



Projet PRESCRIRE. Préserver et protéger les ressources en eau souterraine. Le site de Châteldon (63)

Rapport final
BRGM/RP-59878-FR
Novembre 2011

Projet PRESCRIRE. Préserver et protéger les ressources en eau souterraine. Le site de Châteldon (63)

Rapport final

BRGM/RP-59878-FR
Novembre 2011

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2011 PSP08AUV10

F. Prognon - A. Deguilhem - R. Millot
Avec la collaboration de
S. Leconte

Vérificateur :

Nom : P. Vigouroux

Date : 16/12/11

Approbateur :

Nom : P. Rocher

Date : 20/12/11

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.



Mots clés : Eau souterraine - Protection - Qualité - Ressource - Géologie - Embouteillage - Châteldon - Puy-de-Dôme

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : **Prognon F., Deguilhem A., Millot R.**, avec la collaboration de **Leconte S.** (2011) - Projet PRESCRIRE. Préserver et protéger les ressources en eau souterraine. Le site de Châteldon (63). Rapport final. BRGM/RP-59878-FR, 66 p., 35 ill., 2 ann.

© BRGM, 2011, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le projet PRESCRIRE, mis en œuvre à l'initiative du Commissariat à l'Aménagement, au Développement et à la Protection du Massif Central (DATAR), en relation avec les Agences de l'Eau Adour-Garonne, Loire-Bretagne et Rhône-Méditerranée & Corse, ainsi qu'avec le Conseil Régional de Bourgogne, est conduit par le Service Géologique Régional Auvergne du BRGM dans le cadre de ses missions de Service public.

Le projet PRESCRIRE, inscrit dans la logique de la Directive Cadre sur l'Eau, a pour objet de mener une réflexion sur les notions de **préservation de la qualité des ressources en eau souterraine** et de **protection des gisements**. Orienté sur une vingtaine d'études de cas (appelés sites « test »), le projet vise à l'édition, en fin de projet, d'un guide méthodologique sur ce sujet.

Chaque site « test » est partenaire du projet au sens technique et financier. Il apporte, selon ses propres caractéristiques, une composante à la réflexion qui est menée. L'objectif est de montrer et faire comprendre par l'exemple (celui du site « test » étudié) l'importance relative de telle ou telle action lorsqu'il est question de préserver la qualité des ressources et de protéger les gisements.

Le présent rapport concerne le site « test » de Châteldon (63) pour lequel les deux composantes importantes suivantes ont été apportées à la réflexion : l'étude des processus d'altération en contexte granitique et l'utilisation des isotopes stables de l'eau.

L'exemple du site « test » de Châteldon a montré que l'étude des processus d'altération du granite, ainsi que l'analyse des isotopes stables de l'eau ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ et $2\text{H}/1\text{H}$) complètent de manière significative la compréhension du contexte hydrogéologique local. Les techniques utilisées ont permis, en effet, de cartographier les secteurs altérés susceptibles de favoriser des circulations d'eau superficielle vers les captages exploités. L'attention est ainsi portée sur des secteurs sensibles, à surveiller quant aux activités qui s'y exercent pour en conserver une bonne protection. Les méthodes isotopiques utilisées ont permis quant à elles d'avoir accès à de premiers éléments pour la caractérisation du secteur de l'impluvium. La réflexion mérite d'être poursuivie mais ces premiers éléments sont d'ores et déjà des pistes intéressantes pour guider la démarche.

L'exemple du site « test » de Châteldon permet de conclure que les techniques d'analyse des processus d'altération en contexte granitique et d'analyse des isotopes stables de l'eau constituent des outils pertinents pour renforcer de manière significative la connaissance d'un gisement. De tels outils méritent d'être retenus au titre des finalités méthodologiques du projet PRESCRIRE.

Il est recommandé pour le site de Châteldon de se soucier de l'évolution des activités anthropiques sur les zones d'altération situées à proximité des ouvrages de captage et d'améliorer la délimitation des zones de recharge de l'eau minérale exploitée afin d'agir pour protéger le gisement dans le secteur de l'impluvium, mal défini au stade actuel.

Sommaire

1. Avant-propos : le projet PRESCRIRE	9
1.1. CONTEXTE GENERAL DU PROJET	9
1.2. CONTEXTE PARTENARIAL DU PROJET	9
1.3. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE DU PROJET	10
1.4. APPROCHE THEORIQUE DE LA NOTION DE PROTECTION	11
1.5. ETUDE DU SITE « TEST » : MODALITES PRATIQUES	12
2. Site de Châteldon	13
2.1. PRESENTATION GENERALE DU SITE DE CHATELDON	13
2.1.1. Contexte géographique	13
2.1.2. Contexte économique	14
2.2. CONTEXTES GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE	15
2.2.1. Contexte géologique	15
2.2.2. Contexte hydrogéologique et circuit hydrominéral	22
2.3. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL	29
2.3.1. Données générales sur le secteur de Châteldon	29
2.3.2. Données générales sur la commune de Châteldon	34
2.4. COMMUNICATION/SENSIBILISATION	35
2.5. ASPECT REGLEMENTAIRE	35
2.5.1. Dans le secteur de Châteldon	35
2.5.2. Au niveau des émergences	39
3. Apport spécifique du site « test » étudié au projet PRESCRIRE	41
3.1. NOTION D'APPORT SPECIFIQUE	41
3.2. APPORT SPECIFIQUE DU SITE DE CHATELDON	42
3.2.1. Processus d'altération	42
3.2.2. Outils de la géochimie isotopique	46
3.3. DONNEES ACQUISES SUR LE SITE	48
3.3.1. Données relatives aux processus d'altération	48
3.3.2. Données relatives aux isotopes stables de l'eau	53

3.4. APPORT DU SITE « TEST » ETUDIE / RECOMMANDATIONS	54
4. Conclusion.....	55

Liste des illustrations

Illustration 1 : Carte de situation du territoire couvert par le projet PRESCRIRE.....	10
Illustration 2 : Schéma d'un gisement d'eau souterraine.....	11
Illustration 3 : Localisation de la commune de Châteldon	13
Illustration 4 : Carte de situation du site de Châteldon	14
Illustration 5 : Carte de situation des différentes structures du site de Châteldon	15
Illustration 6 : A) Carte simplifiée du Massif Central français d'après Ledru et al., [1989] ; B) Localisation précise du site d'étude sur la carte géologique.....	17
Illustration 7 : Contexte géologique des environs de Châteldon (Antéa, 1995)	21
Illustration 8 : Coupe géologique synthétique du secteur de Châteldon (Perrisol,1998)	21
Illustration 9 : Captage Desbret (photo BRGM).....	23
Illustration 10 : Captage Vécou (photo BRGM)	24
Illustration 11 : Résultats de la campagne de prospection du CO ₂ dans le sol de 1992.....	24
Illustration 12 : Carte de situation des sources et des forages du site de Châteldon	25
Illustration 13 : Forages Postillon 1 (gauche) et Postillon 2 (droite, photos BRGM)	26
Illustration 14 : Physico-chimie du fluide exploité à Châteldon dans le diagramme de Piper	27
Illustration 15 : Composition physico-chimique des eaux de Châteldon (extraits des analyses de référence).....	28
Illustration 16 : Teneurs en Radium 226 et 228 des eaux de Châteldon	28
Illustration 17 : Occupation du sol du secteur de Châteldon	29
Illustration 18 : Stations d'épuration recensées dans le secteur de Châteldon.....	30
Illustration 19 : Installations classées des alentours de Châteldon	31
Illustration 20 : Localisation des sites BASIAS dans le secteur de Châteldon.....	32
Illustration 21 : Localisation de la concession minière d'uranium de Lachaux.....	33
Illustration 22 : Carte de zones de délimitation du patrimoine naturel dans le secteur de Châteldon.....	36
Illustration 23 : Zones de protection réglementaire dans le secteur de Châteldon	36
Illustration 24 : Périmètres de protection de captages d'eau dans le secteur de Châteldon.....	39
Illustration 25 : Situation administrative des captages Desbrest et Vécou.....	40

Illustration 26 : Modèle conceptuel des propriétés physiques des roches en contexte de socle altéré (Wyns, 1999).....	44
Illustration 27 : Développement de microfissures au voisinage des minéraux gonflants (biotite notamment).....	44
Illustration 28 : Aspect caractéristique de l'horizon fissuré dans un granite du Livradois (photo BRGM)	46
Illustration 29 : IRMS et ligne d'équilibration (à gauche) pour l'analyse des isotopes stables de la molécule d'eau (O et H)	47
Illustration 30 : Processus d'échanges isotopiques susceptibles d'affecter la signature isotopique (^{18}O , ^2H) de l'eau (d'après Clark et Fritz, 1997).....	48
Illustration 31 : Pointement de microgranite fissuré près de « Chez Gironde » (photo BRGM).....	49
Illustration 32 : Carte géologique modifiée de la zone d'étude	50
Illustration 33 : Détail du sable grossier à gros grain de quartz qui compose le dépôt cartographié en « e-g » (photo BRGM)	51
Illustration 34 : Résultats des mesures isotopiques de l'eau de Châteldon (captages Desbrest et Vécou).....	53
Illustration 35 : Diagramme $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ dans les eaux thermo-minérales du Massif Central (synthèse de Négrel et al., 2004)	53

Liste des annexes

Annexe 1. Eléments de bibliographie	57
Annexe 2. Légende de la carte géologique à 1/50 000 de Maringues	63

1. Avant-propos : le projet PRESCRIRE

1.1. CONTEXTE GENERAL DU PROJET

Le projet PRESCRIRE (Protection des Ressources en Eaux Souterraines. Connaissances et Recherches sur les Impluviums au Regard des Enjeux pour l'alimentation en eau potable et des retombées économiques dans le Massif Central) a pour objet de mener une réflexion sur les notions de préservation de la qualité des ressources en eau souterraine et de protection des gisements afin d'apporter des éléments d'appréciation quant aux actions à engager pour maintenir le bon état qualitatif de ressources en eau souterraine non altérées par des pollutions anthropiques.

Ce projet s'inscrit dans la logique de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) pour ce qui concerne le maintien du bon état des ressources en eau souterraine.

Le projet PRESCRIRE, qui se déroule sur la période 2010 à 2013, est orienté sur des études de cas (une vingtaine au total). Il vise à l'édition, en fin de projet, d'un guide méthodologique à usage des acteurs (exploitants, décideurs) en charge de promouvoir le développement durable de l'exploitation de ressources en eau souterraine de qualité.

1.2. CONTEXTE PARTENARIAL DU PROJET

Le projet PRESCRIRE a été initié par le Commissariat à l'Aménagement, au Développement et à la Protection du Massif Central (DATAR), en relation avec les Agences de l'Eau Adour-Garonne, Loire-Bretagne et Rhône-Méditerranée & Corse, ainsi qu'avec le Conseil Régional de Bourgogne. Il est mis en œuvre par le Service Géologique Régional Auvergne du BRGM, qui participe au financement du projet dans le cadre de ses missions de Service public (projet PSP08AUV10).

Outre ces partenariats institutionnels, le projet PRESCRIRE a proposé aux nombreux gestionnaires de sites à enjeu « eau souterraine » du Massif Central de s'engager dans la réflexion menée.

Plusieurs sites ont été volontaires pour apporter leur contribution à la démarche, dont le site de Châteldon, du groupe Roxane, qui constitue ainsi un partenaire à part entière du projet PRESCRIRE.

Chaque partenaire est sollicité pour apporter, selon les caractéristiques de son site, une composante majeure à la réflexion sur les notions de préservation de la ressource et de protection des gisements. Pour chaque site étudié, la réflexion est axée sur un thème technique spécifique, propre au contexte local.

Le projet vise à montrer et à faire comprendre par l'exemple (celui du site « test » étudié) pourquoi telle ou telle action engagée est importante à prendre en compte lorsque l'on veut agir pour préserver la qualité des ressources et protéger les gisements.

L'objectif du projet est de tirer parti de chacun des 20 cas étudiés que constituent les sites partenaires et de valoriser, en fin de projet, toutes les réflexions issues de ces études de cas afin de consolider, dans un guide méthodologique, l'expérience acquise.

Pour le site de Châteldon, la composante majeure apportée à la réflexion menée par le projet PRESCRIRE a été la caractérisation du contexte géologique à l'échelle locale, à l'aide, en particulier d'investigations de terrain permettant de préciser l'état d'altération des formations géologiques du secteur.

1.3. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE DU PROJET

Le projet PRESCRIRE concerne l'ensemble du Massif Central (au sens géologique du terme). Les entités suivantes sont ainsi impliquées, pour tout ou partie, dans le projet (cf. illustration 1) :

- 4 Agences de l'Eau : Adour-Garonne, Loire-Bretagne, Rhône-Méditerranée & Corse et Seine-Normandie ;
- 6 régions administratives : Auvergne, Bourgogne, Languedoc-Roussillon, Limousin, Midi-Pyrénées et Rhône-Alpes ;
- 22 départements : Allier, Ardèche, Aude, Aveyron, Cantal, Corrèze, Côte-d'Or, Creuse, Gard, Haute-Loire, Haute-Vienne, Hérault, Loire, Lot, Lozère, Nièvre, Puy-de-Dôme, Rhône, Saône-et-Loire, Tarn, Tarn-et-Garonne et Yonne.

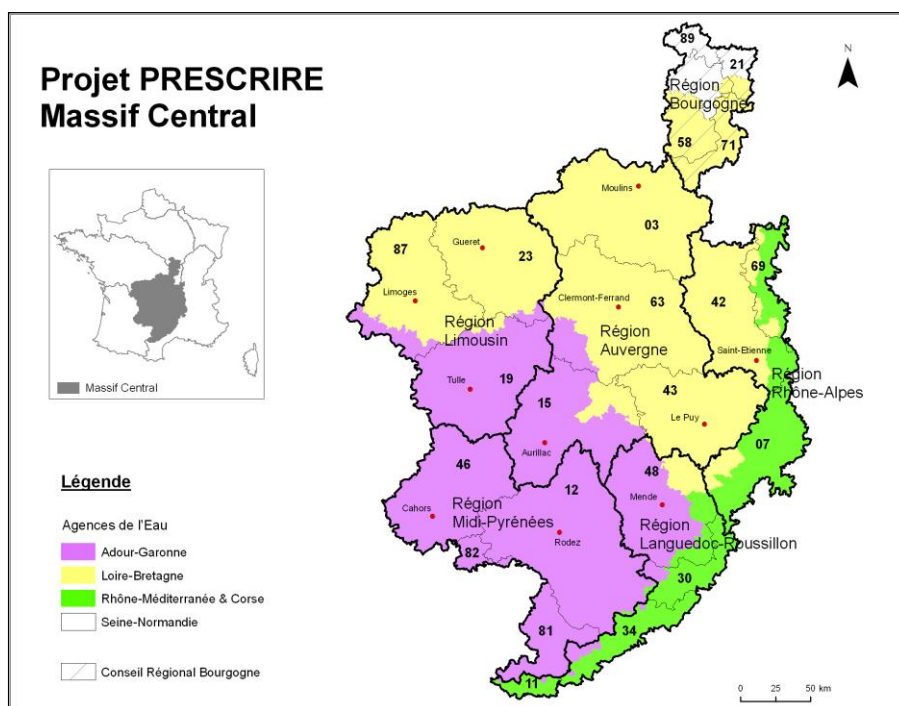


Illustration 1 : Carte de situation du territoire couvert par le projet PRESCRIRE

1.4. APPROCHE THEORIQUE DE LA NOTION DE PROTECTION

Les notions de préservation de la qualité d'une eau souterraine et de protection d'un gisement nécessitent de préciser d'une part le concept de gisement et d'autre part le principe de cycle d'une eau souterraine.

Un gisement d'eau souterraine est constitué par 3 secteurs distincts :

- l'impluvium, secteur où l'eau de pluie entre dans le système ;
- la zone de transit, secteur parcouru par l'eau qui s'est infiltrée, en souterrain, entre l'impluvium et la zone où cette eau est captée pour être utilisée ;
- la zone d'émergence, secteur de captage de l'eau souterraine pour un usage donné.

L'illustration 2 ci-après permet de visualiser cette notion de gisement. Le cycle d'une eau souterraine est le circuit suivi par la molécule d'eau de pluie depuis l'impluvium jusqu'à la zone d'émergence, en passant par la zone de transit.

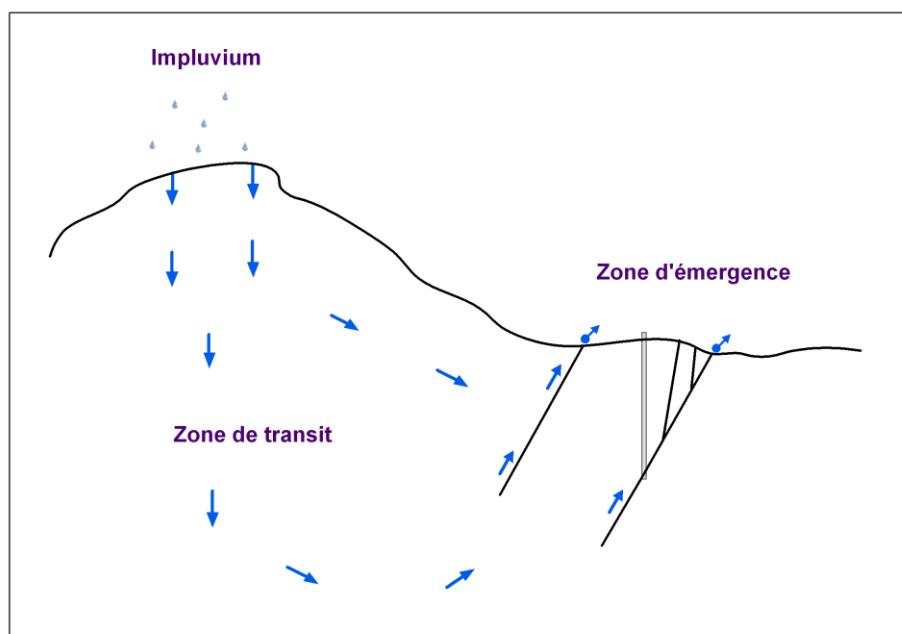


Illustration 2 : Schéma d'un gisement d'eau souterraine

Cette illustration n'est qu'un schéma et chacun des 3 secteurs ainsi représentés est nécessairement à relativiser d'un site à l'autre.

Il convient de relativiser, en particulier, la zone de transit selon que l'on est en présence d'une eau à minéralisation marquée, témoin de circulations longues et/ou profondes, ou d'une eau peu minéralisée, témoin de circulations rapides et/ou sub-superficielles. Pour les sites d'eau minérale, on parlera de circuit hydrominéral et pour les sites d'Alimentation en Eau Potable (AEP), on parlera tout simplement de circuit hydrogéologique.

Le raisonnement quant à la protection d'un gisement pourra être sensiblement distinct selon que l'on est en présence d'une zone de transit profonde ou plus superficielle.

Cependant, quel que soit le cas, la préservation de la qualité de l'eau et la protection d'un gisement en un site donné nécessitent de s'intéresser à l'ensemble du circuit que parcourt l'eau.

1.5. ETUDE DU SITE « TEST » : MODALITES PRATIQUES

Selon les dispositions retenues par le comité de pilotage du projet, le partenariat d'un site « test » avec le projet PRESCRIRE est acté par la signature d'une convention entre ce site et le BRGM, pour le compte du projet. La première étape de ce partenariat est une réunion de démarrage de l'étude du site concerné.

Pour le site de Châteldon, la réunion de démarrage du projet a eu lieu le 15 mars 2011. Cette réunion, et les concertations diverses qui ont suivi, ont permis de préciser les axes d'investigation spécifique à valoriser localement pour abonder la réflexion engagée par le projet. Les objectifs retenus pour les investigations complémentaires ont été d'une part la cartographie et l'appréciation du rôle relatif (aspect protection) joué par les altérations du granite au voisinage des zones d'émergence, et d'autre part une meilleure qualification du site sur le plan isotopique (isotopes de l'eau).

Suite à la réunion de cadrage évoquée ci-dessus, les actions suivantes ont été entreprises pour l'étude du site « test » de Châteldon :

- compilation et synthèse de l'ensemble des données disponibles concernant les divers domaines en lien avec le projet (géologie, hydrogéologie, occupation du sol, environnement, sensibilisation, réglementation) ;
- investigations géologiques de détail sur le terrain pour préciser le contexte local, notamment au niveau de l'altération et de la fracturation des formations géologiques, et le rôle potentiel joué par ces éléments dans le transit des eaux minérales du secteur ;
- analyses des isotopes stables de la molécule d'eau (H, O) et interprétation des résultats ;
- rédaction du rapport d'étude du site de Châteldon et présentation de l'analyse du site en réunion de restitution des résultats, notamment ceux liés aux analyses isotopiques et aux investigations géologiques de terrain.

Le présent rapport constitue le produit livré de l'étude du site de Châteldon réalisée dans le cadre du projet PRESCRIRE.

Après cet avant-propos, dont l'objectif est de préciser le contexte de réalisation de l'étude du site de Châteldon, les deux chapitres qui suivent sont, avant une conclusion générale, une présentation des données disponibles pour qualifier le site de Châteldon quant à la préservation de la ressource et la protection du gisement, puis une présentation des apports spécifiques du site de Châteldon au projet, compte tenu des investigations complémentaires qui ont pu être réalisées.

2. Site de Châteldon

2.1. PRESENTATION GENERALE DU SITE DE CHATELDON

2.1.1. Contexte géographique

La commune de Châteldon est située dans la partie nord du Massif Central, en région Auvergne et plus précisément au Nord-Est du département du Puy-de-Dôme (cf. illustration 3). Châteldon est situé sur le territoire de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne.

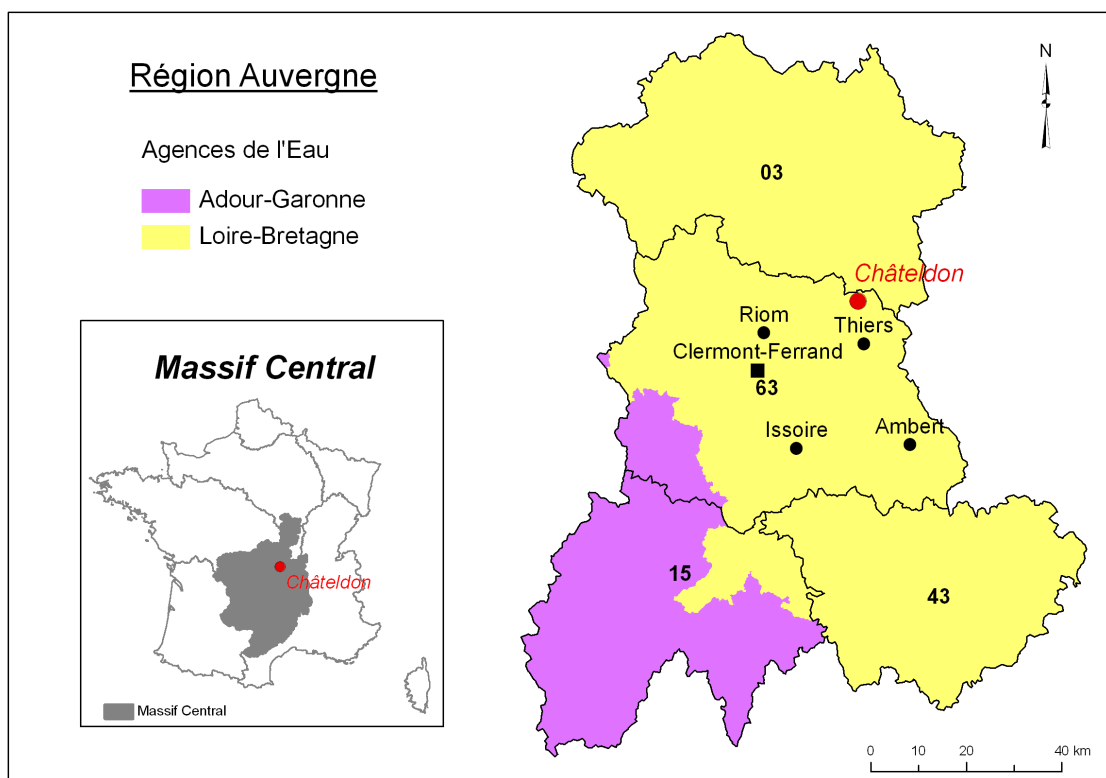


Illustration 3 : Localisation de la commune de Châteldon

Distant d'environ 20 km de Vichy et 40 km de Clermont-Ferrand, le village de Châteldon est chef-lieu de canton et rattaché à la communauté de communes « Entre Allier et Bois Noirs ».

La commune de Châteldon compte 760 habitants (valeur 2007) pour une superficie de 28,4 km² (soit 26,7 habitants par km²). L'activité concernée par le projet PRESCRIRE est située en rive droite du ruisseau le Vauziron, à 320 m d'altitude, dans un secteur qui bénéficie d'un climat à forte influence continentale.

2.1.2. Contexte économique

L'activité industrielle liée à l'eau souterraine est l'embouteillage de l'eau minérale naturelle gazeuse sous l'appellation « Châteldon ».

Le site d'embouteillage est situé sur la commune de Châteldon au lieu-dit La Fontaine (cf. illustrations 4 et 5). La Société Commerciale d'Eaux Minérales du Bassin de Vichy (SCBV) est propriétaire et gestionnaire du site depuis février 1983.

L'existence de la ressource en eau minérale est connue depuis longtemps à Châteldon. D'après les données existantes, cette eau était consommée à Versailles par Louis XIV au 17^{ème} siècle.

Cette eau, peu distribuée dans le commerce du fait du faible débit de la source, est considérée comme un produit haut de gamme réservé au domaine de la restauration.

La production annuelle s'élève à environ 3 millions de cols. L'eau est conditionnée sous forme de bouteilles en verre non consignées de 0,75 litre. La commercialisation s'effectue principalement en France et mais également au Japon.

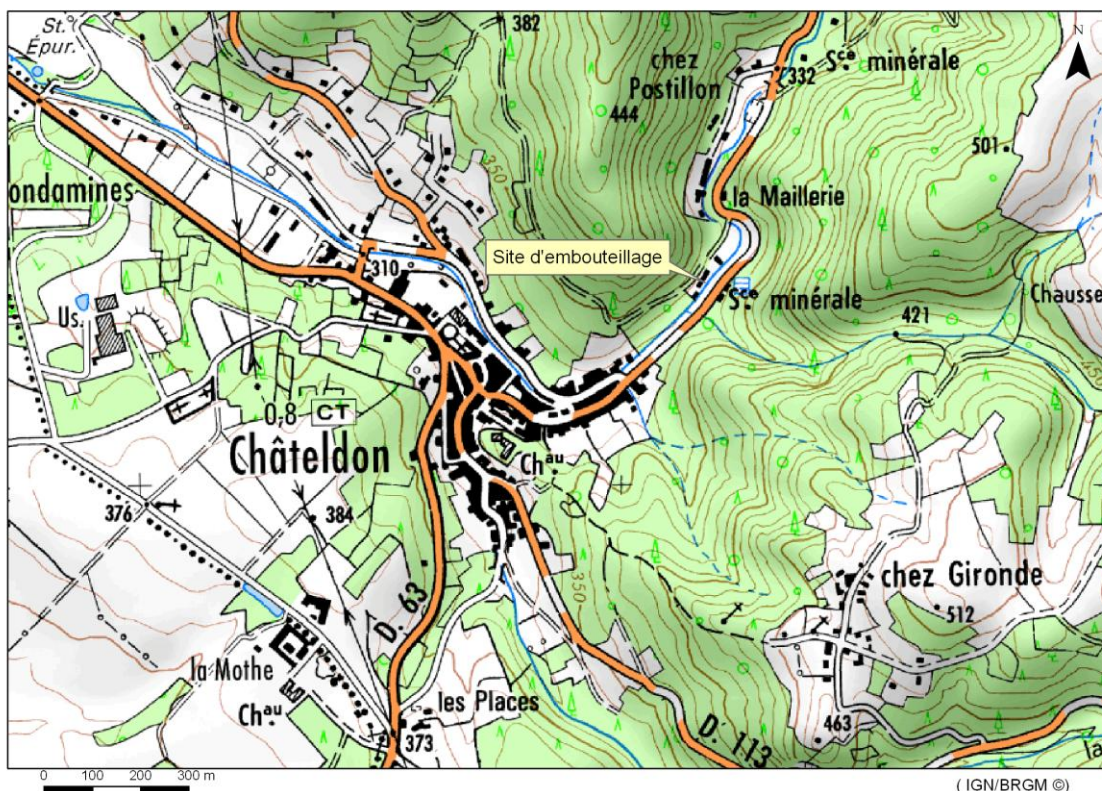


Illustration 4 : Carte de situation du site de Châteldon

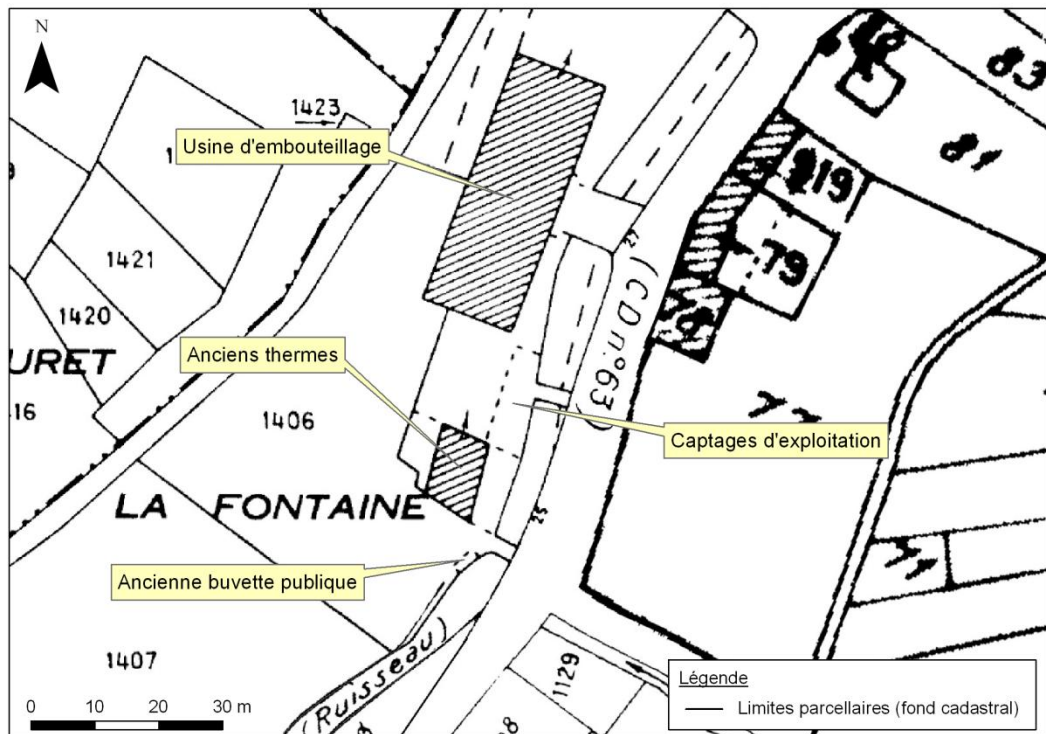


Illustration 5 : Carte de situation des différentes structures du site de Châteldon

2.2. CONTEXTES GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

2.2.1. Contexte géologique

a) Cadre géologique général

La région de Châteldon, se trouve dans la partie nord du Massif Central français, sur la carte géologique à 1/50 000 de Maringues (cf. illustration 6A). Elle se situe en limite de deux régions géologiques bien distinctes (cf. illustration 6B, la légende est présentée en annexe 2) :

- A l'Ouest, le bassin d'effondrement oligocène de la Limagne, comblé par les terrains sédimentaires. Sur la partie est, les formations détritiques d'âge éocène à oligocène (pays du Gore), très entaillées par l'érosion, confèrent au paysage une diversité de reliefs : surfaces d'érosion presque planes et intensément cultivées, séparées par des zones vallonnées et de profonds thalwegs aux versants couverts de prairies et de bois vers le Sud, et localement de vignes au Nord de Châteldon.
- A l'Est, la bordure occidentale des massifs schisto-granitiques de la Montagne Bourbonnaise, prolongement des Monts du Forez. Le plateau granitique et métamorphique est effondré vers l'Ouest, sa limite étant représentée par une falaise abrupte Nord-Sud d'origine tectonique. Un important réseau de failles le découpe.

b) Informations sur les terrains affleurants

γ^{2-3} : Granite à gros grain, riche en quartz et pauvre en biotite, tendance alcaline (type Bois Noirs)

Ce granite compose la majeure partie des roches cristallophylliennes de la zone d'étude. Limité à l'Ouest par la plaine de la Limagne, il s'étend vers l'Est en direction du versant sud des Bois Noirs. Le granite apparaît sur les plateaux en chaos rocheux ou en boules isolées.

Il se présente microscopiquement comme un granite leucocrate équi-granulaire à gros grain (5 à 10 mm), assez pauvre en micas noirs. Localement, il peut être marqué par une orientation cataclastique (Les Peux) ou avoir une tendance porphyroïde.

Sur la feuille de Maringues, le granite de Lachaux se présente en lame mince avec une structure largement grenue ; les quartz automorphes, limpides, sont en grandes plages, comme le feldspath sodi-potassique (microcline et/ou orthose) perthitique, abondant et toujours blanc ; le plagioclase est en gros cristaux subautomorphes, acide (An = 10 à 18), zoné et séricitisé, tandis que la biotite peu abondante (moins de 7 % du volume total) apparaît en grosses lamelles isolées, toujours chloritisée ; muscovite rare. Les minéraux accessoires reconnus sont : zircon, monazite, sphène, allanite, épidote, uraninite, thorite.

À l'Est de la faille du Sichon, ce même granite affleure vers Doyat, Les Genestes et au Sud-Ouest de Bigoutier. Il est le plus souvent affecté par une cataclase plus ou moins intense et comporte des faciès microgrenus en bordure. Il est aussi intrusif dans les roches du complexe andésitique qu'il métamorphose. Entre Vigier et Farillaud, une zone de mauvais affleurements de granite altéré à gros grains, non porphyroïde, clair, avec des passées à micas orientés, est peut-être à rattacher au granite de Doyat.

$\text{pp}\gamma 3$: Microgranite porphyrique en laccolite

Les microgranites porphyriques se présentent en gros filons (souvent plus de 100 m de puissance) ou corps laccolitique, dont l'orientation générale est sensiblement WSW-ENE. La roche est beige, grise ou rose, avec des phénocristaux de quartz, plagioclase, feldspath potassique et de la biotite dans une pâte microgrenue ou localement sphérolitique. Les microgranites résistent mieux à l'érosion météorique que le granite porphyroïde du Mayet-de-Montagne qu'il accompagne.

On le rencontre aussi aux environs de Châteldon où son état non rétro-morphosé (biotite en lamelles fraîches et pléochroïques) montre qu'il est postérieur au granite le plus jeune (Mayet-de-Montagne). Sa structure est microgrenue porphyroblastique. Le quartz en mosaïque et les plagioclases forment la mésostase. Les phénocristaux de taille moyenne sont : microcline et/ou orthose poecilitique, plagioclases séricitisés, quartz en cristaux automorphes, biotite fraîche.

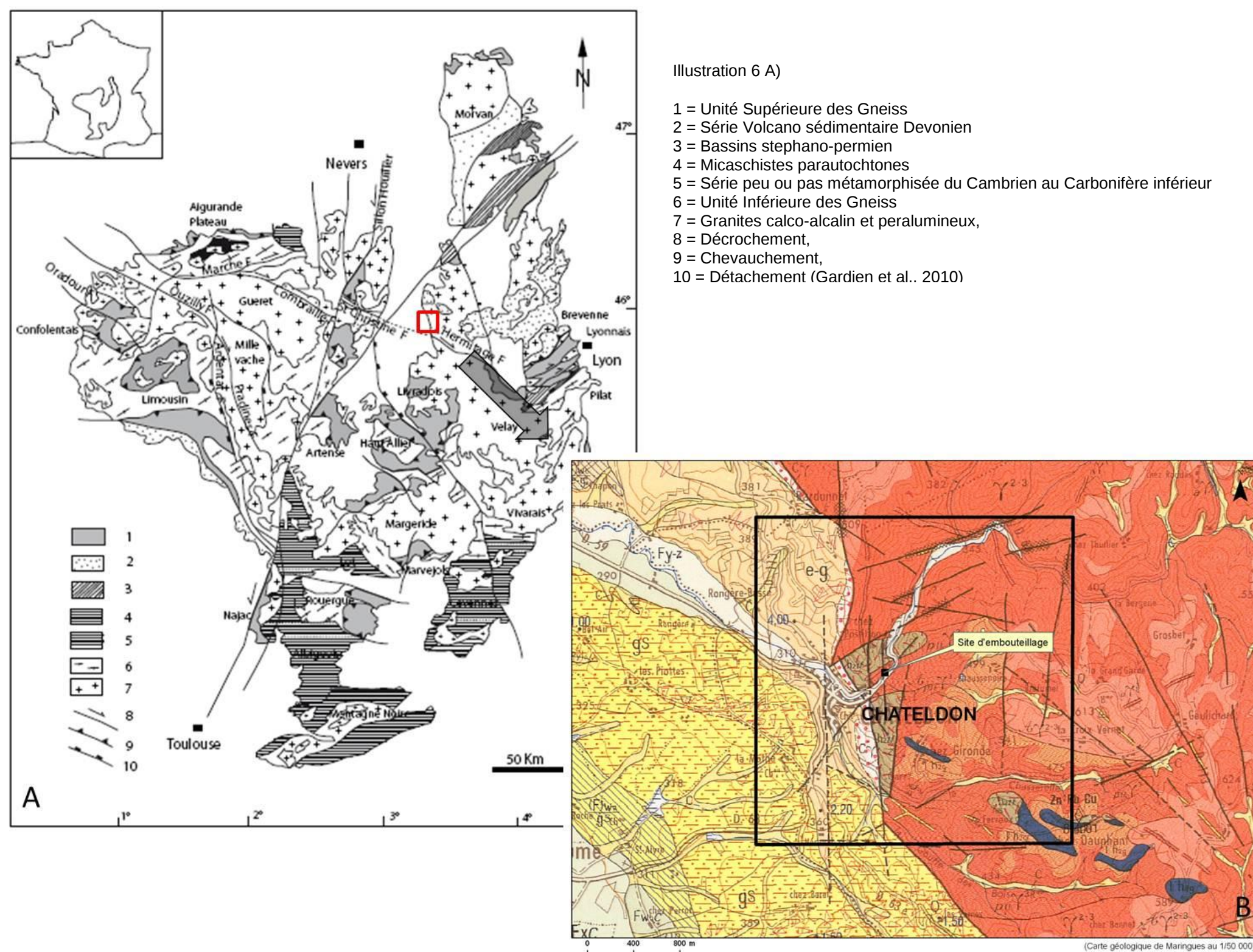


Illustration 6 : A) Carte simplifiée du Massif Central français d'après Ledru et al., [1989] ; B) Localisation précise du site d'étude sur la carte géologique

F2tf : Tufs rhyolitiques

On les rencontre à la sortie est de Châteldon, en limite du sédimentaire de Limagne. La tectonique et les intrusions granitiques isolent cette formation de celles qui lui sont antérieures et, en l'absence de niveaux sédimentaires, leur géométrie, sans stratification ni orientation, n'est pas connue. Ils constituent, dans le bassin de Ferrières, les niveaux supérieurs de l'ensemble viséen.

Ce sont des roches gris sombre, compactes, à grain fin, structure équante, riches en biotite. En lame mince, on distingue une mésostase cryptocristalline, finement grenue, quartzo-feldspathique, qui emballage des minéraux anguleux plus ou moins cassés et tordus, corrodés par la pâte, sans aucun classement ni orientation. Ce sont du quartz, des plagioclases (oligoclase-andésine) et plus rarement des feldspaths potassiques. La biotite est abondante, plus ou moins chloritisée. Au contact du granite à grain moyen ou fin, on observe au microscope, dans les tufs, une recristallisation de la biotite en agrégats de petits cristaux, chloritisés. Ces tufs indiquent un épisode volcanique acide à caractère explosif, daté du Viséen supérieur par les fossiles et la géochronologie des formations analogues du bassin de l'Ardoisière (feuille de Vichy).

F h.g : Grès micacés à biotite et cordiérite. Lambeau de Châteldon

Proche de « Chez Dauphant » affleurent quelques faciès gréseux et silto-gréseux. Ces roches subissent un métamorphisme de contact qui les transforme localement en grès à cordiérite et biotite et schistes tachetés.

e-g : Argiles et sables quartzo-feldspathiques bariolés rouges et verts, localement conglomératiques, d'âge éocène à oligocène (partie inférieure), en place ou faiblement remaniés

Cette formation représente la plus ancienne connue du remplissage tertiaire des Limagnes et de la plupart des bassins similaires du Massif Central. Elle est observable sur de grandes surfaces sur les bordures orientales et méridionales où des mouvements de surrection postérieurs à leur dépôt ont provoqué leur mise à nu. Sur les bordures occidentales, elle n'apparaît qu'au niveau de petits bassins annexes (Ébreuil, Combronde, Saint-Agoulin, Châtelguyon). Les forages exécutés dans le bassin ont montré sa quasi-permanence à la base des séries de Limagne.

L'ensemble détritique bariolé est constitué d'une alternance d'argiles, de sables argileux et de sables conglomératiques. À Néraval (Châteldon), les galets sont constitués par du quartz, granite, microgranite, tufs, rhyolite, lydienne, schistes tachetés, provenant du socle paléozoïque avoisinant. Une observation similaire est faite à Mariol, au Bois-de-la-Vaure et aux Narces (Les Bregères). L'analyse minéralogique de matériaux argileux révèle pour la fraction grossière la présence de quartz et de feldspaths potassiques en faible proportion. La fraction argileuse est constituée par un mélange à kaolinite dominante associée à de l'illite.

L'allure et la composition des strates laissent suggérer une origine à dominante fluviale. On ne peut toutefois exclure la présence de dépôts aériens. Les horizons à dominante argileuse, dont la sédimentation résulte essentiellement de processus de décantation, pourraient avoir une origine lacustre. L'âge de la mise en place est difficile

à établir en l'absence d'intercalations carbonatées lacustres fossilifères dans ces zones d'affleurements.

L'étude régionale permet toutefois de penser qu'elle a débuté au cours de l'Éocène, époque probable de développement des altérites (Sidérolithique), et qu'elle s'est localement poursuivie au cours de l'Oligocène basal.

g S : Alternance de sables fins et grossiers et d'argiles sableuses généralement très peu évolués ; les particules sableuses sont constituées de quartz et d'abondants feldspaths

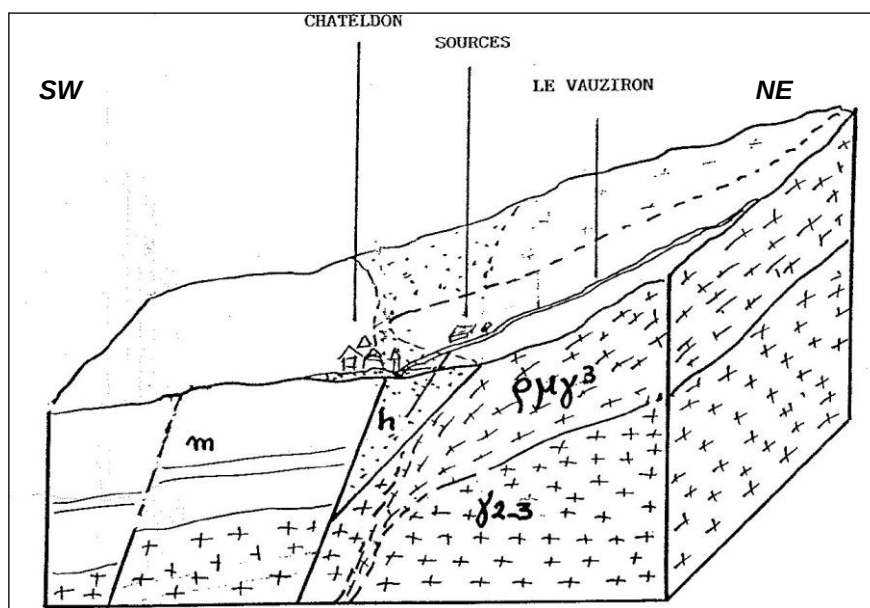
Les teintes varient du gris au vert. L'allure des stratifications laisse suggérer une origine fluviatile à fluvio-lacustre. La fraction argileuse est constituée d'un mélange variable de kaolinite, illite et smectites.

Les données présentées dans les paragraphes a) et b) sont issues de la carte géologique à 1/50 000 de Maringues (feuille 670). Les levés et les tracés géologiques, qui ont permis la réalisation de cette carte, ont été effectués au cours de l'année 1974. Or, les recherches développées au BRGM depuis la fin des années 1990, sur les propriétés physiques acquises par les roches de socle au cours de l'altération météorique, ont montré les effets des processus d'altération sur les différents types de roches. En effet, l'altération se manifeste par des modifications importantes des propriétés des roches : propriétés mécaniques, mais aussi et surtout propriétés hydrodynamiques, qui vont conditionner en premier lieu le comportement hydrogéologique de ces formations.

C'est pourquoi il a été décidé de consacrer une partie des investigations complémentaires, prévues dans le cadre de ce projet, à l'amélioration de la connaissance du contexte géologique du secteur de Châteldon. La reconnaissance géologique a porté tout particulièrement sur l'altération des roches de socle, le territoire de Châteldon reposant en grande partie sur des formations de socle plutonique et métamorphique. Les conclusions de ce travail sont présentées dans le chapitre 3 du présent rapport.

c) Echelle locale

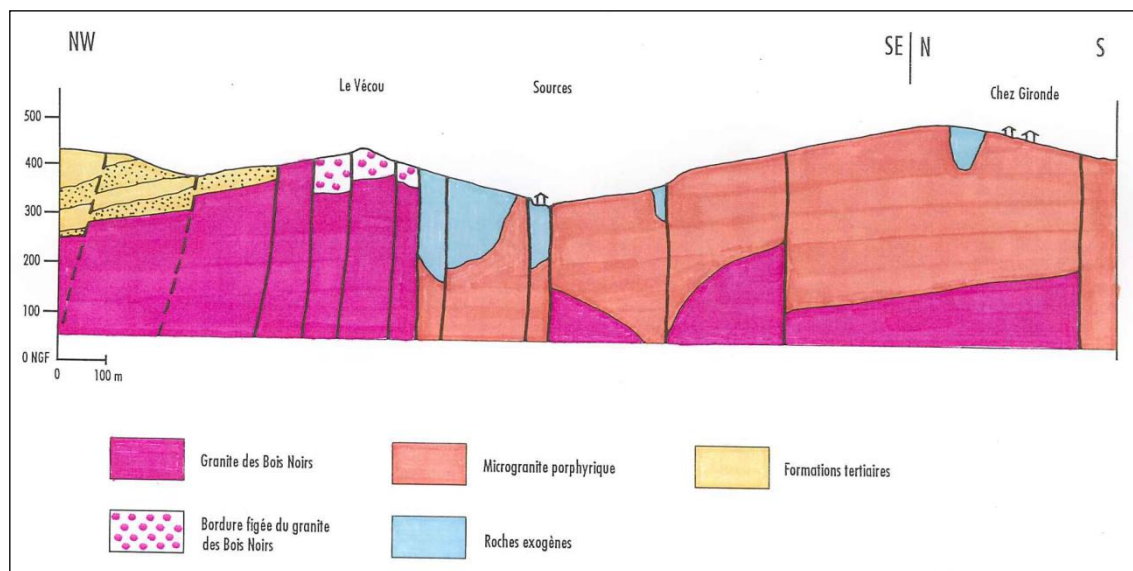
Au niveau du site de Châteldon, les terrains affleurant dominants sont des microgranites fracturés. Le site d'embouteillage est situé dans une enclave de terrains métamorphisés, essentiellement des cornéennes (roches issues du métamorphisme d'anciens calcaires plus ou moins marneux). Les rares travaux effectués au niveau du site d'embouteillage ont permis au bureau d'études Antéa et à Michel Perrisol de proposer des interprétations géologiques de la zone étudiée. Celles-ci sont respectivement présentées par les illustrations 7 et 8.



(Diagramme extrait du rapport Antéa N° A 03226, 1995)

- m = Miocène
- h = Tufs rhyolitiques viséens 321-328 MA
- γ2-3 = Granite type Bois Noirs : 324-341 MA
- " " Lachaux : 336-337 MA
- ρMy3 = Microgranite porphyrique en loccolite : âge postérieur au granite (âge non mesuré)

Illustration 7 : Contexte géologique des environs de Châteldon (Antéa, 1995)



(Coupe extraite du rapport de M. Perrisol, Orques - Géologie Bureau d'études, 1998)

Illustration 8 : Coupe géologique synthétique du secteur de Châteldon (Perrisol, 1998)

Hormis la synthèse géologique réalisée par M. Perrisol en 1998, et les forages effectués par la Société Commerciale d'Eaux Minérales du Bassin de Vichy (SCBV), le contexte géologique des environs du site de Châteldon n'a pas fait l'objet d'étude approfondie.

2.2.2. Contexte hydrogéologique et circuit hydrominéral

a) *L'impluvium*

Il existe très peu d'informations disponibles concernant l'impluvium du gisement d'eau minérale exploité à Châteldon. D'après le rapport BRGM N° 80 AUV 017, cette eau possède une origine météorique.

La délimitation de la zone de recharge du gisement n'est pas connue à ce jour. Toutefois, au vu de la composition chimique de l'eau et de la position géographique du site, il semblerait que la zone d'impluvium se situe sur les massifs granitiques avoisinants (Montagne Bourbonnaise). Les zones altérées ou fissurées de ces massifs peuvent jouer un rôle dans l'infiltration des eaux météoriques.

La SCBV ne dispose pas de donnée isotopique antérieure permettant de dater ces eaux ou d'estimer l'altitude à laquelle elles se sont infiltrées. De ce fait, une partie des investigations complémentaires réalisées dans le cadre du projet PRESCRIRE concerne l'acquisition de telles données, pour les isotopes stables de la molécule d'eau. Les résultats de ces analyses sont détaillés dans le chapitre 3 du présent rapport.

b) *La zone de transit*

Comme pour l'impluvium, les données dont on dispose pour caractériser la zone de transit, aux sens géologique et géochimique, sont rares.

La profondeur maximale de circulation du fluide minéral n'a pas encore été déterminée. Toutefois, le CO₂ qu'il contient possède une origine profonde.

Les faibles débits exploités pour l'embouteillage (moins de quelques m³/h) laissent penser que l'aquifère exploité à Châteldon est peu étendu. Les aquifères de socle tels que celui-ci sont généralement peu productifs. Jusqu'à présent, aucune venue d'eau importante n'a été rencontrée à l'occasion des différents forages réalisés sur le site.

La présence de calcium, de magnésium et de fer dans l'eau de Châteldon pourrait être expliquée par un contact du fluide avec les cornéennes recensées dans le secteur.

c) *La zone d'émergence*

- **La source Sergentale**

D'après les données disponibles, le site étudié recensait autrefois de nombreuses venues d'eaux, jaillissant de roches granitiques fracturées, à la limite d'un contact avec des tufs rhyolitiques. Après plusieurs remaniements de la zone d'émergence, notamment en 1934, le nombre d'exutoires naturels a été réduit à deux.

La source Sergentale, située en rive droite du Vauziron, est exploitée à partir des émergences naturelles Desbrest et Vécou, captées par deux ouvrages distincts séparés de quelques mètres. Il s'agit de deux bassins creusés dans la roche, dont les superficies respectives sont de 11 m² et 7 m².

Chaque ouvrage est surmonté d'un dôme d'acier et d'une dalle en béton. Les débits maximum autorisés pour les captages Desbrest (cf. illustration 9) et Vécou (cf. illustration 10) s'élèvent respectivement à 5,4 l/min et 2,4 l/min. Le débit d'exploitation actuel est de 400 l/h, soit environ 6,7 l/min, pour l'ensemble des captages.

Les eaux captées par les ouvrages Desbrest (N° BSS¹ 06708X0002/HY) et Vécou (N° BSS 06708X0003/HY) possèdent des compositions physico-chimiques quasi-identiques car elles sont issues d'un même gisement d'eau minérale.

L'eau embouteillée à Châteldon résulte du mélange des fluides captés par les deux ouvrages.



Illustration 9 : Captage Desbret (photo BRGM)

¹ BSS = Banque de données du Sous-Sol (BRGM)



Illustration 10 : Captage Vécou (photo BRGM)

• Les forages

Plusieurs campagnes de prospection du CO_2 dans les sols ont été menées sur le site de Châteldon et dans la vallée du Vauziron en 1992, 2000 et 2004. Le but de ces études étant d'identifier des zones présentant des teneurs en CO_2 importantes et pouvant être associées à des venues d'eau minérale.

La campagne de prospection de 1992 (cf. rapport BRGM N° R34833), basée sur 63 points de mesure aux abords du site d'embouteillage, a permis l'élaboration d'une carte d'isoteneurs en CO_2 du sol (cf. illustration 11).

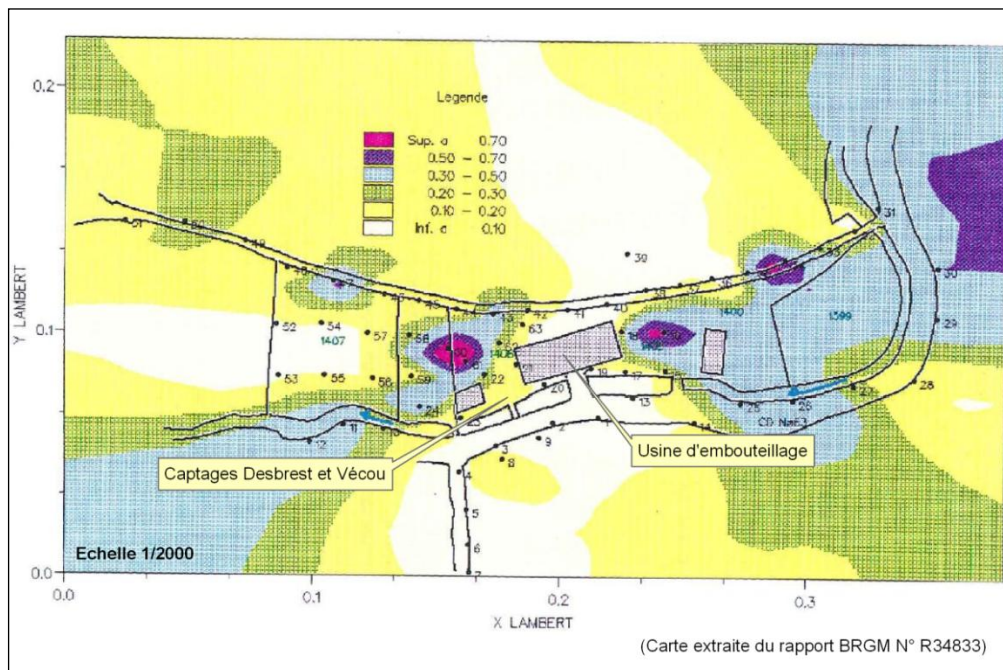


Illustration 11 : Résultats de la campagne de prospection du CO_2 dans le sol de 1992

Sur la carte de l'illustration 11, les fortes teneurs en CO₂ sont figurées en rose et en violet. A l'inverse, le blanc et le jaune symbolisent les teneurs en CO₂ les plus faibles.

Trois zones anormales en CO₂, de surfaces restreintes, ont été identifiées aux abords du site. Les résultats de cette étude ont guidé par la suite l'implantation de forages dans le but d'accroître l'exploitation du gisement d'eau minérale.

Les différents forages réalisés dans le cadre de campagnes de recherche d'eau minérale sont présentés par l'illustration 12. Ces ouvrages ont été implantés sur des terrains appartenant à la SCBV.

L'acquisition du foncier, comme c'est le cas sur le site de Châteldon, du moins au niveau des captages exploités, constitue une action supplémentaire pour la protection de la ressource en eau. La propriété de la SCBV couvre environ 0,91 ha.

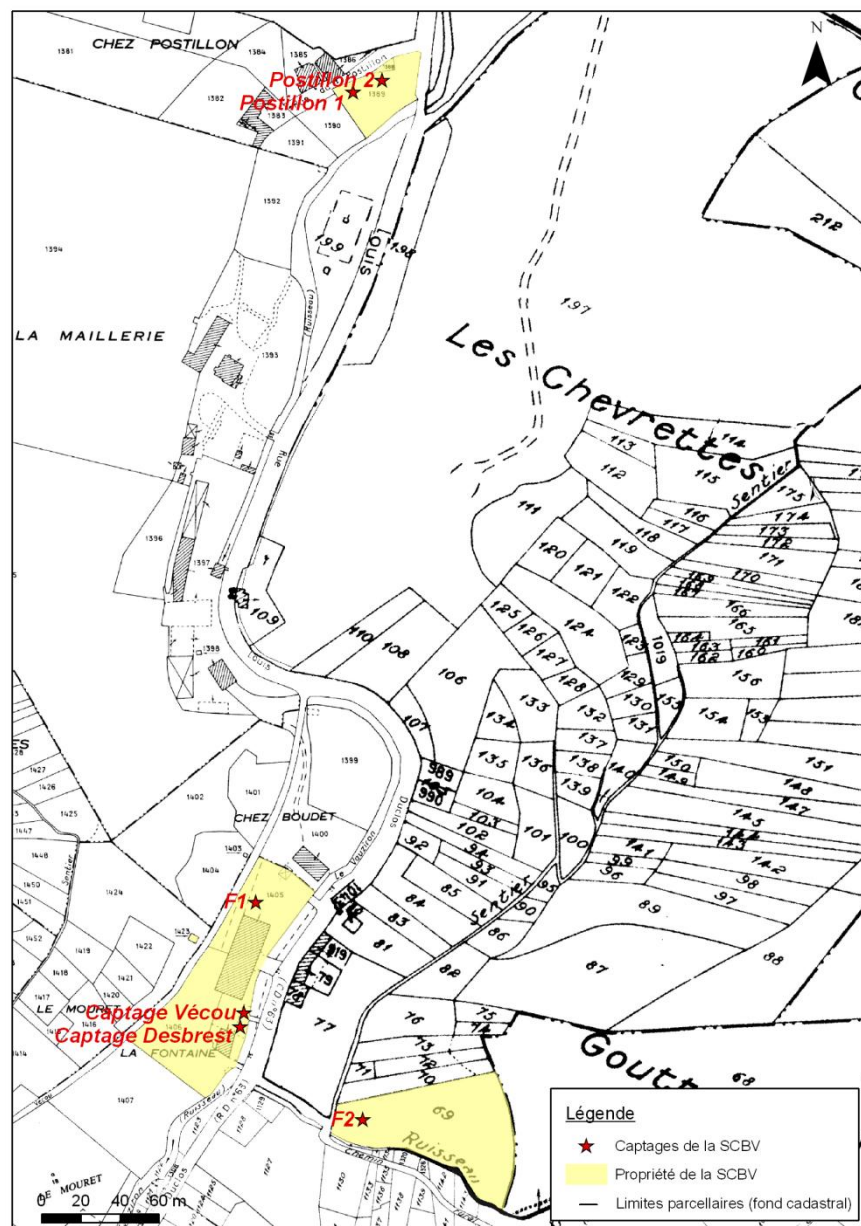


Illustration 12 : Carte de situation des sources et des forages du site de Châteldon

Le premier forage (F1) fut réalisé en avril 1995 à environ 10 m de l'usine d'embouteillage. Les principales venues d'eau ont été identifiées entre 43 et 45 m de profondeur. L'eau captée par cet ouvrage présentait les mêmes caractéristiques que les sources d'eau minérale existantes (cf. rapport Antéa N° A 03226). Aucune influence de ce forage n'a été observée sur les sources existantes. Cet ouvrage peu productif fut obturé.

Un forage de reconnaissance, nommé « Postillon 1 » (cf. illustration 13), fut réalisé au lieu-dit Chez Postillon (à 500 m environ des captages Desbrest et Vécou) en décembre 2002, puis transformé en forage d'exploitation début 2003 (cf. rapport Antéa N° 30039/A). Le débit naturel observé était de l'ordre de 10 m³/h. Cet ouvrage capte une ressource du même type que celle exploitée pour l'embouteillage, bien que sa minéralisation soit inférieure. Les principales venues d'eau ont été identifiées entre 23 et 39 m ainsi qu'entre 55 et 70 m de profondeur. Des variations importantes de conductivité, observées durant un pompage d'essai longue durée (cf. rapport Antéa N° 42737/A, juillet 2006), n'ont pas permis à ce captage d'être exploité pour la production d'« eau minérale ». La partie inférieure de ce forage a été obturée, début 2008, jusqu'à 36 m de profondeur. Cet ouvrage a été transformé en piézomètre.

Un autre forage (F2) de reconnaissance a été effectué en 2007 à environ 100 m de l'usine, en rive gauche du Vauziron et à 10 m du ruisseau de la Goutte d'Albert. L'ouvrage s'est avéré capter un fluide peu minéralisé et non gazeux, avec un débit très faible. Aujourd'hui, ce forage a été complètement comblé.

Un second forage, nommé « Postillon 2 » (cf. illustration 13), a été réalisé en février 2008 au lieu-dit Chez Postillon. La profondeur de cet ouvrage, enregistré dans la BSS sous le numéro 06708X0052/POSTI2, est de 70 m. Ce forage n'est pas exploité aujourd'hui car il ne satisfait pas aux critères d'exploitation.



Illustration 13 : Forages Postillon 1 (gauche) et Postillon 2 (droite, photos BRGM)

Il existe sur la commune de Châteldon un autre groupe d'émergences naturelles, il s'agit des sources dites de La Montagne, situées au lieu-dit Chez Postillon. Ces

émergences peu productives ne sont plus exploitées aujourd'hui, mais l'ont été pour l'embouteillage jusqu'au 20^{ème} siècle. Ces eaux froides ferrugineuses, non gazeuses et faiblement minéralisées, comptent parmi les plus radioactives de France.

• Le fluide minéral

D'un point de vue physico-chimique, l'eau minérale portant l'appellation « Châteldon » est une eau bicarbonatée mixte calcique et sodique, froide et carbogazeuse (cf. illustrations 14 et 15).

D'après les données disponibles, l'eau de Châteldon facilite la digestion et possède une excellente action sur les reins et le foie.

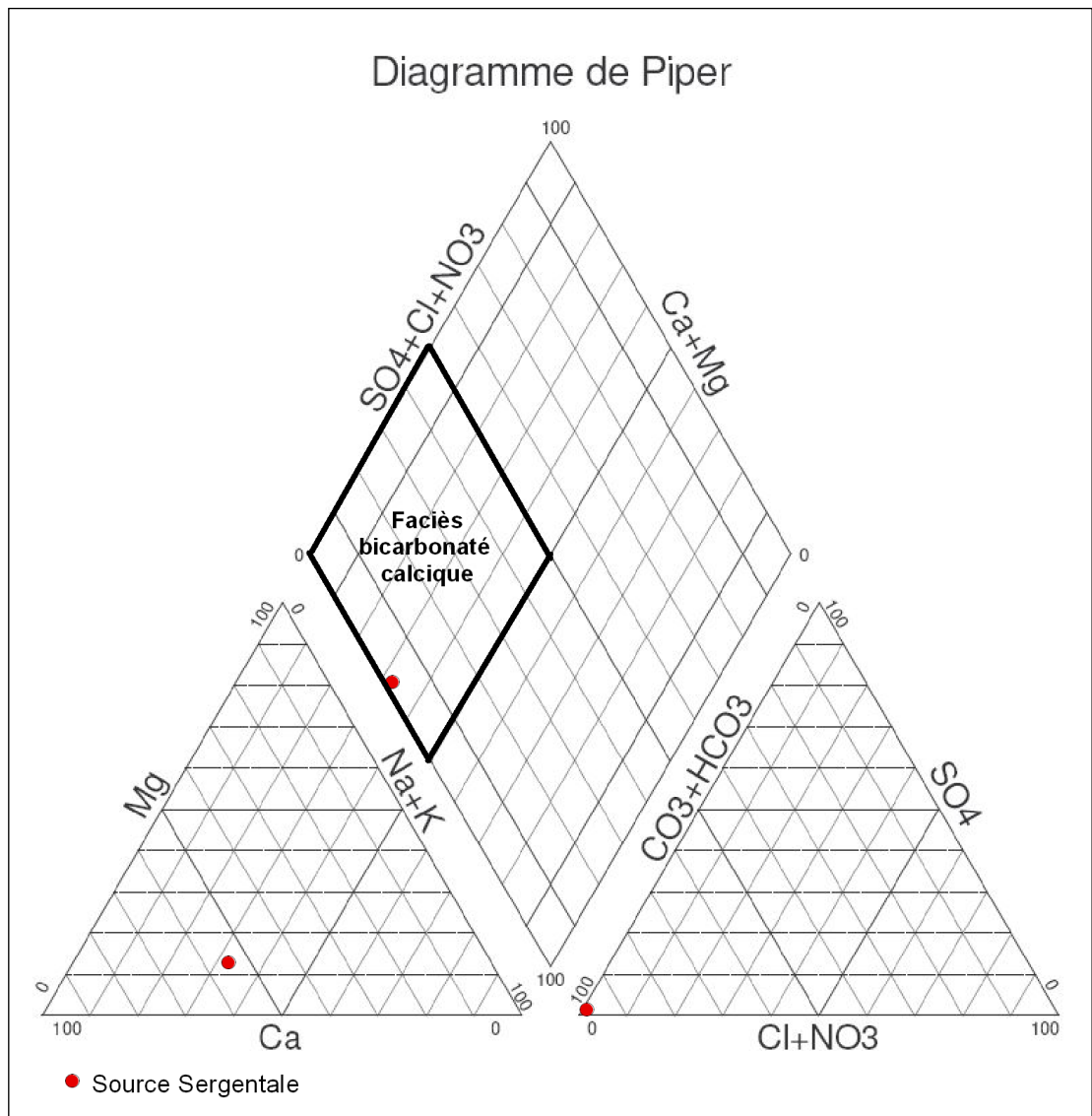


Illustration 14 : Physico-chimie du fluide exploité à Châteldon dans le diagramme de Piper

Lieu d'analyse	Captage Desbrest	Captage Vécou	Mélange avant traitement
Date de l'autorisation	25/11/2009	25/11/2009	25/11/2009
Date des prélèvements	17/12/2007	17/12/2007	17/12/2007
T° C	8,2	11,7	9,3
pH	6,3	6,35	6,3
CE à 25° (µS/cm)	2657	2621	2613
HCO ₃ (mg/l)	2089,3	2080,8	2083,2
SO ₄ (mg/l)	20,1	19,6	19,8
Cl (mg/l)	7,5	7	7
NO ₃ (mg/l)	<0,1	<0,1	<0,1
Ca (mg/l)	390,7	386,4	378,2
Na (mg/l)	243	240	236
Mg (mg/l)	49,8	52	51,3
K (mg/l)	42,6	40	41,6
Fe (mg/l)	8,31	9,49	8,32
Mn (mg/l)	1,08	1,01	1,03
As (mg/l)	0,056	0,067	0,048

Illustration 15 : Composition physico-chimique des eaux de Châteldon (extraits des analyses de référence)

Cette eau ferrugineuse, de minéralisation moyenne, se distingue par une radioactivité significative, d'origine géologique profonde, notamment pour le radium 226 et le radium 228. Les résultats des analyses réalisées en décembre 2007, par l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), pour ces deux éléments sont présentés dans le tableau ci-après (cf. illustration 16).

Lieu d'analyse	Captage Desbrest	Captage Vécou	Mélange avant traitement
Ra 226 (Bq/l)	1,4	1,7	1,6
Ra 228 (Bq/l)	1,07	1,9	1,38

Illustration 16 : Teneurs en Radium 226 et 228 des eaux de Châteldon

En sortie des captages, l'eau minérale est acheminée jusqu'à l'usine d'embouteillage où elle subit les traitements suivants, avant d'être d'embouteillée :

- dégazage ;
- oxydation ;
- décantation ;
- filtration ;
- réinjection du gaz d'origine.

L'étape de filtration s'effectue sur un filtre à sable (silice) puis sur un filtre manganifère, retenant ainsi les éléments radioactifs et certains éléments tels que le fer, le manganèse et l'arsenic. Les résidus de filtration sont acheminés vers un centre d'enfouissement technique de classe 1.

2.3. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

2.3.1. Données générales sur le secteur de Châteldon

a) Occupation du sol

La commune de Châteldon est située au niveau de la bordure orientale de la plaine de la Limagne. Cette entité géographique et géologique comporte de nombreux territoires urbanisés et des surfaces agricoles importantes. L'illustration 17 permet d'apprécier l'occupation du sol de la zone étudiée. L'Est de la région considérée, correspondant à des reliefs granitiques, présente une part dominante de forêts et de prairies.

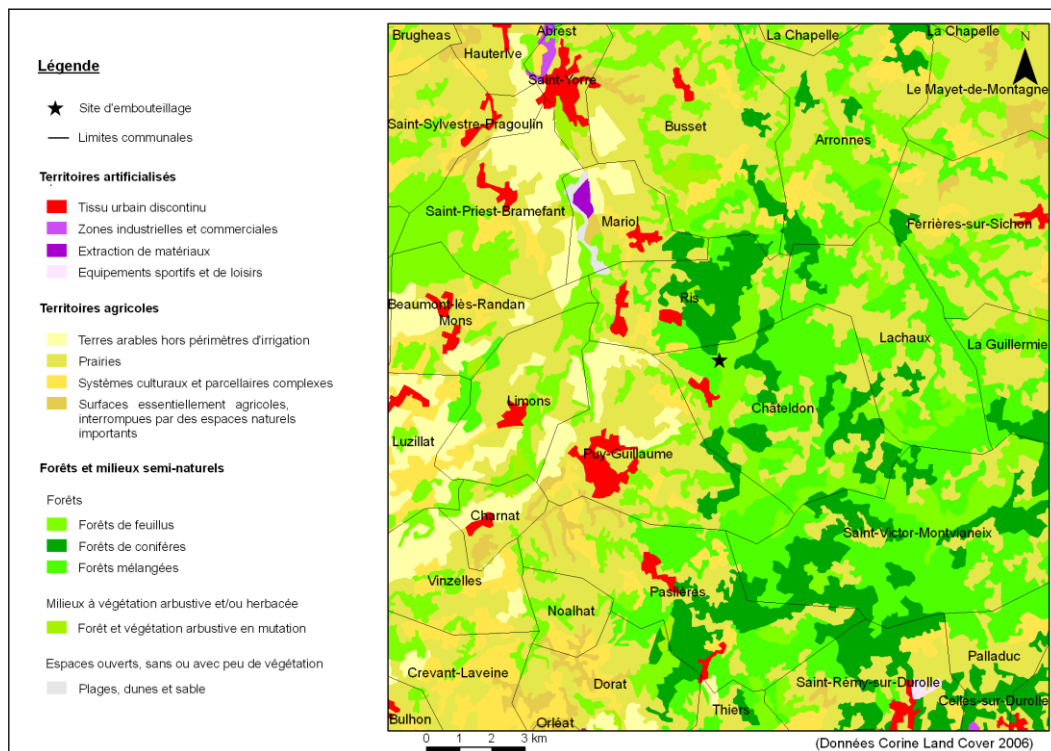


Illustration 17 : Occupation du sol du secteur de Châteldon

Le site d'embouteillage géré par la SCBV est implanté dans un secteur essentiellement composé de forêts et dépourvu d'activités humaines marquées. Ce type d'environnement permet de considérer que le secteur des émergences d'eau minérale bénéficie d'une protection appréciable au sens de la préservation de la qualité des eaux qui s'infiltrent.

b) Assainissement

Les stations d'épuration recensées dans le secteur de Châteldon sont présentées par l'illustration 18. Les différentes structures d'assainissement collectif sont localisées à l'Ouest du site d'embouteillage, dans la plaine de la Limagne, à des altitudes globalement inférieures aux émergences Desbrest et Vécou. L'impluvium étant probablement situé à l'Est de Châteldon, sur les terrains granitiques avoisinants, on peut considérer que les stations d'épuration ne constituent pas des sources de pollution pour la ressource en eau souterraine exploitée par la SCBV.

En 2009, la station de Puy-Guillaume ne répondait pas aux normes de performance et/ou d'équipement d'après les données 2010 du réseau Sandre et du portail d'information sur l'assainissement communal du MEDDTL (Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement).

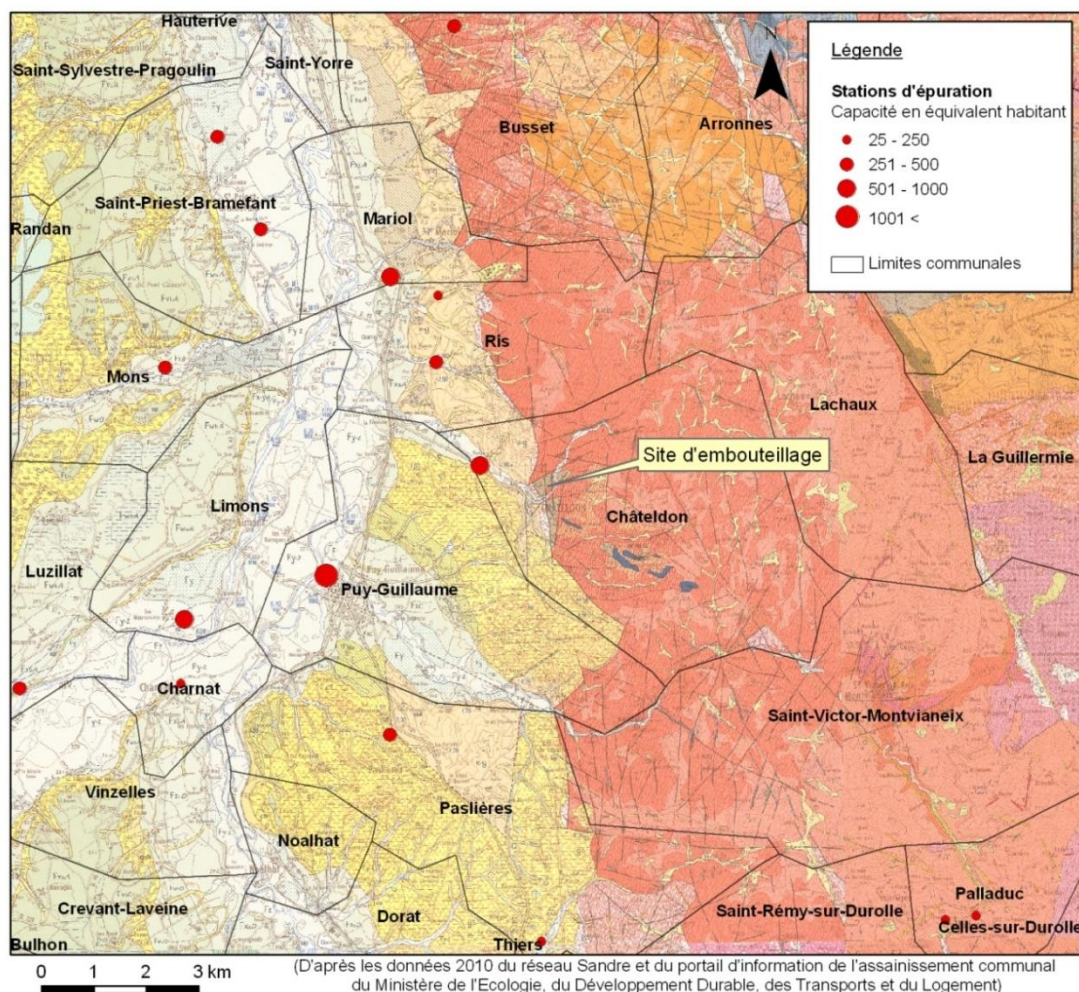
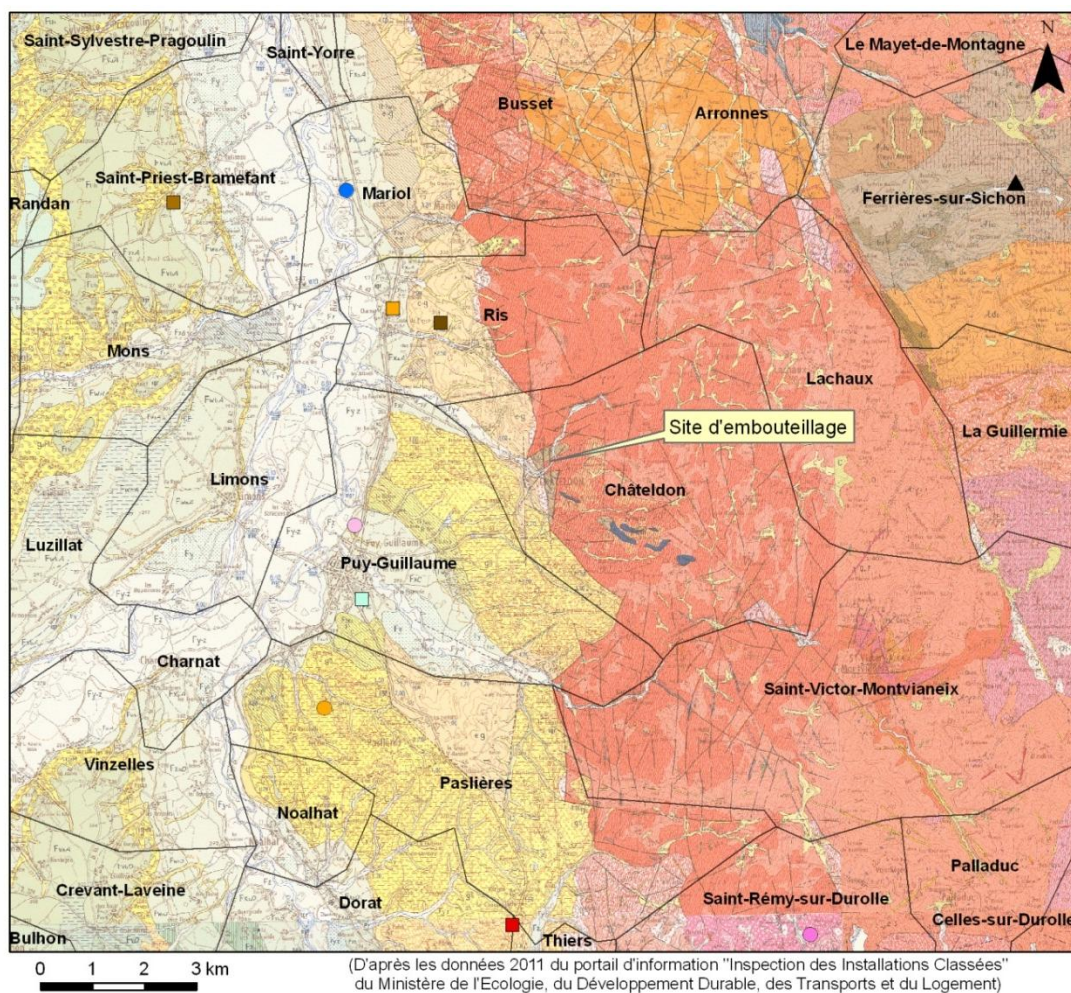


Illustration 18 : Stations d'épuration recensées dans le secteur de Châteldon

c) Sites industriels

Les ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement) présentes aux alentours de Châteldon, d'après les données du MEDDTL, sont listées sur l'illustration 19. Aucune de ces structures n'est classée Seveso.



Légende

ICPE

- Earl de Soalhat : élevage de porcs (591 animaux-équivalents)
- Earl du Ramby : élevage de porcs (806 animaux-équivalents)
- Bouterige Christophe : élevage de volailles (33 000 animaux-équivalents)
- Lamoine Catherine : élevage de chiens et chats (100 animaux-équivalents)
- CDDRA 63 : stockage et récupération de métaux (30 000 m³)
- Hinderchied : stockage et récupération de métaux
- Société Breton Bernard : stockage et récupération de métaux (4450 m³)
- Rexo : métallurgie
- O-I Manufacturing France : verrerie
- ▲ Gitenay Daniel : carrière (250 t/an)

□ Limites communales

Illustration 19 : Installations classées des alentours de Châteldon

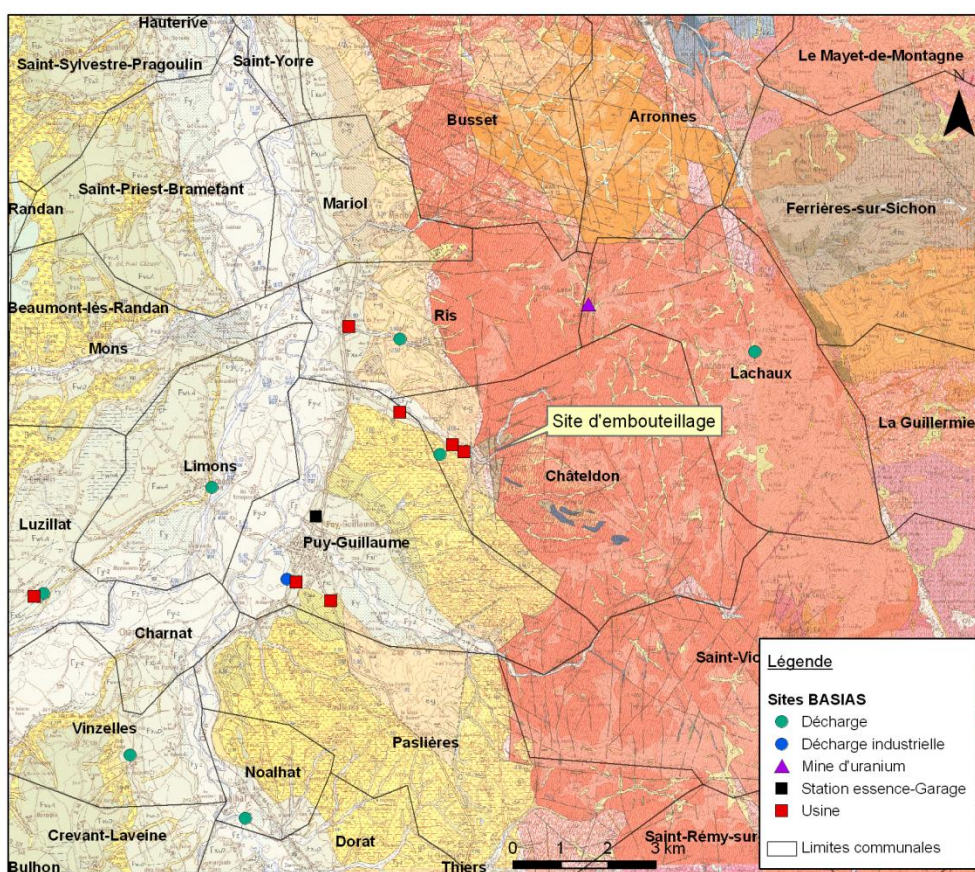
L'illustration 19 permet de constater qu'il n'existe pas d'ICPE située à proximité immédiate du site d'embouteillage, ni sur la commune de Châteldon. Certaines structures de ce type ont été recensées dans les communes alentours, essentiellement dans la plaine de la Limagne. Il est donc peu probable que la ressource exploitée par la SCBV puisse être contaminée par des rejets ou substances liées aux activités des ICPE du secteur.

Les sites BASOL

Dans le secteur de Châteldon, il n'existe qu'un seul site répertorié dans la base de données sur les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif (BASOL). Il s'agit des Verreries du Puy-de-Dôme, situées sur la commune de Puy-Guillaume, également listées parmi les ICPE précédemment citées.

Les sites BASIAS

Les sites répertoriés dans la Base de données des Anciens Sites Industriels et Activités de Service (BASIAS) sont présentés par l'illustration 20. Le secteur considéré compte de nombreuses anciennes décharges communales qui ont été, pour la plupart, fermées et réaménagées.



(D'après les données disponibles dans la Base de données des Anciens Sites Industriels et Activités de Service, BASIAS)

Illustration 20 : Localisation des sites BASIAS dans le secteur de Châteldon

Comme pour les stations d'épuration, dont il est fait état précédemment, les sites BASIAS sont localisés dans la plaine de la Limagne, exceptées une ancienne mine d'uranium et une ancienne décharge communale situées sur la commune de Lachaux.

d) Activités minières

Le secteur nord-est de la zone considérée possède un passé minier important, notamment pour les communes de Ris et Lachaux. Les activités minières, aujourd'hui terminées, concernaient principalement l'exploitation de l'uranium présent naturellement dans les terrains granitiques de la région.

L'ancienne concession minière de Lachaux est la plus proche du site d'embouteillage (environ 3 km à vol d'oiseau), son emprise est présentée par l'illustration 21. Les différents sites exploités dans le cadre de cette concession sont répertoriés dans la Banque de données du Sous-Sol (BSS) du BRGM. Le principal d'entre eux était le site de Roffin (ou Rophin), classé ICPE, qui fut exploité jusque dans les années 50. Ce site disposait d'un atelier qui a traité 30 000 t de minerai d'uranium entre 1950 et 1955.

La société COGEMA ayant renoncé à la concession minière de Lachaux en 1976, celle-ci appartient aujourd'hui à l'Etat.

Après la fermeture des sites miniers, ceux-ci ont été remblayés, réaménagés et surveillés. Parmi les données disponibles dans les archives minières de la région Auvergne, des mesures du niveau d'irradiation externe, ainsi que des eaux de ruissellement, montrent des teneurs en uranium très faibles.

Les anciennes mines situées dans le secteur de Châteldon ne semblent pas constituer des sources de pollution pour la ressource en eau minérale embouteillée par la SCBV.

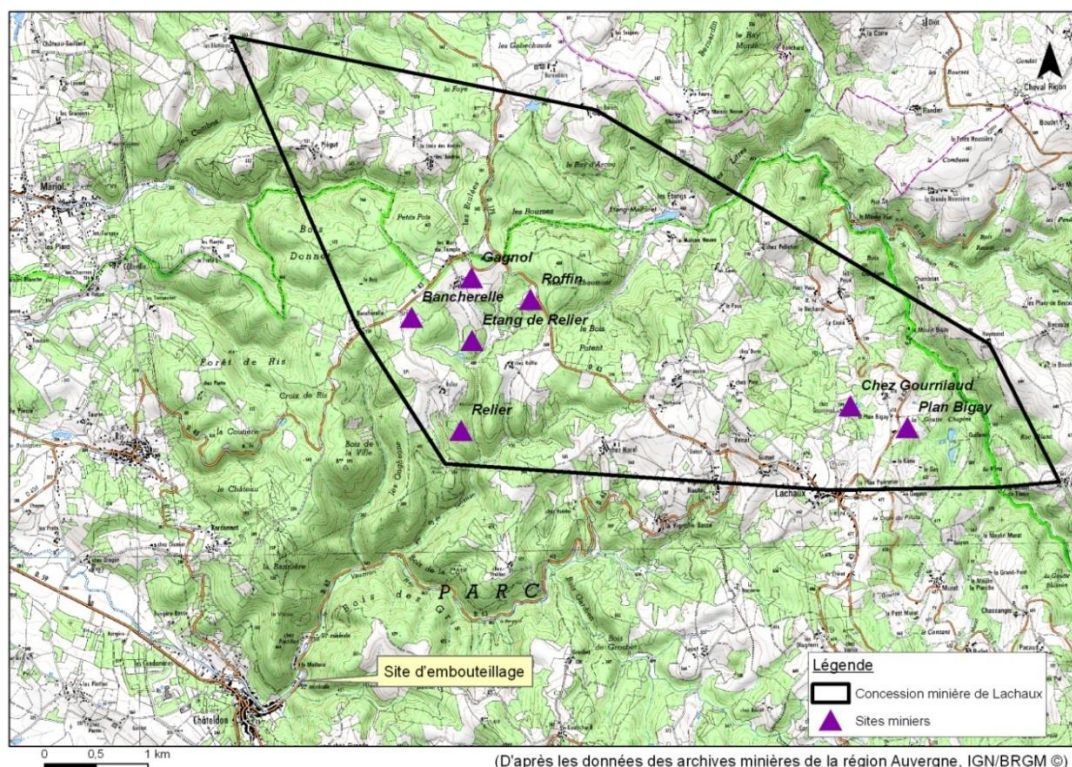


Illustration 21 : Localisation de la concession minière d'uranium de Lachaux

2.3.2. Données générales sur la commune de Châteldon

Les activités ou structures potentiellement polluantes, situées sur la commune de Châteldon, sont listées ci-après.

a) *Les zones urbanisées*

- les zones bâties présentes sur le territoire de Châteldon sont composées d'un bourg et de 33 lieux-dits ;
- le réseau routier (D63, D59, D113) et les zones de parking sont des lieux privilégiés pour la présence d'huiles et d'hydrocarbures ;
- les cuves de fioul : le bourg en compte 2 (1 000 l et 5 000 l) rue des Ecoles et 2 (20 000 l et 40 000 l) rue des Condamines. Les cuves ne sont plus utilisées aujourd'hui et ont été enterrées ;
- les décharges sauvages.

b) *Les activités agricoles et industrielles*

Les surfaces agricoles représentent un risque de pollution pour l'environnement, notamment par l'utilisation de produits phytosanitaires. Elles sont cependant peu nombreuses sur la commune de Châteldon.

Mise à part l'usine d'embouteillage de la SCBV, les principales entreprises installées sur la commune de Châteldon (d'après la mairie) sont les suivantes :

- Electro-Alu : réalisation de chariots pour le transport de repas chauds et froids dans les collectivités, 35 employés sur le site ;
- Groupe Combronde Logistic : réparation de palettes, lavage d'intercalaires pour palettes, transport, 17 employés sur le site (14 ha) ;
- Groupe Keolys : transport scolaire et tourisme, 10 employés sur le site.

Ces structures, de petites tailles, sont situées dans la plaine de la Limagne et ne représentent pas de risque de pollution pour la ressource en eau minérale.

c) *L'assainissement*

La station d'épuration de Châteldon, gérée par la commune, est dimensionnée pour 850 équivalents habitants. Cette structure possède un système de traitement à boues activées, et collecte les effluents d'une grande partie du bourg, ainsi que les lixiviats de l'ancienne décharge.

Les effluents traités sont déversés dans le ruisseau le Vauziron à 1450 m en aval du site d'embouteillage. Fin 2010, cette station d'épuration répondait aux normes d'équipement et de performance. Les boues produites par la station ne sont pas épandues sur la commune de Châteldon, mais sur celle de Puy-Guillaume.

L'assainissement non collectif concerne 5 à 10 % du bourg ainsi que le reste de la commune, y compris le site d'embouteillage. Un état des lieux de l'assainissement non collectif a été réalisé sur le bassin Loire-Bretagne par l'Agence de l'Eau du même nom.

Les résultats de ces travaux sont présentés sous forme d'atlas départementaux, dont l'objectif majeur est la création d'une base de données cartographique de l'assainissement non collectif. D'après l'atlas du département du Puy-de-Dôme (réalisé

sur la base des données 2010), la commune de Châteldon recense moins de 500 installations d'assainissement non collectif. Moins de 10 % d'entre elles ont été jugées à réhabiliter de façon prioritaire.

d) *Le réseau hydrographique*

Le ruisseau le Vauziron est situé à quelques mètres des captages exploités par la SCBV. Jusqu'à présent, aucune interaction entre celui-ci et la ressource captée n'a été recensée. Les captages sont protégés du cours d'eau par un mur en béton.

D'après le dossier de demande d'autorisation d'exploiter établi en septembre 2009 par la société VAL Environnement, il n'existe pas de source de pollution potentielle significative à proximité immédiate des captages Desbrest et Vécou.

2.4. COMMUNICATION/SENSIBILISATION

Il n'existe à ce jour aucune action de sensibilisation des habitants, des agriculteurs et des collectivités du secteur de Châteldon pour protéger l'environnement et la ressource exploitée. De telles actions ne sont pas mises en place par la Société Commerciale d'Eaux Minérales du Bassin de Vichy car la zone d'alimentation du gisement reste inconnue.

2.5. ASPECT REGLEMENTAIRE

D'un point de vue réglementaire, la ressource en eau minérale bénéficie, de façon directe ou indirecte, de plusieurs outils de protection, notamment au niveau des émergences.

2.5.1. Dans le secteur de Châteldon

a) *Protection liée aux dispositions du patrimoine naturel*

Un inventaire du patrimoine naturel français a été effectué par le Muséum national d'Histoire naturelle. Celui-ci a donné lieu à la délimitation de zones géographiques en fonction de la richesse du patrimoine naturel qu'elles possèdent. Les objectifs d'une telle délimitation sont de mieux connaître le patrimoine français et de le protéger par une gestion adaptée des milieux naturels et des paysages.

Les illustrations 22 et 23 permettent d'apprécier les différents types de zones répertoriés dans le secteur de Châteldon.

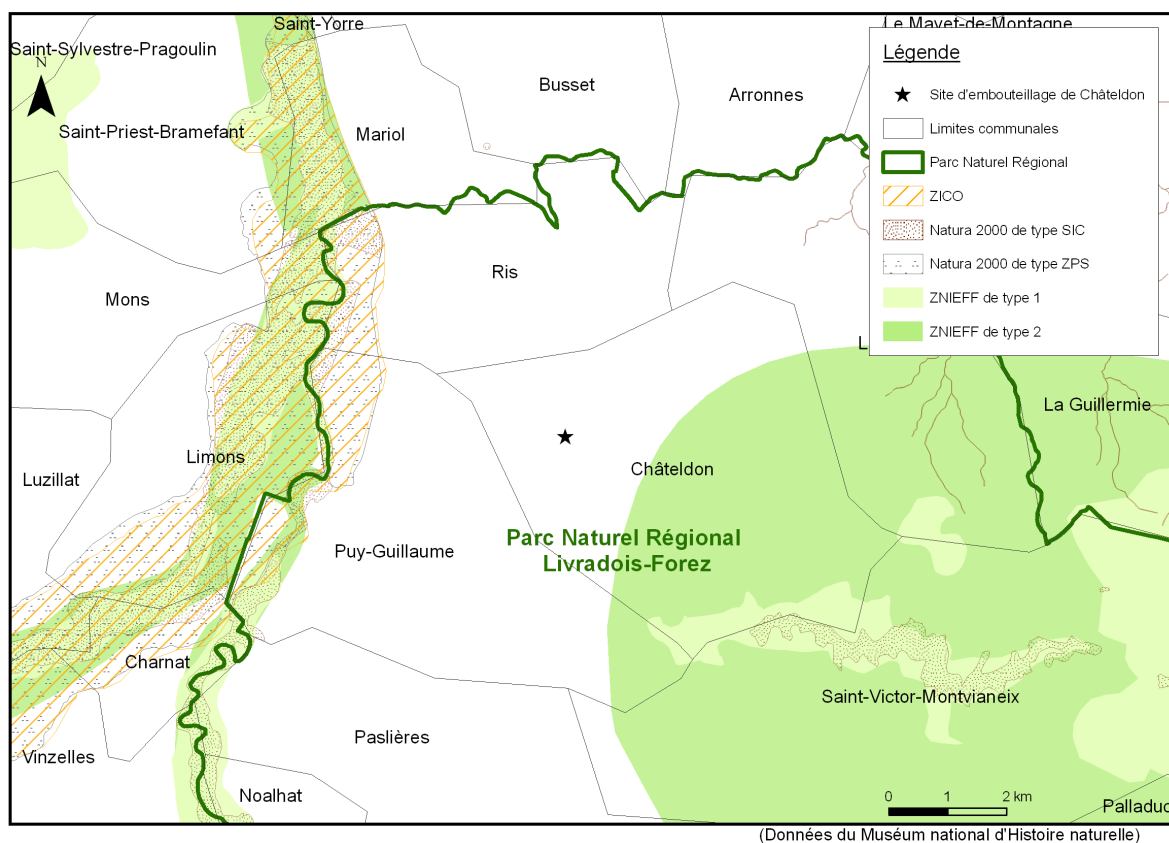


Illustration 22 : Carte de zones de délimitation du patrimoine naturel dans le secteur de Châteldon

Type d'entité	Nom de l'entité	
Parc Naturel Régional (PNR)	Livradois-Forez	
Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF)	type 1	Rez de Sol ; Vallée de la Credogne ; Bois Noirs ; Vallée alluviale de la Dore (Pont de Dore – Puy-Guillaume) ; Bec de Dore ; Zone alluviale de Saint-Priest-Bramefant ; Val Allier pont de Crevant pont de Limons ; Forêt de Randan
	type 2	Les Bois Noirs ; Lit majeur de l'Allier moyen ; Vallée de la Dore ; Val d'Allier
Zone d'Importance pour la Conservation des Oiseaux (ZICO)	Val d'Allier : Saint Yorre - Joze	
Site du réseau Natura 2000	type SIC	Bois Noirs ; Zones alluviales de la confluence Dore-Allier ; Vallée de l'Allier Sud ; Mine de fluorine de Busset ; Rivières à écrevisses à pattes blanches
	type ZPS	Val d'Allier : Saint Yorre - Joze

Illustration 23 : Zones de protection réglementaire dans le secteur de Châteldon

La commune de Châteldon est située dans le Parc Naturel Régional (PNR) Livradois-Forez, ce qui implique une présence limitée et contrôlée des activités polluantes sur ce territoire.

Le site d'embouteillage n'est pas inclus dans un autre type de zone telles que les Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF), les Zones d'Importance pour la Conservation des Oiseaux (ZICO) ou encore le réseau Natura 2000. L'impluvium n'est pas délimité à ce jour, mais il est peut-être inclus dans une ou plusieurs des zones citées précédemment. De ce fait, ces zones sont définies ci-après.

• Réglementation liée aux PNR

Un Parc Naturel Régional (PNR) est créé par des collectivités territoriales. Son territoire est reconnu par l'Etat et classé par un décret ministériel pour 12 ans maximum.

Chaque PNR dispose d'une charte, signée par les collectivités locales, qui définit les orientations et les actions d'aménagement, de protection et de mise en valeur de ce territoire. Cette charte est consultée et prise en compte lors de l'établissement de documents d'urbanisme tels que les Schémas de Cohérence Territoriale (SCoT) ou les Plans Locaux d'Urbanisme (PLU).

• Réglementation liée aux ZNIEFF

Les Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF) jouent un rôle d'inventaire du patrimoine naturel mais ne possèdent pas de valeur juridique directe pour la protection des espaces naturels.

Ces zones constituent des outils d'aide à la décision en matière d'aménagement du territoire car elles doivent être considérées lors de la réalisation d'études d'impact et de documents d'urbanisme.

Il existe deux types de ZNIEFF :

- les ZNIEFF de type 1 sont définies (d'après les DREAL) comme des secteurs de superficie généralement limitée qui abritent au moins une espèce ou un milieu naturel remarquable ou rare (ex : loutre, tourbière...) ;
- les ZNIEFF de type 2 sont définies (d'après les DREAL) comme de grands ensembles naturels riches, peu modifiés par l'Homme ou offrant des potentialités biologiques importantes (massifs forestiers, plateaux). Les zones de type 2 peuvent inclure des zones de type 1.

• Réglementation liée aux ZICO

Les Zones d'Importance pour la Conservation des Oiseaux (ZICO), aussi appelées Zones d'Intérêt Communautaire pour les Oiseaux, abritent des espèces d'oiseaux sauvages reconnues d'importance communautaire ou européenne. Elles n'ont pas de portée juridique directe. Certaines d'entre elles peuvent être désignées comme Zone de Protection Spéciale (ZPS), cette appellation permettant aux ZICO qui en bénéficient d'être intégrées au réseau Natura 2000.

- **Réglementation liée aux sites Natura 2000**

Le réseau Natura 2000 est un réseau européen qui regroupe des zones pour la conservation de certains types d'habitats naturels et certains types d'habitats d'espèces (Zones Spéciales de Conservation, ZSC) et des zones pour la conservation d'espèces d'oiseaux ciblées (Zones de Protection Spéciale, ZPS).

Pour chaque site Natura 2000, l'Etat définit des objectifs de gestion durable (revus tous les 6 ans) pour le territoire concerné. Cette gestion doit concilier la protection du patrimoine naturel classé et les activités anthropiques.

b) Protection liée à des captages AEP²

Le site d'embouteillage de Châteldon n'est compris dans aucun périmètre de protection lié à un captage d'alimentation en eau potable. Les captages de ce type, ainsi que leurs périmètres de protection, sont figurés sur l'illustration 24.

Les captages AEP disposent de périmètres de protection immédiate (PPI), rapprochée (PPR) et (dans la plupart des cas) éloignée (PPE) régis par des réglementations particulières.

- **Réglementation liée au périmètre de protection immédiate (PPI)**

Un périmètre de protection immédiate délimite une zone où toute activité est strictement interdite et où aucun produit toxique ne peut être stocké.

Un périmètre de protection immédiate est très généralement de dimension réduite (quelques centaines de m² au plus) et il concerne une section de terrain situé aux alentours proches du captage.

- **Réglementation liée au périmètre de protection rapprochée (PPR)**

Un périmètre de protection rapprochée délimite une zone où toutes les activités potentiellement polluantes sont interdites ou soumises à une réglementation rigoureuse. Il peut s'agir de rejets, d'épandage (compost, produits phytosanitaires, boues de station d'épuration, ...), de zones de stockage (produits dangereux), de la construction et de la modification de voies de communication, d'exploitation de matériaux ou encore de la création ou de l'agrandissement de cimetières.

- **Réglementation liée au périmètre de protection éloignée (PPE)**

L'établissement d'un périmètre de protection éloignée n'est pas obligatoire. Ce périmètre peut être mis en place pour limiter les activités pouvant polluer la ressource captée, grâce à une réglementation spécifique.

Dans un périmètre de protection éloignée, aucun projet ne peut être interdit mais tout projet doit prouver qu'il ne présente pas de risque environnemental pour les captages.

² AEP = Alimentation en Eau Potable

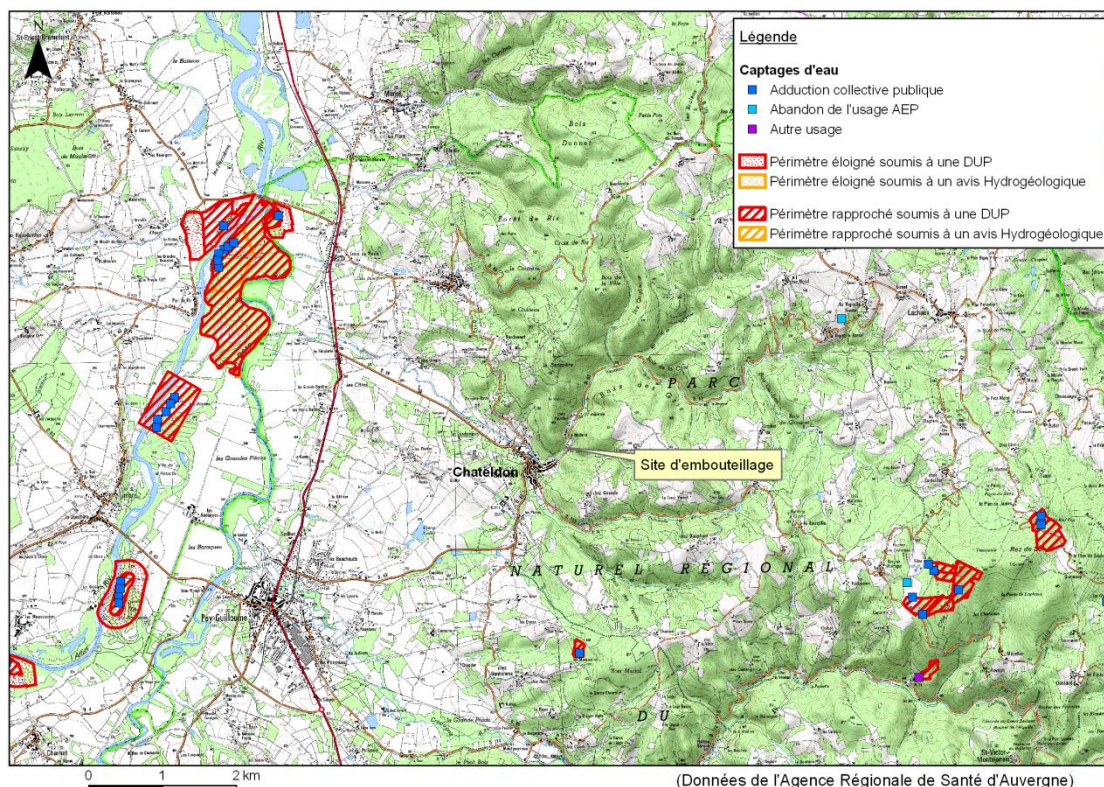


Illustration 24 : Périmètres de protection de captages d'eau dans le secteur de Châteldon

Les captages les plus importants du secteur étudié sont localisés à l'Ouest de Châteldon, dans la plaine de la Limagne, et concernent les nappes alluviales de l'Allier et de la Dore.

A l'Est de Châteldon, sur le massif granitique, on recense quelques captages moins importants, en termes de débit et de superficie des périmètres de protection, que ceux précédemment cités.

2.5.2. Au niveau des émergences

Parmi les différents dispositifs réglementaires de protection existants, la source Sergentale (captée par les ouvrages Desbrest et Vécou) dispose d'un périmètre sanitaire d'émergence (cf. illustration 25).

Le Périmètre Sanitaire d'Emergence (PSE) des captages exploités a été établi pour la première fois par un arrêté ministériel le 22 janvier 1936. Ce périmètre, situé sur des terrains appartenant à la Société Commerciale d'Eaux Minérales du Bassin de Vichy, est délimité par un grillage.

L'Arrêté Ministériel d'Autorisation d'exploiter (AMA) la source Sergentale en tant qu'eau minérale, en vigueur actuellement, date du 25 novembre 2009.

Un autre dispositif de protection, lié à la réglementation des eaux minérales, est le périmètre de protection (DPP) établi au titre d'une Déclaration d'Intérêt Public (DIP). Ces procédures de protection (DIP et DPP associé) sont rares et peu utilisées car la décision au plus haut niveau de l'Etat (Conseil d'Etat) est difficile à obtenir. La source Sergentale ne bénéficie pas de cette procédure DIP et DPP associé, bien qu'une demande ait été formulée le 18 décembre 1956. Cette demande n'a pas eu de suite.

La source Sergentale n'est pas incluse dans l'emprise de périmètres de protection liés à d'autres émergences exploitées pour des activités industrielles.

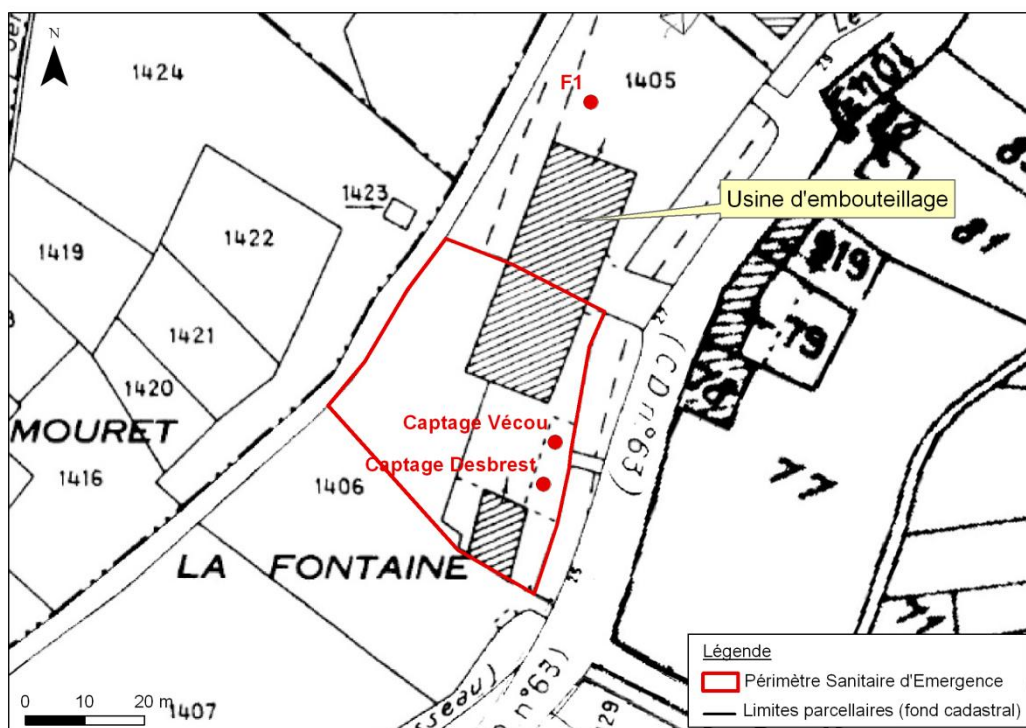


Illustration 25 : Situation administrative des captages Desbrest et Vécou

3. Apport spécifique du site « test » étudié au projet PRESCRIRE

3.1. NOTION D'APPORT SPECIFIQUE

Il convient de rappeler que le projet PRESCRIRE a pour objet d'apprécier les conditions de préservation de la qualité de la ressource en eau souterraine et de protection du gisement sur la base de l'analyse de plusieurs sites « test ». Châteldon est un de ces sites « test ».

Pour chaque site « test » analysé, il a été retenu d'identifier un point fort spécifique, de manière à illustrer, à partir de l'exemple ³, l'intérêt de réaliser telle ou telle investigation ou de mener telle ou telle action pour faire avancer la problématique.

Divers points forts ont émergé des réflexions entreprises entre les partenaires du projet PRESCRIRE (exploitants, institutions, collectivités, équipe de projet BRGM) et les experts thématiques du BRGM (géologues, structuralistes, géochimistes, hydrogéologues, ...).

La connaissance, clé de la compréhension d'un système, concerne de multiples domaines. Les experts consultés ont permis d'apporter leur expérience (de recherche notamment) à la notion de caractérisation d'un contexte hydrogéologique dans son environnement (naturel et anthropique). Quelques points forts spécifiques ont ainsi d'ors et déjà été listés pour guider la démarche. On citera :

- analyse isotopique pour juger de la présence ou non d'éventuels mélanges entre eaux aux durées de transit distinctes (eau ancienne et eau récente),
- étude de la caractérisation structurale d'un contexte local d'émergence pour apprécier l'extension relative d'un secteur d'émergence,
- analyses chimiques pour apprécier le transit en profondeur et les conditions d'acquisition de la minéralisation (contact eau/roche),
- étude cartographique géologique à l'échelle locale pour caractériser les différents faciès et pour relativiser le rôle des différents horizons au niveau hydrogéologique,
- analyse en laboratoire d'échantillons de roches (microscope polarisant) pour caractériser la composition des roches et apprécier leur structure interne,
- essais d'interférence entre ouvrages par approche numérique spécifique (diagnostic, modélisation des données numériques) pour apprécier la compartimentation hydrogéologique locale (géométrie, perméabilité, flux),

³ Chaque site « test » a contribué, par son implication dans la réflexion menée par le projet et financièrement à la réalisation d'investigations complémentaires (sommaires et très ciblées) destinées, à illustrer une composante spécifique des notions de préservation et de protection.

- analyse physico-chimique de détail (éléments traces) du fluide exploité et calage des résultats sur le fond géochimique régional pour juger de la présence ou non d'une anomalie géochimique (naturelle) locale,
- définition de la signature isotopique élémentaire d'une ressource locale pour disposer d'éléments d'appréciation quant au secteur de recharge du gisement,
- analyse de la perception sociétale de la (des) commune (s) impliquée (s) dans un secteur à protéger, pour apprécier la nécessité relative de communiquer sur la notion de protection et sur les contraintes environnementales,
- étude d'un mode de communication / sensibilisation de l'environnement humain d'un site à protéger à l'aide d'un outil de vulgarisation (plaquette),
-

Cette liste, non exhaustive, ne constitue qu'une première énumération de points forts qui pourront, très probablement, être pris en compte dans le cadre de l'analyse des sites « test », selon les particularités locales.

3.2. APPORT SPECIFIQUE DU SITE DE CHATELDON

Le partenariat établi avec le site « test » de Châteldon s'est avéré tout particulièrement intéressant sur deux aspects distincts qui ont guidé les investigations complémentaires réalisées dans le cadre du projet.

L'apport spécifique du site a ainsi concerné :

- les processus d'altération dans le contexte géologique local constitué d'affleurements de microgranites fracturés ;
- les isotopes stables de la molécule d'eau (H, O) pour chacun des deux captages d'eau minérale exploités.

Avant de préciser les données acquises sur le site (§ 3.3), les paragraphes suivants permettent de caractériser en préliminaire les notions de processus d'altération (§ 3.2.1) et d'isotope stable de la molécule d'eau (§ 3.2.2).

3.2.1. Processus d'altération

Définition

La plupart des régions où affleurent les roches métamorphiques ou plutoniques, comme le Massif Central ou le Massif Armoricain, sont des régions dites « stables », exposées pendant des durées souvent très longues (plusieurs dizaines de millions d'années) à l'altération météorique, sous des climats humides, éventuellement plus chauds que ceux qui règnent actuellement. Cette altération a permis le développement de puissants profils d'altération de type latéritique, dont on retrouve des traces dans le Massif Armoricain.

La stabilité d'une région s'établit selon la règle qui veut que la région considérée soit caractérisée par un relief doux en domaine émergé. Cette condition est indispensable pour le développement d'un profil d'altération. En effet, pour que l'altération se développe, le taux d'érosion mécanique doit être inférieur à la vitesse de propagation

verticale de l'altération au sein de la roche ; dans le cas contraire, les produits d'altération sont systématiquement évacués par l'érosion et les profils d'altération ne peuvent se constituer.

L'altération latéritique, dite « soustractive », résulte de la déstabilisation chimique, au contact de l'eau d'infiltration, des minéraux les plus sensibles (biotite, feldspaths), et de l'exportation en solution des éléments les plus solubles contenus dans ces minéraux (Potassium, Sodium, Calcium, etc.). Les éléments chimiques restants se réorganisent en de nouveaux minéraux stables dans les nouvelles conditions : ce sont principalement des argiles, des oxydes et des hydroxydes.

Le processus est continu tant qu'il y a de l'eau qui circule dans le profil et aboutit, sur de longues périodes, à une concentration relative des éléments les moins solubles (Fer, Aluminium) associée au départ des autres éléments.

Un profil latéritique, lorsqu'il est complet, comprend typiquement, de haut en bas, plusieurs niveaux ou « horizons » (cf. illustration 26) :

- une cuirasse ferrugineuse ou bauxitique épaisse de quelques mètres ;
- un horizon meuble épais de plusieurs dizaines de mètres (« saprolite »), à dominante argileuse, notamment pour les roches riches en minéraux phylliteux, comme les schistes par exemple, ou argilo-sableuse (arène) pour les roches riches en quartz comme les granites. Au sein de la saprolite, on peut distinguer deux horizons :
 - un niveau supérieur, l'allotérite, au sein duquel l'altération soustractive s'est traduite par une diminution très importante de volume de la roche et où sa structure originelle n'est plus identifiable,
 - un niveau inférieur, l'isaltérite, au sein duquel l'altération s'est traduite par des modifications isovolumiques et où la structure originelle de la roche est préservée.

Les recherches développées au BRGM ont conduit à la mise en évidence, sous la partie meuble des profils, d'un horizon fissuré stratiforme de 50 à 100 m de puissance (cf. illustration 26). L'origine de cette fissuration est généralement attribuée à des processus de « décompression » (Davis and Turk, 1964 ; Acworth, 1987 ; Wright, 1992). Cependant, des observations récentes (Wyns et al. 1999 ; Lachassagne et al. 2001 ; Cho et al. 2003 ; Wyns et al. 2003), menées tant à l'échelle du paysage qu'à celle des minéraux, montrent que le gonflement des minéraux au cours du processus d'altération peut être à l'origine de contraintes engendrant une fracturation du massif rocheux.

Ainsi, par exemple, la biotite, en s'hydratant, va se transformer en vermiculite ; ce processus s'accompagne du « gonflement » du minéral avec un écartement interfoliaire qui passe de 10 Å à 14 Å (cf. illustration 27). Cette augmentation volumique à l'échelle du minéral engendre des contraintes au sein de la roche et sa fracturation (Wyns, 2003 ; Lachassagne et al., 2011).

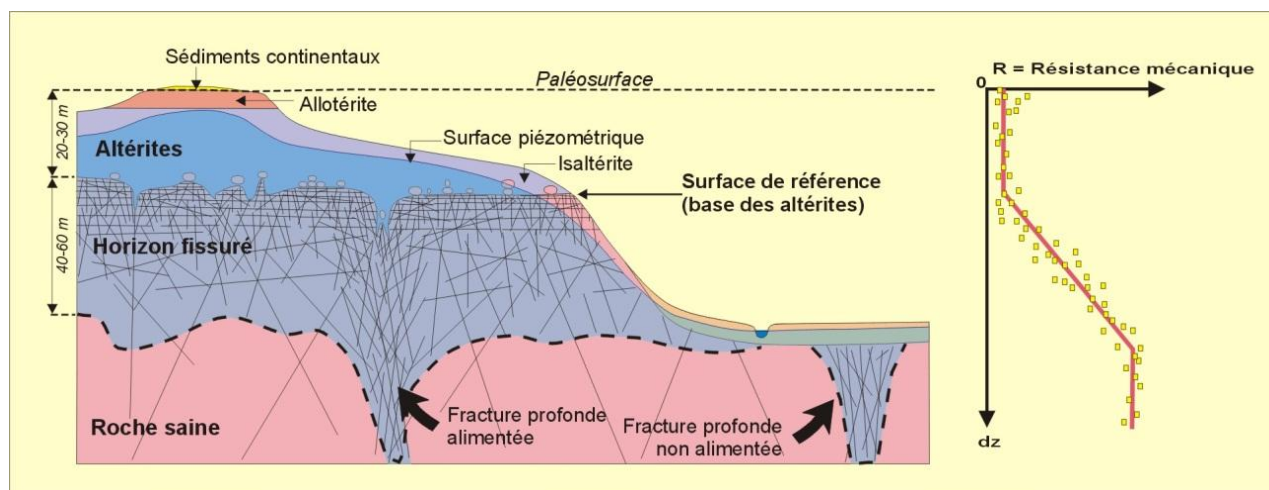


Illustration 26 : Modèle conceptuel des propriétés physiques des roches en contexte de socle altéré (Wyns, 1999)

Généralement, notamment au sein des roches isotropes (granites par exemple), cette augmentation de volume de la roche et les contraintes associées se traduisent par la formation de fissures horizontales, car les contraintes accumulées ne peuvent se « libérer » que vers le haut, là où il existe de l'espace disponible.

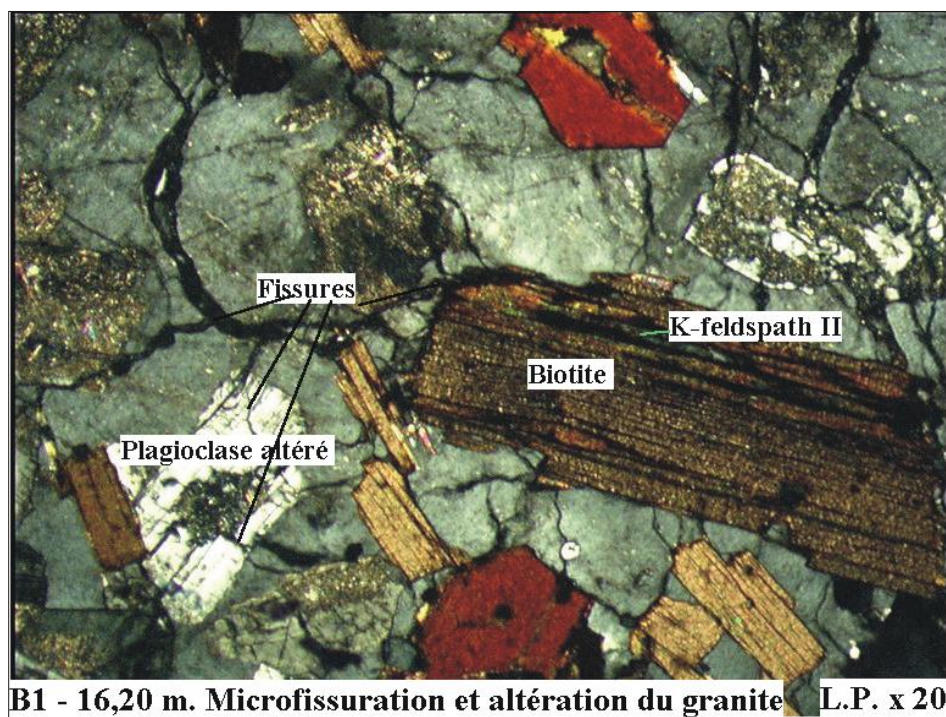


Illustration 27 : Développement de microfissures au voisinage des minéraux gonflants (biotite notamment)

Caractérisation de l'horizon fissuré

Plus le degré d'altération de la roche est important, plus la densité des fissures est importante. Ainsi, la fréquence des fissures de l'horizon fissuré est maximale au sommet du socle, juste sous la saprolite, et décroît régulièrement vers le bas.

L'existence et l'intensité du réseau de fissures induit par l'altération sont contrôlées par la minéralogie et la texture de la roche. Les roches riches en biotite présentent un horizon fissuré bien développé. Les roches dépourvues de biotite ou de minéraux susceptibles d'augmenter de volume ne développent pas ce type de fissuration. A minéralogie équivalente, les roches à gros grain présentent un horizon fissuré plus développé que les roches à grain fin.

L'épaisseur de l'horizon fissuré est proportionnelle à celle des altérites meubles du profil d'altération avant érosion. Pour une lithologie donnée, elle dépend principalement de la durée pendant laquelle s'est exercée l'altération et du potentiel topographique (altitude du sol) au moment de l'altération, permettant au profil de s'enfoncer (Wyns, 2003).

Exemples de typologie de l'horizon fissuré

Les caractéristiques de l'horizon fissuré diffèrent en fonction de la nature lithologique de la roche et de la géométrie des corps qui la composent :

- **roches grenues isotropes** (notamment les granites) : les biotites ne sont pas orientées, le gonflement a pour effet d'augmenter fortement les composantes horizontales du tenseur de contraintes ⁴ par rapport à la composante verticale. Le déviateur de contraintes ⁵ ainsi créé entraîne la rupture de la roche selon des plans horizontaux, perpendiculaires à la contrainte minimale. Il en résulte des fissures planes, subhorizontales, bien reconnaissables à l'affleurement (cf. illustration 28). Cet effet mécanique s'observe également dans la partie inférieure des arènes, qui prennent un aspect feuilleté (« horizon feuilleté »). C'est la coalescence de ces plans horizontaux au sommet de l'horizon fissuré qui matérialise la transition avec les arènes ;
- **roches foliées et non plissées** (orthogneiss) : l'intensité de la fissuration est maximale pour une foliation verticale, et minimale pour une foliation horizontale ;
- **roches foliées et plissées** (schistes, micaschistes, etc.) : la variation rapide de l'orientation et de la proportion des minéraux gonflants, jointe à celle des surfaces de faiblesse de la roche, entraîne une géométrie anarchique du réseau de fissures ; toutefois, pour ces roches comme pour les précédentes, cette fissuration présente également un gradient décroissant vers le bas du profil.

⁴ **Tenseur de contraintes** : Représentation mathématique de l'état des contraintes au sein d'un milieu continu, c'est-à-dire des forces par unité de surface agissant entre volumes élémentaires.

⁵ **Déviateur de contraintes** : Représentation mathématique exprimant la partie associée aux déformations cisailantes iso-volumiques du tenseur des contraintes.



Illustration 28 : Aspect caractéristique de l'horizon fissuré dans un granite du Livradois (photo BRGM)

3.2.2. Outils de la géochimie isotopique

Les moyens de mesure des rapports isotopiques

Les isotopes d'un élément chimique sont mesurés à l'aide d'un **spectromètre de masse** qui produit des ions dans une source sous vide à partir d'un échantillon. Ces ions sont séparés selon leur rapport masse/charge par une combinaison de champs électromagnétiques incluant une accélération par un champ électrique et une séparation en masse par un champ magnétique. Ils sont enfin détectés et exprimés en fonction de leur abondance relative.

Les isotopes stables de la molécule d'eau sont mesurés avec des spectromètres de masse à source « gazeuse » (*IRMS* pour Isotope Ratio Mass Spectrometer).

Les **IRMS** (cf. illustration 29) permettent de déterminer des rapports isotopiques en utilisant la technique hors ligne (c'est-à-dire préparation des échantillons sur une ligne séparée afin de les transformer en gaz), à double injection (pour mesurer en alternance l'échantillon et un standard de référence).

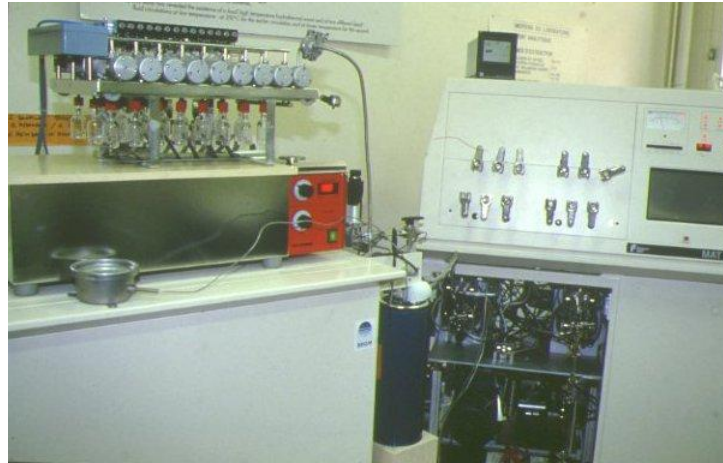


Illustration 29 : IRMS et ligne d'équilibration (à gauche) pour l'analyse des isotopes stables de la molécule d'eau (O et H)

Les isotopes stables de la molécule d'eau

Les isotopes stables de l'eau sont ceux de l'oxygène et de l'hydrogène. Les abondances des isotopes de l'oxygène montrent une dominance de l'isotope ^{16}O (99.762 %), suivi du ^{18}O (0.200 %) puis du ^{17}O (0.038 %). Les abondances des isotopes de l'hydrogène consistent en deux isotopes stables, ^1H et ^2H (aussi nommé deutérium), avec une abondance respective d'environ 99.985 et 0.015 %. Le rapport des isotopes de l'oxygène et de l'hydrogène est exprimé en unité delta de déviation par rapport à un standard de référence. Ils sont mesurés par IRMS. On utilise la notation δ exprimée en parties pour mille (‰) avec :

$$\delta = [(R_{\text{échantillon}} / R_{\text{standard}}) - 1] \times 1000$$

où R est le rapport isotopique, isotope lourd sur isotope léger (e.g. $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$). Le standard de référence est le SMOW (Standard Mean Ocean Water) qui est une eau de mer moyenne (par définition à 0 ‰).

Les variations de compositions isotopiques des isotopes stables de l'eau ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ et $^2\text{H}/^1\text{H}$) dans le cycle hydrologique résultent soit d'un fractionnement isotopique qui intervient lors des changements de phase (évaporation, condensation), soit de mélanges d'eaux de compositions isotopiques différentes.

L'évaporation entraîne toujours la formation de vapeur appauvrie en isotopes lourds par rapport au liquide d'origine (fractionnement isotopique). A l'inverse, lors de la condensation, la phase condensée (pluie par exemple) est toujours enrichie en isotopes lourds au détriment de la phase vapeur résiduelle (nuage).

A l'échelle mondiale, les teneurs en deutérium des pluies sont reliées aux teneurs en oxygène 18 par la relation suivante : $\delta^2\text{H} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 10$, couramment appelée droite mondiale des eaux météoriques (Craig, 1961).

Sous certaines conditions (temps de résidence élevé, faible rapport eau/roche, température élevée du réservoir, échange avec le CO_2), les interactions eau-roche peuvent modifier la composition isotopique initiale de l'eau (cf. illustration 30).

En l'absence d'évaporation ou d'échange avec des gaz dissous, les isotopes stables de la molécule d'eau se comportent comme des traceurs conservatifs et reflètent le mélange des différentes recharges ayant alimenté les eaux souterraines considérées.

L'histoire hydroclimatique d'un aquifère peut être reconstituée par l'abondance des isotopes lourds (^{18}O , ^2H) dont les signatures correspondent à des environnements et des épisodes hydroclimatiques spécifiques, ou des altitudes de recharge différentes.

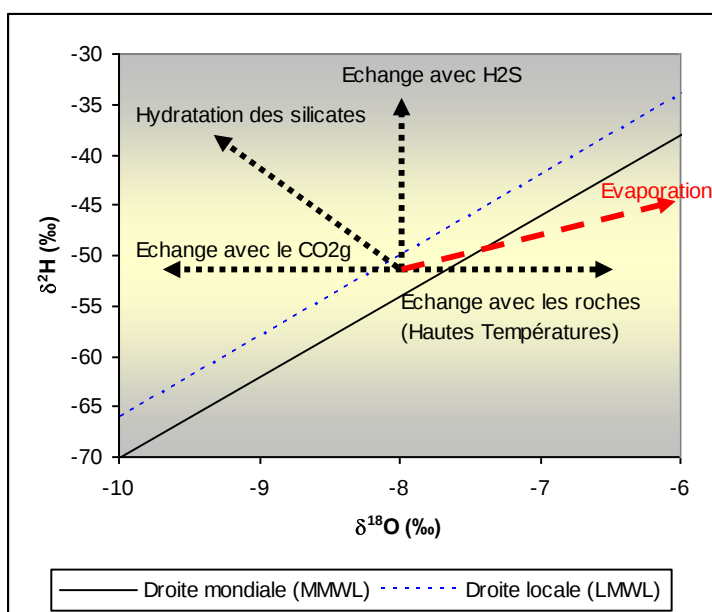


Illustration 30 : Processus d'échanges isotopiques susceptibles d'affecter la signature isotopique (^{18}O , ^2H) de l'eau (d'après Clark et Fritz, 1997)

La localisation de la zone d'alimentation doit être néanmoins abordée avec circonspection si l'on estime avoir affaire à des eaux très vieilles.

Il est possible en effet que des eaux minérales infiltrées lors d'une période plus froide que l'actuelle, comme la dernière période glaciaire, enregistrent un appauvrissement de leurs teneurs en isotopes lourds dû à la baisse générale des températures, l'effet paléoclimatique se surajoutant au seul effet de l'altitude.

3.3. DONNEES ACQUISES SUR LE SITE

3.3.1. Données relatives aux processus d'altération

Une mission de terrain a été menée dans la région de Châteldon au mois de juillet 2011. Cette mission a permis une rapide reconnaissance géologique des altérations dans les zones de socle. Les informations recueillies ont permis l'établissement d'une esquisse de carte géologique modifiée.

L'altération des roches plutoniques et métamorphiques

La texture grossièrement grenue est responsable d'une altération météorique intense du granite à gros grain (γ^{2-3}) et du microgranite ($p\mu\gamma 3$). Ces faciès, rarement visibles à l'état frais, sont remarquables par leur richesse en quartz et par leur pauvreté en éléments ferro-magnésiens.

Sur la zone d'étude, l'intégralité du profil d'altération théorique n'est pas conservée (cf. illustration 26).

Il est possible d'y reconnaître :

- ***l'horizon fissuré*** : à texture et structure initiales conservées, se débite seulement en fragments (cf. illustration 31). Les minéraux sont, dans l'ensemble, moins divisés et moins altérés que dans le niveau décrit ci-dessous. Néanmoins, les plagioclases sont déjà pulvérulents dans la plupart des cas. Cette roche altérée passe, de manière plus ou moins progressive, parfois rapidement, à une roche pratiquement non altérée, d'abord fragmentée puis massive (selon la fréquence des joints). La roche saine, souvent non visible, mais a priori présente en profondeur, peut aussi apparaître latéralement et même constituer des pointements rocheux.



Illustration 31 : Pointement de microgranite fissuré près de « Chez Gironde » (photo BRGM)

- ***l'horizon feuilleté/isaltérite*** à texture et structure initiales conservées, se transformant en sable sous la simple pression des doigts ou au pic. La fragmentation des feldspaths potassiques est accompagnée d'une néoformation de kaolinite en faible proportion. Toujours plus altérés, les plagioclases sont devenus pulvérulents et blanchâtres. Les biotites montrent divers stades d'altération (chlorite, vermiculite, interstratifiés). Le passage à une roche moins

altérée est progressif. C'est la base de ce faciès, se rencontrant préférentiellement au sommet des plateaux, qui a été cartographiée (cf. rose très clair, sur l'illustration 32). En effet, c'est le dernier horizon du profil d'altération qui est visible sur le territoire défini par l'étude. La cuirasse latéritique et les arènes, résultant d'une désagrégation complète de la roche-mère, avec disparition de la texture et de la structure initiales, ne sont pas visibles.

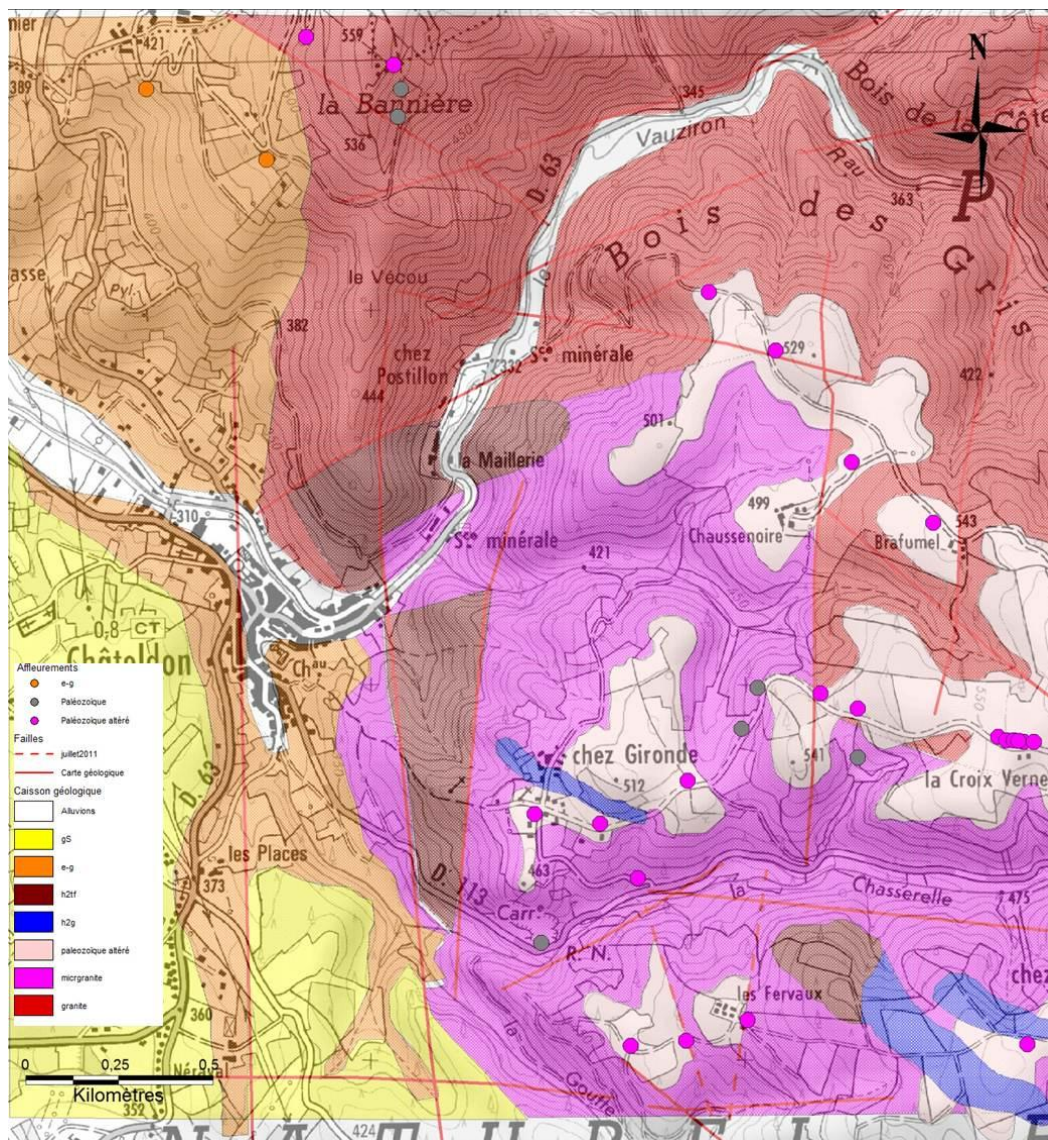


Illustration 32 : Carte géologique modifiée de la zone d'étude

L'altération s'organise le plus souvent selon un profil que l'on retrouve en fonction de l'altitude. Mais les nombreuses failles qui découpent le massif granitique et ses laccolithes représentent des zones d'altération préférentielle. Il est fréquent de rencontrer des faciès de type allotérite au niveau de ces structures géologiques.

L'état d'altération avancé des faciès granitiques témoigne du décapage des horizons d'allotérite, d'isaltérite et des niveaux de cuirasse. Cette absence généralisée de la

partie supérieure du profil témoigne de l'important décapage que la région a connu au cours des temps géologiques.

Ce phénomène est connu dans les zones bordières de la Limagne plus au Sud du Massif Central (région de Saint Germain Lembron ; Prognon et al., 2011). Il constitue un témoin majeur de l'importance des mouvements géodynamiques post-hercyniens.

La remobilisation de ce matériel cristallophyllien altéré est probablement à l'origine des dépôts cartographiés sous l'appellation (e-g) sur la carte de 1974. Ces argiles et sables, supposés d'origine fluvatile, se trouvent à la base de la série sédimentaire comblant les Limagnes. Sur le terrain, ils apparaissent tantôt comme des argiles versicolores, tantôt comme des sables grossiers à gros grains de quartz (cf. illustration 33). Plus on se rapproche de la zone de socle, plus le matériel est grossier. Il est probable que ces dépôts soient issus du démantèlement de la partie supérieure du profil d'altération et qu'il se forme un plaquage sur les paléo-falaises d'un bassin de la Limagne en cours d'ouverture. Cette hypothèse est renforcée par la morphologie du dépôt (e-g) qui traduit mal un dépôt sub-horizontale.



Illustration 33 : Détail du sable grossier à gros grain de quartz qui compose le dépôt cartographié en « e-g » (photo BRGM)

Apport d'une étude géologique plus poussée

La faible quantité d'affleurements dans la zone d'étude rend les investigations géologiques imprécises. Des campagnes géologiques plus importantes, incluant des sondages à la moto-tarière, permettraient d'affiner notre connaissance géologique locale.

Une étude géologique plus détaillée de la zone de Châteldon, focalisée sur les phénomènes d'altération, permettrait de mieux contraindre l'hydrodynamique locale. En effet, la mission de reconnaissance de juillet 2011 a permis de montrer que le massif paléozoïque était altéré. Mais les modalités de l'altération en fonction de la nature du substratum n'ont pas été étudiées avec précision. Or, au moins 4 grands

types de roches de socle sont affectées par l'altération : les granites, les microgranites, les tufs rhyolithiques et les grès micacés.

Les compositions minéralogiques différentes de ces roches ont certainement conduit à différents états d'altération et de fissuration, la richesse originelle en biotite étant un des facteurs induisant l'apparition de l'horizon fissuré. Une détermination précise de la variation du degré de fissuration en fonction de la lithologie du protolithe (roche mère non altérée) aurait un impact direct sur l'étude hydrologique locale, mais nécessiterait une campagne de terrain plus importante. De même, il serait pertinent de reconnaître plus précisément, sur le terrain, les limites entre le granite, le laccolithe de microgranite et les tufs rhyolithiques dans le voisinage immédiat du site d'embouteillage.

Par ailleurs, il serait intéressant de reconnaître par sondage l'épaisseur du dépôt (e-g), sur le versant ouest du massif se trouvant à l'Est du site d'embouteillage. En effet, si l'hypothèse avancée lors de la mission de reconnaissance géologique est vérifiée, ces dépôts sont probablement peu épais. Ils recouvriraient l'horizon fissuré d'un massif de microgranite altéré qui rentrerait alors dans l'aire de recharge du gisement exploité par le site d'embouteillage.

Conclusion partielle

De toute évidence, les roches altérées du secteur considéré jouent un rôle dans l'infiltration d'eaux météoritiques et probablement dans l'alimentation du gisement d'eau minérale. Les roches les plus altérées peuvent constituer des aquifères superficiels vulnérables face aux pollutions superficielles, notamment d'origine anthropique.

Les affleurements altérés identifiés lors des investigations de terrain de juillet 2011 (cf. illustration 32) sont globalement situés à des altitudes supérieures à celles des émergences Desbrest et Vécou.

De ce fait, **les eaux superficielles infiltrées au niveau de ces zones pourraient potentiellement, par différence de charge et à l'aide de fissures, circuler vers les captages.** Ces zones d'altération sont donc des cibles à protéger, même si elles ne représentent, dans le secteur de Châteldon, que des aquifères peu productifs et assez limités spatialement.

Il convient de noter cependant qu'**aucune variation physico-chimique** significative, témoin potentiel d'un mélange entre eau minéralisée à circuit profond et eau de surface « parasite », **n'a été observée sur l'eau exploitée par la SCBV jusqu'à présent.** La bonne qualité des eaux exploitées est probablement liée au fait qu'à l'émergence l'exploitation de l'eau minérale de Châteldon est artésienne jaillissante. La ressource dispose en effet, par ce fait, d'une protection naturelle conséquente. L'artésianisme réduit en effet les risques d'infiltration d'eaux superficielles vers les captages exploités.

La démarche d'étude des zones d'altération du site « test » de Châteldon est un élément de la compréhension de l'hydrosystème du site « test » étudié, pour le secteur des émergences.

3.3.2. Données relatives aux isotopes stables de l'eau

Résultats des analyses

Les résultats des analyses isotopiques effectuées sur l'eau de Châteldon sont reportés dans le tableau de l'illustration 34 pour les isotopes stables de la molécule d'eau (^2H , ^{18}O).

	date échantillonnage	$\delta^2\text{H}$ (‰)	erreur	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	erreur
Captage Desbrest	11/05/2011	-63.3	0.8	-9.2	0.1
Captage Vécou	11/05/2011	-63.6	0.8	-9.2	0.1

Illustration 34 : Résultats des mesures isotopiques de l'eau de Châteldon (captages Desbrest et Vécou)

Interprétation des données acquises

Les données des isotopes stables de la molécule d'eau sont représentées graphiquement sur l'illustration 35 ($\delta^2\text{H}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$) avec la droite mondiale des eaux météoriques ($\delta^2\text{H} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 10$; Craig, 1961) et la droite locale ($\delta^2\text{H} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 13.1$).

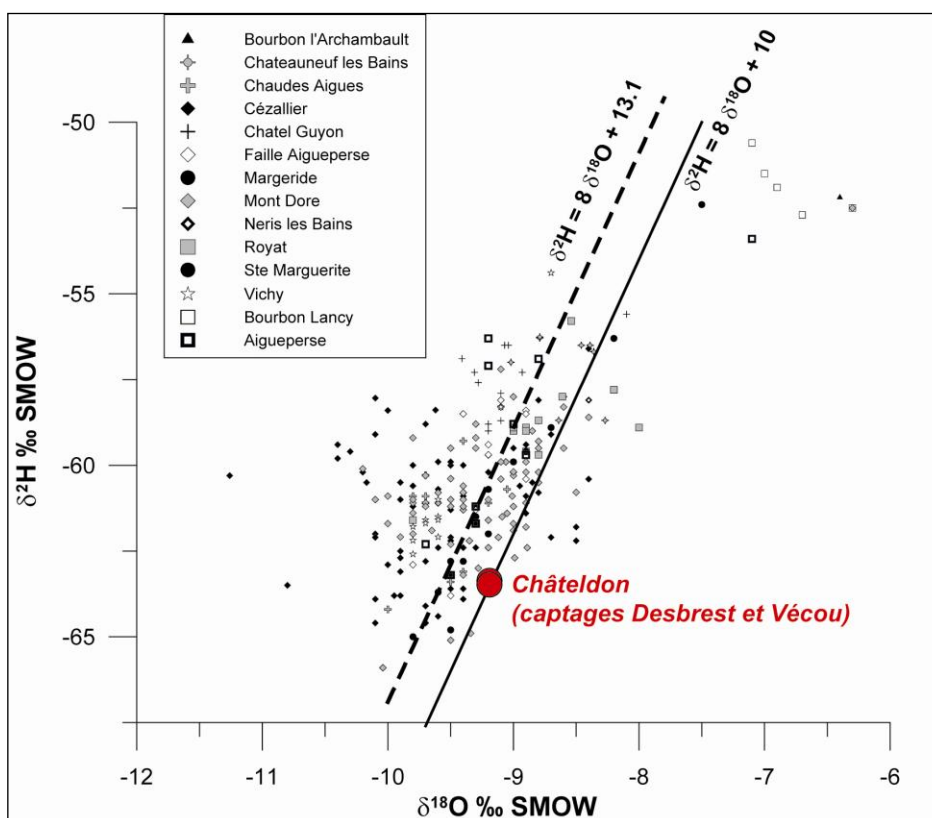


Illustration 35 : Diagramme $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ dans les eaux thermo-minérales du Massif Central (synthèse de Négrel et al., 2004)

Conclusion partielle

Les deux points de prélèvement en date du 11 mai 2011 (captage Desbrest et captage Vécou) possèdent des signatures isotopiques $\delta^2\text{H}$ et $\delta^{18}\text{O}$ identiques, compte tenu des incertitudes de mesure, avec une valeur moyenne de - 63.5 ‰ et - 9.2 ‰ respectivement pour $\delta^2\text{H}$ et $\delta^{18}\text{O}$.

Les isotopes stables de la molécule d'eau ($\delta^2\text{H}$ et $\delta^{18}\text{O}$) du site de Châteldon montrent une signature qui se situe sur la droite mondiale des eaux météoriques (cf. illustration 35). La signature isotopique de l'eau de Châteldon est très proche de l'eau de pluie moyenne du Massif Central qui est donnée avec un $\delta^2\text{H} = -62\text{‰}$ et un $\delta^{18}\text{O} = -9\text{‰}$ (Petelet-Giraud et al, 2005), confirmant ainsi l'origine météorique de cette eau.

De plus, il n'est pas observé de décalage vers la droite de la droite mondiale des eaux météoriques, ce qui montre qu'aucun signal géothermal n'est donc enregistré par les isotopes de la molécule d'eau.

Concernant l'altitude de recharge, il convient désormais de caler les analyses sur une droite de référence pour avancer dans la compréhension du système. Ceci pourrait orienter de prochaines investigations.

3.4. APPORT DU SITE « TEST » ETUDE / RECOMMANDATIONS

L'étude du site « test » de Châteldon permet d'illustrer les apports de deux disciplines distinctes pour mieux caractériser la circulation des eaux souterraines dans un hydrosystème :

- l'analyse détaillée des zones d'altération ;
- l'analyse des isotopes stables de l'eau.

La connaissance géologique précise d'un site est une condition indispensable à la compréhension des phénomènes qui régissent un schéma hydrominéral et, par voie de conséquence, sa protection. Cette connaissance est à détailler avec plus ou moins de précision selon la géologie locale et selon les caractéristiques des fluides en cause.

L'exemple du site de Châteldon montre d'une part qu'en contexte granitique la qualification des zones d'altération qui favorisent la circulation préférentielle des eaux est une démarche de connaissance pertinente. Elle permet en effet de cartographier les secteurs à protéger où, tout au moins, pour lesquels il est nécessaire de maintenir un œil averti pour éviter tout développement d'activité potentiellement polluante.

L'exemple du site de Châteldon montre d'autre part que l'analyse des isotopes stables de l'eau constitue une première étape dans la caractérisation de l'origine de l'eau.

Pour ce site, il est recommandé :

- de se soucier de l'évolution des activités anthropiques sur les zones d'altération situées à proximité des ouvrages de captage ;
- d'améliorer la délimitation des zones de recharge de l'eau minérale exploitée afin d'agir pour protéger le gisement dans le secteur de l'impluvium, mal défini au stade actuel.

4. Conclusion

L'étude du site « test » de Châteldon réalisée dans le cadre du programme PRESCRIRE a permis de noter les différentes composantes qui caractérisent la préservation de la qualité des eaux minérales de Châteldon et la protection du gisement.

Il ressort de l'analyse du site de Châteldon les points essentiels suivants :

- le secteur amont du circuit hydrominéral (secteur de l'impluvium) n'est pas, selon les données disponibles, identifié et on ne dispose pas, en conséquence, d'éléments relatifs à sa protection relative ;
- le secteur des émergences répond aux objectifs de qualité des eaux minérales exploitées. Aucun problème de qualité n'est constaté. Cette situation est probablement liée aux conditions d'exploitation spécifiques du site. Le maintien d'un artésianisme jaillissant garantit en effet une sous-pression du gisement et évite des mélanges entre l'eau minérale avec des eaux superficielles de qualité distincte ;
- le secteur des émergences est préservé par rapport aux activités anthropiques de la commune et de ses environs. La présence d'une altération des roches à proximité assez rapprochée des captages (en amont hydraulique) constitue cependant un point sensible pour ce qui est de la protection du système hydrominéral.

Au vu de ces éléments et compte tenu du contexte géologique particulier du site de Châteldon, le programme PRESCRIRE a été orienté sur l'apport de l'analyse des processus d'altération et de l'analyse des isotopes stables de l'eau, pour compléter la connaissance locale et mieux qualifier ainsi le système hydrogéologique spécifique du site d'embouteillage d'eau carbo-gazeuse de Châteldon.

Il apparaît que l'étude des processus d'altération du granite, ainsi que l'analyse des isotopes stables de l'eau ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ et $^2\text{H}/^1\text{H}$) complètent de manière significative la compréhension du contexte hydrogéologique local.

L'analyse de l'altération a permis, en effet, de cartographier les secteurs altérés susceptibles de favoriser des circulations d'eau superficielle vers les captages exploités.

Les méthodes isotopiques utilisées ont permis quant à elles d'avoir accès à de premiers éléments pour la caractérisation de l'origine de l'eau.

Il est recommandé pour le site de Châteldon de se soucier de l'évolution des activités anthropiques sur les zones d'altération situées à proximité des ouvrages de captage, et d'améliorer la délimitation des zones de recharge de l'eau minérale exploitée afin d'agir pour protéger le gisement dans le secteur de l'impluvium, mal défini au stade actuel.

Annexe 1.

Eléments de bibliographie

Acworth, R. I. (1987) - "The development of crystalline basement aquifers in a tropical environment." Q. J. Eng. Geol. 20 : 265-272.

Antéa (2006) - Pompage d'évaluation du forage Postillon à Châteldon (63). Rapport N° 42737/A, 6 pages, juillet 2006. Document appartenant à la Société Commerciale d'Eaux Minérales du Bassin de Vichy.

Résumé : Ce rapport concerne le pompage d'essai longue durée effectué entre le 23 mars et le 18 mai 2006 sur le forage réalisé fin 2002 au lieu-dit Chez Postillon. Après 2 mois de pompage des variations notables de la conductivité sont observées, en fonction du débit pompé. Ces variations ne sont pas conformes à une autorisation d'exploiter pour la production « d'eau minérale », qui pourrait être demandée pour ce forage.

Antéa (2003) - Châteldon (63). Compte-rendu des travaux de forage, Rapport N° 30039/A, 11 pages, avril 2003. Document appartenant à la Société Commerciale d'Eaux Minérales du Bassin de Vichy.

Résumé : Ce document se compose d'une première partie constituant le compte rendu technique de foration, avec notamment les coupes géologique et technique de l'ouvrage ainsi que la description des venues d'eau, et d'une seconde partie relative à l'interprétation des pompages de courte durée. La ressource captée par cet ouvrage est du même type que celle embouteillée à Châteldon, mais moins minéralisée. Seul un pompage d'essai de longue durée permettrait de conclure sur la possibilité d'exploiter ce forage pour l'embouteillage d'eau minérale par la SCBV.

Ce rapport comporte en annexe :

- le dossier de déclaration au titre de la loi sur l'eau du 3 janvier 1992 en date d'octobre 2002 (rapport Antéa, 13 pages) ;
- le rapport de chantier de l'entreprise Vauthrin intitulé « Site de Châteldon. Transformation du forage de reconnaissance en exploitation (profondeur 70 m). Travaux réalisés du 12/02/2003 au 28/02/2003 ». 17 pages ;
- les résultats des analyses chimiques réalisées sur le forage du lieu-dit Chez Postillon, par le laboratoire Neptune à Saint-Yorre en décembre 2002.

Cho M., Choi Y.S., Ha K.K.C., Kee W.S., Lachassagne P., Wyns R. (2003) - Paleoweathering covers in korean hard rocks : a methodology for mapping their spatial distribution and the thickness of their constituting horizons. Applications to identify brittle deformation and to hard rock hydrogeology. Korean institute of geoscience and mining bulletin, 6, 2, 12-25.

Clark I.D., Fritz P. (1997) - Environmental isotopes in hydrogeology, Lewis Publishers, 328 p.

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

Davis, S. N. and Turk, L. J. (1964) - Optimum depth of wells in crystalline rocks, *Groundwater* 2, (2), 6-11.

Lachassagne P., Bérard P., Bruel T., Chéry L., Coutand T., Desprats J.F., Le Strat P., Wyns R. (2001) - Exploitation of high-yield in hard-rock aquifers. Downscaling

methodology combining GIS and multicriteria analysis to delineate field prospecting zones, *Groundwater*, 39, 4, 568-581.

Lachassagne P., Wyns R. and Dewandel B. (2011) - The fracture permeability of Hard Rock Aquifers is due neither to tectonics, nor to unloading, but to weathering processes. *Terra Nova*, 23, 3, 145–161.

Mercier F. (1995) - Châteldon (Puy-de-Dôme). Compte rendu de foration, 13 pages. Rapport Antéa N° A 03226, juin 1995. Document appartenant à la Société Commerciale d'Eaux Minérales du Bassin de Vichy.

Résumé : Ce rapport constitue une synthèse des étapes de foration de l'ouvrage réalisé en avril 1995 à côté de l'usine d'embouteillage. Ce document contient des informations telles que les coupes géologique et technique de l'ouvrage.

Mercier-Batard F., Rouzaire D. (1992) - Châteldon (Puy-de-Dôme). Prospection du CO₂ dans les sols. Rapport BRGM N° R34833, mars 1992. 9 pages. Document appartenant à la Société Commerciale d'Eaux Minérales du Bassin de Vichy.

Résumé : La méthode de prospection utilisée dans cette étude est détaillée dans la première partie de ce rapport, suivie de la présentation des résultats (sous forme de carte) et de leur interprétation.

Négrel Ph., Petelet-Giraud E., Serra H., Millot R., Kloppmann W. (2004) - Caractéristiques hydrogéochimiques et isotopiques d'eaux thermo-minérales du Massif Central. Inventaire du potentiel géothermique de la Limagne (projet COPGEN). *Rapport BRGM/RP-53597-FR*, 173 p.

Perrisol M. (1998) - Etude géologique des environs de Châteldon, Puy-de-Dôme. Rapport Bureau d'études Orques, 10 pages, décembre 1998. Document appartenant à la Société Commerciale d'Eaux Minérales du Bassin de Vichy.

Résumé : Ce rapport se compose de deux parties présentant le contexte géologique à l'échelle régionale et locale, le dernier chapitre étant réservé à la présentation de guides de prospection (structuraux et géochimiques).

Petelet-Giraud E., Casanova J., Chery L., Négrel Ph., Buschaert S. (2005) - Essai de caractérisation isotopique ($\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$) du signal météorique actuel à partir des lacs et réservoirs : application au quart sud-ouest de la France. *La Houille Blanche* n° 2, p 57-62.

Prognon, F., Vanderhaeghe O., Wattine A., Pastre J.F., Bouiller R., Carte géologique de Saint Germain Lembron, France (1/50 000ème), feuille (742) – Accepté avec révision mineure par le CCGF.

VAL Environnement (2009) - Dossier de Demande d'Autorisation d'Exploiter une source d'eau minérale naturelle - Société SCBV Usine d'embouteillage de Châteldon, Puy-de Dôme (63), septembre 2009. Document des archives Eaux minérales Auvergne (BRGM Auvergne).

Wright, E. P. (1992) - The hydrogeology of crystalline basement aquifers in Hydrogeology of Crystalline Basement Aquifers in Africa. E. P. a. B. Wright, E.G., Geological Society Special Publication, London. 66, 1-27.

Wyns R., (1991) - L'utilisation des paléosurfaces continentales en cartographie thématique probabiliste. *Géologie de la France*, 3, 3-9.

Wyns R., Gourry J.-C., Baltassat J.-M., Lebert F. (1999) - Caractérisation multi-paramètres des horizons de subsurface (0-100m) en contexte de socle altéré. in GEOFCAN 1997 - Colloque géophysique des sols et des formations superficielles - Orstom – Bondy, France, 11-12/09/1997, Actes du colloque, 139-142.

Wyns R. (2003) - Fissuration profonde induite par l'altération : processus d'acquisition et répartition 3D des propriétés physiques des profils d'altération. In 9ème Congrès Français de Sédimentologie, Bordeaux, France, 14-16 octobre 2003 : Livre des Résumés, Publ. ASF, Paris, 38, 529-530.

Wyns R., Baltassat J.-M., Lachassagne P., Legchenko A., Vairon J. (2004) - Application of Magnetic Resonance Soundings to groundwater reserve mapping in weathered basement rocks (Brittany, France). *Bull. Soc. Géol. France*, (175), 1, 21-3.

Annexe 2.

Légende de la carte géologique à 1/50 000 de Maringues

670

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

CARTE GÉOLOGIQUE DE LA FRANCE A 1/50 000

MARINGUES

Les explorations et les tracés géologiques ont été effectués en 1974 par :
- Michel Jeambrun et Paul Dadet, ingénieurs géologues au Bureau de recherches géologiques et minières, pour les terrains paléozoïques
- Léopold Clozier, géologue au B.R.G.M., pour les formations tertiaires et les formations superficielles
- Régis Fleury, géologue au B.R.G.M., pour les formations alluviales et la formation du Bourbonnais
La coordination générale des levés et la stratigraphie des dépôts tertiaires ont été assurées par Denis Giot, ingénieur géologue au B.R.G.M.
Cette feuille a été publiée en 1980

FORMATIONS ANTHROPIQUES

X	Remblais divers
X[Fy-z]	Remblais partiels, nivellements sur alluvions Fy-z

FORMATIONS ALLUVIALES
Alluvions différenciées selon des
critères essentiellement altimétriques

Fz	Collecteurs principaux : Vallée de l'Ailier : sables, graviers, galets (quartz, roches cristallines, volcaniques, métamorphiques), argiles, limons Vallée de la Dore : sables, graviers, galets (quartz, roches cristallines) Vallée du Buron : sables, graviers, argiles et, localement, marnes et calcaires altérés remaniés Vallées de la Morge et du Bédât : sables et graviers (roches cristallines et volcaniques) localement carbonatés, argiles, limons
Fy-z	Vallées de la Creugne et du Vauziron : sables, graviers, blocailles quartzo-feldspathiques, argiles
Fy	Collecteurs secondaires : argiles, sables, graviers, localement marnes et calcaires altérés remaniés
Fx-yA	Vallée de l'Ailier : sables, graviers, galets (roches volcaniques, cristallines, quartz) du niveau Fy entamant et recouvrant les matériaux du niveau Fx

Fx-A, Fx-A - Vallée de l'Ailier : sables, graviers, galets (roches volcaniques, granites, quartz)
Fx-D, Fx-D - Vallée de la Dore : sables, graviers, blocailles quartzo-feldspathiques, localement argileux
Fx-M, Fx-M - Vallée de la Morge : sables et graviers (granite, roches volcaniques) localement, marnes et calcaires altérés remaniés
Fx-B - Vallée du Bédât : sables et graviers (granite, roches volcaniques) localement, marnes et calcaires altérés remaniés
Fx-S - Vallée du Buron : sables quartzo-feldspathiques, gravilles marno-calcaires
Fx-F, Fx-F - Vallées du Vauziron et de la Creugne : sables grossiers quartzo-feldspathiques, galets et blocailles (quartz, granite)
Fx-F, Fx-F - Vallées du Lausson et du Gourcet : sables, graviers, argiles, marnes et calcaires altérés remaniés

Fx-A	Fx-D	Fx-M	Fx-B	Fx-S	Fx-F
Fx-A	Fx-D	Fx-M	Fx-B	Fx-S	Fx-F

Fw-A, Fw-A - Vallée de l'Ailier : sables, graviers, galets (granites et gneiss altérés, roches volcaniques, quartz, silex)
1 - couverture argilo-sableuse sur graviers et galets
Fw-D, Fw-D - Vallée de la Dore : sables localement argileux, graviers, galets, blocailles (granites altérés, quartz)
Fw-C - Vallée de la Creugne : sables grossiers quartzo-feldspathiques, galets et blocailles (quartz, granite)
Fw-B - Vallée du Buron : sables quartzo-feldspathiques, gravilles calcaro-marneuses, graviers et galets (quartz, granites altérés, basaltes, silex) parfois résiduels sur substrat marneux (R_{GM}^W)
Fw-M - Vallée de la Morge : sables quartzo-feldspathiques, graviers et galets (granites altérés, roches volcaniques) parfois résiduels sur substrat marneux (R_{GM}^W)

Fw-A	Fw-D	Fw-C	Fw-B	Fw-M
Fw-A	Fw-D	Fw-C	Fw-B	Fw-M

F_W^W, F_W^W, F_W^W - Surfaces d'érosion fluviale (F) d'âges relatifs connus (w₁ ou w₂), recouvertes ou non de matériaux remaniés pour l'essentiel de la formation sous-jacente

Fv-A, Fv-A - Vallée de l'Ailier : sables, graviers, galets (granites très altérés, roches volcaniques, quartz, silex) parfois résiduels sur substrat marneux (R_{GM}^W)
1 - couverture argilo-sableuse sur graviers et galets
Fv-D, Fv-D - Vallée de la Dore : sables argileux quartzo-feldspathiques
Fv-M - Ancienne vallée de la Morge (THURET - ST-CLEMENT) : sables, graviers, galets (granites, quartz, silex, basaltes, rhyolites) parfois résiduels sur substrat marneux (R_{GM}^W)

Fv-A	Fv-D	Fv-M
Fv-A	Fv-D	Fv-M

Fu-B - Vallée de l'Ailier : sables, graviers, galets (quartz, silex, granites altérés, roches volcaniques) parfois résiduels sur substrat marneux (R_{GM}^W)

Fu-B	Fu-S
Fu-B	Fu-S

Ft - Vallée de l'Ailier : graviers et galets (quartz, silex, roches volcaniques, granites altérés) parfois résiduels sur substrat marneux (R_{GM}^W)

FORMATIONS PALÉOZOÏQUES ET PRODUITS D'ALTÉRATION DÉRIVÉS
Formations sédimentaires et volcano-sédimentaires dévono-dinantiennes

Facès d'altération	
thet	Tufs rhyolitiques
h ₂	Poudingues
h ₂ S	Siltites, grès et petits niveaux conglomératiques
h ₂ S	Métamorphisme d ₀ aux granites et microgranites hercyniens Facès "cornéenne à hornblende"
h ₂ S	Grès micacés à biotite et cordiérite
h ₂ S	Complexe andésitique "volcano-sédimentaire"

Roches éruptives hercyniennes

Granites	
h ₂ S	Granite à grain fin, calco-alcalin, à biotite
h ₂ S	Granite porphyroïde calco-alcalin, à biotite et amphibole (granite du Mayet de Montagne et de Busset)
h ₂ S	Granite à gros grain, riche en quartz et pauvre en biotite, tendance alcaline (type Bois-Noirs)
h ₂ S	Zone à recristallisations et structure orientée d'origine cataclastique

Microgranites

h ₂ S	Microgranite aphanitique ou peu porphyrique
h ₂ S	Microgranite porphyrique sombre
h ₂ S	Microgranite porphyrique en laccolite
h ₂ S	Microgranite indifférencié

Roches éruptives calédoniennes

h ₂ S	Granite monzonitique porphyroïde à biotite (type Château-Gaillard)
------------------	--

FILONS

Q	Quartz
---	--------

Cas particuliers de recouvrements alluviaux

	Alluvions Fy du Buron (sables argileux avec débris calcaires) emboîtées dans les alluvions Fx-y de l'Allier
	Alluvions Fm de la Morge (sables grossiers quartzo-feldspathiques) emboîtées dans les alluvions Fx de l'Allier
	Alluvions Fx du Buron emboîtées dans les alluvions Fx-B de l'Allier
	Alluvions Fm de la Dore emboîtées dans les alluvions Fx de l'Allier
---	Limite de nappes sub-contemporaines confluentes
----	Subdivision locale dans une même nappe
- - - -	Méandre, chenal (fossile)

COLLUVIONS ET COMPLEXES DE FORMATIONS SUPERFICIELLES

			Colluvions diverses : argiles, sables, graviers, galets non différenciés C - Colluvions des fonds de vallons C1 - Colluvions des bas versants C2 - Colluvions alimentées essentiellement par les arènes
			Complexe des dépressions : alluvions et colluvions imbriquées de composition variable (argiles, marnes, sables, localement galets)
			Colluvions et alluvions indifférenciées : argiles, sables, marnes, graviers, galets
Colluvions sur gM : colluvions alimentées par la formation des sables et argiles du Bourbonnais et les formations alluviales			
 gM - galets polygéniques colluvions alimentées par les formations oligocènes gC, gM gM - marnes, argiles gM - fragments de calcaire, marnes			
B1 - Blocailles essentiellement constituées de roches du Viséen (schistes - conglomérats)			
B2 - Blocailles essentiellement constituées de quartz issus soit du socle, soit des formations oligocènes détritiques			

FORMATIONS DES SABLES ET ARGILES DU BOURBONNAIS

	FL - Ensemble de dépôts fluviatiles et fluvo-lacustres constitué de galets, graviers, sables, silts et argiles en place ou peu remaniés, parfois résiduels sur substrat marneux (gM, gC)
	3 - Sables grossiers à galets peu abondants
	2 - Argiles, silts et sables
	1 - Sables grossiers à graviers et galets (quartz, silex, rares granites et roches volcaniques)

FORMATIONS SÉDIMENTAIRES TERTIAIRES ET COLLUVIONS DÉRIVÉES

Oligocène supérieur

	Cg - Colluvions alimentées essentiellement par les formations oligocènes gC, gM gC - Calcaires concrétionnés, calcarénites, marnes 1 - récifs gM - Marnes et argiles vertes à Cypris 1 - petits édifices récifaux dispersés 2 - concrétions à Algues et Phryganes (récif) gMS - Sable, argiles, marnes alternées
--	--

	Notations chronostratigraphiques ponctuelles (d'après microflore)
	Zone de Pont-du-Château supérieure
	Zone de Pont-du-Château inférieure

Stampien

	Argiles
--	---------

Oligocène indifférencié

	Sables argileux, quartzo-feldspathiques (g1) et argiles vertes alternées, localement grésifiés (g1, indication ponctuelle) ou conglomératiques (gr), en place ou faiblement remaniés
--	--

Eocène à Oligocène (partie inférieure)

	Argiles et sables, quartzo-feldspathiques bariolés rouges et verts, localement conglomératiques, en place ou faiblement remaniés
	Argiles du bassin de la Chapelle d'âge tertiaire indéterminé

	Lamprophyre
	Aplite, granite à deux micas
	Microgranite
	Rhyolite
	Cataclastites

*	Point d'observation remarquable
<	Direction et pendage de couches

	1 - Contour géologique visible
	2 - Contour supposé de certaines formations superficielles
	3 - Faille visible
	4 - Faille masquée
	5 - Faille supposée

	Source minérale captée isolée (source autorisée)
--	--

	Groupe de sources minérales captées (sources autorisées)
--	--

--- Limite du périmètre de protection des sources minérales de Vichy

1,30	Sondage peu profond avec indication de la profondeur en mètres
------	--

95,0	Sondage de reconnaissance avec indication de la profondeur en mètres
------	--

3-55	Numéro d'archivage au Service géologique national
------	---

EPAISSEURS DES FORMATIONS

(les indications d'épaisseurs sont données par les sondages et les points d'observation, les chiffres se rapportent à la formation qu'ils surchargent)

2,00	Formation affleurante reconnue sur 2 mètres
------	---

1,50 gM	Epaisseur totale de la formation affleurante sur substrat identifié
---------	---

Les notations sont parfois remplacées par des indications lithologiques 7,80 mar

RESSOURCES DU SOUS-SOL ET EXPLOITATIONS

	Filon avec direction
	Indice
	Galène
	Fluorine
	Chalcopryrite, malachite
	Uranium
	Etain
	Blende
	Mispickel
	Marne
	Sable
	Sables et graviers
	Sables et galets
	Granite

Carrières à ciel ouvert :

	en activité
	extension du front de taille
	remblayée
	abandonnée
	Carrière souterraine



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude Guillemin
BP 36009
45060 Orléans cedex 2 - France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service Géologique Régional Auvergne
Campus des Cézeaux
12, avenue des Landais
63170 Aubière - France
Tél. : 04 73 15 23 00