

DOCUMENT PUBLIC

*Origine des concentrations en baryum dissous
dans les eaux du captage de Crôt-Chaud,
Saint-Bonnet-Tronçais (Allier)*

Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 01-EAU-504

Novembre 2001
BRGM/RP-51319-FR



DOCUMENT PUBLIC

*Origine des concentrations en baryum dissous
dans les eaux du captage de Crôt-Chaud,
Saint-Bonnet-Tronçais (Allier)*

Etude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 01-EAU-504

J. Barbier - F. Berthier

Novembre 2001
BRGM/RP-51319-FR



*Origine des concentrations en baryum dissous dans les eaux du captage de Crôt-Chaud,
Saint-Bonnet-Tronçais (Allier)*

Mots clés : Baryum, captage, périmètre de protection, Allier, géochimie, sols, inventaire national, Trias, expertise.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Barbier J., Berthier F. (2001) - Origine des concentrations en baryum dissous dans les eaux du captage de Crôt-Chaud, Saint-Bonnet-Tronçais (Allier). Rapport BRGM-RP-51319-FR, 16 p., 1 tab..

© BRGM, 2001, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Dans le cadre de la procédure réglementaire d'instauration du Périmètre de Protection du captage de Crôt-Chaud - commune de Saint-Bonnet-Tronçais - qui alimente la commune de Ainay le Château, l'analyse de référence a révélé la présence concentrations importantes en baryum.

Les analyses complémentaires qui ont été effectuées ont confirmé cette présence tandis que le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, saisi sur cette question, mentionnait sa probable origine naturelle.

A l'issue de la phase de consultation publique, préalable à la Déclaration d'Utilité Publique, la Mission Inter-Services de l'Eau du département de l'Allier a demandé au BRGM de confirmer l'origine du Baryum présent dans l'eau.

Après un bref inventaire de l'état des connaissances concernant les concentrations en Baryum dans les eaux souterraines destinées à la consommation humaine, les paramètres susceptibles d'expliquer la concentration en Baryum du captage de Crôt-Chaud sont analysés.

L'expertise conclut que l'environnement géologique dans lequel l'eau souterraine acquiert sa minéralisation peut expliquer l'enrichissement de celle-ci en Baryum. En l'absence de référence sur la composition chimique de l'eau en profondeur- c'est à dire avant sa résurgence naturelle et/ou par pompage- il n'est pas possible de fournir d'informations sur le lieu probable et les modalités de l'échange eau-roches qui donnent naissance à cette minéralisation.

En tout état de cause, aucune activité humaine de surface pourvoyeuse de Baryum n'ayant été incriminée dans cette région, l'origine naturelle du baryum analysé dans les eaux reste la seule plausible.

Cette expertise a été réalisée par le BRGM du 3 au 7 Novembre 2001 dans le cadre de l'appui à la Police de l'Eau. Elle a été conduite sur la base des pièces et rapports techniques transmis par la DDASS du département de l'Allier.

Sommaire

1. Introduction	5
2. Données générales sur le baryum dans les eaux souterraines	6
2.1. La définition des seuils de qualité	6
2.2. Les concentrations dans les eaux.....	6
2.2.1 Le cas des sédiments à matières organiques (bassins houillers, etc.).....	6
2.2.2 Le cas des aquifères à sulfate de baryum (barytine).....	7
2.2.3 Sursaturation des eaux en barytine	7
2.2.4 Localisation d'eaux à baryum en relation avec les précipitations :.....	8
2.2.5 Fréquence des occurrences d'eaux à baryum	8
3. Cas du captage de Crôt-Chaud	9
3.1 Remarques sur la composition des eaux captées.....	9
3.2 Le cas du baryum.....	11
3.2.1 Hypothèse 1 : présence de sulfate de baryum naturel (barytine).....	11
3.2.2 Hypothèse 2 : altération des silicates.....	12
3.2.3 Conclusion.....	13
3.3 Bilan	13
4. Conclusion.....	15
5. Références	16

Liste des illustrations

TABLEAUX

Tabl. – Inventaire des analyses multi-éléments effectuées sur le captage de Crôt-Chaud	11
---	----

1. Introduction

Les analyses réglementaires effectuées dans le cadre de la procédure de mise en place du Périmètre de Protection de la source de Crôt-Chaud, commune de Saint-Bonnet-Tronçais - département de l'Allier - , ont détecté la présence d'éléments indésirables et notamment la présence de Baryum. Ce captage est exploité pour l'alimentation en eau potable de la commune de Ainay-le-Château.

Il est constitué par un puits de 2 mètres de diamètre, implanté en 1951 au droit d'une source et foncé jusqu'à 8m de profondeur environ. A cette profondeur le niveau productif, artésien, est encadré par 2 niveaux argileux. L'alimentation dans la chambre de captage et de pompage s'effectue par le fond de l'ouvrage.

Pour ce qui concerne la présence de Baryum, la DDASS de l'Allier a demandé l'avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France.

En 1994 le CSHPF a proposé que la composition des eaux de ce captage soit l'objet d'un suivi géochimique pour les éléments incriminés et qu'il soit procédé à une enquête pour confirmer l'origine naturelle du Baryum.

La Mission Inter-Services de l'Eau du département de l'Allier a demandé au BRGM de se prononcer sur l'origine du baryum dissous dans l'eau de ce captage, en exploitant les données disponibles.

Les données techniques caractérisant le captage de Crôt-Chaud mises à disposition par l'administration sont contenues dans les pièces suivantes :

- rapport de la DDAF du département de l'Allier du 04 Novembre 1998,
- rapport de la DDASS du département de l'Allier du 17 Septembre 1998,
- rapport de la DDAF du département de l'Allier annexé au dossier de « Déclaration d'Utilité Publique des Périmètres de Protection »,
- rapport de l'hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique en date du 24 Juillet 1992,
- avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France en date du 05 Mai 1994,
- résultat du suivi analytique du Baryum par la DDASS et la Banque Départementale de Qualité des Eaux au titre de l'autocontrôle,
- résultats du suivi des pesticides,
- résultats d'analyses du contrôle sanitaire,
- copie d'un article paru dans le quotidien régional.

2. Données générales sur le baryum dans les eaux souterraines

Le baryum (Ba) est usuellement présent dans les eaux souterraines. Des concentrations de l'ordre de 10 µg/l sont banales mais des concentrations nettement plus élevées peuvent être rencontrées (cf. ci-dessous § 2.2).

2.1. LA DEFINITION DES SEUILS DE QUALITE

Il ne semble pas y avoir de risques sanitaires spécifiques liés au baryum dans les eaux. Des études de santé ont été faites dans le domaine des maladies cardiovasculaires, sans grand résultat : « ... une étude à court terme effectuée sur un petit nombre de volontaires n'a révélé aucun effet cardio-vasculaire systématique après exposition à des concentrations atteignant 10mg/litre... . Une valeur guide de 700 µg/l a été établie à partir de la DSEIO [Dose Sans Effets Immédiats Observés] de 7,3mg/l déterminée lors de l'étude épidémiologique la plus sensible effectuée à ce jour » (OMS, 1994).

Par ailleurs en France, la circulaire du 24 juillet 1989 [en complément du décret 89-3 du 3 janvier 1989] considère que des apports en baryum dans les eaux peuvent être dus à certaines activités industrielles, et en conséquence «... la recherche de ce paramètre doit être intégrée dans le programme de surveillance des eaux de captages situés à l'aval des rejets contenant du baryum. Pour l'interprétation des résultats, on utilisera la valeur-guide de 100 microgrammes par litre ».

2.2. LES CONCENTRATIONS DANS LES EAUX

Dans les eaux *naturelles*, non suspectes de pollution par des activités humaines, il n'est pas rare que la concentration de baryum dépasse la valeur de 100 µg/l.

2.2.1 Le cas des sédiments à matières organiques (bassins houillers, etc.)

On sait par exemple que certains types d'eaux peuvent contenir jusqu'à *plusieurs grammes* par litre de baryum (Puchelt, 1972). D'une manière générale, ce sont des eaux issues de milieux riches en matières organiques, comme le sont par exemple les dépôts charbonniers ou pétroliers profonds. Ce sont toutefois des eaux particulières, sulfureuses, souvent salées, et qui n'ont aucun intérêt pour la consommation. Leur existence n'est signalée donc ici que pour mentionner l'existence courante de *très fortes* concentrations en baryum dans les eaux naturelles.

2.2.2 Le cas des aquifères à sulfate de baryum (barytine)

Dans les eaux des aquifères superficiels, une source possible de baryum est la dissolution de la barytine, minéral assez fréquent. Il est réputé insoluble, mais ce n'est là qu'une approximation : en fait il n'est que très peu soluble (quelques mg/l). Malgré cette faible solubilité, les concentrations dans les eaux peuvent atteindre et dépasser 1 mg/l, lorsque les concentrations des eaux en sulfates sont faibles, et ne dépassent pas quelques mg/l. En effet la dissolution de barytine se traduit en fait par une relation entre les concentrations (en mol/l) en sulfates et en baryum du type :

$$(\text{Ba}^{2+}).(\text{SO}_4^{2-}) < 10^{-10}$$

Ainsi dans le cas de l'aquifère du Trias en l'Ardèche, on a pu montrer une relation inverse entre baryum et sulfates : les eaux les moins sulfatées sont les plus riches en Baryum.

Cette présence de barytine dans la matrice se traduit près de l'affleurement, dans le cas d'aquifères superficiels, par de fortes valeurs en baryum dans les sols (1000 mg/kg ou plus). A une échelle de quelques kilomètres carrés, il y a alors une relation positive entre les teneurs en baryum des sols, et les concentrations dans les eaux des nappes phréatiques correspondantes (rapport BRGM R 38721).

2.2.3 Sursaturation des eaux en barytine :

Dans d'autres cas la sursaturation des eaux par rapport au sulfate de baryum ne peut être induite par la dissolution du minéral barytine, ce qui a conduit à invoquer d'autres processus d'acquisition de la minéralisation en profondeur.

Certains des exemples signalés correspondent à des nappes aquifères, associées à des zones de vallées hydromorphes. Les eaux ne contiennent que peu ou pas de nitrates, mais des traces de NH_4 . Ces caractères sont le signe d'une réduction bactérienne. Les sulfates ont été eux-mêmes détruits partiellement (les concentrations relevées sont de l'ordre de 5 mg/l), ce qui favorise le passage en solution du baryum. Dans ce dernier cas, la sursaturation pourrait s'interpréter comme le résultat d'un *mélange* d'eaux désulfatées en milieu réducteur (hydromorphe), ayant pu se charger en Ba, et d'eaux d'origine météorique normale, plus ou moins sulfatée.

L'origine de Ba n'a pas été déterminée, mais on ne peut écarter l'hypothèse d'une altération de silicates (ou échange avec des argiles) ; la sursaturation correspondrait à une tendance à la précipitation de BaSO_4 . Un cas similaire a été observé avec présence de suspensions blanchâtres dans une source (rapport BRGM R-39544) ; le prélèvement filtré à 0.45 μ , montre encore une légère sursaturation (+ 0.11) par rapport à la barytine.

2.2.4 Localisation d'eaux à baryum en relation avec les précipitations :

D'une manière générale, les eaux susceptibles de contenir des concentrations importantes en baryum sont en principe des eaux *peu sulfatées*, à des concentrations ne dépassant pas quelques mg/l (cf. supra). Or les aquifères sont rechargés par les pluies, et en dehors de toute pollution anthropique, les eaux les moins riches en sulfates sont celles qui sont éloignées des influences maritimes atlantiques, pourvoyeuses de sulfates : l'Est de la France, les zones de montagne, le bord de la Méditerranée. C'est là que sont susceptibles de se trouver les concentrations les plus fortes en baryum (*a contrario*, la contamination des pluies par les sulfates d'origine anthropique, tend à empêcher l'occurrence de fortes valeurs en Ba).

Un tel mécanisme pourrait être à l'origine des concentrations supérieures à 1 mg/l dans des eaux du Trias de l'Ardèche. Il est probable que les régions du Morvan et des Vosges - et par extension du pourtour du Massif Central -, dont le sous-sol contient fréquemment de la barytine, et qui sont relativement éloignées des influences atlantiques et des aérosols sulfatés, puissent présenter des eaux à teneurs élevées en Baryum.

2.2.5 Fréquence des occurrences d'eaux à baryum

D'après les données disponibles, il apparaît qu'environ 10 % des points d'eau souterraine échantillonnés jusqu'à présent en terrains cristallins et leurs marges sédimentaires, dépassent la limite de qualité de 100 µg/l.

Des concentrations en baryum supérieures à cette valeur ne sont donc pas exceptionnelles. Elles ont notamment été rencontrées sur plusieurs sites dans les départements de l'Ardèche, du Puy-de-Dôme, de la Haute-Loire, du Bas-Rhin (rapports BRGM : R-38721, R-39544, R-40388, RP-51093). Et dans chacun de ces cas, qui concernent des captages AEP, aucune évidence de contamination liée à des activités humaines n'a pu être mise en évidence.

Cette proportion doit être bien plus grande encore dans des régions de terrains sédimentaires contenant du sulfate de baryum, situées loin des côtes atlantiques et où les précipitations météoriques sont faiblement sulfatées (ce pourrait être le cas du Trias du Morvan, par exemple).

3. Cas du captage de Crôt-Chaud

Des analyses chimiques détaillées ont été réalisées de 1992 à 2001 sur le captage de Crôt-Chaud. Elles sont récapitulées dans le tableau 1. Il apparaît que le baryum a été rarement dosé avec les autres éléments. On ne dispose ainsi de valeurs pour le couple sulfates et baryum que sur deux analyses, l'une de 1992, l'autre de 1993.

3.1 REMARQUES SUR LA COMPOSITION DES EAUX CAPTEES

D'une manière générale, les eaux montrent de *légères* traces de pollutions qui peuvent être imputables aux activités humaines, en des concentrations qui restent compatibles avec les exigences de la réglementation. Les analyses ont en effet détecté :

- des concentrations en *nitrates* systématiquement de l'ordre de 25 mg/l ; celles en phosphore (environ 0,3 mg/l de P exprimé en P₂O₅) sont élevées par rapport à ce que l'on rencontre en général dans les eaux souterraines, et la question d'une origine « biologique » se pose aussi pour ce paramètre (engrais ? assainissement ?),
- des traces de *métaux lourds* cadmium (0,3 à 0,5 µg/l), plomb (6 à 9 µg/l), zinc (180 à 500 µg/l) dans les analyses de 1992 et 1994,
- des traces de *xénobiotiques* : hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP), pesticides (atrazine) jusqu'en 1993.

Toutes choses égales, ces légères traces de contamination semblent un peu plus marquées l'été ou en début d'automne : turbidité, plomb, cadmium, pesticides (1992), plomb et cadmium (1994).

Si cette tendance était avérée, ce pourrait être le signe que le captage est susceptible de collecter aussi une part d'eau de subsurface, par ruissellement par drainage ou par surverse, dans des conditions hydrauliques particulières de l'été (orages) ou d'automne (baisse relative de la charge hydraulique de l'aquifère profond du fait de sécheresse ou d'intensité de l'exploitation).

Il convient de noter ici que l'hydrogéologue agréé a préconisé une limitation de l'exploitation de sorte que la charge piézométrique dans le captage – et dans l'aquifère-limite voire empêche l'incursion d'eaux de faible profondeur éventuellement polluées.

De fait, la baisse significative des concentrations en éléments indésirables constatée depuis que ces recommandations ont été formulées pourrait être consécutive à leur mise en pratique.

Dans cette hypothèse, les analyses les mieux représentatives de la composition de l'aquifère profond seraient celles faites en période de hautes piézométries dans la chambre de pompage et/ou de faibles concentrations en polluants liés aux activités humaines de surface.

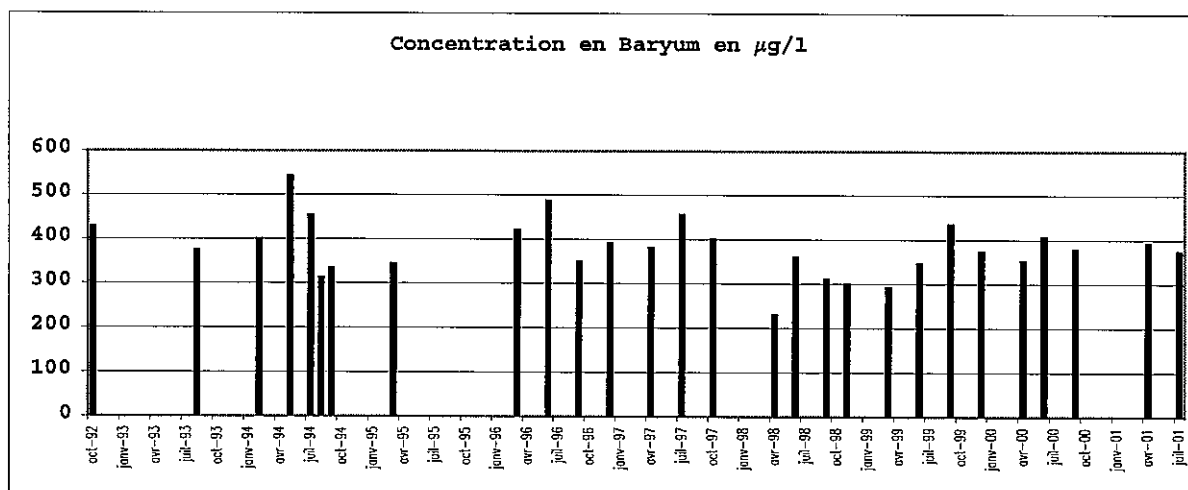
*Origine des concentrations en baryum dissous dans les eaux du captage de Crôt-Chaud,
Saint-Bonnet-Tronçais (Allier)*

Paramètres analysés	Dates d'analyse												
	1992		1993	1994		1995		1996	1997	1998	1999	2000	2001
	22/04	16/09	08/11	24/05	12/10	22/03	11/10	20/03	14/05	23/09	29/09	12/04	07/03
Eléments majeurs	xxx	xxx	xxx	xxx			xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Aluminium	xxx	xxx	xxx	xxx			xxx	xxx	xxx		xxx		xxx
Fer ferreux	xxx	xxx	xxx	xxx									
Fer total							xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Manganèse	xxx	xxx	xxx	xxx			xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Arsenic	xxx	xxx							xxx				xxx
Baryum		xxx	xxx		xxx	xxx							
Cadmium	xxx	xxx		xxx	xxx	xxx		xxx		xxx		xxx	
Chrome total	xxx	xxx							xxx				xxx
Cuivre	xxx	xxx	xxx	xxx			xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Cyanures	xxx	xxx							xxx				xxx
Mercure	xxx	xxx							xxx				xxx
Sélénium	xxx	xxx							xxx				xxx
Plomb	xxx	xxx		xxx	xxx	xxx		xxx		xxx		xxx	
Zinc	xxx	xxx	xxx	xxx			xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Fluor	xxx	xxx	xxx	xxx			xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Benzo(a)pyrène	xxx	xxx		xxx	xxx			xxx		xxx		xxx	
Hydr. Poly. Arom. (HAP)	xxx	xxx		xxx	xxx			xxx		xxx		xxx	
Substances Extract. Chlorof.				xxx	xxx								
Chloroforme	xxx	xxx		xxx	xxx	xxx	xxx		xxxx				xxx
Bromoforme	xxx	xxx		xxx	xxx	xxx	xxx		xxx				xxx
Chlorodibro Mométhane	xxx	xxx		xxx	xxx	xxx	xxx		xxx				xxx
Dichloromono Bromométhane	xxx	xxx		xxx	xxx	xxx	xxx		xxx				xxx
Trichloroéthane - 1,1,1	xxx	xxx			xxx		xxx		xxx				xxx
Tétrachloroéthane -1,1,2,2	xxx	xxx			xxx		xxx		xxx				xxx
Tétrachlorure de carbone	xxx	xxx			xxx		xxx		xxx				xxx
Atrazine	xxx	xxx	xxx				xxx		xxx				xxx
Simazine	xxx	xxx	xxx				xxx		xxx				xxx
Propazine													xxx

Tab. 1 – Inventaire des analyses multi-éléments effectuées sur le captage de Crôt-Chaud

3.2 LE CAS DU BARYUM

Un suivi des concentrations en baryum a été effectué depuis 1994. La moyenne est de 375 $\mu\text{g/l}$ avec un maximum, en début de chronique de 542 $\mu\text{g/l}$ et un minimum de 230 $\mu\text{g/l}$. Les résultats sont portés dans le graphique ci-dessous.



Une part des fluctuations peut être imputée aux imprécisions analytiques, mais il y a sans doute un autre phénomène. En effet, les concentrations mesurées varient autour de 360 $\mu\text{g/l}$ à 50 % près (230 $\mu\text{g/l}$ à 540 $\mu\text{g/l}$). Une telle variation de 50 % est supérieure à celle que fournissent habituellement les laboratoires d'analyse. Dans le cas de fluctuations similaires, non pas pour le baryum mais pour un autre élément en traces, le sélénium, l'explication avancée a été une origine mixte des eaux produites par les captages. Selon les importances respectives des différentes composantes, qui seraient plus ou moins chargées en éléments en traces, la concentration dans l'eau de ces derniers serait susceptible de fluctuer, de façon saisonnière ou non (rapport BRGM R 40114).

En ce qui concerne l'origine du baryum lui-même, deux hypothèses sont également soutenables ; elles sont discutées ci-dessous.

3.2.1 Hypothèse 1 : présence de sulfate de baryum naturel (barytine)

On dispose de *dosages en baryum* sur les sédiments de vallée, effectués dans le cadre de l'Inventaire géochimique de la France (rapport technique n° 31). Deux des prélèvements ont été faits à 100 ou 200 m à l'est du captage de Crôt-Chaud, à la confluence de deux vallons, un peu un contrebas de la route départementale 953. Les mesures sont de 676 et 778 mg/kg. Ces concentrations sont communes, les médianes

des valeurs en baryum pour ce type d'échantillonnage étant de l'ordre de 600 mg/kg (rapport BRGM R 50888). Rien n'indique donc la présence de sulfate de baryum dans les roches environnantes, à l'amont hydraulique de Crôt-Chaud : une telle présence devrait se traduire par des valeurs beaucoup plus fortes.

Cependant, et d'une façon générale, la barytine est connue en quantités notables dans le Trias de la bordure nord du Massif central, à l'ouest d'Ainay-le-Château : La Rochaille, Chateameillant, St Christophe (cartes des gîtes minéraux au 1/500.000^e de Lyon et Strasbourg). En dehors de ces trois sites, des teneurs relativement fortes en baryum ont été relevées non loin de Crôt-Chaud, à 3 km à l'ouest de Saint-Bonnet-Tronçais (lieu-dit « La Mimonerie »), dans les alluvions des cours d'eau : 1000 mg/kg et plus. En conséquence, on ne peut écarter l'hypothèse qu'il existe des traces de barytine dans les roches du secteur :

- soit, leur concentration est trop faible pour influencer la géochimie des alluvions,
- soit, la roche-réservoir a des concentrations plus élevées que ne le laissent paraître la géologie de surface et l'environnement proche du captage.

3.2.2 Hypothèse 2 : altération des silicates

L'altération de silicates (ou l'interaction avec des argiles), qui contiennent tous plus ou moins de baryum, sont à même de conduire à des concentrations sensibles en baryum dans les eaux.

Au moyen d'un code de calcul classique (en l'occurrence, le code EQ3 du Lawrence Livermore Laboratory en Californie ; Wolery, 1992), qui tient compte non seulement du baryum et des sulfates mais aussi de tous les autres éléments, nous avons calculé la solubilité *théorique* du baryum dans une eau dont la composition est celle de Crôt-Chaud. Pour ce faire, on a utilisé l'analyse en date du 16/09/1992, car elle comporte les dosages simultanés du baryum et des sulfates ; l'analyse du 08/11/1993 donne par ailleurs des valeurs très similaires.

Le résultat est de 145 µg/l, ce qui est sensiblement inférieur aux valeurs de 230 à 540 µg/l qui ont été mesurées. Ceci confirme cependant que les eaux de Crôt-Chaud présentent des valeurs très nettement au-dessus des concentrations moyennes en baryum dans les eaux (soit environ 10 µg/l), et supérieure également à la valeur-guide figurant dans la circulaire du 24 juillet 1989 (soit 100 µg/l). Une des raisons de cette concentration élevée est la relative *faiblesse des sulfates* (environ 10-13 mg/l pour la plupart des mesures), qui autorise des quantités en baryum dans l'eau relativement élevées.

3.2.3 Conclusion

Ainsi, parmi les processus responsables de la sursaturation des eaux par rapport au sulfate de baryum, aucun schéma ne peut être privilégié, en l'état actuel des données pour les eaux alimentant le captage de Crôt-Chaud.

En revanche, il doit être pris en compte que :

- Aucune activité humaine de surface ou souterraine, ancienne ou récente, dans un périmètre proche ou éloigné de la source, n'a été identifiée ni incriminée comme un responsable présumé d'un apport anthropique et polluant de baryum,
- Au sein de la liste des conditions géologiques et hydrogéologiques mentionnées dans la littérature comme pourvoyeurs potentiels de concentrations élevées en baryum dans les eaux, plusieurs d'entre elles paraissent s'appliquer à l'environnement de l'aquifère alimentant la source de Crôt-Chaud. Prises séparément ou dans leur ensemble, elles constituent autant de conditions suffisantes pour que la concentration en baryum des eaux du captage, acquise en profondeur, soit supérieure à celle des eaux de surface ou des captages environnants.

3.3 BILAN

L'analyse et l'exploitation de tous les éléments mis à disposition ou rassemblés à la faveur de l'enquête publique n'ont fourni aucun indice permettant d'envisager que la concentration en baryum puisse être - ou avoir été- imputable à des rejets dans les eaux de surface ou à une quelconque activité humaine.

Si la preuve scientifique de la minéralisation des eaux de Crôt-Chaud ne peut être apportée sur la base des données disponibles, en revanche les conditions géologique et hydrogéologique de ce captage sont suffisantes pour rendre plausible et probable un enrichissement en baryum des eaux dans des conditions tout à fait naturelles.

En effet, sur la base des données mises à disposition, le captage de Crôt-chaud serait issu de la configuration hydrogéologique suivante :

- un aquifère profond en charge, naturellement artésien, au sein des formations triasiques et leurs éventuels produits d'altération ; la composition chimique de cet aquifère serait représentative de la géologie de la frange nord du Massif Central. Ceci quels que soient le lieu et la nature des processus d'échange entre l'eau et la roche, la minéralisation résultante avant émergence serait de l'ordre de l'ordre de 300 à 500 µg/l de baryum dissous,
- des variations constatées de la composition des eaux exploitées, au fil du temps, seraient principalement imputables au degré de mélange, près de l'émergence, entre cet aquifère en charge situé vers 8 mètres de profondeur d'une part et les eaux de surface ou les éventuelles nappes libres dans ce secteur d'autre part. L'effet de cette dilution se matérialisant par :

- la présence -ou des traces- d'éléments indésirables classiques ou typiques d'une activité agricole à proximité (engrais, pesticides, turbidité),
 - une modification des concentrations des éléments représentatifs de la minéralisation profonde ; selon les éléments ou les associations d'éléments considérés cette introduction d'eau plus superficielle se traduisant par des baisses de concentration de certains éléments (effet de dilution) ou par des augmentations des concentrations d'autres (modification des phases minérales),
- les conditions hydrologiques les plus favorables à cette dilution par introduction d'eaux plus superficielles sont rencontrées lorsque la charge hydraulique de l'aquifère profond devient inférieure à celle des aquifères superficiels environnants. Ce cas de figure a pu survenir chaque fois que le pompage dans le puits de production a provoqué un rabattement excessif du niveau piézométrique.

4. Conclusion

Les concentrations de l'ordre de 400 µg/l en baryum trouvées dans la source de Crôt-Chaud sont élevées, probablement originaires de la roche-réservoir, et probablement liées à la faiblesse de concentrations en sulfates (10-13 mg/l) des eaux.

De telles concentrations en baryum dans les eaux captées ne sont pas exceptionnelles, Et ce, en l'absence de contamination liée à des activités humaines. En conséquence, bien que *l'origine naturelle* des concentrations en baryum relevées à Crôt-Chaud ne puisse être totalement démontrée, c'est l'hypothèse la plus plausible en l'état actuel des données locales, et des connaissances régionales ou nationales et aussi par défaut d'argument susceptible de soutenir une autre hypothèse.

Le schéma hydrogéologique qui correspond à une telle situation n'est pas exceptionnel : un aquifère en charge, plus minéralisé que les eaux de surface et peu exposé en raison de sa piézométrie près de la zone d'émergence à des mélanges avec celles-ci.

Les variations périodiques des concentrations des différents éléments chimiques dissous, comme la présence chronique ou occasionnelle d'éléments indésirables, seraient dans ce schéma le témoin d'incursion d'eaux plus superficielles (et moins protégées) dans le système mis en place pour exploiter l'aquifère le plus profond et le moins protégé.

L'avis technique exprimé en 1992 par l'hydrogéologue agréé, et qui recommande de conserver un niveau piézométrique suffisamment élevé, est un facteur de réduction des pollutions des eaux captées.

En revanche on ne peut pas attendre de ces précautions, destinées à limiter l'influence des eaux superficielles plus ou moins porteuses de pollution, qu'elles réduisent les concentrations en baryum constatées. En effet, dans le schéma hydrogéologique retenu, le mélange avec les eaux superficielles a pour effet d'abaisser la concentration en baryum de l'eau exploitée, puisque la concentration maximale est acquise au cours du transit souterrain dans les formations géologiques et jusqu'au droit du point de captage.

5. Références

- Barbier J., Chéry L. (1995) – Valorisation des données de l'inventaire géochimique pour l'identification des risques de teneurs élevées en métaux lourds dans les eaux. vol.1 : étude de faisabilité, 52 p ; vol.2 : Inventaire géochimique du territoire français : commentaires et explications pour une meilleure exploitation des données ; 25p. Rapport BRGM R38721.
- Barbier J., Chéry L. (1997) – Relation entre fond géochimique naturel et teneurs élevées en métaux lourds dans les eaux (antimoine, arsenic, baryum, chrome, nickel, plomb, zinc). Application (Auvergne et Limousin) et validation ; 47p. Rapport BRGM R39544.
- Barbier J., Chéry L. (1999) – Origine des éléments indésirables ou toxiques dans les eaux souterraines. Réalisation d'un inventaire national et essai d'identification de l'origine des teneurs anormales ; 62 p. Rapport BRGM R40388.
- Barbier J., Chéry L. (1999) – Origine des éléments indésirables ou toxiques dans les eaux souterraines. Réalisation d'un inventaire national et essai d'identification de l'origine des teneurs anormales ; 62 p. Rapport BRGM R40388.
- Barbier J., Piantone P. (2001)- Résidus de procédés thermiques : élaboration d'un référentiel ; 70 p. Rapport BRGM R50888.
- Blum A., Barbier J., Chéry L., Petelet-Giraud E. (2001) - Contribution à la caractérisation des états de référence géochimique des eaux souterraines. Outils et méthodologie" ; 232 p. Rapport BRGM R51093.
- Meybeck M. (1984) - Les fleuves et le cycle géochimique des éléments. Thèse, Univ. P.-M. Curie, Paris, pag. mult..
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS - 1994) - Directives de qualité pour l'eau de boisson. Deuxième édition. Vol.1 : recommandations. OMS, Genève, 02p.
- Puchelt H. (1972) - Baryum. *In* K. H. Wedepohl, Handbook of geochemistry, vol. II-3, pp. 56 B 1 - 56 O 2, Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, pag. mult.
- Vernoux J.F., Barbier J., Chéry L. (1998) – Les anomalies en sélénium dans les captages d'Ile de France (Essonne, Seine-et-Marne) ; 46p rapport BRGM R40114.
- Wedepohl K. H. (1972) - Handbook of Geochemistry, vol. 1-III, Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, pag. mult.
- Wolery T. J. (1992) - EQ3NR, a Computer Program for Geochemical Aqueous Speciation-Solubility Calculations: Theoretical manual, User's Guide, and related Documentation. Lawrence Livermore Laboratory, UCRL-MA 110662 PTIII.

**BRGM
SAR
SGR/AUV**

222-224 Boulevard Gustave Flaubert – 63000 Clermont-Ferrand – France –Tél. : 33 (0)4 73 28 63 70