



BRGM

LES SOURCES MINERALES DU MASSIF CENTRAL FRANCAIS

ET LEUR CADRE GEOLOGIQUE

oOo

par

R. BOINEAU * & J. MAISONNEUVE **

oOo

* Service géologique régional
Massif Central du B.R.G.M.
22, avenue de Lempdes
63 COURNON

** Laboratoire de géologie de la
Faculté des sciences
5, rue Kessler
63 CLERMONT-FERRAND

L'état actuel de la connaissance du cadre géologique des sources minérales du Massif Central permet d'expliquer en partie certains de leurs caractères. Les facteurs qui jouent un rôle important sont les suivants : tectonique, volcanisme, lithologie des roches du socle et de la couverture. Les sources minérales sont situées en presque totalité à l'Est du sillon houiller. Elles se répartissent le long de structures parallèles à l'une des trois grandes directions volcano-tectoniques : N-S, N.W.-S.E., N.E. - S.W., ou parfois à l'intersection de deux de ces directions. Les émissions volcaniques ayant utilisé les mêmes fractures, il existe une corrélation spatiale étroite entre les volcans et les sources.

On peut estimer, dans chaque cas, qu'une eau minérale est d'origine juvénile ou vadose, selon que l'on raisonne plus en vulcanologue qu'en hydrogéologue, ou inversement. En fait, dans le Massif Central, on est plus souvent conduit à retenir une hypothèse intermédiaire susceptible, par exemple, de s'accorder avec l'attribution généralement admise d'une origine profonde au gaz carbonique, qui peut être différente de l'origine de l'eau.

Les eaux minérales du Massif Central ont des caractéristiques assez homogènes ; cependant, on observe des variations qui peuvent s'expliquer notamment par le changement de la nature géologique des terrains encaissants et par l'influence des eaux de nappes peu profondes. C'est ainsi que la dissolution de certains éléments des roches ou le mélange d'eaux superficielles, entraîne des modifications géochimiques des eaux d'un même bassin.

Une classification est esquissée, fondée en premier lieu sur des caractères physico-chimiques. L'éventail des températures est assez large ; un certain nombre d'entre elles dépasse 50°C. La minéralisation totale est généralement de l'ordre de 1 à 6 gr/l. Le caractère chimique le plus remarquable est la nature bicarbonatée ou chloro-bicarbonatée des eaux. Quelques sources n'appartiennent pas à ce type, notamment les sources sulfatées. Le rôle des formations géologiques affleurantes permet d'expliquer l'enrichissement en calcium, par rapport au caractère sodique fondamental. Le gaz carbonique libre est abondant dans les sources bicarbonatées, il peut même donner naissance à des émanations de gaz seul, en surface ou en profondeur (grottes, forages, mines) ; ces phénomènes ne doivent pas être dissociés de l'hydrothermalisme. Comme d'habitude, la radioactivité des eaux est due à la présence du Radon.

Les conditions géologiques interviennent également dans la classification proposée. On distingue deux ensembles : les eaux à caractère "exogène" dominant et les eaux à caractère "endogène" dominant. Le premier comprend des sources peu

.../.

minéralisées issues de terrains cristallins ou volcaniques et des sources plus minéralisées issues de terrains sédimentaires. Le deuxième comprend des sources bicarbonatées, chlorurées ou sulfatées, qui se regroupent en districts et bassins contrôlés par les directions structurales. Quelques sources isolées échappent à cette classification.

o0o

S O M M A I R E

INTRODUCTION

I - LES CARACTERES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

I.1. TEMPERATURE

I.2. DEBITS

I.3. MINERALISATION TOTALE - RESISTIVITE - Ph

I.4. OLIGOELEMENTS

I.5. ELEMENTS MAJEURS - DIAGRAMMES DE COMPARAISON

I.6. GAZ DISSOUS

I.7. RADIOACTIVITE

II - FACTEURS GEOLOGIQUES DE L'HYDROTHERMALISME

II.1. FACTEURS STRUCTURAUX

II.2. RELATIONS AVEC LE VOLCANISME

II.3. RELATION AVEC LA LITHOLOGIE

III - ESSAI DE CLASSIFICATION - LES DISTRICTS ET BASSINS HYDROMINERAUX

III.1. EAUX A CARACTERE EXOGENE DOMINANT

III.1.1. Sources issues de terrains cristallins ou volcaniques, peu minéralisées

III.1.2. Sources issues de terrains sédimentaires plus minéralisées

III.2. EAUX A CARACTERE ENDOGENE DOMINANT

III.2.1. La province principale bicarbonatée sodique et les bassins ou districts hydrominéraux

III.2.2. La province chlorurée et le sous-groupe chloro-bicarbonaté de la province bicarbonatée

III.2.3. La province sulfatée sodique du N.W.

III.2.4. La province à cachet sulfuré

III.2.5. Les sources sui-generis

./...

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES DE BASE

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

En France, l'unique définition des eaux minérales est administrative et résulte du décret du 12 janvier 1922, aux termes duquel cette dénomination est réservée aux eaux douées de propriétés thérapeutiques reconnues par l'académie de Médecine.

Il n'y a évidemment là, à priori, aucune raison valable de penser que ces eaux ont des caractères géologiques communs. Ceci a d'ailleurs certainement contribué à entretenir les controverses entre partisans d'une origine météorique et partisans d'une origine magmatique.

Cette remarque n'a pas pour but de proposer une définition nouvelle, mais de rappeler pourquoi se trouvent classées dans le même ensemble, des sources que l'on peut mettre en relation avec des phénomènes d'origine profonde, comme les émanations de CO² ou les anomalies géothermiques et, celles qui, classées elles aussi dans la nomenclature administrative des sources d'eaux minérales françaises, appartiennent au domaine de l'hydrogéologie classique (Volvic, Charrier...).

Les sources thermominérales du Massif Central sont, pour la plupart, connues depuis les Gallo-Romains. Il existe peu de travaux les décrivant dans leur ensemble, mais on trouve, par contre, plusieurs descriptions locales d'une source ou d'un groupe de sources. Notre but n'est pas de pallier ici à cette lacune en reprenant l'ensemble du problème, mais, dans l'esprit de ce symposium consacré à la géologie du Massif Central, de placer les sources thermominérales dans leur cadre naturel et de faire le point des connaissances actuelles sur les facteurs d'ordre géologique qui influent sur leurs propriétés.

Il est difficile de lier l'importance des phénomènes d'hydrothermalisme dans une région donnée, au nombre de sources exploitées, qui traduit plutôt un degré de commercialisation à l'instant choisi. Une estimation de l'importance relative de ces phénomènes devrait faire intervenir les débits affectés de coefficients relatifs à la température et à l'importance de la minéralisation. Sans aller jusque là dans le cadre de ce travail, nous pouvons affirmer que le Massif Central est la région la plus riche de France dans ce domaine, notamment si l'on accorde une importance particulière aux eaux chaudes, gazeuses et fortement minéralisées.

I - LES CARACTERES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

On regroupera ici les caractères physiques et chimiques des eaux minérales du Massif Central. Dans la mesure du possible, nous fournirons les explications que le contexte géologique permet de proposer sur ces caractères physico-chimiques.

I.1. TEMPERATURE

De tous les caractères physico-chimiques des eaux minérales, c'est la thermalité qui a le plus frappé l'opinion publique. L'origine ou la circulation profonde est la cause de cette température élevée de nature géothermique.

Il est plus intéressant de considérer les températures maximales connues que les températures moyennes des sources d'un bassin ; elles sont plus significatives. On citera par exemple :

Chaudes-Aigues Le Par	80,5°C
Chaudes-Aigues Lestande	70°C
Chaudes-Aigues Moulin du Bac	66°C
Bourbon-Lancy Le Lymbe	54°C
Bourbon-Lancy La Marquise	61°C
Bourbon-Lancy Piolat	59°C
Bourbon-Lancy La Reine	60°C

Le bassin hydrominéral de Vals-les-Bains, au contraire, est caractérisé par des températures de 13 à 14°C pour la plupart des émergences avec un maximum à 16,5°C (source Alexandre).

Dans un même bassin, un large éventail de températures est souvent significatif d'une circulation à faible profondeur ou d'un mélange d'eaux superficielles et d'eaux profondes. Nous citerons comme exemple :

La Bourboule :

- source Choussy 56°
- source Fenestre 19°

Le groupe Royat - Chamalières - Clermont-Ferrand :

- source Eugénie 33,5°
- source St Mart 18°
- source les Roches 13,5°
- source St Alyre 19°

Groupe de Vichy - Saint Yorre :

- source Le Lys 60°,
- source Grande Grille 42,5°,
- source Hôpital 34,4°,
- source Le Parc 22,5°,
- source Célestins 17,3°,
- forages de St Yorre 12 à 15°.

Les relations de cette élévation de température avec les anomalies géothermiques seront évoquées au chapitre suivant.

I.2. DEBITS

Hormis l'aspect économique, le débit unitaire d'un griffon n'a pas grande signification pour caractériser une source, car il dépend en grande partie des modes d'exploitation (captages groupés ou dispersés). On citera, par exemple, l'influence réciproque qu'exercent entre eux les forages du bassin de St Yorre, ou encore l'interdépendance des sources de Châtel-Guyon (A. AUBIGNAT, 1960, p.4). On pourrait citer de nombreux exemples où l'exécution d'un nouveau captage ou la réfection d'un captage ancien ont amélioré le débit. L'ensemble Choussy-Perrière (La Bourboule), qui débitait 165 l/mn, peut actuellement, suivant le niveau de pompage, fournir 400 l/mn.

Beaucoup plus intéressantes sont les variations de débit, car elles ont généralement une signification hydrogéologique. Ainsi, dans le bassin de Vals, on constate que : "les sources peu variables ont leur pointe de résistivité, c'est-à-dire leur minimum de minéralisation en coïncidence avec elles des maxima pluviométriques" (J.P. DESTOMBES, 1958, p. 909).

D'après la nomenclature des sources d'eaux minérales françaises, les très nombreux puits de Saint Yorre et de Vals-les-Bains débitent à peine quelques l/mn, parfois même moins de 1 l/mn, alors que les débits les plus importants du Massif Central sont signalés à :

CHATEL-GUYON : sources Gubler IV 540 l/mn et 375 l/mn d'après
A. Aubignat, 1960 ;

NERIS : puits César1120 l/mn

AVENE-LES-BAINS2000 l/mn

Enfin, il est encore intéressant de noter les variations en fonction des variations de pression barométrique signalées à POUQUES-les-EAUX par L. DELAUNAY, p. 36 ; à CHATEL GUYON, source Professeur Carnot (A. AUBIGNAT, 1960, p. 5), etc.

I.3. MINERALISATION TOTALE - RESISTIVITE - PH

L'ordre de grandeur de la minéralisation totale de la plupart des sources du Massif Central est de quelques g/l. La minéralisation totale (différente du résidu sec) comprend le total des anions, des cations et de SiO_2 exprimés en mg/l. La valeur du résidu sec est parfois inférieure lorsqu'il y a présence de l'ion $CO_3^{H^-}$ et varie selon les conditions de dessiccation. La minéralisation totale atteint 7-8 g/l pour les plus minéralisées ; la résistivité est comprise entre 150 et 200 $\Omega.cm$. Par contre, quelques sources ont des minéralisations inférieures à 1 g/l. On explique souvent cette faible minéralisation par un mélange d'eaux superficielles ; c'est le cas à La Bourboule, où la minéralisation de la source Fenestre n° 1 est de 730 mg/l ($\rho = 2000 \Omega.cm$), alors que Choussy atteint 5900 mg/l ($\rho = 150 \Omega.cm$). Mais, il n'en est pas toujours ainsi ; par exemple, les eaux chaudes et profondes de Chaudes-Aigues ont une minéralisation totale à peine supérieure, 1 g/l (Le Par : 1219 mg/l $\rho=886\Omega.cm$).

Il est important de distinguer les eaux très peu minéralisées, presque pures dont les caractères strictement météoriques avec faibles modifications sont nets :

- Charbonnières - 350 mg/l - $\rho = 3300 - 34000 \Omega.cm$
- Laprugne (Charrier) - 35 mg/l - $\rho = 44000 \Omega.cm$
- Volvic (Clairvic) - 15 mg/l - $\rho = 8180 \Omega.cm$

Au contraire, le groupe de Santenay Magnien, chargé en Cl^- et saturé en SO_4^{Ca} , a une minéralisation totale qui dépasse 9 g/l et une résistivité inférieure à 100 $\Omega.cm$.

Très intéressantes lorsqu'elles sont connues, les variations de minéralisation totale et de résistivité fournissent des renseignements hydrogéologiques ; nous avons cité précédemment l'interprétation des variations de minéralisation totale et de résistivité liées aux variations de débit du bassin hydrominéral de Vals-les-Bains. On peut encore citer la variation concomittante de la résistivité, des bicarbonates (alcalinité), du calcium et de la pluviométrie de la source ancienne de Lamalou [L. COUBES et al, 1968].

Les eaux bicarbonatées sodiques ont généralement un pH < 7 dû à l'excès de CO_2 libre dissous ; il en est ainsi pour les eaux bicarbonatées sodiques de Vichy $6,7 < pH < 6,9$. Ceci les rend aptes à se charger éventuellement en Ca^{++} lors de leur circulation dans les terrains sédimentaires. Les eaux météoriques de terrains cristallins ont un pH faible : Charbonnières pH = 6,3. Le calcul systématique d'un pH d'équilibre, lié à l'agressivité des eaux, pourrait être, associé à l'analyse quantitative, un élément de distinction du caractère exogène ou endogène des eaux minérales.

I.4. OLIGOELEMENTS

On leur attribue un grand rôle dans les effets physiologiques ou pharmacodynamiques des eaux minérales. Dans ce domaine, les travaux analytiques se développent largement ; mais, en dehors de travaux dispersés dont quelques résultats sont cités ci-dessous, les résultats les plus nombreux sont ceux de D. PEPIN, 1970, portant sur Ag, Cu, Mo, Ni, Pb, Sn, V et Mn.

Parmi les conclusions de l'étude de D. PEPIN et de quelques références bibliographiques, nous avons relevé notamment :

- plomb : la concentration en plomb des eaux bicarbonatées (10 à 50µg/l) est supérieure à celle des eaux dites oligométalliques (4 - 5 µ g/l). Ces dernières (Volvic, La Prugne) sont des eaux à caractère exogène.

-cuivre : la teneur en cuivre est de l'ordre de quelques dizaines de µ g/l. Mais, un certain nombre de sources du bassin de St Yorre ont des teneurs dépassant largement 100 µ g/l. Nérès-les-Bains atteint 94 µ g/l.

- manganèse : cet élément est toujours présent avec des teneurs dont l'ordre de grandeur est de 100 à 500 µ g/l.

- molybdène : celui-ci est présent dans les sources superficielles peu minéralisées et semble manquer dans les autres. La teneur de la source Fenestre (36 µ g/l) est particulière.

- beryllium : il est généralement présent dans toutes les eaux minérales.

- bore : on peut remarquer que, à Vichy où ces données sont fournies, la teneur en B²O³ suit celle du fluor.

	F ⁻	B ² O ³	
Vichy Grande Grille	5,1	7	} en mg/l d'après A. CAILLEUX, 1962.
Vichy Chomel	5,4	8	
Vichy Célestins	1,5	2,7	

- lithium : on relève quelques valeurs dans la bibliographie :

- Royat : 32 mg/l (en CO³Li²) d'après A. MORETTE, p.445.
- Santenay (Lithium) : 17,4 mg/l (en Li⁺) d'après R. FABRE, 1963.
- Nérès-les-Bains (César) : 1,54 mg/l (en Li⁺) d'après D. PEPIN, 1966.

- Arsenic : les valeurs fournies par la bibliographie sont les suivantes :

- La Bourboule Choussy : 7 mg/l - d'après A. MORETTE, p. 445
- La Bourboule Fenestre : 1,6 mg/l " " "

Royat Saint-Victor	: 1,6 mg/l	- d'après A. MORETTE, p. 445
St Nectaire St Cézaire	: 0,9 mg/l	- " " " " " "
Vichy Chomel	: 0,5 mg/l	- " " " " " "
Vichy Grande Grille	: 0,5 mg/l	- " " " " " "
Vals-les Bains Dominique	: 1,1 mg/l	- " " " " " "
St Honoré-les-Bains Romains	: 0,07 mg/l	- " " " " " "
Vic-sur-Cère	: 0,02 mg/l	- analyse inédite n° 5117 - Laboratoire de l'Institut d'hydrologie de Clermont-Fd.

On peut rappeler ici les dépôts d'orpiment des sources de St Nectaire. On a proposé de relier la présence d'arsenic dans certaines eaux à l'existence possible de minéralisations arseniées en profondeur (mispickel par exemple).

Par manque d'éléments de comparaisons avec les autres régions hydro-minérales, il n'est pas encore possible de tirer des conclusions d'ordre général des données hydrogéochimiques pour les oligoéléments.

I.5. ELEMENTS MAJEURS - DIAGRAMMES DE COMPARAISON

On dispose habituellement de huit éléments majeurs dans les analyses d'eaux minérales. Ce sont CO_3H^- , Cl^- , SO_4^{--} , SiO_2 , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ . On utilisera ces résultats sous forme de milliéquivalents (m.e.q.), [G. CASTANY, 1963, p. 587]. Mais il s'agit d'un ensemble hétéroclite d'analyses, certaines ont été effectuées il y a cent ans. Nous avons dû en écarter un certain nombre ; nous avons choisi arbitrairement comme règle, de rejeter les analyses pour lesquelles le déséquilibre entre anions et cations dépassait 10 % lors du calcul de transformation en m.e.q.

La connaissance de la teneur de tel ou tel constituant est moins importante que la comparaison de ces teneurs entre elles. Nous calculerons donc des rapports de m.e.q. de cations ou d'anions entre eux ; certains de ceux-ci sont représentés graphiquement ci-dessous à l'aide de diagrammes triangulaires.

Anions : CO_3H^- exprime les carbonates combinés en solution. Cet ion toujours présent est typique de la province hydrominérale du Massif Central, il est le plus souvent l'anion prédominant. Sa teneur est très souvent de 1 g/l (16 m.e.q.) et atteint fréquemment 4 à 5 g/l (65 - 82 m.e.q.) et même exceptionnellement plus. Il représente souvent 70 - 80 % (en m.e.q. des anions).

La teneur en CO_3H^- se relie naturellement au CO_2 dissous. En fonction du pH, le CO_2 communique aux eaux leur agressivité chimique, c'est-à-dire leur aptitude à dissoudre les cations arrachés aux terrains traversés, compte tenu des relations d'équilibre entre carbonates, bicarbonates et CO_3H^- . Il est normal de considérer que CO_3H^- a la même origine que CO_2 ; on verra ci-dessous que l'on s'accorde à penser qu'il s'agit d'une origine endogène. Cependant, il semble judicieux de distinguer les

eaux faiblement minéralisées, elles aussi bicarbonatées, agressives, et qui ont la même composition que les eaux météoriques superficielles de granites et schistes cristallins ; dans ce cas CO_3H^- et CO_2 à faible teneur sont alors d'origine superficielle exogène. Comme il existe vraisemblablement des sources où il y a mélange des eaux superficielles et profondes, on a un éventail continu de minéralisation en CO_3H^- allant de traces (à peine 1 m.e.q. de CO_3H^-) à près de 100 m.e.q. (Vals Alexandre, par exemple).

Cl^- se trouve toujours associé à CO_3H^- , mais en quantité variable. Deux cas peuvent se présenter :

- l'émergence se trouve au contact de terrains sédimentaires au sein desquels il existe des assises salifères (trias notamment) ; la teneur importante en Cl^- provient alors des assises triasiques : Santenay (90,9 m.e.q. Cl^- : 3,2 g/l) ;
- l'émergence en plein socle ne peut pas être alimentée par les sédiments triasiques ou d'autres sédiments, alors, le caractère chloruré ou simplement chloro-bicarbonaté des sources reste à expliquer, mais, dans ces cas, la teneur en Cl^- atteint au maximum 2 g/l.

Dans les sources bicarbonatées simples, les anions comprennent moins de 10 % de chlore. Il y en a plus de 50 % dans les sources chlorurées.

Le rapport des m.e.q. $\text{Cl}^-/\text{CO}_3\text{H}^-$ est pour les plus chlorurées supérieur à 1 :

Bourbon-Lancy (Le Lymbe)	5,24
St Honoré (La Garenne)	2,54
La Bourboule (Choussy)	1,87
Châtel-Guyon (Gubler IV).....	1,25
La Bourboule (Fenestre)	0,6

et par contre,

Chaudes-Aigues (Le Par)	0,17
St Yorre (Légère)	0,13
Lamalou (Usclade)	0,01
etc...	

Les eaux chloro-bicarbonatées ont des valeurs intermédiaires ; la proportion de chlore par rapport à l'ensemble des anions est comprise entre 25 et 50 %. La distinction de ces divers groupes apparaît nettement sur le diagramme triangulaire des anions.

Il est intéressant de noter que le caractère chloruré pour les sources émergeant du socle se rencontre presque exclusivement parmi les sources chaudes dont la température est supérieure à 30°C et même souvent 50°C pour les plus riches en Cl^- .

.../.
La réciproque n'est pas vraie, les sources chaudes ne sont pas toujours chlorurées comme Chaudes-Aigues par exemple.

SO_4^{4--} est toujours présent avec des teneurs de quelques dizaines à quelques centaines de mg/l (2 - 5 % des anions exprimés en m.e.q. dans le cas général); mais dans certains cas, les teneurs en sulfates sont plus élevées :

- l'émergence peut être alimentée par des eaux ayant traversé des assises gypseuses, argiles et marnes permo-triasiques, calcaires et marnes jurassiques, marnes à gypse du Stampien. C'est probablement le cas de :

- Santenay (Lithium) : 45,4 m.e.q. - 31,9 % des anions
- St Maurice-es-Allier (Ste Marguerite) : 4,4 m.e.q. - 13 % des anions
- Cransac : 37,9 m.e.q. - 98,9 % des anions, a une origine artificielle.

- l'émergence ne peut pas être influencée par les assises triasiques, mais seulement par le socle :

- EvauX-les-Bains (10 sources) : 10,54 m.e.q. - 60,2 % des anions
- Néris-les-Bains (César) : 5,6 m.e.q. - 33,3 % des anions
- Chateauneuf (Grand Bain) : 6,6 m.e.q. - 15 % des anions

Cette minéralisation sulfatée a alors une origine profonde, encore inexpliquée, mais qui semble justifier l'individualisation d'une province sulfatée, d'autant que ce type sulfaté profond est à prédominance sodique, ce qui le distingue encore du type sulfaté calco-magnésien d'origine sédimentaire.

S^{--} : les sources du Massif Central ne sont pas sulfureuses, quelques exceptions cependant : Ste MélanY, Trebas, Bagnols, etc... Il s'agit d'un caractère exogène, dû aux minéralisations sulfurées à pyrite et autres sulfures des schistes des Cévennes et de l'Albigeois.

F^- est généralement peu dosé, mais il est sans doute fréquemment présent :

- Vichy Grande Grille - 5,1 mg/l - L. MORET, p. 41
- Vichy Chomel - 5,4 mg/l - " " " "
- Vichy Hôpital - 4,7 mg/l - " " " "
- Vichy Célestins - 1,5 mg/l - " " " "
- Beauregard Vendon - 0,68mg/l - analyse inédite n° 5116 - Laboratoire de l'Institut d'hydrologie de Clermont-Ferrand
- EvauX-les-Bains - 6,8 mg/l - inédit B.R.G.M.

.../.
 SiO_2 est constamment présent avec des teneurs de quelques dizaines de mg/l. Le nombre insuffisant de dosages de F^- ne nous permet pas de tenter une corrélation hydrogéochimique silice/fluor.

Cations : nous laisserons de côté le K^+ à teneur relativement constante pour nous intéresser à Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} .

A l'exception de quelques sources dont le caractère sodique est lié aux minéralisations salifères triasiques (Santenay), les eaux profondes sont fondamentalement sodiques, la plupart se situent dans le diagramme triangulaire Na^+ - Ca^{++} - Mg^{++} près du pôle Na^+ . Na représente près de 80 % des valeurs relatives de ces trois cations exprimés en m.e.q. ; le caractère sodique est endogène. Par circulation dans les assises sédimentaires, la composition cationique évolue vers le pôle calco-magnésien en fonction des terrains traversés. Mg^{++} n'est jamais prédominant en dehors du cas d'évolution secondaire d'une eau profonde. Les eaux à caractère exogène semblent plutôt équi calco-sodiques.

TENEURS EN CO_3H^- , Cl^- et SO_4^{4--} DE QUELQUES SOURCES MINERALES DU MASSIF CENTRAL

Commune	Source	Total m.e.q. anion	CO_3H^-			Cl^-			SO_4^{4--}			m.e.q. $\frac{\text{Cl}_3^-}{\text{CO}_3\text{H}^-}$ x100
			mg/lit	m.e.q.	m.e.q. $\frac{\text{CO}_3\text{H}^-}{\text{tot.}}$	mg/lit	m.e.q.	m.e.q. $\frac{\text{Cl}^-}{\text{tot}}$	mg/lit	m.e.q.	m.e.q. $\frac{\text{SO}_4^{4--}}{\text{tot}}$	
AVENE		4,6	274,0	4,4	95,6	5,1	0,1	2,1	8,6	0,1	2,1	2,2
BAGNOLS		7,41		3,53	47,6		2,48	33,4		1,40	18,8	70,2
BOURBON LANCY	Le Lybbe	37,8	261,0	4,2	15,1	784,1	22,0	79,1	76,8	1,6	5,7	523,8
BOURBON L'ARCHAMBAULT	3 puits	53,99	878,4	14,40	26,6	1189,25	33,50	62,0	292,6	6,09	11,2	232,6
LA BOURBOULE	Chaussy	85,7	1758,0	28,8	33,6	1918,5	54,0	63,0	140,0	2,9	3,3	187,5
" "	Fenestre	9,2	336,4	5,5	59,7	119,8	3,3	35,8	21,2	0,4	4,3	60,0
CAMARES	Prugnes	33,50	1958,0	32,0	95,5	37,0	1,0	2,9	24,3	0,50	1,4	3,1
CHAMALIERES	Les Roches	10,65	549	9,01	84,6	43,31	1,22	11,4	18	0,38	3,5	13,5
CHARBONNIERES	Marsonnat	4,17	204,9	3,36	80,6	24,4	0,69	16,5	5,9	0,12	2,9	0,2
CHATEAUNEUF	Grand Bain	43,9	1908,0	31,2	71,0	217,6	6,1	13,8	317,5	6,6	15,0	19,5
CHATELDON	Sergentale	31,9	1915,4	31,4	98,4	6,5	0,1	0,3	20,4	0,4	1,2	0,3
CHATEL-GUYON	Gubler IV	87,72	2232,6	36,60	41,7	1623,0	45,72	52,1	259,2	5,40	6,1	124,9
CHAUDES-AIGUES	Le Par	14,2	722,0	11,8	83,0	72,0	2,0	14,0	23,0	0,4	2,8	16,9
CRANSAC	Roques n° 2	38,30				15,1	0,40	1,0	1823,4	37,90	98,9	
EVAUX-LES-BAINS	10 Bains	17,50	371	6,05	34,5	32,4	0,91	5,2	50,6	10,54	60,2	15,0
LACAUNE		1,90	16,0	0,80	42,1	8,7	0,70	36,8	9,5	0,40	21,0	87,5
LAMALOU	Usclade	29,8	1779,0	29,1	97,6	14,4	0,4	1,3	18,1	0,3	1,0	1,3
LA PRUGNE	Charrier	0,27	13,42	0,22	81,4	0	0		2,4	0,05	18,5	0
MARTRES D'ARTIERES	Sondages	153,70		107,90	70,2		45,40	29,5		0,40	0,30	0,4
MONT DORE	César	21,9	956,0	15,6	71,2	202	5,6	25,5	38,0	0,7	3,1	35,8
MONTPENSIER	Nouveau forage	69,77	3580,7	58,70	84,1	220,1	6,20	8,8	238,8	4,87	6,9	10,5
NERIS	César	16,8	498,5	8,1	48,2	110,1	3,1	18,4	273,3	5,6	33,3	38,2
POUGUES LES EAUX	Alice	43,5	2239,0	36,7	84,3	131,0	3,6	8,2	156,0	3,2	7,3	9,8
ROYAT	César	36,3	1465,0	24,0	66,1	396	11,1	30,5	60,3	1,2	3,3	46,2
ST GALMIER	Badoit	30,3	1659,0	27,2	89,7	71,0	2,0	6,6	54,9	1,1	3,6	7,3
ST HONORE	La Garenne	8,2	137,0	2,2	26,8	199,0	5,6	68,3	20,0	0,4	4,8	254,5
ST MAURICE	Ste Marguerite	33,8	1360,0	22,2	65,6	257,5	7,2	21,3	211,2	4,4	13,0	32,4
ST NECTAIRE	St Cézaire	106,3	3464,8	56,8	53,4	1675,3	47,1	44,3	116,5	2,4	2,2	82,9
ST PARDOUX		2,35	102,5	1,68	71,5	10,30	0,29	12,3	18,2	0,38	16,20	0,2
ST PARIZE LE CHATEL	Fonts Bouillants	38,60	1207,0	19,79	51,0	21,0	0,50	1,3	884,0	18,40	47,70	0,0
ST YORRE	Légère	68,42	3519	57,69	84,3	271,0	7,63	11,1	152	3,10	4,5	13,2
SANTENAY	Lithium	142,2	363,5	5,9	4,1	3229,2	90,9	63,9	2128,8	45,4	31,9	1540,6
VALS	St Jean	28,1	1612,0	26,4	93,9	36,3	1,0	3,7	36,5	0,7	2,4	3,9
"	Alexandre	99,1	5776,0	94,6	95,4	118,0	3,3	3,3	60,0	1,2	1,2	3,4
VICHY	Célestins	58,3	2980,0	48,8	83,7	241,0	6,7	11,4	137	2,8	4,8	13,7
"	Grande Grille	91,0	4720,0	77,3	84,9	348,0	9,8	10,8	189,7	3,9	4,3	12,6
VOLVIC	Clairvic	1,32	62,2	1,02	77,2	5,0	0,14	10,6	7,70	0,16	12,1	13,7

TENEURS EN CO_3H^- , Cl^- , et SO_4^{4--} DE QUELQUES SOURCES ORDINAIRES DU MASSIF CENTRAL

Moyenne de 5 sources terrains cristallins	0,50	20,8	0,34	68,0	3,7	0,10	20,0	3,00	0,06	12,0	29,4
Moyenne de 4 sources terrains volcaniques	1,15	53,4	0,87	75,6	6,7	0,14	12,1	5,0	0,14	12,1	16,0

TENEURS EN Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ DE QUELQUES SOURCES MINÉRALES DU MASSIF CENTRAL

COMMUNE	SOURCE	Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		total des 3 cations en m.e.c.
		m.e.q.	%	m.e.q.	%	m.e.q.	%	
AVENE		2,3	48,9	1,2	25,5	1,2	25,5	4,7
BAGNOLS		0,84	11,6	-	-	6,37	88,3	7,21
BOURBON LANCY	Le Lymbe	3,8	14,1	0,2	0,7	22,9	85,1	26,9
BOURBON L'ARCHAMBAULT	3 puits	5,75	11,4	0,87	1,7	43,76	86,8	50,38
LA BOURBOULE	Chaussy	2,1	2,5	0,9	1,0	79,6	96,3	82,6
LA BOURBOULE	Fenestre n°1	0,2	2,2	0	0	8,5	97,7	8,7
CAMARES	Prugnes	10,0	30,3	4,5	13,6	18,5	56,0	33,0
CHAMALIERES	Les Roches	3,0	29,8	1,8	17,9	5,24	52,1	10,04
CHARBONNIERE	Marsonnat	2,21	58,5	0,68	18,0	0,89	23,5	3,78
CHATEAUNEUF	Grand Bain	4,3	11,4	3,1	8,2	30,0	80,2	37,4
CHATELDON	Sergentole	16,3	51,9	4,2	13,3	10,9	34,7	31,4
CHATEL-GUYON	Gubler IV	29,26	34,2	24,26	28,3	32,0	37,4	85,52
CHAUDES-AIGUES	Le Par	1,3	9,2	0,7	4,9	12,1	85,8	14,1
CRANSAC	Roques n° 2	15,90	42,7	20,90	56,1	0,40	1,0	37,20
EVAUX LES BAINS	10 Sources	2,4	12,1	0,2	1,0	17,4	86,7	20,06
LACAUNE		0,8	42,1	0,7	36,8	0,4	21,0	1,9
LAMALOU	Usclade	12,0	43,6	4,7	17,0	10,8	39,2	27,5
LA PRUGNE	Charrier	0,10	43,4	-	-	0,13	56,5	0,23
MARTRES D'ARTIERES	Sondage	16,0	11,0	15,80	10,9	113,10	78,1	144,90
MONT DORE	César	4,4	21,0	2,4	11,4	14,1	67,4	20,9
MONTPENSIER	Nouveau Forage	2,32	3,4	6,16	9,1	59,4	87,4	67,52
NERIS	César	1,9	11,6	0,2	1,2	14,2	87,1	16,3
POUGUES	Alice	29,2	67,9	4,7	10,9	9,1	21,1	43,0
ROYAT	César	15,5	22,5	8,3	12,0	44,8	65,3	68,6
ST GALMIER	Badoit	11,8	38,1	11,3	36,5	7,8	25,2	30,9
ST HONORE	Lagarenne	1,60	20,7	0,20	2,5	5,90	76,6	7,70
ST MAURICE	Sainte Marguerite	9,6	27,5	8,9	25,5	16,4	46,9	34,9
ST NECTAIRE	St Cézaire	10,1	9,7	8,9	8,5	84,8	81,6	103,8
ST PARDOUX		0,84	41,4	0,52	25,6	0,67	33,0	2,03
ST PARIZE LE CHATEL	Fonts Bouillants	25,60	66,5	12,10	31,4	0,80	2,1	38,50
ST YORRE	Légère	4,30	6,5	1,16	1,7	60,0	91,6	65,46
SANTENAY	Lithium	19,2	13,2	3,1	2,1	122,1	84,5	144,4
VALS	Alexandre	4,3	4,3	6,4	6,4	88,8	89,2	99,5
VALS	St Jean	4,3	15,6	1,8	6,5	21,4	77,8	27,5
VICHY	Célestins	5,1	8,0	0,5	0,7	57,7	91,1	63,3
VICHY	Grande Grille	5,2	5,8	0,9	1,0	82,1	93,0	88,2
VOLVIC	Clairvic	0,51	40,1	0,30	23,6	0,46	36,2	1,27

TENEURS EN Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ DE QUELQUES SOURCES ORDINAIRES DU MASSIF CENTRAL

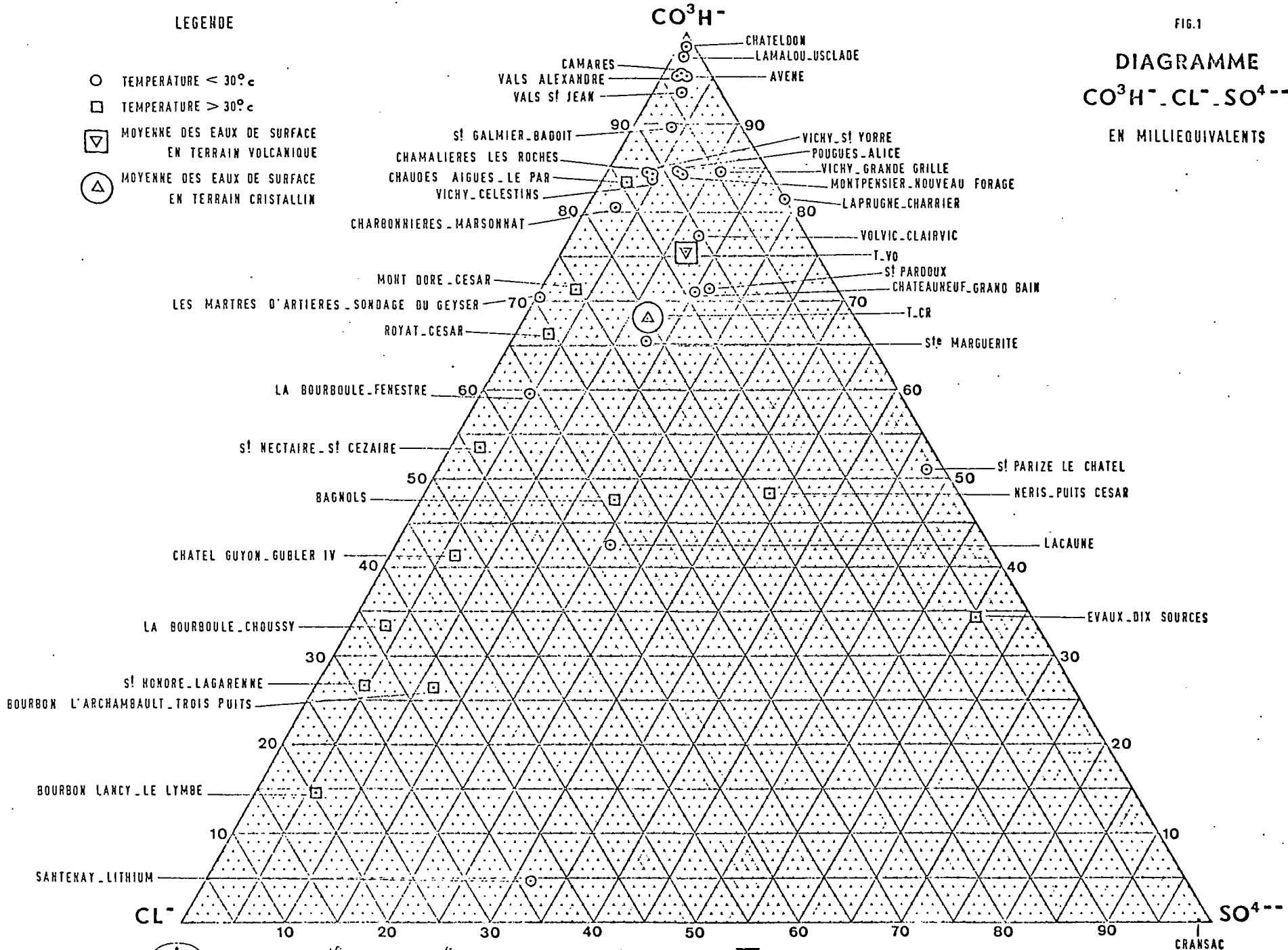
Moyenne de 5 sources de terrains cristallins	0,21	42,0	0,08	16,0	0,21	42,0	0,50
Moyenne de 4 sources de terrains volcaniques	0,37	35,5	0,30	28,8	0,37	35,5	1,04

LEGENDE

FIG.1

DIAGRAMME
 $CO^3H^- . CL^- . SO^4--$
 EN MILLIEQUIVALENTS

- TEMPERATURE < 30°C
- TEMPERATURE > 30°C
- ▽ MOYENNE DES EAUX DE SURFACE EN TERRAIN VOLCANIQUE
- △ MOYENNE DES EAUX DE SURFACE EN TERRAIN CRISTALLIN

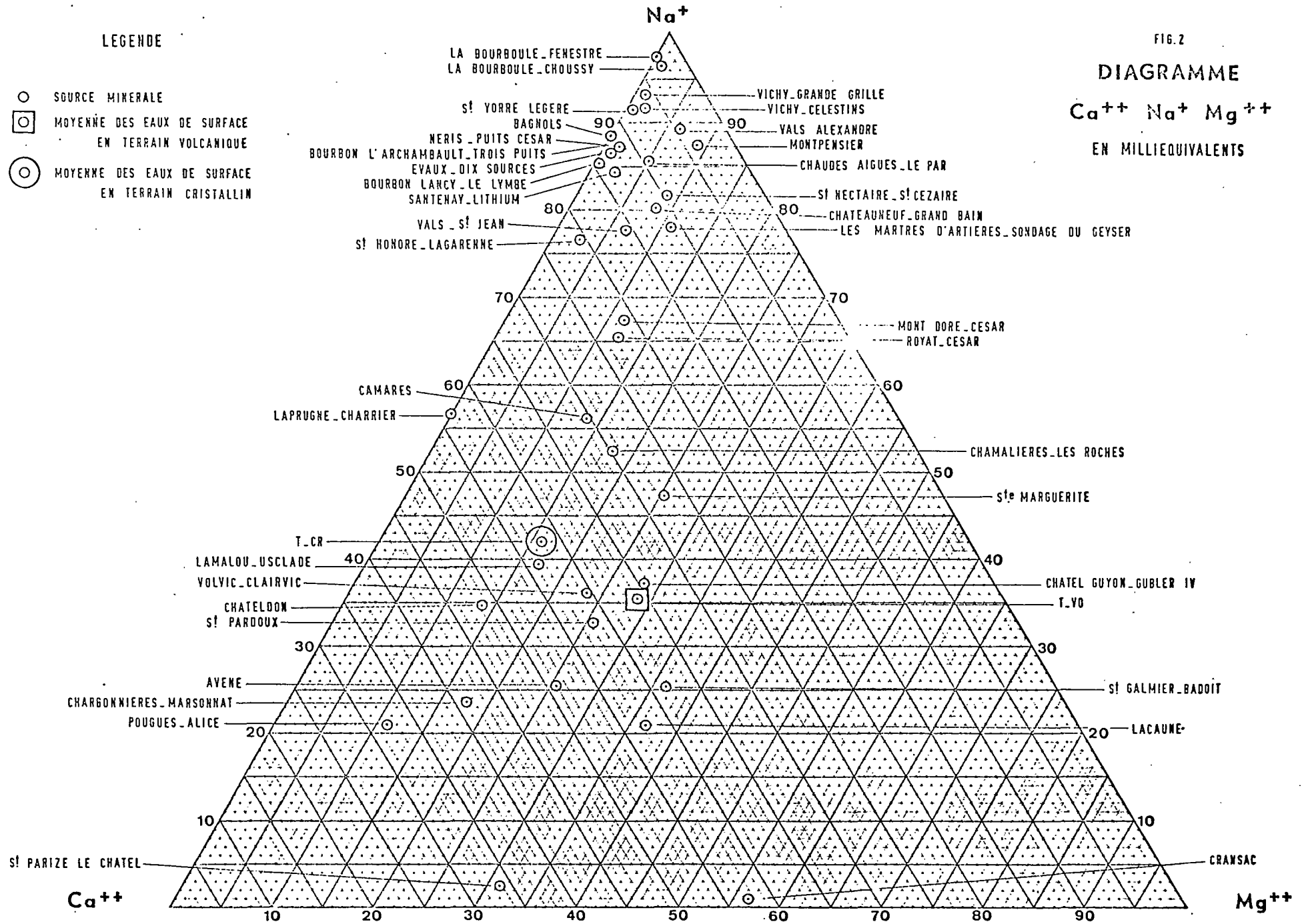


LEGENDE

- SOURCE MINERALE
- ◻ MOYENNE DES EAUX DE SURFACE EN TERRAIN VOLCANIQUE
- ⊙ MOYENNE DES EAUX DE SURFACE EN TERRAIN CRISTALLIN

FIG. 2

DIAGRAMME
 Ca^{++} Na^+ Mg^{++}
 EN MILLIEQUIVALENTS



Le fer est signalé qualitativement dans un grand nombre de sources, il est abondant dans quelques sources froides dites ferrugineuses.

On citera par exemple :

NERIS	: 0,20 mg/l	- analyse inédite n°5182	} Laboratoire de l'Institut d'hydrologie de la Faculté de Médecine de Clermont-Fd.
EVAUX	: - de 0,10 mg/l	- analyse inédite n°5053	
BOURBON L'ARCHAMBAULT	: - de 0,10 mg/l	- analyse inédite n°5126	
ST NECTAIRE LE PARC	: 1,6 mg/l	- analyse inédite n°5141	
MONTPENSIER - NOUVEAU FORAGE	: 1,20 mg/l	- analyse inédite n°5163	
CHATEL-GUYON - GUBLER IV	: 5,20 mg/l	- analyse inédite n°5165	

Il s'agit, pour la plupart, de teneurs inférieures à 1 mg/l ou comprises entre 1 et 5 mg/l, ceci est d'ailleurs suffisant pour provoquer à l'émergence des précipitations d'hydrates ferriques.

1.6. GAZ DISSOUS

Le gaz carbonique est de beaucoup le plus important.

CO₂ : la plupart des eaux du Massif Central sont bicarbonatées ; un très grand nombre d'entre elles ont une teneur importante en CO₂ libre. Ainsi, à Vichy Célestins, il y a 1,77 g/l de CO₂ (soit 0,9 litre de CO₂/l d'eau), [L. MORET, 1946, p. 50], mais cela peut atteindre plusieurs fois le volume d'eau. Certaines sources sont exploitées seulement pour le CO₂ qu'elles dégagent (Montpensier...).

En valeur relative des gaz, le gaz carbonique a une prédominance absolue. Pourcentage de gaz carbonique de quelques sources du Massif Central [G. CASTANY, p. 599].

LA BOURBOULE	94,5
CHATEL-GUYON	98
LE MONT-DORE	99
GEYSER DES MARTRES D'ARTIERES	98,8
POUGUES-LES-EAUX	98,6
ROYAT	99,5
VICHY (Grande Grille)	99,5

On sait que le dégagement de CO₂ est le facteur très important de la remontée des eaux thermales. A l'émergence, le dégagement spontané du CO₂ produit l'émulsion et le pétilllement bien connus. Il peut être la cause du phénomène des sources intermittentes (Hauterive, etc...). Le dégagement de CO₂ à l'émergence entraîne fréquemment la précipitation du calcium dissous sous forme de travertin de calcite ou d'aragonite (Vichy Célestins, Fontaine pétrifiante St Alyre à Clermont Fd) calcite et dolomie ferrifère (Chaudes-Aigues). L'entartrage des griffons et l'auto-colmatage de ceux-ci provoquent souvent un déplacement des points d'émergence [A. AUBIGNAT, 1960, p.7].

On connaît des émanations contenant seulement des gaz (Grotte du Chien à Royat, "Fontaine empoisonnée" de Montpensier, maintenant captée). Plusieurs sondages pétroliers ont montré du CO^2 dans le Stampien détritique : Saint Beauzire, les Martres d'Artières. Si "les résultats pétroliers ont été négatifs, les réservoirs détritiques se sont révélés enrichis d'eau douce généralement émulsionnée de gaz carbonique" [A. MORANGE et al.] . Rappelons quelques jaillissements spontanés de CO^2 qui se produisirent à Vergongheon à 200 m de profondeur, sur une faille limitant tertiaire et carbonifère [L. DELAUNAY, p. 36], à Montrond-les-Bains [L. DELAUNAY, p. 197], au geyser des Martres d'Artières [J. JUNG, p. 336], etc.

A ce sujet, il nous semble judicieux de rattacher à ces émanations spontanées de CO^2 , celles que l'on connaît dans certains bassins houillers du Massif Central (Cévennes, Brassac-les-Mines, Blanzay). Ces émanations de CO^2 sont surtout connues par les dégagements instantanés violents et catastrophiques qu'ils peuvent provoquer. Il est vraisemblable d'admettre que le gaz carbonique est d'origine récente endogène. C'est aussi le cas dans les mines de charbons de Silésie [J. TEISSEYRE, 1968] et d'une manière générale dans les bassins houillers qui ont subi l'orogénèse alpine. Le gaz carbonique peut être le composant principal du gaz de ces couches de charbon ; on le considère comme d'origine vulcanogène [G.D. LIDINE et V.D. KHODOT, 1964, p. 227].

Quelle est l'origine du CO^2 dans les eaux minérales ? L'étude des isotopes du C^{13} dans les gaz thermaux [J.C. FONTES et al., 1963] ne permet pas de décider de l'origine magmatique ou météorique. J.P. DESTOMBES, pour sa part, pense que le CO^2 du bassin de Vals, d'origine profonde, émulsionne les eaux météoriques du bassin grâce aux fractures N.W.-S.E. qui l'amènent à la surface. Actuellement, la plupart des auteurs accordent au CO^2 une origine profonde ; selon les théories actuelles [G. DEICHA et J.C. TOURAY, 1968] sur "l'apport de CO^2 par l'intermédiaire des fractures profondes depuis le manteau" - "les magmas profonds sont le domaine de l'anhydride carbonique". Récemment, J. TOURET, 1970, insiste sur l'idée que le faciès granulite est un métamorphisme en milieu carbonique. Or, les brèches et scories du volcanisme des Causses et de la chaîne des Puys, ont ramené à la surface des fragments de roches du faciès granulite [R. BROUSSE, 1962] ; [R. BROUSSE et A. RUDEL, 1964] prouvant leur existence en profondeur dans le socle du Massif Central [F.H. FORESTIER]. On pense maintenant [M. AUBERT et G. PERRIER] que le "Moho" est à une profondeur relativement faible à l'Est du sillon houiller. On peut supposer que des ensembles de faciès granulite ou du manteau supérieur ont été remontés par l'orogénèse alpine à des niveaux où règnent des conditions thermodynamiques plus superficielles ; ils laissent échapper leur CO^2 grâce aux fractures profondes du socle dues à cette même orogénèse alpine.

.../.
 Rappelons qu'il faut distinguer le CO² libre et abondant des sources bicarbonatées dont l'origine est endogène, du CO² libre et en faible proportion d'origine exogène ; on trouve celui-ci dans toutes les eaux superficielles peu minéralisées de terrains cristallins ; il leur communique l'agressivité. Certaines sources froides classées minérales, appartiennent à ce type : Ste Geneviève-sur-Argence, Charbonnières, La Prugne (Charrier).

Azote : l'azote constitue souvent une partie notable des gaz dissous mais en proportion bien inférieure à celle du CO². En général, on manque de données sur les teneurs en azote des gaz dissous. Exceptionnellement, l'azote est le gaz prédominant..

Bourbon l'Archambault [L. MORET, 1946, p. 51]

Azote 64,2 %
 Oxygène 2 %
 CO² 33,7 %

Saint Laurent-les-Bains [J. AVIAS, 1960]

Azote 84 à 86 %
 Gaz rares 1,3 %
 Hélium 0,35 %
 CO² 11 à 13 %

Gaz rares : On dispose de quelques données sur les teneurs en gaz rares. On constate que, à l'exception de l'hélium, les proportions relatives de gaz rares entre eux et par rapport à l'azote, sont relativement constantes et que ces rapports sont du même ordre de grandeur que dans l'air.

D'après A. MORETTE, p. 441

	SOURCE	ARGON AZOTE	KRYPTON ARGON	XENON ARGON	HELIUM ARGON
Santenay	Carnot	0,0085			13,11
Bourbon Lancy	Lymbe	0,01196			1,65
Néris	César	0,0120			1,1025
St Honoré		0,0120	0,000 25	0,000 007	0,74
Vichy	Chomel	0,0166	0,000 27	0,000 011	0,56
Vichy	Grande Grille	0,037	0,000 29	0,000 015	0,105
La Bourboule	Choussy	0,0187	0,000 34	0,000 013	0,10

Le cas de l'hélium est particulier, certaines sources en contiennent notablement, ainsi Néris-les-Bains : 100 l d'hélium par jour [A. MORETTE, p. 441] et plus encore Santenay : 13 m³/an [L. MORET, p. 53]. L'hélium fut autrefois exploité à la Colombière (Lamalou).

H₂S : à la différence de la province pyrénéenne, il n'y a pas d'hydrogène sulfuré dans les sources du Massif Central. On en signale cependant çà et là : St Honoré, Charbonnières, Trebas, Ste Mélanie... ; on relie la présence de ce gaz à l'existence, dans le contexte géologique, de pyrite ou autres minéraux sulfureux.

H₂S que l'on rencontre épisodiquement dans certains forages profonds de Limagne, pourrait provenir de la réduction des sulfates de sédiments lagunaires.

Hydrocarbures gazeux : on signalera encore à titre de curiosité, la présence de méthane dans la source du puy de la Poix (Clermont-Ferrand) [J. JUNG, 1946, p. 334] qui en contient jusqu'à 20 % du volume gazeux, il provient des assises bitumineuses du Stampien.

I.7. RADIOACTIVITE

On sait que la cause essentielle de la radioactivité des sources thermales est due au gaz radioactif radon et non à des éléments chimiques du groupe de l'uranium : comme la solubilité du radon croît lorsque la température décroît, les sources les plus radioactives sont les plus froides. "Les eaux thermales ne sont pas les plus radioactives. Au contraire, les eaux froides circulant sur des massifs granitiques (ces derniers renfermant parfois les minéralisations uranifères) présentent des teneurs en radioéléments beaucoup plus élevées que les eaux thermales", [R. GRANDPIERRE, M. ROUBAULT et G. JURAIN, 1964, p. 663]. La radioactivité serait donc un caractère exogène.

Radioactivité de quelques eaux minérales du Massif Central

NOM DE LA SOURCE	RADIOACTIVITE EN MILLICURIE/LITRE 10 ⁻⁹ C/l	TENEUR EN RADIUM 10 ⁻¹² g/l	REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE
La Bourboule Choussy	16,6 à 28,4		M. ROUBAULT-R. GRANDPIERRE, 1958,
Mont-Dore César	0,48		" " p. 12
Royat Eugénie	0,4		" " "
Royat St Mart	14,5		" " "
Châtel-Guyon		38 à 53	" " p. 15
Chateldon Montagne	106 à 130		L. MORET, p. 59
Evaux César : eaux	2,3		G. BAZOT, p. 166
gaz	80,09		" "
Vichy Gde Grille		48,5	R. GRANDPIERRE, 1964, p. 662
Lamalou (émergence jaillissante)		20,45	} M. GESLIN et P. URBAIN 1961, p. 198
Lamalou (forage du Therme)		4,25	
St Laurent les Bains			} J. AVIAS, 1960, p. 524
eaux	2,75 à 4,40		
gaz	0,24 à 0,45		

Enfin, il est intéressant de signaler la fixation de l'uranium et du radium dans les dépôts de sources thermales (hydroxydes de fer, carbonates, silicification) mis en évidence par certains travaux analytiques.

SOURCES	TENEUR DU DEPOT EN g DE RADIUM/g DE DEPOT	RAPPORT DES TENEURS DEPOT/EAU	REFERENCES
Vichy Gde Grille	670.10^{-12} g/g radium	14×10^3	R. GRANDPIERRE et al 1964, p. 663
Lamalou, dépôt à pisolites du trop-plein de l'Usclade	$20,54.10^{-12}$ g/g radium		M. GESLIN et URBAIN, 1961, p. 198

II - FACTEURS GEOLOGIQUES DE L'HYDROTHERMALISME

II.1. FACTEURS STRUCTURAUX

La relation des sources minérales du Massif Central avec de grandes dislocations, est une des données essentielles de l'analyse géologique de l'hydrothermalisme.

Les fractures peuvent d'ailleurs avoir un double rôle dans l'histoire d'une eau minérale : mettre les eaux en relation avec des zones d'influence de foyers magmatiques profonds et faciliter leur accès à la surface.

Ces fractures faciliteront d'autant mieux la circulation des eaux qu'elles affecteront des roches plus dures : migmatites plutôt que micaschistes.

Il faut noter que les directions des cassures où se situent les points d'émergence, ne correspondent pas toujours aux directions structurales essentielles qui conditionnent plutôt la répartition régionale des sources. En effet, dans de nombreux cas, les émergences et captages se trouvent à une certaine distance des fractures principales et le plus souvent, ce sont de simples diaclases des roches encaissantes ou de petites failles, qui conduisent l'eau à l'émergence. Lorsque l'on fait une étude de détail, ceci risque de masquer la relation avec la direction structurale essentielle, exemple : Evaux-les-Bains [L. DELAUNAY, 1899, p. 255] .

Ces travaux récents de géophysique [M. AUBERT et G. PERRIER] qui montrent un amincissement de la croûte à l'Est du sillon houiller, apportent une contribution importante à l'étude de ces corrélations structurales. Les sources thermominérales sont inégalement réparties dans le Massif Central : la partie à l'Ouest du

.../.
 sillon houiller en est presque totalement dépourvue, alors que l'on y connaît des dislocations importantes, comme la faille d'Argentat et la dislocation de la Marche, mais qui sont des fractures anciennes sans rejeu actuel important ; de façon générale, les fractures récentes, même si elles reprennent des directions hercyniennes, ne montrent pas un rejeu important dans l'Ouest du Massif Central (par exemple, le rejeu du secondaire et du tertiaire de la couverture sédimentaire du Poitou est faible).

On peut en déduire que, seules les fractures profondes et récentes sont favorables à l'hydrothermalisme. Il faut noter que les grandes bandes de mylonites des anciennes zones de dislocations actuellement sans rejeu visible, ne sont pas sans intérêt : elles peuvent servir de drain (exemple, Vals-les-Bains : percolation des eaux selon une bande de mylonites anciennes, mais émergences liées aux fracturations tertiaires et récentes), [J.P. DESTOMBES, 1957] .

La relation entre l'hydrothermalisme et l'orogénèse alpine est d'ailleurs valable pour l'ensemble des sources françaises.

Dans leur étude sur les provinces volcaniques néogènes et quaternaires, J. JUNG et R. BROUSSE distinguent trois directions structurales volcano-tectoniques fondamentales :

- une direction N.W.-S.E.,
- une direction N-S,
- une direction N.E.-S.W.

(voir également à ce sujet, l'article de A. DE GOER et J. MERGOIL).

Les principaux groupes d'eaux thermo-minérales se répartissent le long d'accidents ainsi orientés :

Au système N-S (Auvergne - Languedoc) correspondent de grands alignements qui comprennent :

- le bassin hydrominéral de la Nièvre (Pougues, etc...),
- les fractures de la bordure du graben de la Limagne de Clermont et des fractures parallèles dans le socle ou dans la Limagne elle-même (Châtel-Guyon, Royat, st Nectaire, etc...),
- la bordure ouest du horst du Morvan,
- le bassin de Lamalou (combiné avec d'autres directions),
- etc...

Au système N.W.-S.E. correspondent :

- le district d'Evau, Nérès,
- une succession de bassins qui s'étendent depuis le bassin hydrominéral de l'Aubrac (Chaudes-Aigues), le bassin tertiaire de Saint Flour-le Malzieu (Coren les Eaux...), la Limagne de Brioude (St Géron, CO² du bassin houiller de Brassac), le bassin du Forez (St Romain le Puy, St Alban, St Galmier),

.../.

- les fractures de ce système interviennent dans les bassins de Vals et les Cévennes,
- etc...

Au système N.E.-S.W. se rattachent :

- les sources du rift de Blanzay (Santenay, CO² du bassin houiller de Blanzay, Vichy, CO² de Montpensier),
- les fractures cévenoles (Vals),
- dans la Montagne Noire, les directions cévenoles N.E.-S.W. s'infléchissent vers la direction pyrénéenne (Sylvanes, Camarès).

A vrai dire, dans de nombreux cas, les sources thermominérales se trouvent dans les régions de croisement de deux directions fondamentales (exemple, bassin de Vals, de Lamalou-les-Bains, de Vichy, etc...). Par combinaison des directions précédentes peuvent se créer des grabens polygonaux. Les sources de Mont Dore et de La Bourboule sont liées à la fosse volcano-tectonique du Mont-Dore ; autour de la fosse volcano-tectonique du Cantal se répartissent quelques sources moins connues.

Toutes ces dislocations sont des fractures profondes ayant décroché le socle d'une manière importante que l'on peut apprécier lorsque les terrains sédimentaires de couverture fournissent des points de repère, ou par géophysique (Mt Dore). En Limagne par exemple, le rejet connu atteint et dépasse 1.000 m. Ces directions structurales sont parfois jalonnées de filons de quartz importants (filon N 140 d'Evaux, filons quartzeux du bassin de Vals). Bien que les eaux contiennent un peu de silice, il est peu probable que ceux-ci proviennent du dépôt des eaux thermales ; ils sont beaucoup plus anciens, car ils sont parfois décalés par les réseaux récents. Leur rôle hydrogéologique est celui d'un drain.

II.2. RELATIONS AVEC LE VOLCANISME

La liaison génétique des eaux minérales avec le volcanisme est un problème fondamental dans l'étude de l'origine des eaux thermominérales. L'exposé des arguments en faveur des diverses théories est fait dans de nombreux ouvrages [J. JUNG, L. DELAUNAY, L. MORET...]. Nous nous limiterons, dans ce chapitre, aux observations, mesures et hypothèses faites à une époque récente sur les eaux thermominérales du Massif Central.

La corrélation spatiale très nette entre les bassins hydrominéraux et les massifs volcaniques, apparaît très clairement à l'examen de la carte géologique. Dans le détail, on constate que les venues volcaniques et les venues d'eaux thermales ont utilisé souvent les mêmes fractures et en tout cas, des fractures de même direction. Certains massifs comme le Cantal, le Mont-Dore, ont cessé toute activité depuis le villafranchien, mais on peut considérer comme quasi-actifs les volcans quaternaires (chaîne des Puys). Or, à proximité du seul volcanisme quaternaire, on trouve une proportion importante des sources thermominérales du Massif Central. Dans le seul départ-

tement du Puy-de-Dôme, se trouve un tiers des sources françaises. On peut signaler notamment, en relation avec la chaîne des Puys et les fractures N-S qui lui sont parallèles, les sources de la Limagne de Clermont-Ferrand : Royat, St Nectaire, Châtel-Guyon, Chateauneuf, etc. et, en relation avec les volcans quaternaires des Cévennes médianes, le bassin de Vals. Nous relèverons dans les travaux faits depuis la guerre, les idées de J.P. DESTOMBES qui, dans le bassin de Vals- considère que les remontées de CO_2 sont liées aux directions volcaniques quaternaires récentes.

Des données intéressantes et nouvelles nous sont fournies par les levés géophysiques systématiques, gravimétriques et magnétiques, qui amènent à conclure à l'existence d'une hypostructure sous la chaîne des Puys [M. AUBERT et G. PERRIER]. Il semble qu'elle se situe à un niveau relativement superficiel. Etant donné l'âge très récent des dernières éruptions, il est possible d'admettre que ce foyer magmatique n'est pas encore totalement refroidi, et d'y voir la cause du réchauffement et de la minéralisation des eaux souterraines de cette région.

Du point de vue géothermique, les renseignements dont on dispose sont peu nombreux, mais ils montrent un gradient géothermique élevé en Limagne, alors que le socle cristallin du Limousin (Monts de Blond) a un gradient normal proche de la moyenne.

GRADIENT GEOTHERMIQUE DE SONDAGES

	LIMOUSIN		LIMAGNE D'ALLIER		
	MONTS DE BLOND	MACHOLLES (RIOM)	MARTRES D'ARTIERE	CROUELLE (CLERMONT- FD)	
PROFONDEUR EN METRES	475	1160	415	856	
GRADIENT GEOTHER- MIQUE EN DEGRE PAR CENT METRES	3,4	7	6,2	4	

(Le sondage des Monts de Blond a été effectué par le B.R.G.M. dans le cadre d'une action concertée de la D.G.R.S.T. ; les autres sondages ont été effectués pour la recherche de pétrole en Limagne).

Ceci est parfaitement compatible avec l'hypothèse exprimée ci-dessus sur le réchauffement des eaux profondes.

On ne saurait parler de cette question sans évoquer un aspect économique, celui de l'énergie géothermique, peu exploitée en France jusqu'à présent. Les

eaux de Chaudes-Aigues sont utilisées pour le chauffage des habitations du bourg. A l'heure actuelle, un projet envisage l'exploitation des eaux profondes de la Limagne à des profondeurs de l'ordre de 1.000 m dans les arkoses de la base du tertiaire. Leur température pourrait atteindre 70 - 80°C. La minéralisation et la teneur en CO_2 posera cependant des problèmes techniques pour l'exploitation (rapport inédit GEOSOL, 1968).

La géochimie isotopique aborde ce problème génétique des eaux minérales en comparant les isotopes O^{18} et O^{16} de l'oxygène des eaux, ainsi que les isotopes C^{13} du CO_2 des gaz thermaux. Les résultats sont exprimés par la différence δ en millièmes avec le rapport d'un étalon défini. A priori, on peut penser qu'une eau juvénile a un δO^{18} positif et proche de celui des roches ignées. L'étude de J.C. FONTES et al. [1963, p. 472] fut effectuée sur les eaux thermales de Vichy, du Mont-Dore, de la Bourboule, de Royat, de Châtel-Guyon, St Nectaire, Volvic. Les valeurs obtenues δO^{18} sont comprises entre -5 et -12, c'est-à-dire comparables aux teneurs en O^{18} des eaux de précipitation en climat tempéré. Ils ont d'ailleurs trouvé des valeurs comparables entre les eaux minérales et les eaux de sources superficielles ou de puits. On peut conclure de cela, que les "eaux thermales et minérales du Massif Central sont alimentées par l'eau météorique. Et même s'il y a de l'eau magmatique, son influence reste faible".

Un travail analogue effectué sur les gaz thermaux a donné des résultats moins concluants : les valeurs de δC^{13} comprises entre -5 et -7,5 ne permettent pas de trancher d'une manière nette et par conséquent, l'hypothèse d'une origine magmatique totale ou partielle du gaz carbonique reste possible.

Plus récemment, E. BUENO-ROMERO, [1969], et Ph. OLIVE [1970, p. 75], ont effectué des dosages de tritium sur les eaux du Mont-Dore et de La Bourboule. Les valeurs trouvées sont inférieures ou égales à 5 ou 6 U.T. Ils concluent de l'analyse isotopique des eaux, qu'il s'agit de remontées d'eaux profondes d'origine météorique avec mélange éventuel d'eaux superficielles. Cette méthode fournit une information supplémentaire sur l'âge des eaux des sources du Mont-Dore, qui serait de l'ordre de 10.000 à 20.000 ans.

II.3. RELATION AVEC LA LITHOLOGIE

La lithologie des terrains traversés influe de façon importante et souvent complexe sur la composition chimique des eaux souterraines en général. Dans le cas particulier des eaux "administrativement minérales", elle intervient de façon importante et unique ou secondaire et complémentaire, selon qu'il s'agit d'eaux à caractère exogène ou endogène dominant. Lorsqu'il s'agit d'un type exogène, c'est la nature des terrains traversés seule qui est à l'origine des caractéristiques chimiques et physiques.

C'est ainsi que les eaux de Charrier et Charbonnières par exemple, pour lesquelles l'origine météorique paraît claire et que l'on peut considérer comme appartenant à un type exogène dominant à encaissant cristallin, présentent les caractères suivants :

- faible minéralisation 100 à 200 mg/l de minéralisation totale ou une résistivité de 2.500 Ω x cm et plus,
- pH bas (6 environ), eaux agressives,
- légèrement bicarbonatées ($\text{CO}_3^{3-}\text{H}^-$) de l'ordre de 100 mg/l, qui contraste avec l'abondance de bicarbonates et CO_2 gazeux des sources thermales profondes;
- et bien entendu, une température froide.

De la même façon, dans le cas des roches sédimentaires, l'influence lithologique des terrains traversés est généralement manifeste.

A Gissac, c'est aux terrains permien que l'on attribue l'enrichissement en SO_4^{4--} .

Le Trias est responsable de la haute teneur en Cl^- de Santenay (3,2 g/l) et en SO_4 (2,2 g/l).

L'effet des calcaires jurassiques sur la composition de l'eau des sources du bassin hydrominéral de la Nièvre, se traduit par l'enrichissement en Ca et l'appauvrissement en Na, en fonction de la distance de la faille. DELAUNAY cite p. 271:

"Source St Léon 190 m de la faille : 0,763 g de soude,
source Elisabeth 955 m de la faille : 0,21 g de soude."

Quant aux terrains tertiaires, nous citerons l'évolution des eaux des sources de Clermont, où l'on trouve des types de transition en allant de l'Ouest à l'Est, c'est-à-dire en s'éloignant de la faille principale vers le Stampien marneux, de Royat à Chamalières (source St Mart, source des Roches) et aux sources pétrifiantes de Clermont [J. JUNG, 1946, P. 333]. La transition géochimique correspond essentiellement à un caractère plus calcique, magnésien et sulfaté. Cette tendance sulfatée calco-magnésienne liée aux marnes et aux calcaires du Stampien, se retrouve dans toutes les sources du centre de la Limagne : Ste Marguerite (St Maurice-es-Allier).

Les modifications de composition les plus fréquentes dues à la nature des terrains sédimentaires traversés sont :

- passage d'un type bicarbonaté sodique à un type bicarbonaté calcique,
- enrichissement en sulfate de calcium, mais limité par la saturation en SO_4 Ca vite atteinte,
- enrichissement en ClNa .

Nous évoquerons ensuite la relation des eaux avec les terrains volcaniques qu'elles peuvent rencontrer sur leur trajet et dans lesquels elles peuvent s'emmagasiner. En effet, tufs ou scories sont poreux et perméables ; ils constituent des magasins aquifères dont les eaux peuvent ainsi se mélanger avec des eaux thermales profondes. A Volvic, il s'agit entièrement d'eaux météoriques captées dans une nappe sous volcanique. Comme caractère géochimique significatif, nous retiendrons : faible minéralisation : 110 mg/l de minéralisation totale à pH voisin de la neutralité, relativement calcique bien que possédant un T.H. faible (5,2°) et évidemment, température d'eau froide.

Certains de ces caractères, notamment la faible minéralisation, se manifestent dans les eaux où les conditions géologiques indiquent un mélange d'eaux thermales profondes et d'eaux superficielles imprégnant les tufs volcaniques (sources Fenestre à la Bourboule, le Mont-Dore [J. JUNG, 1946, p. 332]). Il suffit de comparer la minéralisation des sources Choussy et Fenestre à la Bourboule et dans une moindre mesure, la source César du Mont-Dore.

Ce phénomène de modification de composition des eaux par dilution, peut se manifester dans d'autres terrains perméables ou poreux.

Comme nous l'avons indiqué plus haut, l'enrichissement en S^{--} dû à la présence de minéraux sulfureux dans les roches est un cas particulier d'influence des terrains traversés sur la composition des eaux.

Nous voyons donc qu'aussi bien pour les eaux émergeant dans un milieu sédimentaire que dans un milieu cristallin ou volcanique, nous pouvons rencontrer des types mixtes, dans lesquels le chimisme dépendra à la fois de la composition des terrains encaissants, mais également de l'influence des facteurs profonds. Toutes les eaux bicarbonatées gazeuses, chaudes, sont dans ce cas.

En fait, il existe des types exogènes purs ou presque purs, ceux que l'on peut assimiler aux nappes souterraines banales, mais pas de type endogène pur, car les terrains encaissants même les plus superficiels ont toujours une influence sur la composition chimique des eaux.

Sans vouloir prendre une position trop entière dans le débat entre magmatisme et météorisme, on peut dire qu'il semble se dégager des observations des auteurs et des nôtres, les relations suivantes entre les eaux minérales à caractère endogène marqué et leur environnement :

- dans des régions à géologie caractérisée par la présence de fractures récentes, le voisinage du volcanisme et une minéralisation notable des terrains traversés, des facteurs propres à chaque bassin, permettent à l'eau météorique de s'infiltrer profondément. Dans la partie la plus profonde de son parcours, elle est

portée à haute température et se charge en CO^2 ; au cours de son trajet, elle se minéralise par lessivage des terrains encaissants. La présence d'eau magmatique n'est pas exclue, mais ne semble pas jouer un rôle quantitatif important.

III - ESSAI DE CLASSIFICATION - LES DISTRICTS ET BASSINS HYDROMINERAUX

Dans cette tentative de classification, nous essaierons de transposer ici la notion de province métallogénique, fructueuse en gîtologie.

On sait que cette notion ne réunit pas seulement des gîtes minéraux qui ont des caractères analogues, mais encore des gîtes qui ont une communauté d'origine et qui ont pu évoluer différemment ; ainsi, on réussit à relier des gisements dont la paragenèse, la position géographique et le contexte pétrographique sont différents, mais qui n'en possèdent pas moins une même origine. C'est pourquoi, en plus de la composition chimique, nous tenons compte du cadre géologique.

Les deux grands ensembles que nous distinguons sont :

- les eaux à caractère exogène dominant,
- les eaux à caractère endogène dominant.

III.1. EAUX A CARACTERE EXOGENE DOMINANT

Ici se trouvent réunies des sources minérales dont l'origine météorique est certaine ou très probable. Mais leur seul caractère commun est une température froide voisine de la température moyenne du lieu de leur point d'émergence, car leur minéralisation est directement liée à la nature lithologique des terrains encaissants proches de ce point d'émergence. On distinguera donc :

- les eaux issues de terrains cristallins et volcaniques peu minéralisées ;
- les eaux issues de terrains sédimentaires plus variées et plus minéralisées.

Les facteurs structuraux de leur émergence ne sont pas systématiquement liés aux failles thermales et aux grands ensembles de structures, définis plus haut. Il peut s'agir de structures purement locales, mais d'une certaine importance, car la constance de leur débit laisse supposer une zone d'alimentation assez vaste.

III.1.1. Sources issues de terrains cristallins ou volcaniques peu minéralisées

Elles ont des caractères comparables aux eaux météoriques des nappes d'arène, de filon cristallin ou, selon le cas, de nappes sous-volcaniques.

Elles sont peu minéralisées : leur minéralisation totale est de l'ordre de 200 mg/l, parfois moins. Leur résistivité est élevée 3.000 Ω .cm et plus, et peut atteindre plus de 30.000 Ω .cm. Elles sont bicarbonatées mais ne doivent pas être confondues avec les eaux bicarbonatées à caractère endogène : les bicarbonates sont en faible quantité (de l'ordre de 100 mg/l). Le pH est acide, il est inférieur à 7. Elles sont approximativement équi-calco-sodiques. Les sources suivantes appartiennent à ce groupe, pour le cristallin : La Prugne (Charrier), Charbonnières, Ste Geneviève sur Argence, St Pardoux, Theneuille (La Trollière), etc..., pour le volcanisme : Volvic (Clairvic).

Des types de transition sont fournis par des sources ayant les mêmes caractères chimiques, mais qui ont acquis par un circuit souterrain profond, des températures plus chaudes, ce qui est un caractère endogène ; on citera ainsi Avène, Lacaune (district de la Montagne Noire).

Dans cette rubrique, nous n'avons pas inclus les eaux d'origine mixte provenant d'un mélange probable d'eaux profondes et d'eaux météoriques (le Mont Dore, Fenestre à La Bourboule...) ni même les eaux météoriques profondément infiltrées et minéralisées (Vals-les-Bains...) dans lesquelles le caractère endogène est dominant.

III.1.2. Sources issues de terrains sédimentaires plus minéralisées

La minéralisation totale ainsi que l'éventail des compositions chimiques sont plus variés ; ceci est toujours explicable par la nature lithologique des roches de la zone d'émergence. Ces sources se trouvent le plus souvent dans la couverture sédimentaire de la bordure du Massif Central ou des bassins internes.

Les calcaires et marnes mésozoïques ou tertiaires donnent des eaux bicarbonatées calco-magnésiennes et sulfatées calco-magnésiennes. Avec une minéralisation totale qui peut atteindre 2 - 3 g/l et une résistivité qui peut descendre à 300 Ω . cm (exemple : Montjoux dans le Causse de Millau).

Les terrains triasiques peuvent donner des eaux non seulement sulfatées calciques, mais aussi fortement chlorurées sodiques, dont la minéralisation totale atteint 10 g/l et la résistivité s'abaisse en-dessous de 100 Ω . cm, Santenay, par exemple, qui n'en est pas moins lié structurellement à la grande direction N.E.-S.W. du rift de Blanzay.

Les schistes des Cévennes à minéralisation sulfurée sont responsables du caractère sulfureux de quelques sources citées ci-dessous (Trebas, Cauvalat (Avèze), etc...), mais nous n'en parlerons pas davantage ici que des sources à caractère endogène dominant, modifiées dans leur zone d'émergence par les eaux de la couverture.

III.2. EAUX A CARACTERE ENDOGENE DOMINANT

Si température élevée, teneur élevée en CO_2 libre et en bicarbonates dissous sont des caractères endogènes, tous ces traits de caractère ne coexistent pas nécessairement et ne sont pas exclusifs ; une minéralisation sulfatée sodique ou chlorurée sodique peut être endogène.

III.2.1. La province principale bicarbonatée sodique et les bassins ou districts hydrominéraux

Les eaux bicarbonatées sodiques forment la principale province hydrominérale du Massif Central français.

Les bassins sont situés sur les grandes directions volcano-tectoniques N-S, N.W.-S.E., S.E.-N.W. ou au point d'intersection de deux de ces directions. Le critère température n'est pas suffisant, car il existe un grand nombre de sources endogènes froides (Vals, etc...).

Ces eaux sont fondamentalement bicarbonatées sodiques. Le CO_2 est abondant sous forme de CO_2 libre ou sous forme de bicarbonates dissous ; CO_3H^- constitue l'anion prédominant. La minéralisation totale est supérieure à 1 g/l et elle est très souvent comprise entre 2 et 6 g/l. La résistivité va de 600 à 200 $\Omega\cdot\text{cm}$. Fondamentalement sodique, la composition en cations peut évoluer selon le trajet souterrain des eaux ; au cours de celui-ci, la dissolution de cations métalliques entraîne le passage de l'acide carbonique libre à l'état de bicarbonates. Une composition à forte prédominance sodique est caractéristique des eaux émergeant du socle. Une tendance calco-magnésienne caractérise les eaux émergeant après avoir traversé des terrains sédimentaires de couverture ; exemple classique cité plus haut des eaux de Royat-Chamalières-Clermont, Vichy-St Yorre, bassin de la Nièvre à Pougues. L'évolution de composition chimique peut être le simple fait d'un mélange d'eaux superficielles (le Mont Dore ou Fenestre à La Bourboule).

La présence de sources chloro-bicarbonatées faisant transition avec les eaux chlorurées et constituant un sous-groupe de la province bicarbonatée, sera évoquée plus loin.

- La Limagne et les failles bordières

Cet ensemble est incontestablement le plus important, car il comprend un grand nombre de sources Royat, Châtel-Guyon, Vichy, St Nectaire... et beaucoup d'autres moins connues.

Caractère structural : toutes ces sources sont alimentées par des fractures de direction méridienne approximativement N-S parmi lesquelles nous citerons :

- la faille bordière orientale de la Limagne (Châteldon, Vichy et le bassin de St Yorre),

- les failles du centre de la Limagne (Ste Marguerite, sondage des Martres d'Artières...),
- la faille bordière occidentale de la Limagne de Clermont-Ferrand (Royat, Châtel-Guyon...),
- les fractures N-S du bassin de St Nectaire,
- la direction N-S des filons de la région de Châteauneuf-les-Bains,
- etc...

Les autres directions peuvent éventuellement se conjuguer avec la direction méridienne, comme par exemple :

- la direction N.W.-S.E. de Châteldon,
- la direction N.E.-S.W. de Châtel-Guyon, St Myon, Montpensier, Vichy.

Caractère géochimique : au caractère fondamental géochimique bicarbonaté sodique s'ajoute souvent une tendance chlorobicarbonatée d'origine profonde sans rapport avec des sédiments. Comme nous l'avions dit, les causes d'évolution des compositions des eaux d'un même bassin sont dues soit au mélange d'eaux superficielles, soit à des circulations dans les terrains tertiaires de la Limagne. Tous les caractères de minéralisation ne sont pas encore clairement expliqués : magnésium à Châtel-Guyon, tendances sulfatées des eaux de Châtel-Guyon et de Châteauneuf-les-Bains.

- Le bassin hydrominéral de la Nièvre

Il est situé sur des fractures profondes N-S (faille de Sancerre, faille de Pougues-les-Eaux...) qui décrochent la couverture mésozoïque. Ces fractures affectent le socle en profondeur comme le montrent les récents travaux de géophysique, qui mettent en relief le rôle structural majeur de ces dislocations ; ces dislocations prolongent dans le Bassin de Paris, les structures méridiennes du Nord Massif Central de la Limagne et de la chaîne des Puys.

Les sources de Pougues-les-Eaux, Fourchambault, Decize, St Parizé-le-Chatel, appartiennent à ce bassin.

Les eaux sont froides (12 à 14°C) ; leur minéralisation est directement liée à la nature des terrains sédimentaires de couverture qu'elles rencontrent avant d'arriver à l'émergence : ceux-ci oblitèrent plus ou moins le caractère bicarbonaté sodique fondamental qui devient calcique. Pougues est bicarbonatée plus ou moins calcique selon les terrains calcaires du jurassique moyen traversé. Decize et Parizé-le-Chatel sont sulfatées calciques à cause des marnes à gypse du Trias.

- Les bassins à fracturation N-W

On regroupe ici divers bassins hydrominéraux dans la partie centrale du Massif Central, qui sont liés au système de dislocation N.W-S.E. ou N.N.W.-S.S.E. :

- fracturation de l'Aubrac : Chaudes-Aigues, La Chalnette (Brion), Ste Marie,
- failles du bassin tertiaire de St Flour-le-Malzieu : Coren-les-Eaux, Les Laubies, St Amans,
- faille bordière de la Limagne de Brioude : St Géron, Vezoux, Augnat, émanations de CO_2 du bassin houiller de Brassac,
- faille bordière de l'Emblavès : Beaulieu,
- failles du bassin du Forez : St Romain-le-Puy, Moingt, Sail-sur-Couzon, Sail-les-Bains, Renaison, St Alban, Montrond-les-Bains, St Galmier, etc...
- etc...

Chaque bassin hydrominéral possède ses structures propres. La plupart des sources de ces bassins sont froides ou ne dépassent pas 30°C , à l'exception du bassin de Chaudes-Aigues où la source du Par (80°C) est la plus chaude du Massif Central. Toutes les eaux appartiennent au groupe bicarbonaté sodique ; la proportion de Cl^- reste faible ($\text{Cl}^-/\text{CO}_3\text{H}$ en m.e.q. est inférieure à 0,10). La plupart des émergences se trouvent dans le socle : le caractère sodique reste prédominant, sans apparition de la tendance calcique.

- La fosse volcano-tectonique du Mont-Dore

Le massif volcanique du Mont-Dore est dû à une fosse d'effondrement d'une dizaine de kilomètres de diamètre. Les sources thermales connues y sont peu nombreuses car probablement les eaux thermominérales s'épanchent dans la masse des tufs qui la remplissent. On y connaît cependant les sources du Mont-Dore (émergence due à un culot volcanique) et les sources de La Bourboule dont l'émergence est provoquée par la faille de La Bourboule qui borde la fosse au N.W.

Eaux chaudes lorsqu'elles parviennent rapidement à l'émergence, elles sont chlorobicarbonatées ou même franchement chlorurées (La Bourboule) et se rattachent alors à la province chlorurée décrite ci-dessous.

Sodiques, le mélange avec les eaux superficielles d'infiltration imprégnant les tufs volcaniques a surtout pour effet de diluer la minéralisation totale.

- La fosse volcano-tectonique du Cantal

Quelques sources bicarbonatées peu connues jalonnent les limites de la fosse d'effondrement du massif du Cantal (St Julien-de-Jordanne, la Bastide...).

- Le district hydrominéral de la Montagne Noire

Les émergences sont liées aux fractures N.E. ou E.-N.E. de la direction structurale générale de la Montagne Noire. Ces fractures mettent en contact le

socle et divers terrains de la couverture paléozoïque ou parfois mésozoïque. Sur le versant sud, les Aires et St Julien se trouvent sur la faille des Aires et sa prolongation occidentale. Dans la zone axiale Rieumajou (La Salvetat) et sur le versant nord Lacaune et Avène se trouvent sur des fractures de même direction ; enfin, sur la faille E.-N.E. qui borde au Sud le bassin permien de St Affrique, se situent Camarès, Sylvanès, Andabre (Gissac). Les directions N-S jouent un grand rôle comme faille thermique dans la région de Lamalou. A Lamalou, ces directions sont soulignées par la présence de filons de quartz N 110 et N 14°E.

On peut faire quelques distinctions entre ces sources bicarbonatées dans l'ensemble. Avène et Lacaune sont à peine plus minéralisées que des eaux météoriques de socle, mais ont une température tiède. Lamalou, Camarès et Sylvanès bicarbonatées ont la composition banale des eaux de la province bicarbonatée du Massif Central. La tendance sulfatée calcique manifestée par les eaux de Gissac et des Aires est attribuée aux sédiments permotriassiques des bassins de St Affrique et de Bédarieux.

- Le bassin hydrominéral de Vals-les-Bains et les fractures des Cévennes

Plusieurs directions structurales interviennent dans ces régions :

- les directions E.-N.E. (mylonites anciennes, filons de quartz) et la fracturation tertiaire N.-N.E.,
- la direction N-W (venues volcaniques récentes) et N-N.W. (faille de Villefort).

Cet ensemble de sources bicarbonatées sodiques a une minéralisation totale variable qui peut aller de moins 1 g à 6 g/l. La plupart de ces sources sont des sources froides sauf St Laurent-les-Bains à l'Ouest.

J.P. DESTOMBES distingue le groupe de Vals-les-Bains, le groupe d'Aizac-Asperjoc, le groupe de Neyrac, le groupe de Rocles, les sources de St Laurent-les-Bains. Nous pouvons y inclure les venues de CO² qui sont fréquentes dans le bassin carbonifère des Cévennes ; elles contribuent sans doute à alimenter une partie des dégagements instantanés dont ce bassin possède le triste record mondial.

- Les sources géographiquement isolées

Quelques sources isolées appartiennent géochimiquement à la province bicarbonatée ; elles ne sont pas clairement reliées à une structure ou à un bassin hydrominéral.

Vic-sur-Cère dans le Cantal, possède une teneur en sulfate notable ; éloignée des limites de la fosse volcano-tectonique du Cantal, elle se trouve peut-être sur le prolongement d'une structure N-W de l'Aubrac.

Quézac (Lozère) bicarbonatée sodi-calcique froide, tire sa teneur en Ca du Causse jurassique, mais contenant du CO² libre, elle est trop minéralisée pour être une eau de circulation karstique banale.

Bagnols (Lozère) émerge sur les failles E-W qui limitent le Causse au Nord ; les eaux sont chaudes, chloro-bicarbonatées et légèrement sulfureuses : ceci est à mettre en relation avec les minéralisations sulfurées de la région.

III.2.2. La province chlorurée et le sous-groupe chloro-bicarbonaté de la province bicarbonatée

Dans un certain nombre de sources du Nord Massif Central, le caractère chloruré devient dominant sans être limité à un bassin particulier. La composition de ces sources est caractérisée par un rapport m.e.q. $Cl^{-}/CO_3^{2-}H^{-} > 1$, ce qui correspond généralement à un pourcentage de Cl^{-} parmi les anions de plus de 50 %. Pour les sources dont la minéralisation totale est élevée, la teneur en chlore atteint 1 à 2 g/l. Na^{+} est le cation dominant.

Elles affleurent dans le socle et ne peuvent comme d'autres sources chlorurées, tirer leur minéralisation du Trias.

On constate de plus, que la plupart des eaux chlorurées se trouvent parmi les sources chaudes dont la température est supérieure à 50°C; les eaux chloro-bicarbonatées ont des températures de 30°C et plus. Il s'agit d'une minéralisation chlorurée à caractère endogène dont l'origine reste à expliquer.

A ce type appartiennent :

- Bourbon-Lancy et St Honoré, situées sur les fractures N-S et N.E.-S.W. du bord occidental au Morvan,

- La Bourboule, Châtel-Guyon (Gubler IV),

- Bourbon l'Archambault que nous classons ici, contrairement à l'avis de DELAUNAY ; cette source émerge sur un petit horst et les sédiments du permo-carbonifère qui l'entourent ne sont pas salifères et ne sauraient être la cause de la minéralisation chlorurée de ces eaux qui dépassent 50°C.

S'il est difficile de lier à une seule direction structurale ce type de sources minérales, on remarquera cependant qu'elles restent localisées dans la partie centrale du noyau arverno-vosgien du Massif Central.

A côté de ces sources typiquement chlorurées, existe un groupe de transition chloro-bicarbonaté que nous considérons comme un simple sous-groupe de la province bicarbonatée avec un rapport m.e.q. $Cl^{-}/CO_3^{2-}H^{-}$ compris entre 0,30 et 1,00, soit à peu près de 25 % à 50 % de Cl^{-} dans la composition anionique. Les sources de ce type ont toutes une température tiède de plus de 30°C. On citera Royat (Eugénie), St Nectaire (St Cezaire), Le Mont-Dore (César), etc...

III.2.3. La province sulfatée sodique du N.W.

Les sources de ce type se trouvent au-delà du sillon houiller. On peut prendre le type de cette province à Evaux. Le nombre d'émergence groupées dans ce type est peu important (Evaux, Nêris).

Les émergences sont liées à la direction N.W.-S.E. qui se manifeste fréquemment dans cette partie du Massif Central (filons de quartz, etc...). Pour favoriser l'apparition des eaux, la direction N 140 est combinée avec la direction N 40. Il s'agit de sources chaudes dont la température est souvent supérieure à 50°C. La minéralisation totale est relativement faible, à peine supérieure à 1 g/l. La caractéristique géochimique dominante est sulfatée sodique (avec un peu H²S) : Evaux a une teneur en sulfate inhabituelle dans le Massif Central. Ces sources émergent du socle, cette minéralisation encore inexpliquée ne peut être qu'endogène.

On ne manquera pas de rappeler ici, que les sources de Châteauneuf-les-Bains, relativement proches mais situées de l'autre côté du sillon houiller, manifestent une certaine tendance sulfatée.

III.2.4. La province à cachet sulfuré

Il s'agit d'un ensemble peu important de sources bicarbonatées auxquelles est surajoutée une légère minéralisation sulfureuse manifestée par la présence d'H²S libre. Ce caractère serait lié à la présence de minéralisation sulfurées (pyrite, etc...) dans le contexte géologique : il s'agit donc d'un caractère exogène qui s'ajoute au caractère bicarbonaté endogène.

Ces sources sont toutes situées dans la zone des schistes périphériques: Ste Mélanie, dans les schistes des Cévennes, Cauvalat (Avèze) dans le paléozoïque de la région du Vigan, Trébas dans les schistes de l'Albigeois. On peut y rattacher la chloro-bicarbonatée de Bagnols (Lozère) à cachet sulfureux.

III.2.5. Les sources sui-generis

Enfin, nous regroupons ici les sources qui ne rentrent dans aucune des classifications précédentes car elles sont d'un type tout-à-fait particulier.

Cransac : au S-E d'Aubin (Aveyron) est une source sulfatée artificielle due au lessivage de cendres de houille pyriteuse [JACQUOT et WILLM, p. 194].

Le Puy de la Poix près de Clermont-Ferrand, à l'Est, est une source bitumineuse, chlorurée sodique (analyse in Ph. GLANGEAUD, 1923) ; elle se rapproche des eaux de gisements d'hydrocarbures.

A Ydes (Cantal, JACQUOT et WILLM, p. 163, signalent une source qui aurait une composition inhabituelle : 20 g de minéralisation essentiellement sulfatée et chlorurée sodique.

oOo

C O N C L U S I O N

oOo

Cette revue rapide des principales eaux minérales du Massif Central nous a permis, en replaçant les sources dans leur contexte géologique, de mettre l'accent sur leur importance et l'intérêt de leurs relations avec les événements magmatiques et structuraux.

Comme nous l'avons souligné en commençant, la recherche de la genèse de ces eaux se heurte au fait que leur définition ne recouvre pas un ensemble homogène. Toutefois, on peut essayer de clarifier cette situation en se penchant sur leur histoire, sur leur évolution et sur les modifications qu'elles ont pu subir, un peu comme on le fait avec une roche métamorphique. C'est ainsi qu'une migmatite peut être une roche sédimentaire transformée et mélangée à des éléments magmatiques. Les vieilles querelles entre neptunistes et plutonistes ont été dépassées quand on a pu analyser plus complètement l'histoire complexe des roches anciennes.

On peut considérer qu'une eau "thermo-minérale" est une espèce particulière caractérisée par une certaine minéralisation, la présence de gaz, une température souvent élevée et la faculté d'émerger dans des conditions à priori peu favorables.

Schématiquement, on a donc affaire à cinq "éléments" : eau, gaz, température, minéralisation et charge hydrostatique. Pour simplifier les problèmes de genèse, il est bon de les considérer séparément.

Nous pensons que, pour l'essentiel, l'eau est d'origine météorique et le gaz d'origine profonde, que la chaleur est en relation avec des anomalies du gradient géothermique dont la cause peut varier et que les minéralisations parfois d'origine profonde, sont souvent en relation claire et simple avec les terrains que l'eau a traversés, alors qu'elle était déjà, dans certains cas, chargée de gaz carbonique et portée à une température élevée. Dans le Massif Central, la faculté d'émerger paraît généralement liée à l'existence de grandes fractures dans le socle, atteignant les zones profondes de l'écorce.

Certaines eaux minéralisées froides et non gazeuses, administrativement minérales, sont des eaux de nappe tout-à-fait banales. Ce sont en fait les relations avec le volcanisme, donc avec des foyers magmatiques profonds, qui donnent des caractères très particuliers et originaux à certaines eaux souterraines, mais, même dans ce cas là, il est probable que la proportion d'eau juvénile par rapport à l'eau d'origine météorique ayant circulé dans des zones très profondes reste faible.

Quoiqu'il en soit, le Massif Central, par l'importance, la variété et l'originalité de ses sources, reste un secteur privilégié pour l'étude de phénomènes

.../.

autrefois mystérieux, qui ont retenu de tout temps, l'attention des hommes et qui jouent actuellement un rôle important dans l'économie d'une région.

BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES DE BASE

Cette liste de références est volontairement limitée à quelques ouvrages généraux ou de synthèses. On pourra trouver les références bibliographiques complètes des travaux et analyses cités, dans un document annexe à diffusion restreinte.

Anonyme 1961 - Nomenclature des sources d'eaux minérales françaises - Annales des Mines

AUBIGNAT A. (1968) - Hydrogéologie des sources minérales d'Auvergne - rev. de l'Industrie Minérale, nov., p. 821.

BOINEAU R. et MAISONNEUVE J. (1971) - B.R.G.M. rapport inédit n° 71 SGN 175 MCE

CASTANY G. (1967) - Traité pratique des eaux souterraines (2ème édit.) - Dunod, édit. Paris.

DELAUNAY L. (1899) - Recherche, captage et aménagement des sources thermo-minérales - Baudry édit., Paris.

JACQUOT et WILLM (1894) - Les eaux minérales de la France - Baudry édit. Paris

JUNG J. (1946) - Géologie de l'Auvergne et de ses confins bourbonnais et limousins. Mem. Serv. Carte géol. de France

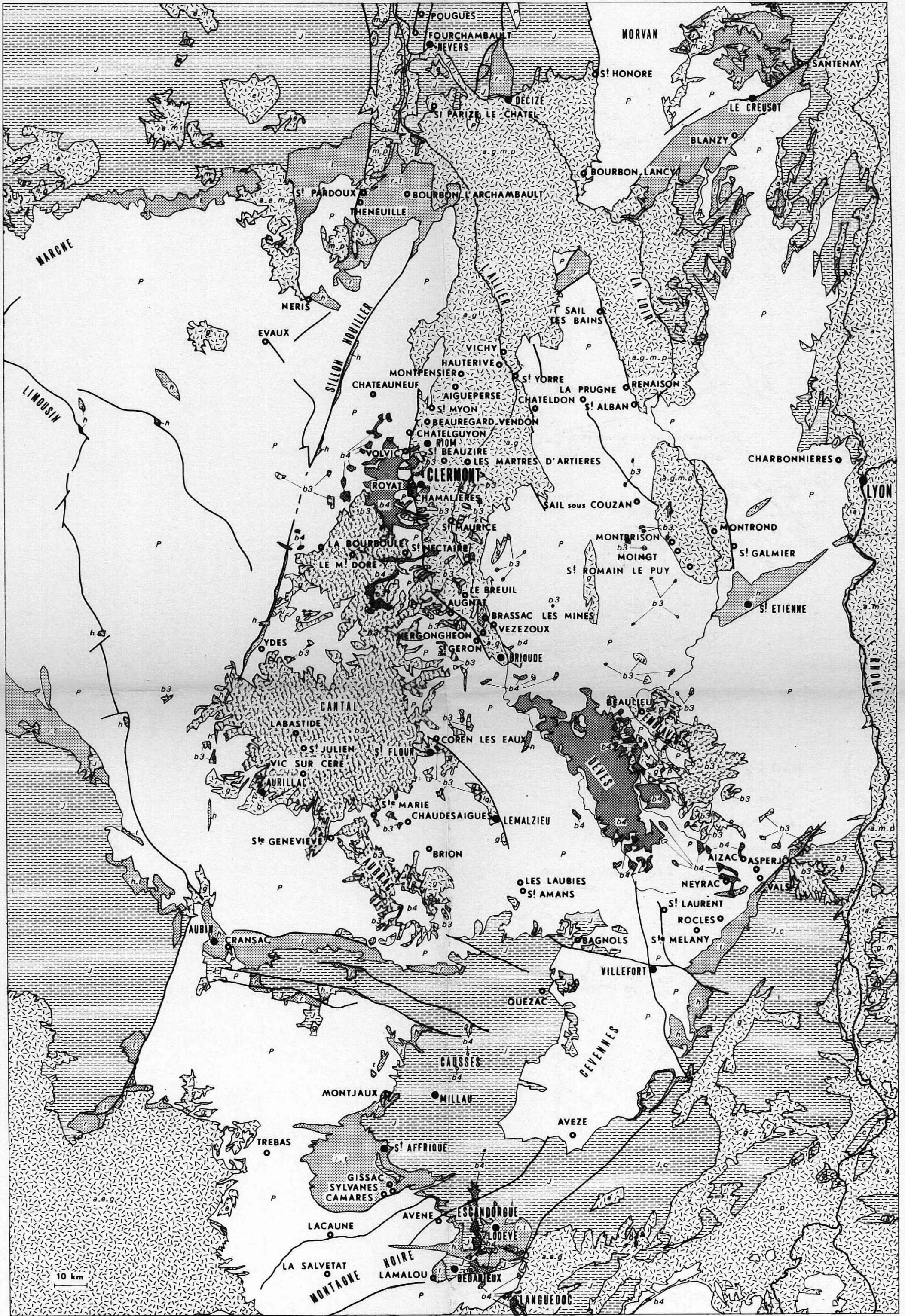
MORET L. (1946) - Les sources thermo-minérales. Masson édit., Paris

MORETTE A. (1964) - Précis d'hydrologie. Masson édit., Paris.

PEPIN D. (1970) - Application de la spectrographie d'émission à l'étude des eaux minérales. Thèse Fac. Méd. et Pharm. Clermont-Ferrand.

SCHOELLER H. (1962) - Les eaux souterraines - Masson et Cie édit., Paris.

De nombreux résultats d'analyses chimiques proviennent des archives de l'Institut d'hydrologie de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Clermont-Fd.



LEGENDE

- | | |
|--|---------------------------------------|
| CRISTALLIN ET PRIMAIRE | TERTIAIRE ET QUATERNAIRE SEDIMENTAIRE |
| STEPHANO-PERMO-TRIAS | VOLCANISME TERTIAIRE |
| JURASSIQUE-CRETACE | VOLCANISME QUATERNAIRE |
| SOURCES ET MANIFESTATIONS HYDROTHERMALES | |
| PRINCIPALES VILLES | |

SOURCES MINERALES ET GEOLOGIE DU MASSIF CENTRAL