

**Geologische und Hydrogeologische Charakterisierung der  
Mineralquelle von Bonnefont**

**(Les Salles/le Puy en Velay)**

**Verfasst von Elena Tatoli & Peter Janssen  
im August 2002**

# 1. Regionalgeologischer Überblick

Die äußerste Provinz der Auvergne am SW-Rand des zentral Massivs bildet den *Velay*.

Sowohl geologisch als auch morphologisch setzt sich das Velay aus drei Einheiten zusammen, dabei handelt es sich von W nach E um das *Plateau von Devès*, das Becken von Le Puy und um die Vulkankette um den *Meygal-Mézenc*, wo am *Mt. Gerbier de Jonc* die Loire entspringt. In ihrem Verlauf mäandriert sie in NW-Richtung und trennt mit ihrem tiefeingeschnittenen Tal das kleinere Plateau von Alleyras von dem 80 km langen und dem 15 km breiten Plateau von Devès ab, bevor sie nach N in das Becken von Le Puy eintritt und sich dort in die tertiären Sedimente einschneidet.

Aus dem durchschnittlich 1100 m hochgelegenen basaltischen Plateau ragt eine große Anzahl (ca. 150) von vulkanischen Schlackenkegeln heraus, die von der lokalen Bevölkerung auch *Gardes* genannt werden. Der Mt. Devès bildet dabei mit 1421 m die höchste Erhebung. Außerdem sind mehrere Dutzend Maare phreatomagmatischer Herkunft bekannt. Das Plateau von Devès wird neben dem Tal der Loire im E von dem Tal der Allier im W begrenzt. Weiter westlich schließt sich das Gebirge der Margeride an.

## 1.1 Granit von Velay

Der im Tal der Loire und der Allier freigelegte Granit stellt das Grundgebirge im Velay dar, das auf einen komplexen Batholithen im Untergrund zurückzuführen ist. Petrographisch handelt es sich bei dem Granit von Velay um einen heterogen ausgebildeten Biotit-Granit, der stellenweise Cordieritnadeln und Muskovit enthält.

Sehr uneinheitlich ist er auch bezüglich der Größe der einzelnen Mineralkörner, die zwischen 1-6 mm schwankt.

Auffällig sind die zahlreichen Einschlüsse schiefriger und gneisartiger Enklaven (Glimmerschiefer) in allen Dimensionen, die refraktäre Rückstände darstellen. Der lokal fortschreitende Übergang zu den Migmatiten überliefert eine autochthone Herkunft durch partielle Anatexis von kristallinen Schiefern.

Das Alter der Intrusiva wird auf ca. 300 Ma bestimmt. Im massigen Granit entwickelten sich bei der Abkühlung und bei der Druckentlastung orthogonale Klüfte. Dieser granitische Sockel wurde anschließend bis zum Eozän abgetragen und eingeebnet.

Die im Zusammenhang mit der Faltung des alpidischen Orogens einsetzende Bruchtektonik bewirkte das Einsinken des Beckens von Le Puy und die Anlage eines Störungssystems parallel zu den Randabbrüchen des Beckens in NNW-SSE-Richtung bis zum Anfang des Tertiärs. Durch diese tektonischen Bewegungen haben sich stellenweise Trennfugen geöffnet, die anschließend mit pegmatitischen Erzgängen ausgefüllt worden sind.



**Abb. 1** Typische Ausbildung des Granits von Velay, mit Kluftsystem.

## **1.2 Vulkanismus**

Im Verlauf des Villedfranchiens setzt ein basaltischer Vulkanismus im Devès ein, der in den nächsten 2 Ma das Erscheinungsbild der Region prägt: Ein großes vulkanisches Plateau mit aufgesetzten strombolianischen Schlackenkegeln oder mit eingetieften Maaren, häufig aufgereiht in NNW-SSE verlaufenden Ketten entlang von großen Störungen.

Die charakteristischen Anhäufungen der strombolianischen Vulkankegel bestehen aus meistens nicht verschweißten basaltischen Schlacken, darunter Lapilli, aber auch spindelförmige Bomben sowie Brotkrusten-Bomben.

In den von den Eruptionszentren ausgehenden Basaltströmen sind zumeist porphyrische Olivine, Clinopyroxene und feinverteilte Titanomagnetite zuerkennen, die in einer Grundmasse aus Plagioklas, Clinopyroxen und Titanomagnetit eingebettet sind.

Die einzelnen Lavaströme greifen ineinander und lassen die Gesamtmächtigkeit der basaltischen Decke auf über 200 m ansteigen.

## **1.3 Sedimente**

Mächtige tertiäre Sedimentakkumulationen sind aus dem Becken von Le Puy bekannt.

Im untersuchten Bereich von Bonnefont sind nur die „Unteren Roten Sande“ aufgeschlossen, die unmittelbar dem granitischen Sockel aufliegen und durch die überlagernden Deckenbasalte vor der Abtragung geschützt werden (siehe Abb.2). Diese tonigen Feldspat-Sande sind durchsetzt von kalkigen Konkretionen. Es handelt sich um lakustrine Ablagerungen des Sannoisien, die nur wenig transportiert wurden.

Rezente Ablagerungen entstehen im Tal der Loire, wo durch Verwitterung der anstehenden Gesteine, insbesondere des wenig resistenten Granits und durch Umlagerung und Aufarbeitung der bestehenden Alluvionen sedimentiert wird.



Abb. 2 Ausbildung der „Unteren Roten Sande“ mit überlagernden Deckenbasalten.

## 2. Hydrogeologische Umgebung von Bonnefont

Die Loire stellt den Hauptvorfluter im Untersuchungsgebiet dar, sie entspringt im Departement Haute Gerbier de Jonc in einer Höhe von 1551 m. Bei Les Salles tritt sie in das Untersuchungsgebiet ein, dort verläuft sie auf einer Länge von ca. 2 km in NW-SE Richtung. Mehrere kleine unbenannte Bäche bilden besonders in den niederschlagsreichen Wintermonaten Zuflüsse der Loire.

Den Hauptgrundwasserleiter im Untersuchungsgebiet stellen die vulkanischen Ablagerungen dar, die gute Wegsamkeiten für die eindringenden Niederschläge bieten, viele Grundwässer zirkulieren bis zur Sohle der Vulkanite, wo sie von unterlagernden wasserundurchlässigen Schichten getaut werden und an den Hängen der tiefeingeschnittenen Täler wieder zu Tage treten. Diese Wässer werden häufig von den Gemeinden zur Wasserversorgung genutzt.

In den sockelbildenden Granit von Velay dringen vergleichsweise nur geringe Wassermengen ein; das Grundwasser zirkuliert hier in den Klüften und Störungen des Gesteins und liefert nur wenig ergiebige Quellen. Die Klüfte und Störungen ermöglichen jedoch das Eindringen des Grundwassers in größere Tiefen, wo es überregional zirkulierend mit den aufsteigenden Gasen aus dem oberen Erdmantel in Berührung kommt (s. Abb. 2)

## 3. Entstehung der Mineralwässer:

Im Untersuchungsgebiet tritt an einer Stelle CO<sub>2</sub>-haltiges Mineralwasser zu tage; es handelt sich hierbei um eine durch ein Rohr gefasste Quelle namens Bonnefont.

Die Entstehung solcher CO<sub>2</sub>-haltigen Mineralquellen wird im Folgendem erläutert:

CO<sub>2</sub>-Gase, die von Magmen des obersten Erdmantels oder der unteren Kruste abgegeben werden, können über tiefreichende Aufstiegswege, die durch tektonische Beeinflussung

entstanden sein können, an die Erdoberfläche gelangen. Treten sie in Form von Gasen aus, dann spricht man von sogenannten *Mofetten* (ital. *mofetta* = Ausdünstung).

Treffen die Gase bei ihrem Aufstieg auf Grundwasser, so bilden diese mit beim Kontakt mit dem Grundwasser Kohlensäure. Durch die Kohlensäure, die aggressiv auf das umliegende Gestein einwirkt, werden vermehrt Mineralien gelöst und der Gehalt an gelösten Inhaltstoffen im Wasser steigt an → es erfährt eine erhöhte Mineralisation. Folgende chemischen Prozesse können hierbei stattfinden: Ionenaustauschprozesse, Lösungsprozesse, Mineralneubildung, Substitution....).

Je länger das Wasser nun in der Untergrundpassage verweilt, desto höher ist die Mineralisation. Schließlich kann das mineralisierte Wasser durch Klüfte oder Störungen als Quelle an der Erdoberfläche zu Tage treten.

Durch die dabei auftretenden Druckentlastung kann das gelöste CO<sub>2</sub> als Gas entweichen und bildet die Gasbläschen (Sprudel).



**Abb. 3 Austretende CO<sub>2</sub>-Bläschen in der Loire.**

## 4. Geologische Lage der Mineralquelle Bonnefont

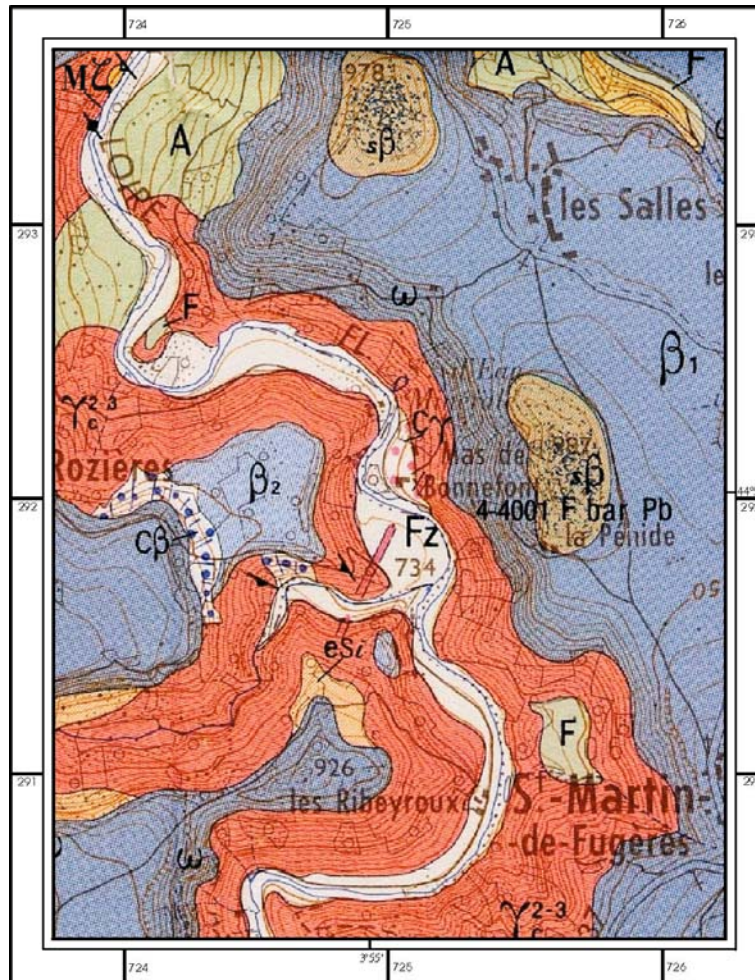


Abb. 4: Geologische Karte der Umgebung von Bonnefont. Erläuterungen: Rot: Granit du Velay, Blau: Basalt, Braun: Schlackenkegel, Grün: Schuttdecken aus basaltischen Gestein, Sanden und Tonen.

Die Lage der Mineralquelle von Bonnefont ist an einer im granitischen Gestein auftretende Störung gebunden, die das Tal der Loire in SW–NE-licher Richtung quert. Durch diese tiefreichende Trennfuge wird dm mineralisierten Wasser der Aufstieg ermöglicht. Die Position einer zweiten Mineralquelle auf der gegenüberliegenden Flussseite liegt ebenfalls auf der SW-lichen Verlängerung dieser Störung. Des weiteren sind in der unmittelbaren Umgebung der Mineralquelle die dominierenden Klüfte parallel zur Störung ausgebildet. Über diese Klüfte bewegen sich die aufsteigenden Wässer oberflächennah, um dann in den beiden gefassten Quellen oder in Form diffuser Mineralwasseraustritte in der Loire in einer Verbindungslinie zwischen beiden Quellen auszutreten. Zu erkennen sind diese ungefassten Mineralwasseraustritte an den aufsteigenden CO<sub>2</sub>-Gasbläschen im Wasser und an der roten Färbung entlang der Klüfte und Spalten im Granit, die auf die Ausscheidung von Eisenocker zurückzuführen sind (Abb. 5).

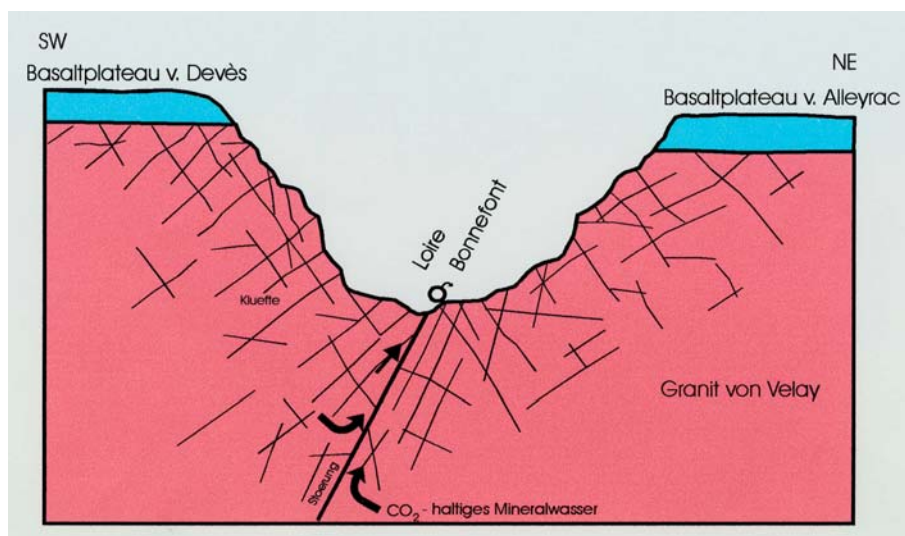


**Abb. 5; Mineralquelle Bonnefont mit typischer Eisenockerausscheidung**

In diesem oberflächennahen Bereich ist über die Klüfte auch eine Vermischung des Mineralwassers mit Uferfiltrat der Loire wahrscheinlich.

Die Ausbildung des Kluftmusters im untersuchten Gebiet ist neben der Lage der Störung ebenfalls verantwortlich für den Verlauf der Loire.

Eine Verfüllung der Trennfugen mit auskristallisierenden Mineralien, sind ebenfalls anzutreffen, wie zum Beispiel entlang der Gangvererzung parallel zur Störung, die sogar wegen ihres Ausmaßes (ca. 750 m lang und bis zu 1 m breit) wirtschaftlich genutzt wurde.



**Abb. 6 Profilskizze durch die Mineralquelle Bonnefont im Tal der Loire**

## 5. Zusammensetzung des Mineralwassers

Die Zusammensetzung des Mineralwassers ist abhängig vom durchflossenen Gestein, mit dem es während seines Aufenthaltes im Untergrund in Kontakt tritt. So gibt es z.B. :

- Sulfatwässer aus Gipsstein
- Chloridwässer aus Salzstein
- Hydrogencarbonathaltige Wässer aus Kalkstein

Das Wasser der im Untersuchungsgebiet auftretenden Mineralquelle *Bonnefont* hat nach einer Untersuchung von 19. Mai 1881 aus Lyon in mg/l folgende umgerechnete Zusammensetzung.

Na <sup>+</sup>	872,53
Ca <sup>2+</sup>	162,96
Mg <sup>2+</sup>	98,20
K <sup>+</sup>	27,22
Fe <sup>2+/3+</sup>	7,08
Cl <sup>-</sup>	113,98
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	29,75
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2650,45
Gesamtlösungsinhalt	3962,17 mg/l

Tab. 1: Chemische Zusammensetzung des Mineralwassers der Quelle Bonnefont

Bei dem Mineralwasser der Mineralquelle von Bonnefont handelt es sich um einen Natrium-Hydrogencarbonat-Säuerling (Säuerling ist die deutsche Bezeichnung für ein Mineralwasser mit hohem Anteil an Kohlensäure). Die prozentuale Verteilung der Inhaltsstoffe (meq-%) ist in Abb. 7 dargestellt.

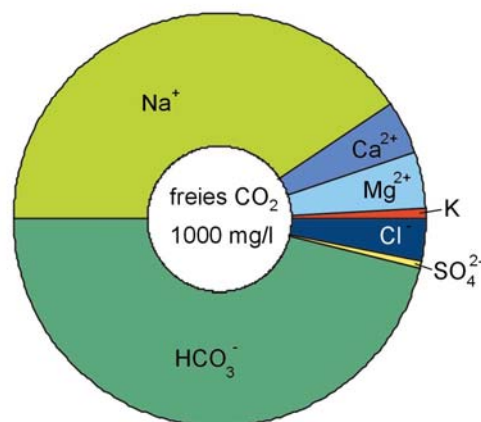


Abb. 7: Darstellung der Inhaltsstoffe der Quelle Bonnefont im Kreisdiagramm



## 6. Der Ernährungsphysiologische Aspekt von natürlichem Mineralwasser

Für den menschlichen Körper ist Wasser von enormer Bedeutung, denn er besteht zu 50-80% seines Gesamtgewichtes aus Wasser. Wasser ist zu zwei Dritteln Bestandteil aller Körperzellen, bestimmt die Fließeigenschaften des Blutes und beeinflusst die Ausscheidung von Schlackenstoffen. Allein durch das menschliche Hirn fließen am Tag mehr als 140 Liter Wasser; im gleichen Zeitraum werden beide Nieren von ca. 170 Litern Wasser durchströmt. Der Flüssigkeitsverlust des menschlichen Körpers, welcher hauptsächlich durch die Harnausscheidung erfolgt, wird beträgt 2-2,5 Liter pro Tag. Aus diesem Grunde ist es nach oecotrophologischen Kriterien ratsam, mindestens die gleiche Menge wieder zu sich zu nehmen, da der Körper nicht über Wasserreserven verfügt.

Mineralstoffe sind organische Verbindungen, die der Körper für alle Organfunktionen braucht. Sie sind u.a. Bestandteil von Hormonen, Vitaminen, Hämoglobin, der Knochensubstanz und des Zahnschmelzes. Ein erwachsener Mensch trägt etwa 4 kg Mineralstoffe in sich, die er durch die Nahrung aufnimmt. Da natürliches Mineralwasser besonders hohe Gehalte an Mineralstoffen aufweist, ist der Konsum von Mineralwasser eine unbedingte Voraussetzung für das menschliche Wohlbefinden und zur Vorbeugung von Mangelerscheinungen (Hark-Oberitter & Zeltner). Im allgemeinen werden Mineralstoffe je nach ihrem quantitativen Vorkommen in Mengen- und Spurenelemente unterschieden.

In Tab.2 seien einige Mineralstoffe und deren Funktion für den menschlichen Organismus dargestellt.

Mengenelement	Funktion	Mangel
<b>Natrium</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Aufrechterhaltung des osmotischen Drucks</li> <li>o Regulation des Wasserhaushalts</li> <li>o Beteiligung an der Erregungsleitung in Nerven- und Muskelzellen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Körperliche Schwäche</li> <li>o Übelkeit</li> <li>o Muskelkrämpfe bis zu Kreislaufkollaps</li> </ul>
<b>Kalium</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Regulation des Flüssigkeitshaushalts</li> <li>o Beteiligung an der Erregungsleitung in Nerven- und Muskelzellen</li> <li>o Unterstützung des Säure-Basen-Gleichgewichts</li> <li>o Aktivierung verschiedener Enzyme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Muskelschwäche</li> <li>o Absinken des Blutdrucks</li> <li>o Störungen der Herzrhythmus</li> <li>o Appetitlosigkeit und Verstopfung</li> </ul>
<b>Chlorid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Regulation der Wasserbilanz (zusammen mit Natrium)</li> <li>o als Bestandteil der Magensäure Förderung der Verdauung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Störung der Magensäureproduktion und der Verdauung</li> <li>o Durchfall</li> <li>o Wachstumsstörungen (in extremen Fällen)</li> </ul>
<b>Calcium</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Beteiligung am Aufbau von Knochen und Zähnen</li> <li>o wichtiger Faktor bei der Blutgerinnung</li> <li>o Weiterleitung der Nervenimpulse auf die Muskelzellen</li> <li>o Beteiligung bei Muskelreizbarkeit und -kontraktion</li> <li>o Regulation der Herzaktivität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Entkalkung der Knochen (Osteoporose)</li> <li>o Zahn- Haar- und Nagelschäden</li> <li>o Krampfstörungen</li> <li>o Herzrhythmusstörungen</li> </ul>
<b>Magnesium</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Beteiligung an zahlreichen Stoffwechselfunktionen</li> <li>o Beteiligung an der Erregung der Muskel- und Nervenfasern</li> <li>o Aktivierung von Enzymen für die Energiegewinnung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Kopfschmerzen</li> <li>o Schwindel</li> <li>o Herzrasen</li> <li>o Neigung zu Krämpfen</li> <li>o Konzentrations- und Kreislaufschwäche</li> </ul>
<b>Phosphor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Bestandteil der Knochensubstanz</li> <li>o Beteiligung am Aufbau von Enzymen</li> <li>o Bedeutung für die Energiegewinnung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Selten Mangelerscheinungen</li> <li>o Schäden am Skelett und an den Zähnen</li> </ul>
Spurenelement	Funktion	Mangel
<b>Fluorid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Aufbau der Knochen- und Zahnstruktur</li> <li>o Härtung des Zahnschmelzes</li> <li>o Remineralisierung von Mikroentkalkungen an Zähnen</li> <li>o Verhütung der Zahnbelag- (Plaques-)bildung</li> <li>o Vorbeugung gegen Osteoporose bei Frauen nach der Menopause</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Wachstumsstörungen</li> <li>o brüchige Knochen und Zähne</li> <li>o stärkere Anfälligkeit für Karies</li> </ul>
<b>Eisen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Bestandteil des Hämoglobins, verantwortlich für die Sauerstoffbindung und -abgabe</li> <li>o Bestandteil wichtiger Enzyme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Eisenmangelanämie: Müdigkeit, Blässe, Mundwinkelrhagaden</li> </ul>
<b>Zink</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Unterstützung bei Zellteilung, Wundheilung und Wachstum</li> <li>o Bestandteil von mindestens 15 Enzymen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Verzögerung der Wundheilung</li> <li>o Haarausfall</li> <li>o Hautentzündungen</li> <li>o Wachstumsstörungen</li> <li>o Beeinträchtigung des Nukleinsäure-, Protein-, Fett- und Kohlenhydrat-Stoffwechsels</li> </ul>
<b>Mangan</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Beteiligung am Aufbau von Bindegewebe, Knorpeln und Knochen</li> <li>o Steuerung des Eiweiß-, Fett- und Kohlenhydrat-Stoffwechsels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o möglicherweise Störungen der Fruchtbarkeit und des Skelettaufbaus</li> </ul>
<b>Silizium</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Förderung des Skelett- und des Bindegewebe-Wachstums</li> <li>o Stärkung der Knochen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Wachstumsverzögerung</li> <li>o Störung bei der Skelettbildung</li> <li>o Alterungsprozesse der Gelenke, Arterien und des Bindegewebes</li> </ul>

Tab. 2 Ernährungsphysiologische Tabelle zur Wirksamkeit der Inhaltsstoffe der Mineralwässer

## 7. Literaturverzeichnis

**Borret, J.N.(1992):** La Structure Géologique de la vallée de la Loire entre la ferme de Lavalette et Goudet. – SOS Loir Vivante (équisé).

**IDM (2000) :** Mineralwasser. – Bonn.

[www.massifcentral.de](http://www.massifcentral.de)

[www.brgm.fr/volcan/levelay1.htm](http://www.brgm.fr/volcan/levelay1.htm)

**Geologische Karte des Velay (1:50000)** und Erläuterungen.

**Bay, J.(1986):** Au Temps ou la Source de Bonnefont connut une grande Renomme. – Le journal des Jeunes.

**Tatoli, E. (2002) :** Hydrochemische Charakterisierung der Mineral- und Quellwässer im Bereich des Birresborner Sattels. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Bonn.

Carte Géologique de la France