



BRGM

DESCRIPTION ET CLASSIFICATION GEOLOGIQUE
DES SOURCES MINERALES ET THERMALES
DU MASSIF CENTRAL
par
J.J. RISLER
SERVICE DES EAUX MINERALES ET THERMALES

74 SGN 418 MCE

11.74

R E S U M E

Les sources minérales et thermales du Massif Central Français sont décrites et regroupées selon les principes de classification proposés par MM. BOINEAU et MAISONNEUVE en 1971.

Une eau thermo-minérale est une espèce particulière caractérisée par cinq éléments : eau, gaz, température, minéralisation et caractère accidentel de l'émergence.

Les caractères acquis en profondeur ("par ascensum") sont qualifiées d'endogènes alors que ceux qui proviennent de la surface ("par descensum") sont qualifiés d'exogènes.

Une eau minérale est très souvent le résultat d'un mélange dans lequel soit le caractère endogène, soit le caractère exogène prédomine.

Les facteurs structuraux jouent un rôle primordial dans la genèse des sources minérales et thermales et servent de base à une classification des sources.

Le Massif Central est caractérisé par une prépondérance des eaux riches en ions bicarbonate et sodium et en anhydride carbonique.

On parle de province bicarbonatée sodique.

S O M M A I R E

| | <u>Pages</u> |
|--|--------------|
| 1 - DEFINITIONS | 1 |
| 2 - PRINCIPES DE CLASSIFICATION | 1 |
| 3 - LES EAUX D'ORIGINE PROFONDE LIEES A DE GRANDS ACCIDENTS DU SOCLE, A CARACTERE ENDOGENE DOMINANT | 2 |
| 3.1 - Les eaux de la province bicarbonatée sodique | 2 |
| 3.1.1 - La Limagne et les failles bordières | 2 |
| 3.1.2 - La fosse volcano-tectonique du Mont-Dore | 6 |
| 3.1.3 - Les sources minérales associées à la direction NS des fractures et des filons de la région de Chateauneuf-les-Bains | 7 |
| 3.1.4 - Les bassins liés aux dislocations NO-SE et N.NO - S.SE | 7 |
| 3.1.4.1 - Les sources des failles bordières de la Limagne de Brioude | 8 |
| 3.1.4.2 - Les sources des failles du bassin du Forez | 8 |
| 3.1.4.3 - Les sources des failles NO-SE de la région d'Ambert | 9 |
| 3.1.4.4 - Les sources associées aux failles du bassin tertiaire de Saint-Flour - Le Malzieu | 9 |
| 3.1.4.5 - Les sources de la fosse volcano-tectonique du Cantal | 10 |
| 3.1.4.6 - La fracturation à dominante NO-SE du massif graniti- que de la Margeride et de l'Aubrac | 10 |
| 3.1.4.7 - La faille de l'Emblavès | 11 |
| 3.1.5 - Le bassin hydrominéral de Vals-les-Bains et les fractures des Cévennes | 11 |
| 3.1.5.1 - Le groupe de Vals-les-Bains | 11 |
| 3.1.5.2 - Le groupe d'Aizac - Asperjoc | 12 |
| 3.1.5.3 - Le groupe de Marcols les Eaux | 12 |
| 3.1.5.4 - Le groupe de St Fortunat | 12 |
| 3.1.5.5 - Le groupe de Prades | 12 |
| 3.1.5.6 - Le groupe de Meyras | 12 |
| 3.1.5.7 - Le groupe de Beaumont | 12 |
| 3.1.5.8 - Saint Laurent les Bains | 12 |
| 3.1.5.9 - Les sources thermales des bordures du Mont Lozère | 13 |
| 3.1.6 - Le district hydrominéral de la Montagne Noire | 13 |
| 3.1.6.1 - Les sources du versant Sud | 13 |
| 3.1.6.2 - Les sources de la zone axiale | 14 |
| 3.1.6.3 - Les sources du versant Nord | 14 |
| 3.1.6.4 - Les sources de la faille de bordure du bassin de Saint-Affrique | 14 |
| 3.1.6.5 - La source de Trébas | 14 |
| 3.1.6.6 - Les eaux thermales et minéralisées du bassin permien de Lodève | 15 |

| | |
|---|----|
| 3.2 - Les eaux du groupe chloruré | 15 |
| 3.2.1 - Bourbon Lancy et Saint honoré les Bains | 15 |
| 3.2.2 - Bourbon l'Archambault | 16 |
| 3.2.3 - Chatelguyon | 16 |
| 3.2.4 - La Bourboule | 17 |
| 3.3 - Les eaux du groupe sulfaté sodique du NO, à caractère endogène dominant | 17 |
| 4 - LES EAUX D'ORIGINE PROFONDE EN RELATION AVEC DES FAILLES DU SOCLE MAIS MODIFIEES PAR LA TRAVERSEE DE TERRAINS SEDIMENTAIRES DE RECOUVREMENT | 18 |
| 4.1 - Le bassin hydrominéral de la Nièvre et du Bourbonnais | 18 |
| 4.1.1 - Les sources bicarbonatées | 19 |
| 4.1.2 - Les sources sulfatées calciques et sodiques | |
| 4.2 - Les sources chlorurées sodiques et lithinées des bordures du Morvan | 19 |
| 4.3 - Les eaux chlorurées de Limagne | 20 |
| 5 - LES EAUX D'ORIGINE SUPERFICIELLE | 21 |
| 5.1 - Sources issues de terrains cristallins ou volcaniques | 21 |
| 5.1.1 - Les sources ferrugineuses froides | 21 |
| 5.2 - Sources issues de terrains sédimentaires | 22 |
| 5.2.1 - Les eaux sulfatées du Rouergue | 22 |
| 5.2.1.1 - Le groupe de Miers-Alvignac | 22 |
| 5.2.1.2 - Le groupe de Saint Antonin Noble Val | 23 |
| 5.2.1.3 - Villefranche de Rouergue | 23 |
| 5.2.1.4 - Montjoux | 23 |
| 5.2.1.5 - Cransac | 23 |
| 5.2.2 - Les eaux sulfatées du Sud de la Montagne Noire | 23 |
| 5.2.3 - Les sources bicarbonatées calciques | 23 |
| 5.2.4 - Les sources "ferrugineuses froides" | |
| 6 - CONCLUSIONS. | 24 |

A N N E X E S

- 1 - Carte de situation à 1/1 000 000
 - 2 - Figure 1 : Teneurs en Ca, Mg et Na
 - 3 - Figure 2 : Teneurs en CO₃H, Cl et SO₄
 - 4 - Figure 3 : Diagramme Ca, Mg et Na
 - 5 - Figure 4 : Diagramme CO₃H, Cl et SO₄
-

1 - DEFINITIONS

Le Massif Central Français, ensemble de reliefs et de plateaux où affleure le socle hercynien, ceinturé par les sédiments des bassins de Paris, d'Aquitaine, du Languedoc, du Rhône et de la Bresse, forme une unité pour le géographe comme pour le géologue.

De nombreuses eaux minérales et thermales du Massif Central ont en commun une minéralisation où prédominent les ions bicarbonate et sodium et sont riches en anhydride carbonique libre et spontané (2).

On parle d'une province bicarbonatée sodique.

Des eaux minérales de faciès différent existent, leurs particularités s'expliquent par le contexte géologique.

Rappelons, qu'en France, une "eau minérale naturelle est une eau qui a été reconnue d'intérêt thérapeutique par l'Académie de Médecine, et autorisée par arrêté du Ministre de la Santé Publique.

Il en résulte que le caractère anormal de la minéralisation d'une source d'eau minérale, par rapport à celle des sources banales d'une région donnée, est très variable.

2 - PRINCIPES DE CLASSIFICATION

Une eau "thermo-minérale" est une espèce particulière (8), 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 caractère accidentel de l'émergence.

Dans l'état actuel des connaissances, il convient d'attribuer une origine météorique à l'eau et une origine profonde aux gaz.

La température est souvent en relation avec des anomalies du gradient géothermique dont la cause peut varier, et 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.

Nous qualifions d'endogène les caractères acquis en profondeur : température élevée, gaz, minéralisation distincte de celle des eaux souterraines et des sources banales d'une région, émergence en charge liée à la présence de fractures.

Nous qualifions d'exogène les caractères acquis en surface : température voisine de la moyenne annuelle du lieu, minéralisation faible, parfois importante, mais toujours explicable par la nature lithologique des roches de la zone d'émergence et comparable à celle des eaux banales de la région.

Une eau minérale est très souvent le résultat d'un mélange dans lequel soit le caractère endogène, soit le caractère exogène prédomine.

Nous distinguerons les eaux à caractère endogène dominant et les eaux à caractère exogène dominant et nous les regrouperons en tenant compte des caractéristiques physico-chimiques et du contexte géologique.

3 - LES EAUX D'ORIGINE PROFONDE LIEES A DE GRANDS ACCIDENTS DU SOCLE, A CARACTERE ----- ENDOGENE DOMINANT -----

3.1 - Les eaux de la province bicarbonatée sodique

Ces eaux ont un caractère endogène dominant. Elles forment la principale province hydrominérale du Massif Central.

Leur répartition géographique montre une relation avec le volcanisme récent.

Cette province est constituée de bassins ou districts situés sur les grandes directions volcano-tectoniques, N-S, N.O - S.E, N.E - S.O, ou au point d'intersection de deux de ces directions.

La teneur en CO₂ libre et en bicarbonate dissous est élevée, la température est souvent forte et la minéralisation totale est supérieure à 1 g/l et souvent comprise entre 2 et 6 g/l.

Une composition à forte prédominance sodique est caractéristique des eaux émergeant du socle et une tendance calco-magnésienne caractérise les eaux émergeant après avoir traversé des terrains sédimentaires de couverture.

Au caractère fondamental géochimique bicarbonaté sodique s'ajoute souvent une tendance chloro-bicarbonatée d'origine profonde sans rapport avec les sédiments. On peut définir ainsi un sous-groupe chloro-bicarbonaté.

3.1.1 - La Limagne et les failles bordières à direction dominante N.S

Les nombreuses sources minérales de ce district sont alimentées par des fractures de direction méridienne. Les autres directions peuvent se conjuguer avec la direction N.S comme la direction N.O - S.E. à Chateldon et la direction N.E - S.O à Chatelguyon, Saint Myon, Montpensier, Vichy.

- Les sources de la faille bordière orientale :

Chateldon, Vichy et le bassin de Saint Yorre :

. Chateldon (Puy-de-Dôme) : deux groupes de sources jaillissent dans la vallée du Vauziron à peu de distance de la faille est de la Limagne, qui fait buter les sédiments tertiaires contre le granite des monts du Forez. Le premier groupe comprend les sources Vécou et Sergentale, dont les eaux froides (10 - 12°) sont bicarbonatées calciques et sodiques et contiennent entre 1 700 et 1 900 mg/l de sels dissous. Leur teneur en CO₂ libre est voisine de 1 500 mg/l et leur débit est inférieur à 1 l/sec.

Le second groupe comprend les deux sources de la Montagne qui ont un faible débit et sont réunies en un seul captage. L'eau est froide, moins minéralisée (1 000 mg/l), mais de faciès identique à celui du premier groupe. Ces sources de la Montagne ont une particularité, elles sont les plus radioactives de France (134 nanocuries de radon par litre d'eau).

. Bassin de Vichy (Allier et Puy-de-Dôme) : les très nombreuses sources minérales du bassin de Vichy émergent toutes des formations marneuses ou marno-sableuses d'âge oligocène de Limagne ; dans ces formations très peu perméables sont disséminées des lentilles de sable ("filons" des exploitants d'eau minérale) pouvant avoir une bonne perméabilité.

Il est couramment admis que l'eau thermo-minérale remonte par des failles du substratum cristallin, puis s'accumule essentiellement dans les lentilles de sable qui communiquent entre elles par des fissures de dissolution à travers les marnes. Des dépôts de travertins forment des amas considérables à Vichy (Célestins).

Le socle cristallin qui affleure dans les premiers reliefs à l'Est d'une ligne Cusset - Saint-Yorre, s'ennoie rapidement en direction du centre du bassin d'effondrement de Limagne et se trouve à plus de 500 m de profondeur à l'Ouest de Vichy, sur la rive gauche de l'Allier.

Les eaux minérales du bassin de Vichy sont toutes de type bicarbonaté sodique, mais on constate des variations de minéralisation totale, de température et de débit suivant la situation et la profondeur du captage.

Les eaux les plus chaudes se rencontrent à Abrest (Dôme = 65,5°C), à Vichy (Grande Grille = 42,5°C) et à Bellerive (Boussange = 41,6°C), avec des minéralisations totales respectives de 4 979,0 mg/l, 5 033,0 mg/l et 5 101,0 mg/l ; elles sont jaillissantes alors que vers les bordures du bassin, les eaux deviennent froides, sont diluées (Cusset, source Régina = 12,5°C et 2 510,0 mg/l ; Saint-Yorre, forage L. Armand = 13,6°C et 4 172,5 mg/l) et ne sont plus jaillissantes du fait de l'ampleur des pompages.

Une particularité des eaux minérales du bassin de Vichy est leur teneur élevée en fluor (Ingénieur L. Armand = 9,0 mg/l).

Le débit varie considérablement d'une source à l'autre, maximum pour la source forée (artificielle) Boussange (200 l/mn) qui atteint une profondeur de 263 m, il n'est plus que de 50 à 100 l/mn, par pompage, pour les sources forées (artificielles) de Saint-Yorre qui atteignent des profondeurs de l'ordre de 100 m.

Les teneurs en CO₂ libre sont élevées dans le bassin ; le rapport gaz/eau en volume est maximum à la source du Dôme (4,6) et à la source Boussange (4,0), il est encore de 2,0 à la source Ingénieur L. Armand, ce qui équivaut à environ 2 000 mg/l.

L'azote est présent (0,5 à 1,5 % en volume) ainsi que l'argon, l'hélium en traces.

221 sources minérales "naturelles" et "artificielles" (Decros, 1963), ont été dénombrées dans le bassin de Vichy ; elles se subdivisent en 3 groupes et les principales sont citées ci-dessous :

./...

. Groupe Nord : Vichy, Cusset

- Six sources, propriété de l'Etat, jaillissent sur la commune de Vichy, elles forment un alignement sur près de deux kilomètres à 200 - 300 m en moyenne à l'Est du lit de l'Allier.

Ce sont du N.O au S.E : Chomel et Grande Grille, les plus chaudes (41,8°C et 42,5°C), Lucas et Parc, Hôpital, puis Célestins (17,3°C).

Cinq autres sources jaillissent plus au Sud : Lardy et Dubois, proches des Célestins, et les sources Larbaud, des Etoiles et Généreuse, situées aux confins de la commune.

- Les sources Mesdames et Régina à Cusset ont des températures et des débits respectifs de 16,2°C et 5 l/mn, et de 12,5°C et 3 l/mn.

. Groupe central : Abrest, Bellerive

Ces sources sont situées au S.O de Vichy sur la rive droite de l'Allier.

- Les sources du Dôme et des Lys, à Abrest, sont les plus chaudes du bassin de Vichy (65,5°C et 60,5°C), leur débit est moyen (27 l/mn et 20 l/mn) et elles présentent le caractère bicarbonaté sodique le plus accentué des eaux du bassin.

- A Bellerive, la source Boussange est très gazeuse et son artésianisme spectaculaire a motivé l'installation en tête de forage d'une colonne de 25 m de hauteur pour élever le niveau d'écoulement de l'eau et limiter le débit à 200 l/mn.

. Groupe Sud : Hauterive, Saint-Yorre, Saint Sylvestre-Pragoulin, Saint-Priest-Bramefant, Mariol

Une prolifération de sources forées ou "artificielles" (170) caractérise ce secteur.

De profondeur variable (20 à 100 m), de petit diamètre (60 à 90 mm), elles ont des débits en général faibles (de 0,3 l/mn pour Gracieuse à 13,9 l/mn pour Active).

Cette situation peu rationnelle, héritée de la "guerre des sources" qui prit fin lors de l'extension, en 1930, du périmètre de protection des sources domaniales de Vichy, est en cours de réorganisation.

A Saint-Yorre, sept forages en gros diamètre (190 mm) profonds d'environ 100 m ont été réalisés de 1971 à 1972 et vont remplacer la plupart des 104 anciens captages situés sur le territoire de la commune.

Les sources de Saint-Yorre sont situées sur la rive droite de l'Allier, alors que celles d'Hauterive, de Saint-Sylvestre-Pragoulin et de Saint-Priest-Bramefant, jaillissent sur la rive gauche.

Un dernier groupe de sources forées se trouve sur la commune de Mariol (Puy-de-Dôme), rive gauche de l'Allier, à la latitude de la source Primera qui est la plus méridionale des sources de la commune de St Priest Bramefant (Allier).

L'ensemble des émergences du bassin de Vichy montre un accroissement de la minéralisation, de la température et du débit, lorsque l'on s'éloigne de la faille de bordure en direction de l'Ouest ; à Saint-Yorre caractère endogène et exogène coexistent alors qu'à Abrest le caractère endogène des sources est maximum.

Ces observations vont dans le sens de l'hypothèse de Macaux (1906) qui expliquait la répartition des sources minérales par la présence d'un accident profond de direction N. NO - S. SE qui passerait à l'aplomb de la source Boussange au Nord et se dirigerait vers la source Primera au Sud.

- Les sources des failles du centre et du Sud de la Limagne :

Joze, Saint Maurice, Sauxillanges :

. Un groupe de sources minérales est en relation avec des failles de direction N.S et N.E - S.O : à Joze la source de l'Ours émerge des sédiments oligocènes et est froide (14°C). A Saint Maurice, les sources de Sainte Marguerite, un peu thermales (16,9°C) ont une minéralisation totale de 1 900 mg/l.

Ces sources bicarbonatées sodiques sont enrichies en Ca et Mg.

Du gaz carbonique se dégage en abondance du secteur de Sainte Marguerite et du gaz sous forte pression (40 atm) a été rencontré par le forage des Martres d'Artières (415 m) ; à Cournon, un sondage d'exploration pétrolière a rencontré un peu de gaz.

A Sauxillanges, la source la Réveille émerge au contact par faille du granite et des sédiments tertiaires.

- Les sources minérales de la faille bordière occidentale et du bassin de Saint Nectaire

Royat, Chamalières, Beauregard-Vendon, Saint Myon, Saint-Nectaire : ces sources appartiennent au sous-groupe chloro-bicarbonaté de la province bicarbonatée.

. Royat - Chamalières (Puy-de-Dôme) : les sources Eugénie et César, puis Saint Mart et Saint Victor, s'échelonnent d'amont en aval dans la vallée de la Tiretaine, au flanc Nord d'une coulée de basalte issue du puy de Gravenoire, et jaillissent à la faveur d'accidents parallèles à la faille principale qui met en contact granite et arkoses oligocènes.

La source Eugénie, proche de la faille principale, est la plus chaude (33,5°C), la plus minéralisée (4 001,1 mg/l) et elle a le plus fort débit (685 l/mn) artésien ; elle est bicarbonatée sodique et chlorurée.

La source César (266 l/mn par pompage) subit une dilution (1 438,4 mg/l) qui se traduit par une température moindre (27,5°C) et par l'acquisition d'un caractère secondaire calco-magnésien marqué.

Les sources Saint Mart et Saint Victor ont un faciès chimique analogue à celui de la source Eugénie.

D'autres sources d'importance secondaire émergent de la couverture sédimentaire à Chamalières et à Clermont-Ferrand.

Les sources pétrifiantes de Saint Alyre ont un faciès bicarbonaté sodique et une minéralisation de 4 454,0 mg/l, mais les émergences carbo-gazeuses du quartier des Salins et celles rencontrées dans les travaux de rénovation du fond de Jaude (chantier Frantel = 2 240,8 mg/l) montrent, comme dans le bassin de Vichy, une évolution par dilution d'un type d'eau bicarbonaté sodique vers un type bicarbonaté calcique et magnésien.

. Beauregard-Vendon - Saint Myon (Puy-de-Dôme) : les sources minérales de ce secteur sont associées à des failles de direction N.E - S.O qui déterminent des horsts cristallins se prolongeant en Limagne à l'Est de la faille bordière selon un axe Chatelguyon - Vichy. Chatelguyon se rattache à ce groupe du point de vue structural, mais appartient au groupe chloruré par son chimisme ; les chlorures l'emportent alors sur les bicarbonates.

- A Beauregard-Vendon (Rouzat), à Saint Myon et dans plusieurs communes voisines des sources minérales carbogazeuses sont associées au même système de horsts orientés N.E - S.O qu'à Chatelguyon.

Ces eaux ont un faciès bicarbonaté sodique, elles montrent un enrichissement relatif en chlorures et en alcalino-terreux à Beauregard-Vendon.

- Des débits importants d'anhydride carbonique ont été trouvés par sondage (source forée Grande Demoiselle) à proximité de ces structures faillées N.E - S.O, à Montpensier près d'Aigueperse où des dégagements de CO₂ sont connus de longue date (Fontaine empoisonnée de Montpensier).

A Saint Beauzire près de Riom, un sondage d'exploration pétrolière a rencontré une eau salée émulsionnée de CO₂.

. Le bassin de Saint-Nectaire (Puy-de-Dôme) : le horst granitique de Saint-Nectaire, encadré à l'Est et à l'Ouest par deux compartiments oligocènes N.S et morcelé par des failles N.S et E.O, est en rapport étroit avec le système de fractures des Limagnes.

Plus de 40 sources chaudes et froides émergent sur plus de deux kilomètres dans la vallée du Fredet, en des points bas du domaine granitique.

Parmi la douzaine de sources captées, les plus importantes sont la source "Docteur Ninard", anciennement "Gros Bouillon", dont le débit naturel varie de 18 à 24 l/mn, qui a une température de 36°C et un résidu sec à 180°C de 5 385,0 mg/ la source Papon dont la température atteint 43°C et la source Giraudon dont la température atteint 34°C.

Ces eaux sont carbogazeuses à dominance bicarbonatée et chlorurée sodique

Le lithium est abondant (11,0 mg/l) et le fer, le magnésium, le fluor et l'arsenic ont été dosés.

Les sources déposent des travertins calcaires, mais aussi de la silice, de l'orpiment, de l'hématite et de la pyrite.

3.1.2 - La fosse volcano-tectonique du Mont-Dore (Puy-de-Dôme)

Un effondrement du socle granitique lié à l'orogénèse alpine a engendré le volcanisme du Mont-Dore puis a été remblayé par les différentes laves et projections volcaniques.

Cette fosse est délimitée par un système triangulaire de failles dont les directions principales sont : N.E - S.O ; N.O - S.E et N.S.

La plupart des sources minérales et thermales de ce secteur se trouvent dans la vallée de la Dordogne entre le Mont-Dore et la Bourboule.

Les eaux du Mont-Dore sont carbogazeuses et de type bicarbonaté sodique avec une tendance chlorurée, alors que les eaux de la Bourboule deviennent franchement chlorurées et se rattachent au groupe des eaux chlorurées à caractère endogène.

. Le Mont-Dore : les sources du Mont-Dore décrites par Ph. Glangeaud, sourdent des fissures d'un filon de trachyphonolite au pied du plateau d'Angle.

Les 9 sources exploitées sont carbogazeuses, bicarbonatées sodiques et chaudes, et leur débit total est de 235 l/mn.

La source des Chanteurs est la plus chaude (44°C), la plus radioactive (0,2 millimicrocuries d'émanation radon par litre), elle a le plus fort débit (120 l/mn) et son extrait sec est de 1 460 mg/l.

Les eaux du Mont Dore sont très riches en silice (189 mg/l) et contiennent de l'arsenic (0,6 mg/l) et du lithium (1,1 mg/l).

Le gaz renferme surtout de l'anhydride carbonique et des traces d'azote, d'oxygène, d'argon et d'hélium.

. Les autres sources du bassin du Mont-Dore : la Bourboule et ses environs la vallée de Chaudefour.

Les eaux de La Bourboule appartiennent au groupe des eaux à faciès chloruré.

Des eaux à faciès mixte, bicarbonaté et chloruré jaillissent dans la vallée de Chaudefour, mais leur débit est faible (20 l/mn)

Le débit total des sources connues du bassin du Mont Dore, incluant la Bourboule et Chaudefour, atteint 685 l/mn.

3.1.3 - Les sources minérales associées à la direction N.S des fractures et des filons de la région de Chateauneuf-les-Bains

Les sources carbogazeuses de Chateauneuf-les-Bains jaillissent au bord de la Sioule en rive gauche, dans un granite à deux micas qui est en contact au N.E avec des tufs rhyolitiques viséens.

Les émergences, alignées selon une fracture N-N.E - S-S.O parallèle à la rivière, sont en rapport avec un système de failles et de filons quaternaires N.S.

Le groupe des Grands Bains comprend la source la plus chaude, celle du Bain Tempéré qui atteint 35°C, débite 34 l/mn et a un résidu sec de 3 080 mg/l, la source des Grands Bains qui débite 13,1 l/mn d'eau à 33°C et la source Lefort qui débite 37,5 l/mn d'eau à 34°C.

Le groupe du Rocher comprend la source du Petit Rocher qui débite 24 l/mn d'eau à 29°C et a un extrait sec de 2 800 mg/l.

Les eaux de ces sources sont de type bicarbonaté sodique franc.

3.1.4 - Les bassins liés aux dislocations N.O - S.E et N-N.O - S-S.E

Les eaux minérales de ces bassins situés dans la partie centrale du Massif Central sont, pour la plupart, de type bicarbonaté sodique, sauf à Saint-Galmier où le caractère calcique l'emporte, avec un rapport Cl/HCO₃, en milliéquivalents inférieur à 0,10 ; elles sont carbogazeuses, à part celle de Sail-les-Bains

Ces eaux, à l'exception de Chaudes-Aigues, sont froides ou ne dépassent pas 30°C ; elles émergent en général du socle.

3.1.4.1 - Les sources des failles bordières de la Limagne de Brioude : Saint Géron, Vezezoux, Augnat, le Breuil sur Couze, Ardes sur Couze, Saint Diéry.

Un second groupe de sources minérales est en relation avec le prolongement des directions méridiennes de Limagne et surtout avec les failles bordières de direction N.O - S.E de la Limagne de Brioude : à Saint Géron et à Vezezoux, en Haute-Loire, des eaux bicarbonatées sodiques froides (11,4°C et 10°C), avec une minéralisation totale de 1 200 mg/l, émergent de terrains cristallophylliens ; dans le Puy-de-Dôme, des eaux bicarbonatées sodiques carbogazeuses se trouvent à Augnat (21,7°C, plus de 2 000 mg/l), au Breuil sur Couze (14°C) et à Saint-Diéry (12,9°C, 1 523,0 mg/l)

3.1.4.2 - Les sources des failles du bassin du Forez

- Les sources de la faille bordière occidentale : Saint Romain le Puy, Moingt-Montbrison, Sail sous Couzan, Sail les Bains, Renaison, Saint Alban (Loire)

Ces diverses sources jalonnent le contact par faille N-NO - S-SE des monts du Forez granitiques et des terrains sédimentaires tertiaires de la plaine de Roanne et du bassin de Montbrison, et se situent sur des cassures transverses dans le granite.

Des pointements basaltiques existent à proximité de plusieurs sources parmi les plus riches en anhydride carbonique, alors qu'à Sail les Bains, l'absence de gaz carbonique coïncide avec un éloignement maximum des manifestations volcaniques récentes. Remarquons qu'à Sail le débit gazeux qui est faible est à azote dominant (97 %).

Parmi les eaux de type bicarbonaté sodique, la plus chaude est celle de la source du Hamel à Sail-les-Bains (28,1°C) qui est aussi la moins minéralisée (382 mg/l).

Des eaux gazeuses et plus minéralisées se trouvent à Saint-Romain-le-Puy (source Fontfort 2 = 13,8°C, 3 442 mg/l) à Moingt, la source Romaine est la plus froide (12°C) et la plus minéralisée (3 642 mg/l), à Montbrison (source Anyge = 10,5°C, 3 141 mg/l), à Sail sous Couzan (source Brault 3 = 12,1°C, 1 952 mg/l) à Saint Alban (source Antonin = 13°C, 1 576 mg/l) et à Renaison (1 541 mg/l) où le calcium atteint une valeur voisine de celle du sodium.

- Les sources de la bordure orientale : Saint Galmier, Montrond, Cordelle (Loire).

. A Saint-Galmier, la source forée Badoit IV a atteint 78,45 m dans un granite calcoalcalin des monts du Lyonnais ; elle se trouve à proximité immédiate du contact avec les sédiments oligocènes du fossé d'effondrement de la plaine du Forez.

L'existence de plusieurs failles N.S dont celle de Saint-Galmier, affectant le granite dans la zone des sources, est admise.

L'eau de la source Badoit IV est froide (16,5°C), est carbogazeuse et a un résidu sec à 160°C de 1 712 mg/l ; elle est de faciès bicarbonaté calcique.

Elle contient aussi du fluor (1,3 mg/l) et du strontium (1,2 mg/l).

. A Montrond, un sondage de recherche de charbon, profond de 502 m a découvert à 475 m dans l'Oligocène, une eau très chargée en gaz carbonique au jaillissement éruptif.

Cette source, appelée le Geyser, est proche d'un pointement basaltique ; elle débite 175 l/mn d'une eau thermale (26°C) bicarbonatée sodique, contenant 4 824 mg/l de sels dissous.

La teneur en CO₂ libre atteindrait 3 180 mg par litre d'eau.

. Sur la commune de Cordelle, près de Saint Priest-la-Roche, la source **Victoire**, froide (11,8°C) est bicarbonatée sodique et calcique.

- Citons encore la source de Salt-en-Donzy, qui est chaude et bicarbonatée sodique.

- Citons enfin, en liaison avec les accidents de la bordure E des monts du Lyonnais, la source carbogazeuse, peu minéralisée, de Reyrieux, sur la rive gauche de la Saône.

3.1.4.3 - Les sources des failles NO - SE de la région d'Ambert : Arlanc, Grandrif, Saint Amant-Roche-Savine, La Becherie (Puy-de-Dôme)

La source Pompadour à Arlanc est froide, carbogazeuse et de type bicarbonaté sodique et calcique.

A Grandrif, une source froide gazeuse, bicarbonatée calcique jaillit de gneiss fracturés.

Les trois sources des environs de Saint Amant Roche Savine sont froides, bicarbonatées sodiques et calciques et contiennent de l'anhydride carbonique libre en abondance.

La source de la Becherie non captée est une des émergences carbogazeuses qui jalonnent la faille occidentale du Forez ou faille de Job.

3.1.4.4 - Les sources associées aux failles du bassin tertiaire de Saint-Flour - Le Malzieu : Coren-les-Eaux, le Terran (Cantal), les Laubies, Saint-Amans (Lozère).

Le bassin d'effondrement de Saint-Flour à remplissage oligocène est limité par des failles NO - SE dans le socle métamorphique ; ces directions tectoniques s'incurvent et deviennent N.NO - S.SE plus au Sud et elles délimitent le graben du Malzieu à remplissage volcanique, dans le granite de la Margeride.

Les sources minérales de ce secteur ont de faibles débits.

La source Font-de-Vie à Coren, de type chloro-bicarbonaté sodique est très minéralisée (7 000 mg/l), sa température est de 9°C et de l'anhydride carbonique se dégage en abondance.

Cette source se rattache au sous-groupe chloro-bicarbonaté de la province bicarbonatée.

3.1.4.5 - Les sources de la fosse volcano-tectonique du Cantal (Cantal)

Quelques petites sources bicarbonatées sodiques et carbogazeuses jalonnent les limites de la fosse d'effondrement du massif du Cantal : Saint Julien de Jordanne la Bastide du Fau, Fouilloux.

3.1.4.6 - La fracturation à dominante NO - SE du massif granitique de la Margeride, et de l'Aubrac : Chaudes-Aigues, Sainte-Marie, Montchanson, Magnac, Teissières-les-Boullies (Cantal), Brion-la-Chaldette (Lozère), Cassuejoul (Aveyron) ; la source de Vic-sur-Cère (Cantal).

Les sources minérales de ce secteur sont toutes carbogazeuses et se trouvent à la périphérie des manifestations volcaniques du Cantal et de l'Aubrac.

La minéralisation de type bicarbonaté sodique est en général inférieure à 1 000 mg/l, les eaux sont froides et les débits faibles à l'exception de Chaudes-Aigues et de Brion-la-Chaldette.

. Chaudes-Aigues : les eaux hyperthermales de cette station détiennent le record de France de température (80,5°C). Deux groupes de sources, distants de 230 m, émergent de micaschistes très cataclasés et silicifiés dans le prolongement vers le Nord de filons de microgranite ; ils semblent être contrôlés par des fractures à remplissage siliceux de direction O.NO - E.SE.

Des sulfures (mispickel) ont été trouvés dans les micaschistes fissurés et les filons siliceux traversés par sondage lors du recaptage de la source du Moulin du Ban.

Le groupe plus important (11 griffons), celui de la source du Par, qui détient le record de température (80,5°C) et a le plus fort débit (254 l/mn), se trouve sur la rive gauche du Rementalou à la cote 764 m ; le groupe amont comporte 4 griffons principaux dont celui du Moulin du Ban qui jaillit sur la rive droite à la cote 760 m, a un débit de 90 l/mn et une température de 74°C.

L'ensemble des sources de Chaudes-Aigues débite environ 500 l/mn d'eau thermale.

La minéralisation est de type bicarbonaté sodique et dépasse un peu le gramme-litre (Par = 1 066,6 mg/l ; Ban = 1 165,6 mg/l).

Un débit de 11 l/mn de gaz a été mesuré à la source forée du Moulin du Ban, il est composé de 79 % de CO₂, de 15 % de N₂ et de 4 % d'O₂.

Les eaux de Chaudes-Aigues sont radioactives (0,250 millimicrocuries d'émanation radon par litre d'eau), ainsi que le gaz (7,200 millimicrocuries par litre de gaz).

. Brion-la-Chaldette : une eau thermale de composition chimique très proche de celle de Chaudes-Aigues, mais un peu moins minéralisée (606,4 mg/l) jaillit à 32,5°C d'un environnement granitique.

. Les autres sources du secteur sont froides, carbogazeuses et leur minéralisation de type bicarbonaté sodique varie de 250 mg/l à Cassuéjoul, à 949 mg/l à Teissières les Boullies, qui est la plus riche en calcium et est radioactive (6,0 millimicrocuries d'émanation radon par litre d'eau). A Magnac, des bulles

de gaz signalent la présence de la source minérale qui est sous les eaux du barrage du Pont de Lanau.

. Vic-sur-Cère : la petite source minérale de Vic-sur-Cère est éloignée des limites de la fosse volcano-tectonique du Cantal mais elle se trouve peut être sur le prolongement d'une structure NO - SE de l'Aubrac.

Bicarbonatée sodique et potassique, elle est riche en chlorures et en sulfates.

3.1.4.7 - La faille de l'Emblavès : Beaulieu (Haute-Loire)

La source Romaine à Beaulieu, captée dans le granite sous les cailloutis du bord de la Loire, a un faible débit (3 l/mn) d'eau froide (11°C) bicarbonatée sodique (2 821 mg/l) et carbogazeuse.

Plus au Sud, la source carbogazeuse de Saint Martin⁴ de Fugères prend naissance sur les bords de la Loire et est liée au croisement d'un filon de barytine NS et de fissures EO.

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

Quelques 200 sources carbogazeuses à débit souvent très faible, émergent dans un contexte granitique à la faveur de la rencontre d'anciennes fractures à mylonites ou d'un filon de quartz de direction E - NE et d'une faille tertiaire "vivante" NO correspondant aux venues volcaniques récentes ou N. NO comme la faille de Villefort.

Cet ensemble de sources bicarbonatées sodiques a une minéralisation totale variable qui peut aller de moins de 1 g à 6 g/l.

La plupart de ces sources sont froides, sauf Saint Laurent les Bains et Bagnols à l'Ouest, qui sont chaudes et Neyrac et Saint Julien du Gua, qui sont tièdes.

J.P. Destombes a montré l'origine profonde commune de toutes les sources du bassin ; le caractère endogène des sources les plus minéralisées s'atténuant pour les moins minéralisées dont les variations de résistivité sont fonction de la pluviométrie.

On distingue un certain nombre de groupes de sources selon leur voisinage géographique et leur association à une structure commune.

3.1.5.1 - Le groupe de Vals-les-Bains (Ardèche)

Les sources de ce groupe au nombre de 77 sont réparties en 6 groupes et sont alignées selon un axe NS, de part et d'autre de la Volane.

Les températures varient entre 9°C (source Dominique) et 16,5°C (source Alexandre).

Les débits sont très variables, ils vont de 0,15 l/mn pour la source Dominique à 30 l/mn pour la source Sultane, et la minéralisation totale se situe entre 338 mg/l (source Sirène) et 5 375 mg/l (source Alexandre) et même 6 079,5 mg/l (source du Parc).

3.1.5.2 - Le groupe d'Aizac-Asperjoc (Ardèche)

Les sources d'Aizac, Asperjoc, Gênestelle, Juvinas, Labégude et Saint-Andéol sont de type bicarbonaté sodique, carbogazeuses, et en tous points comparables à celles de Vals.

3.1.5.3 - Le groupe de Marcols-les-Eaux - Chanéac (Ardèche)

Les sources de ce groupe s'alignent selon des directions de fractures, dont l'axe NO - SE qui est celui de la faille de l'Emblavès sur laquelle se trouve la source de Beaulieu.

Des émergences bicarbonatées sodiques, carbogazeuses ont été captées à : Marcols, Dornas, Arcens, Chanéac et Saint Julien du Gua.

3.1.5.4 - Le groupe de Saint Fortunat (Ardèche)

Les sources de ce groupe sont associées aux accidents NE - SO de la bordure des monts du Vivarais.

Des émergences bicarbonatées sodiques, carbogazeuses ont été captées à : Saint Fortunat, Saint Sauveur de Montagut, Saint Georges les Bains et Celles dont l'eau atteint 25°C (source du Fuits artésien).

Les sources de Desaignes, plus au Nord, sont très gazeuses.

3.1.5.5 - Le bassin de Prades (Ardèche)

Un certain nombre de sources minérales carbogazeuses sont situées au contact du socle cristallin et du bassin houiller de Prades, ce sont les sources de : Saint Cirgues de Prades, du Vernet et de Jaujac.

3.1.5.6 - Le groupe de Meyras (Ardèche)

Les sources minérales regroupées ici sont liées à la présence de fractures souvent NO - SE. Citons les sources de : Meyras - Neyrac - Le Pestrin, Thueyts et Montpezat. A Neyrac, des eaux chaudes (source des Bains = 25°C) voisinent avec des sources froides (source Bienfaisante = 13°C).

3.1.5.7 - Le groupe de Beaumont (Ardèche)

Il comprend les sources minérales carbogazeuses du Gua, de Rocles et de Sanilhac. La source Duc-de-Joyeuse au Gua a une température de 20°C et un débit supérieur aux autres sources qui sont froides.

3.1.5.8 - Saint-Laurent-les-Bains (Ardèche)

Les sources hyperthermales de Saint Laurent les Bains jaillissent d'un filon de fluorine de direction NS . Le débit total est de l'ordre de 250 l/mn, la température atteint 52°C et la composition chimique est voisine de celle de Vals (630 mg/l).

./...

Du gaz se dégage en faible quantité, sa composition ($N_2 = 85 \%$ - $CO_2 = 11$ à 13% $CH_4 = 1,7 \%$ - gaz rares = $1,65 \%$) se rapproche de celle du gaz d'Evau les Bains et de Nérès les Bains.

3.1.5.9 - Les sources minérales des bordures du Mont Lozère : Bagnols-les-Bains et Quezac (Lozère)

. A Bagnols-les-Bains, 4 sources thermales dont la plus chaude atteint $42^\circ C$, émergent des micaschistes à proximité de la faille EO qui limite au Nord le horst à noyau granitique du Mont Lozère ; elles débitent $155 m^3/jour$ ($107 l/mn$). Les eaux sont de type bicarbonaté sulfaté sodique, peu minéralisées ($562 mg/l$ à $110^\circ C$) et non carbogazeuses. La proportion élevée de sulfates rapproche les eaux de Bagnols de celles d'Evau et des eaux du groupe sulfaté.

La présence d'hydrogène sulfuré est manifestement d'origine superficielle et résulterait de l'activité de bactéries sulfato-réductrices.

. A Quézac, une source minérale froide jaillit à proximité d'un grand accident NS affectant la couverture jurassique à la limite du domaine micaschisteux et granitique du Mont Lozère et du bassin sédimentaire des Grands Causses.

Sa minéralisation élevée ($2\ 309 mg/l$) de type bicarbonaté sodique et calcique et la présence d'anhydride carbonique libre lui donnent un caractère endogène marqué ; l'enrichissement en calcium provient quant à lui, du Causse jurassique.

. Une source bicarbonatée est signalée à Lugon dans les micaschistes de la bordure méridionale du granite de Montselgues, à l'Est du Mont Lozère.

. A Saint-Melany, une source minérale qui serait sans rapport avec les précédentes, émerge dans des micaschistes à fracturation E.O et à proximité de filons minéralisés en sulfures. Peu minéralisée ($654 mg/l$) surtout en bicarbonates, elle est sulfureuse.

3.1.6 - Le district hydrominéral de la Montagne Noire

Les émergences sont liées aux fractures NE - SO ou E-NE - O-SO 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. Le faciès de base de ces sources est bicarbonaté sodique (Lamalou), mais une tendance sulfatée calcique (les Aires) est attribuable aux sédiments permotriasiques.

3.1.6.1 - Les sources du versant sud : Lamalou-les-Bains, les Aires, Saint Julien, Taussac, Gabian (Hérault) :

Ces sources se trouvent sur la faille des Aires et ses prolongations :

. Lamalou-les-Bains : les sources hyperthermales de Lamalou sont liées à la convergence locale d'une fracturation hercynienne minéralisée, orientée O.SO - E.NE et d'une fracturation récente orientée NS.

Les griffons du groupe de l'Usclade se trouvent dans des schistes métamorphiques à proximité d'un contact par faille orienté $N 45^\circ E$ et minéralisé en sulfures et barytine, avec le Trias marno-gréseux.

Les sources Usclade et Jaillissante, recaptées par forages ont respectivement des résidus secs à 105°C de 1 705,5 mg/l et de 1 642,3 mg/l, des températures de 52°C et de 51,5°C et des débits de 690 l/mn et de 570 l/mn.

L'eau de Lamalou est carbogazeuse et est de type bicarbonaté sodique et calcique. Des traces d'azote et de gaz rares ont été décelées.

. Les Aires, Taussac et Saint-Julien : les eaux de ces sources sont froides carbogazeuses et de type bicarbonaté sodique et calcique.

. Gabian : les sources carbogazeuses, calciques de Gabian sourdent à proximité de pointements basaltiques. Leurs eaux ont la particularité de véhiculer des matières bitumineuses.

3.1.6.2 - Les sources de la zone axiale : La Salvetat - Rieumajou (Hérault) :

A la Salvetat-Rieumajou, une source froide, carbogazeuse et bicarbonatée calcique et sodique (1230 mg/l) est captée dans le granite.

3.1.6.3 - Les sources du versant Nord : Avène (Hérault) et Lacaune (Tarn) :

Les sources d'Avène et de Lacaune se trouvent sur des fractures E-NE - O-SO et émergent de schistes.

Elles sont tièdes et peu minéralisées. La plus chaude (27°C) et la plus minéralisée (722 mg/l) est la source d'Avène qui est de type bicarbonaté calcique et sodique.

La source de Lacaune est carbogazeuse et tiède (20,6°C), mais sa minéralisation très faible, bicarbonatée calcique et sodique, a un caractère exogène marqué (127 mg/l).

3.1.6.4 - Les sources de la faille de bordure du bassin de Saint-Afrique : Camarès, Sylvanes, Gissac-Andabre (Aveyron) :

Ces sources froides et carbogazeuses ont à Camarès et à Sylvanes, la composition banale des eaux de la province bicarbonatée du Massif Central.

A Camarès, le résidu sec est de 1 745 mg/l et le sodium l'emporte nettement sur le calcium.

A Gissac, la teneur en sulfates élevée est attribuée au permo-Trias.

3.1.6.5 - La source de Trébas (Tarn) †

Cette source froide, carbogazeuse émerge des schistes pyriteux de l'Albigeois. De type bicarbonaté sodique, elle est aussi sulfureuse par suite de la réduction superficielle des sulfates par des bactéries.

./...

3.1.6.6 - Les eaux thermales artésiennes du bassin de Lodève (Hérault)

De l'eau à près de 50°C, carbogazeuse, a été trouvée par sondage dans le bassin permien de Lodève.

3.2 - Les eaux du groupe chloruré, à caractère endogène dominant

Dans un certain nombre de sources du Massif Central, le caractère chloruré devient dominant sans être limité à un bassin particulier. La composition de ces sources est caractérisée par un rapport en mé/1 Cl/HCO₃ supérieur à 1,00, ce qui correspond en général pour le chlore à un pourcentage supérieur à 50 % du total des anions.

Pour les sources dont la minéralisation totale est élevée, la teneur en chlore peut atteindre 1 à 2 g/l et le sodium est alors le cation dominant.

La plupart des eaux chlorurées (rapport Cl/HCO₃ > 1) sont hyperthermales (plus de 50°C) et les eaux chlorobicarbonatées pour lesquelles le rapport en mé/1 Cl/HCO₃ est compris entre 0,50 et 1,00 ont des températures supérieures à 30°C.

Cette thermalité liée au fait que les sources à caractère chloruré regroupées ici jaillissent dans le socle et ne peuvent tirer leur minéralisation du Trias, donne à cette minéralisation un caractère endogène.

A côté des sources typiquement chlorurées, existe un groupe de transition chloro-bicarbonaté qui a été considéré comme un simple sous-groupe de la province bicarbonatée ; on y trouve : Royat, Saint-Nectaire, le Mont-Dore.

Remarquons enfin s'il est difficile de lier à une seule direction structurale ce type de sources minérales, elles sont cependant localisées dans la partie centrale du noyau arverno-vosgien du Massif Central.

3.2.1 - Bourbon-Lancy (Saône et Loire) et Saint Honoré-les-Bains (Nièvre)

Les sources de ces deux stations thermales sont situées sur les fractures NS et NE - SO du bord occidental du Morvan.

. Bourbon-Lancy : les 5 griffons captés sont alignés et situés sur la rupture de pente créée par l'accident majeur de direction NE - SO, qui met en contact les terrains paléozoïques et granitiques du Morvan méridional à l'Est et les terrains tertiaires de la Limagne à l'Ouest.

Un dyke de roche éruptive basique, fracturé, contre lequel s'appuient les cinq sources, limite les Bains à l'Est.

La source principale, le Lymbe, débite 235 m³/j (163 l/mn) d'eau à 56°C de type chloruré sodique (rapport mé/1 Cl/HCO₃ = 4,7) et avec un pourcentage de bicarbonate atteignant 16 % du total des anions. Le résidu sec à 180°C est de 1,736 mg/l et un faible dégagement gazeux est formé surtout d'azote (90 %) d'anhydride carbonique et d'hélium (2,09 %).

. Saint Honoré-les-Bains : les sources sont alignées sur la grande faille de direction NS qui limite à l'Ouest le massif éruptif du Morvan et le met en contact avec les terrains sédimentaires de la zone d'effondrement de la vallée de la Loire. Au point où les sources émergent la faille NS recoupe deux filons de roches cristallines : un filon de rhyolite dirigé N-NE - S-SO et un filon quartzeux NO - SE et les met en contact avec des marnes métamorphisées.

L'eau minérale de type chloruré sodique circule dans des fissures NS des marnes redressées par la faille.

La source La Garenne a le plus fort débit (211 l/mn) et est la plus chaude (29,6°C) ; le rapport en mé/1 Cl/HCO₃ atteint 2,7 et le résidu sec à 180°C est de 508,8 mg/l. Les ions bicarbonate et calcium sont en quantité notable, ainsi que la silice (11,4 %). Un faible dégagement gazeux est formé d'azote pour 90 % ; de l'hydrogène sulfuré a été dosé dans l'eau (0,70 mg/l).

3.2.2 - Bourbon l'Archambault (Allier)

La source dite Thermale de Bourbon l'Archambault émerge sur un petit horst de roches cristallines. L'eau hyperthermale (53°C) est de type chloruré sodique avec un rapport en mé/1 Cl/HCO₃ de 2,0. La teneur élevée en chlorure (1 085,1 mg/l) ne peut pas s'expliquer par la proximité des sédiments permo-carbonifères qui ne sont pas salifères.

Le résidu sec est de 3 186,4 mg/l et du gaz se dégage, formé de 64 % d'azote et de CO₂.

3.2.3 - Chatelguyon (Puy-de-Lôme)

A Chatelguyon, les émergences thermales s'alignent selon une faille orientée N 40° E qui affecte un voussoir de syénodiorite.

Trois groupes de sources ont été distingués :

- le groupe aval caractérisé par les sources chaudes très minéralisées et gazeuses, à fort débit jaillissant, comme Germaine, ex-Gubler V (36°C, 5 850 mg/l, 47 l/mn), Ingénieur Aubignat (35,5°C, 5 752 mg/l, 216 l/mn, trois volume de CO₂ pour un volume d'eau) ;

- le groupe amont comprenant des sources froides, peu minéralisées à faible débit jaillissant et à faible teneur en gaz, très diluées par des eaux superficielles comme Marguerite (18°C, 1 076 mg/l, 6 l/mn) ;

- le groupe moyen aux caractéristiques intermédiaires, aux sources jaillissantes, comme Louise, ex-Gubler IV (33,5°C, 4 820 mg/l, 360 l/mn) et Gubler II (31°C, 5 079 mg/l, 35,30 l/mn).

Les eaux de Chatelguyon, à caractère endogène dominant, ont un faciès chimique particulier ; elles sont carbogazeuses mais plus chlorurées que bicarbonatées et plus calco-magnésiennes que sodiques.

Il est intéressant de noter la présence de barytine dans les fissures des roches à proximité d'émergences thermominérales riches en chlorures.

3.2.4 - La Bourboule (Puy-de-Dôme)

Les sources de la Bourboule et de ses environs sont au nombre de neuf, elles jaillissent à la faveur de la faille de la Bourboule orientée NE - SO qui affecte le socle granitique visible dans le compartiment SE affaissé où il est dénudé par l'érosion des cinérites.

Ces sources correspondent à des forages réalisés sur des émergences naturelles (Choussy, Croizat) ou en d'autres points.

La source Choussy est la plus chaude (56°C) et a le débit le plus élevé (163 l/mn).

L'eau est de type chloruré-sodique, le rapport en mē/l Cl/HCO₃ atteint 1,8 et la minéralisation totale est plus forte qu'au Mont-Dore (5 000 mg/l).

Les eaux les plus minéralisées de la Bourboule contiennent moins de silice que les eaux les plus minéralisées du Mont-Dore (Choussy = 116,9 mg/l), mais plus d'arsenic (7 mg/l) et de lithium (5,5 mg/l) ; elles contiennent du molybdène (0,27 mg/l).

La radioactivité de la source Choussy atteint 17 millimicrocuries d'émanation radon par litre d'eau.

3.3 - Les eaux du groupe sulfaté sodique du NO, à caractère endogène dominant

Les sources de ce type, peu nombreuses, se trouvent à l'Ouest du sillon houiller, il s'agit d'Evau-les-Bains, de Nôris-les-Bains et de Saignes - Ydes.

Les émergences sont liées à la direction NO - SE qui se manifeste fréquemment dans cette partie du Massif Central (filon de quartz), elles sont souvent hyperthermales et émergent du socle.

La minéralisation totale, à caractère sulfaté sodique marqué est de 1 à 1,5 g/l et a un caractère endogène.

Signalons enfin la tendance sulfatée des sources de Chateaufort-les-Bains relativement proches, mais situées à l'Est du sillon houiller.

. Evau-les-Bains (Creuse) : Les sources hyperthermales émergent du granite orienté d'Evau à 100 m au Sud d'un gros filon de quartz orienté N 150 E.

De nombreuses fractures sont visibles dans le front de taille qui surplombe les captages, en particulier la direction N 20 E qui semble présider à l'alignement d'une dizaine de source, de César au Bain de Vapeur.

La source César (forage 2) débite 10 m³/h (166 l/mn) d'eau à 61°C et la source du Rocher (forage 1) débite 12 m³/h (200 l/mn) d'eau à 60°C.

L'eau est de type sulfaté sodique et sa minéralisation totale atteint 1 587,8 mg/l ; les bicarbonates représentent 28 % et les chlorures 15 % du total des anions en mē/l.

Le dégagement gazeux qui est faible, comprend 86,6 % d'azote, du CO₂ et des gaz rares.

. Néris-les-Bains (Allier) : Les sources hyperthermales de Néris-les-Bains émergent du complexe granitique prolongeant vers le Nord le plateau des Combrailles.

De nombreuses fractures et des filons souvent quartzeux et minéralisés ont une direction générale NO - SE.

Un de ces filons correspond à la source César de Néris.

La source César a un débit considérable par pompage (1 120 l/mn) d'eau à 53°C ayant un résidu sec de 1 125,6 mg/l.

La proportion des sulfates est importantes (30 %) mais elle reste inférieure à celle des bicarbonates (50 %).

Le gaz, peu abondant, a été analysé ; il renferme 84,83 % d'azote, 12,52 % d'anhydride carbonique, 1,17 % d'argon, 1,07 % d'hélium, 0,23 % de méthane et 0,10 % d'hydrogène.

. Saignes-Ydes (Cantal) : une source signalée par Jacquot et Willm, aurait une minéralisation très élevée (20 900 mg/l), essentiellement sulfatée et chlorurée sodique, et serait carbogazeuse.

4 - LES EAUX D'ORIGINE PROFONDE EN RELATION AVEC DES FAILLES DU SOCLE MAIS

MODIFIÉES PAR LA TRAVERSEE DE TERRAINS SEDIMENTAIRES DE RECOUVREMENT , CES EAUX

A CARACTERE ENDOGENE ENCORE NET PRENNENT UN CARACTERE EXOGENE VARIABLE

4.1 - Le bassin hydrominéral de la Nièvre et du Bourbonnais associé à des failles NS : Pougues-les-Eaux - Garchizy - Fourchambault - Decize - Saint Parize-le-Chatel (Nièvre) et Theneuille (Allier)

Les source minérales de ce bassin sont en relation avec des fractures profondes NS, telles les failles de Sancoins-Sancerre, de Pougues-les-Eaux.

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 recoupent la couverture mésozoïque et prolongent dans le bassin de Paris, les structures méridiennes du Nord du Massif Central, de la Limagne, de la chaîne des Puys, et du volcanisme de l'Escandorgue tout au sud.

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 Saint-Parize-le-Chatel sont sulfatées calciques à cause des marnes à gypse du Trias.

./...

4.1.1 - Les sources bicarbonatées calciques et carbogazeuses : Pougues-les eaux, Garchizy, Fourchambault (Nièvre) ; Theneuille (Allier)

. Pougues-les-Laux : Les sources carbogazeuses de Pougues sont situées à proximité de la faille bordière orientale de direction N - NE du horst de Pougues.

Les émergences sont captées dans les marnes et calcaires du Bajocien.

La source Alice est la moins froide (14,1°C) et a le plus fort débit ; sa minéralisation de type bicarbonaté calcique est de 1 600 mg/l à 180°C.

. Garchizy et Fourchambault : les sources carbogazeuses de ces deux localités sont situées sur la même faille que celle de Pougues.

Elles sont froides, ont des minéralisations totales voisines et sont de type bicarbonaté calcique.

. Theneuille : les sources carbogazeuses de Saint Pardoux et de la Trollière, à Theneuille, se situent dans des grès et pélites permien à proximité du granite de Cerilly. Elles sont en relation avec un des accidents NS constituant la zone faillée d'importance régionale de Sancoins puis de Sancerre, au Nord.

L'eau de la source Saint Pardoux est peu minéralisée (146 mg/l) de type bicarbonaté calcique, elle est froide (10,5°C) et sa conductivité varie de 0,15 à 0,30 mhos, ce qui indique des mélanges avec des eaux superficielles.

Elle contient un peu de lithium (0,058 mg/l).

4.1.2 - Les sources sulfatées calciques et sodiques : Saint Parize-le-Chatel et Decize (Nièvre)

. Saint Parize le Chatel : les 3 sources de Saint-Parize-le-Chatel jaillissent à proximité d'une faille NS qui met en contact les marnes irisées du keuper à l'O et le calcaire du Ludien à l'E.

Les eaux minérales de ces sources sont froides (10 à 11°C), très carbogazeuses, et leur résidu sec atteint 2 246,0 mg/l aux Fontes Bouillants ; les ions sulfate et calcium prédominent, suivis de près par les ions bicarbonate et magnésium.

. Decize : la source Saint-Aré à Decize émerge de terrains triasiques, marneux et gréseux à proximité d'un accident NS ; elle a 5 942 mg/l de résidu sec.

L'eau minérale froide (11,6°C) est très sulfatée mais le sodium l'emporte sur le calcium ; la teneur en chlorure est élevée.

Cette source se rapproche des sources de type chloruré sodique comme celle de Santenay.

4.2 - Les sources chlorurées sodiques et lithinées des bordures du Morvan : Santenay-les-Bains, Magnien (Côte d'Or), Saint Père-sous-Vezelay (Yonne)

Si le mécanisme de circulation des eaux minérales de ces sources peut être expliqué par la tectonique, l'origine de la minéralisation reste à démontrer.

Le lithium et le sodium sont soit empruntés aux éléments du granite sous-jacent soit proviennent du lessivage de masses salifères au sein des terrains triasiques ou jurassiques.

Dans la première hypothèse le caractère endogène prédomine alors que dans la seconde l'eau minérale aurait un caractère essentiellement exogène.

. Santenay-les-Bains : la source Lithium est captée par un forage de 88 m qui atteint un niveau de sable grossier dans les marnes irisées du Keuper.

Il faut noter la proximité de la grande faille NE - SO du rift de Blanzay.

L'eau est à 17°C à l'émergence et son résidu sec atteint 9 198,0 mg/l.

Les ions chlorure et sodium prédominent nettement, l'ion sulfate est abondant et il y a du lithium en quantité appréciable (17,4 mg/l). Un faible dégagement gazeux (347 l/j) est formé surtout d'azote (86 %) et d'hélium (10,31 %). Une radioactivité de 1,49 millimicrocuries par litre d'eau d'émanation radon a été mesurée à la source Carnot.

. Magnien : la source Romaine de Maizières située sur le territoire de Magnien dispense une eau chlorurée sodique, à la température de 16,2°C et ayant un extrait sec de 7 230,0 mg/l. Elle émerge au bord d'un dyke rhyolitique sur la lisière orientale du Morvan. Un peu de gaz se dégage, essentiellement de l'azote (91,7 %) et de l'hélium (5,34 %).

. Saint Père sous Vezelay : Les sources des Fontaines Salées de Saint-Père-sous-Vezelay émergent le long d'un accident transversal EO qui intersecte et décroche une importante zone faillée et broyée NS.

L'eau minérale a un extrait sec variable selon le griffon (9 à 12 000 mg/l) et sa température atteint 15,2°C.

Elle est chlorurée sodique comme à Santenay et se caractérise par une forte radioactivité et l'émission de gaz rares.

4.3 - Les eaux chlorurées sodiques de Limagne : Puy de la Poix (Puy-de-Dôme)

Des suintements d'eau très minéralisée (plus de 70 g/l) de faciès chloruré sodique, accompagnés de dépôts de bitume et de dégagements gazeux riches en méthane et à forte odeur d'hydrogène sulfuré ($CO_2 = 73,8 \%$, $CH_4 = 19,8 \%$) existent au Puy de la Poix, pointement volcanique qui est situé à 5 km à l'E de Clermont-Ferrand, .

Des eaux semblables ont été rencontrées dans un forage d'exploration pétrolière au Puy de Crouelle voisin.

./..

5 - LES EAUX D'ORIGINE SUPERFICIELLE PROVENANT DE CIRCULATIONS A FAIBLE PROFONDEUR

DANS DES FORMATIONS CRISTALLINES OU SEDIMENTAIRES, 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 distingue ainsi :

- 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.

Enfin, ces eaux ont encore en général des particularités chimiques (éléments spécifiques ou concentration) qui les distinguent des eaux banales d'une région donnée.

5.1 - Sources issues de terrains cristallins ou volcaniques peu minéralisés

Elles ont des caractères comparables.

Les sources minérales de ce groupe ont une minéralisation totale qui n'excède pas 500 mg/l et qui parfois même est inférieure à 100 mg/l. Le pH est acide pouvant descendre en dessous de 6.

On rencontre ici de nombreuses sources qui étaient classées parmi les "ferrugineuses froides".

5.1.1 - Les sources "ferrugineuses froides"

. Charbonnières-les-Bains (Rhône): la source Marsonnat, froide (11,9°C) a un extrait sec de 252,8 mg/l ; sa minéralisation est essentiellement bicarbonatée et calcique ; elle est riche en fer (20,9 mg/l) qui précipite à l'émergence.

Une particularité de la source de Charbonnière, est la présence de 40 % d'azote dans son faible dégagement gazeux (1 300 l/j) où prédomine le CO₂.

. La Condamine (Cantal)- Bas-en-Basset (Haute-Loire)
Pelussin (Loire) : sont trois sources froides de type bicarbonaté calcique, les extraits secs des 2 dernières sont respectivement 204 mg/l et 147 mg/l.

. Sainte Geneviève sur Argence (Aveyron) : la source Vivesaygues a été captée dans un faciès à 2 micas et à grain fin des granites de la Margeride.

Son eau est froide (10°C) très faiblement minéralisée (28 mg/l). Les chlorures et le potassium prédominent suivis de près par les bicarbonates et le calcium.

./...

. Volvic (Puy-de-Dôme) - Laprugne (Allier) : ces deux sources se caractérisent par une minéralisation totale très faible.

L'eau de Volvic provient d'une nappe sous-volcanique circulant dans des pouzzolanes, cendres et laves remplissant une ancienne vallée pliocène. Elle a un résidu sec de 107 mg/l (Arverna), renferme surtout des bicarbonates, ainsi que du sodium, du magnésium et du potassium en concentration presque égale.

La silice est relativement abondante (33,8 mg/l) et un oligoélément, le vanadium, y a une teneur anormale (0,015 mg/l).

. Les sources du Charrier sur la commune de Laprugne émergent d'alluvions recouvrant une zone de contact entre des granites et des schistes métamorphiques dans lesquels ont été exploitées des minéralisations en cuivre et en étain. Des fractures satellites de la faille du Forez intéressent cette région.

L'eau de la source Bonne Fontaine est froide (8°C) et a un résidu sec très petit (22 mg/l).

L'anion bicarbonate prédomine ainsi que le cation sodium suivi de près par le calcium.

Elle contient des traces de cuivre (0,01 mg/l) et sa radioactivité est élevée (12,5 millimicrocuries d'émanation radon par litre).

5.2 - Sources issues de terrains sédimentaires, plus minéralisées

La minéralisation totale ainsi que l'éventail des compositions chimiques sont plus variés et sont presque toujours explicable par la nature lithologique de 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.

5.2.1 - Les eaux sulfatées du Rouergue

5.2.1.1 - Le groupe de Miers - Alvernac, Bio, Gramat (Lot)

. Miers-Alvernac : les sources d'Alvernac émergent de formations marno-calcaires du lias. Ces formations ont une structure en horst au sud d'un accident E.O passant par Miers.

La minéralisation sulfatée calcique provient vraisemblablement des terrains liasiques bien qu'une influence du trias, qui affleure plus à l'Est, soit possible.

La source forée Daubert débite 12 l/mn d'une eau à 13°C, dont l'extrait sec atteint 4 730,4 mg/l.

. Bio, Gramat : ces deux sources émergent des mêmes assises du Lias et leurs eaux sulfatées calciques sont comparables à celles de Miers-Alvernac. Bio a une minéralisation totale de 3 490 mg/l et Gramat de 2 584 mg/l. De l'hydrogène sulfuré est signalé à Bio, provenant de l'activité de bactéries sulfatoréductrices.

5.2.1.2 - Le groupe de Saint Antonin Noble Val, Feneyrols (Tarn et Garonne) et Vaour (Tarn) :

. Saint Antonin Noble Val : la source "de Saleth" est captée sous 4 m d'alluvions, rive droite de l'Aveyron dans les calcaires du Charmouthien (Lias), à proximité d'un accident E.O.

L'eau minérale froide (15°C) a un résidu sec à 180°C de 1 864,8 mg/l. Les sulfates et le calcium prédominent.

. Feneyrols : les sources de Feneyrols, sur la même rive que la source Saleth émergent du même contexte géologique et ont des minéralisations semblables.

. Vaour : une source sulfatée calcique est signalée sur le territoire de cette commune, à quelques kilomètres au Sud des précédentes.

5.2.1.3 - Villefranche de Rouergue (Aveyron)

La source Notre Dame émerge des terrains marno-calcaires du Lias, à proximité de la grande faille du Rouergue qui met en contact cristallin et sédimentaire.

La minéralisation totale de l'eau sulfatée calcique atteint 2 111 mg/l.

5.2.1.4 - Montjoux (Aveyron) : la source de Cambon sourd à la base du massif jurassique de Millau à proximité d'affleurements triasiques. L'eau de type sulfaté calcique a un résidu sec de 2 000 mg/l.

5.2.1.5 - Cransac (Aveyron) : les eaux minérales de Cransac résultent du lessivage par les eaux météoriques des terrains houillers riches en pyrite qui sont le siège de combustions.

Ces eaux très riches en sulfates ont des résidus secs variables atteignant 3 000 à 4 000 mg/l.

Les combustions provoquent aussi des dégagements de gaz sulfureux à haute température.

5.2.2 - Les eaux sulfatées du Sud de la Montagne Noire:

. Cruzy et Montmajou (Hérault) : les sources de Cruzy et de Montmajou sont de type sulfaté calcique et magnésien et sont riches en chlorure de sodium.

A Montmajou des pointements de marnes irisées sont visibles à proximité des sources.

5.2.3 - Les sources bicarbonatées calciques

La Roche Posay et Montmorillon (Vienne)

. La Roche Posay : les 7 sources de la Roche Posay émergent de la craie micacée turonienne, appelée craie tuffeau.

Les trois sources anciennes ont un débit naturel global de 5 m³/heure (83 l/mn).

Les sources forées et le puits des Pictaves débitent au minimum 20 m³/heure (333 l/mn)

L'eau minérale de type bicarbonaté calcique a une température de 13°C et un extrait sec qui varie de 407,6 mg/l (Mélusine) à 718,0 mg/l (Saint-Roch).

La présence de sélénium a été constatée à des teneurs de 0,05 à 0,075 mg/l.

. Montmorillon : la source Roc Saint Louis, captée dans des calcaires est bicarbonatée calcique et magnésienne ; son résidu sec atteint 380 mg/l.

5.2.4 - Les sources "ferrugineuses froides"

Un certain nombre de sources froides ont eu une certaine notoriété et ont été classées parmi les sources minérales dites ferrugineuses.

La minéralisation totale est en général faible, inférieure à 1 000 mg/l.

L'abondance du fer qui se traduit par des dépôts à l'émergence distingue ces sources des autres sources banales d'une région donnée.

Nous citerons :

- Saint Christophe en Brionais (Saône et Loire)
- Feurs (Loire)
- Roanne (Loire)
- Alise Sainte Reine (Côte d'Or) : source des dartreux
- Diancey (Côte d'Or)
- Roquecourbe (Tarn)

6 - CONCLUSIONS

Dans le Massif Central la relation entre les émergences thermominérales carbogazeuses et la fracturation profonde du socle est particulièrement nette.

Il est intéressant de constater que la répartition des sources de la province bicarbonatée sodique souligne une discontinuité majeure de la structure profonde du Massif Central.

En effet, les sources bicarbonatées et carbogazeuses se trouvent toutes à l'Est du sillon houiller qui forme la limite occidentale d'une zone à croûte amincie et disloquée.

Cette discontinuité est jalonnée par des alignements NS : volcanisme s'étendant de l'Escandorgue à la chaîne des Puys et fractures se prolongeant au delà de Sancerre dans le Bassin de Paris.

L'origine profonde de l'anhydride carbonique, s'impose dans les régions où il atteint de grands débits.

Les phénomènes magmatiques qui furent à l'origine du volcanisme récent sont sans doute encore une source de CO₂.

Une autre source probable de CO₂ est le métamorphisme des calcaires et leur transformation en silicates.

PRINCIPAUX DOCUMENTS CONSULTÉS

- 1 - L. ARMAND - 1933 : Considérations hydrologiques sur quelques sources minérales du Massif Central.
Rev. Ind. Minérale n° 300
- 2 - L. ARMAND - 1934 : Etude des sources gazeuses et particulièrement des sources obtenues par forage dans le bassin de Vichy
Ann. Inst. Hy. et Cl. T IX - fasc. 2 (n° 32) janvier-juin 1934
- 3 - A. AUBIGNAT - 1949 : Quelques considérations sur les captages des sources minérales des stations d'Auvergne
Ass. Fr. Av Sciences 68e Congrès.
- 4 - A. AUBIGNAT - 1965 : Sur deux résultats de sondages effectués dans la région (Aigueperse)
Rev. Sc. Nat. Auv. vol. 31
- 5 - A. AUBIGNAT - 1968 : Hydrogéologie des sources minérales d'Auvergne
Rev. de l'Ind. Minérale, Nov. 1968
- 6 - L. BLANQUET, L. ARMAND - 1936 : Des eaux bicarbonatées ferrugineuses d'Auvergne, les sources de La Bernadie (Augnat), région d'Ardes-sur-Couze.
Ann. Soc. Hydr. Paris. n° 4
- 7 - L. BLANQUET - 1949 : Les sources minérales d'Auvergne
Ass. Fr. Av Sciences 68e Congrès
- 8 - R. BOINEAU - J. MAISONNEUVE - 1971 : Les sources minérales du Massif-Central Français et leur cadre géologique
Symposium J. Jung - Clermont-Ferrand - 1971
- 9 - E. BUENO ROMERO - 1969 . Le bassin du Mont-Dore : étude hydrogéochimique et isotopique des sources thermominérales - thèse - Paris
- 10 - BUREAU DE DOCUMENTATION MINIERE - 1961 : Nomenclature des sources d'eaux minérales françaises.
Annales des Mines
- 11 - G. CASTANY - 1967 : Traité pratique des eaux souterraines (2ème édition)
Dunod édit. Paris.
- 12 - F. COLIN - 1971 : Etude géologique du volcanisme basaltique de l'Aubrac, quelques données sur les sources minérales de l'Aubrac
Thèse
- 13 - R. CUVELIER - 1969 : Les eaux thermominérales d'Auvergne et du Bourbonnais
A G H T M - n° 11
- 14 - P. DECROS - 1963 : Etude des eaux minérales de la région de Saint-Yorre dans le bassin de Vichy
Wallon imp. Vichy. 1963
- 15 - Ph. GLANGEAUD - 1913 : Caractéristiques des eaux de sources des formations volcaniques de l'Auvergne
C R A S t. 157 - p. 1031
- 16 - B. HENOU - 1973 : Les sources minérales et thermales du Cantal : leur cadre géologique - thèse - Clermont-Ferrand

- 17 - Ch. JACQUET - 1929 : Contribution à l'étude de la radioactivité des eaux minérales et du magnétisme des roches volcaniques du département
Bull. Inst. et Obs. phys. globe Puy-de-Dôme n° 1
- 18 - J. JUNG - 1935 : Les richesses minérales de l'Auvergne
C.R. voyage technique Congrès Int^l Mines et Métallurgie
- 19 - E. JACQUOT - WILLM - 1894 : Les eaux minérales de la France.
Baudry édit. Paris 1894
- 20 - L. de LAUNAY - 1899 : Recherche, captage et aménagement des sources thermo-minérales
Baudry édit. Paris 1899
- 21 - A. LEPAPE - 1924 : Les données numériques actuelles sur la radioactivité des sources thermales françaises
Ann. Inst. Hydr. et chim. T. II n° 1
- 22 - L. MORET - 1946 : Les sources thermo-minérales
Masson édit. Paris
- 23 - A. MORETTE - 1964 : Précis d'hydrologie
Masson édit. Paris
- 24 - NIVET - 1846 : Dictionnaire des eaux minérales du département du Puy-de-Dôme
Veysset - Clermont
- 25 - D. PEPIN - 1970 : Application de la spectrographie d'émission à l'étude des eaux minérales
thèse - Clermont-Ferrand
- 26 - J. PETERLONGO - 1965 : La température des sources dans les départements du Puy-de-Dôme et de la Creuse
Ann. Fac. Sc. Clermont n° 26
- 27 - J. RESTITUITO - 1971 : Le thermalisme dans le Cantal
Thèse Clermont
- 28 - J.J. RISLER - 1974 : Carte des eaux minérales et thermales de la France
B.R.G.M., 1974
- 29 - A. RUDEL - 1974 : Sources merveilleuses d'Auvergne et du Bourbonnais
Imp. Mont Louis et Presse réunies
- 30 - H. SCHOELLER - 1962 : Les eaux souterraines
Masson et Cie édit. Paris
- 31 - A. SOYFER - 1956 : Etude statistique des eaux minérales exploitées en 1955 dans le département du Puy-de-Dôme
Thèse Pharmacie Toulouse
- 32 - R. THUIZAT - 1973 : Les sources thermominérales de Chatelguyon (I)
Etude de la constitution isotopique de l'argon contenu dans les gaz d'accompagnement de certaines sources minérales du Puy-de-Dôme, de l'Allier, du Cantal et de la Creuse(II)
Thèse - Clermont Ferrand
- 33 - P. TRUCHOT - 1878 : Dictionnaire des eaux minérales du département du Puy-de-Dôme
A. Delahaye édit. Paris

CARTE DES SOURCES MINERALES ET THERMALES DU MASSIF CENTRAL

Echelle 1/1000 000

RAPPORT N 74 SGN 418 MCE

Annexe n 1

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES

SERVICE DES EAUX MINERALES ET THERMALES

Service géologique régional MASSIF CENTRAL

22 avenue de Lempdes 63800 Courmoulin d'Auvergne

Tel. (73) 84 80 83

LEGENDE

ION PREDOMINANT

| | |
|----|-------------|
| ○ | Bicarbonate |
| △ | Sulfate |
| □ | Chlorure |
| Na | Sodium |
| Ca | Calcium |

G A Z

| | |
|----|----------------------|
| ↑C | Anhydride carbonique |
| ↑S | Acide sulfhydrique |

MINERALISATION TOTALE

| | |
|---|---------------|
| ○ | < 0,5 g/l |
| ● | 0,5 à 1,0 g/l |
| ● | 1,0 à 2,0 g/l |
| ● | > 2,0 g/l |

SITUATION ADMINISTRATIVE

| | | |
|------|-------------|----------------------|
| ▲ Na | VICHY | Source autorisée |
| ● | Clermont Fd | Source non autorisée |

IMPORTANCE ECONOMIQUE

| | |
|---|--------------------------------------|
| ■ | Moins de 10.000 curistes en 1972 |
| ■ | Plus de 10.000 curistes en 1972 |
| ■ | Moins de 30 millions de cols en 1972 |
| ■ | Plus de 30 millions de cols en 1972 |



Fig. 1

Teneurs en Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ de quelques sources du Massif Central
(in R. Boineau et J. Maisonneuve - 1971)

| Commune | Source | Ca ⁺⁺ | | Mg ⁺⁺ | | Na ⁺ | | Total des 3 cations en m.e.q. |
|--|-------------------|------------------|------|------------------|------|-----------------|------|-------------------------------------|
| | | m.e.q. | % | m.e.q. | % | m.e.q. | % | |
| Avène | | 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 | Choussy | 2,1 | 2,5 | 0,9 | 1,0 | 79,6 | 96,3 | 82,6 |
| — | Fenestre n° 1 | 0,2 | 2,2 | 0 | 0 | 8,5 | 97,7 | 8,7 |
| Camarès | Prugnes | 10,0 | 30,3 | 4,5 | 13,6 | 18,5 | 56,0 | 33,0 |
| Chamalières | Les Roches | 3,0 | 29,8 | 1,8 | 17,9 | 5,24 | 52,1 | 10,04 |
| Charbonnière | Marsonnat | 2,21 | 58,5 | 0,68 | 18,0 | 0,89 | 23,5 | 3,78 |
| Châteauneuf | Grand Bain | 4,3 | 11,4 | 3,1 | 8,2 | 30,0 | 80,2 | 37,4 |
| Chateldon | Sergentale | 16,3 | 51,9 | 4,2 | 13,3 | 10,9 | 34,7 | 31,4 |
| Châtel-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 |
| Évaux-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 |
| L amalou | 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'Artières | 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 | 59,04 | 87,4 | 67,52 |
| Néris | 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 |
| Saint-Galmier | Badoit | 11,8 | 38,1 | 11,3 | 36,5 | 7,8 | 25,2 | 30,9 |
| Saint-Honoré | La Garenne | 1,60 | 20,7 | 0,20 | 2,5 | 5,90 | 76,6 | 7,70 |
| Saint-Maurice | Sainte-Marguerite | 9,6 | 27,5 | 8,9 | 25,5 | 16,4 | 48,9 | 34,9 |
| Saint-Nectaire | Saint-Cézaire | 10,1 | 9,7 | 8,9 | 8,5 | 84,8 | 81,6 | 103,8 |
| Saint-Pardoux | | 0,84 | 41,4 | 0,52 | 25,6 | 0,67 | 33,0 | 2,03 |
| Saint-Parizé-le-Chatel | Fonts Bouillants | 25,60 | 66,5 | 12,10 | 31,4 | 0,80 | 2,1 | 38,50 |
| Saint-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 | 3,4 | 88,8 | 89,2 | 99,5 |
| — | Saint Jecin | 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 |
| — | Grande Grille | 5,2 | 3,8 | 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 |
| 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 |

Fig. 2

Teneurs en CO₃H₋, Cl₋ et SO₄⁻⁻⁻ de quelques sources du Massif Central
(in R. Boineau et J. Maisonneuve - 1971)

| Commune | Source | CO ₃ H ₋ | | | Cl ₋ | | | SO ₄ ⁻⁻⁻ | | | m.e.q. Cl ₋ /CO ₃ H ₋ x 100 | |
|--|-------------------|--------------------------------|--------|--------|---|---------|--------|------------------------------------|--------|--------|--|---|
| | | total m.e.q. anion | mg/l | m.e.q. | m.e.q. CO ₃ H ₋ /tot. | mg/l | m.e.q. | m.e.q. Cl ₋ /tot. | mg/l | m.e.q. | | m.e.q. SO ₄ ⁻⁻⁻ /tot. |
| Avène | | 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 Lymbe | 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 | Choussy | 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 |
| Camarès | Prugnes | 33,50 | 1958,0 | 32,0 | 95,5 | 37,0 | 1,0 | 2,9 | 24,3 | 0,50 | 1,4 | 3,1 |
| Chamalières | Les Roches | 10,65 | 549 | 9,01 | 84,6 | 43,31 | 1,22 | 11,4 | 18 | 0,38 | 3,5 | 13,5 |
| Charbonnières | Marsonnat | 4,17 | 204,9 | 3,36 | 80,6 | 24,4 | 0,69 | 16,5 | 5,9 | 0,12 | 2,9 | 0,2 |
| Châteauneuf | 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 |
| Châtel-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 | — |
| Évaux-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'Artières | 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 |
| Néris | 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 |
| Saint-Galmier | Badoit | 30,3 | 1659,0 | 27,2 | 89,7 | 71,0 | 2,0 | 6,6 | 54,9 | 1,1 | 3,6 | 7,3 |
| Saint-Honoré | La Garenne | 8,2 | 137,0 | 2,2 | 26,8 | 199,0 | 5,6 | 68,3 | 20,0 | 0,4 | 4,8 | 254,5 |
| Saint-Maurice | Sainte-Marguerite | 33,8 | 1360,0 | 22,2 | 65,6 | 257,5 | 7,2 | 21,3 | 211,2 | 4,4 | 13,0 | 32,4 |
| Saint-Nectaire | Saint-Cézaire | 106,3 | 3464,8 | 56,8 | 53,4 | 1675,3 | 47,1 | 44,3 | 116,5 | 2,4 | 2,2 | 82,9 |
| Saint-Pardoux | | 2,35 | 102,5 | 1,68 | 71,5 | 10,30 | 0,29 | 12,3 | 18,2 | 0,38 | 16,20 | 0,2 |
| Saint-Parizé-le-Chatel | Fts Bouillants | 38,60 | 1207,0 | 19,70 | 51,0 | 21,0 | 0,50 | 1,3 | 884,0 | 18,40 | 47,70 | 0,0 |
| Saint-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 | Saint-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 | 137,0 | 2,8 | 4,8 | 13,7 |
| — | Grande Grille | 91,0 | 4720,0 | 77,3 | 84,9 | 348,0 | 9,8 | 10,7 | 189,7 | 3,9 | 4,2 | 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 |
| Moyenne de 5 sources de terrains cristallins | | 0,50 | 20,8 | 0,34 | 68,0 | 3,7 | 0,10 | 20,0 | 3,0 | 0,06 | 12,0 | 29,4 |
| Moyenne de 4 sources de terrains volcaniques | | 1,15 | 53,4 | 0,87 | 75,6 | 6,7 | 0,14 | 12,1 | 5,0 | 0,14 | 12,1 | 16,0 |

Fig. 3

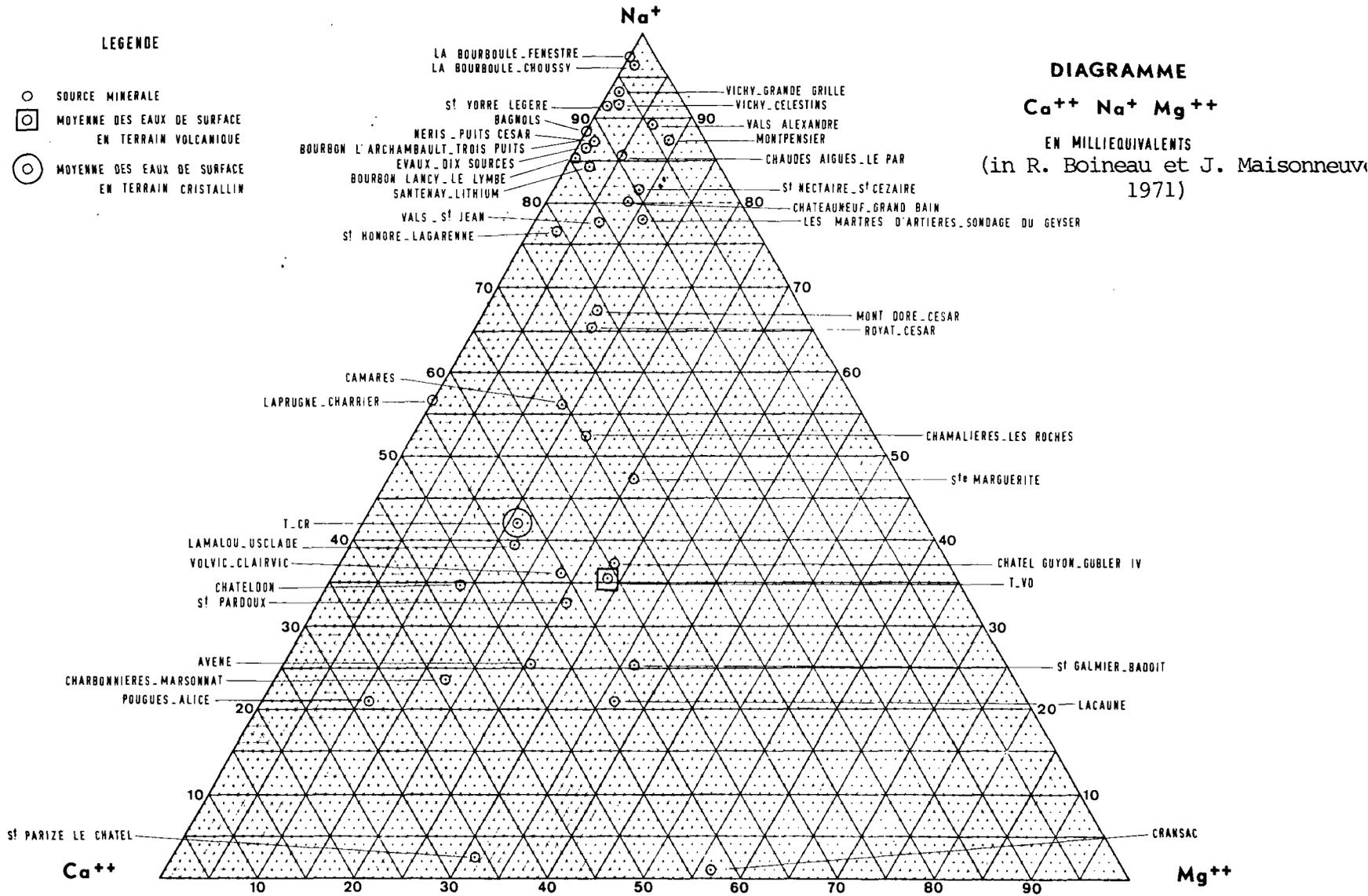


Fig. 4

