

Origine et nature des eaux minérales naturelles d'Ardèche

GEORGES
NAUD

Georges NAUD, hydrogéologue agréé pour le département de l'Ardèche.

Avec l'Allier et les Pyrénées orientales, l'Ardèche est l'un des départements français le plus riche en sources d'eaux minérales. En effet, depuis 1961, diverses publications (Uzan, 1962 ; Adam, 1979 ; Jeantin, 1979 ; Barat, 1989) indiquent la présence de plus d'une centaine de sources et forages dont les plus nombreux à Vals-les-Bains. L'inventaire de Barat donne 173 points d'eau répartis sur 42 communes dont 45 à Vals. Aujourd'hui l'inventaire serait différent car depuis il y a eu la réalisation de nouveaux forages comme à Neyrac, Vals ou Arcens et de nombreux forages anciens ont été rebouchés pour contribuer à la sauvegarde de la qualité de la ressource, notamment sur le site de Vals. Toutefois les chiffres avancés ne doivent pas faire illusion car si autrefois de nombreuses sources étaient embouteillées ou utilisées comme eaux thermales (Gonzales, 2010), leur faible débit (moins de 10 litres à la minute pour la plupart) ne permet plus, aujourd'hui, de contribuer à l'économie locale. Toutefois, quelques localités font exception comme Vals, Arcens, Prades, Meyras ou Asperjoc pour l'embouteillage ou encore Vals-les-Bains, Saint-Laurent-les-Bains et Meyras (Neyrac-les-Bains) pour le thermalisme. Mais le sujet vaut d'être traité aussi, après avoir défini ce qu'est une eau minérale, je me pencherai sur l'origine et la nature des eaux minérales naturelles du département.

QU'EST-CE QU'UNE EAU MINÉRALE ?

La définition communautaire d'une eau minérale est transposée en droit français par l'article R. 1322-2 du code de la santé publique qui précise : « Une eau minérale naturelle est une eau microbiologiquement saine, répondant aux conditions fixées par l'article R. 1322-3, provenant d'une nappe ou d'un gisement souterrain exploité à partir d'une

ou plusieurs émergences naturelles ou forées constituant la source. Elle témoigne, dans le cadre des fluctuations naturelles connues, d'une stabilité de ses caractéristiques essentielles, notamment de sa composition et de sa température à l'émergence, qui n'est pas affectée par le débit de l'eau prélevée. Elle se distingue des autres eaux destinées à la consommation humaine par sa nature, caractérisée par sa teneur en minéraux [sic], oligoéléments ou autres constituants [et par] sa pureté originelle, l'une et l'autre caractéristiques ayant été conservées intactes en raison de l'origine souterraine de cette eau qui a été tenue à l'abri de tout risque de pollution. Ces caractéristiques doivent avoir été appréciées sur les plans géologique, hydrogéologique, physique, chimique, microbiologique et, si nécessaire, pharmacologique, physiologique et clinique, conformément aux dispositions des articles R. 1322-5 et R. 1322-6 » (Rapport AFSSA, 2008).

RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES SOURCES D'EAU MINÉRALE D'ARDÈCHE

Les 42 communes d'Ardèche qui possèdent une ou plusieurs émergences d'eau minérale (source ou forage), reportées sur une carte d'Ardèche (Barat, 1989), font apparaître, d'une part, la plus forte concentration à Vals-les-Bains à cause des très nombreux forages et, d'autre part, une répartition des autres communes sur 4 secteurs :

- A l'Est, de Creysseilles à La Voulte-sur-Rhône et Saint-Georges-les-Bains ;
- Au Sud-Ouest, sur un axe passant par Rocles, Beaumont, Saint-Mélany et Malarce-sur-la-Thines ;
- A l'Ouest, sur un axe double composé, d'une

part par les vallées du Lignon et de la Borne (de Prades à Saint-Laurent-les-Bains en passant par Jaujac et La Souche) et, d'autre part, par la vallée de l'Ardèche jusqu'à Mayres ;

- Au Nord, sur un axe NS qui se développe jusqu'à Chanéac en passant par Genestelle, Marcols, Dornas et Arcens et un axe SO-NE entre Chanéac et Désaignes.

A noter enfin quelques points isolés en bordure du Rhône comme Tournon mais pas Rochemaure dont les sources, souvent citées, sont de très bonnes eaux de source mais pas minérales.

CONTEXTE GÉOLOGIQUE DES EAUX MINÉRALES D'ARDÈCHE

Si l'on reporte toutes les émergences d'eau minérale sur une carte géologique très simplifiée de l'Ardèche (Figure 1) on constate qu'elles se situent toute au niveau du socle cristallin. C'est donc les caractéristiques de ce socle qu'il nous faut voir en tout premier lieu.

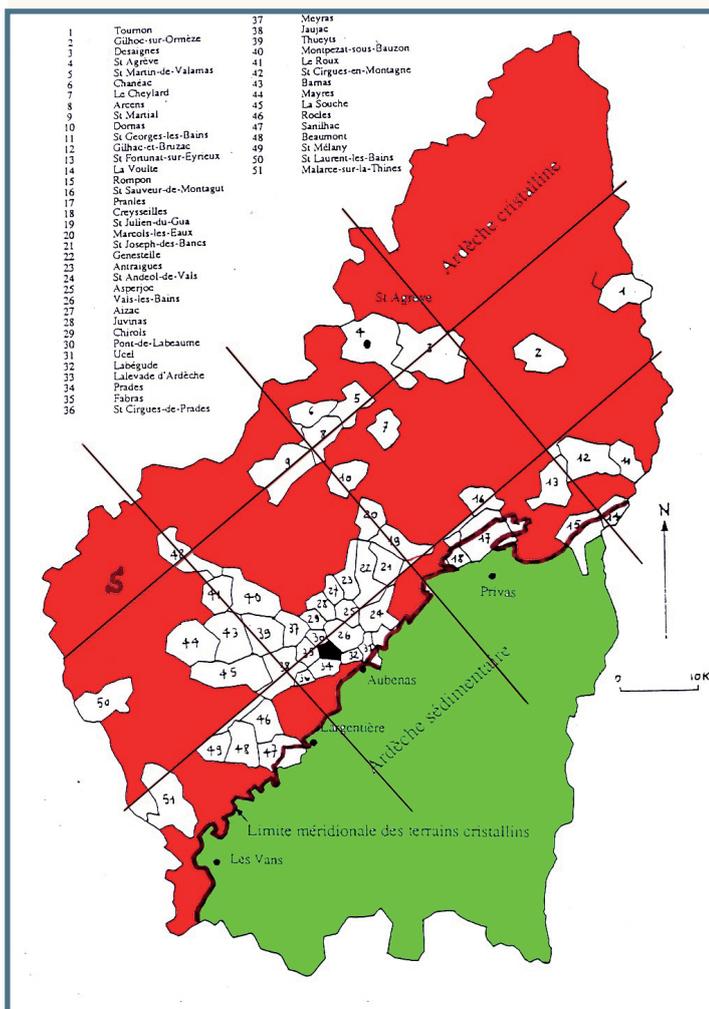


Figure 1 : Répartition des communes d'Ardèche possédant une ou plusieurs sources d'eau minérale sur fond de géologie simplifiée

Composition pétrographique du socle cristallin

Le socle cristallin ardéchois et sa couverture volcanique discontinue et plus récente qui occupe l'Ardèche au nord-ouest d'une ligne joignant Les Vans, au sud-ouest, à La Voulte-sur-Rhône, au nord-est, se compose de formations métamorphiques et granitiques dont l'histoire est complexe dans le détail. Pour simplifier on peut dire que les roches métamorphiques se rencontrent dans de grandes unités structurales superposées affectées, en partie, de phénomènes de fusion et traversées de divers massifs granitiques. Les roches métamorphiques sont principalement des schistes, quartzites, micaschistes et gneiss. Les phénomènes de fusion ont donné naissance à des migmatites (mélange de matériel peu ou pas affecté par la fusion et d'une trame granitique plus ou moins abondante) puis à un vaste massif de granite de fusion crustale (granite d'anatexie dit du Velay) plus ou moins homogène. Plus tardivement, des granites homogènes se mettent en place au sein des massifs de migmatites et du granite d'anatexie. Une telle variété de roches constituant le socle cristallin peut expliquer une certaine diversité de composition des eaux minérales, notamment au niveau des éléments majeurs. C'est cet ensemble qui a été affecté de nombreuses fractures et failles qui jouent un rôle majeur, en Ardèche, dans la présence des nombreuses sources d'eaux minérales.

Fracturation du socle cristallin

Depuis la formation de la chaîne varisque, il y a 310 millions d'années environ, l'Ardèche subit des déformations cassantes pour la plupart. Les plus anciennes, spécifiques au socle cristallin, montrent trois directions principales généralement accompagnées de zones de roches broyées : décrochements SO-NE dans la partie orientale entre l'Eyrieux et le Nord du département et dans le secteur de Vals ; grandes failles E-O dans le centre et le sud du socle notamment à l'Ouest de Vals-les-Bains ; failles N110° présentes un peu partout. A ces trois directions majeures qui rejouent ultérieurement et à diverses époques, s'ajoutent quatre déformations nouvelles particulièrement bien lisibles dans les terrains sédimentaires (Elmi, 1983) : N10 à N30 (cévenole) ; N50 à N70 (varisque) ; N140 à N150 (vellave) et N160 à N180 (régordane).

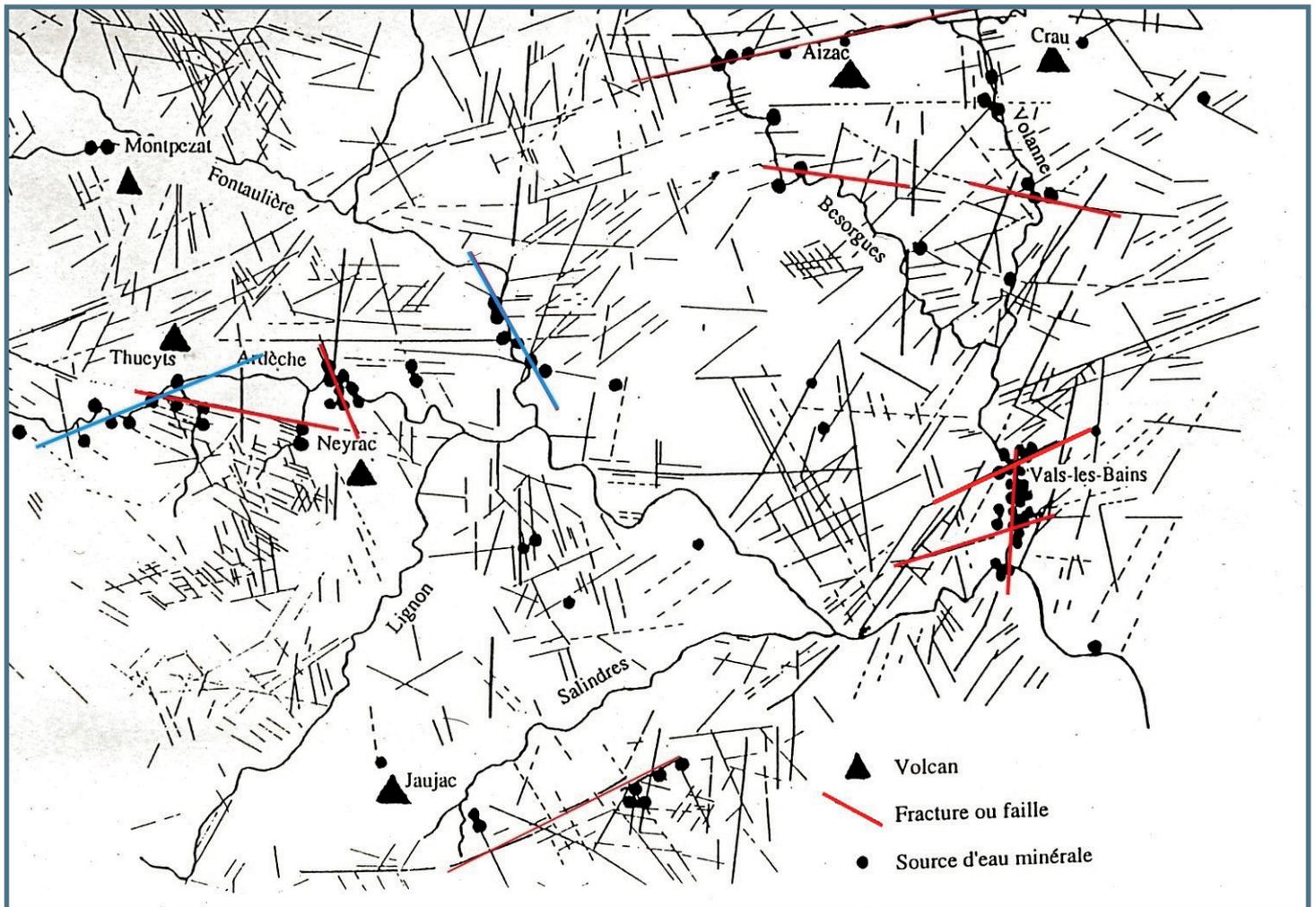


Figure 2 : Photo-interprétation de la fracturation du socle ardéchois d'après Jeantin, 1979

Volcans et fracturation

Si l'on cherche à savoir s'il existe une relation entre la répartition des volcans et la fracturation régionale, on constate que beaucoup d'édifices s'alignent sur des axes grossièrement orientés NO-SE, que ce soit les volcans anciens du Coiron (Naud, 2008), les édifices phonolitiques de la région du Mézenc (Mergoïl et Boivin, 1993) ou les « jeunes » volcans des hauts-bassins de la Loire et de l'Ardèche (Berger, 1973 ; Rochette et al., 1994 ; Berger, 2007). Cette orientation avait également été mise en évidence par une étude photogéologique (Figure 2 ; Jeantin, 1979).

DES PRÉCIPITATIONS AUX ÉMERGENCES

Je reprends ici la définition donnée par l'AFSSA (2008) du circuit souterrain des eaux qui deviendront minérales : « L'infiltration de l'eau qui se fait dans la zone décomprimée des terrains (jusqu'à 200 m de profondeur environ) et sa circulation en profondeur (jusqu'à plusieurs milliers de mètres) dans des terrains parfois peu perméables (granite) résultent du très fort gradient hydraulique qui existe entre la zone

d'alimentation située souvent en altitude et la zone d'émergence qui se trouve généralement dans la vallée ». c'est donc lors de son circuit souterrain qu'une eau voit sa température et sa minéralisation augmenter et qu'elle peut se charger en gaz. C'est ce cheminement et les phénomènes associés que nous allons essayer de suivre pour les eaux minérales d'Ardèche.

Origine superficielle et infiltration des précipitations

Origine superficielle.

Suite aux travaux, notamment de Craigh (1961), Fontes et al. (1963) et de Blavoux (1995) sur le dosage de deux isotopes de la molécule d'eau (de l'oxygène, ^{18}O et de l'hydrogène, H^{2+} ou deutérium) il est possible, dans une région donnée, d'établir une droite d'évolution du rapport $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ en fonction des valeurs du deutérium. Si l'on reporte les valeurs de ces isotopes mesurées pour les eaux minérales de cette région, on constate que les points obtenus se positionnent sur cette droite régionale prouvant ainsi l'origine météorique de l'essentiel de la fraction « eau ». Ainsi, suite aux mesures réalisées par Jeantin (1979) et Barat

(1989), Blavoux (1995) publie un diagramme sur lequel on constate que les eaux minérales de Jaujac, Neyrac, Asperjoc, Dornas et Vals-Camuse se placent bien sur la droite régionale des eaux météoriques (Figure 3).

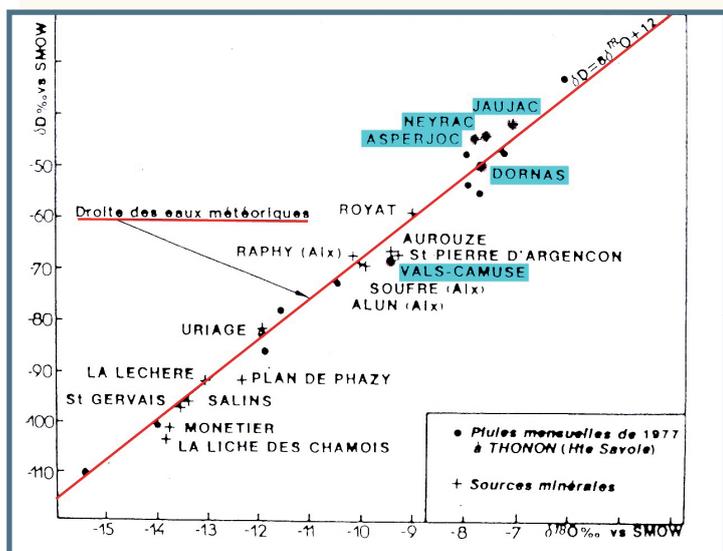


Figure 3 : Teneurs en isotopes stables de quelques sources minérales du Sud-Est de la France (in Blavoux, 1995)

Zone d'infiltration.

Par l'étude de l'isotope ¹⁸O on détermine également (Dansgaard, 1964) l'altitude des infiltrations car il y a une thermodépendance entre les précipitations et la température moyenne du sol. En Ardèche, des études récentes sur plusieurs bassins hydrominéraux (Vals, Saint-Laurent, Arcens) permettent d'avoir une idée sur les zones d'infiltration des eaux de surface. Ainsi pour le bassin de Vals c'est vers 950 m d'altitude, sur les massifs de l'Aubespys, Moureyre et Cournialet, que se produit cette infiltration tout en sachant que, lors de leur remontée, ces eaux pourront être plus ou moins mélangées à des eaux de surface. Pour Saint-Laurent-les-Bains les altitudes trouvées (entre 1390 et 1480 m) sont un peu excessives car il n'existe pas de telles altitudes dans la région. Pour Neyrac, l'altitude d'infiltration serait autour de 400 à 550 m donc sur des hauteurs situées au nord ou au sud (Blanchard et Vigouroux, 2004). La détermination des zones d'infiltration est très importante pour établir une protection de la qualité des eaux captées.

Durée de séjour et datation.

De nos jours, il est possible de dater les eaux qui arrivent à une émergence. On utilise, dans un premier temps, le tritium qui est un isotope de l'hydrogène (H³⁺) apparu dans l'atmosphère, donc dans les précipitations, depuis les premières explosions nucléaires aériennes en

1952. Une eau qui contient du tritium s'est infiltrée après 1952 et inversement. Toutefois, les problèmes de dilution des eaux minérales par des eaux superficielles nécessitent de moduler cette affirmation (Blavoux, 1995). Pour une datation plus précise, il faut utiliser la méthode du carbone 14 (16 900 ans pour Saint-Laurent-les-Bains, le Moyen Age pour Arcens). On peut aussi estimer le temps de séjour dans le réservoir souterrain (10 ans pour les eaux de Vals, au moins 25 ans pour les eaux de Neyrac). Toutefois, ces valeurs d'âge et de durée sont à prendre avec précaution. C'est ce qui est précisé dans les rapports techniques qui les utilisent. Ainsi, pour Saint-Laurent-les-Bains la valeur de l'âge « est à prendre avec beaucoup de précaution et demanderait certainement une analyse plus pointue avec plus de points de mesure et l'interprétation par des spécialistes en les comparant avec des eaux provenant du même type d'aquifère ».

Température et profondeur atteintes

Température.

La température la plus élevée atteinte en profondeur par les eaux superficielles qui se sont infiltrées est obtenue par l'utilisation de géothermomètres (Michard, 1979). Le plus fiable serait celui faisant intervenir les teneurs en sodium et en lithium car ces deux éléments ne sont pas influencés par une dilution lors de la remontée des eaux vers la surface (Note technique n°13, de la Division nationale des eaux minérales et thermales, 1999). Ainsi la température du « réservoir » souterrain serait de 170°C à Vals et entre 100 et 170°C à Saint-Laurent-les-Bains.

Profondeur.

Lorsque l'on connaît la température des eaux en profondeur, pour avoir une indication de la profondeur atteinte par les eaux, il faut connaître le gradient géothermique du lieu étudié. Pour l'Ardèche, zone volcanique « récente », le gradient pourrait être compris entre 5 et 6°C pour 100 m contre 3°C en général. Ces valeurs donnent des profondeurs de l'ordre de 3000 m pour le bassin de Vals pour le niveau de départ de la solution-mère vers la surface mais plus importante pour le réservoir lui-même (autour de 5000 m) et entre 2000 et 3000 m pour Saint-Laurent-les-Bains.

REMONTÉE, VENUES PRINCIPALES ET AIRES D'ÉMERGENCES

Dans son étude de 1989 portant sur 173 points d'eau minérale, Barat précise que 88% des sources apparaissent à la faveur de fissures ou fractures affectant plus ou moins nettement les roches cristallines, 5% sont associées d'une façon directe à un édifice volcanique et 7% ont un griffon masqué soit par des couches sédimentaires (grès du Carbonifère ou du Trias, alluvions fluviales) soit par des coulées basaltiques « récentes ».

Remontée et fracturation.

Quand on regarde la répartition globale des émergences d'eaux minérales on constate qu'elles se situent bien sur une zone de fractures où se croisent plusieurs directions. Le secteur le plus documenté est celui de Vals-les-Bains mais l'étude d'autres sites apportent des informations intéressantes.

Secteur de Vals-les-Bains.

L'étude de Jeantin (1979) montre que les directions qui interviennent sont N20, N140 et N170 (zone de décrochement sénestre de l'accident de Vals) mais d'autres directions sont concernées : NS, NE-SO et N150. Ces fractures très nombreuses (Photo 1) sont aussi rencontrées dans des forages récents. Le croisement le plus significatif est celui de la faille de la Volane (N-S) et de celle du vallon des Sausses (NE-SO) qui donne lieu à de nombreuses émergences, naturelles ou par forages, groupées autour de l'établissement thermal (Rigolette, Reine, Hélène, Constantine, Désirée, Camuse, etc.).



Photo 1 : Fracturation en « baïonnette » dans la vallée de La Volane au nord de Vals

A l'ouest du secteur de Vals.

Le croisement des failles E-O avec d'autres directions donne des points d'émergences comme à Neyrac où les sources principales sont alignées sur une faille NS (faille de Neyrac) alimentée à partir du croisement de la faille E-O de l'Ardèche et d'une faille N150 (Blanchard et Vigouroux, 2004). A Prades c'est au niveau d'une faille E-O particulière (faille du Lignon) et à l'intersection avec des failles NO-SE à N 15° que sourdent les eaux minérales du Vernet. La faille du Lignon est celle qui limite, au sud, le bassin carbonifère de Prades-Jaujac (Photo 2). Il s'agit d'un chevauchement résultant du serrage tardif de la chaîne varisque dans cette région. A noter que, parfois, une faille E-O constitue un écran imperméable. C'est le cas de celle de Saint-Laurent-les-Bains qui croise une faille N-S sur laquelle se trouvent les sources et dans laquelle s'était concentré un dépôt de fluorite, exploité au XX^e siècle.



Photo 2 : Le site du Vernet à Prades

Au nord et à l'est du secteur de Vals.

On retrouve la plupart des directions rencontrées dans les autres secteurs comme N150-N160, N40-50 ou N20 mais c'est souvent la direction N160 qui est productrice d'eau minérale comme à Arcens (forage Rocherine) ou à Marcols-les-Eaux (croisement avec la N40 au forage de la source Salomon). Enfin, à Celles-les-Bains, il s'agit d'un site proche d'une aire géothermique notable (La Voulte) avec remontée des eaux le long de la grande faille NE-SO qui met en contact l'Ardèche cristalline et l'Ardèche sédimentaire (faille des Cévennes).

Remontées et volcans.

Jeantin (1979) a établi une carte de teneur en gaz carbonique et une carte des résistivités des eaux (Figure. 4). Il a pu établir des courbes reliant les mêmes valeurs ce qui fait apparaître, en plusieurs points, une répartition concentrique

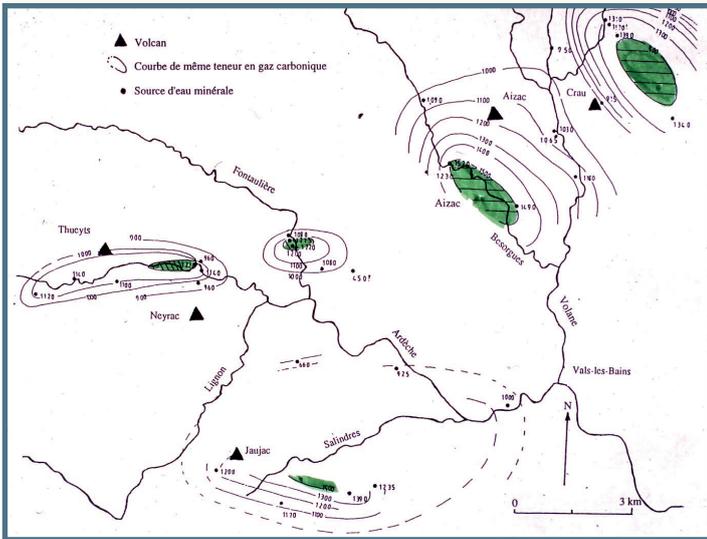


Figure 4 : Carte des teneurs en gaz carbonique des sources d'eau minérale du bassin de l'Ardèche aux environs de Vals-les-Bains d'après Jeantin, 1979

de ces valeurs, centrée sur les plus fortes valeurs. Cette répartition montre que celles-ci sont très proches de jeunes volcans comme Neyrac, Jaujac ou encore Aizac. Il semble alors tentant de dire (comme l'indique Barat, 1989) qu'il existe un lien très fort entre les venues d'eaux minérales en surface et la position de jeunes volcans. En fait, je pense que nous avons à faire à deux opportunistes qui profitent des mêmes zones à fracturation dense pour remonter vers la surface. Ainsi, cette relation « eaux minérales – volcans » ne serait encore qu'une relation « eaux minérales – fracturation ». Sur le terrain, le site d'Arcens illustre très bien cette relation puisqu'une intrusion volcanique, non visible en surface mais rencontrée en forages, favorise, comme les fissures à N160, des circulations d'eaux



Photo 3 : Le maar Doris à Neyrac-les-Bains

minérales vers la surface. Un autre exemple de lien apparent entre source d'eau minérale et édifice volcanique est donné par Neyrac où des études récentes montrent la présence d'un « maar » (cratère d'explosion lié à une activité phréato-magmatique) à l'emplacement de l'espace situé devant les thermes (Photo 3).

Remontées, couches sédimentaires et coulées basaltiques.

Dans ce cas, il semble simple de penser que les terrains sédimentaires peu épais que représentent les couches du Carbonifère du bassin de Prades-Jaujac, du Trias du piémont cévenol, des alluvions des cours d'eau des Cévennes et des Boutières, voire des coulées de basalte du fond de ces mêmes vallées (pour la source du Rocher Noir à Montpezat), masquent le véritable griffon de remontées d'eaux minérales.

Mécanismes de la remontée.

La remontée des eaux minérales se fait soit par « thermo-siphon » le long de grandes fractures ou failles, soit sous l'influence de la charge hydraulique entre la zone d'alimentation et les émergences (artésianisme) soit encore grâce à la présence de gaz. A Vals, c'est la charge hydraulique qui prédomine entre la zone d'infiltration à 950 m d'altitude et le niveau des émergences situées dans la vallée de la Volane autour de 250 m d'altitude. Il en est de même à Neyrac. A Saint-Laurent-les-Bains, le phénomène de thermo-siphon prédomine avec une grosse venue d'eau très chaude à un peu plus de 50°C. Pour les gaz, le mécanisme est le suivant : les gaz contenus dans les eaux abaissent leur poids spécifique tandis que, près de la surface, les gaz dissous passent en phase gazeuse, émulsionnent l'eau ce qui allège la colonne d'eau et provoque son ascension jusqu'à la surface. Localement, une intermittence peut apparaître due à un dégazage brutal en fin de trajet de la colonne d'eau qui est propulsée avec plus ou moins de violence à l'extérieur. Après dégazage, l'eau réintègre le monde souterrain et il faut attendre une nouvelle mise en pression pour voir, à nouveau, l'eau jaillir. Si l'exemple le plus « spectaculaire » de ce phénomène est donné par la fontaine intermittente du Parc de Vals (Photo 4), il faut noter qu'on observe ce phénomène (en moins spectaculaire) en divers autres endroits comme à Neyrac pour



Photo 4 : Source intermittente de Vals-les-Bains

une émergence de la rive gauche de l'Ardèche (source Délicieuse) ou à Celles-les-Bains où la température des eaux (24°C) contribue également à la remontée des eaux minérales. Je dois préciser enfin que ce phénomène n'est pas celui qui contrôle le fonctionnement des geysers où c'est la remontée d'un front thermique qui provoque la mise en ébullition et l'expulsion de l'eau.

Venues principales et zones d'émergence.

Les cartes réalisées par Jeantin (1979) et évoquées précédemment montrent bien que la répartition des sources d'eaux minérales se fait selon des zones particulières. Une telle répartition correspond, en fait, à la dispersion, en de multiples sources, des eaux minérales qui appartenaient, plus en profondeur, à une seule venue majeure. En surface, cette venue donne donc naissance à de multiples sources dont la teneur totale en sels minéraux et en gaz diminue vers la périphérie. Cette diminution peut aller jusqu'à donner une eau qui aura les caractères d'une eau de source « normale » mais qui conservera un profil géochimique (faciès) rappelant celui des eaux minérales voisines.

Parmi les exemples de venue majeure, il y a celle de Vals-les-Bains où l'on a une zone centrale celle où le ravin des Sausses rejoint la Volane (secteur des thermes), à forte minéralisation (conductivité entre 2550 et 8000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et une zone périphérique à minéralisation de plus en plus faible (conductivité entre 1925 et 460 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Au vu des données précédentes, il est possible de schématiser la structure d'une zone d'émergence sous forme d'un « arbre », le tronc étant la venue initiale et les branches et rameaux la dispersion de ce tronc dans les nombreux réseaux de fractures (Figure. 5). Dans la partie superficielle de la zone d'émergence une nappe s'établit dans le milieu fracturé. Ceci est confirmé à Vals ou à Neyrac, où l'exploitation d'un forage a, très souvent, des répercussions sur le comportement des forages voisins, voire éloignés, avec baisse du niveau de l'eau dans les ouvrages.

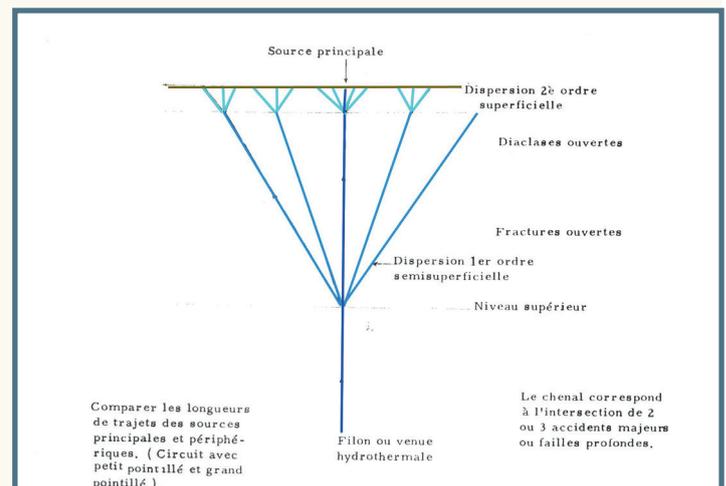


Figure 5 : Schéma de la dispersion d'un tronc hydrothermal lors de sa montée vers la surface

DÉBIT ET TEMPÉRATURE DES EAUX

Débit des sources

Si l'on reprend le schéma d'une zone d'émergence on comprend que si les branches et rameaux sont peu nombreux, le débit de l'émergence située dans le prolongement de la venue initiale sera proche du débit de la venue initiale et inversement. La grande majorité des sources et forages ont un débit inférieur à 10 l/mn. Parmi les sources à plus gros débit on peut citer : entre 216 et 133 l/mn à Neyrac (forages Doris et des Bains), 120 l/mn à Saint-Laurent-les-Bains (source Les Caquets), de 160 à 300 l/mn à Arcens (forages), 60 l/mn à Saint-Georges-les-Bains (source de La Piscine), 35 l/mn à Vals-les-Bains (forage Saint-Jean-Lachaud) et également 35 l/mn à Prades (source du Vernet). Il n'est

pas surprenant de voir que c'est sur les zones d'émergence les plus productrices que se sont développés soit des établissements thermaux (Saint-Laurent-Les-Bains, Neyrac) soit des sites d'embouteillage (Vals, Arcens, Prades, Asperjoc, Le Pestrin), voire les deux (Vals-les-Bains). A noter que des variations du débit des sources sont souvent liées aux variations de la pression atmosphérique qui jouent sur la pression des gaz contenus dans les eaux.

Température des eaux

La plupart des eaux minérales ont, à l'émergence, une température comprise entre 10 et 17°C. Toutefois certaines sortent de la moyenne : 53°C et 50°C à Saint-Laurent-les-Bains (Les Caquets, Lasaigne), 26°C à La Voulte-sur-Rhône où il existe une zone géothermique reconnue par sondages, 24 et 28,5°C à Neyrac-les-Bains (forages des Bains et Doris), 24°C à Saint-Georges-les-Bains (puits de la Piscine), 22,3°C à Celles-les-Bains (puits artésien). A noter que le record de température, en France, est détenu par Chaudes Aygues avec 83°C.

L'origine de la thermalité des eaux est due à la profondeur atteinte par les infiltrations dans un secteur volcanique ou le gradient géothermique est élevé comme vu précédemment. Mais les températures mesurées en surface sont des températures résiduelles car les eaux minérales se refroidissent au fur et à mesure de leur remontée vers la surface. Ce refroidissement est d'autant plus important que le cheminement des eaux est long parce que la venue principale se disperse dans de multiples réseaux de fractures (schéma de la structure d'une zone d'émergence) et que des eaux de surface, froides, viennent se mélanger aux eaux ascendantes notamment en automne et à la fonte des neiges. Dans ce dernier cas, la baisse de température s'accompagne généralement d'une diminution de la minéralisation, de la teneur en gaz carbonique et d'une augmentation de débit.

NATURE DES EAUX MINÉRALES D'ARDÈCHE

Ce sont les analyses des eaux minérales qui permettent, moyennant l'usage de divers diagrammes, de préciser la nature de celles-ci, de les classer et de les comparer entre elles. Ces analyses concernent un certain nombre de

paramètres. Une analyse complète comprend en premier lieu la mesure de très nombreux paramètres physico-chimiques. Lorsque l'eau est destinée à l'alimentation de thermes, à l'embouteillage ou à la distribution en buvettes, la dimension microbiologique et la recherche de polluants comme les composés organohalogénés, l'ensemble BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes) et des pesticides sont aussi à prendre en compte. Ces deux derniers aspects ne sont pas traités ici.

Les caractéristiques physiques

Les caractéristiques physiques les plus souvent mesurées sont : l'aspect (couleur, odeur, saveur), le pH, la température (déjà vue), le potentiel d'oxydo-réduction, la conductivité, la résistivité et le résidu sec. A noter que conductivité, résistivité et résidu sec sont étroitement liées à la minéralisation globale d'une eau.

Potentiel Hydrogène ou pH.

Exprimé en unités pH, il indique l'acidité (de 0-7) ou la basicité (7-14) d'une eau. Les eaux minérales d'Ardèche montrent une forte acidité puisque le pH de près de 60% d'entre-elles est compris entre 5 et 6. Seules les sources de Saint-Mélany (de l'Oeuf) et de Malarce ont un pH qui dépasse 7 avec, respectivement 8,7 et 7,9.

Potentiel d'oxydo-réduction ou potentiel redox.

Noté Eh et exprimé en millivolts (mV), il indique si les réactions intervenant au sein d'une eau se font en milieu réducteur ou oxydant ce qui oriente forcément le résultat final de ces réactions. Les eaux minérales sont d'autant plus réductrices qu'elles seront profondes et arrivées en surface elles peuvent subir une oxydation dont la plus spectaculaire est l'oxydation du fer avec précipitation sous forme de boues rouges.

Résistivité et conductivité.

La résistivité est la capacité de l'eau à freiner le passage d'un courant électrique. Elle est exprimée en ohms centimètre ($\Omega.cm$). Pour les eaux minérales d'Ardèche, la valeur maximale de la résistivité est de 4860 $\Omega.cm$ et la minimale de 150 $\Omega.cm$. Les valeurs inférieures à 1600 $\Omega.cm$ sont les plus nombreuses. Ces valeurs indiquent une minéralisation très variée, de moyenne à

très forte, très souvent supérieure à celle des eaux de surface dont la plus élevée (celle des eaux issues de massifs calcaires) est de l'ordre de 2700 Ω .cm. La conductivité qui est la capacité de l'eau à laisser passer un courant électrique (donc l'inverse de la résistivité) est exprimée en micro-siemens par centimètre (μ S/cm) et mesurée sur le terrain à 20°C et/ou à 25°C. La valeur maximale de la conductivité est de 8333 μ S/cm (source Rigolette à Vals) et la minimale de 142 μ S/cm (source Genève-Pouzoula à Saint-Cirgues-de-Prades). Si l'on rassemble les valeurs de conductivité données par Barat (1989) en classes de 1000 μ S/cm on obtient une idée des diverses fréquences. Ainsi, sur 289 mesures nous avons : 0-1000 = 35% ; 1000-2000 = 26% ; 2000-3000 = 16% ; 3000-4000 = 10,5% ; 4000-5000 = 1,5% ; 5000-6000 = 4,5% ; 6000-7000 = 2,5% ; 7000-8000 = 3% ; 8000-9000 = 1%. En regroupant les valeurs entre 0 et 4000 μ S/cm on note qu'elles représentent un peu plus de 87% des eaux. Si on étudie les relations entre les valeurs de la conductivité et celles des teneurs en bicarbonates on constate une très bonne corrélation ce qui est normal dans la mesure où les bicarbonates représentent une partie importante de la minéralisation.

Résidu sec.

Mesuré à 110°C ou calciné à 180°C, il est généralement supérieur à 500 mg/l et peut atteindre des valeurs supérieures à 6 000 mg/l. Par exemple, à Vals-les-Bains, la source Camuse a un résidu sec de 4 458 mg/l et la Vals-St Jean 5200 mg/l. Les valeurs moyennes sont comprises entre 1 000 et 3 000 mg/l. En comparaison, le résidu sec des eaux issues des terrains calcaires (eaux non minérales les plus chargées), n'atteint que 350 mg/l. La valeur maximale limite pour les eaux potables de distribution est de 1500 mg/l.

Les caractéristiques chimiques générales

Il s'agit de : l'oxydabilité au permanganate de potassium en milieu acide ; le titre hydrotimétrique (TH) ou « dureté totale » qui est la teneur en calcium et magnésium, exprimé en degré français (°F), un degré correspondant à une teneur en calcium de 4 milligrammes par litre et de 2,4 mg/l de magnésium ; le titre alcalimétrique (TA) qui donne la teneur en carbonates et, éventuellement, en hydroxydes (bases fortes) exprimée en degré français, un degré correspond à la teneur de 6 mg/l d'ion

carbonate ; le titre alcalimétrique complet (TAC) qui donne la teneur en hydrogencarbonates (bicarbonates), exprimée en degré français. TA et TAC permettent d'exprimer l'alcalinité d'une eau tandis qu'une combinaison avec le pH permet de déterminer l'agressivité ou non des eaux.

Les caractères chimiques ou minéralisation

En utilisant un diagramme triangulaire (Figure. 6) pour les eaux minérales d'Ardèche (diagramme de Piper), on classe les eaux minérales en fonction de leur composition chimique.

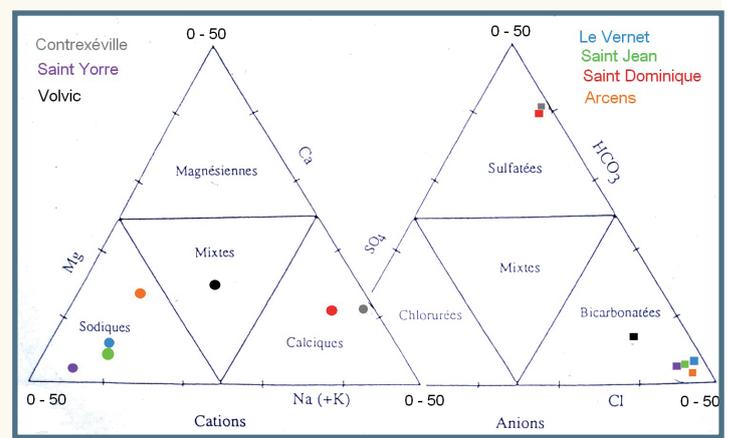


Figure 6 : Position de quelques eaux minérales sur le diagramme de Piper simplifié

Ainsi, le rapport de l'Afssa (2008) indique qu'il existe, pour l'étiquetage des bouteilles d'eaux minérales, 13 appellations officielles. En Ardèche, les eaux sont, pour la plupart, carbogazeuses et bicarbonatées sodiques (riches en sodium et potassium : Vals, Arcens, Neyrac, Prades, etc.), bicarbonatées calciques (riches en calcium : Asperjoc, Le Pestrin, Genestelle), bicarbonatées sodiques à calciques (Neyrac) voire bicarbonatées sodiques et magnésiennes (riches en sodium et magnésium). Toutefois il faut noter quelques exceptions comme la source Dominique à Vals qui est sulfatée calcique (la seule du département), ou la source de l'Œuf à Saint-Mélany et celle de Hugon à Malarce-sur-la-Thine qui montrent un dégagement d'hydrogène sulfuré (H_2S) car elles sont liées à des filons minéralisés en sulfures. Pour comparer les eaux entre elles (leur faciès) on utilise, le plus fréquemment, le diagramme semi-logarithmique de Schoeller et Berkaloff (Figure.7). Dans l'usage des diagrammes cités il est nécessaire de convertir les teneurs en milliéquivalents par litre (mé/l) qui caractérisent les quantités en réaction des divers éléments.

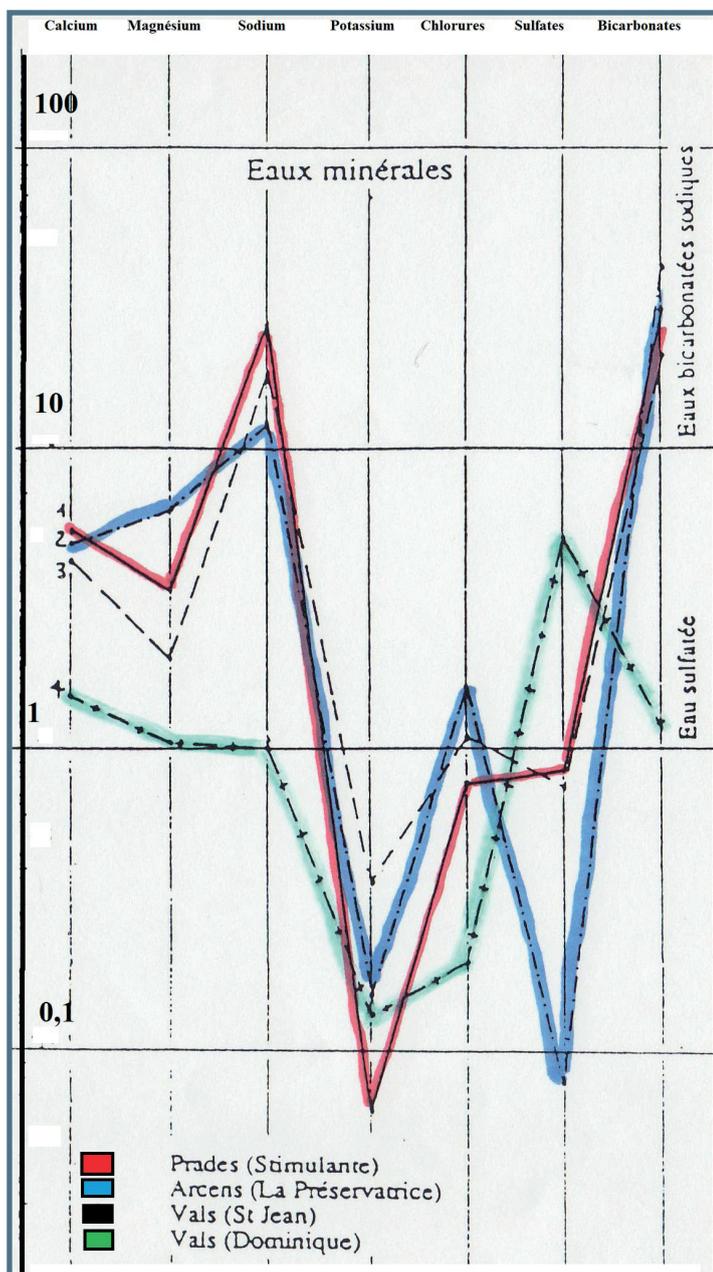


Figure 7 : Position de quelques eaux minérales sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff

C'est au cours de leur séjour en profondeur que les eaux de surface se chargent en un certain nombre de substances dissoutes issues des roches traversées mais qu'elles peuvent recevoir des apports plus profonds contenant lithium, bore, sodium et potassium. Lors de leur remontée, elles s'enrichissent en calcium et magnésium (Ledoux et Xiao, 2012). En fonction de leur teneur, ces substances se répartissent en trois grandes catégories, éléments majeurs, éléments mineurs, éléments traces ou oligoéléments, mais il faut aussi considérer les teneurs en silice et les gaz. Si l'essentiel de ces substances restent dissoutes dans l'eau certaines peuvent précipiter à leur arrivée en surface. A noter également que la minéralisation peut subir, près de la surface, un mélange avec des eaux plus superficielles ce qui provoque une certaine dilution mais pas une modification du « profil » général des eaux.

Les éléments majeurs dont les teneurs sont exprimées en milligrammes par litre (mg/l), comprennent toujours deux parties : les ions négatifs ou anions et les ions positifs ou cations.

Les anions. L'anhydride carbonique ou hydrogénocarbonate se trouve sous forme libre (CO_2 dissous) et d'ion bicarbonate (HCO_3^{--}). La teneur en gaz carbonique dissous varie de 110 cm^3/l (source Lithine à Saint-Julien-du-Gua) à 1 525 cm^3/l (source Sultane à Vals). Les valeurs en bicarbonate sont situées dans une fourchette très large, de 32 mg/l à 6100 mg/l. Toutefois, la valeur inférieure est très rare et plus de 50% des valeurs sont, en fait, comprises entre 600 et 1800 mg/l ce qui est bien supérieur à la teneur des eaux de surface (180 mg/l pour des eaux issues des terrains du Trias) ce qui représente une caractéristique majeure des eaux minérales ardéchoises. Les sulfates montrent des teneurs relativement basses puisque 85% des eaux ont une teneur inférieure à 48 mg/l (maximum des eaux de surface : 16,8 mg/l). Deux exceptions sont représentées, d'une part par la source Dominique à Vals-les-Bains dont les eaux sont sulfatées et, d'autre part, par les sources des environs de Saint-Mélany et de Malarce-sur-la-Thines déjà évoquées. Les chlorures montrent des teneurs comprises, en majorité, entre 214 et 321 mg/l (maximum des eaux de surface : 75 mg/l).

Les cations. Le sodium est le cation le plus abondant et la grande majorité des eaux est sodique avec des valeurs comprises entre 160 et 1150 mg/l (maximum des eaux de surface : 8,28 mg/l). Le calcium montre des valeurs comprises entre 7,6 mg/l et 400 mg/l avec la plus grande fréquence (20%) comprise entre 40 et 60 mg/l (maximum eaux de surface : 120 mg/l). Le magnésium se rencontre parfois avec des valeurs très faible (0,48 mg/l) mais pouvant atteindre 125 mg/l, la fréquence la plus élevée (25%) se situant entre 12 et 24 mg/l (maximum des eaux de surface : 32mg/l). Le potassium a des valeurs encore plus faibles que le magnésium car 40 % des valeurs sont inférieures à 19 mg/l (maximum eaux de surface : 3,5 mg/l).

Les éléments mineurs sont, pour les anions, les nitrates, les nitrites, les orthophosphates, les fluorures et des dérivés particuliers du soufre (sulhydrates et hydrogène sulfuré) et pour les cations, le lithium, le strontium et l'ammonium. Les teneurs sont exprimées en mg/l.

Les oligoéléments sont, entre autres, des métaux et métalloïdes : antimoine, argent, arsenic, cadmium, cuivre, fer, manganèse, mercure, nickel, plomb, sélénium, zinc, baryum, béryllium, bore, rubidium et césium. Le fer est un élément très fréquent et, parfois, en quantité non négligeable avec des teneurs pouvant atteindre 120 mg/l (source Dominique à Vals) ou 124 mg/l (source Saint-Louis à Vals). Ces valeurs sont à comparer avec la teneur maximale admissible pour les eaux potables de surface (2 mg/l pour le fer). Pour les autres oligoéléments, certaines valeurs sont remarquables comme pour le fluor et le lithium (source Camuse de Vals : 3,2 mg/l et 7,58 mg/l ; source Salomon à Marcols : 2,9 mg/l de fluor ; source du Merle à Asperjoc : 1,30 mg/l et 2,15 mg/l) ou encore le strontium (source du Merle : 2,72 mg/l ; Neyrac : 1,36 mg/l). Lorsque les teneurs en oligoéléments sont faibles à très faibles, ce qui est généralement le cas, elles sont exprimées en microgrammes par litre (µg/l).

Les autres substances. Parmi les autres substances, il y a la silice et les gaz. La silice est abondante et présente un éventail de valeurs très large, entre 4 et 130 mg/l, le maximum en surface étant de 33 mg/l (98 mg/l pour la source Saint-Laurent à Labégude et la source Camuse à Vals). Les gaz sont dominés par le gaz carbonique (CO₂) mais il y a aussi de l'oxygène (de 0,7 à 8,3%), de l'azote (de 1,3 à 86% pour Saint-Laurent-les-Bains), de l'argon (de 0,04 à 18,58%) et un peu de méthane, d'hélium et de radon. Ce dernier serait à l'origine de la faible radioactivité rencontrée dans certaines eaux sans que celle-ci présente un caractère dangereux pour la santé. Autrefois, cette propriété était utilisée, à Celles-les-Bains, par le docteur Barrier pour traiter ses patients atteints d'affections cancéreuses. On trouve une bonne explication sur l'origine des gaz comme le CO₂, l'azote et l'argon dans l'article de Blavoux (1995). C'est l'étude isotopique du carbone 13 du CO₂ libre qui permet d'avancer dans la détermination de l'origine des gaz. Pour le CO₂, il y a une origine principalement magmatique car la composition isotopique du ¹³C est « comparable à celle du carbone des gaz volcaniques directement libérés du magma ». La liaison avec la province volcanique « récente » du Massif Central est donc bien établie. Pour l'azote et l'argon, l'origine serait d'ordre météorique. Dans certains cas, les gaz ne rencontrent pas d'eau lors de leur remontée vers la surface. Ils s'échappent alors à

l'air libre sous forme de mofettes. En Ardèche, la plus célèbre est celle de Neyrac qui avait été autrefois « captée » pour l'établissement thermal (Photo 5). Celle d'Aizac est moins connue.



Photo 5 : Entrée de la mofette de Neyrac avant sa modernisation

Dépôts formés par les eaux minérales.

En arrivant en surface, les eaux minérales subissent d'importantes modifications de leurs caractéristiques physico-chimiques :



Photo 6 : Boues rouges à la sortie des eaux minérales de l'ancien forage de Perle 5 à Vals

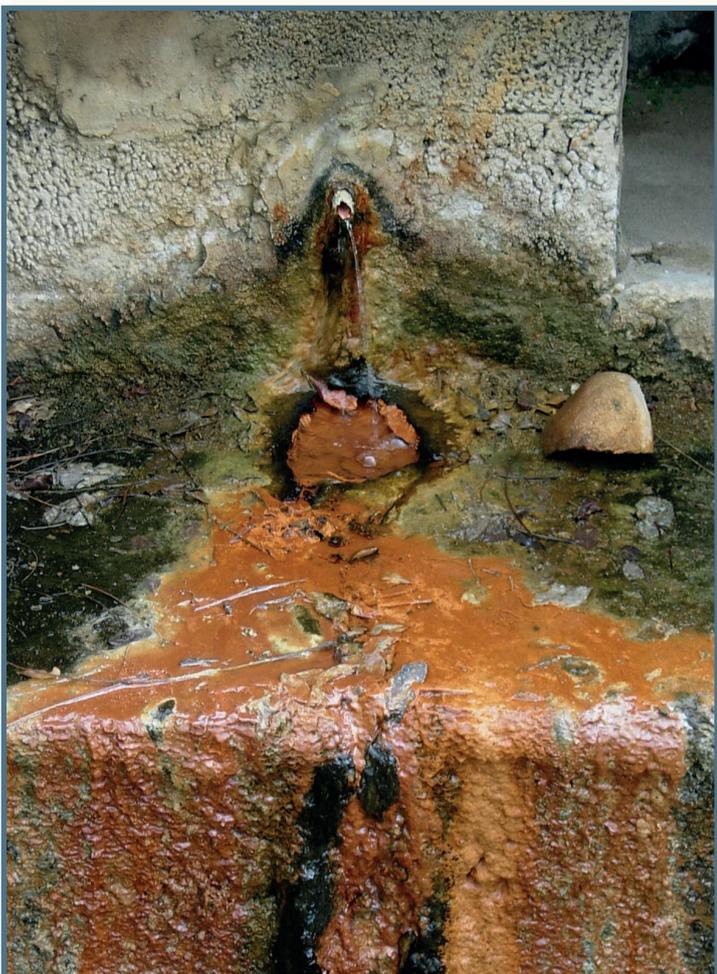


Photo 7 : Boues rouges à la source « La Délicieuse » en bordure de l'Ardèche, à Neyrac

refroidissement, décompression des gaz, oxydation des sels dissous, phénomènes de réduction sous l'effet de microorganismes. Les sources d'eau minérales sont, en Ardèche, souvent accompagnées de dépôts ferrugineux et parfois calcaires. Les dépôts ferrugineux sont dus à la floculation du fer à partir de colloïdes présents à l'émergence qui se forment par oxygénation de l'eau au point de sortie ce qui indique un milieu réducteur en profondeur. Ces transformations sont responsables des accumulations de boues rouges non consolidées (Photos 6-7) que l'on rencontre à de nombreuses émergences (source du Peschier à Jaujac ; Moulin Lacoste à Ayzac ; La Châtelaine à Dornas ; Astrid à Genestelle ; du Lion à Marcols ; Délicieuse à Meyras ; Chamblas n°2 à Vals, etc.). Les dépôts calcaires se rencontrent sous forme d'encroûtements (travertins) ou servent de ciment naturel à des alluvions comme à Neyrac où les alluvions de l'Ardèche se trouvent transformées en un banc de conglomérat de 15 à 20 m d'épaisseur surmonté de 5 m de travertin pur (Figure. 8). Le carbonate de calcium qui sert de ciment est de la calcite. Parmi les autres sources qui montrent des encroûtements calcaires il y a celle de Mercier à Thueyts, de Rocher du Merle à Asperjoc, Marguerite à Chirols, de Rocher Noir à Montpezat, du Régal à Antraigues, etc.

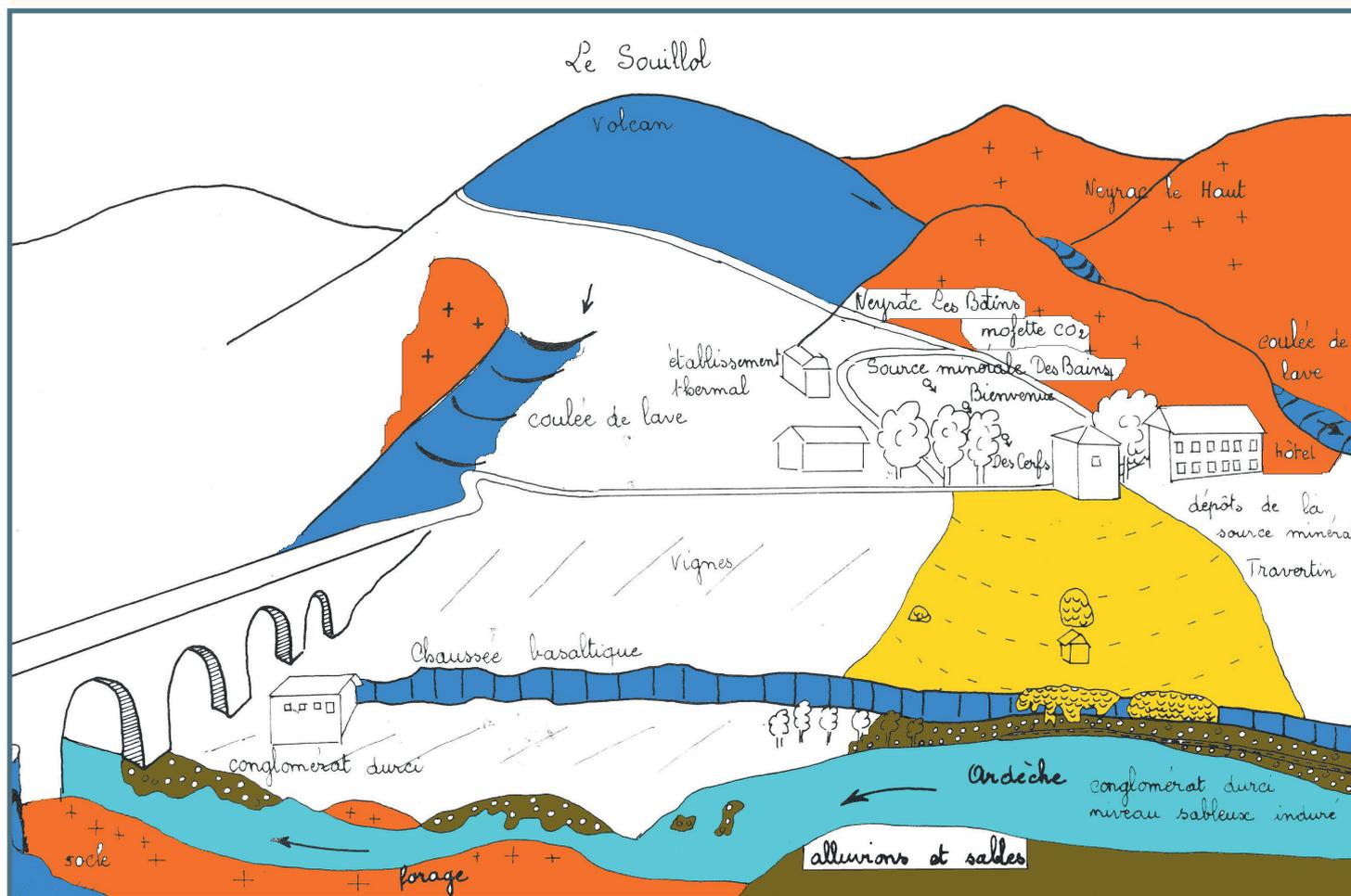


Figure 8 : Site de Neyrac-les-Bains avec les travertins produits par les sources, d'après Jeantin, 1979

EXPLOITATION DES EAUX MINÉRALES

Ce paragraphe servant de conclusion il n'est pas question de le développer à sa juste valeur. Ceci pourrait être réalisé dans un article spécifique. Alors pourquoi ce titre ? Simplement pour dire que les eaux minérales d'Ardèche (Tableau I) possèdent une dimension économique locale non négligeable (embouteillage et thermalisme) et qu'en conséquence, il est nécessaire de connaître au mieux le potentiel du territoire. C'est la raison pour laquelle diverses études sont régulièrement menées sur les principaux sites d'exploitation avec l'utilisation des méthodes les plus modernes comme les modèles mathématiques. Ces études permettent non seulement de s'approcher des caractéristiques des terrains contenant cette ressource, mais encore de mettre en évidence

le fonctionnement du système hydrominéral, la stabilité des caractéristiques des eaux (condition indispensable à une autorisation d'exploitation) et de déterminer les protections qu'il y a lieu de mettre en place tant physiquement (comme le périmètre sanitaire d'urgence) qu'administrativement (comme la déclaration d'intérêt public accordée pour le bassin de Vals) pour sauvegarder la bonne qualité de la ressource. C'est à ce prix qu'il sera possible de poursuivre l'aventure des eaux minérales d'Ardèche qui a débuté au XVII^e siècle, s'est développée d'une façon spectaculaire au XIX^e siècle avec, à l'époque, une multiplication des sites d'exploitation voire de stations thermales (Saint Georges-les-Bains ; Marcols-les-Eaux, Celles-les-Bains, etc.) et s'est rationalisée à partir de la fin du XX^e siècle.

TABLEAU I : COMPOSITION CHIMIQUE SIMPLIFIÉE DE QUELQUES SOURCES D'EAU MINÉRALE D'ARDÈCHE (en milligrammes par litre)

	Sodium	Calcium	Magnésium	Bicarbonates	Chlorures	Sulfates
Arcens	260	25	33	725	52	49
Vals-Vivaraise	381	22	14	1100	25	45
Vals-Camuse	1720	54	40	4800	78	54
Marcols-Salomon	435	245	25	1000	134	492
Asperjoc-Rocher du Merle	770	161	71	2600	66	14
Dornas-La Châtelaine	209	36	20	689	20	13
Saint-Laurent-les-Bains-Les Caquets	205	14	1	491	20	31
Neyrac	226	202	50	1433	11	14
Jaujac-Pouzzola	64	42	21	390	4	7
Le Vernet	192	34	18	734	6	14
Aizac Source du Volcan	13	78	29	408	13	10

Tableau I : Valeurs de quelques paramètres d'eaux minérales d'Ardèche

Bibliographie

ADAM Ch. (1979).- Composition des eaux souterraines du département de l'Ardèche. Thèse de 3e cycle, Univ. Claude Bernard, Lyon. 2 t. 172 p. texte.

AFSSA (2008).- Lignes directrices pour l'évaluation des eaux minérales naturelles au regard de la sécurité sanitaire. 98 p.

BARAT A. (1989).- Inventaire des sources minérales du département de l'Ardèche. Rapport BRGM 89 SGN 054 RHA.

BERGER E.T. (1973).- Le volcanisme récent de l'Ardèche. Thèse 3e cycle, 402 p.

BERGER E.T. (2007).- Les jeunes volcans d'Ardèche. Ed. Sud Ouest, 198 p.

BLANCHARD L. et VIGOUROUX P. (2004).- Ressource en eau thermale de la station de Neyrac-les-Bains. Rapport BRGM RP-53002-FR, 90 p., 13 fig., 4 tabl., 8 ann.

BLAVOUX B. (1995).- Apports des techniques isotopiques à la connaissance des gisements d'eau minérale. *La Houille blanche.*, n° 2-3, p. 51 à 58.

CRAIGH H. (1961).- Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133, p. 1702-1703.

DANSGAARD W. (1964).- Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, 16, 4, p. 436-468.

DIVISION NATIONALE DES EAUX MINERALES ET THERMALES (1999).- Les géothermomètres chimiques. Note technique n° 13.

ELMI S. (1983).- La structure du Sud-Est de la France : une approche à partir de la bordure vivaro-cévenole du Massif Central. *C. R. Acad. Sci., II*, t. 296, p. 1615-1620.

FONTES J.-C., GLANGEAUD L., GONFIANTINI R. et TONGIORGI E. (1963).- Composition isotopique et origine des eaux et gaz thermaux du Massif Central. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, t.256, p. 472-474.

GONZALES J. (2010).- Le tour des sources minérales oubliées (ou peu connues) de l'Ardèche. Site Internet.

JEANTIN M. (1979).- Etude des sources minérales de la Haute Ardèche. Thèse 3e cycle, Univ. Grenoble.

LEDOUX E. et XIAO H. (2012).- Caractérisation hydrodynamique et hydrochimique du gisement d'eau minérale de Vals les Bains. Analyse de l'influence de modifications de l'occupation des sols. . Rapport technique ARMINES N° R120826EL. Centre de Géosciences, Mines ParisTech, Fontainebleau.

MERGOIL J. et BOIVIN P. (1993).- Le Velay. Son volcanisme et les formations associées. *Géol. France*, n°3, Ed. BRGM, 96 p., 1 carte.

MICHARD G. (1979).- Les géothermomètres chimiques. *Bull. BRGM*, section II, n°2, p. 183-189.

NAUD G. (2008).- Le Coiron, un pays d'eau et de feu. In « Pays d'Ardèche », Le Coiron, terre d'histoire, territoire de projets. Ed. Mém. Ardèche, *Temps prés.*, p. 31-69.

ROCHETTE P., BERTRAND H., BRAUN C. et BERGET E.T. (1993).- La province volcanique Pléistocène supérieur du Bas-Vivarais (Ardèche, France) : propagation de fentes crustales en échelons ? *C.R. Acad. Sci. Fr.*, 316, p. 913-920.

UZAN M. (1960).- Précis des eaux de Vals. Imp. Habauzit, Aubenas.