Géologie Alpine, t. 58, 1982, p. 73-84

Les sources minérales carbogazeuses de la Haute Ardèche

Liaison entre la tectonique, le magmatisme et les phénomènes hydrothermaux. Apport des analyses isotopiques et chimiques à la connaissance de l'origine des eaux souterraines et des gaz

par Michel JEANTIN*

RESUME. – Plusieurs familles de fractures conditionnent les émergences d'eaux minérales :

- à l'Est du bassin de la Haute Ardèche, ce sont les discontinuités élémentaires (Riedels) liées au décrochement de Vals;
- à l'Ouest les failles de direction Est-Ouest, antéstéphaniennes;
- à ce réseau de fractures, se superpose une intense fissuration de direction N 150 qui correspond à l'alignement des volcans quaternaires.

Mais les principales venues thermominérales sont situées à proximité immédiate d'un appareil volcanique.

Les calculs des températures des aquifères profonds qui ne dépassent jamais 250° ne témoignent pas d'anomalies géothermiques élevées dans la région. Les analyses isotopiques des teneurs en tritium, oxygène O^{18} et deuterium démontrent l'origine météorique de ces eaux et indiquent des proportions de mélanges importantes entre les eaux superficielles récentes et les eaux profondes.

Les teneurs en δ ‰ C^{13} mesurées sur le CO^2 indiquent une origine profonde de celui-ci.

I. SITUATION GÉOLOGIQUE

La zone étudiée s'étend sur les feuilles géologiques de Privas et Largentière. C'est dans le socle cristallin et cristallophyllien qu'émergent la plupart des sources minérales étudiées. 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 de Vals-les-bains, dans les formations mésozoïques, il n'existe aucune source minérale connue, mais la faible perméabilité et l'épaisseur de la couverture secondaire peuvent justifier l'absence d'émergence.

Notre étude porte donc essentiellement sur le secteur situé à l'Ouest de Vals-les-Bains où affleure le socle cristallin.

* Laboratoire d'Hydrogéologie, Institut Dolomieu, U.S.M.G.

Travail réalisé dans le cadre d'une thèse de 3e cycle sous le patronage de M. J.J. RISLER, directeur du Service des Eaux Minérales du B.R.G.M., Clermont-Ferrand.

1.1. Le socle cristallin.

La région étudiée est implantée dans la zone de transition entre la série ardéchoise entièrement catazonale, caractérisée par la présence d'un horizon de base très continu de gneiss œillés et leptynites, et le domaine de la migmatisation vellave. Nous sommes en effet à l'extrémité méridionale du plus grand ensemble migmatitique français, appelé plus communément granite du Velay.

1.2. Le volcanisme quaternaire.

Le volcanisme du Vivarais d'âge quaternaire est représenté par dix petits volcans. Il est de type explosif et certains volcans témoignent en outre d'une activité hawaïenne épisodique. Toutes les coulées de laves, de nature basique, se sont épanchées dans les vallées actuelles.

Ces volcans se rangent selon deux alignements de cratères orientés N 150° (fig. 1). Le premier alignement comprend six appareils : la Coupe de Jaujac, le Souillol, les Gravennes de Thueyts, de Monpezat, le volcan du Chambon et la Vestide du Pal.

Le deuxième alignement est composé par les volcans d'Aizac, du Ray Pic, et du Pic de l'Etoile. Ces alignements sont en relation étroite avec la fracturation du socle qui a retenu plus particulièrement notre attention.

1.3. La fracturation.

Les deux cents sources minérales recensées dans la région de Vals-les-Bains sont en effet 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.

L'analyse cartographique, l'exploration photogéologique, les mesures statistiques de diaclases, la recherche des filons de basaltes, nous ont permis de montrer que plusieurs directions structurales interviennent suivant les secteurs (fig. 2).

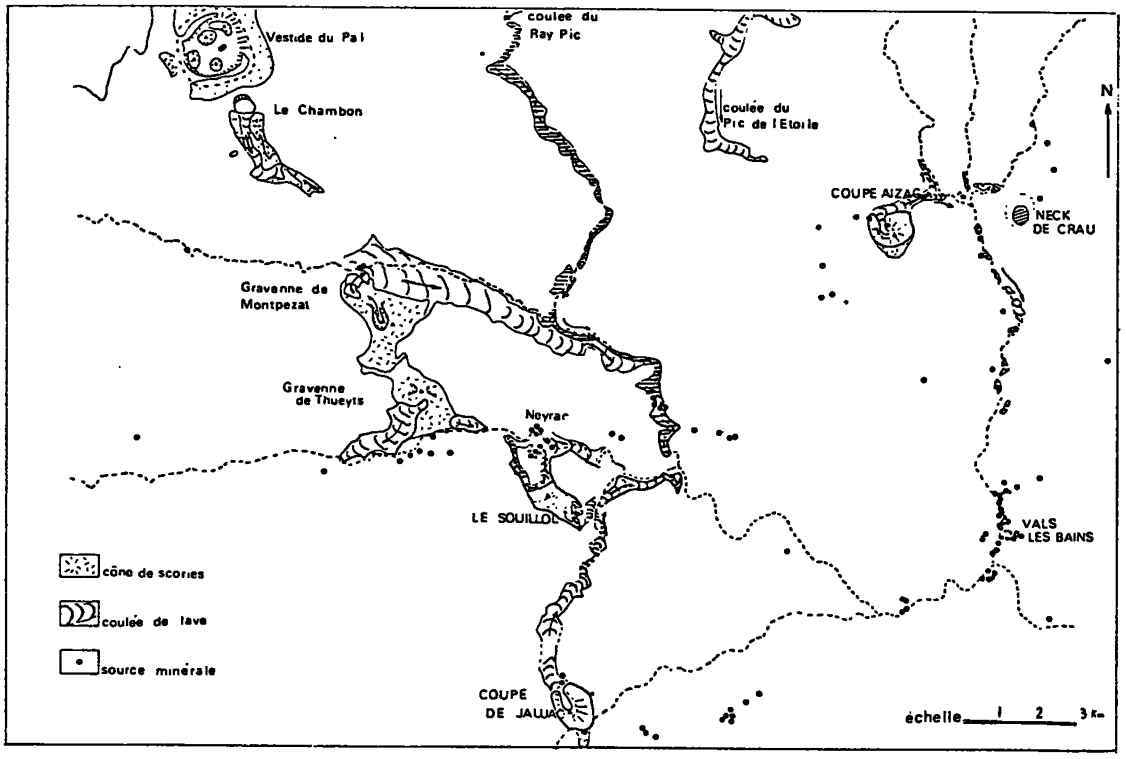
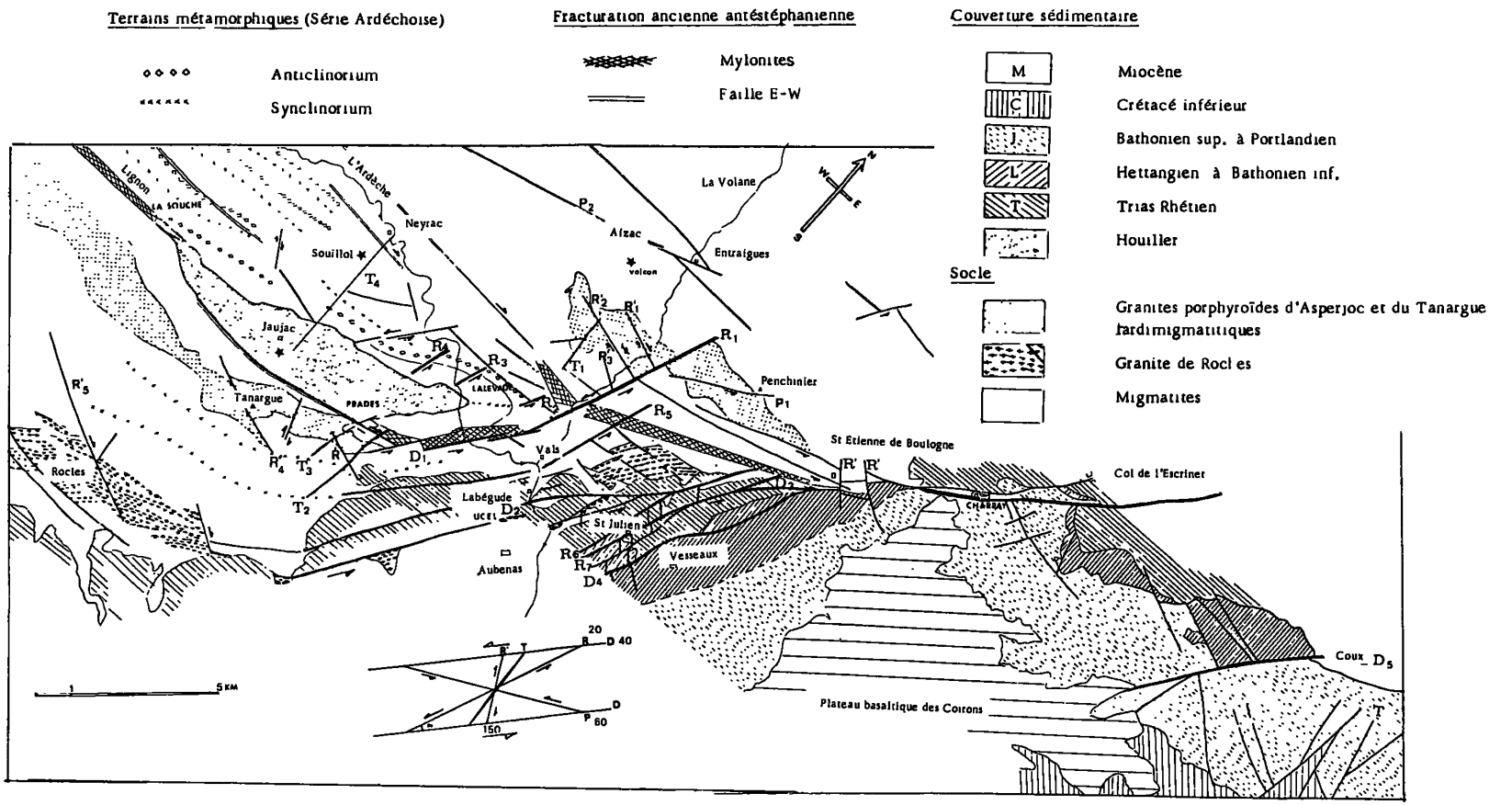


FIG 1. – Répartition des volcans et des sources minéralisées du Vivarais.



Fracturation liée au décrochement de Vals

. Dans la couverture secondaire:

Failles majeures : D_4 Faille de Vesseaux, D_3 Faille de l'Escrinet, D_2 Faille d'Ucel

Failles satellites: R_6, R_7 Failles d'Aubenas

. Dans le socle:

Failles majeures: D_1 Faille de Vals

Failles satellites: R_1 Faille de la Volane, R_2 Faille d'Arlix, R_3 Faille de Lalevade

R_4 Faille des Terrisses, R_5 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

P_1 Faille du Penchinier P_2 faille d'Aizac

T_1 Faille du Nouzet, T_2 Faille de Fabrias Prades, T_3 Faille de Coulet T_4 faille de Chirol

FIG. 2. — Schéma structural (d'après les cartes de WEISBROD, 1967, pour le socle et DUSOIGNIER-LEDUC, 1957, pour la couverture).

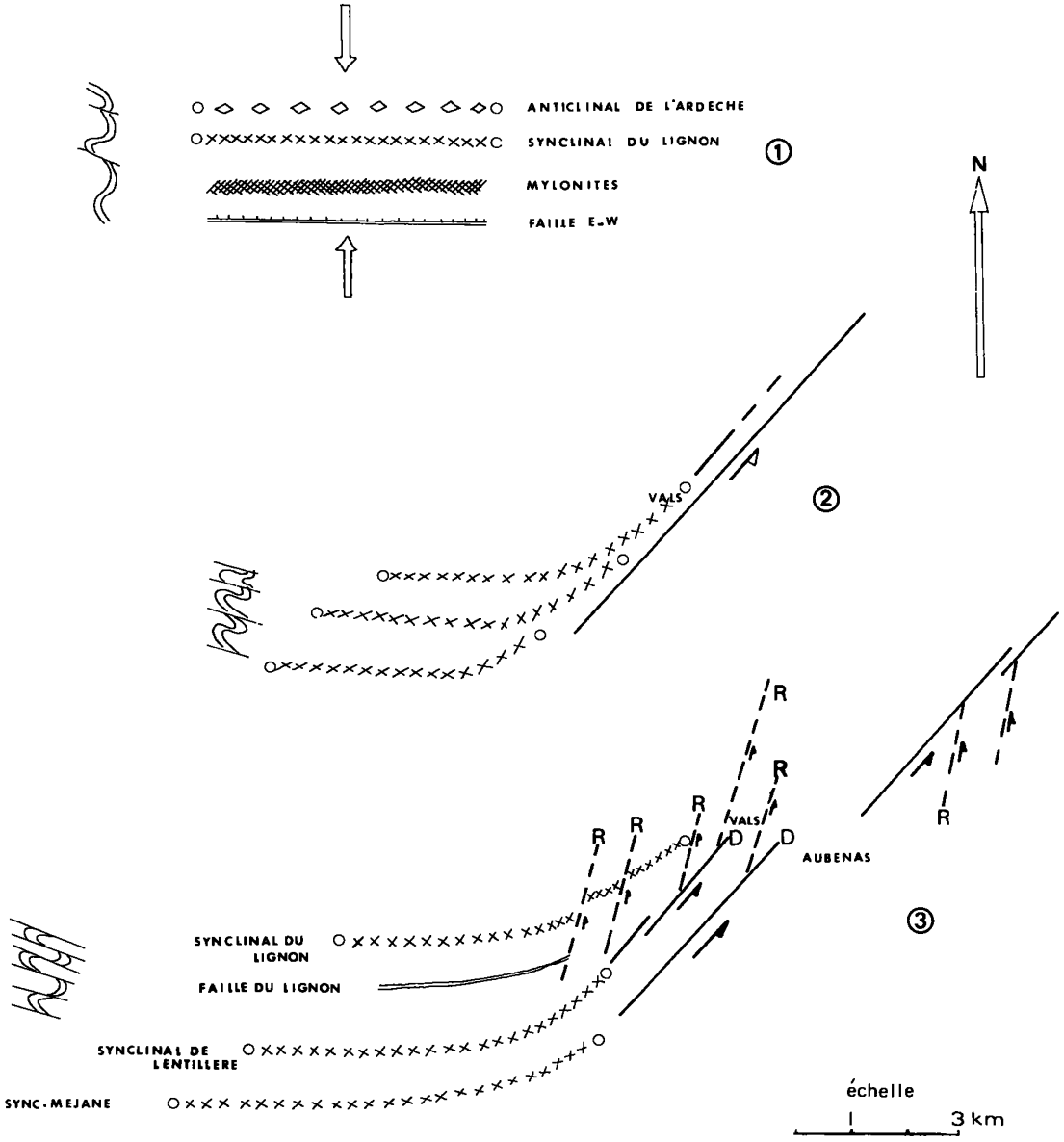
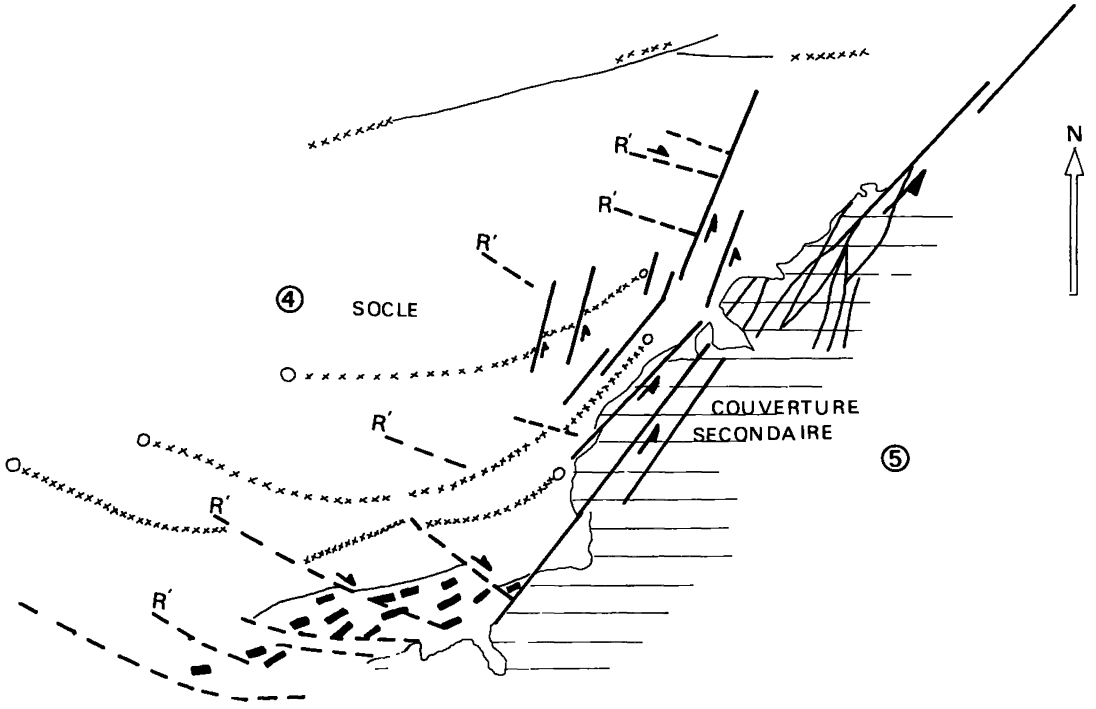


FIG. 3. – Reconstitution graphique du réseau de fractures au cours du décrochement de Vals-les-Bains.

1.3.1. A l'Est de la région, ce sont avant tout les discontinuités élémentaires liées à la zone du grand décrochement sénestre de Vals-les-Bains qui conditionnent les émergences. Cet accident, orienté N 45, décale vers le NE tout le bloc oriental, affectant aussi bien le socle que les formations sédimentaires. Il se poursuit sur une centaine de kilomètres vers le NE en passant par le col de l'Escrinet. Un tel accident affecte, à Vals-les-Bains, une bande large de plusieurs kilomètres, dans laquelle sont présentes des discontinuités élémentaires qui semblent se résoudre en un nombre limité de failles suivant le modèle théorique proposé par VIALON, RUHLAND et GROLIER (1976).

a) D'après les mouvements le long des décrochements principaux et les valeurs des angles entre les



différentes fractures, il nous a été possible de distinguer les groupes de failles suivants :

- des fractures N 20 - N 30 qui correspondraient aux failles synthétiques R sénestres (Riedels);
- des fractures N 130 - N 150 qui correspondraient aux failles antithétiques R' dextres (Riedels);
- des fractures N 170 - NO à remplissage de matériaux volcaniques, qui pourraient être des fissures d'extension du système, bissectrices des fractures conjuguées R et R';
- des fractures orientées N 60 à N 70, qui correspondraient à des cisaillements sénestres de type P et symétriques de R. Ces fractures moins fréquentes que les précédentes, 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, parallèle à la direction du décrochement principal N 35 - N 55 et de même sens sénestre. Elles sont bien marquées dans la région.

Ces discontinuités élémentaires, très nombreuses à Vals-les-Bains, ont certainement multiplié les voies ascendantes pour les eaux minérales de ce secteur.

b) Age du décrochement : Le décrochement a dû jouer surtout après les dépôts stéphaniens, puisque ceux-ci ont été entraînés par le déplacement général et réorientés. 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 décelable 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 (fig. 2).

c) Nous avons tenté une reconstitution graphique du réseau de fractures au cours du décrochement (fig. 3).

1. A l'origine, les structures tectoniques anciennes sont orientées Est-Ouest. Au Sud, nous avons dans un matériel métamorphique, une succession Est-Ouest de structures anticlinales séparées par des synclinaux principaux (anticlinal de l'Ardèche, synclinal du Lignon);

– 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.

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

3) Le décrochement se poursuivant, il y a apparition de Riedels R, qui se disposent en échelons dans la zone de cisaillement. Ces Riedels décrochent les plis Est-Ouest, les failles et les mylonites anciennes. Sous l'effet du décrochement général, la faille Nord du Lignon, devient une faille chevauchante sur le Houiller.

4) Il y a ensuite accentuation du décrochement, flexuration démesurée et ruptures, avec 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.

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

Ainsi le réseau complexe des dislocations s'est donc échafaudé par le jeu successif de deux phases de déformations. Nous avons tenté de distinguer les fractures liées au grand décrochement de Vals-les-Bains (D, R, R′, T et P), d'une part, des fractures plus anciennes associées aux plis d'axe Est-Ouest qui ont été dérangées et réorientées par l'accident de Vals-les-Bains, d'autre part.

1.3.2. A l'Ouest du bassin, l'influence du décrochement de Vals-les-Bains est plus faible. On note quelques failles d'extension de type T à Neyrac, mais ce sont essentiellement les failles de direction E-O reconnues comme antéstéphaniennes qui jouent un rôle sur la distribution et les alignements remarquables des sources minérales dans ce secteur.

Ces anciennes cicatrices du socle, minéralisées par d'épaisses mylonites et de nombreux filons de quartz, doivent également servir de drain et faciliter la percolation des eaux de surface.

1.3.3. A ce réseau graphique de fractures se superpose une intense fissuration (fig. 4) de direction N 150, généralisée dans toute la région, qui a été

FIG. 4. – Etude photogéologique de la fracturation.

surtout mise en évidence par une exploration photogéologique, et par les mesures de directions des dykes de basaltes. Ce sont des fissures d'extension récentes, dont la direction correspond à l'alignement des volcans quaternaires, ainsi qu'à l'alignement de certaines sources minérales.

Les intrusions basaltiques profondes ont suivi, lors du volcanisme, ces fractures de distension. Actuellement, ces mêmes failles constituent des voies d'acheminement des fluides jusqu'aux griffons ainsi que le démontre l'étude des caractéristiques physicochimiques des sources minérales.

1.4. L'étude hydrogéologique.

Elle apporte en effet des renseignements sur la répartition des aires d'activité thermominérale par rapport à la fracturation.

Une comparaison des paramètres physicochimiques des eaux minérales, montre que les nombreuses sources minérales disséminées dans la région ne sont en réalité que des points d'émergence appartenant à quatre venues hydrothermales principales (fig. 5).

Il semble par exemple que la source à Neyrac, située à l'aplomb du volcan de Souillol, soit à l'emplacement central d'une venue thermominérale. La forte minéralisation et la thermalité de la source des Bains en font une source principale, située à l'emplacement d'un tronc thermal. En s'éloignant de ce point, le mélange avec les eaux superficielles est de plus en plus important, surtout pour les sources extérieures à l'aire d'émergence. Ce phénomène se traduit par une diminution de la minéralisation et de la teneur en gaz dissous.

D'autres ères d'émergences ont été déterminées dans la région d'Asperjoc, au Nord, à proximité du volcan d'Aizac, au Sud près du volcan de Jaujac et à Vals-les-Bains. Ces venues principales sont à proximité immédiate d'un volcan et la distribution des bouches volcaniques semble donc conditionner la répartition des aires d'émergences. Les fractures

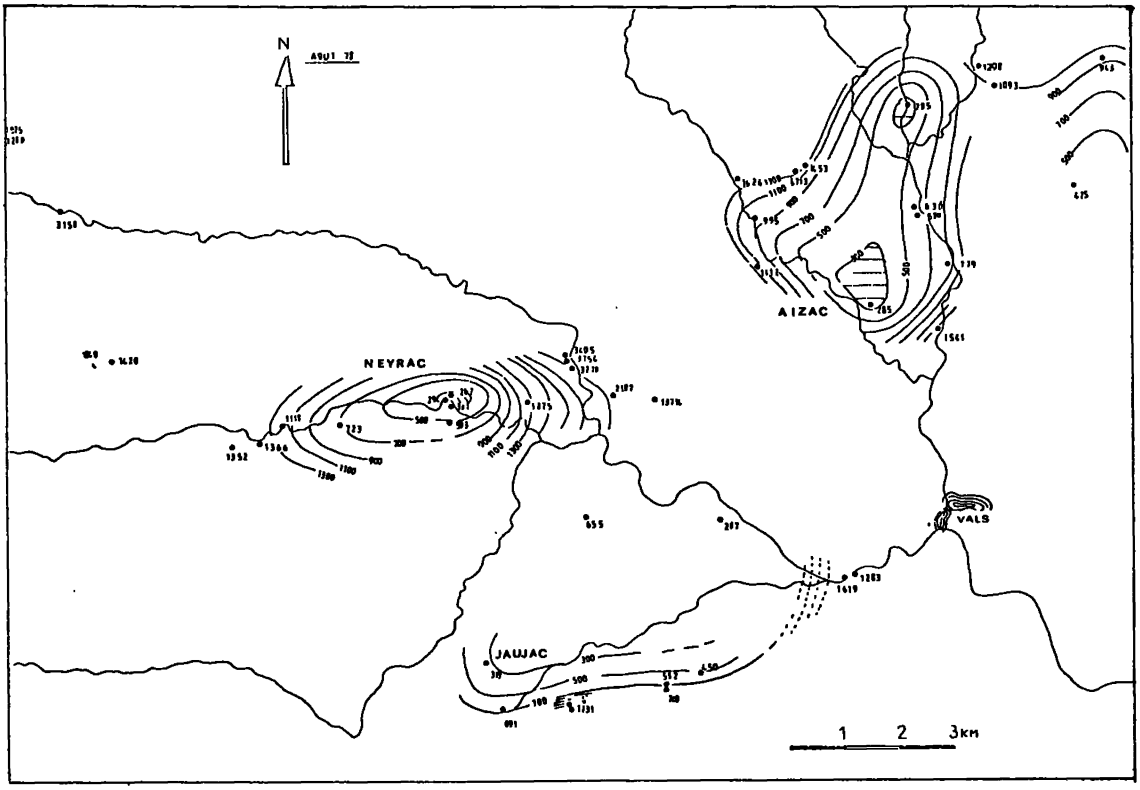


FIG 5. – Résistivité (ohms.cm à 18° C) des eaux minérales.

d'extension N 150 qui ont commandé la position de ces volcans, doivent constituer actuellement des chenaux privilégiés pour la remontée des eaux minérales et des gaz jusqu'aux griffons.

Remarque. La source thermale de Neyrac-les-Bains remarquable par son débit (150 l/mn) et sa température (18 à 23°) se distingue des autres sources froides de la région (10° en moyenne) qui ne sont que de faibles suintements (0,3 à 5 l/mn). Les différences de nature et d'intensité de la fracturation sont à l'origine des différences entre ces deux catégories de sources. En effet, de petites fissures peu ouvertes sont suffisantes pour laisser passer de minces filets d'eaux, mais leur très grand nombre entraîne la multiplication des griffons le long d'une zone à émergence diffuse. Une faille mieux ouverte permet, elle, la remontée d'une quantité d'eau nettement plus importante. Tel est le cas de la source des Bains à Neyrac, dont les eaux remontant par un cheminement direct avec un débit concentré, conservent leur thermalité.

1.5. Géochimie des eaux.

L'examen des analyses chimiques classiques montre que toutes les eaux minérales de la région sont bicarbonatées sodiques à mixtes (+ Ca, K), ferrugineuses et riches en gaz carbonique.

Les sulfates et les chlorures sont peu abondants, tandis que les bicarbonates sont largement prépondérants, et vraisemblablement d'origine profonde, car nous sommes dans une région où le CO_2 est partout présent. Celui-ci emprunte de grandes fractures, se dégage parfois sous forme de mofettes, émulsionne les eaux souterraines qu'il rencontre et favorise leur remontée, mais se combine souvent sous forme de CO_3H ou de bicarbonates. Les cations Na, K, Ca proviennent quant à eux de l'attaque des roches traversées par les eaux chargées de CO_2 et sont donc combinés sous forme de bicarbonates.

Il est intéressant de noter que c'est au niveau des cations que s'observent les petites variations de compositions chimiques existant d'une source à l'autre. Les eaux émergeant au Sud-Est du bassin (Vals-les-Bains, Prades, Jaujac) présentent une composition à forte prédominance sodique, qui les distingue des autres sources de la région, au Nord-Ouest, à tendance calcique (Asperjoc). Ceci peut s'expliquer par une durée variable du temps de transit de l'eau, permettant une dissolution plus ou 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 dans les eaux, et des proportions de mélanges des eaux profondes avec les eaux superficielles.

En résumé, la liaison des phénomènes hydrothermaux avec la tectonique et le magmatisme nous paraît donc indubitable, mais il est important de tenter de comprendre le comportement de l'eau et des minéraux en profondeur, ainsi que l'origine de l'eau elle-même.

II

C'est dans ce but qu'ont été réalisés un certain nombre d'analyses chimiques modernes à l'aide de techniques fines, qui vont nous permettre de calculer les températures des eaux profondes et d'étudier les compositions isotopiques (cf. tableau).

2.1. Utilisation des géothermomètres.

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 superficielles. 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, autour de 190°. La concordance entre les valeurs obtenues est moins bonne pour les autres sources de Neyrac, Jaujac, puisque les températures des eaux profondes, calculées, s'échelonnent entre 100 et 200°.

Quoiqu'il en soit, les températures indiquées en profondeur ne dépassent jamais 250° dans la région, ce qui est faible, et ne témoignent pas d'anomalies géothermiques élevées comme il existe dans d'autres régions du Massif Central français.

2.2. Les analyses isotopiques (fig. 6).

Les analyses isotopiques des eaux et des gaz, réalisées sur les sources principales, ont apporté des informations plus précises sur leur origine :

a) Les sources minérales de Vals-les-Bains et d'Asperjoc ont des teneurs en tritium voisines de 45

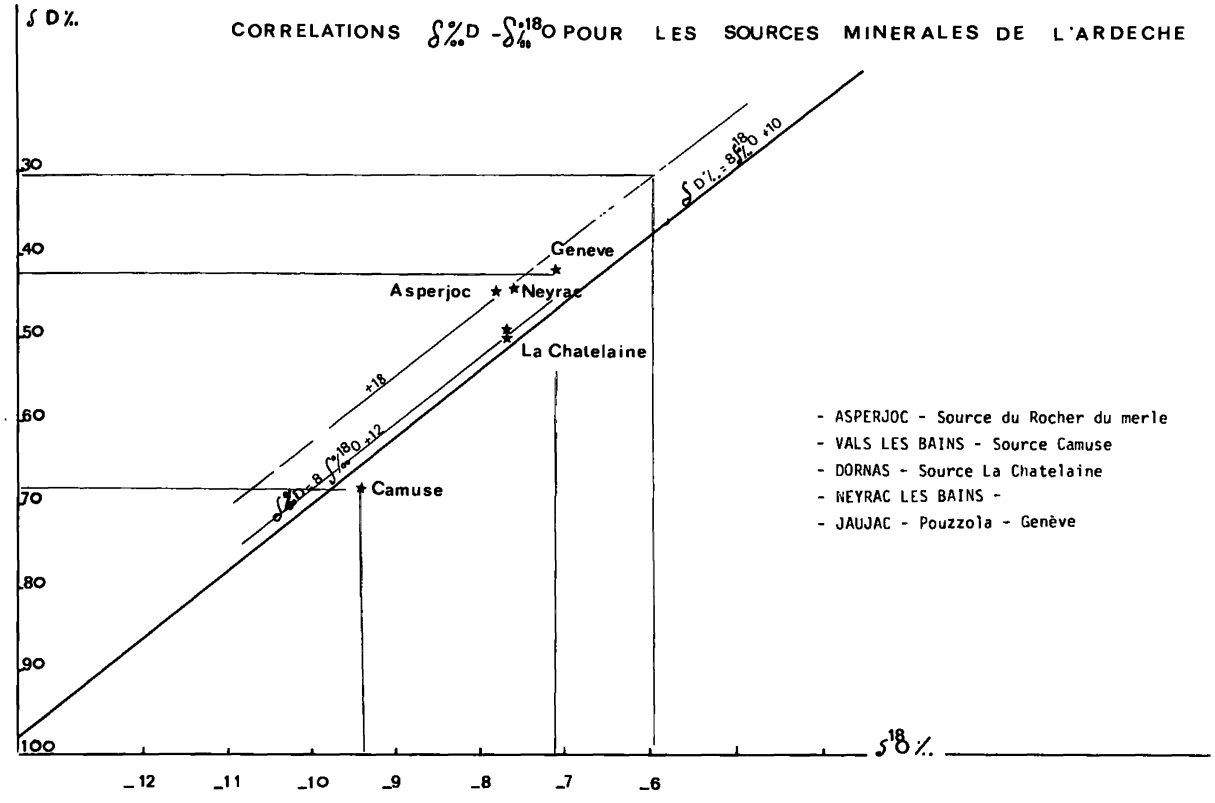


FIG 6.

UT, les sources de Neyrac et de Jaujac ont des teneurs plus fortes, 76 à 95 UT. Ceci prouve que les eaux qui parviennent aux émergences résultent de mélanges en proportions importantes 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 et de Jaujac.

b) 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 présentent des δ‰ O^{18} pratiquement identiques compris 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 cependant ressortir une différence pour les eaux de Vals-les-Bains par rapport aux autres sources minérales. Si l'on choisit la droite de Craig δ‰ $D = 8\delta$‰ $O^{18} + 12$ comme référence (droite qui caractérise les eaux météoriques), pour le Sud de la France, 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 oxygène O^{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 U.S.A. (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, les échanges entre eaux et encaissant se trouvent limités.

Tableau 1

EAUX THERMOMINERALES 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	H3 UT	$\delta^{18}O$ ‰	δD ‰
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^T-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

Tableau 2

GAZ THERMAUX

	KARAT $cm^3 CO_2/l$	$\delta^{13}C$ ‰ J.S. PDB CO2 Gaz	CH4 Gaz
ASPERJOC Sce du Merle	1000	-7,1 ± 0,1	-27,4 ± 0,1
VALS-LES-BAINS Sce Comuse	825	-4,1 ± 0,1	-25,5 ± 0,1
NEYRAC-LES-BAINS	650	-5,1 ± 0,1	-27,6 ± 0,1
DORNAS Châtelaine	975	-5,1 ± 0,1	-25,3 ± 0,1
JAUJAC ST-CIRGUES	1100	n. d.	n. d.

Les autres sources présentent quant à elles une légère modification de la composition isotopique par échange de O^{18} de l'eau avec l'oxygène du CO_2 (FONTES, 1976). Les eaux se trouvent alors appauvries en O^{18} par rapport à leur teneur originelle dont le δ ‰ D permet de recalculer la valeur.

Dans tous les cas, les mélanges des eaux profondes avec les eaux superficielles amortissent les phénomènes et tendent à ramener les points représentatifs des différentes teneurs sur la droite de Craig.

c) L'étude isotopique des gaz dissous dans les eaux, a été effectuée sur les sources principales d'Asperjoc, de Neyrac, de Jaujac et de Vals-les-Bains.

La comparaison des teneurs en C^{13} mesurées sur le gaz carbonique, avec celles d'autres régions du Massif Central, nous amène à attribuer une origine profonde du CO_2, sans préciser s'il provient ou non du dégazage du manteau supérieur (J. MAISONNEUVE, J. RISLER 1974).

BIBLIOGRAPHIE

BAUBRON J.C., BOSCH B., HALFON J., MARCE A., RISLER J.J. (1976). – Essai de caractérisation des gaz dissous dans les eaux thermominérales par analyses isotopiques de l'argon, du gaz carbonique et du méthane. *B.R.G.M.*

BERGER E. (1976). – Le volcanisme récent du Vivarais. *Thèse*, Paris, Orsay.

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.

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), p. 893.

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.

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 - B.R.G.M. Géothermie 1977. Estimation de la température et de la quantité d'eau chaude d'origine profonde contribuant au réchauffement d'une source thermale.

JEANTIN M. (1979). – Les sources minérales carbogazeuses de la Haute-Ardèche. Etude géologique et hydrogéologique. *Thèse*, Université de Grenoble, Grenoble.

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. B.R.G.M.*, 2e série, section III, n° 3, p. 39-46.

MICHEL R. (1970). – Le volcanisme récent du Vivarais. *C.R.D.P.*, Grenoble. N 40.

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.*, **2**, n° 1, p. 99-104.

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.

SARROT J., POULAIN P.A., MARCE A., 1977. – Tectonique et anomalies géothermiques des sources thermominérales des bordures orientales et méridionales du Massif du Pelvoux. *Géologie Alpine*, t. **53**, p. 75-82.

SARROT REYNAULD J., SALEHI E., BLAVOUX B. (1978). – Caractéristiques isotopiques et origine des eaux thermominérales d'Azerbaïdjan oriental (Iran). *103e Congrès Soc. Sav. Nancy*, fasc. 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, t. **183**, série D, p. 753-756.

VIALON P., RUHLAND M., GROLIER J. (1976). – Eléments de tectonique analytique. Masson.

WEISBROD A. (1967). – Explication sommaire de la carte géologique des Cévennes Médianes. *Sci. de la Terre, Nancy*, t. **XII**, n° 4, p. 301.