai.

- Il faudrait arriver à une droite d'équation $8 \int \% \text{ }^{18}\text{O} + 18$ pour ramener les trois points sur une droite, mais dans ce cas les autres sources présentent un enrichissement en ^{18}O sans modifications des teneurs en deuterium. Selon cette hypothèse les eaux des sources Camuse, et Dornas, auraient subi des échanges d'oxygène avec les minéraux des roches, qui ont des teneurs en ^{18}O généralement plus fortes que celles des eaux météoriques. Mais ces échanges ne peuvent se faire que sous de fortes températures des circuits hydrothermaux.

En effet les eaux de hautes températures liées à des zones de fortes activités magmatiques (dans les régions des geysers aux USA, en Islande, en Italie, en Azerbaïdjan, en Iran, aux Afars, en Ethiopie) ont des teneurs en ^{18}O anormalement élevées.

L'intersection d'une horizontale avec la droite de Craig représente les teneurs en ^{18}O et D des eaux d'infiltration avant les réactions d'échange, et permet donc de discuter de leur origine. En fait, il faut connaître exactement qu'elle est la droite de Craig de référence.

Nous pouvons opter pour la droite $8 \int \% \text{ }^{18}\text{O} + 12$, car celle-ci montre l'action du CO_2 pour trois sources, et l'échange avec les minéraux des roches encaissantes pour Camuse à Vals les Bains, où les températures déterminées par les géothermomètres sont les plus élevées, et d'autre part où les teneurs relatives en Na,K sont les plus fortes de la région.

Mais de toute manière comme l'ont remarqué de nombreux auteurs (Boch Marce Risler), on observe toujours de très faibles enrichissements en oxygène 18 , dans les régions du Massif Central (à Vichy, St Yone, la Bourboule, le Mont d'Ore, et Chaude Aigues) par comparaison avec les eaux chaudes des geysers des USA.

Il se pourrait très bien, que les mélanges avec les eaux superficielles amortissent aussi ces phénomènes.

Sachant que la teneur en ^{18}O des précipitations diminue avec l'altitude, nous avons d'autre part tenté d'estimer l'altitude d'infiltration des eaux météoriques selon l'équation de Dansgaard :

$$\int \% \text{ }^{18}\text{O} = at + b \quad \text{avec } a = 0,55 \text{ d'après Siwertz}$$

$$b = 1,38 \quad (1973)$$

$$t = \text{température moyenne annuelle de l'air}$$

Les variations de composition isotopique avec l'altitude sont évidemment différentes d'une localité à l'autre, elles ne font que traduire les variations locales de température sur les versants

Nous prendrons comme valeur moyenne du gradient altimétrique de température, la valeur de 0,6 %/100 mètres. (Besinq Bonvin 1973). On peut écrire :

$$t = mh + n \quad m = -6 \times 10^{-3}$$

$$n = 13,48$$

$$t = t \text{ moyenne annuelle}$$

Entre deux points d'altitudes différentes nous aurons :

$$\Delta \int = \int 2 - \int 1 = 0,55 t$$

$$\Delta T = t_2 - t_1 = 6 \times 10^{-3} (h_2 - h_1)$$

$$\Delta t = 6 \times 10^{-3} \Delta H$$

Si H_i représente l'altitude d'infiltration pour un O_{18} déterminé

$$H_i = \Delta + h_o \quad h_o \text{ altitude du point de référence}$$

$$H = \frac{\Delta \int}{0,55} \times \frac{1}{6 \times 10^{-3}} = 300 \times \Delta \int$$

$$H_i = -300 \left[\Delta \int^{18} O \right] + h_o$$

calcul de $\int^{18} O$ théorique. $\Delta \int^{18} O = \int_{\infty}^{18} O$ théorique - $\int_{\infty}^{18} O$ de la source

La température moyenne annuelle calculée sur une période de 10 ans est de : $t = 11,65^\circ$, on a donc :

$$\int^{18} O = (0,55 \times 11,65) - 13,8 = 7,39$$

connaissant cette valeur on pourra déterminer les altitudes d'infiltration, on obtient :

$$\text{Pour la source d'Asperjoc } H_i = -300 (-7,8 + 7,39) + 395 = 518 \text{ m.}$$

$$\text{Vals les Bains } H_i = -300 (-9,4 + 7,39) + 230 = 833 \text{ m.}$$

$$\text{Neyrac } H_i = -300 (-7,6 + 7,39) + 390 = 453 \text{ m.}$$

ainsi les eaux minérales semblent être reliées à :

- une altitude d'infiltration des eaux météoriques de 400 ± 150 m.

pour les sources d'Asperjoc et Neyrac, altitude qui correspond à l'altitude des points d'émergence. Les mélanges aux griffons sont donc très importants.

- Pour la source de Vals, à une altitude d'infiltration de 800 ± 150 m.

qui est donc un peu plus élevée par rapport aux autres sources.

Les eaux de Vals sont donc les moins sujettes à des mélanges d'eaux météoriques, ceci expliquerait leur plus grande minéralisation que nous avons pu observer dans le chapitre précédent, ainsi que leurs plus fortes teneurs en cations $Na + K$. Nous pouvons donc éliminer l'hypothèse selon laquelle la majorité des eaux infiltrées, proviendraient d'un bassin d'alimentation situé à plus haute altitude que 800 m, (origine du plateau de Mezenc 1200 mètre).

Mais il faut être prudent sur ces altitudes d'infiltration calculées du fait des modifications possibles des \int en ^{18}O et D originels, sous l'influence du CO_2 ou de la température des eaux profondes.

8-5

ETUDE DES GAZ D'ACCOMPAGNEMENT DE CERTAINES SOURCES MINÉRALES DE L'ARDECHE.

8-5-(1) -

INTRODUCTION.

Les émergences des eaux minérales de la haute Ardèche comme pour la plupart des sources du Massif Central sont le siège de dégagements gazeux très importants. Les gaz thermaux sont en général formés d'anhidride carbonique qui confère à l'eau son caractère bicarbonaté. Un très grand nombre de sources minérales ont une teneur importante en CO_2 libre, qui peut atteindre ou dépasser le volume d'eau.

- Composition des gaz : tableau n° 8-4

En valeur relative des gaz le pourcentage de gaz carbonique est supérieur à 90 % en volume (source Neyrac), le reste des gaz est composé d'azote, d'oxygène (cet élément indique une contamination par l'air

T A B L E A U N° 8 - 4

ANALYSES DES GAZ

	Analyse BRGM 1979		C. E. RH 1960	Etablissement Thermal 1960	
	Neyrac les Bains	Dornas la Cha- télaine	St Laurent les Bains	Vals les Bains Alexandre	Désirée
CO ₂ %	98,1 %	46,7 %	11 à 13 %	95,75 %	79,55 %
O ₂ %	0,7 %	8,3 %		0,63 %	1,87 %
N ₂ %	1,3 %	43,3 %	84 à 86 %		
Ar %	0,04 %	0,4 %	1,3 %	3,62 %	18,58 %
CH ₄ en ppm	1,85 %	52,5 %	1,7 %		
He	50 ppm	50 ppm	0,35		

atmosphérique), de méthane et de gaz rare, avec prédominance de l'argon.

Il est à remarquer que les deux sources minérales extérieures au bassin versant de la haute Ardèche : source de St Laurent les Bains, source de Dornas, ont des teneurs en azote aussi importantes que les teneurs en CO₂.

Quelle est l'origine du CO₂ et des autres gaz dans les eaux minérales ?

Nous avons déjà évoqué les diverses théories proposées par de nombreux auteurs, qui généralement accordent au CO₂ une origine profonde. Ce serait à la faveur de fractures profondes que le CO₂ pourrait s'échapper à la surface.

Nous avons vu que les émanations de gaz et les sources minérales principales, se localisent sur les failles de direction E-W, NE et NW, combinées mais plus particulièrement sur ces dernières orientées N150 ; direction qui peut correspondre à un amincissement de l'écorce terrestre.

La géochimie isotopique va nous permettre de préciser le problème génétique des gaz.

8-5-(2) -

ESSAI DE CARACTERISATION DES GAZ DISSOUS DANS LES
EAUX MINERALES PAR ANALYSES ISOTOPIQUES DU GAZ CARBONIQUE ET DU
METHANE.

Cinq sources minérales : le Rocher du Merle à Asperjoc, Camuse à Vals les Bains, Des Bains à Neyrac, Genève à Jaujac et la Chatelaine à Dornas (plus au Nord de la région) ont été également l'objet d'une étude approfondie de la composition isotopique des gaz associés aux eaux.

- Méthode d'analyse : les analyses ont été effectuées en spectrométrie de masse en simple et double collection par le BRGM à Orléans.

- Le but de cette étude est de déterminer par la géochimie isotopique l'origine des gaz. A cet effet a été déterminée la composition isotopique du gaz carbonique et du méthane.

L'ensemble des résultats chimiques et isotopiques est présenté dans le tableau n°8.1

- Interprétation -

a) Les analyses isotopiques du CO₂ montrent que la composition isotopique $\delta^{13}\text{C}$ varie entre - 4,1 et - 7,1. Nous rappellerons ici simplement que ces valeurs sont caractéristiques du CO₂ d'origine profonde :

par comparaison avec les analyses isotopiques faites pour d'autres sources minérales situées dans le Nord du Massif Central, les valeurs isotopiques $\delta^{13}\text{C}$ peuvent être attribuées à une origine magmatique du carbone ; en effet les résultats obtenus sont en concordance avec ceux publiés par Baultron, Bosch, Malfon, Marce, et Risler (1976) pour les sources froides carbon gazeuses dont les $\delta^{13}\text{C}$ sont très proches de - 6.

b) Les analyses de la composition isotopique du méthane indiquent des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ variant entre - 25,3 à 27,6.

La composition isotopique du carbone dans le méthane des gaz thermaux, montre ainsi un appauvrissement en carbone lourd par rapport au carbone du gaz carbonique coexistant. Il n'existe jusqu'à présent aucune explication satisfaisante sur ce fractionnement isotopique.

Conclusion : Les cinq sources étudiées ont pratiquement la même composition isotopique de $\int^{13}\text{C}$, et doivent donc avoir une origine magmatique du carbone.

En résumé : Les mesures isotopiques du tritium de l'oxygène et du deuterium démontrent l'origine météorique de ces eaux, et indiquent des proportions de mélanges importants entre les eaux superficielles récentes et les eaux profondes anciennes.

La comparaison des teneurs en $\int^{13}\text{C}$ mesurées sur le gaz carbonique avec celles mesurées dans d'autres régions du Massif Central nous amène à attribuer une origine profonde au CO_2 étudié, sans préciser s'il est lié au métamorphisme ou s'il provient du dégazage du manteau supérieur. (J. Maisonneuve et J. J. Risler 1974).

EAUX MINÉRALES DE L'ARDÈCHE

ANALYSES B.R.G.M. - PRÉLÈVEMENTS DE SEPTEMBRE 1978

—

- N° 1 - ASPERJOC - Source du Rocher du merle
 N° 2 - VALS LES BAINS - Source Camuse
 N° 3 - DORNAS - Source La Chatelaine
 N° 4 - SAINT LAURENT LES BAINS - Les Cacquets
 N° 5 - NEYRAC LES BAINS -
 N° 6 - JAUJAC - Pouzzola - Genève

N°	Résidu sec mg/l	Température	pH à T°
1	2 412	13,5°	6,28
2	4 458	14°	6,68
3	680	11°	5,78
4	520	51,1°	6,76
5	1 316	23,2°	6,08
6	350	12°	5,52

Eléments majeurs

N°	cations mg/l				anions mg/l			
	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃ [*]	Cl	SO ₄	NO ₃
1	161,4	71,9	770	19,8	2 592	66	14	15,0
2	53,6	39,9	1 720	124	4 794	78	54	22,0
3	36,4	19,8	209	10,1	689	20	13	3,6
4	13,8	0,9	205	8,7	491	20	31	1,9
5	202,0	50,2	226	37,0	1 433	10,5	14	6,6
6	41,8	20,6	64	6,3	390	3,8	7	≤ 1

* mesures effectuées sur le terrain

n°	en mg/l								en p p m									
	PO4 ³⁻	NH4 ⁺	B	F	SiO2*	Li	Sr	Fe	Ag	Ca	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
1	≤ 0,1	0,2	0,3	1,30	20	2,15	3,72	2,15	≤ 1	≤ 1	≤ 10	≤ 1	≤ 1	170	≤ 10	≤ 10	≤ 1	4
2	0,3	1,2	3,8	3,20	78	7,58	0,42	0,225	"	"	"	"	9	530	"	"	"	60
3	≤ 0,1	0,4	≤ 0,1	1,50	35	0,38	0,25	4,21	"	"	"	"	105	220	"	"	"	250
4	≤ 0,1	0,4	"	10,50	78	0,60	0,24	0,028	"	"	"	"	≤ 1	0,045	"	"	"	8
5	0,2	0,3	"	0,84	123	1,24	1,30	10,4	"	"	"	"	"	480	"	"	"	18
6	≤ 0,1	0,4	"	0,41	46	0,53	0,12	13,3	"	"	"	"	"	550	"	"	"	5

* mesures effectuées sur le terrain

ELEMENTS EN TRACES

La présence des éléments mineurs dans les eaux et aussi d'un grand intérêt pour préciser les caractères et les origines de ces eaux.

Caractérisation de ces eaux.

D'après les éléments majeurs nous avons pu reconnaître :

- des eaux bicarbonatées, sodiques, potassiques.
- des eaux bicarbonatées, calciques.

Nous allons essayer à présent de caractériser chaque source d'une part, à partir des teneurs en halogénures et bore, d'autre part des teneurs en éléments majeurs et éléments traces alcalins et alcalinoterreux (figure 8-12).

Les compositions des diverses sources ont été comparées à l'aide d'un diagramme semi-logarithmique (fig. 12). Les profils obtenus ont des allures assez voisines ; ceci indique que les teneurs dans les eaux sont en proportions analogues. Toutefois dans le détail on note quelques fluctuations des rapports entre ions observés.

L'examen du diagramme fait apparaître, que les sources d'Asperjoc, de Dornas, de Neyrac, et Genève ont vis à vis des teneurs en bore de fortes teneurs en fluorures et surtout la source de Saint Laurent les Bains, qui nous l'avons vu, traverse un filon de fluorine lors de son trajet ascendant.

Au contraire la source Camuse à Vals les Bains, a des teneurs en fluorures un peu faibles vis à vis de celles en bore. Par ailleurs, toutes les sources ont des teneurs en chlorures fortes vis à vis des teneurs en bore et fluorures.

D'autre part les eaux de sources Camuse, Asperjoc, Dornas, Neyrac présentent des rapports Cl/SO_4 supérieurs à 1.

Au contraire les sources de Genève et Saint Laurent les Bains ont des rapports entre Cl et SO_4 inférieurs à 1.

En ce qui concerne les éléments alcalins, toutes les sources présentent des rapports entre éléments très comparables entre elles.

Pour toutes les sources le rapport Na / Li est très supérieurs à 100, et le rapport K/Li est supérieur à 10, de même le rapport Na/K est supérieur à 10 sauf pour la source de Neyrac les Bains.

En ce qui concerne les éléments alcalinoterreux, les rapports Ca/Cr sont supérieurs à 100 pour les sources Camuse, Dornas, Neyrac les Bains, et Genève.

Enfin la source Camuse à des teneurs fortes en Mg vis à vis de Ca, toutefois Ca/Mg reste inférieur à 1 comme pour toutes les sources.

En somme les teneurs en halogénures montrent que les sources sont caractérisées par un rapport $Cl/F > 100$, dans lesquelles $F > B$ Saint Laurent les Bains, Asperjoc, Dornas, Neyrac, Genève.

et $B > F$ Camuse à Vals les Bains

- Les rapports entre cations et traces montrent que toutes les sources sont caractérisées par $K/Li > 10$ et $Na/Li > 100$.

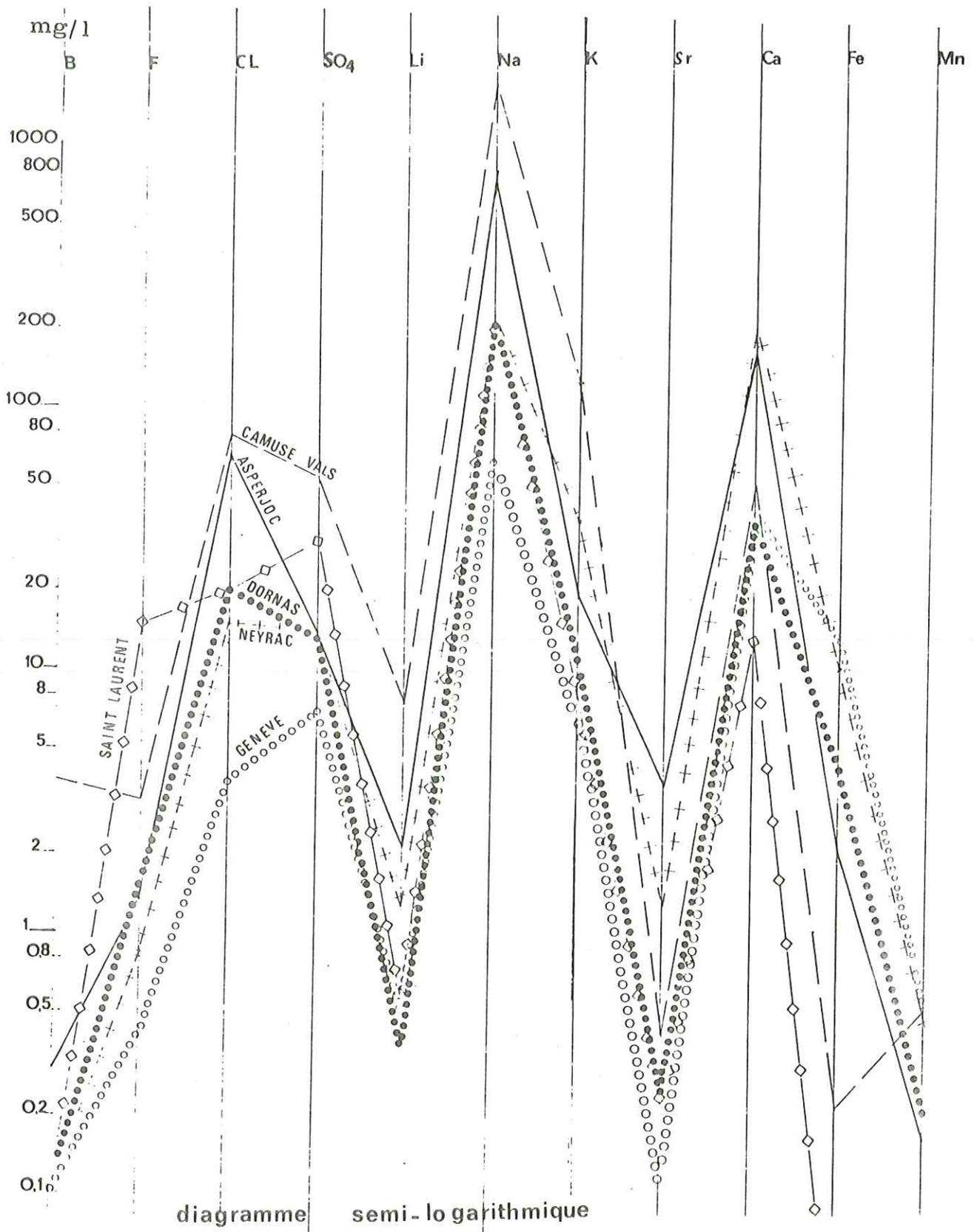


Fig 8-12 Géochimie des éléments majeurs et mineurs.

- Si l'on considère le seul rapport Ca/ Cr les sources se répartissent en deux groupes :

Ca/ Cr	100	Camuse, Dornas, Neyrac, Genève.
Ca/ Cr	100	Asperjoc, Saint Laurent.

ORIGINE DE LA MINERALISATION

Les sources d'Asperjoc, de Vals les Bains, de Genève, et de Neyrac les Bains sont distantes de quelques kilomètres les unes des autres. Les deux autres sources, Dornas et Saint Laurent les Bains sont distantes de plusieurs dizaines de kilomètres des précédentes. Cependant toutes ces sources présentent des profils très semblables dans le diagramme semi-logarithmique.

- Avant tout si la composition n'est pas très différente, c'est que ces sources émergent dans les mêmes formations cristallines. En effet la nature des roches traversées est un élément déterminant de la minéralisation de ces eaux, et tout spécialement des cations. Il est probable que les éléments traces ont la même origine que le reste de la minéralisation, et qu'ils sont extraits des roches encaissantes.

- Les apports fumerolliens.

L'influence d'apports fumerolliens est très vraisemblable, particulièrement pour les anions. Ces apports doivent être variables d'une source à l'autre. Nous avons déjà remarqué que l'influence est très nette pour les bicarbonates, dont la teneur est directement liée à la quantité de CO₂ qui se dégage à l'émergence.

Nous pensons que le CO₂ provient de très grande profondeur et correspond au dégazage du socle.

Des produits volatils peuvent être associés au CO₂ tels le bore et le chlore, qui auraient également une origine profonde. En effet il semble que le bore et le chlore sont liés de façon étroite au CO₂ (source Camuse et Asperjoc)^{qui} sont aussi les plus riches en bore et en chlore.

Nous pouvons aussi voir^{sur} le diagramme que les fluorures et les chlorures sont liés entre eux, à l'exception de la source Saint Laurent les Bains qui présente de plus fortes teneurs en fluorures.

Mais nous en connaissons la raison, puisque nous savons que le tronc thermal emprunte le grand filon de fluorine dans son dernier trajet ascendant. Ici les fluorures sont arrachés aux roches traversées.

Pour les autres sources on peut se demander si les fluorures, sont en liaison avec les roches encaissantes ou avec des apports fumerolliens.

Les apports fumerolliens doivent se faire à la faveur des fractures majeures du socle, que nous avons défini dans l'introduction tectonique.

En résumé :

Il semble bien que la minéralisation soit acquise lors de la traversée des roches cristallines, qui existent dans la région, mais aussi peut être à partir d'apports fumerolliens ou magmatiques. La composition des eaux doit être également en étroite liaison avec la température. A ce sujet nous avons tenté de voir, si l'on peut établir une corrélation entre les divers rapports ioniques et la température des eaux. En fait aucun rapport entre ions n'augmente linéairement en fonction de l'élévation de températures aux émergences, ou des températures des eaux en profondeurs, calculées à partir des géothermomètres chimiques. Faute de disposer d'un plus grand nombre d'analyses, nous ne pouvons pas lever ces difficultés d'interprétation. Néanmoins ces quelques analyses complètes nous ont permis d'aborder quelques problèmes intéressants sur l'origine de la minéralisation, et de voir la complexité des mécanismes hydrothermaux.

INTERPRETATIONS ET CONCLUSION GENERALE

Au cours de l'étude des sources minérales du bassin versant de la haute Ardèche, nous avons eu l'occasion d'exploiter de multiples données géologiques, qui nous ont permis de faire une synthèse générale de la région.

Les deux cents sources minérales que nous avons recensé dans le seul bassin versant de la haute Ardèche, sont le signe de l'existence de circulations complexes d'eaux souterraines favorisées par la présence de grands accidents de socle, dont l'importance dans la structure de cette partie orientale du Massif Central. est de plus en plus reconnue.

Dans les premières parties de ce mémoire, nous nous sommes donc attachés à déterminer les failles qui facilitent les émergences d'eaux minérales, et celles qui mettent les eaux en relation avec des zones profondes.

Cette étude a permis de découvrir que plusieurs directions structurales interviennent suivant les secteurs :

- a l'Est du bassin versant ce sont avant tout, les discontinuités élémentaires liées à la zone de décrochement sénestre de l'accident de Vals les Bains, qui conditionnent les émergences, notamment les Riedels conjugués R (N20) et R' (N140) et les fissures d'extension T (N170).

Ces fractures pour la plupart postestéphiennes très nombreuses, ont multiplié à un très fort degré les voies ascendantes des eaux minérales dans ce secteur.

- A l'Ouest du bassin versant l'influence du décrochement de Vals les Bains est plus faible ; on note quelques failles de type T à Neyrac. Mais ce sont essentiellement des failles de direction Est-Ouest antestéphiennes, qui jouent un rôle sur la distribution et les alignements remarquables des sources minérales dans ce secteur.

Ces très anciennes cicatrices de socle matérialisées par d'épaisses mylonites et de nombreux filons de quartz, doivent également servir de drain et faciliter la percolation des eaux météoriques.

- à ce réseau graphique de fractures se superpose une intense fissuration de direction Nord 150, généralisée dans toute la région, qui a été mise surtout en évidence par une exploration photogéologique. Ce sont des fissures d'extension récentes, dont la direction correspond à l'alignement des volcans quaternaires du Vivarais. Il est possible que ces fissures soulignent un accident majeur non visible en surface, et qui aurait permis les émissions volcaniques. Les intrusions basaltiques profondes ont suivi, lors du volcanisme quaternaire, ces fractures de distension; actuellement ces mêmes failles constituent des voies d'acheminement des fluides jusqu'au griffon, ainsi que le démontre l'étude des caractéristiques physicochimiques des sources minérales.

En effet l'étude hydrologique a montré, que les sources principales les plus remarquables par leurs propriétés physicochimiques, jalonnent ces fractures et sont toujours à proximité immédiate d'un volcan.

Plusieurs groupes de sources ont été mis en évidence dans la région.

- Il semble par exemple que Neyrac, à l'aplomb du volcan du Souillol, soit à l'emplacement central d'une venue thermominérale. La forte minéralisation et la thermalité de la source principale Des Bains, montrent que ces eaux viennent directement d'un tronc thermal. En s'éloignant de Neyrac, le mélange avec les eaux superficielles est de plus en plus important, (surtout pour les sources les plus extérieures à l'aire d'émergence) Ce phénomène se traduit par une diminution progressive de la température et de la minéralisation, d'autant plus marquée que les eaux suivent un long parcours à partir du "tronc thermal". Les émergences périphériques représentent donc des divagations d'un "tronc thermal".

D'autres aires d'activité ont été déterminées dans la région d'Asperjoc au Nord, à proximité du volcan d'Aizac, à Jaujac au Sud et à Vals les Bains. Ainsi nous remarquons que c'est avant tout une tectonique récente d'extension, fracturation orientée N150, qui conditionne la position des sources "principales", comme elle avait conditionné celle des volcans.

Nous rejoignons donc les idées de Destombes qui avait remarqué cette fracturation récente, bien visible dans le lit de la Volane et dans les puits de Vals les Bains.

Mais nous ajouterons que le contexte géologique régional se caractérise par la présence d'accidents majeurs de différents âges :

- l'intersection des anciennes cicatrices de socle Est-Ouest, avec l'accident de Vals NE, et la direction N150 d'extension, se fait dans le secteur privilégié de Vals les Bains, qui à l'échelle du Massif Central, correspond à une zone très fracturée exceptionnellement riche en sources minérales carbogazeuses.

Après avoir fait la synthèse des données structurales et magmatiques afin de mieux saisir les modalités du circuit souterrain emprunté par les eaux minérales, nous avons poursuivi notre étude par la géochimie des eaux.

L'examen des analyses chimiques a montré que toutes les eaux minérales de la région, sont bicarbonatées sodiques à mixtes (+ Ca K), ferrugineuses et riches en gaz carbonique. Ce type est classique dans les régions à volcanisme récent. Les minéralisations élevées peuvent atteindre 7 g/l, en bicarbonates (Vals les Bains). Certaines sources sont accompagnées d'importants dépôts de travertins, et peuvent constituer des agglomérats à leurs griffons (Neyrac les Bains, Mercier, Entraygues). D'autre part, la floculation : à l'émergence provoque des accumulations de boues rouges non consolidées ferrugineuses.

Les sources minérales se définissent également par une température froide (10 à 14°), les exceptions se rencontrent à Neyrac les Bains (23°) et à Saint Laurent les Bains (51°c); leurs résistivités sont généralement comprises entre 1000 et 200 $\Omega \times \text{cm}$ à 18° celsius. Enfin la plupart des eaux proviennent de forages à faible profondeur (moins de 15 mètres), les débits étant fréquemment compris entre 1 et 10 l/mn. Il existe quelques sources à débit très supérieur, notamment à Saint Laurent les Bains (66 et 88 l/mn) et à Neyrac les Bains (180 et 120 l/mn).

Les analyses chimiques classiques ont montré que la composition minéralogique de l'eau exprime non seulement, la nature des roches traversées, mais aussi les conditions thermodynamiques de mise en solution. (CO_2 et température).

La minéralisation a une origine double : la plus grande partie des anions a une origine profonde (provenant du dégazage du manteau), et jouent le rôle de minéralisateur, nous sommes dans une région affectée d'une tectonique cassante de grande amplitude et le CO_2 est partout présent. Ce sont de grandes fractures qui permettent au CO_2 de s'échapper et d'émulsionner les eaux souterraines qu'il rencontre. Les cations (Na, K, Ca) proviennent quand à eux pour la plupart, de la lixivation des roches traversées par les eaux chargées de CO_2 ; ainsi la présence des bicarbonates permet à l'eau d'acquérir une minéralisation complémentaire. D'autre part, c'est au niveau de la proportion des cations Na, K ou Ca que se font les principales variations de compositions chimiques observées d'une source à l'autre. Les eaux émergeant au Sud-Est du bassin versant (Vals les Bains, Prades Jaujac) présentent une composition à forte prédominance sodique, qui les distingue des autres sources de la région (au Nord et au Nord-Ouest) qui présentent une composition chimique à tendance calcique. Ceci peut s'expliquer par la nature minéralogique des roches traversées, une durée variable du temps de transit de l'eau permettant une dissolution plus au moins complète de ces éléments, avec d'éventuels échanges de bases sous l'effet de la température des eaux en profondeur, de la teneur en CO_2 libre contenue dans les eaux, et des proportions de mélanges d'eaux superficielles.

Plusieurs facteurs peuvent intervenir dans cette répartition des cations :

- nous savons que toutes les sources minérales sont situées dans un même environnement cristallin. Les différences de minéralisation, ne peuvent donc pas s'interpréter aussi facilement en fonction des variations de la composition pétrographique et minéralogique des roches d'un secteur à l'autre.

- Il semblerait plutôt, que les facteurs essentiels de la minéralisation lorsque les roches traversées sont cristallines, soient la présence d'un élément minéralisateur l'anhydride carbonique, et le temps de contact de l'eau avec les roches encaissantes. Nous savons que le CO_2 renforce l'action de l'eau pure et permet un lessivage 8 à 10 fois plus intense des cations.

- La température des eaux en profondeur, peut être également envisagée puisque les eaux chaudes ont un pouvoir dissolvant plus fort sur la roche encaissante, et elles peuvent acquérir des compositions chimiques différentes des sources froides.

A partir des teneurs en silice dissoute, et des rapports Na, K, Ca des eaux thermominérales, nous avons tenté de déterminer les températures des aquifères profonds, et du mélange des eaux chaudes profondes et des eaux froides d'infiltration. Les calculs effectués montrent quelques divergences entre les résultats obtenus par les divers géothermomètres, mais pour les sources de Vals les Bains et d'Asperjoc, les ordres de grandeur des températures des aquifères profonds restent comparables et voisinent autour de 190° . La concordance entre les valeurs est un peu moins bonne pour les autres sources de Neyrac, Jaujac, St Laurent les Bains (variant entre 100 et 200°).

De toute façon, les températures indiquées en profondeur ne dépassent jamais 250° dans la région, ce qui est faible, et ne témoigne pas d'anomalies géothermiques élevées comme dans d'autres régions du Massif Central.

Les analyses isotopiques des eaux et des gaz réalisées sur un certain nombre de sources principales, ont apporté un complément d'information sur ces eaux minérales et ont permis des développements plus approfondis sur leurs origines

- Les sources minérales de Vals les Bains et d'Asperjoc, ont des teneurs en tritium voisines de 45 UT, les sources de Neyrac, Jaujac, Dornas ont des teneurs plus fortes en tritium 76 à 95 UT. Ce qui prouve que les eaux qui parviennent aux émergences, résultent de mélanges en proportions importants entre des eaux profondes anciennes ayant circulé lentement dans le sous-sol, et des eaux superficielles ou semi-superficielles plus récentes provenant des versants montagneux. Ces dernières pourraient être la composante principale surtout pour les sources de Neyrac les Bains (dont les mélanges sont certains à l'émergence), Jaujac, et Dornas.

- L'étude des isotopes naturels stables, qui font partie intégrante de la molécule d'eau, oxygène 18 et deutérium, confirme que les eaux profondes et superficielles proviennent d'eaux météoriques. Les eaux des sources d'Asperjoc, de Neyrac, de Jaujac et Dornas, ont des teneurs en $\delta_{\text{‰}}^{18}\text{O}$ pratiquement identiques comprises entre (- 7,1 et - 7,8), la source Camuse à Vals les Bains présente une valeur différente (-9,4) et semble donc se distinguer des autres sources.

Les mesures des teneurs en deutérium font également ressortir cette particularité pour les eaux de Vals les Bains. Si l'on choisit la droite de Craig d'équation $\delta_{\text{‰}}^2\text{D} = 8\delta_{\text{‰}}^{18}\text{O} + 12$ comme référence (droite qui caractérise les eaux météoriques, pour le Sud de la France, région Europe méridienne), on s'aperçoit que la source de Vals montre des teneurs en O^{18} plus fortes que celles des eaux météoriques, ce qui pourrait indiquer des échanges en oxygènes 18 avec les roches encaissantes.

Cet échange ne se produit généralement qu'à des températures élevées, condition qui n'est pas incompatible pour les eaux de Vals, dont les températures des aquifères profonds calculées à partir des géothermomètres chimiques, sont les plus élevées de la région. (200°).

Ces échanges ne doivent pas tout de même être aussi importants que ceux qui affectent les eaux à très hautes températures liées à des zones de fortes activités magmatiques comme en Iran par exemple (région d'Azerbaïdjan), ou aux USA (région des geysers) où les teneurs en O^{18} sont anormalement élevées. Dans le cas des sources minérales de l'Ardèche, les températures en profondeur étant faibles, doivent limiter les échanges avec l'encaissant.

Les autres sources présentent quand à elles une légère modification de la composition isotopique par échange de O^{18} de l'eau et celui du CO_2 (Fontes 1976), les eaux se trouvent appauvries par l'effet de bilan en O^{18} par rapport au deutérium.

D'autre part, il faut dans tous les cas, tenir compte des mélanges avec les eaux superficielles qui amortissent les phénomènes et tendent à ramener les points sur la droite de Craig.

Du fait des modifications possibles des teneurs en O^{18} et D originels, les altitudes d'infiltration des eaux météoriques calculées à partir des isotopes doivent être considérées avec beaucoup de réserves. Les résultats obtenus nous permettent simplement de remarquer que les eaux de Vals les Bains semblent se distinguer des autres sources par des altitudes d'infiltration plus élevées.

Enfin l'étude isotopique des gaz dissous dans les eaux, a été effectuée sur les sources principales d'Asperjoc, de Neyrac, de Jaujac, de Vals les Bains, et de Dornas.

La comparaison des teneurs en ^{13}C mesurées sur le gaz carbonique, avec celles mesurées dans d'autres régions du Massif Central, nous amène à attribuer une origine profonde au CO_2 sans préciser s'il est lié au magmatisme, ou s'il provient du dégazage du manteau supérieur. (J. Maisonneuve, J. J Risler).

C O N C L U S I O N

Au t erme de cette étude, il apparaît donc que les eaux minérales de la haute Ardèche ont une origine essentiellement météorologique, tandis que les gaz ont une origine profonde, comme le suggère par ailleurs le contexte géologique régional, qui se caractérise par un volcanisme récent quaternaire et une fracturation intense.

Par comparaison avec d'autres provinces du Massif central, la région ne semble pas présenter d'anomalies géothermiques importantes, mais plutôt des émanations importantes de CO_2 .

Les résultats que nous avons obtenus à partir de disciplines très diverses permettent donc de mieux comprendre la localisation et l'origine des sources minérales de la haute Ardèche.

Mais ces résultats ne doivent pas être considérés comme définitifs : il eut été souhaitable de disposer d'un plus grand nombre de mesures hydrologiques et d'analyses isotopiques.

Nous pensons toutefois que les méthodes que nous avons mises en oeuvre, qui sont essentiellement d'ordre géologique, nous ont permis de bien montrer la liaison entre la tectonique, le magmatisme, et les phénomènes hydrothermaux, et il nous semble que ceci constitue un nouvel exemple de l'importance des études géologiques fondamentales pour la compréhension des problèmes particuliers de l'hydrogéologie. Mais les techniques de cette dernière spécialité apportent par ailleurs des informations précises sur le comportement de l'eau et des minéraux à des profondeurs qui échappent aux moyens d'observations classiques.

BIBLIOGRAPHIE
=====

- AUBIGNAT A. - (1975). - Les sources thermominérales : leur hydrogéologie et leur captage. Ann. Mines Fr., 9-22
- AVIAS J., DELMAS J.P. et TIRAT M. - (1960). - Relation entre les filons et fluorine et leurs sources thermales de la région de St-Laurent-les-Bains. (Ardèche)
La Houille Blanche, 6è jour de l'hydrau. Soc. Hydrotec.
Fr. Nancy.
- AVIAS J. - (1967). - La Houille Blanche . - Les noyaux préservés . -
- BAUDRON J.C., BOSCH B., MALFON J., MARCE A., RISLER J.J. BRGM (1976)
Essai de caractérisation des gaz dissous dans les eaux thermominérales par analyse isotopique de l'Argon, du gaz carbonique et du méthane 1976. -
- BEAUCHET. - (1975). - Les facteurs météorologiques responsables des crues de l'Ardèche.
Thèse Grenoble 1975. -
- BERGER E. - (1976). - Le volcanisme récent du Vivarais.
Thèse Paris, Orsay
- BERGER E., BROUSSE R., et MAURY R.C. - (1975.) - Age récent (11.770 + 270 B.P.) des dernières éruptions du Vivarais. C.R. Ac. Sc. t. 280, p. 419-422. -
- BERTUCAT M. (1957). - Etude géologique du Haut-Vivarais occidental. Dipl. Géol. Pétrogr., Clermont-Ferrand.
- BOINEAU R., MAISONNEUVE J. (1971). - Les sources minérales du Massif Central français et leur cadre géologique.
Clermont-Ferrand plein air, Serv. Ed. Sci. p. 581-607. -
- BORDET. - Les modes de circulation de l'eau dans les terrains cristallins d'après observations en galerie
Congrès Université de Liège v 14. -
- BOSCH B., GUEGAN P., HUBERT Ad., MARCE Ph., OLIVE E., SIWERTZ . - (1970). - Les cycles atmosphères-hydrosphères du tritium sous les latitudes moyennes depuis 1952. -
C.R. Acad. Sc. Paris t. 270, série D, p. 267-270. -
- BOSCH B., DAZY J., LEPILLER M., MARCE A., OLIVE Ph., POULAIN P.A., et SARROT R.J. - (1976). - Données nouvelles sur quelques sources thermominérales des Alpes françaises. -
Inter. Cong. on Thermal Water. I. A. H. S. Athènes. -
- CAILLEAUX P. - (1976). - Les éléments traces dans les eaux thermominérales du Massif Central.
Thèse 3ème Cycle. Université Paris 7. -

- CAILLEUX P., FOUILLAC C., MICHARD G., ORCEL M. J., - (1976). - Etude géochimique des sources thermales de Chaudes-aigues (Cantal), conséquences géothermiques. C. R. Acad. Paris 282, n° 13, série D, p. 1237-1240. -
- CAILLOT. - (1953). - Note du Service des Mines d'Aubenas sur le bassin hydrominéral de l'Ardèche. -
- CASTANY G. - (1967). - Traité pratique des eaux souterraines 2è édition Paris Dunod 662 p. -
- CHARTON. (1961). - Calcul des pluies écoulées et quelques coefficients d'écoulement lors des crues ardéchoises de 1955 à 1960. -
- CHATONIER. - Thèse (1957). - Etude de la minéralisation des eaux en rapport avec la composition chimique du sous sol. - Faculté de Clermont-Ferrand. -
- DALMAS J. B. - (1853). - Coup d'oeil géologique et historique sur Aubenas, Vals, le Pont-de-Labeaume, Meyras, Neyrac, Thueyts, et Montpezat, suivi d'un mémoire sur la nature et l'âge des volcans du Vivarais. Valence, 71 p.
- DALMAS J. B. - (1856). - Origine de la chaleur et des principes minéralisateurs des eaux de Neyrac (Ardèche). Bull. Soc. Géol. fr., série 2, t. 14, p. 355-361. -
- DALMAS J. B. - (1872). - Itinéraire du Géologue et du naturaliste dans l'Ardèche et une partie de la Haute-Loire. Savy, Paris, 221 p. -
- DANTON M. - (1858). - Etude sur le bassin carbonifère des environs d'Aubenas. Bull. Soc. Ind. Min., t. 3, n° 4, p. 597. -
- DELCEY-LEDUC, DESOIGNIES. - (1960). - Etude géologique de la région Aubenas-La Voulte (Ardèche). Société Nationale des Pétroles d'Aquitaine. -
- DESTOMBES J. P. - (1957). - Contribution à l'étude géologique du bassin hydrominéral de Vals (Ardèche). - Bull. Soc. Géol. Fr., (6), t. p. 893. -
- ELMI S., COLONGO M. - (1978). - Excursion dans le bas vivarais. Revue de l'Association des Géologues du Sud-Est. -
- FONTES J. C., GLANGEAUD L., GONFIANTINI R., et al., (1963). - Composition isotopique et origine des eaux et gaz thermaux du Massif Central. C. R. Acad. Sci. Paris, 2 p. 472-474. -
- FONTES J. C. - (1976). - Les isotopes du milieu dans les eaux naturelles. Laboratoire de Géol. Dyn. Univ. P. M. Curie Paris. -
- FRANCUS, Dr. - (1878). - Voyage aux pays volcaniques. Privas, 390 p. -

- FRANCIS. - Etude de mouvement de l'eau à travers les milieux fissurés (1970). -
- FOURNIER R. O., TRUESDELL A. H. - (1974). - Geochimical indicators of subsurface temperature. Journal of Research us geological Survey Vol. 2 n° 3. p. 263-270.
Traduction LOUPOUKHINE - BRGM, Géothermie 1977.
Estimation de la température et de la quantité d'eau chaude d'origine profonde contribuant au réchauffement d'une source thermale.
- GHAFOURI M. R. - (1970). - Distribution géologique de l'activité minérale des eaux thermominérales des Pyrénées. Définition de l'activité minérale. Débit des sources. Terre et eaux n° 63, p. 24-27. -
- GHAFOURI M. R. H. - (1968). - Etude hydrogéologique des sources thermominérales des Pyrénées.
Thèse, Doct. Univ. Mention SCI. Bordeaux, 280 p. multigr.
- GLANGEAUD L., BLAVOUX B., FONTES J. Ch. et al. (1967). - Utilisation des méthodes isotopiques dans l'étude des eaux minérales. Presses thermale et climatique 104, p. 149-151. -
- GOGUEL J. - (1971). - La température des eaux souterraines. Presse thermale et climatique, 108, 3, p. 149-151. -
- GOGUEL J. (1975). - La géothermie. -
Paris, Dunod, 171 p. -
- HENOU B. - (1973). - Les sources minérales et thermales du Cantal : leur cadre géologique : Massif Central français.
Thèse de 3è Cycle Clermont-Ferrand et B. R. G. M.
- JACQUOT E., et WILLM. - (1894.). - Les eaux minérales de la France. Librairie Polytechnique Béranger, Paris, 602 p. -
- KENNEDY G. C. - (1950). - A portion of the system silica-water.
Econ. Geol. v. 45, p. 629-653. -
- LAFARGE. - (1978). - Fracturation des calcaires crétacés du bas vivarais
Thèse Lyon. -
- LAPADU-HARGUES P. - (1938). - Etude sur le bassin houiller de Prades. Dipl. Etudes Sup., Paris. -
- LAUNAY L. de. - (1899). - Recherche, Captage et Aménagement des sources thermominérales. Librairie Polytechnique Baudry Paris, 642 p. -
- LE MARECHAL A. - (1974). - Géologie et géochimie des sources thermominérales du Cameroun. -
Thèse d'Etat Sci. Nat., Paris VI C. N. R. S. -
- LE MARECHAL A., TEIL H. - (1973). - Application de quelques traitements statistiques aux données hydrochimiques des sources thermominérales du Cameroun. -
Cah. O. R. S. T. O. M. Géol. Fr. 5, n° 2, p. 217-234. -

- LONGCHAMBON H. - (1939). - Carte géologique au 1/80 000è, feuille Largentière, 2è édition. -
- MAISONNEUVE J., RISLER J. J. - (1974). - Le gaz carbonique hydrothermal en Auvergne (France).
Rev. Sci. Nat. d'Auvergne vol. 40, p. 27-47. -
- MANGANO F., MARCE A., MARTIN J. M., OLIVE Ph. - (1969). - Remarque sur l'utilisation des isotopes radioactifs pour la datation des eaux souterraines.
Bull. du B. R. G. M. 2e série, section III, n° 3, p. 39-46. -
- MARCE A. - (1966). - Eléments d'hydrologie isotopique.
Thèse 3è cycle, Fac, Sci. Université de Paris, 220 p. -
- MARGAT. - Note explicative du diagramme d'analyse d'eau du B. R. G. M. n° D, 563 A-31. -
- MICHEL R. - Contribution à l'étude des températures des sources dans le département de l'Isère. -
T. L. de Géologie t. 36. -
- MICHEL R. - (1970). - Le volcanisme récent du Vivarais
CRDP Grenoble. -N40
- MICHEL R. - 1976). - Les schistes cristallins et les granites du Vivarais. -
Formation continue CRDP Grenoble n° 40. -
- MOLINARI. - (1977). - Quelques remarques pratiques et une représentation commode facilitant l'exploitation des variations naturelles en deutérium et en oxygène 18 dans les eaux.
Journal of hydrology p. 383-392. -
- MORET L. - (1946); - Les sources thermominérales. Hydrogéologie-Géochimie Biologie. Masson éd., Paris, 146 p. -
- OLIVE. - (1976). - Données élémentaires d'hydrogéologie isotopique CRG Thonon. Fac. Sc. de Paris. -
- OUZOUNIAN G. - (1978). - Etude des éléments en traces dans les eaux thermominérales du Sud de la France-Thèse 3ème Cycle. Université Paris 7; -
- PEDRO G. - (1960). - Altération expérimentale des roches sous atmosphère de CO₂. C.R. Acad. Sci. Paris, 250 p. 2035-2037. -
- PEDRO G. - (1968). - Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochimique des roches cristallines. Thèse, Fac Sci. Paris, Edit. INRA Paris. -
- PIPER A. M. - (1944). - A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Trans. Am. Geophys. Un., 25, p. 914-923. -

- RISLER J. J. - (1976). - Apport de données de l'analyse chimique à l'étude de la thermalité des sources chaudes issues du socle du Massif Central français. - Utilisation de deux géothermomètres.
Bull. B. R. G. M. Fr. 2, n° 1, p. 99-104. -
- RISLER J. J. - (1974). - Protection de la source eau minérale les eaux chaudes à Alet les Bains. - Rapport B. R. G. M. -
- RISLER J. J. - (1977). - SGN communiqué présenté à la société internationale des techniques hydrothermales ; caractéristiques chimiques et isotopiques des gaz de quelques sources thermominérales du Massif Central français. -
- ROBLOT. - Juin (1978). - Etude des socles européens. Zone rhégnatique N 155 du Massif Central. -
- SALEHI E. - (1978). - Sources thermominérales et anomalies géothermiques en Azerbaïdjan (Iran). Thèse Doctorat Etat, Université Grenoble. -
- SALEHI E. , SARROT R. J. - (1976). - Caractéristiques principales et localisation des sources thermominérales carbogazeuses d'Azerbaïdjan oriental (Iran).
Internal. Congres of thermal water of the mediteranean area I. A. H. S. - Athènes, vol. 2, p. 485-493. -
- SALEHI E. , SARROT R. J. - (1977). - Détermination des taux de mélange des eaux thermominérales et superficielles par utilisations des géothermomètres chimiques en Azerbaïdjan oriental (Iran). -
102° congrès National des Sociétés Savantes Limoges Fr., Fasc. II, p. 191-202. -
- SANITAS C. - (1957); - Dipl. Etudes Sup. Clermont-Ferrand. -
- SANITAS C. et LAPADU-HARGUES P. - (1958). - Les garnites du Vivarais méridional. Bull. Serv. Carte géol. Fr., Paris t. 56, n° 255, p. 101. -
- SARROT R. J. , POULAIN P. A. , MARCE A. - (1977). - Tectoniques et anomalies géothermiques des sources thermominérales des bordures orientales et méridionales du Massif du Pelvoux. - Géologie Alpine Fr., t. 53, p. 75-82. -
- SARROT REYNAULD J. , SALEHI E. et BLAVOUX B. - (1978). - Caractéristiques isotopiques et origine des eaux thermominérales d'Azerbaïdjan oriental (Iran). CR 103è Congrès Soc. Sav. Nancy. Fas IV, p. 141. -
- SCHOELLER H. , Schoeller M. - (1976). - Calcul de la température de l'eau des sources thermominérales à leur origine profonde. C. R. Acad. Sc. Paris 283, série D, p. 753-756. -

- SCHOELLER H. - (1962). - Les eaux souterraines. Masson édit. Paris, 642 p. -
- SCHOELLER h. - (1968). - La silice des sources thermominérales des Pyrénées. - C. R. - Acad. Sci. Fr, D, 266,22, p. 2175-2177. -
- THUIZAT R. - (1973). - Les sources thermominérales de Chatelguyon et leur environnement géologique (Massif Central Français) II. Etude de la composition isotopique de l'argon contenu dans les gaz d'accompagnement de certaines sources minérales du Puy de Dôme, de l'Allier, du Cantal et de la Creuse. Thèse Docteur de Spécialité (Pétrographie). Clermont-Ferrand, 145 p. multigr.
- TOURET J. - (1973). - Les fluides carboniques du faciès granulite. 1ère réunion ann. Sci. Terre. Paris, mars, p. 399. -
- URBAIN P. - (1967); - Géochimie et hydrologie des enveloppes aqueuses et des eaux thermominérales. Paris, Libr. sci. tech, A. Blanchard, 115 p. -
- UZAN M. - (1962). - Petit précis des eaux de Vals. (Malauzit). -
- VIALON P., RUHLAND M., GROLIER J. (1976). - Eléments de tectonique analytique. Masson. -
- VILLEG. - (1978). - Décrochements hercyniens dans le bioverrien normand Balleroy feuille 1/50 000° Bull. B. R. G. M. -
- WEISBROD. - Pétrologie du socle métamorphique des Cévennes médianes. Thèse Nancy 3 vol., 112, p. 124-et- 123.
- WEISBROD A. - (1967). - Explication sommaire de la carte géologique des Cévennes médianes. Sci. de la Terre, Nancy, t. XII, n° 4, p. 301. -
- WEISBROD A. - (1968). - Etude structurale des Cévennes médianes. - I : Formations catazonales du bassin de l'Ardèche, Sc. de la Terre, Nancy, t. XIII, n° 3, pp. 257-305, 43 fig., 1 tabl. -
- WEISBROD. - (1970). - Etude structurale des Cévennes médianes II Domaine des schistes des Cévennes et du bassin de l'Allier. Sc. de la Terre, Nancy XV n°1, p. 5-44. -
- YAZDI. - (1957). - Thèse : les gîtes minéraux d'Ardèche. Montpellier. -

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

- Figure n° 1-1 : Hauteur d'eau en millimètres par an.
 Figure n° 1-2 : Variations des précipitations annuelles (Aubenas)
 Figure n° 1-3 : Précipitations moyennes mensuelles (Aubenas) 1961-1977
 Précipitations moyennes mensuelles (Montpezat) 1961-1977
 Figure n° 1-4 : Températures moyennes annuelles (en degrés)
 Figure n° 1-5 : Température moyenne mensuelle de la période
 1956-1977 "station de Vals les Bains"

CHAPITRE II

- Figure n° 2-1 : Carte géologique simplifiée d'après Weisbrod 1967
 Figure n° 2-2 : Logs schématiques dans la série ardéchoise catazonale
 (du haut en bas)
 Figure n° 2-3 : Le synclinal du Lignon 1/ 50 000
 Figure n° 2-4 : Coupe au lieu dit le Rigaudel (vallée de la Volane en rive
 droite)

CHAPITRE III

- Figure n° 3-1 : Répartition des volcans du Vivarais

CHAPITRE IV

- Figure n° 4-1 : Schéma de situation : le décrochement sénestre de Vals les
 Bains
 Figure n° 4-2 : Schéma structural de la région
 Figure n° 4-3 : Discontinuités élémentaires liées à une zone de décrochement
 Figure n° 4-4 : Deux types de rupture de couverture sur un mouvement décro-
 chant sénestre du socle
 Figure n° 4-5 : Entraînement et décrochement des unités géologiques,
 anciennes structures tectoniques décrochées
 Figure n° 4-6 : Reconstitution graphique du réseau de fractures au cours du
 décrochement
 Figure n° 4-7 : Diagramme d'orientation des fractures % en longueurs
 cumulées
 Figure n° 4-8 : Système filonien

CHAPITRE V

- Figure n° 5-1 : Décrochement sénestre de la faille de la Volane
 Figure n° 5-2 : Etude photogéologique de la fracturation

- Figure n° 5-3 : Mesures statistiques de diaclases
 Figure n° 5-4 : Coupe transversale du bassin de Prades
- Planche a) : Aizac
 Planche b) : Région de Crau
 Planche c) : Vallée de la Besorgue
 Planche d) : Vallée de la Volane
 Planche e) : Contexte géologique des sources de Vals les Bains
 Planche f) : Contexte géologique des sources de Prades
 Planche g) : Région Ouest de Neyrac

CHAPITRE VI =====

- Figure n° 6-1 : Variations de la température en fonction de l'altitude (août 1978 et février 1979)
 Figure n° 6-2 : Les sources de Prades
 Figure n° 6-3 : Variation du débit en fonction de la température
 Figure n° 6-4 : Le dégagement du CO₂ sensible aux variations de la pression atmosphérique
 Figure n° 6-5 : Gaz (avril 78)
 Figure n° 6-6 : Résistivité ohms cm 18° (avril 78)
 Figure n° 6-7 : Gaz (août 78)
 Figure n° 6-8 : Résistivité (août 78)
 Figure n° 6-9 : Gaz (février 79)
 Figure n° 6-10 : Résistivité (février 79)
 Figure n° 6-11 : Répartition topographique des sources minérales de Vals les Bains.
 Figure n° 6-12 : Températures des sources de Vals
 Figure n° 6-13 : Résistivités des sources de Vals
 Figure n° 6-14 : Teneurs en CO₃H⁻ mesurés aux sources de Vals
 Figure n° 6-15 : Chlorures mesurés aux sources de Vals
 Figure n° 6-16 : Résistivités et températures pour le groupe Nord

CHAPITRE VII =====

- Figure n° 7-1 : Diagramme d'analyse d'eau
 Figure n° 7-2 : Les travertins de Neyrac
 Figure n° 7-3 : Diagramme logarithmique de Schoeller
 Figure n° 7-4 : % Na + K de la somme des cations en milliéquivalents
 Figure n° 7-5 : % Ca de la somme des cations

CHAPITRE VIII =====

- Figure n° 8-1 : Les sources minérales de l'Ardèche
 Figure n° 8-2 : Contexte géologique d'Asperjoc, source le Rocher du Merle
 Figure n° 8-3 : Contexte géologique des sources du Ravin des Sausses

- Figure n° 8-4 : Bloc diagramme de la région de Vals les Bains
Figure n° 8-5 : Neyrac
Figure n° 8-6 : Coupe du puits des Bains
Figure n° 8-7 : Variation de la température de la source thermique des Bains
Figure n° 8-8 : Contexte géologique des sources de Genève
Figure n° 8-9 : Contexte géologique des sources de Saint-Laurent-les-Bains
Figure n° 8-10 : Courbes de la température et de la silice à l'émergence en fonction du pourcentage de mélange
Figure n° 8-11 : Corrélations D-O¹⁸ pour les sources minérales de l'Ardèche.
Figure n° 8-12 : Diagramme semi-logarithmique.

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau n° 1-1 : Précipitations mensuelles 1961-1977 Vals les Bains
 Tableau n° 1-2 : Précipitations mensuelles 1961-1977 Montpezat
 Tableau n° 1-3 : Température mensuelle moyenne 1956-1977 Vals les Bains
- Tableau n° 3-1 : Principales caractéristiques de chaque volcan présent dans le bassin versant de la haute Ardèche
 Tableau n° 3-2 : Analyses chimiques des laves
- Tableau n° 5-1 : Résumé des principales caractéristiques des failles étudiées
- Tableau n° 6-1 : Températures observées dans les sources minérales étudiées
 Tableau n° 6-2 : Débits des sources minérales étudiées
 Tableau n° 6-3 : Quantité de gaz carbonique mesurée dans les sources minérales
 Tableau n° 6-4 : Résistivités mesurées dans les sources minérales
- Tableau n° 7-2 : Teneurs des éléments majeurs en milliéquivalents des sources minérales de Vals les Bains
 Tableau n° 7-3 : Teneurs des éléments majeurs en milliéquivalents des sources minérales extérieures à Vals les Bains.
- Tableau n° 8-1 : Analyses chimiques et isotopiques pour les sources d'Asperjoc, de Neyrac, de Vals les Bains, de Dornas et de Saint-Laurent-les-Bains.
 Tableau n° 8-2 : Composition chimique des roches cristallines calculée au point d'émergence de chaque source en % d'oxydes
 Tableau n° 8-3 : Températures des eaux en profondeur calculées à partir des géothermomètres SiO₂, Na, K, Ca
 Tableau n° 8-4 : Résultats des analyses des gaz