

Document public



59921

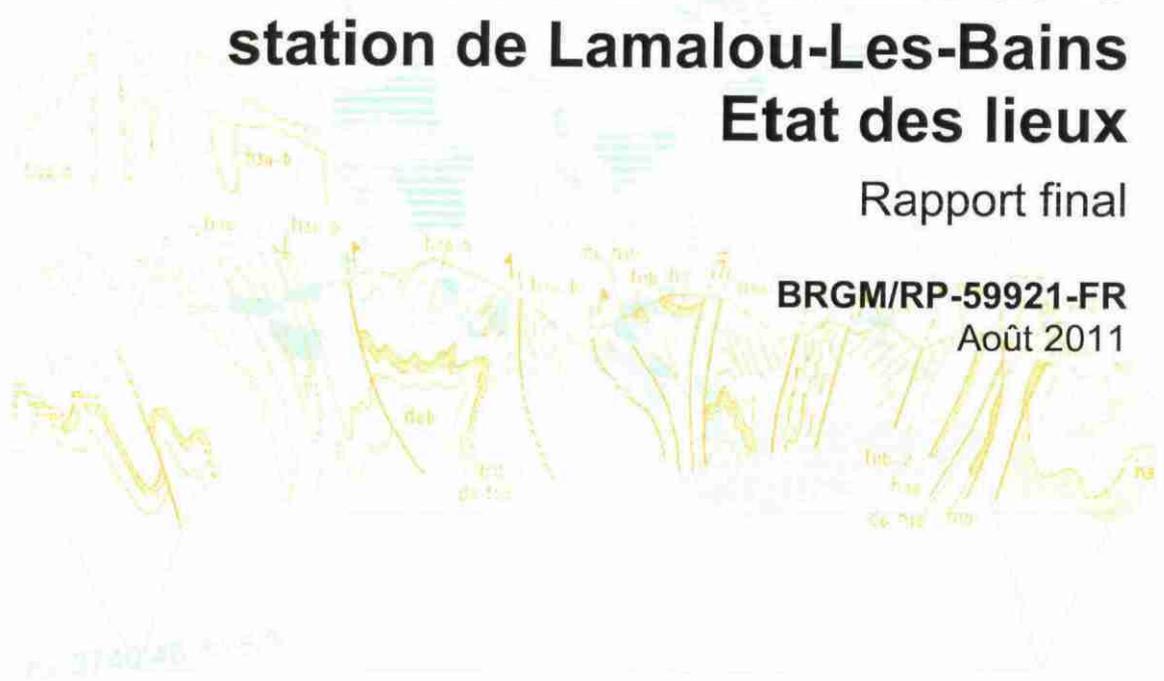


Ressource en eau thermale de la station de Lamalou-Les-Bains

Etat des lieux

Rapport final

BRGM/RP-59921-FR
Août 2011



Géosciences pour une Terre durable

brgm



3 5000 00059795 4

Ressource en eau thermale de la station de Lamalou-les-Bains Etat des lieux

Rapport final

BRGM/RP-59921-FR
Août 2011

Étude réalisée dans le cadre du projet
de Service public du BRGM PSP10LRO30

C. Lamotte - C. Gironde - B. Ladouche
Avec la collaboration de
E. Le Goff

Vérificateur :

Nom : P. Vigouroux

Date : 17 octobre 2011

Approbateur :

Nom : M. Audibert

Date : 25 octobre 2011

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 : Lamalou-les-Bains, eau thermale, ressource, qualité, protection, exploitation

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

Lamotte C., Gironde C., Ladouche B. avec la collaboration de Le Goff E. (2011). Ressource en eau thermale de la station de Lamalou-les-Bains – Etat des lieux. BRGM/RP-59921-FR, 104 pages, 44 illustrations, 5 annexes.

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

Synthèse

L'analyse de la ressource en eau thermale de la station de Lamalou-Les-Bains s'inscrit dans le cadre du programme régional thermalisme intitulé « **Qualité de la ressource en eau thermale des stations du Languedoc-Roussillon** ». Ce programme, mené sur la période 2010 à 2012, est cofinancé par l'Union Européenne (FEDER), la Région Languedoc-Roussillon, le Conseil Général de l'Hérault et le BRGM. Il est mené en partenariat avec la Fédération Thermale et Climatologique Languedoc-Roussillon (FTCLR).

L'état des lieux réalisé pour la station de Lamalou-les-Bains permet de préciser les points principaux suivants :

- concernant les **connaissances du gisement** et du système hydrothermal, les données existantes ne permettent pas de disposer d'une vision précise de la géologie et de l'hydrogéologie locale ;
- concernant la connaissance du **fluide thermal**, les données disponibles permettent de caractériser les eaux exploitées au niveau des émergences mais la caractérisation du circuit hydrominéral reste mal définie (circuit hydrominéral) ;
- concernant les **conditions d'exploitation** de la ressource, vu la stabilité des caractéristiques physico-chimiques et en l'absence de problème sanitaire, on peut considérer que l'exploitation du site présente le niveau de sécurité requis ;
- concernant la **sécurité d'approvisionnement**, le site est alimenté par deux forages et il existe en outre un ouvrage de remplacement en cas de problème technique. Le site ne dispose cependant pas de forage de secours ;
- concernant le **suivi d'exploitation** de la ressource, il est performant et permet de juger du bon fonctionnement de l'exploitation. La procédure de validation des données (calibration) mérite une attention plus soutenue ;
- concernant le **contexte environnemental** et la **protection du gisement**, sur la base des connaissances actuelles du gisement et des données de qualité dans le temps, on peut considérer que le site bénéficie de conditions favorables. Une meilleure connaissance du circuit hydrothermal est cependant recommandé ;
- concernant le **cadre réglementaire**, les autorisations d'exploiter sont acquises pour les deux ouvrages exploités mais non pour le forage de substitution. Le périmètre de protection établi au titre de la DIP n'est pas, quant à lui, directement applicable aux ouvrages exploités.

A **court terme** les pistes de progrès qu'il est recommandé de suivre pour renforcer la qualité de la ressource thermale de Lamalou-Les-Bains concernent :

- L'amélioration de la **connaissance du gisement** (géologie et hydrogéologie) ;
- L'amélioration de la **connaissance du circuit hydrothermal** (géochimie).

A **moyen terme** les pistes de progrès sont :

- La réalisation d'un **ouvrage de secours** (indépendant des ouvrages actuels) ;
- L'actualisation de la **protection réglementaire** (DIP et périmètre associé).

Sommaire

1. Introduction.....	9
1.1. CADRE DU PROGRAMME REGIONAL THERMALISME.....	9
1.2. MODALITES D'INTERVENTION.....	9
2. La station thermale de Lamalou-les-Bains.....	11
2.1. CONTEXTE GENERAL DU SECTEUR DE LAMALOU-LES-BAINS.....	11
2.1.1. Contexte géographique.....	11
2.1.2. Contexte climatique.....	12
2.1.3. Contexte géologique.....	15
2.1.4. Contexte hydrogéologique.....	20
2.2. L'ACTIVITE THERMALE DE LA STATION.....	23
2.2.1. Historique de l'activité thermale.....	23
2.2.2. Nature de l'activité thermale.....	23
2.2.3. Importance de l'activité thermale.....	24
3. La ressource en eau thermale de la station de Lamalou-les-Bains.....	27
3.1. LE GISEMENT D'EAU THERMO-MINERALE.....	27
3.1.1. Approche théorique de la notion de gisement.....	27
3.1.2. L'état de la connaissance sur le gisement de Lamalou-Les-Bains.....	29
3.1.3. Valorisation et (ré)-interprétation des données chimiques et isotopiques disponibles sur le gisement thermo-minéral et le secteur d'étude.....	31
3.2. LA RESSOURCE THERMALE EXPLOITEE.....	47
3.2.1. Les différents ouvrages.....	47
3.2.2. Les caractéristiques physico-chimique de la ressource.....	50
3.3. LA MISE EN PRODUCTION – LES EQUIPEMENTS.....	54
3.3.1. Les captages existants.....	54
3.3.2. Les plateaux techniques de suivi d'exploitation.....	57
3.3.3. Les conditions de transport et de stockage.....	58
3.3.4. La relation ressources / besoins.....	58
3.4. LE SUIVI D'EXPLOITATION – LA MAINTENANCE.....	59
3.4.1. Le suivi d'exploitation.....	59
3.4.2. Dispositif de maintenance.....	65

3.5. LE CADRE REGLEMENTAIRE.....	65
3.5.1. Les autorisations existantes.....	65
3.5.2. Les procédures en cours.....	67
4. Conclusion.....	69
4.1. LA SITUATION ACTUELLE DE LA RESSOURCE THERMALE.....	69
4.2. LES PISTES DE PROGRES A COURT ET MOYEN TERME	70

Liste des illustrations

Illustration 1 : La station thermale de Lamalou-Les-Bains et les autres sites d'exploitation d'eau thermale de la région Languedoc-Roussillon	10
Illustration 2 : Carte de situation de la commune de Lamalou-Les-Bains dans le contexte géographique local	11
Illustration 3 : Position relative de la commune de Lamalou-Les-Bains dans le contexte géologique local	12
Illustration 4 : Carte de situation de la commune de Lamalou-Les-Bains et des stations météo de référence du secteur	13
Illustration 5 : Variation annuelle des températures (station Les Aires) – Données Météo-France.....	13
Illustration 6 : Cumul annuel des précipitations du secteur de Lamalou-Les-Bains.....	14
Illustration 7 : Moyenne mensuelle des précipitations dans le secteur de Lamalou-Les-Bains	14
Illustration 8 : Contexte géologique simplifié du secteur de Lamalou-Les-Bains (Extrait de la carte géologique de Bédarieux au 1/50 000).....	15
Illustration 9 : Carte géologique 1/50 000° du secteur de Lamalou-Les-Bains (Extrait de la carte Bédarieux).....	17
Illustration 10 : Carte géologique simplifiée de la région de Lamalou-les-Bains (Extrait rapport BRGM 84LRO557PR)	19
Illustration 11 : Entités hydrogéologiques du secteur de Lamalou-Les-Bains	20
Illustration 12 : Coupe hydrogéologique interprétative (Extrait rapport A.I.G.H.A., 2008)	22
Illustration 13 : Evolution de l'activité thermale pour la période 2001 à 2010	24
Illustration 14 : Schéma de principe du circuit hydrominéral.....	28
Illustration 15 : Schéma structural interprétatif (Extrait rapport Antea A 00213 MON 94)	30
Illustration 16 : Analyse en composantes principales sur les résultats des éléments majeurs (Cl, Na, K, Ca, Mg, SO4, NO3, HCO3), traces métalliques (Fe, Mn) , température, pH et conductivité des eaux du site de Lamalou-les-Bains.	33

Illustration 17 : ACP - Projection des échantillons dans le plan factoriel 1-2	34
Illustration 18 : Evolution des teneurs en sodium et potassium mesurées dans les eaux du secteur d'étude en fonction des teneurs en Cl.....	35
Illustration 19 : Evolution des teneurs en sodium et potassium mesurées dans les eaux du secteur d'étude en fonction des teneurs en bicarbonate.	36
Illustration 20 : Evolution des teneurs en silice mesurées dans les eaux du secteur d'étude en fonction de la température.....	37
Illustration 21 : Evolution des teneurs en Calcium et Magnésium mesurées dans les eaux du secteur d'étude en fonction des teneurs en bicarbonate.	38
Illustration 22 : Evolution des teneurs en sulfates mesurées dans les eaux du secteur d'étude en fonction des teneurs en sodium et potassium.....	39
Illustration 23 : Tableau des compositions isotopiques des eaux thermales du gisement de Lamalou-les-Bains.....	40
Illustration 24 : Evolution de la signature en soufre 34 en fonction des concentrations en sulfates.	41
Illustration 25 : Relation Deutérium/Oxygène 18 pour les sources de Lamalou-les-Bains.....	45
Illustration 26 : Carte de situation des sources eau minérale de la station de Lamalou-Les-Bains.....	48
Illustration 27 : Galerie menant au forage « Sandrine »	49
Illustration 28 : Local abritant le forage « Vernière 2 »	49
Illustration 29 : Equipement de tête d'ouvrage du forage « LB3 ».....	50
Illustration 30 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux minérales de Lamalou-Les-Bains (Extrait Arrêté d'autorisation d'exploiter, 1999).....	51
Illustration 31 : Valeurs du contrôle réglementaire pour le forage « Vernière 2 » (ARS)	52
Illustration 32 : Valeurs du contrôle réglementaire pour le forage « Sandrine » (ARS).....	53
Illustration 33 : Tête de forage de l'ouvrage « Sandrine »	54
Illustration 34 : Tête de forage de l'ouvrage « Vernière 2 ».....	55
Illustration 35 : Situation du piézomètre « Usclade » par rapport au forage « Sandrine »	57
Illustration 36 : Variation de la température et de la conductivité en fonction du débit	60
Illustration 37 : Suivi de la température en pompage sur le forage Vernière 2.....	61
Illustration 38 : Suivi de la température lors des pompages sur le forage Sandrine	61
Illustration 39 : Suivi de la conductivité en pompage sur le forage Vernière 2.....	62
Illustration 40 : Suivi de la conductivité en pompage sur le forage Sandrine	63
Illustration 41 : Evolution du niveau d'eau en fonction du débit dans le forage Vernière 2	64
Illustration 42 : Evolution du niveau d'eau dans le forage Vernière 2 de 2006 à 2010 et pluviométrie annuelle	64
Illustration 43 : Périmètre de protection établi au titre de la DIP (Extrait Atlas).....	66
Illustration 44 : Caractéristiques des périmètres de protection établis au titre de la DIP des sources	67

Liste des annexes

Annexe 1	Eléments de bibliographie	73
Annexe 2	Données météorologiques	79
Annexe 3	Analyses physico-chimiques	83
Annexe 4	Coupes géologiques et techniques des ouvrages exploités	93
Annexe 5	Arrêté d'autorisation d'exploiter.....	97

1. Introduction

1.1. CADRE DU PROGRAMME REGIONAL THERMALISME

L'analyse de la ressource en eau thermale de la station de Lamalou-Les-Bains s'inscrit dans le cadre du programme régional thermalisme intitulé « **Qualité de la ressource en eau thermale des stations du Languedoc-Roussillon** ». Ce programme, mené sur la période 2010 à 2012, est cofinancé par l'Union Européenne (FEDER), la Région Languedoc-Roussillon, le Conseil Général des Pyrénées Orientales et le BRGM. Il est mené en partenariat avec la Fédération Thermale et Climatique Languedoc-Roussillon (FTCLR).

Le programme est conduit par le Service Géologique Régional Languedoc-Roussillon, dans le cadre des missions de service public du BRGM (projet PSP10LRO30). Il concerne les 13 stations thermales de la région (Cf. Illustration 1). L'équipe de projet BRGM est chargée, notamment, dans le cadre du programme, de réaliser un état des lieux sur la ressource thermale des sites qui le souhaitent. Le présent rapport correspond à l'état des lieux de la ressource en eau thermale de Lamalou-Les-Bains.

Le programme régional est axé autour des principaux thèmes suivants :

- sensibilisation des acteurs du thermalisme à la démarche qualité pour la ressource ;
- caractérisation des situations d'exploitation (état des lieux) ;
- assistance technique à la mise en œuvre et au soutien des actions qualité.

1.2. MODALITES D'INTERVENTION

Le programme régional thermalisme Languedoc-Roussillon a été initié en 2010, après signature des conventions de cofinancement entre le BRGM et l'Union Européenne d'une part (FEDER), et des conventions de partenariat avec la Région Languedoc-Roussillon et les Conseils Généraux des départements du Languedoc-Roussillon d'autre part.

Le programme intègre des actions d'information et de sensibilisation à la démarche qualité sur la ressource thermale. L'équipe de projet BRGM a pour mission, en outre, d'apporter, à la demande, l'**assistance technique** sollicitée par les sites thermaux sur les problématiques liées à leur ressource.

La première étape du programme concerne la réalisation, pour chaque station thermale (Cf. Illustration 1), d'un **état des lieux** critique des connaissances sur les gisements d'eau minérale et sur leurs exploitations. Les états des lieux sont établis dans le cadre d'une approche consensuelle avec les stations thermales. Le présent rapport concerne l'état des lieux réalisé pour la station thermale de Lamalou-Les-Bains.

Pour les chroniques de données compilées, la période de référence retenue a été étendue, dans toute la mesure du possible, à la dernière décennie soit la période 2000-2010.

Au-delà de l'analyse critique des données, l'expertise apportée à chaque site thermal a pour finalité d'apprécier, de manière prospective et en cohérence avec l'existant, les pistes de progrès à soutenir pour améliorer la qualité de la ressource thermale.

Les moyens mis en œuvre pour établir l'état des lieux de la station thermale de Lamalou-les-Bains ont été les suivants :

- recherche bibliographique aussi exhaustive que possible à partir de nombreuses sources d'informations et de documentation (Mairie de Lamalou-les-Bains, ARS, BRGM, ingénierie, bibliothèques universitaires et scientifiques, etc.). L'annexe 1 présente les principaux éléments bibliographiques compilés ;
- analyse critique des informations disponibles et exploitation de la documentation existante ;
- visite du site thermal concerné, et observations de terrain ;
- réunions et discussions avec les responsables de la mairie de Lamalou-Les-Bains. Le présent rapport est édité dans le cadre d'une approche consensuelle avec ses responsables, qui sont remerciés pour leur collaboration avec l'équipe de projet BRGM ;
- rédaction d'un rapport, incluant la formulation de recommandations et la proposition de pistes de progrès.

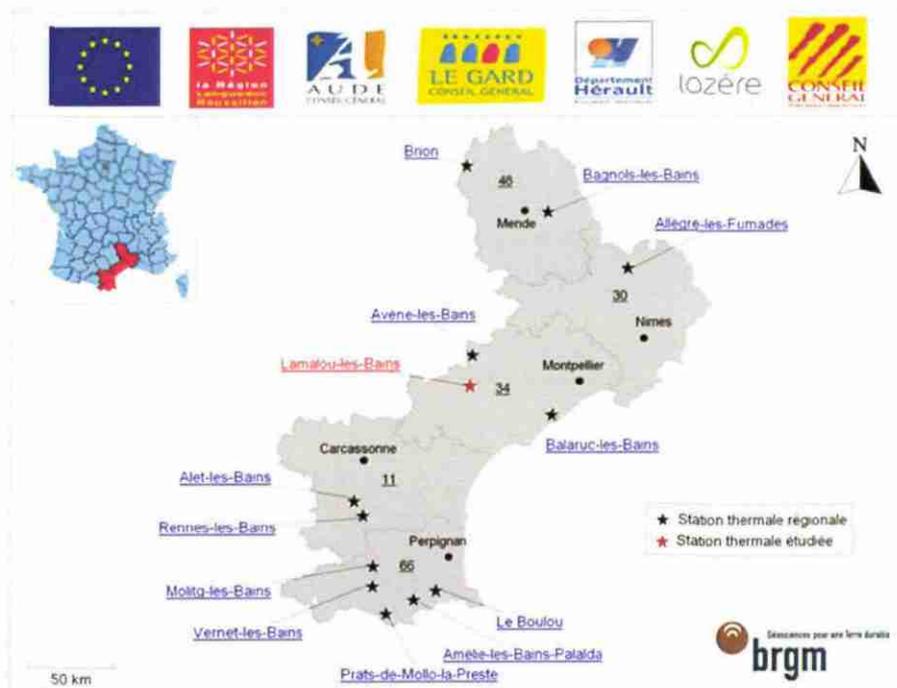


Illustration 1 : La station thermale de Lamalou-Les-Bains et les autres sites d'exploitation d'eau thermale de la région Languedoc-Roussillon

2. La station thermale de Lamalou-les-Bains

2.1. CONTEXTE GENERAL DU SECTEUR DE LAMALOU-LES-BAINS

2.1.1. Contexte géographique

La commune de Lamalou-les-Bains est située dans le département de l'Hérault à environ 60 km à l'ouest de Montpellier et à 30 km au nord de Béziers, dans le Parc Naturel Régional du Haut-Languedoc (Cf. Illustration 2).

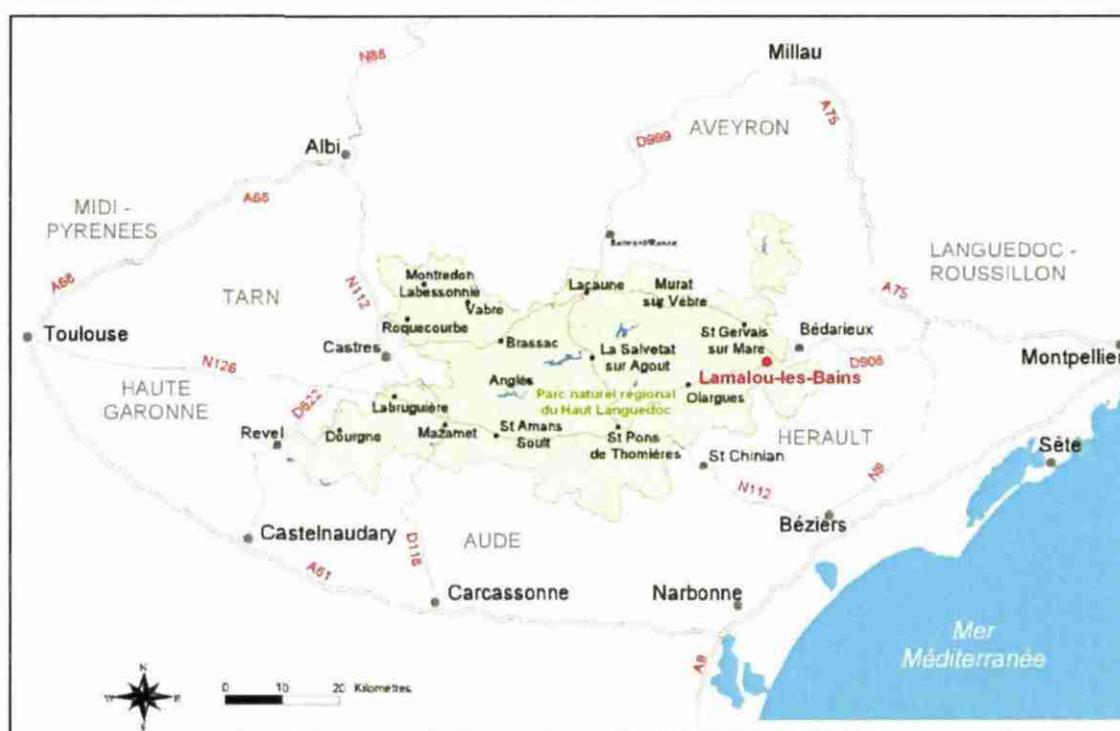


Illustration 2 : Carte de situation de la commune de Lamalou-Les-Bains dans le contexte géographique local

Plus précisément, la commune se situe en bordure de la Montagne Noire au pied de la Montagne de Caroux-Espinouse, à une altitude de 200 m environ (Cf. Illustration 3).

La commune de Lamalou-les-Bains s'étend sur une superficie de 6,18 km² et possède environ 2200 habitants (INSEE 2007). Elle est traversée par le Bitoulet, ruisseau qui coule du Nord au Sud pour se jeter dans l'Orb environ 800m au Sud de l'agglomération dans une zone alluviale occupée par des prés et des cultures.

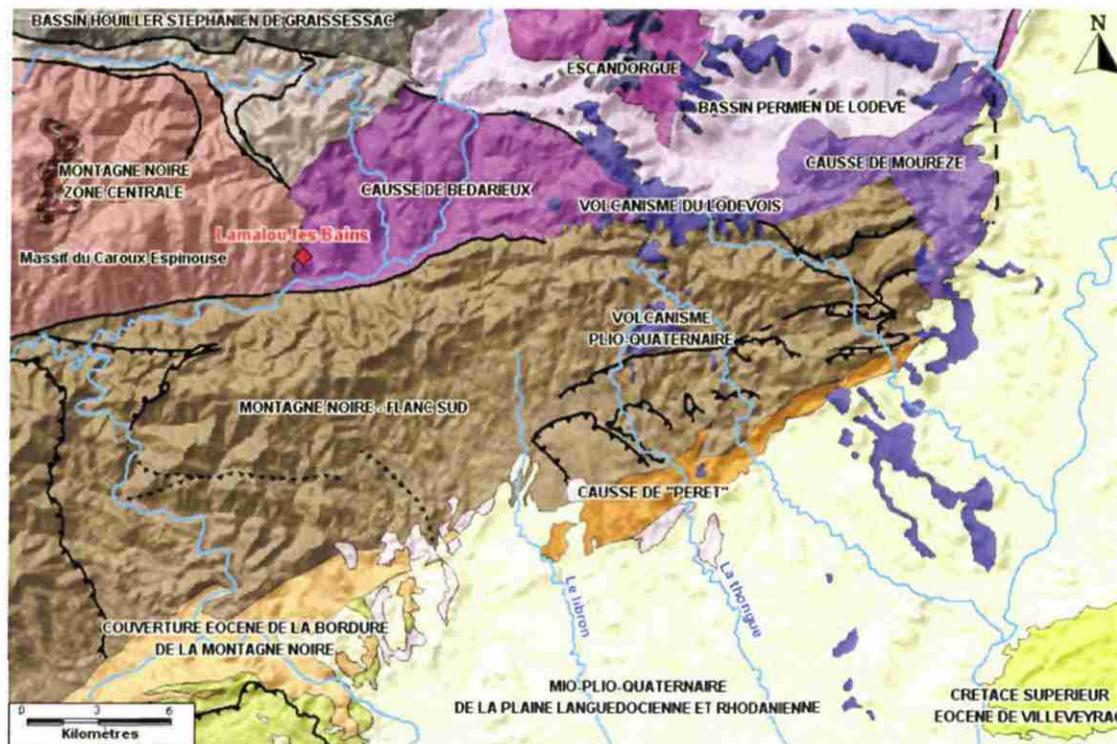


Illustration 3 : Position relative de la commune de Lamalou-Les-Bains dans le contexte géologique local

2.1.2. Contexte climatique

Le secteur de Lamalou-les-Bains bénéficie d'un climat très doux, sec et tempéré, typiquement méditerranéen. Ce dernier est marqué par un été chaud et sec et un hiver doux. Il existe de forts contrastes de précipitations selon les mois de l'année.

En l'absence de station météorologique sur la commune même de Lamalou-les-Bains, les données utilisées pour caractériser le climat (précipitations et température) proviennent des deux postes les plus proches : Les Aires et Saint-Gervais-sur-Mare pour les précipitations et Les Aires pour les températures.

Les deux stations sont séparées par une distance d'environ 9 km. La carte suivante (Cf. Illustration 4) présente la localisation de ces deux stations par rapport à la commune de Lamalou-les-Bains.

Les données météorologiques de température et de pluviométrie compilées dans le cadre de l'état des lieux sont présentées en Annexe 2.



Illustration 4 : Carte de situation de la commune de Lamalou-Les-Bains et des stations météo de référence du secteur

Analyse de la température :

Le graphique suivant (Cf. Illustration 5) permet d’apprécier l’évolution de la température au cours de l’année dans le secteur de Lamalou-les-Bains.

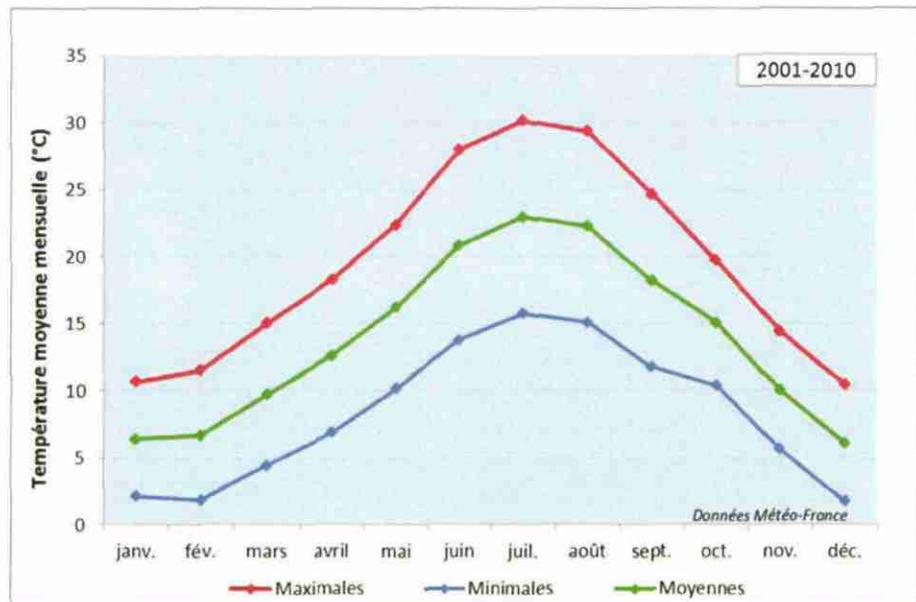


Illustration 5 : Variation annuelle des températures (station Les Aires) – Données Météo-France

La zone est caractérisée par une période estivale assez chaude et un hiver assez doux au cours duquel la température moyenne ne passe pas en dessous de 5°C.

La température moyenne annuelle est d'environ 14°C et elle varie en moyenne de 7°C en hiver à 23°C en été (Cf. la décennie prise en référence). Pendant la saison thermale, de mai à octobre, la température moyenne varie entre 15 et 23°C.

Analyse des précipitations :

Les graphiques suivants (Cf. Illustrations 6 et 7) permettent d'apprécier l'évolution de la pluviométrie dans le secteur de Lamalou-les-Bains.

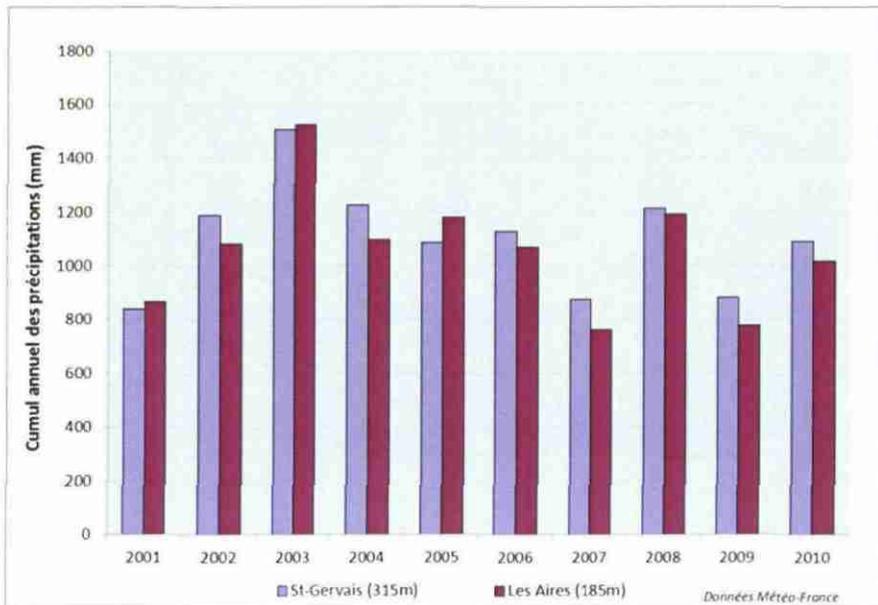


Illustration 6 : Cumul annuel des précipitations du secteur de Lamalou-Les-Bains

Les deux stations présentent des cumuls annuels très similaires. Cependant, ceux-ci sont assez variables suivant les années et oscillent entre environ 800 et 1500mm/an, avec une valeur moyenne qui se situe autour de 1100mm/an.

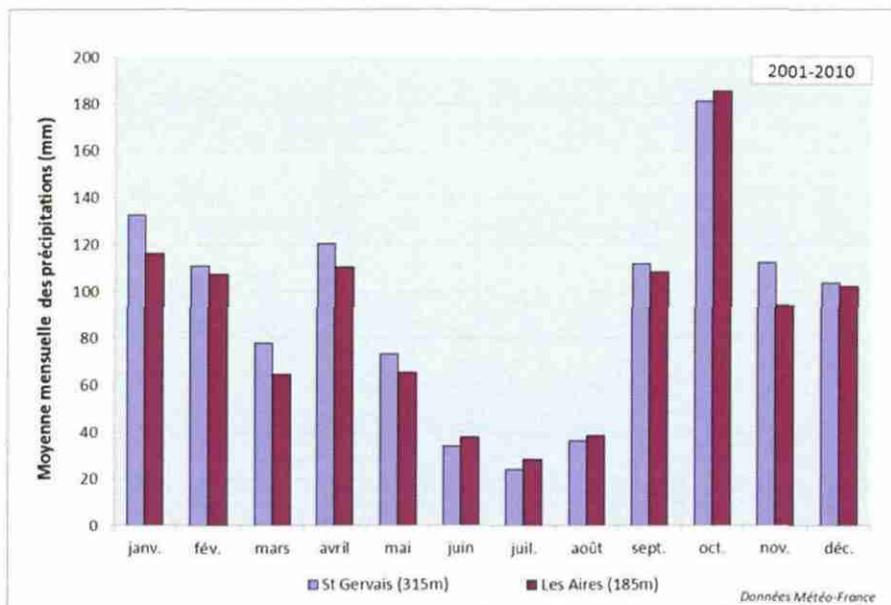


Illustration 7 : Moyenne mensuelle des précipitations dans le secteur de Lamalou-Les-Bains

La répartition des pluies au cours de l'année est assez hétérogène, avec de faibles précipitations durant la période estivale (période de sécheresse) et des pluies abondantes à l'automne (essentiellement en octobre).

Les pluies d'automne correspondent aux pluies cévenoles, elles sont dues à des masses d'air humides chaudes qui proviennent de la Méditerranée et qui se heurtent aux montagnes cévenoles plus froides. Quelques pluies assez importantes sont également à noter au printemps (Cf. graphique de l'illustration 7 pour avril-mai).

2.1.3. Contexte géologique

Géologie régionale

Lamalou-Les-Bains se situe dans un contexte géologique complexe, à la limite de formations diverses :

- un socle granitique au Nord et à l'Ouest, qui correspond à l'extrémité Est de la zone axiale de la Montagne Noire, qui est intégralement composée de roches métamorphiques d'âge primaire (granite, migmatites et gneiss ocellés, schistes, ...),
- une série sédimentaire primaire métamorphisée au Sud qui constitue la nappe du versant Sud de la Montagne Noire (unités de Poujol-Margal, ...),
- une série sédimentaire secondaire à l'Est, constituant la limite sud-ouest du fossé d'effondrement de Bédarieux. La carte géologique et structurale ci-après (Cf. Illustration 8) permet de situer les différents objets géologiques du secteur.

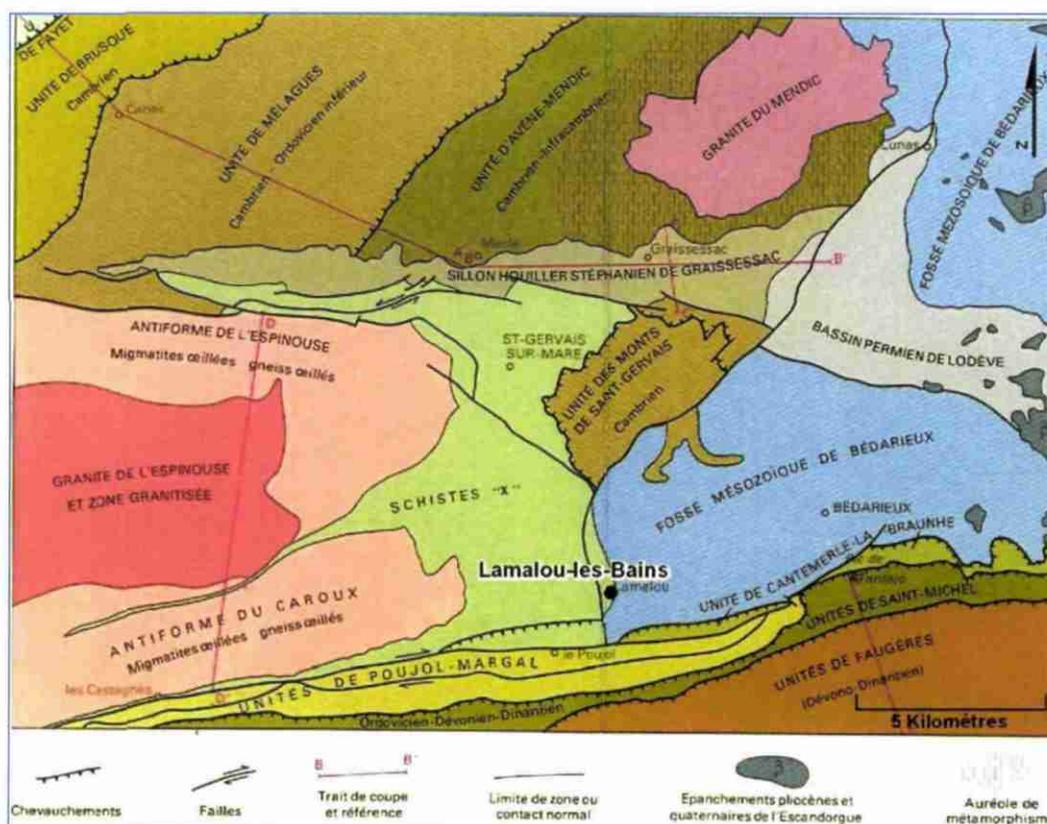


Illustration 8 : Contexte géologique simplifié du secteur de Lamalou-Les-Bains
(Extrait de la carte géologique de Bédarieux au 1/50 000)

Dans la région, les gneiss et les micaschistes, qui constituent le socle, s'ennoient vers l'Est sous la couverture secondaire du fossé de Bédarieux.

Les gneiss sont marqués par une fracturation ancienne, soulignée par des trainées granulitiques et pegmatitiques de direction WSW-ENE, qui affecte plusieurs kilomètres.

La dernière phase tectonique, contemporaine des épanchements basaltiques à l'époque plio-quadernaire, présente une orientation Nord-Sud.

Deux failles majeures existent dans la zone de Lamalou-Les-Bains :

- La faille des Aires, orientée Est-Ouest, post-hercynienne, a rejoué au Tertiaire à plusieurs reprises. Le jeu principal est en ciseau (soulèvement relatif du compartiment Nord à l'Ouest et du compartiment Sud à l'Est), d'où la situation du Caroux et le fossé de Bédarieux.
- La faille de Lamalou-Boussagues, orientée Nord-Est/Sud-Ouest puis Nord-Sud au droit de la ville de Lamalou-les-Bains. Celle-ci est très minéralisée et a joué ou rejoué au Crétacé et/ou Tertiaire.

Géologie locale

Au niveau de Lamalou-Les-Bains, le socle est formé de schistes gris-verts, métamorphiques, d'âge antécambrien. Il affleure à l'Ouest de la ville et plonge généralement vers l'Est (avec un faible pendage) sous la couverture sédimentaire secondaire du fossé de Bédarieux. Ces schistes sont sillonnés par des filons quartzeux dans lesquels se retrouvent de nombreux éléments métalliques.

La couverture sédimentaire anté-hercynienne (Cambrien à Carbonifère) n'affleure qu'au Nord et au Sud de Lamalou-les-Bains, elle est de type carbonaté.

Le Trias repose directement sur ces formations, ce qui suggère une forte érosion régionale antétriasique (probablement liée à la phase d'érosion qui a suivi l'orogénèse hercynienne). Certaines illustrations présentées ultérieurement dans la suite du rapport (Cf. illustrations 11 et 15) permettent de visualiser ces détails de la géologie.

L'extrait de la carte géologique au 1/50 000° du secteur de Lamalou-les-Bains présenté par la carte de la page suivante (Cf. Illustration 9) permet de visualiser le contexte géologique local.

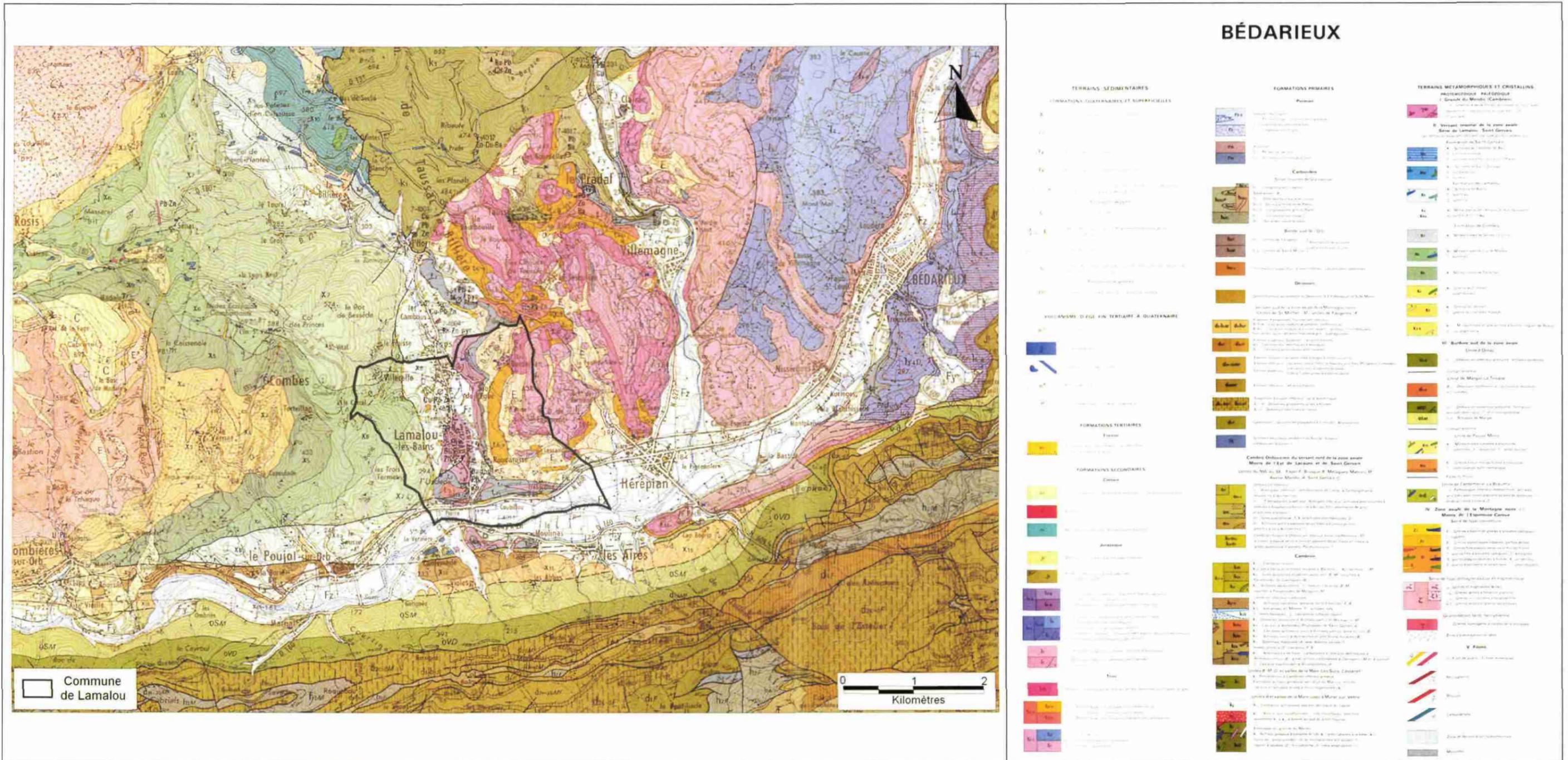


Illustration 9 : Carte géologique 1/50 000° du secteur de Lamalou-Les-Bains (Extrait de la carte Bédarieux)



Le Trias est composé, en partant de la base, de (Cf. Illustration 10) :

- marnes sableuses bigarrées, brèches conglomératiques à la base;
- grès très détritiques, voire conglomératiques ;
- argiles bariolées à niveaux de gypse et argiles plus ou moins dolomitiques et toujours détritiques au sommet.

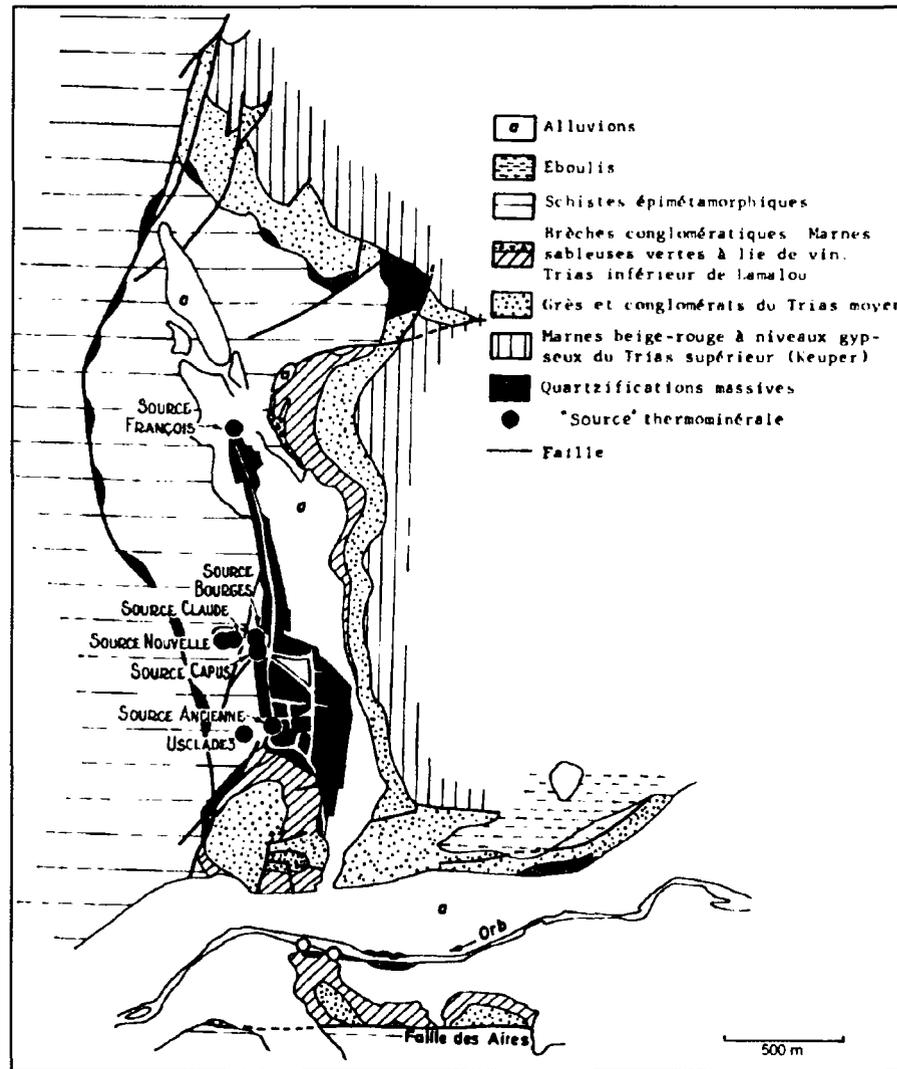


Illustration 10 : Carte géologique simplifiée de la région de Lamalou-les-Bains
(Extrait rapport BRGM 84LRO557PR)

Par endroits, on observe des bandes mylonitiques¹ dans le Trias, notamment dans la colline de l'Usclade, de même direction que celle de la fracturation ancienne du socle. Celles-ci témoignent d'une reprise post-triasique de la tectonique ancienne.

La situation déprimée du site de Lamalou-Les-Bains est due à une érosion préférentielle des formations du Trias mais aussi au fait que le socle a subi une fracturation ancienne qui a joué à chaque phase orogénique.

2.1.4. Contexte hydrogéologique

Hydrogéologie régionale

Les principales entités hydrogéologiques dans cette zone sont les suivantes (Cf. localisation sur l'illustration 11 ci-après) :

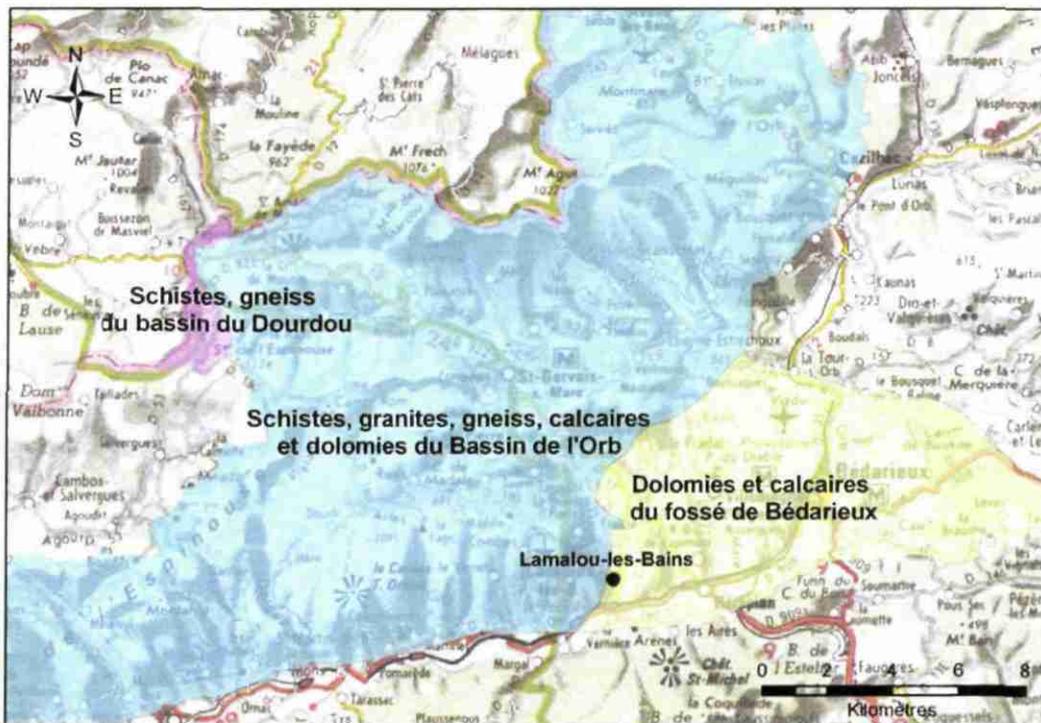


Illustration 11 : Entités hydrogéologiques du secteur de Lamalou-Les-Bains

- les schistes, granites, gneiss, calcaires et dolomies primaires dans le bassin versant de l'Orb. Les ressources en eau souterraine sont très variables en fonction de la nature des terrains, de leur épaisseur et de leur perméabilité.

¹ Mylonite = Roche finement broyée, d'origine magmatique ou métamorphique dans laquelle les cristaux ne sont plus identifiables.

Les séries schisto-gréseuses (haute vallée de l'Orb, bassin houiller de Graissessac) sont très peu perméables dans leur ensemble, seule la frange d'altération superficielle peut présenter une certaine perméabilité et constituer un petit réservoir.

Les schistes du Caroux dans le bassin versant de l'Orb sont très compartimentés et la fracturation des micaschistes est localement favorable à la présence d'eau souterraine, cependant la ressource est limitée. Les gneiss du Caroux sont semi-perméables dans leur ensemble et seule la frange d'altération superficielle peut présenter une certaine perméabilité et constituer un réservoir aquifère. Les fractures en profondeur et les filons de quartz peuvent également jouer le rôle de drains préférentiels.

Les formations du granite d'Avène-Mendic sont peu perméables mais la zone altérée de surface peut cependant représenter un petit réservoir réalimenté directement par la pluviométrie et très dépendant de celle-ci.

Seuls les calcaires et dolomies primaires des unités d'Avène-Mendic, de Mélagues et de Saint Gervais constituent une ressource en eau souterraine importante. Ces formations sont structurées en systèmes karstiques qui entraînent la présence de différentes émergences ou sources (dont les débits d'étiage peuvent atteindre 100l/s, voire plus). Cette entité est exploitée pour l'AEP par différentes communes mais également pour le thermalisme à Avène-Les-Bains.

- les schistes et gneiss de la zone axiale de la Montagne Noire dans le bassin versant du Dourdou (au nord-ouest du département de l'Hérault). Cette entité se prolonge dans les départements du Tarn et de l'Aveyron et constitue la continuité de l'entité précédente qui correspond au même contexte géologique mais dans un autre bassin versant. L'alimentation naturelle de la nappe se fait par la pluviométrie. Au vu de la nature des formations affleurantes et de leur perméabilité, les ressources en eau souterraines sont faibles.

En effet, les formations gneissiques sont semi-perméables et seule la couche d'altération superficielle peut constituer un réservoir aquifère ainsi que quelques filons de quartz qui peuvent jouer le rôle de drains préférentiels.

Les séries schisto-gréseuses, elles, sont peu perméables (là encore seule la frange d'altération superficielle peut éventuellement présenter une certaine perméabilité) et les sources issues de ces formations ont un très faible débit et peuvent se tarir en période d'étiage. Aucun captage n'est effectué dans cette entité hydrogéologique qui constitue une ressource très faible, voire inexistante.

- les dolomies et calcaires du fossé de Bédarieux : ceux-ci forment un réseau karstique, dont une bonne partie serait ensablée par du sable dolomitique.

On distingue les dolomies du Bajocien et du Bathonien (Dogger) qui forment une vaste cuvette synclinale orientée Nord-Est/Sud-Ouest. Son relief, constitué essentiellement de dolomies, est composé de nombreux pitons rocheux dressés au milieu d'une « plaine ». Il s'agit d'un aquifère bien individualisé, dont l'existence est prouvée par une série de sources (source des Douzes 20 à 25 l/s à l'étiage, source de la Joncasse 30 l/s à l'étiage, toutes deux exploitées pour l'AEP).

Les dolomies du Lias s'avèrent aussi aquifères même s'il n'existe pas de sources avec des débits aussi importants que celles issues de l'aquifère du Dogger. Plusieurs sources émergent des dolomies hettangiennes, dont certaines sont exploitées pour l'AEP.

De plus, les grès triasiques et les dolomies du Muschelkalk et du Rhétien peuvent s'avérer localement aquifères quand ils sont suffisamment développés. Il existe ainsi quelques sources issues de ces formations exploitées pour l'AEP.

Hydrogéologie locale

La coupe hydrogéologique interprétative suivante (Cf. illustration 12), de St-Pierre-de-Rhèdes au SSO au hameau de St-André au NNE montre la discordance des dépôts triasiques sur les dolomies et les schistes du Cambrien inférieur, couches reposant elles-mêmes en discordance sur le socle antécambrien.

A la faveur de ces deux discordances un contact hydraulique direct peut s'établir entre les dolomies cambriennes et les schistes du socle aux abords de Lamalou-les-Bains. Ces dolomies, qui alimentent la source thermale d'Avène, constituent un aquifère majeur régional et peuvent atteindre par endroits, une épaisseur de près de 800 m.

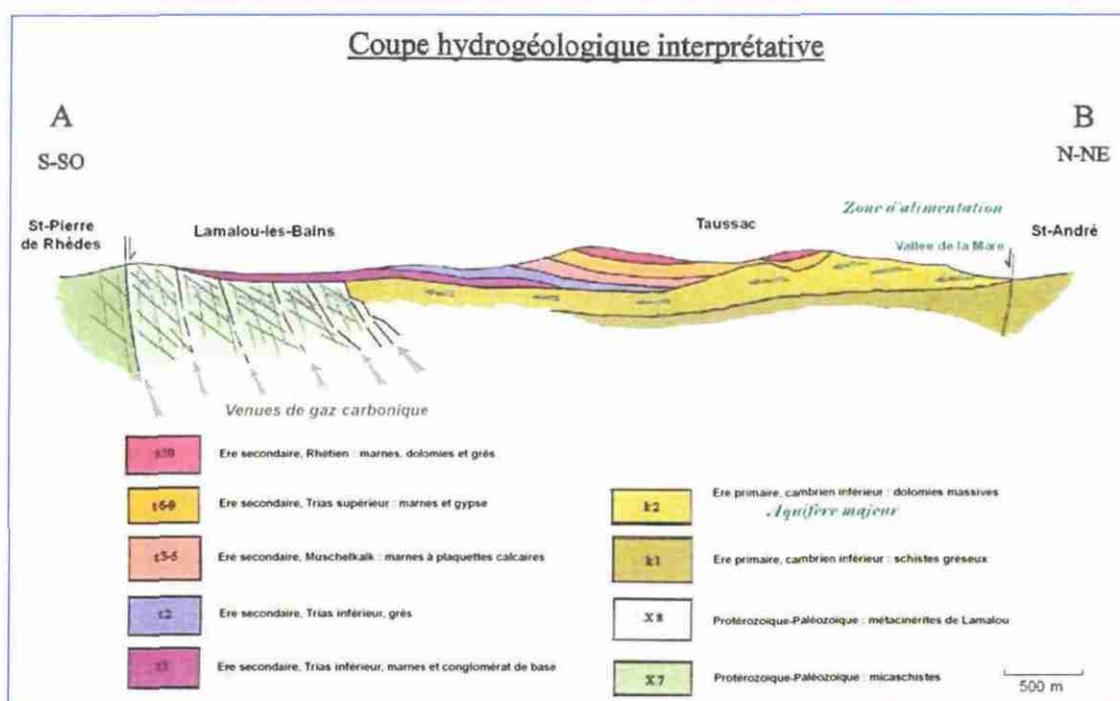


Illustration 12 : Coupe hydrogéologique interprétative (Extrait rapport A.I.G.H.A., 2008)

2.2. L'ACTIVITE THERMALE DE LA STATION

2.2.1. Historique de l'activité thermale

Bien que des vestiges romains existent dans la vallée du Bitoulet, la station thermale de Lamalou-les-Bains n'a pas une origine romaine. Son nom vient du ruisseau qui traverse la cité et qui s'appelait *Malou* ou *Betoulet*, aujourd'hui Bitoulet.

Les sources ont été découvertes par hasard, lors de percements de galeries minières aux XI^e et XII^e siècles. La tradition veut *"qu'un paysan souffrant de douleurs, se soit baigné dans la mare boueuse formée par ces eaux et en ait retiré une sédation appréciable de son mal"*.

En 1610, à la place de la source, une maison de 18 m² servait de bains, où 10 à 12 personnes pouvaient se baigner.

Au XVII^e siècle, Pons Marthe de Thézan, Seigneur du Poujol, achète la source et le terrain, aménage les lieux et inaugure le premier centre thermal en 1709.

Après la Révolution, en 1792, la famille Cère fait l'acquisition de l'établissement thermal de Lamalou le Bas. Deux autres établissements thermaux sont créés : celui de Lamalou le Haut en 1842 et celui de Lamalou le Centre en 1868.

A partir des années 1880, l'établissement thermal de Lamalou le Bas est composé de 10 piscines pouvant contenir plus de 170 personnes.

En 1947, la ville rachète l'établissement thermal et la Chaîne Thermale du Soleil (CTS) le reprend en 1986.

Aujourd'hui seul l'établissement thermal de Lamalou le Bas continue son activité, les deux autres ont été transformés en centres de rééducation (en 1954 pour Lamalou le Haut et en 1957 pour Lamalou le Centre qui, par la suite prendra le nom de Bourges).

2.2.2. Nature de l'activité thermale

La station thermale de Lamalou-Les-Bains est principalement orientée selon les indications thérapeutiques suivantes :

- neurologie : affections d'origine centrale ou périphérique, douloureuses pures, ou douloureuses compliquées d'impotence, ou impotence pure.
- rhumatologie : l'ensemble des arthroses, les arthrites en dehors des poussées inflammatoires, la fibromyalgie.
- traumatologie : neurochirurgie, séquelles de fractures diverses et de traumatismes articulaires.

L'établissement thermal traite également le double handicap Rhumatologie + Neurologie ou Neurologie + Rhumatologie suivant le handicap prépondérant.

Les eaux thermales de Lamalou-les-Bains sont riches en magnésium (environ 55-60 mg/l), ce qui leur procure une action sédative remarquable sur la douleur. Elles présentent par ailleurs des teneurs importantes en calcium (environ 230-250 mg/l) et cet élément a une action anti-inflammatoire et vaso-dilatatrice. Les eaux de Lamalou ont également une action neuro-trophique et une action musculo-tonique.

2.2.3. Importance de l'activité thermale

L'établissement thermal de Lamalou-les-Bains est ouvert pratiquement toute l'année, de février à décembre. Les techniques de cures dispensées dans les thermes sont variées et adaptées à chaque pathologie.

Il existe ainsi différents types de douche (au jet, pénétrante, sous-marine), bain en piscine et en baignoire, massage sous l'eau thermale, bain de boue (pieds, mains, général), pulvérisation faciale et cervicale, compresses, trombes, cataplasme, sudation.

Au-delà des cures de type thérapeutique (cures de 18 jours), l'établissement propose d'autres soins complémentaires tels que des soins esthétiques, des cours de gymnastique collectifs, de l'aquagym et une salle de gymnastique.

L'évolution de la fréquentation de la station thermale pour les années 2001 à 2010, ainsi que la fréquentation nationale et régionale sont représentées sur le graphique suivant (Cf. illustration 13).

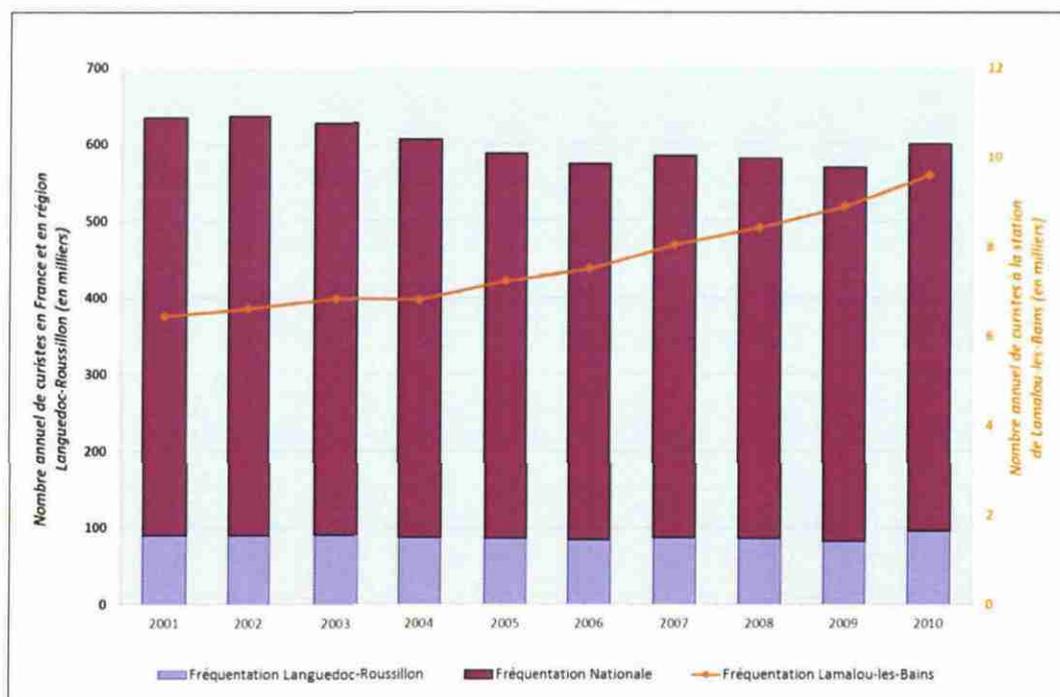


Illustration 13 : Evolution de l'activité thermale pour la période 2001 à 2010

La fréquentation de la station thermale de Lamalou-les-Bains augmente régulièrement au cours des années 2001 à 2010 contrairement à la fréquentation nationale qui a plutôt tendance à diminuer jusqu'en 2010.

Une augmentation sensible pour l'année 2010 est visible au niveau national et au niveau de la région Languedoc-Roussillon. En 10 ans, le nombre de curistes à la station de Lamalou-les-Bains est passé d'environ 6500 à 9600. Le seuil de 10000 curistes devrait être atteint en 2011.

Pour l'année 2008, la station thermale était classée au 16^{ème} rang des stations thermales françaises (Cf. données du CNETh).



3. La ressource en eau thermale de la station de Lamalou-les-Bains

3.1. LE GISEMENT D'EAU THERMO-MINERALE

3.1.1. Approche théorique de la notion de gisement

Le gisement d'eau minérale est l'ensemble de la structure géologique souterraine depuis la zone d'alimentation et jusqu'à la zone d'émergence, située au droit d'une zone géographique bien déterminée. On peut distinguer ainsi (Cf. Illustration 14) :

- une **aire d'alimentation** avec infiltration des eaux de pluie. Il est maintenant reconnu que toutes les eaux minérales françaises ont une origine météorique et non juvénile (Blavoux, 1995) ;
- un **réseau d'infiltration et un réservoir en profondeur**. Le réseau d'infiltration à travers lequel l'eau descend et se réchauffe, est vaste en volume mais à vitesse d'écoulement lente. La Terre produit en effet de la chaleur selon un flux correspondant à la désintégration des radionucléides présents dans la croûte terrestre, de 1 à 2 microcalories par seconde et par centimètre carré. Cette valeur est la moyenne pour le globe, elle peut être localement plus forte du fait de l'activité magmatique actuelle ou récente. Le gradient géothermique qui traduit ce flux est de l'ordre de **+3°C/100 m** en moyenne. Lors de ce transit en profondeur, l'eau acquiert également sa **minéralisation**, qui va dépendre de multiples paramètres : conditions de température et de pression, nature des roches traversées, temps de contact, état d'équilibre de l'eau vis-à-vis des minéraux (sous-saturation, équilibre, sur-saturation, etc.) ;
- un axe de collecte agissant en drain et permettant la **remontée** de l'eau minérale. Selon la vitesse de remontée, les échanges avec le terrain encaissant sont variables, mais le constat a été souvent fait que les pertes sont faibles et le régime stationnaire, ce qui a conduit le législateur à prendre en compte la stabilité en température comme une caractéristique essentielle des eaux minérales naturelles (Pouchan, 1995).

Durant la phase de remontée, l'eau minérale est le siège de phénomènes physico-chimiques qui vont modifier son état initial (Gadalia, 1995) :

- baisse de pression qui va conduire à la détente de gaz, certains inertes du point de vue chimique (gaz rares, azote N₂), et d'autres comme le gaz carbonique CO₂ ou le sulfure d'hydrogène H₂S, qui vont modifier les équilibres acido-basiques et/ou d'oxydoréduction ;
- oxydation, lors du contact avec l'atmosphère à l'émergence, ou par mélange avec des eaux superficielles plus riches en oxygène dissous ;
- variations de températures, qui affectent les équilibres chimiques ;
- *dissolution/précipitation de phases minérales, avec plusieurs origines possible* : l'eau profonde peut rencontrer en ascension des associations minérales nouvelles vis-à-vis desquelles elle sera sur ou sous-saturée, le dégazage de CO₂ entraîne

généralement une précipitation de carbonates, la baisse de température favorise les dépôts de silice, etc. ;

- mélange avec des eaux plus superficielles.

Pour être complète, la connaissance d'un gisement d'eau minérale doit donc englober celle de l'origine de l'eau et de sa minéralisation en profondeur, et celle de son parcours depuis les parties profondes jusqu'à l'émergence.

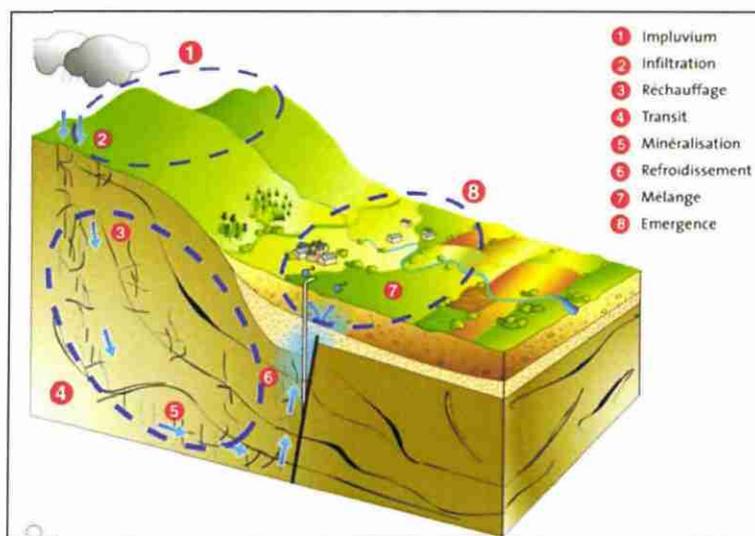


Illustration 14 : Schéma de principe du circuit hydrominéral

L'**âge de l'eau** est défini comme le temps de transit entre la zone d'infiltration des pluies et l'émergence.

L'émergence thermominérale est un point sur la surface du sol qui correspond à un axe mettant en relation les horizons géologiques profonds et la surface. Soumises à de fortes températures et pressions dans le réservoir géothermal, les eaux remontent des profondeurs à la faveur d'un axe par phénomène d'advection sous conditions thermo-artésiennes (Raymahashay, 1996). La possibilité de montée rapide et d'émergence de l'eau implique la présence d'un **axe de fracturation ouverte**, le plus souvent lié à l'intersection d'au moins deux plans de faille.

La détermination de la **température à l'origine**, c'est-à-dire celle de l'aquifère profond faisant office de réservoir géothermal, a fait l'objet ces dernières années de recherches plus poussées notamment dans le domaine de la géochimie. Elles ont permis la mise en œuvre de « géothermomètres » (Pouchan, 1995), dont le principe fondamental est basé sur la dépendance de la solubilité des minéraux (et donc en conséquence des équilibres chimiques eau/roche encaissante) avec la température. Les teneurs en certains éléments chimiques des eaux thermales à l'émergence permettent alors, moyennant certaines hypothèses, d'estimer la température maximale atteinte en profondeur.

3.1.2. L'état de la connaissance sur le gisement de Lamalou-Les-Bains

Les études géologiques et hydrogéologiques réalisées jusqu'à présent sur l'hydrosystème thermal de Lamalou-Les-Bains ont permis d'apporter des éléments de connaissance précieux sur les modalités d'émergence des eaux thermales. Les auteurs s'accordent en effet à dire que les venues d'eau thermo-minérale d'origine profonde se font à la faveur de « nœuds tectoniques » matérialisés par des filons quartzeux minéralisés sub-verticaux (formation schisto-quartzeuse de Lamalou). Ces nœuds tectoniques résultent du croisement de la faille de Lamalou-Boussagues et de ses failles satellites avec celle des Aires, elle aussi accompagnée d'accidents secondaires (Cf. illustration 15). Les épontes des chenaux ainsi créés sont constituées par des schistes imperméables. Cette disposition confère un hydrodynamisme particulier au gisement, au niveau des conditions d'exutoires, à savoir l'absence d'interférences (tout au moins immédiates et sub-superficielles) entre les différents captages. Deux types de comportements sont ainsi observés :

- interférence immédiate lorsque les captages se trouvent sur une même structure faillée ;
- absence d'interférences dans le cas contraire à cause de la présence d'épontes imperméables.

Concernant l'aire d'alimentation, le réseau d'infiltration, la nature du réservoir hydrothermal en profondeur, les modalités hydrodynamiques de remontée des eaux thermo-minérales, l'état de la connaissance est faible.

Une meilleure caractérisation hydrogéologique de l'hydrosystème thermal constitue une piste de progrès au titre de la démarche qualité pour la ressource thermale de Lamalou-les-Bains

Concernant les aires d'alimentation, une des hypothèses avancées est que les eaux de Lamalou-les-Bains semblent être un mélange entre des eaux infiltrées sur le Massif du Caroux-Espinouse et des eaux plus récentes infiltrées dans les dolomies du Cambrien. L'écoulement se ferait vers l'Est à travers les gneiss et les schistes cristallins puis l'eau remonterait à la faveur de fissures et de failles au niveau de Lamalou-Les-Bains. Dans ce schéma conceptuel, il est indiqué que le faciès des eaux de Lamalou-les-Bains « *ne peut s'expliquer que par un aquifère type granite-gneiss ou micaschiste caractérisé par des eaux acides circulant ensuite dans un aquifère dolomitique (attaque du calcaire avec production de CO₂ et mise en solution de Ca, Mg et CO₃²⁻)* ». Dans ce schéma, l'origine du CO₂ des eaux serait donc liée à la dissolution des carbonates.

Une autre hypothèse ne fait pas intervenir les eaux infiltrées sur le Massif du Caroux-Espinouse. La nappe d'eau souterraine contenue dans les dolomies du Cambrien inférieur aurait une participation majeure (voire essentielle) dans l'alimentation du gisement thermo-minéral de Lamalou-Les-Bains. Ces dolomies cambriennes affleurent dans la vallée de la Mare, à environ 5 kilomètres au nord-est de Lamalou-Les-Bains (Cf. schéma hydrogéologique interprétatif de l'illustration 12). « *Les eaux circulent au contact de terrain granitique et micashisteux et peuvent s'infiltrer à la faveur de fracturation et des pendages vers le sud. Après leur infiltration, les eaux atteignent une profondeur importante et viennent buter contre les formations primaires, subverticales, imperméables et parallèles à la vallée de l'Orb.*

Suivant les pentages, les eaux thermales peuvent remonter vers la surface dans les formations dites de Lamalou en contact avec les terrains primaires. Les formations de Lamalou (schistes et micaschistes), renferment des intercalations dolomitiques à partir desquelles les eaux peuvent compléter leur minéralisation. » Dans ce schéma, le faciès chimique des eaux devrait être principalement contrôlé par les interactions eaux-roches en profondeur (température élevée) avec les schistes du Cambrien. Il est suggéré que « lors de la remontée, l'eau thermique est « prise en charge » par des venues profondes de gaz carbonique (d'origine magmatique) donnant l'impression d'un artésianisme aux griffons, phénomène qui peut en fait être assimilé à un phénomène de type geysérien, le gaz étant le moteur de l'émulsion ». Il est indiqué que le « CO₂ remonte à la faveur de la faille majeure de Lamalou, faille d'orientation Varisque² (comme la faille de Lodève, idem faille de Nîmes).

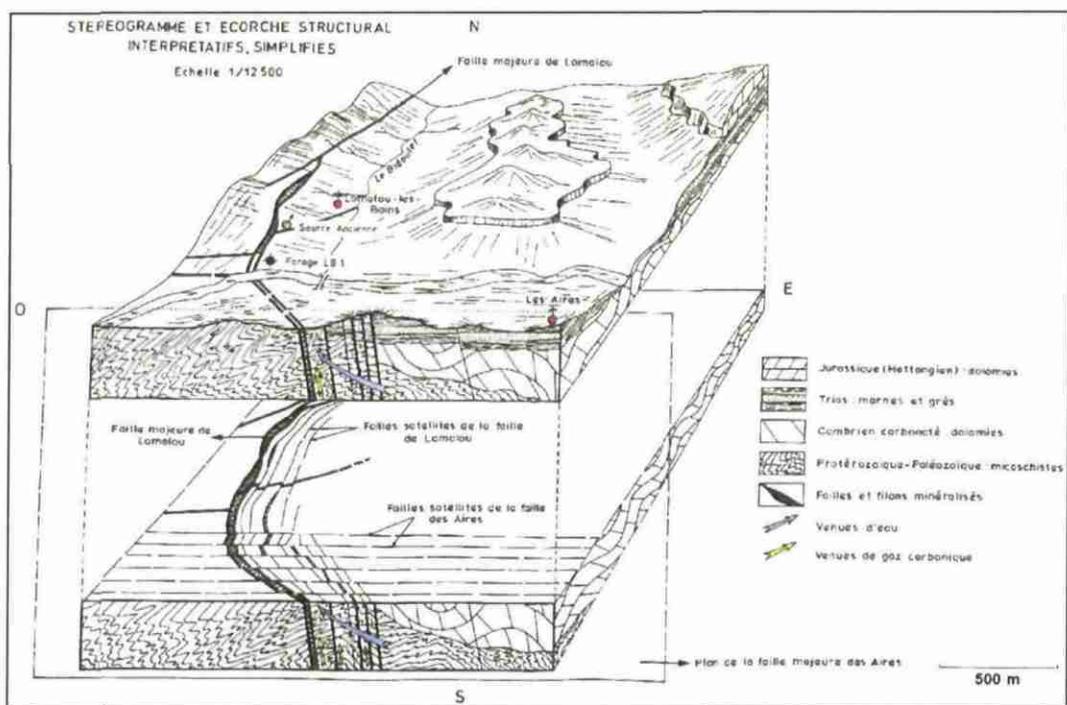


Illustration 15 : Schéma structural interprétatif (Extrait rapport Antea A 00213 MON 94)

Concernant l'explication proposée pour interpréter les différences de températures des eaux, les auteurs considèrent que « les différences de températures sont dues à la vitesse d'ascension différente des eaux, elle-même tributaire du cheminement emprunté ainsi que du degré de fissuration et de perméabilité des failles émettrices. ». D'autres auteurs expliquent les différences de température des eaux par le phénomène de mélange d'eau de qualité différente. « Au contact Trias inférieur-schistes, existe un niveau conglomératique très perméable, zone de mélange possible entre les eaux froides du Trias et celles chaudes des schistes. Cet aquifère correspondrait à celui des eaux froides de la source Ancienne ».

² Orientation N20

Il est noté dans les documents consultés que « *des datations par dosages isotopiques du tritium ont été réalisées en 1980, puis plus récemment en 1987 et 1992* ». Il est indiqué que « *les teneurs en tritium se sont révélées nulles, ce qui signifie que l'eau s'est infiltrée avant les essais thermonucléaires aériens des années 1950-1960* ». Nous n'avons pas pu avoir accès à ces données. Les données isotopiques que nous avons consultées indiquent au contraire la présence de Tritium (cf. Illustration 23) ce qui témoignerait de phénomène de mélange avec des eaux d'infiltration récentes.

Dans ce contexte, l'estimation des températures du fluide thermal en profondeur (80 à 110°C) réalisée à partir des teneurs en silice est vraisemblablement erronée puisque l'hypothèse d'absence de mélange lors de la remontée, qui conditionne l'utilisation du géothermomètre à silice, n'est pas vérifiée.

Enfin, concernant l'origine des sulfates, il est suggéré que « *les variations de teneurs en sulfates que l'on peut trouver sur les sources du gisement sont dues à un contact plus ou moins prolongé avec les dépôts évaporitiques du Trias* ». Cette hypothèse demande à être vérifiée.

Il ressort de cette synthèse des connaissances existantes sur le gisement thermo-minéral de Lamalou-les-Bains que l'hydrosystème est complexe et que le modèle conceptuel de structure et de fonctionnement est mal contraint. Dans la perspective d'une amélioration de la connaissance sur la structure et le fonctionnement de cet hydrosystème complexe, depuis l'échelle locale (source, forage) jusqu'à l'échelle régionale (unités hydrogéologiques du secteur d'étude), une réactualisation des informations chimiques et isotopiques existantes sur le gisement s'impose.

3.1.3. Valorisation et (ré)-interprétation des données chimiques et isotopiques disponibles sur le gisement thermo-minéral et le secteur d'étude

Les informations physico-chimiques et isotopiques de ce paragraphe concernent l'ensemble des sources du site thermal de Lamalou-Les-Bains. Le positionnement géographique et le descriptif de ces sources sont présentés au paragraphe 3.2 et sur l'illustration 26 (Cf. page 48).

Ce paragraphe a pour objet de présenter un nouvel éclairage géochimique sur le contexte hydrogéologique du secteur d'étude dans le but d'améliorer le schéma conceptuel de fonctionnement hydrogéologique du gisement thermo-minéral de Lamalou-les-Bains. L'approche méthodologique consiste à replacer le contexte géochimique de l'aquifère thermal carbo-gazeux dans le contexte régional proche en utilisant et valorisant les données chimiques disponibles sur les eaux des différents systèmes aquifères de la zone d'étude.

La caractérisation hydrogéochimique a été principalement réalisée par l'interprétation de diagrammes binaires qui permet la comparaison d'informations apportées par deux éléments chimiques. L'approche méthodologique repose dans un premier temps sur l'identification et la caractérisation de la signature de l'eau de recharge qui contribue à alimenter les aquifères (eau de pluie), puis dans un second temps par la caractérisation de la « référence naturelle » qui n'a pas subi l'influence d'apports anthropiques afin de qualifier les processus de minéralisation de l'eau uniquement dus à l'interaction eau-roche. L'approche d'interprétation des données géochimiques (éléments majeurs) par l'utilisation de diagrammes binaires permet l'identification des

pôles géochimiques et la mise en évidence des processus de mélanges d'eau, lorsqu'ils existent. On parle fréquemment de pôle profond (chaud) et de pôle superficiel (froid). Les informations apportées par chaque traceur sont ensuite confrontées les unes aux autres dans le but de conceptualiser le fonctionnement hydrogéochimique de l'hydrosystème étudié et d'identifier les principaux processus chimiques qui contribuent à expliquer les minéralisations observées.

Caractérisation géochimiques de la ressource

L'étude a consisté dans un premier temps en une compilation des données chimiques de la zone d'étude (extraction de données depuis ADES et des données référencées dans les rapports des hydrogéologues agréés concernant les points d'eau AEP du secteur d'étude, des rapports et notes techniques concernant les ouvrages thermaux de Lamalou-les-Bains). L'étude s'appuie également sur les données chimiques des pluies du département de l'Hérault (Ladouche et al, 2009). Les données compilées dans cette étude sont présentées en annexe 3.

Une Analyse en Composantes Principales (ACP)³ sur les résultats des analyses disponibles dans le secteur d'étude a été réalisée. Cette analyse statistique permet de traiter des tableaux de données quantitatives pour réduire la dimensionnalité concernant les principaux facteurs d'interaction entre variables et représenter graphiquement ces interrelations.

Les variables corrélées à la **composante principale 1** (CP1 : 57.3 % de variance expliquée) permettent d'identifier et de qualifier les mélanges entre les eaux froides de subsurface et les eaux chaudes minérales d'origine profonde (Cf. Illustration 16, variables associées : Conductivité, Température, Cl, Na, K, Ca, Mg, Si, HCO₃). La **composante principale 2** (CP2 : 17.6 % de variance expliquée) permet de distinguer les eaux riches en SO₄ et Fe et dans une moindre mesure en Mn. Cette composante principale permet d'identifier les eaux affectées par les processus d'oxydo-réduction. Ce point sera examiné en détail à l'aide des informations des isotopes du soufre des sulfates.

³ L'ACP est une technique mathématique classiquement utilisée pour la compression et la classification des données : elle consiste à transformer des variables liées entre elles (dites "corrélées" en statistique) en nouvelles variables indépendantes les unes des autres (donc "non corrélées"). Ces nouvelles variables sont nommées "Composantes Principales" (CP), ou axes, elles permettent de réduire l'information en un nombre de composantes plus limité que le nombre initial de variables. L'utilisation la plus commune de l'ACP est de fournir, à partir de données décrites par un grand nombre de variables quantitatives, des représentations **planes** (et donc interprétables visuellement) aussi fidèles que possible. Pour cela, on projette ces données sur des **plans factoriels**, chaque plan étant défini par une paire de Composantes Principales prises parmi les premières CP (CP expliquant le maximum de variance).

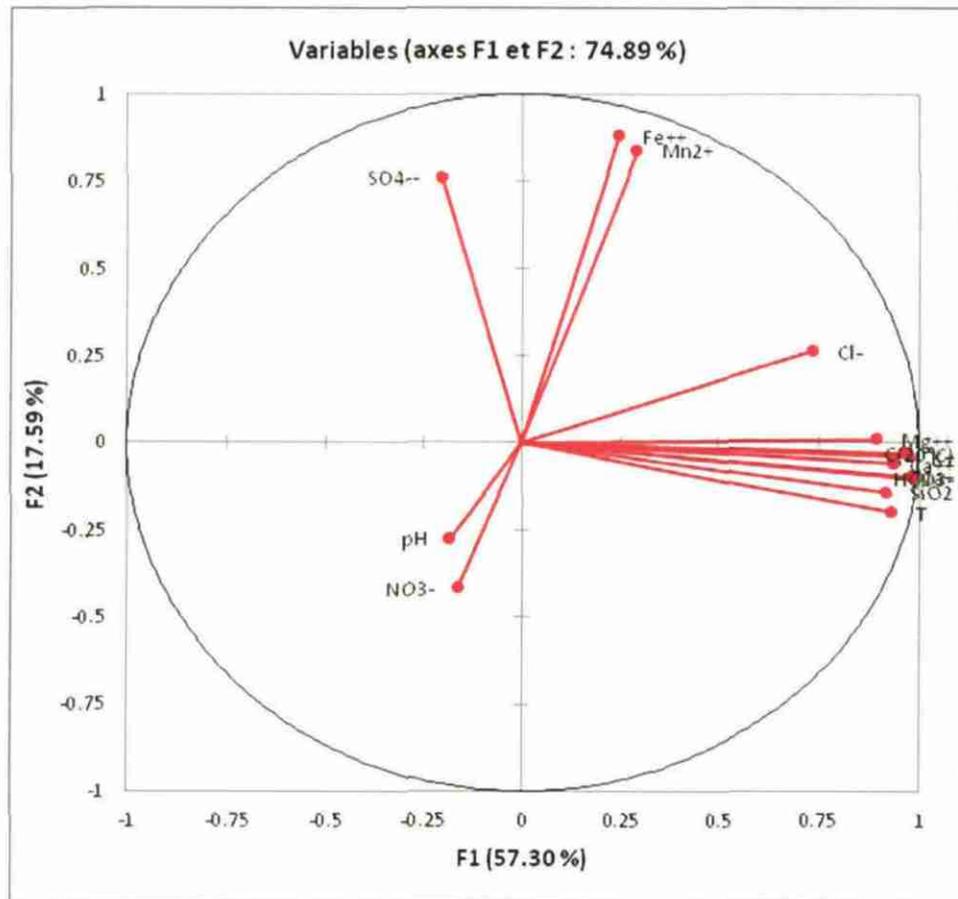


Illustration 16 : Analyse en composantes principales sur les résultats des éléments majeurs (Cl, Na, K, Ca, Mg, SO₄, NO₃, HCO₃), traces métalliques (Fe, Mn), température, pH et conductivité des eaux du site de Lamalou-les-Bains.

La projection des différents échantillons sur le plan factoriel 1-2 (Cf. Illustration 17), permet d'individualiser les pôles de mélange (pôle thermo-minéral, pôle carbonaté froid) et le processus d'oxydation des sulfures. Dans cette représentation, on montre que les ouvrages Bourges, Capus, Francois et Vernière sont plus ou moins influencées par les processus d'oxydation de la pyrite qui conduisent à des augmentations des teneurs en SO₄ et Fer (présence de quartz pyriteux). L'intensité maximale du phénomène d'oxydation de la pyrite est identifiée pour l'ouvrage Capus. Ce phénomène d'oxydation de la pyrite peut se produire en raison de phénomènes de mélange avec des eaux froides contenant de l'oxygène dissous.

Dans l'illustration 17, le pôle froid carbonaté de subsurface a été défini sur la base d'analyses disponibles sur des points d'alimentation en eau potable. Le pôle thermo-minéral profond est issu, quant à lui, d'analyses sur les ouvrages thermaux.

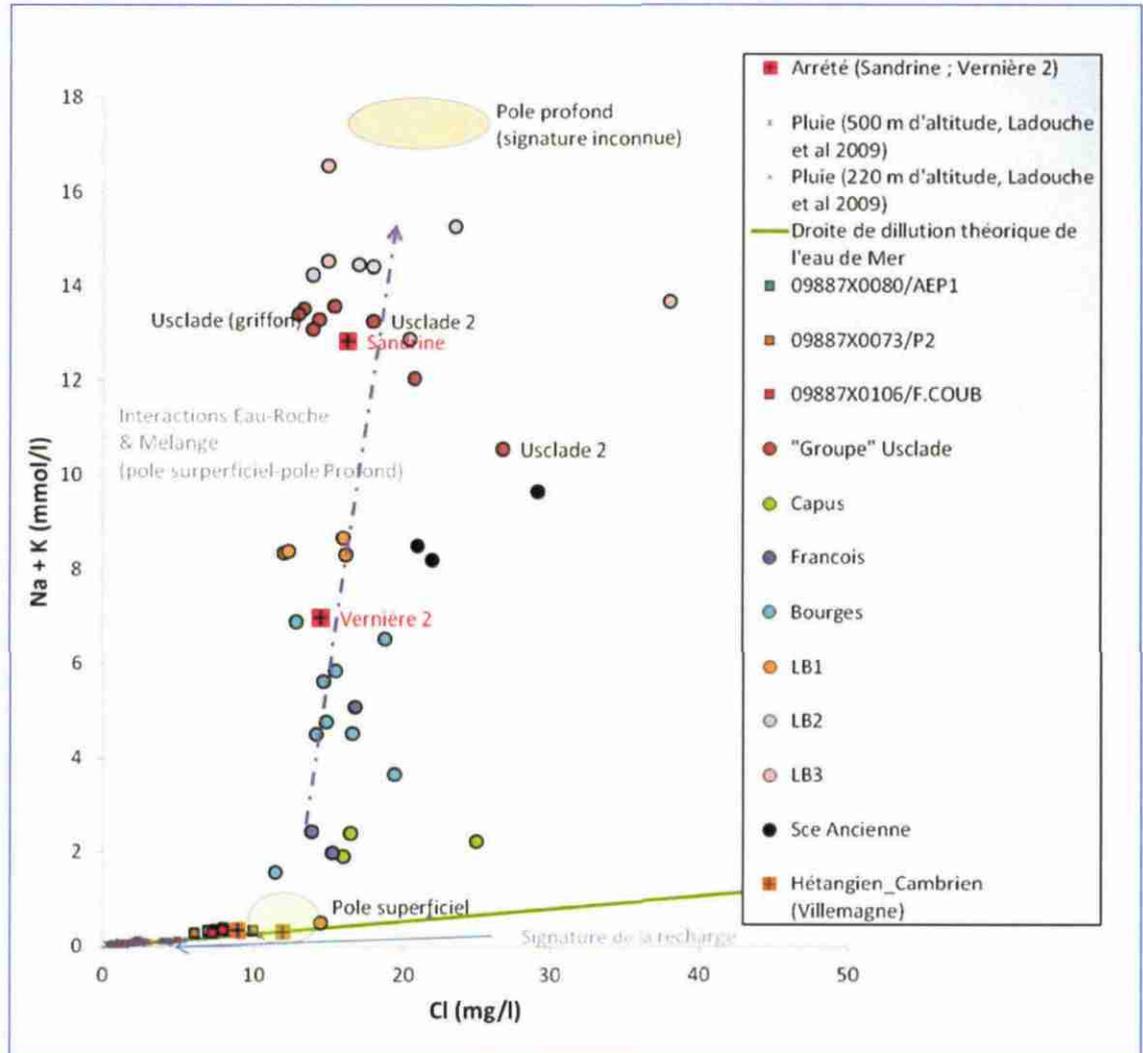


Illustration 18 : Evolution des teneurs en sodium et potassium mesurées dans les eaux du secteur d'étude en fonction des teneurs en Cl

A l'exception des eaux de pluies et des eaux issues des ouvrages situés dans les formations bicarbonatées (09887X0080, 09887X0106, 09887X0073 et 09887X0104), les points d'eau du gisement de Lamalou-les-Bains se situent au-dessus de la droite de dilution de l'eau de mer ce qui indique que les eaux sont enrichies en Na et K par rapport à l'eau de pluie qui contribue à la recharge des aquifères.

L'enrichissement en sodium et potassium des eaux prélevées au sein du gisement est à attribuer aux interactions eau-roche (avec les Feldspath potassiques notamment). Les eaux les plus chaudes apparaissent les plus chargées en Na+K et présentent globalement des teneurs en Cl supérieures aux valeurs mesurées dans les eaux froides du pôle superficiel. Dans ce schéma, la signature (Na+K, Cl) des eaux de l'ouvrage Vernière 2 semble expliquée par le **phénomène de mélange d'eau entre une eau minéralisée et chaude (qualifiée à l'aide de l'ouvrage Sandrine) et une eau froide d'un pôle superficiel peu minéralisé en sodium et potassium.**

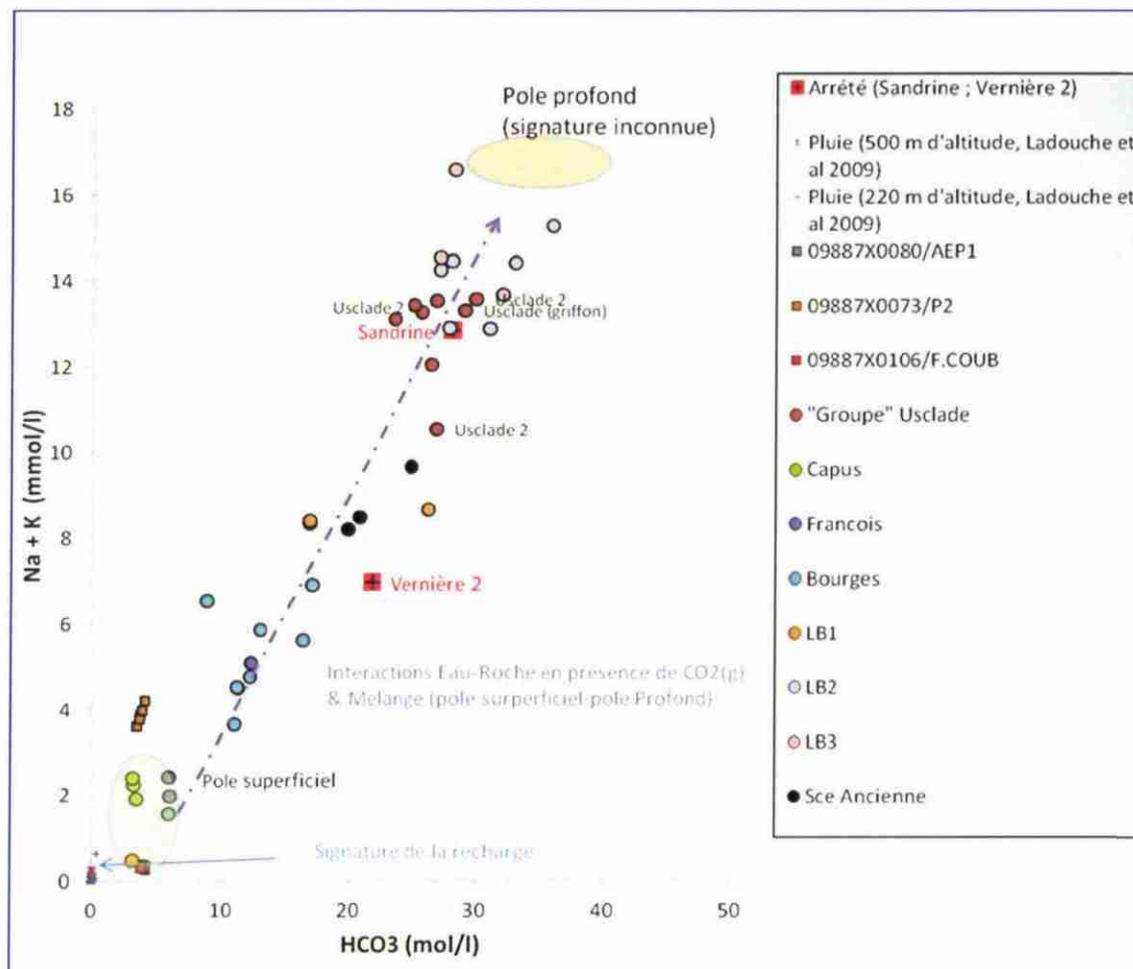


Illustration 19 : Evolution des teneurs en sodium et potassium mesurées dans les eaux du secteur d'étude en fonction des teneurs en bicarbonate.

La relation entre Na+K et HCO₃ permet de comparer des éléments contrôlés par les interactions Eau-Roche (Na+K) à un élément (HCO₃) qui, dans le contexte des eaux carbo-gazeuses, peut être directement lié à la quantité de CO₂ (Cf. Illustration 19). Dans ce schéma, on montre que la signature de l'eau à l'ouvrage Vernière 2 peut être expliquée par le résultat d'un mélange entre une eau froide (pôle superficiel) et un pôle profond (minéralisé et chaud) du type de celui qualifié à l'aide de l'ouvrage Sandrine. **La signature des autres ouvrages (Sce Ancienne, Bourges, Francois) apparaît également expliquée par le phénomène de mélange.** La relation entre les teneurs en silice et la température (Cf. Illustration 20) permet également de bien illustrer le phénomène de mélange.

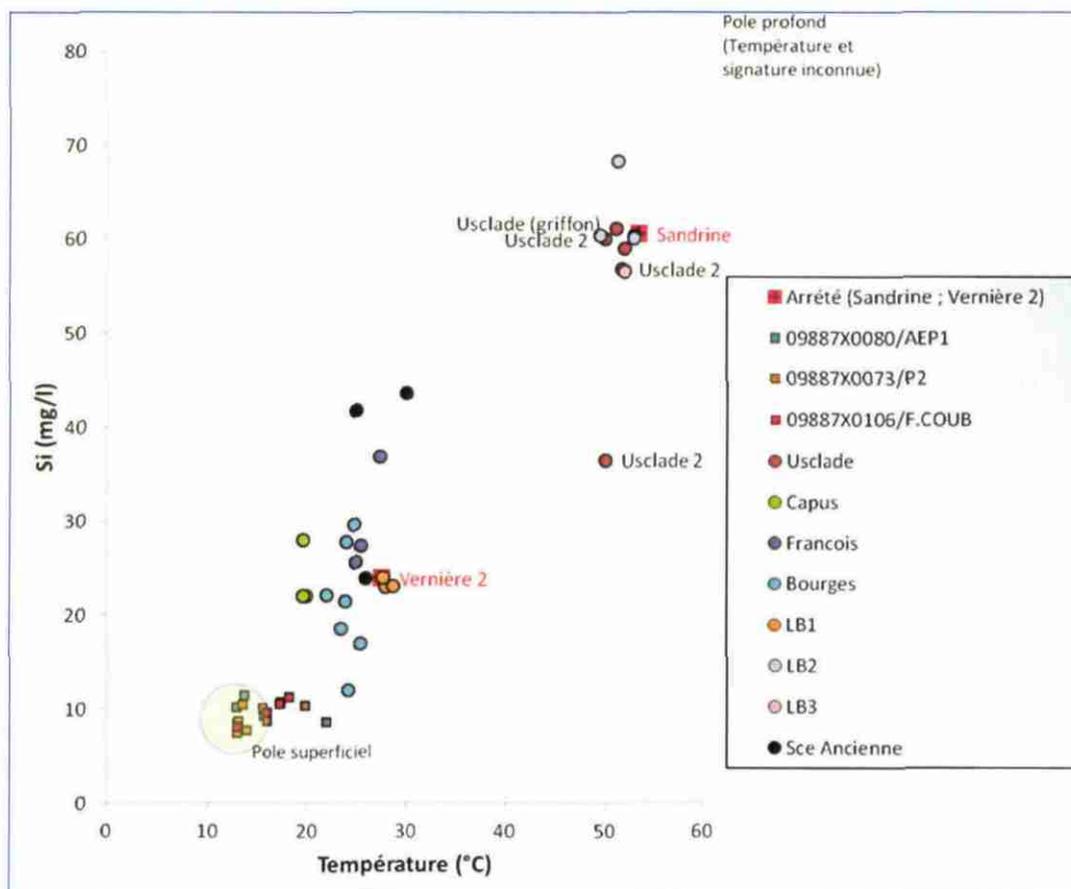


Illustration 20 : Evolution des teneurs en silice mesurées dans les eaux du secteur d'étude en fonction de la température.

La relation entre Ca+Mg et HCO₃ permet de comparer des éléments contrôlés par les interactions Eau-Roche (Ca+Mg) à un élément (HCO₃) qui, dans le contexte des eaux carbo-gazeuses, peut être directement lié à la quantité de CO₂ (Cf. Illustration 21). Cette représentation permet d'apporter une information nouvelle à la compréhension du contexte géochimique de Lamalou-les-Bains. Les eaux de l'ouvrage Vernière 2 apparaissent globalement plus chargées en Ca et Mg par rapport aux eaux de l'ouvrage Sandrine. Les signatures en Ca et Mg des eaux du pôle profond qualifié à l'aide de Sandrine peuvent être expliquées par l'interaction avec les phases minérales riches en calcium (plagioclase) et magnésium (diopside). Compte tenu du phénomène de mélange mis en évidence précédemment pour l'ouvrage Vernière 2, on devrait s'attendre à trouver des concentrations inférieures à celles mesurées à Sandrine. L'enrichissement en Ca et Mg par rapport aux valeurs attendues témoigne d'un processus d'interaction eaux roche, du type « dissolution des carbonates », le processus étant favorisé en raison de la présence du CO₂. **Ces résultats suggèrent donc que l'ouvrage Vernière 2 mobilise également des eaux riches en calcium et magnésium vraisemblablement en provenance des**

calcaires dolomitiques cambriens. Ce point pourrait à l'avenir être examiné à l'aide des isotopes du strontium⁴.

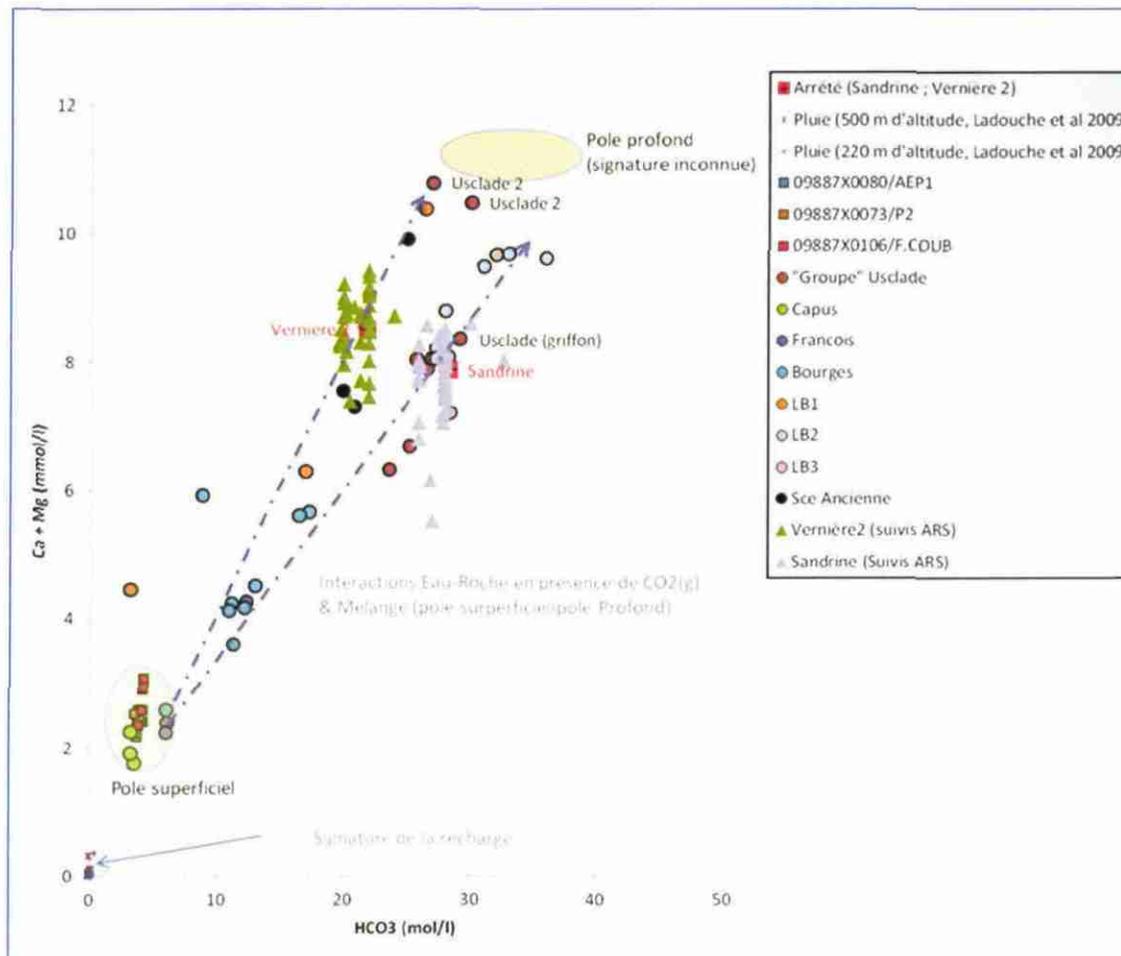


Illustration 21 : Evolution des teneurs en Calcium et Magnésium mesurées dans les eaux du secteur d'étude en fonction des teneurs en bicarbonate.

La relation entre les teneurs en SO_4 et en $(\text{Na} + \text{K})$ (Cf. Illustration 22) permet de comparer les éléments contrôlés par les interactions eaux-roche à hautes températures $(\text{Na}+\text{K})$ avec un élément mobile dans les premiers stades de l'altération (dissolution et/ou oxydation), et qui se comporte ensuite comme un élément contrôlé

⁴ Le strontium (Sr) est un élément chimique de type alcalino-terreux dont les propriétés physico-chimiques sont proches de celles du calcium (Ca). Cette similarité permet au Sr de se substituer au Ca dans les réseaux cristallins.

Le rapport isotopique du strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) d'une eau est directement lié à celui du minéral ou de l'assemblage minéralogique avec lequel l'eau a interagi. Ainsi, les eaux qui drainent des roches silicatées (granite par exemple) présentent des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ relativement élevés, celles qui drainent des roches carbonatées ont des signatures plus faibles (moins radiogéniques). Les variations du rapport isotopique du strontium dans un hydrosystème donne des informations sur (1) l'origine et potentiellement les proportions de mélange des différents types d'eau, ainsi que sur (2) la nature et l'intensité des interactions eau-roche notamment liées à l'altération ou la dissolution.

quand la solution atteint la saturation vis-à-vis du minéral néoformé qui le contient (gypse, jarrosite et natroalite par exemple).

Les eaux du pôle thermo-minéral qualifié à l'aide de l'ouvrage Sandrine présentent de faibles teneurs en sulfates (de l'ordre de 20 mg/l). Les eaux froides des aquifères superficiels présentent des teneurs comprises entre 20 et 75 mg/l, à l'exception de l'ouvrage 09887X0104 (280 mg/l). Les eaux du gisement de Lamalou-les-Bains présentent des valeurs comprises entre 20 et 50 mg/l de SO_4 (Bourges, Francois) ou des valeurs supérieures à 50 mg/l (Capus, Sce Ancienne, et Vernière 2-LB1). Ainsi, à minéralisation comparable, la teneur en sulfates est variable. La position des points (Bourges, Francois) dans le graphique (Illustration 22) peut être interprétée comme le résultat d'un mélange entre l'eau d'origine profonde qualifiée par l'ouvrage Sandrine et les eaux froides des aquifères superficiels. Les teneurs élevées en sulfates des autres ouvrages de Lamalou-les-Bains (Capus, Sce Ancienne, et Vernière 2-LB1) témoignent d'un autre phénomène. Pour interpréter cette variabilité, les signatures isotopiques des sulfates vont être examinées.

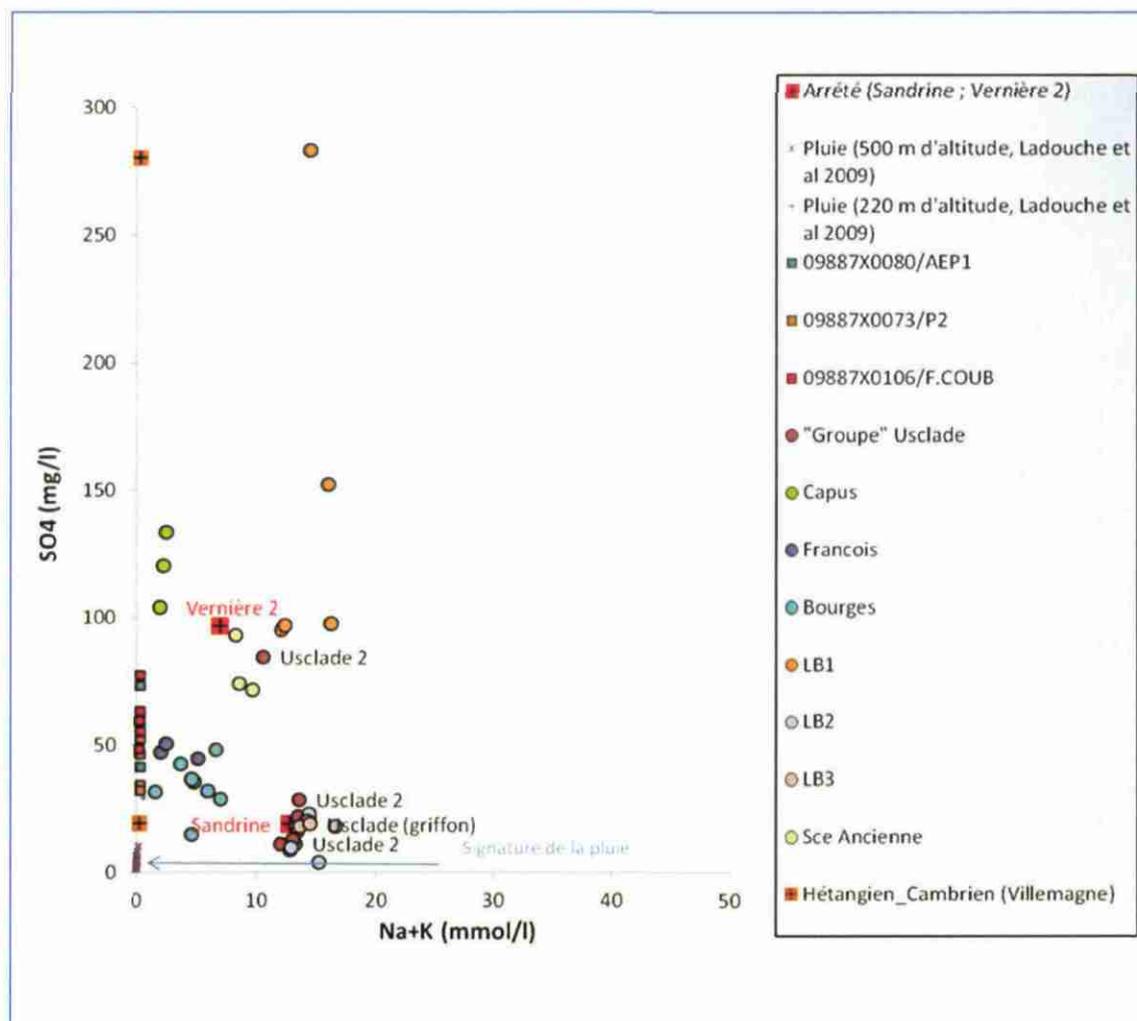


Illustration 22 : Evolution des teneurs en sulfates mesurées dans les eaux du secteur d'étude en fonction des teneurs en sodium et potassium.

Caractérisation isotopique de la ressource

L'examen des quelques données isotopiques disponibles sur les isotopes du soufre⁵ (Cf. Illustration 23 et Illustration 24) apportent des informations intéressantes et nouvelles sur l'origine des sulfates. Les signatures isotopiques de l'oxygène des sulfates ne sont pas connues.

Sources	Date prélèvement	18O (‰ vs SMOW)	2H (‰ vs SMOW)	3H (UT)	S34 (‰ vs CDT)	C13(HCO3) (‰ vs PDB)	C13 (CO2) (‰ vs PDB)
Usclade 2	1978	-6,2	-35,1	0,1	12,0	3,6	-7,1
	1984	-6,3	-35,6	38			
Capus	1978	-6,0	-34,8	20	-7,6	3,1	
	1984	-6,1	-34,8	29			
Bourgès	1978	-6,0	-34,8	6	0,1	3,9	-6,5
Ancienne	1984	-5,9	-34,0	11			
Nouvelle	1984	-6,9	-34,2	42			
François	1984	-6,2	-35,3	52			
Claude	1984	-6,7	-37,8	21			

Illustration 23. Tableau des compositions isotopiques des eaux thermales du gisement de Lamalou-les-Bains

La signature isotopique des sulfates du point Usclade 2 est intermédiaire entre les signatures isotopiques mesurées dans les pluies et celles des sulfates liées à la dissolution de gypse. En l'absence de signature isotopique pour l'oxygène des sulfates, on ne peut pas conclure quant à l'origine des sulfates des eaux d'Usclade 2.

⁵ Les isotopes utilisés sont les isotopes stables les plus abondants de l'atome de soufre : ³²S banal (95,02%) et ³⁴S (4,21%). Le soufre est impliqué dans plusieurs processus biogéochimiques et par ses divers degrés d'oxydation (-2 à +6), il est présent sous différentes formes (sulfates, sulfures, etc.). L'étude des rapports isotopiques du soufre (³²S/³⁴S) et de l'oxygène des sulfates (¹⁸O/¹⁶O) peut renseigner sur l'origine des espèces dissoutes et rend possible l'identification des processus géochimiques et biochimiques qui les affectent. De même que pour les isotopes stables de l'eau, on utilise la notation δ exprimé en parts pour mille, par rapport à un standard de référence :

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

où R est le rapport isotopique de l'isotope lourd sur l'isotope léger des sulfates (³²S/³⁴S ; ¹⁸O/¹⁶O). Pour le rapport ³²S/³⁴S l'étalon de référence est la troilite (FeS) de la météorite de Canyon Diablo aux États-Unis (CDT) et le SMOW (Standart Mean Ocean Water) pour le rapport ¹⁸O/¹⁶O.

Les compositions isotopiques des eaux de pluie qui contribuent à la recharge sont en principe identiques à celles de l'eau de mer⁵ mais les apports anthropiques industriels et les émissions volcaniques ainsi que l'activité biologique à la surface des océans entraînent un appauvrissement en ³⁴S et un enrichissement en ¹⁸O des sulfates. L'oxydation des sulfures en sulfates provoque un appauvrissement en isotopes lourds si elle est réalisée par l'activité bactérienne. La réduction des sulfates en sulfures conduit à l'enrichissement en isotopes lourds des sulfates résiduels, avec un enrichissement 4 fois plus important pour le soufre que pour l'oxygène. La dissolution de minéraux sulfatés n'entraîne pas de fractionnement isotopique. A l'inverse, la précipitation de minéraux sulfatés provoque un appauvrissement en isotopes lourds qui se traduit dans un diagramme δ³⁴S(SO₄) vs δ¹⁸O(SO₄) par une pente de 0,5.

Les eaux de l'ouvrage Capus apparaissent très appauvries en soufre 34 par rapport à la pluie et aux eaux de l'ouvrage Usclade 2. Les signatures isotopiques de Bourges s'inscrivent dans le domaine des signatures isotopiques liées à l'oxydation des sulfures (pyrite par exemple). Les eaux de l'ouvrage Vernière 2-LB1 présentent des concentrations en sulfates comparables aux valeurs de l'ouvrage Capus. Par analogie, on suggère que **les teneurs en sulfates de Vernière 2-LB1 ont pour origine l'oxydation de la pyrite**. Ceci demanderait à être corroboré par une analyse isotopique ($\delta^{34}\text{S}$ et $\delta^{18}\text{O}$ des sulfates).

La signature isotopique de l'**ouvrage Bourges** apparaît également appauvrie en soufre 34 par rapport à la pluie et aux eaux de l'ouvrage Usclade 2. La position du point dans le graphique $\delta^{34}\text{S}$ vs (1/SO₄) [annexe 3] pourrait s'expliquer comme le **résultat du mélange entre une eau du type Capus (sulfates liés à l'oxydation des sulfures par activité bactérienne) et l'eau d'origine profonde qualifiée par l'ouvrage Sandrine**.

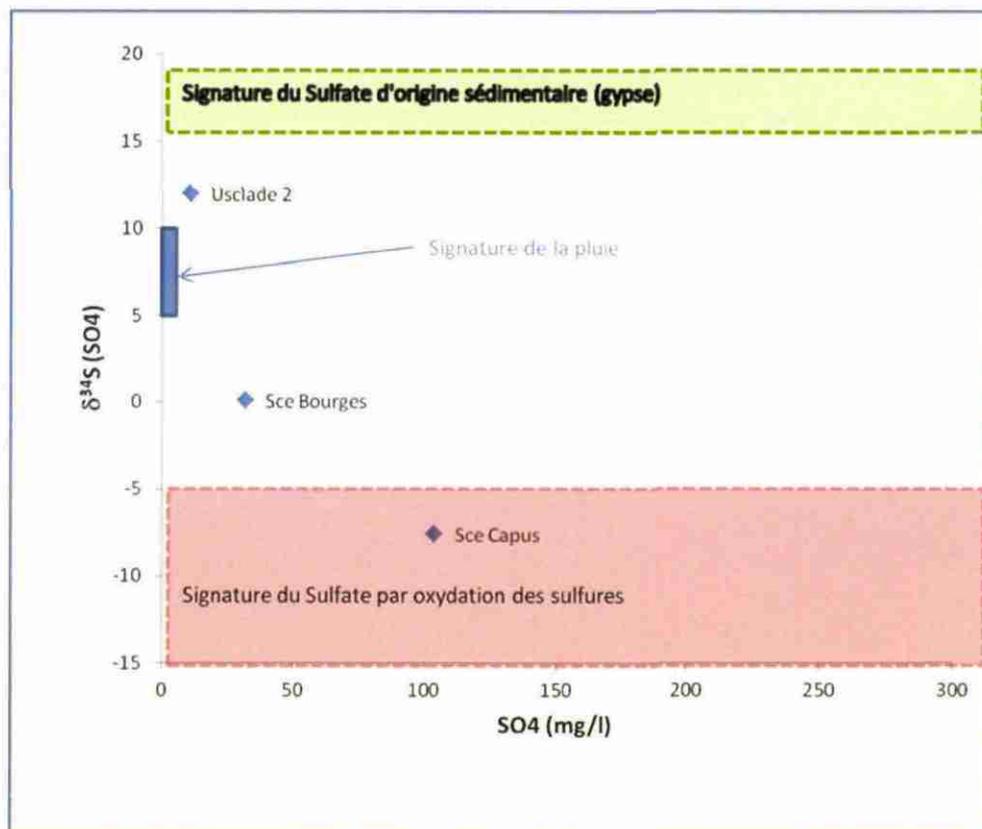


Illustration 24. Evolution de la signature en soufre 34 en fonction des concentrations en sulfates.

D'autres mesures isotopiques ont été effectuées par le BRGM en 1984 sur différentes sources thermales de Lamalou-les-Bains. Les résultats sont présentés dans le tableau de l'illustration 23.

Concernant les isotopes stables du carbone ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$), les résultats concernent à la fois le gaz CO_2 et le carbone minéral dissous des bicarbonates (HCO_3^-). Les rapports des isotopes stables $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ sont exprimés en $\delta^{13}\text{C}^6$ par rapport à un étalon de référence (P.D.B.⁷). Les $\delta^{13}\text{C}$ du carbone minéral dissous, bicarbonates (HCO_3^-) et gaz (CO_2) permettent, quand ils sont employés avec précaution, de retracer l'origine du carbone.

L'arrivée, par les grands accidents du socle, de CO_2 magmatique ($\delta^{13}\text{C}$ compris entre - 8 et - 5 ‰, Deines 1970 ; Blavoux et al. 1982) provoque un enrichissement en ^{13}C du carbone minéral dissous. Mais les conséquences en sont généralement plus spectaculaires car ces dégagements de CO_2 extrêmement abondants arrivent à masquer complètement la minéralisation initiale de la zone d'infiltration en imposant leur marquage à l'eau minérale carbogazeuse compte-tenu des conditions de pression et de pression partielle de CO_2 en profondeur.

La signature isotopique du carbone inorganique dissous (TDCI) caractérise la signature moyenne des espèces de carbone, pondérée par leurs teneurs respectives. Les principales espèces de carbone en solution sont sous forme dissoute (CO_2g) ou ioniques (HCO_3^- et CO_3^{2-}), la part respective de ces différentes espèces étant contrôlée par le pH de la solution. A $\text{pH} < 8,3$, l'activité de CO_3^{2-} est négligeable et l'équation de bilan isotopique peut être écrite de la façon suivante :

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{TDCI}} = \frac{M_{\text{CO}_2\text{aq}} \delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2\text{aq}} + M_{\text{HCO}_3^-} \delta^{13}\text{C}_{\text{HCO}_3^-}}{M_T} \quad \text{Équation 1}$$

où M(i) représente la concentration molaire de chaque espèce et M_T la teneur en TDCI (carbone inorganique dissous total).

⁶ unité delta de déviation (δ), exprimé en parts pour mille, par rapport à un standard de référence :

$\delta = [(R_{\text{échantillon}}/R_{\text{standard}} - 1) \cdot 1000]$; où R est le rapport isotopique de l'isotope lourd sur l'isotope léger ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ pour le carbone, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ pour l'oxygène ou $^2\text{H}/^1\text{H}$ pour l'hydrogène).

Pour les isotopes stable de l'eau, le standard de référence est le V-SMOW (Vienna Standart Mean Ocean Water) pris à 0 ‰.

⁷ PDB : bélemnite de la Pee Dee formation du Crétacé de Caroline du Sud

En prenant en compte les facteurs d'enrichissement isotopique entre CO_{2g} et HCO_3^- (εa) et entre le CO_{2g} et CO_{2aq} (εb) définis respectivement par Mook et al. (1974)⁸ et Deines et al. (1974)⁹, l'équation précédente peut s'écrire :

$$\delta^{13}\text{C}_{TDCI} = \delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_{2g}} + \frac{\varepsilon b(M_{\text{CO}_{2aq}}) + \varepsilon a(M_{\text{HCO}_3^-})}{M_T} \quad \text{Équation 2}$$

L'équation 2 a été utilisée pour calculer la signature isotopique théorique du CO_2 gazeux qui interagit avec les eaux de l'hydrosystème de Lamalou-les-Bains. Les teneurs isotopiques du CO_2 calculées apparaissent comprises entre 0.79 ‰ et 2.75 ‰. Les signatures $\delta^{13}\text{C}$ calculées du CO_{2g} apparaissent donc très enrichies en ^{13}C par rapport aux signatures $\delta^{13}\text{C}$ du CO_{2g} mesurées ($\delta^{13}\text{C}$ compris entre -7.1 ‰ et -6.5 ‰, Illustration 23). Le processus qui permet d'expliquer les valeurs théoriques calculées pour les signatures $\delta^{13}\text{C}$ est le **phénomène de dégazage de CO_2 qui s'accompagne de précipitations de calcite**. Les résultats ne permettent pas de préciser si le dégazage se produit lors de la remontée du fluide thermal, dans l'ouvrage, ou encore lors de la prise de l'échantillon. Par le passé, le colmatage de l'ouvrage Sandrine semble indiquer que le dégazage peut se produire de manière importante dans les ouvrages.

La signature isotopique du CO_2 gazeux mesurée au sein du gisement ($\delta^{13}\text{C}$ compris entre -7.1 ‰ et -6.5 ‰) est comparable aux valeurs mesurées dans le Massif Central (Matthews et al., 1987) et témoigne d'une origine magmatique.

⁸ $\delta^{13}\text{C}_{\text{HCO}_3^-} - \delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_{2g}} = \varepsilon a = 9552/T(^{\circ}\text{K}) - 24,1$

⁹ $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_{2aq}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_{2g}} = \varepsilon b = 6300/T(^{\circ}\text{K}) - 0,91$

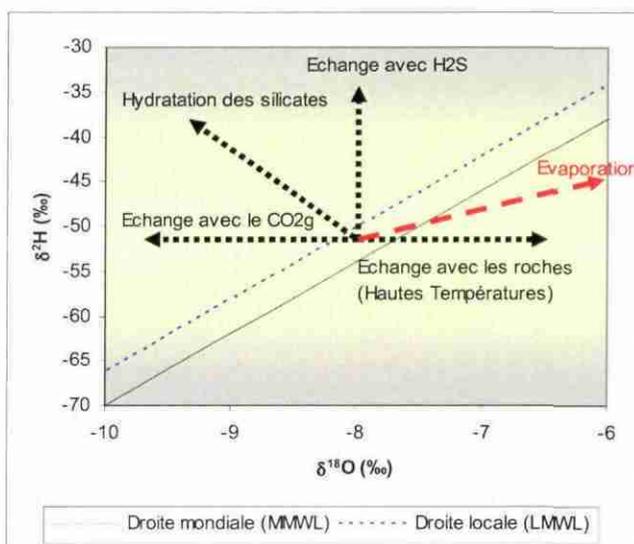
L'évolution des signatures des isotopes stables de l'eau¹⁰ au sein du gisement de Lamalou-les-Bains est présentée sur l'illustration 25.

Les eaux présentent des variations significatives en oxygène 18 et deutérium : les valeurs en deutérium varient entre -34,0 et -37,8 ‰ suivant les sources et les valeurs en oxygène 18 varient de -5,9 à -6,9 ‰.

¹⁰ Généralités sur les isotopes stables de l'eau :

Les variations des compositions isotopiques des isotopes stables de l'eau (¹⁸O/¹⁶O et ²H/¹H) 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 : $\delta^2\text{H} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10$; 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 CO₂), les interactions Eau-Roche peuvent modifier la composition isotopique initiale de l'eau :



Processus d'échanges isotopiques susceptibles d'affecter la signature isotopique (¹⁸O, ²H) de l'eau (d'après Clark et Fritz 1997).

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 (¹⁸O, ²H) dont les signatures correspondent à des environnements et des épisodes hydroclimatiques spécifiques, ou des altitudes de recharge différentes. 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.

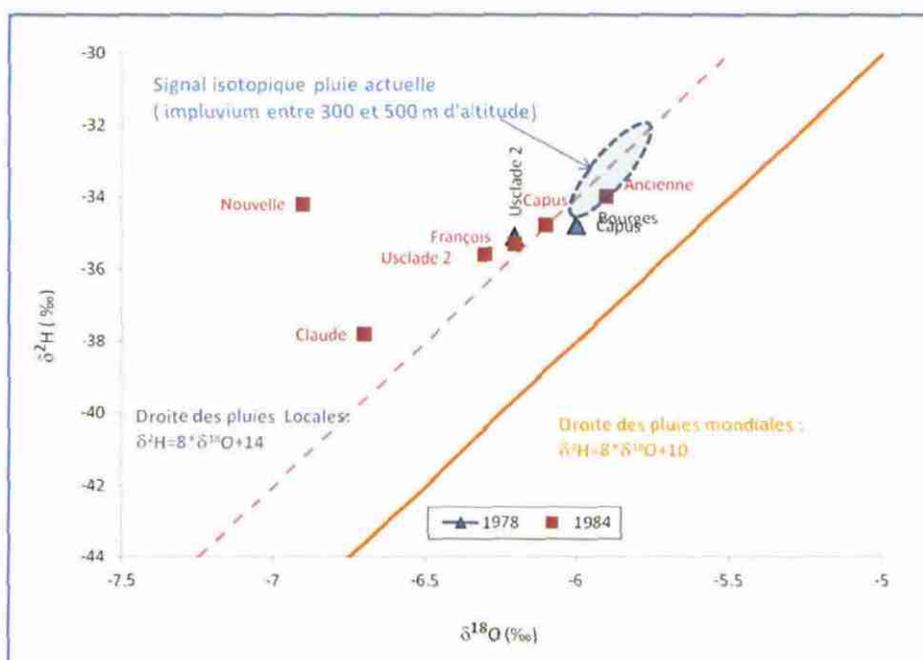


Illustration 25 : Relation Deutérium/Oxygène 18 pour les sources de Lamalou-les-Bains

Les eaux des ouvrages Claude et Nouvelle se distinguent des eaux des autres ouvrages par des signatures très appauvries en ^{18}O par rapport aux droites des pluies. La position des points suggèrent un échange isotopique avec le CO_2 gazeux, ce qui paraît fortement probable étant donné le contexte carbo-gazeux des eaux de Lamalou-les-Bains.

A l'exception des eaux de ces deux ouvrages, les autres points sont situés entre les droites mondiale et locale des eaux météoriques (Cf. illustration 25) ce qui autorise la comparaison des résultats avec les données de la fonction d'entrée, c'est à dire par rapport à la droite des eaux météoriques.

Dans cette étude, la comparaison est réalisée à partir de la droite des eaux de pluies locales établie pour le département de L'Hérault (Ladouche et al., 2009)¹¹.

Si l'on considère l'hypothèse selon laquelle l'aire d'alimentation du système est située au niveau des calcaires cambriens affleurant dans la vallée de la Mare au nord de Villemagne - l'Argentière, l'impluvium de recharge serait donc situé à environ 300 et 500 m d'altitude. La pluie actuelle précipitée à ces altitudes présente globalement des signatures en oxygène 18 comprises entre -5,7 et -6,2 ‰. La pluie efficace qui contribue à la recharge des aquifères présente des signatures légèrement plus appauvries en isotopes lourds car les pluies estivales enrichies en isotopes lourds sont évapotranspirées et ne contribuent pas à la recharge des aquifères. Dans ce contexte, la signature isotopique des eaux des sources Ancienne et Capus peut être expliquée par des pluies infiltrées entre 300 et 500 m d'altitude.

Dans le département de l'Hérault, le gradient isotopique moyen diminue linéairement avec l'augmentation d'altitude, le gradient altitudinal étant de -0,27 ‰ /100 m (+/- 0,10 ‰/100m) (Ladouche et al., 2009). Dans ce contexte, des pluies infiltrées au niveau des gneiss du Caroux doivent présenter des signatures très appauvries en isotopes lourds compte tenu de l'altitude moyenne des gneiss (900 m). Les pluies dans ce secteur doivent présenter globalement des signatures inférieures à -7,2 ‰ et -44 ‰ en oxygène 18 et deutérium, respectivement. **Les signatures des eaux de Lamalou-les-Bains ne peuvent pas être expliquées par une recharge en provenance de ces altitudes, ce qui conduit à rejeter l'hypothèse et le schéma conceptuel qui fait intervenir une alimentation par les gneiss du Caroux.**

Une meilleure appréciation des zones d'infiltration et de circulation des eaux de l'hydrosystème thermal constitue une piste de progrès au titre de la démarche qualité pour la ressource thermique de Lamalou-les-Bains.

La meilleure connaissance de l'hydrosystème permettra de renforcer la protection au niveau de l'impluvium et des zones d'émergence.

¹¹ Afin de déterminer l'altitude de recharge, on peut se baser sur une étude isotopique qui a été effectuée sur les pluies de l'Hérault durant l'année 1997-1998 (Ladouche et al., 2009). Les mesures, réalisées en différents endroits et altitudes au nord de Montpellier sont présentées dans le tableau ci-après. Elles ne correspondent pas exactement à la région de Lamalou-les-Bains mais peuvent cependant être utiles afin d'avoir une idée de l'altitude de recharge.

Altitude (m)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ vs SMOW)	$\delta^2\text{H}$ (‰ vs SMOW)
583	-6,2	-34,3
220	-5,5	-30,1
125	-5,6	-31,1
71	-4,9	-28,2
6	-4,3	-23,2

Signature isotopiques des pluies (moyenne pondérée) pour différentes altitudes du département de l'Hérault (Ladouche et al., 2009)

Au sein du gisement de Lamalou-les-Bains, les eaux d'Usclade 2 sont les plus appauvries en oxygène 18. En absence de mélange avec les eaux superficielles, la signature en ^{18}O et ^2H mesurée peut refléter celle qui prévalait lors de la recharge des aquifères au moment de l'infiltration. Les valeurs appauvries par rapport aux pluies actuelles pourraient s'expliquer par un effet paléo-climatique, correspondant à une période climatique plus froide que la période climatique actuelle. **Dans ce contexte, les eaux du pôle minéralisé qualifiées à l'aide de l'ouvrage Sandrine pourraient être très vieilles (plusieurs centaines voire milliers d'années).**

Contrairement à l'oxygène 18 et au deutérium, l'isotope tritium (^3H) de la molécule d'eau est instable dans le temps et a été fréquemment utilisé comme géochronomètre pour dater les eaux (^3H , isotope radioactif de période courte de 12,32 ans). C'est un marqueur des masses d'eau contemporaines. En effet, une production artificielle s'est ajoutée à la production naturelle¹² au cours des essais thermonucléaires aériens, pendant la période 1952-1963 ; les essais aériens ont cessé depuis 1963. Par l'intermédiaire de cette production artificielle, **on peut donc différencier les eaux qui résultent des précipitations sans tritium nucléaire (avant 1952) des eaux de précipitations formées dans une atmosphère contenant du tritium nucléaire.** La présence de tritium dans une eau témoigne d'une alimentation récente. Dans notre cas, elle peut permettre d'identifier une infiltration d'eau récente dans le gisement thermo-minéral.

Les données de tritium sont peu nombreuses et datent des années 1978 et 1984 (Cf. Illustration 23). Les ouvrages (Capus, Bourges, Ancienne, Francois et Claude) dont la signature géochimique s'explique comme le résultat d'un mélange entre un pôle profond (du type de celui qualifié à Sandrine) et un pôle froid de surface présentaient en 1978 et 1984 des teneurs en tritium. Les valeurs de tritium, sont très variables d'une source à l'autre et présentent des valeurs élevées (généralement > 10 UT). Ces valeurs correspondent à celles d'eaux infiltrées après les essais thermonucléaires des années 1952-1963. **Il existe donc une proportion d'eau de pluies infiltrées récemment dans les eaux thermales de Lamalou-les-Bains.** Pour le forage Sandrine, les résultats apparaissent très contrastés (absence de Tritium en 1978 et présence en 1984). De tels résultats sont difficiles à interpréter sans données isotopiques complémentaires. Dans un cas, les résultats permettent de considérer que l'ouvrage Sandrine n'est pas influencé par le pôle superficiel contenant du Tritium. Dans l'autre cas, l'ouvrage solliciterait une part d'eau en provenance des formations superficielles contenant du tritium.

3.2. LA RESSOURCE THERMALE EXPLOITEE

3.2.1. Les différents ouvrages

Plusieurs sources existent sur la commune de Lamalou-les-Bains mais seulement deux sont exploitées par la Chaîne Thermale du Soleil (CTS) pour l'approvisionnement de l'établissement thermal.

¹² Production naturelle de 1 atome de ^3H pour 10^{18} atomes de ^1H .

Il s'agit des sources « Sandrine – Usclade 3 » et « Vernière 2 – LB1 » (Cf. illustration 26). Les autres captages sont soit inutilisés, soit exploités par des centres de rééducation.

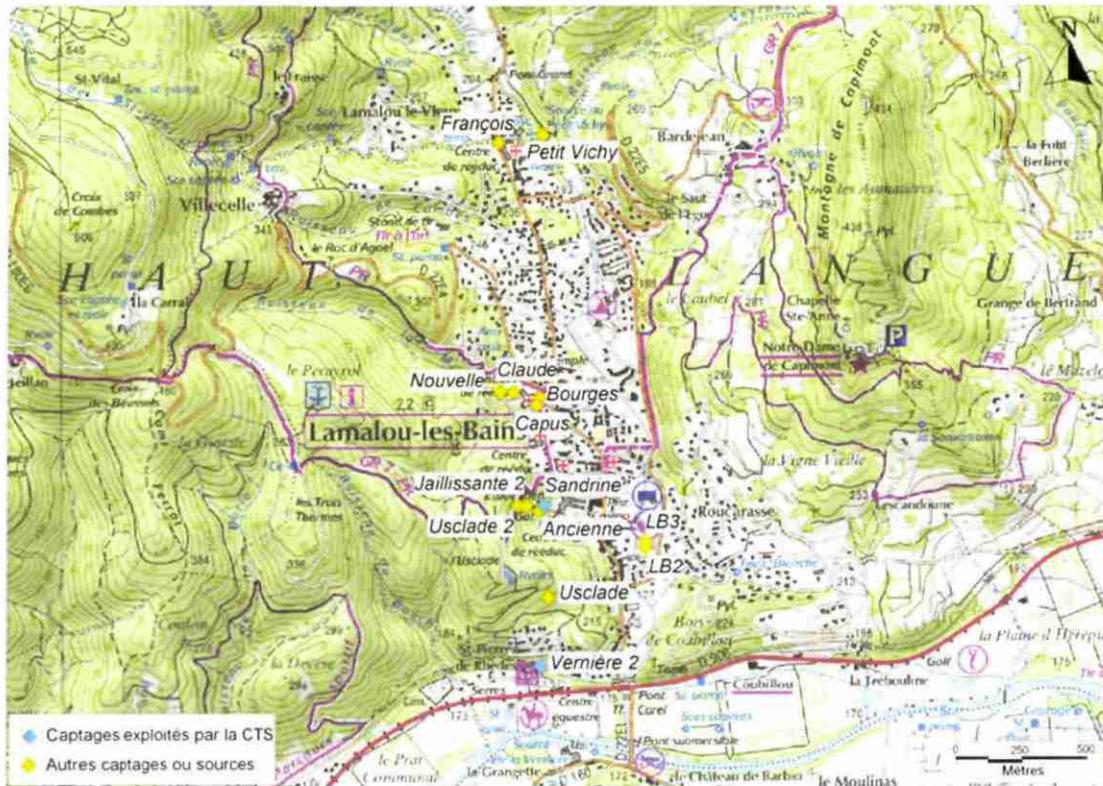


Illustration 26 : Carte de situation des sources eau minérale de la station de Lamalou-Les-Bains

Sandrine :

Située derrière l'établissement thermal, l'eau de cette source est de type bicarbonaté sodique calcique et émerge à une température de 53,4°C. Le forage est artésien et se situe dans une ancienne galerie de mines (Cf. illustration 27), à une profondeur de 30 m par rapport au sol. La galerie est munie d'une porte verrouillée et inaccessible au public. En surface, le forage d'accès débouche sur une sorte de plate-forme située dans la forêt sur la colline, non loin du chemin.



Illustration 27 : Galerie menant au forage « Sandrine »

Vernière 2 (LB1) :

Cette source est située dans la partie sud de la ville de Lamalou-les-Bains, proche de la voie ferrée. Elle est de type bicarbonaté calcique et carbo-gazeuse et présente une température de 28°C à l'émergence. Le forage se situe dans un local qui est entouré d'une clôture fixée sur un muret en béton avec un portail (Cf. illustration 28). Un fossé, creusé en pied de talus, permet l'évacuation des eaux de ruissellement vers un petit ravin situé à environ 35 m.



Illustration 28 : Local abritant le forage « Vernière 2 »

Outre les deux forages précédents, un troisième forage est disponible, le forage LB3 qui est potentiellement exploitable.

LB3 :

Ce forage (Cf. illustration 29) est situé sur la rive gauche du Bitoulet. Il peut fournir une eau dont les caractéristiques physico-chimiques sont similaires à celles de la source « Sandrine ». Les essais (Cf. Partie 3.3.1.) ont cependant montré qu'il y avait interférence entre ces deux ouvrages. Il pourrait éventuellement servir de forage de secours (sous réserve de disposer d'une autorisation d'exploiter).



Illustration 29 : Équipement de tête d'ouvrage du forage « LB3 »

Sur l'illustration 29, on distingue un autre forage « LB2 » situé à quelques mètres derrière « LB3 ». Cet ouvrage (forage d'exploitation) ne correspondant pas aux conditions d'exploitation, il a été neutralisé.

3.2.2. Les caractéristiques physico-chimique de la ressource

Les eaux thermales de Lamalou-les-Bains sont de type bicarbonatées mixtes (calciques et sodiques), avec des teneurs importantes en magnésium. Elles présentent des teneurs non négligeables en potassium, zinc et également fer et arsenic suivant les sources. La température des eaux est plus ou moins élevée en fonction des sources (27,6 °C et 53,5°C pour les deux forages exploités).

Le tableau suivant (Cf. illustration 30) présente la composition physico-chimique de référence des eaux des deux forages en exploitation, « Sandrine » et « Vernière 2 » (extrait de l'arrêté ministériel).

Prélèvement effectué à l'émergence le 09/02/1998	Sandrine		Vernière 2		Traces (ug/l)		Sandrine		Vernière 2	
	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l
Température (°C)	53.5		27.6		Al Aluminium	7		< 3		
pH	6.6		6.1		As Arsenic	8		50		
Conductivité à 20°C (uS/cm)	2150		1820		B Bore	460		360		
Conductivité à 25°C (uS/cm)	2387		2020		Cd Cadmium	< 1		< 1		
Alcalinité (°f)	141.4		109.5		Cr Chrome	< 1		< 1		
SiO ₂ (Silice) (mg/l)	60.5		23.9		Cu Cuivre	< 5		< 5		
CO ₂ libre (mg/l)	480		1670		Pb Plomb	< 10		< 10		
Résidu sec 180°C (mg/l)	1536		1302		Se Sélénium	< 10		< 10		
Résidu sulfaté (mg/l)	2004		1700		Zn Zinc	19		13		
Anions	Sandrine		Vernière 2		Cations		Sandrine		Vernière 2	
HCO ₃ ⁻ Hydrogénocarb.	1724	28.270	1335	21.890	Ca ⁺⁺ Calcium	224	11.178	242	12.076	
SO ₄ ⁻⁻ Sulfates	18.9	0.394	96.7	2.013	Mg ⁺ Magnésium	55.3	4.548	60.1	4.942	
Cl ⁻ Chlorures	16.3	0.460	14.6	0.412	K ⁺ Potassium	92.6	2.368	53.4	1.366	
NO ₃ ⁻ Nitrates	< 1	0.000	< 1	0.000	Na ⁺ Sodium	241	10.478	129	5.609	
NO ₂ ⁻ Nitrites	0.03	0.001	0.02	0.000	Li ⁺ Lithium	1.6	0.231	0.9	0.130	
F ⁻ Fluorures	0.8	0.042	0.5	0.026	Fe ⁺⁺ Fer	4.2	0.150	9.2	0.329	
PO ₄ ⁻⁻ Phosphates	< 0,1	0.000	< 0,1	0.000	Mn ⁺ Manganèse	0.3	0.011	0.5	0.018	
					Sr ⁺⁺ Strontium	1.3	0.030	1.2	0.027	
					NH ₄ ⁺ Ammonium	0.3	0.017	0.2	0.013	
Total anions		29.166		24.342	Total Cations		29.010		24.510	

Illustration 30 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux minérales de Lamalou-Les-Bains (Extrait Arrêté d'autorisation d'exploiter, 1999)

L'eau de la source « Sandrine » est moins riche en sulfates que celle de la source « Vernière 2 ». L'origine du sulfate est liée au processus d'oxydation des sulfures métalliques.

La source « Sandrine » correspond à la source la plus chaude et celle fournissant l'eau la plus représentative du gisement thermal. Elle se situe à proximité d'un croisement de failles, faille majeure de Lamalou-Boussagues et faille secondaire orientée SO-NE, créant ainsi un « nœud tectonique » qui favorise les remontées d'eau.

Données du contrôle réglementaire :

Un contrôle réglementaire est effectué par l'Agence Régionale de Santé (ARS) 4 fois par an. Les principaux paramètres mesurés pour les deux forages exploités par la CTS sont la température, le pH, la conductivité, les ions hydrogénocarbonates, le magnésium, le calcium, les nitrates et les paramètres microbiologiques.

Les données de ces analyses ont été récupérées pour les 10 dernières années. Concernant la microbiologie, aucune anomalie n'est à noter, si ce n'est quelques incidents ponctuels. Les mesures des autres paramètres sont représentées sur les graphes ci-après (Cf. illustrations 31 et 32). La valeur de référence ainsi que les valeurs limites de +/- 10 % (dénommée « valeur minimale » et « valeur maximale » dans les graphes ci-après) indiquées dans l'arrêté d'autorisation d'exploiter sont également représentées sur les graphes.

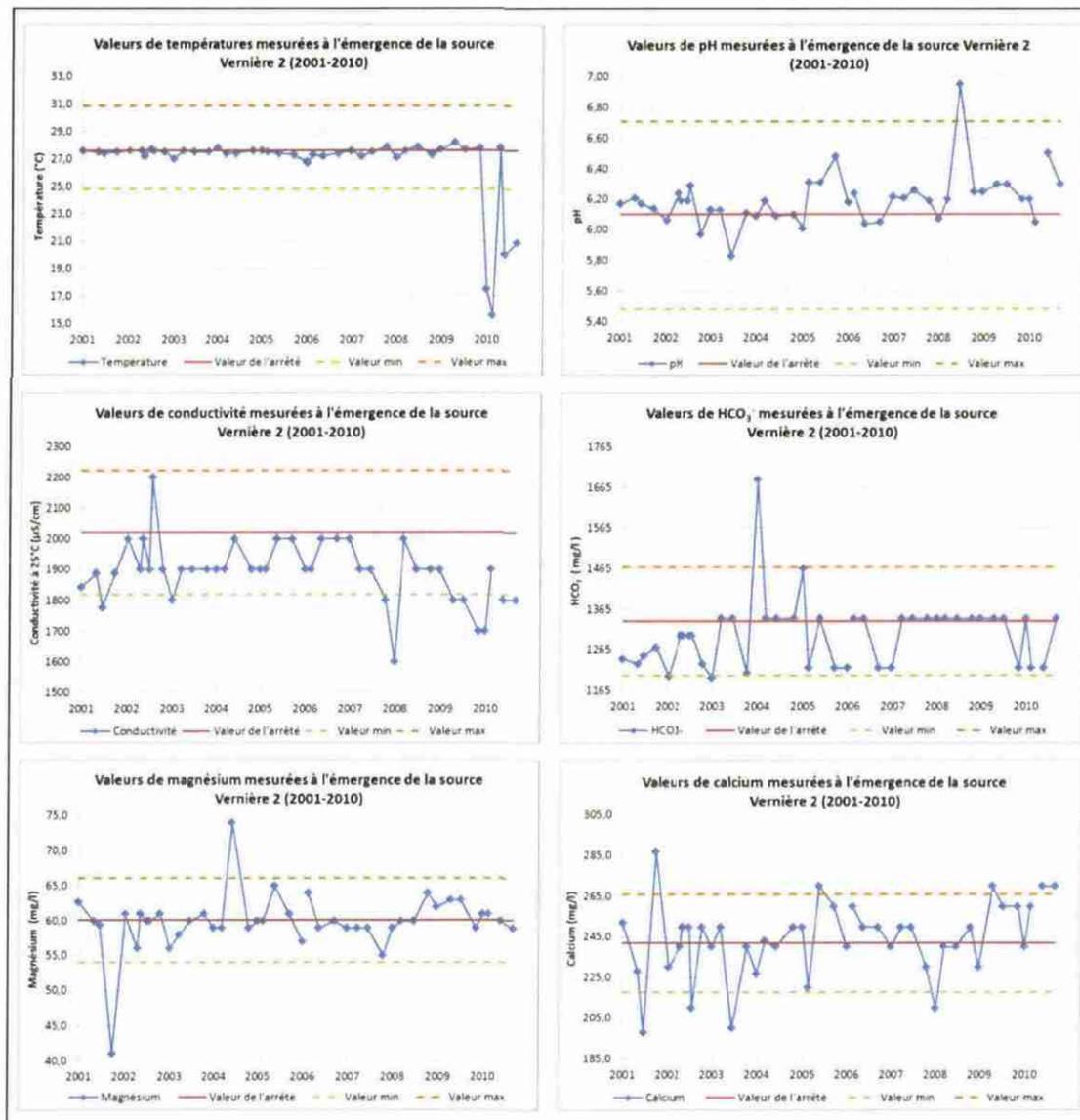


Illustration 31 : Valeurs du contrôle réglementaire pour le forage « Vernière 2 » (ARS)

Il convient de noter que les différents paramètres sont stables sur les 10 dernières années pour le forage « Vernière 2 » et ne sortent quasiment jamais en dehors des limites imposées par l'arrêté d'autorisation d'exploiter (+/- 10 %). Les valeurs de conductivité sont inférieures à la valeur définie dans l'arrêté mais restent, de manière générale, comprises entre les bornes +/- 10%. On note des valeurs anormales en 2010 pour la température, ce qui est certainement dû à un dysfonctionnement du matériel de mesure.

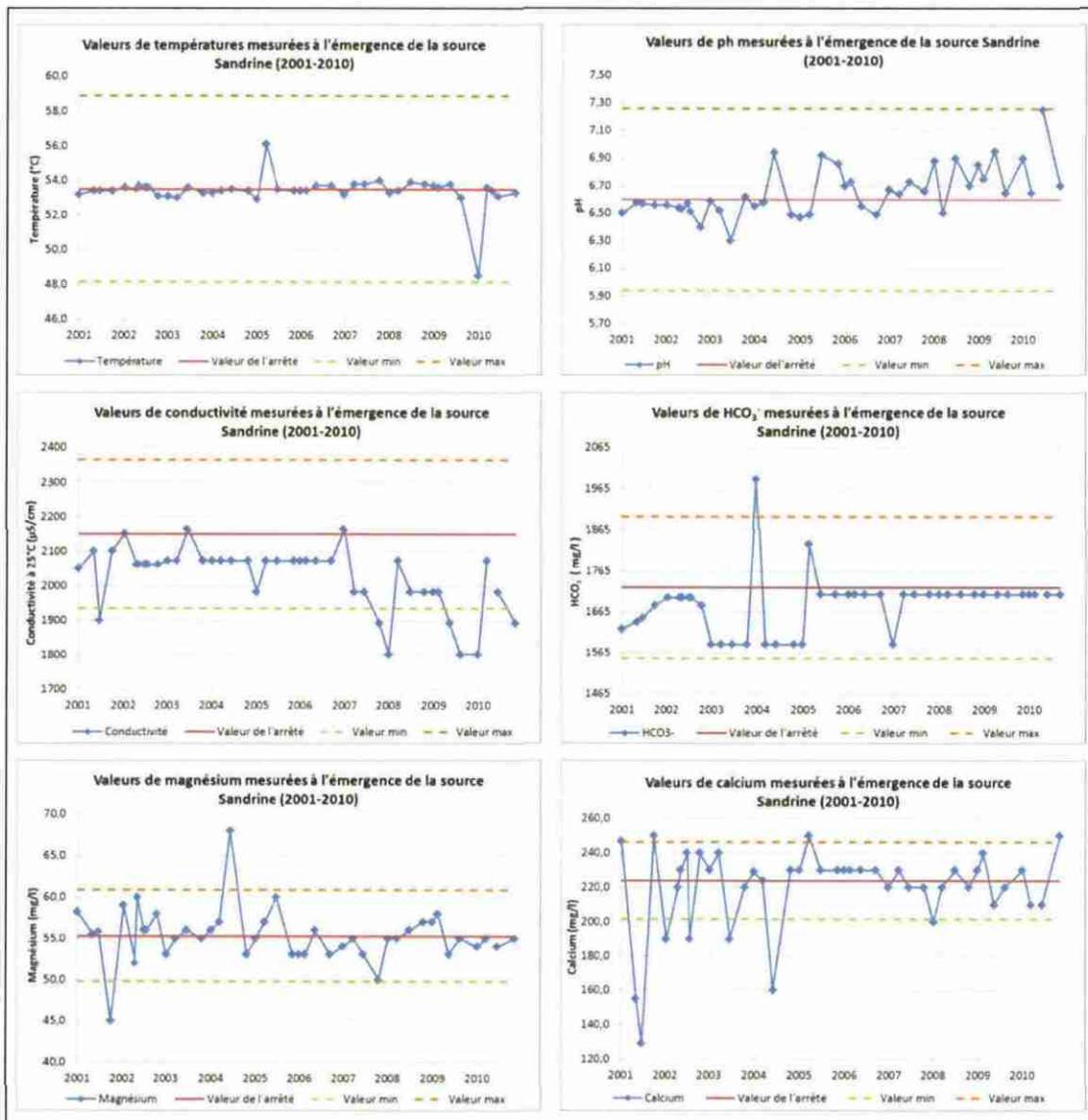


Illustration 32 : Valeurs du contrôle réglementaire pour le forage « Sandrine » (ARS)

Pour le forage « Sandrine », le constat est identique : les paramètres restent également relativement stables, même s'il existe quelques valeurs en dehors des limites imposées par l'arrêté (pour le calcium par exemple qui présente des valeurs trop faibles entre 2001 et 2005). Comme pour le forage « Vernière 2 », la conductivité est plutôt en dessous de la valeur de référence.

3.3. LA MISE EN PRODUCTION – LES EQUIPEMENTS

3.3.1. Les captages existants

Caractéristiques techniques des ouvrages

Le forage « Sandrine » (Cf. illustration 33) correspond au forage « Usclade 3 » réalisé en 1984 à partir d'un puits d'accès recoupant une ancienne galerie de mine à une profondeur d'environ 30 m. L'ouvrage est artésien et a une profondeur de 120 m par rapport au plancher de la galerie.



Illustration 33 : Tête de forage de l'ouvrage « Sandrine »

La colonne de production, par rapport au plancher de la galerie est la suivante :

- de 0 à 16,4 m : tubage en acier de 294 mm de diamètre,
- de 0 à 18,4 m : tubage en acier inoxydable de 244,5 mm de diamètre, manchonné fileté,
- de 18,4 à 61 m : tubage crépiné en acier inoxydable de 244,5 mm de diamètre, tulipé soudé,
- de 61 à 120 m : trou de production libre de 165 mm de diamètre.

La cimentation annulaire a été réalisée entre 0 et 17 m par rapport au plancher de la galerie, entre le terrain et le tubage en acier. La coupe technique du forage « Sandrine » est présentée en Annexe 4.

D'un point de vue géologique, les terrains traversés correspondent à des formations du socle primaire, plus précisément des schistes à intercalations filoniennes minéralisées. Le mode de foration employé (destructif à l'air comprimé) et les fortes venues d'eau n'ont pas permis d'obtenir une coupe géologique très précise des terrains.

Le forage « Vernière 2 » (Cf. Illustration 34) correspond au forage « LB1 » réalisé en 1987 et réhabilité en 1993. Il est abrité dans une construction en maçonnerie, entourée d'une clôture grillagée de 120m² de superficie, avec un portail d'accès. L'ouvrage a une profondeur de 249 m.



Illustration 34 : Tête de forage de l'ouvrage « Vernière 2 »

La colonne de production est la suivante :

- de 0,70 à 202 m : tubage en acier inoxydable de 177,8 mm de diamètre,
- de 202 à 249 m : trou de production libre de 155 mm de diamètre.

Les cimentations annulaires ont été réalisées de 0 à 15,5 m entre le terrain et le tube en acier, de 0 à 15,5 m entre le tube en acier et le tube en inox et de 15,5 à 111 m entre le terrain et le tube en acier inoxydable.

D'un point de vue géologique, la coupe lithologique est la suivante :

- de 0 à 9 m : colluvions
- de 9 à 26 m : grès à ciment calcaire
- de 26 à 51 m : marne « lie de vin » et grès
- de 51 à 61 m : argile noire et verte
- de 61 à 84 m : alternance d'argiles noires à « lie de vin »
- de 84 à 101 m : argilite « lie de vin »
- de 101 à 205 m : schiste gris foncé veiné de quartz pyriteux
- de 205 à 230 m : schiste veiné de quartz
- de 230 à 249 m : quartz pyriteux (50%) et schistes noirs

Les terrains traversés correspondent aux 3 formations suivantes :

- de 0 à 9 m → Quaternaire
- de 9 à 101 m → Trias
- de 101 à 249 m → Socle primaire

La coupe technique et géologique du forage « Vernière 2 » est présentée en Annexe 5.

Les capacités de production des ouvrages (essais hydrauliques)

Des essais de pompage de longue durée¹³ (relative) ont été réalisés sur les deux forages exploités (Teissier, 1993 et Teissier, 1994).

L'essai de pompage réalisé sur le forage « Vernière 2 – LB1 » s'est déroulé du 20 juillet au 23 août 1993. Le pompage a été effectué à débit constant de 30 m³/h avec maintien d'une pression supérieure à 6 bars en tête de puits, correspondant aux conditions futures d'exploitation. Durant l'essai, la conductivité s'est maintenue à 2000 µS/cm et la température à 28°C. Une surveillance des débits et niveaux a été réalisée sur l'ensemble des captages hydrothermominéraux et aucune influence imputable au pompage pratiqué sur le forage « Vernière 2 – LB1 » n'a été notée.

L'essai de pompage réalisé sur le forage « Sandrine – Usclade 3 » s'est déroulé du 7 janvier au 7 février 1994. Le pompage a été effectué à débit constant de 30 m³/h, avec maintien également d'une pression supérieure à 6 bars afin d'éviter le dégazage prématuré du gaz carbonique qui provoquerait un entartrage rapide des équipements.

Lors de cet essai, les objectifs poursuivis ont été atteints :

- validation de conditions de pompage à un débit qui permet de maintenir une pression supérieure à la pression de dégazage ;
- validation de la pérennité de production avec stabilisation du rabattement de la nappe à la périphérie immédiate de l'ouvrage pompé.

Cependant, une influence hydrodynamique notable avec une diminution des débits a été décelée sur deux sources : Claude et Petit Vichy. Le pompage d'essai a été réalisé en continu 24h/24, ce qui, traduit en volume, dépasse largement les besoins de l'époque de l'établissement thermal.

Il convient de noter également que quelques essais de pompage effectués sur le forage LB3 ont créé des interférences sur le forage « Sandrine » avec une baisse du niveau d'eau très sensible sur ce dernier.

¹³ La notion de longue durée a été récemment précisée par la circulaire du Ministère de la Santé Réf. DGS/EA4/2008/30 du 31 janvier 2008 relative à la sécurité sanitaire des eaux minérales naturelles. La demande d'autorisation d'exploiter nécessite un suivi d'une année complète pour juger de la stabilité des composantes physico-chimiques d'une eau minérale.

3.3.2. Les plateaux techniques de suivi d'exploitation

Un dispositif de suivi d'exploitation de la source « Sandrine » a été installé en 1995. Il comprend les appareils de mesure suivants :

- un débitmètre électromagnétique sur la conduite de transport ;
- un capteur de pression sur la canalisation de transport vers les thermes ;
- une sonde conductivité/température sur la canalisation de transport.

Ces dispositifs permettent ainsi de suivre la température, la conductivité et le débit instantané qui sont enregistrés par la centrale de mesure. La pression de canalisation est seulement disponible à l'affichage.

Ces appareils de mesure sont déportés dans une sorte de petit hall au début de la galerie afin d'en faciliter l'accès.

Le niveau d'eau n'est pas suivi sur ce forage mais le piézomètre Usclade, situé à quelques mètres et recoupant la même faille (interférences) est équipé depuis 2008 d'un capteur de niveau et est intégré au suivi du gisement.

La photo suivante (Cf. illustration 35) montre la situation du piézomètre « Usclade » par rapport au forage « Sandrine » en surface. Ils sont séparés par une vingtaine de mètres.

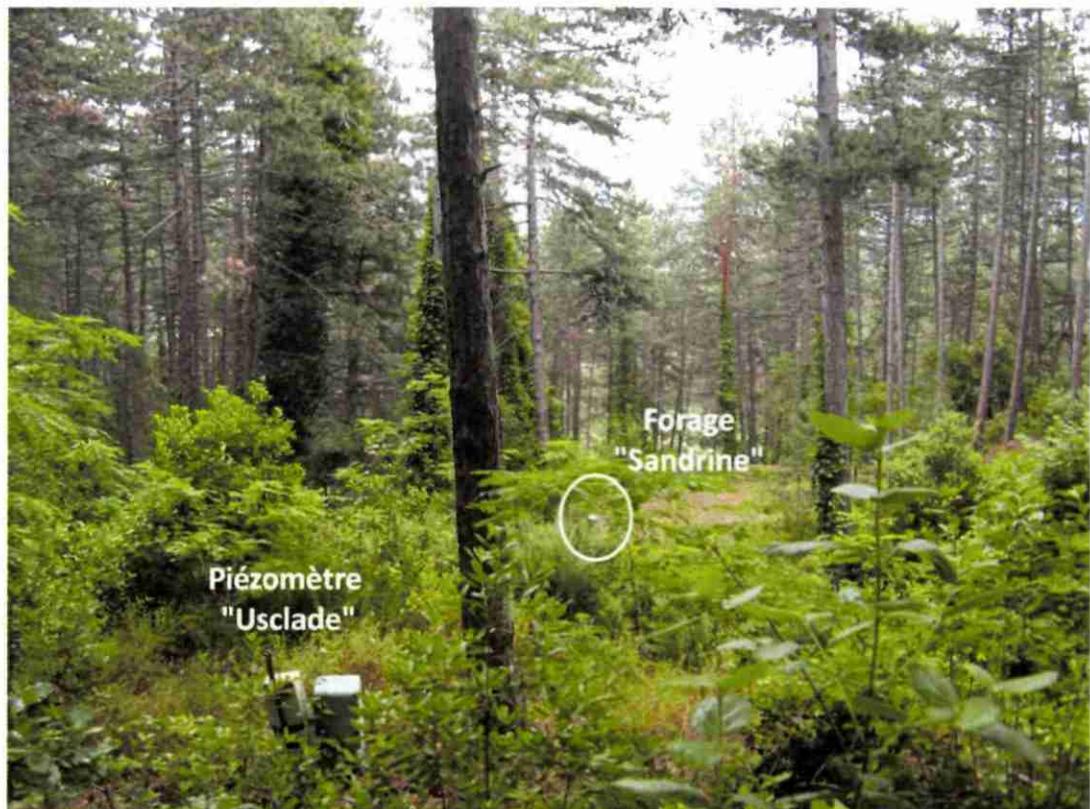


Illustration 35 : Situation du piézomètre « Usclade » par rapport au forage « Sandrine »

Un dispositif de suivi de la source « Vernière 2 » a également été installé en 1995. Il comprend les appareils de mesure suivants :

- un capteur de pression immergé ;
- un débitmètre électromagnétique sur la canalisation de tête de puits ;
- un capteur de pression sur la canalisation en tête de puits ;
- une sonde conductivité/température sur la canalisation de transport.

Les paramètres suivis en continu sur cet ouvrage sont ainsi la température, la conductivité, le débit instantané et le niveau dynamique qui sont enregistrés par la centrale de mesure. La pression de canalisation est seulement disponible à l'affichage.

3.3.3. Les conditions de transport et de stockage

L'eau du captage « Sandrine » (53°C) est tout d'abord amenée par une canalisation en inox jusqu'à un local situé à côté de l'entrée de la galerie dans lequel elle est refroidie à environ 40°C à l'aide d'échangeurs thermiques. Elle est ensuite refoulée vers un bassin intermédiaire couvert, de 800 m² (2 x 400 m³). A la sortie de ce bassin, l'eau est reprise gravitairement par une canalisation en PVC alimentaire jusqu'à l'établissement thermal. Le transport de l'eau de ce captage se fait sur une distance de 175 m.

L'eau du captage « Vernière 2 » est pompée de la source vers le bassin de stockage intermédiaire par une canalisation en inox. A la sortie du bassin, l'eau est reprise gravitairement par une canalisation en PVC alimentaire qui suit le même parcours que celle provenant du forage « Sandrine ». La distance totale du transport est de 911 m dont 835 m entre le forage et le bassin.

Les eaux étant incrustantes, la pression est maintenue au-delà du point de bulle afin d'éviter les dépôts dans les forages et dans les canalisations. Elle est maintenue à 8 bars jusqu'au réservoir pour le forage « Sandrine », et à 4 bars pour le forage « Vernière 2 ». Au niveau du réservoir, la pression est égale à la pression atmosphérique et le dégazage est effectué au-dessus de celui-ci à l'aide de filtres bactériens à événements. Puis la pression est élevée à 4 bars jusqu'à l'établissement thermal.

3.3.4. La relation ressources / besoins

Les besoins en eau thermale en rhumatologie sont d'environ 1 m³/jour/curiste. Sachant que la capacité maximale d'accueil est d'environ 800 curistes par jour, la quantité d'eau thermale nécessaire aux soins pour une journée est de 800 m³.

Les débits d'exploitation maximaux précisés dans l'arrêté sont :

- 26 m³/h pour le forage « Sandrine » ;
- 30 m³/h pour le forage « Vernière 2 ».

La capacité du bassin de stockage étant de 800 m³, un bassin plein couvre le besoin journalier maximum de l'établissement.

Les pompages peuvent fonctionner durant 24h aux débits maximums autorisés.
On obtient : $24 \times 30 + 24 \times 26 = 1344 \text{ m}^3$.

La ressource disponible pour une journée est donc d'environ 1344 m^3 , ce qui couvre largement les besoins de 800 m^3 .

Les forages « Vernière 2 » et « Sandrine » constituent les deux seuls ouvrages exploitables pour assurer l'alimentation en eau minérale de l'établissement thermal. Aucun ouvrage de secours n'est disponible sur le site.

La réalisation d'un ouvrage de secours constitue une piste de progrès au titre de la démarche qualité pour la ressource thermale de Lamalou-les-Bains

Il convient de noter que la réalisation d'un ouvrage de secours nécessite au préalable d'acquérir une meilleure connaissance hydrogéologique du site afin d'identifier des hypothèses d'implantation de forage consolidées

3.4. LE SUIVI D'EXPLOITATION – LA MAINTENANCE

3.4.1. Le suivi d'exploitation

La ressource en eau thermo-minérale de Lamalou-les-Bains fait l'objet d'un suivi en continu des paramètres de production sur les sources « Sandrine » et « Vernière 2 ».

Le suivi effectué au cours de chaque année fait l'objet d'un rapport annuel réalisé par ANTEA pour la mairie de Lamalou-les-Bains. Les données de suivi nécessaires sont fournies par la Chaîne Thermale du Soleil (CTS).

Les graphiques ci-après, effectués à l'aide des données du suivi, permettent de visualiser l'évolution de la température et de la conductivité en fonction du débit de pompage sur chacun des forages exploités, pour une durée de 15 jours (Cf illustration 36).

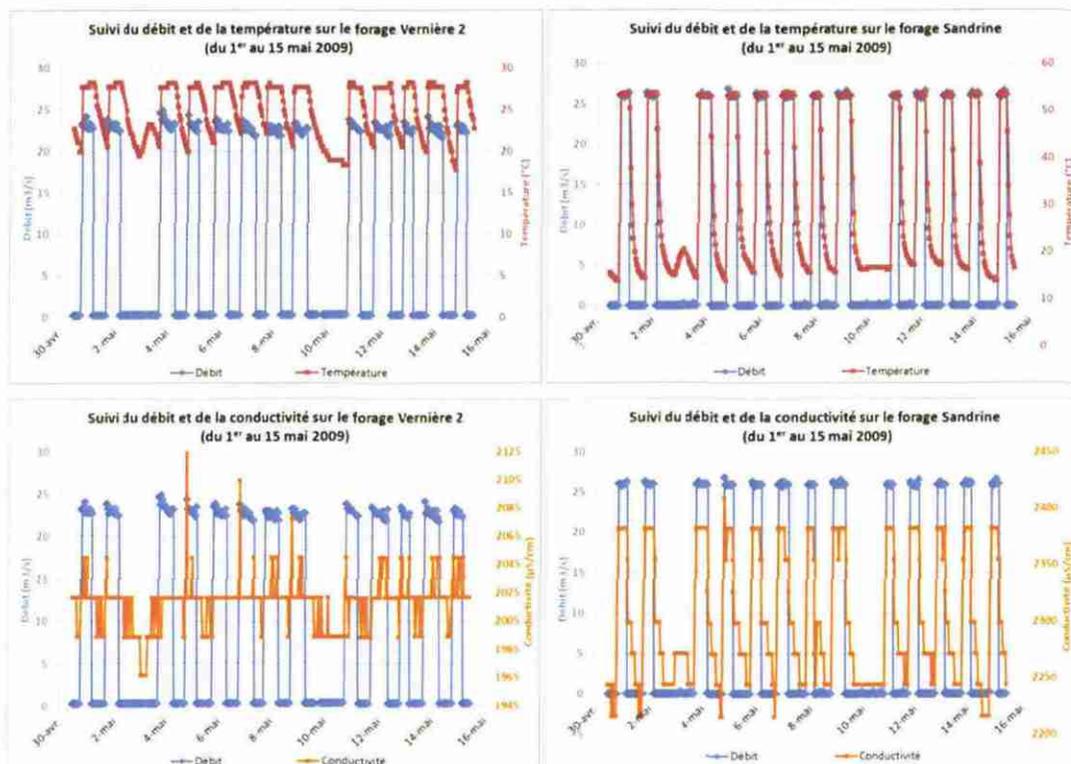


Illustration 36 : Variation de la température et de la conductivité en fonction du débit

A chaque arrêt de pompage, la température chute et s'équilibre avec le milieu extérieur, elle ne correspond pas à la température de l'eau thermique du gisement. Il en est de même pour la conductivité lorsque le pompage est arrêté, qui correspond à celle de l'eau stagnante dans la canalisation de tête de puits. Ces données n'étant pas représentatives du gisement de Lamalou-les-Bains, elles n'ont pas été prises en compte (sauf rares points isolés) pour tracer les graphes d'évolution sur la période 2005 à 2010 présentés par les illustrations 37 à 40 ci-après. Ces illustrations présentent le suivi de la température (Cf. Réf 37 et 38) et de la conductivité (Cf. Réf 39 et 40) pour les deux forages autorisés avec en outre :

- La valeur de référence de l'arrêté d'autorisation d'exploiter ;
- Les écarts par rapport à la valeur de référence +/- 10% ;
- Les valeurs du contrôle réglementaire effectué par l'ARS.

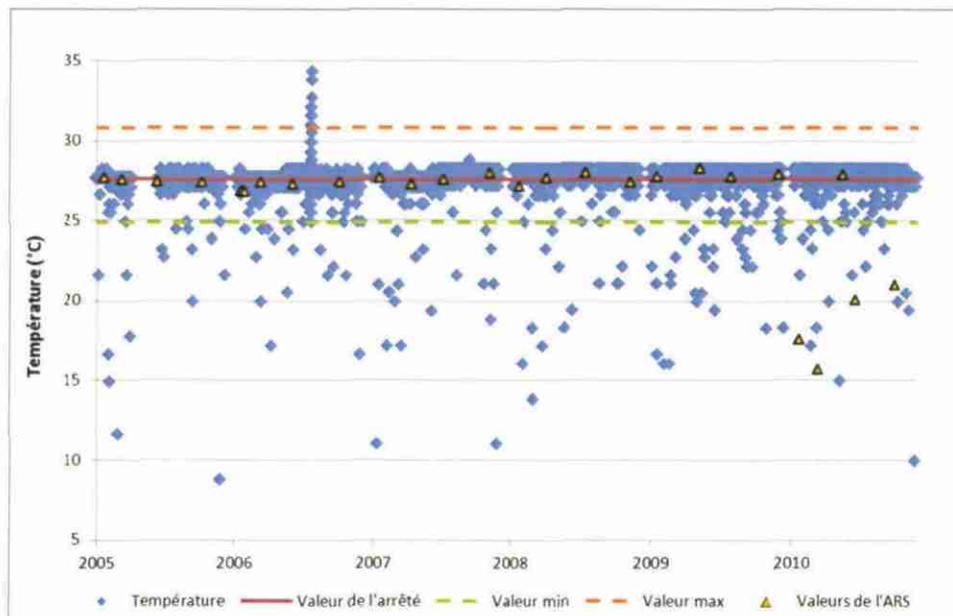


Illustration 37 : Suivi de la température en pompage sur le forage Vernière 2

La température reste constante pour les deux ouvrages autorisés, elle est très proche de la valeur de référence. Les valeurs de l'ARS correspondent bien avec celles du suivi, excepté en 2010 pour le forage Vernière 2 où elles sont très basses.

On peut s'interroger sur la représentativité de ces valeurs (erreurs analytiques ?) et il convient de valider ces écarts par de futures données pour statuer.

Pour ce qui est de l'anomalie de montée en température en 2006 pour le forage Vernière 2, il est très probable qu'elle est due à un dysfonctionnement ponctuel de la sonde.

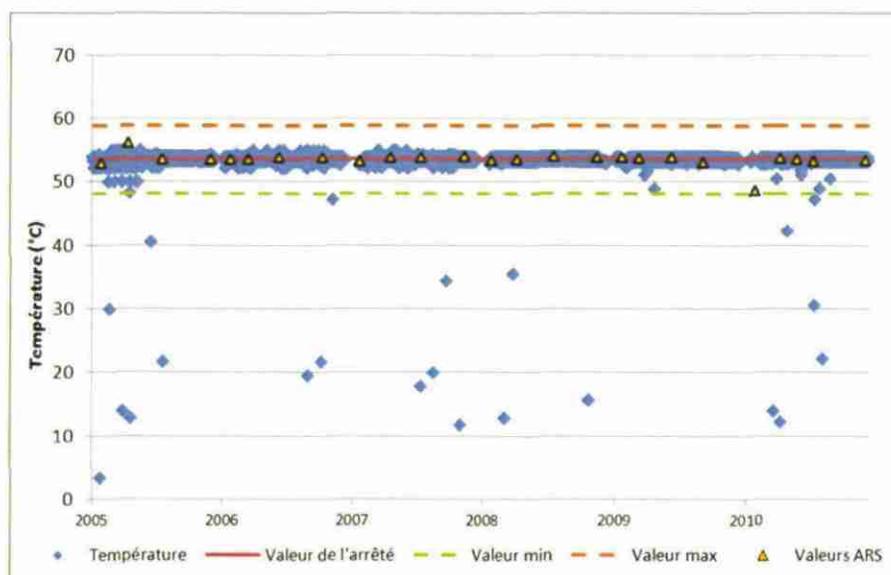


Illustration 38 : Suivi de la température lors des pompages sur le forage Sandrine

Les faibles valeurs de température affichées par les graphes des illustrations 37 et 38 correspondent à des arrêts ou des changements de débits de pompage pour lesquels la température tend à s'équilibrer avec la température ambiante (d'où des valeurs pouvant aller jusqu'à 5°C), elles ne sont pas représentatives de la température du gisement.

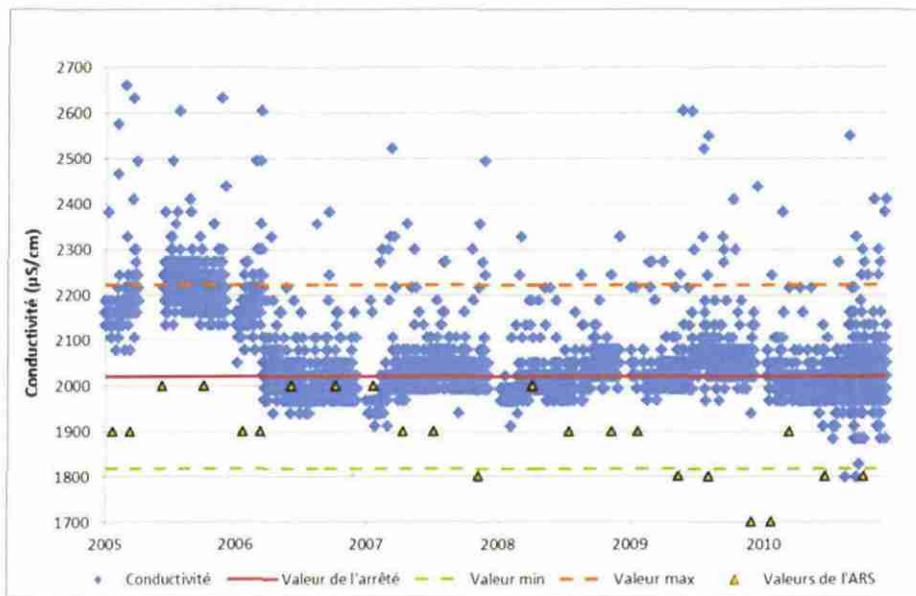


Illustration 39 : Suivi de la conductivité en pompage sur le forage Vernière 2

Pour le forage Vernière 2, on remarque (Cf. illustration 39) une conductivité assez élevée par rapport à la valeur de référence de 2005 à début 2006 avec un dépassement de la limite autorisée de 10%.

Les visites de contrôle effectuées par ANTEA pendant cette période ont mis en évidence des écarts entre les valeurs enregistrées et les valeurs manuelles (et également les valeurs de l'ARS). Ces observations ont conduit à un recalibrage de la sonde de conductivité en mars 2006. Par la suite, les valeurs de conductivité s'avèrent constantes et proches de la valeur de référence de l'arrêt d'autorisation d'exploiter.

Les valeurs élevées de conductivité ne sont pas représentatives du gisement, elles correspondent à l'augmentation de la conductivité à chaque démarrage de pompage, sous l'effet des variations de température et du dégazage de l'eau.



Illustration 40 : Suivi de la conductivité en pompage sur le forage Sandrine

Pour le forage Sandrine, au cours de l'année 2005, les valeurs de conductivité sont différentes en début et en fin d'année (Cf. illustration 40), ce qui s'explique par un changement de sonde. Des écarts sont également observés pour 2005 et 2006 entre les mesures manuelles de contrôles (ANTEA) et les valeurs enregistrées, ce qui s'explique par un colmatage des robinets de prélèvements qui ont par la suite subis des travaux de décolmatage en septembre 2006.

Pour les deux forages, les valeurs mesurées par l'ARS ne sont pas corrélées précisément avec celles de la sonde automatique. Cependant, ces dernières et les mesures manuelles de contrôle effectuées par ANTEA sont similaires.

Le graphique suivant (Cf. illustration 41) présente les variations du niveau d'eau dans le forage Vernière 2 sur une période de 15 jours. Le rabattement lié au pompage est de l'ordre de 10 à 15 m environ.

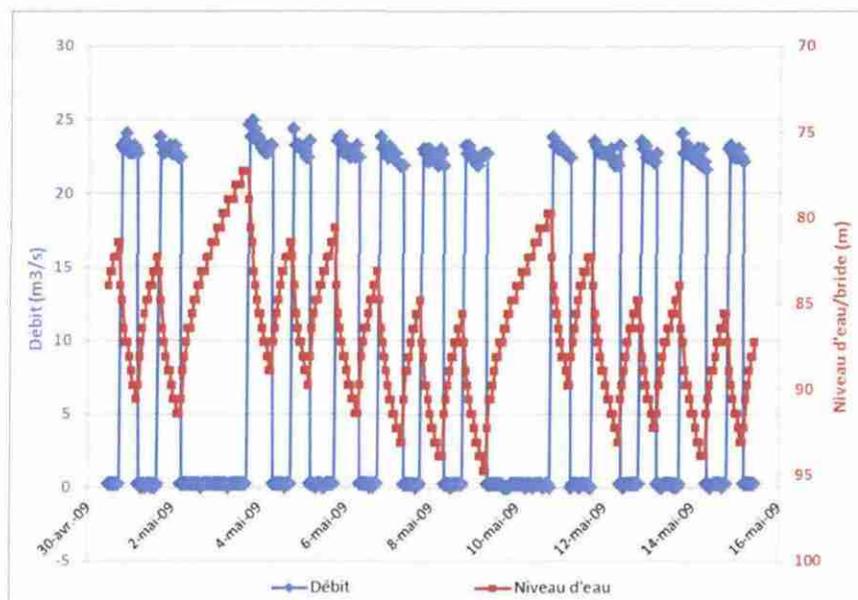


Illustration 41 : Evolution du niveau d'eau en fonction du débit dans le forage Vernière 2

Le graphique suivant (Cf. illustration 42) représente l'évolution du niveau dynamique dans le forage Vernière 2 de 2006 à 2010 ainsi que la pluviométrie annuelle à la station Les Aires.

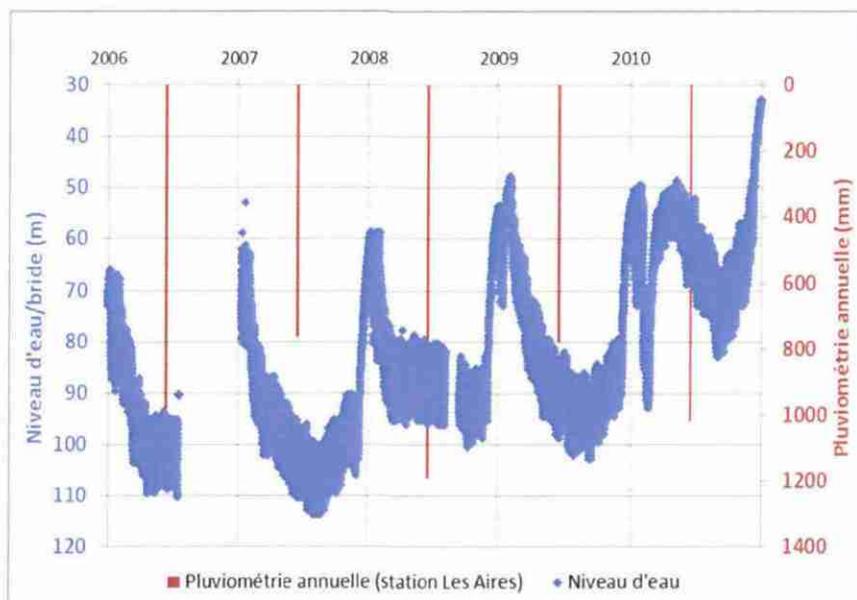


Illustration 42 : Evolution du niveau d'eau dans le forage Vernière 2 de 2006 à 2010 et pluviométrie annuelle

Globalement, en dehors de l'influence des variations journalières de pompage, le niveau dynamique est relativement stable au cours d'une année. Les périodes où le forage n'est pas exploité (généralement décembre-janvier) sont bien visibles, avec le niveau d'eau le plus haut. A partir du printemps le niveau dynamique baisse lors de la reprise de l'exploitation et atteint sa valeur la plus basse vers la fin de l'été (vers septembre).

Dans le détail, on observe que les débits ont tendance à être un peu plus faibles en fin d'année, ce qui entraîne une hausse progressive du niveau.

Pour ce qui est du comportement inter-annuel, on distingue une augmentation du niveau au cours des 5 dernières années. Pour tenter d'interpréter cette augmentation, la pluviométrie annuelle a été ajoutée sur le graphique afin de voir s'il existe une relation entre la pluie et le niveau d'eau. Aucune corrélation n'est a priori possible.

En réalité, cette hausse est due au fait que les pompages sur ce forage sont moins importants depuis l'installation du système de refroidissement par échangeurs thermiques¹⁴. En effet, avant l'installation de ces échangeurs, il était nécessaire de pomper une quantité importante d'eau froide (28°C) du forage « Vernière 2 » pour refroidir celle du forage « Sandrine », ce qui entraînait des niveaux dynamiques assez bas. Le nouveau système de refroidissement a permis de limiter les pompages sur ce forage.

3.4.2. Dispositif de maintenance

La maintenance est effectuée par la Chaîne Thermale du Soleil. Le nettoyage du réservoir est effectué tous les ans lors de l'intersaison. Aucune information supplémentaire ne nous a été fournie.

3.5. LE CADRE REGLEMENTAIRE

3.5.1. Les autorisations existantes

Les sources exploitées par la CTS sont autorisées par l'arrêté du 17 mai 1999, accordant à la commune de Lamalou-les-Bains l'autorisation de livrer et d'administrer au public, en tant qu'eau minérale naturelle, à l'émergence et après transport à distance, l'eau des captages « Sandrine » et « Vernière 2 » situés sur son territoire (Cf. Annexe 5). Les caractéristiques physico-chimiques de cette eau ne doivent pas s'écarter de plus de 10% des indications mentionnées dans l'arrêté. Les eaux des deux forages ne sont pas mélangées, elles sont acheminées séparément jusqu'à chaque poste de soins de l'établissement thermal.

Les débits d'exploitation maximum autorisés précisés dans cet arrêté sont :

- 26 m³/h pour le captage « Sandrine »,
- 30 m³/h pour le captage « Vernière 2 ».

¹⁴ Avant la mise en place des échangeurs thermiques, l'eau chaude qui arrivait aux postes de soins avait une température plus élevée et la proportion relative d'eau froide pour atteindre la température de soins était beaucoup plus importante qu'actuellement puisque l'eau chaude, refroidie par échangeurs, arrive aujourd'hui plus froide.

Les périmètres sanitaires d'urgence (PSE) correspondent à :

- la parcelle n°638 d'une superficie de 390 m² pour le captage « Sandrine »,
- une partie de la parcelle n°1892 d'une superficie de 120 m² entièrement clôturé pour le captage « Vernière 2 ».

Les deux captages exploités disposent de PSE mais ne disposent pas de périmètres de protection établis au titre d'une Déclaration d'Intérêt Public (DIP). Ils sont cependant situés dans le périmètre de protection (établi au titre d'une DIP) d'autres sources captées auparavant (Cf. illustration 43).

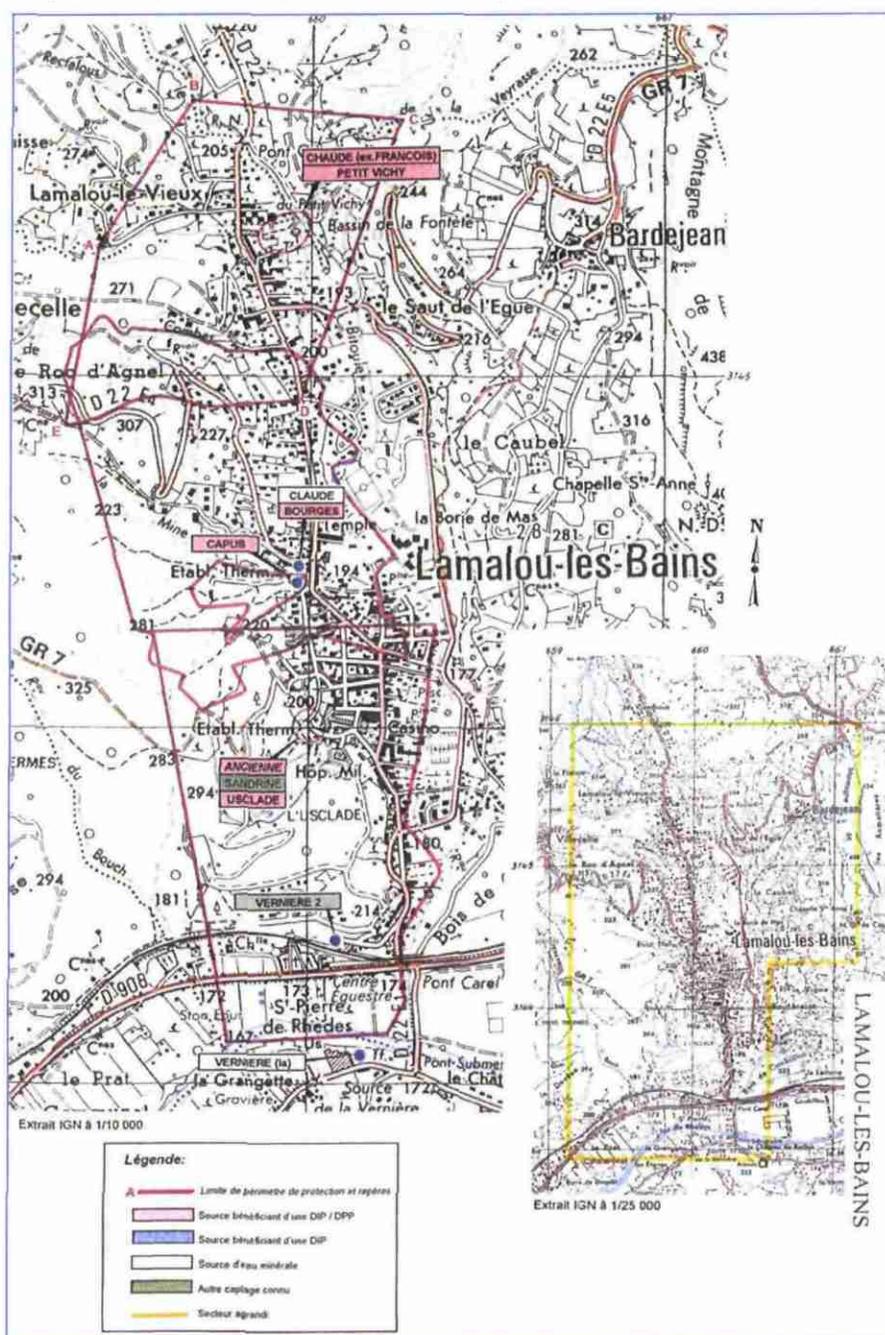


Illustration 43 : Périmètre de protection établi au titre de la DIP (Extrait Atlas)

Il existe quatre périmètres distincts qui sont partiellement emboîtés et qui correspondent aux sources suivantes : Ancienne, Bourgès, Capus et François. Celles-ci disposent d'une Déclaration d'Intérêt Public (DIP) et d'un décret instituant un Périmètre de Protection (DPP) (Cf. Illustration 44).

Sources	Taille	DIP	DPP
Ancienne	79 ha 29 a	01/08/1864	18/11/1868
Bourgès	62 ha	18/11/1868	18/11/1868
Capus	3 ha 11 a	18/11/1868	18/11/1868
François	59 ha 75 a	26/08/1865	12/06/1867

Illustration 44 : Caractéristiques des périmètres de protection établis au titre de la DIP des sources

La définition des périmètres de protection des sources de Lamalou-Les-Bains établis à la fin du 19^{ème} siècle n'est probablement pas basée sur des arguments hydrogéologiques consolidés et les conditions anthropiques locales ont changé depuis cette époque. L'existence de ces périmètres est un atout pour assurer la préservation de la qualité d'une eau minérale et la protection d'un gisement sensible. Dans ce contexte, l'actualisation des périmètres de protection existants (et le rattachement des nouveaux forages à la DIP) constitue une piste de progrès intéressante pour s'assurer d'une pérennité d'exploitation de l'eau minérale.

L'actualisation de la protection établie par la DIP existante constitue une piste de progrès au titre de la démarche qualité pour la ressource thermique de Lamalou-les-Bains

3.5.2. Les procédures en cours

A l'heure actuelle, il n'existe pas de procédure de demande d'exploitation en cours. Cependant, une demande d'autorisation est envisagée pour le forage LB3 qui peut fournir une eau thermique identique à celle de « Sandrine ». Le forage LB3 pourrait ainsi servir de ressource de secours en cas de problème technique. Ce forage constitue, à ce titre, un ouvrage très intéressant pour le site.

Le forage LB3 ne constitue cependant pas un ouvrage de secours au sens de la démarche qualité car il ne permet pas de disposer d'une ressource complémentaire indépendante des forages autorisés. Son exploitation interfère avec les ressources autorisées existantes.

La programmation d'une procédure d'autorisation d'exploitation du forage complémentaire LB3 constitue une piste de progrès au titre de la démarche qualité pour la ressource thermique de Lamalou-les-Bains

4. Conclusion

4.1. LA SITUATION ACTUELLE DE LA RESSOURCE THERMALE

L'état des lieux réalisé pour la station de Lamalou-les-Bains permet de préciser les points principaux suivants :

- concernant les **connaissances du gisement** et du système hydrothermal, l'interprétation des données isotopiques de l'eau (18O, 2H) conduit à rejeter l'hypothèse et le schéma conceptuel qui font intervenir une alimentation par le massif du Caroux-Espinouse. Les données disponibles tendent à confirmer l'hypothèse selon laquelle l'aire d'alimentation du système est située au niveau des calcaires cambriens affleurant dans la vallée de la Mare au nord de Villemagne-l'Argentière.

Les données suggèrent par ailleurs l'existence, pour les eaux chaudes de la composante profonde, d'un effet paléo-climatique, correspondant à une recharge par des pluies précipitées lors d'une période climatique plus froide que la période climatique actuelle.

Dans ce contexte, les eaux du pôle minéralisé qualifiées à l'aide de l'ouvrage Usclade 2 pourraient être très vieilles (plusieurs centaines voire milliers d'années). Les vitesses de remontée du fluide thermal sont inconnues et la température d'équilibration en profondeur demeure imprécise en raison des incertitudes liées à l'utilisation du géothermomètre à silice en cas de mélange avec les eaux froides du pôle superficiel.

- concernant la connaissance du **fluide thermal**, les données disponibles montrent qu'il s'agit d'eaux bicarbonatées mixtes (calciques et sodiques) avec des teneurs importantes en magnésium, et un enrichissement variable en sulfates lié au processus d'oxydation des sulfures.

La température de l'eau thermale varie en fonction des sources (17 à 53°C). Les données chimiques et isotopiques indiquent qu'une partie des eaux thermales de Lamalou-les-Bains se sont infiltrées assez récemment (une cinquantaine d'années au maximum pour la composante superficielle) et que le CO₂ est d'origine mantellique.

D'autre part, les différences de minéralisation et de température observées au sein du gisement peuvent être expliquées par le phénomène de mélange entre un pôle profond thermo-minéral et carbo-gazeux (qualifié à l'aide de l'ouvrage Sandrine-Usclade 3) et un pôle froid superficiel qualifié par des temps de résidence faible (<50 ans) ;

- concernant les **conditions d'exploitation** de la ressource, aucun changement dans les caractéristiques physico-chimiques et aucun problème de contamination n'ont été rencontrés sur les deux forages exploités. Les conditions d'exploitation peuvent ainsi être jugées sécuritaires et adaptées aux besoins du site ;

- concernant la **sécurité d'approvisionnement**, le site est alimenté par deux forages pour lesquels, d'après les pompages d'essai, aucune interférence n'a été décelée entre les deux.
Le site ne dispose pas de forage de secours mais il existe un forage pouvant fournir une eau de caractéristiques physico-chimiques similaires à celles de l'eau du forage « Sandrine ». Ce forage (LB3) étant cependant en interférence avec « Sandrine », il ne pourrait probablement pas être utilisé en cas de problème de qualité sur les eaux qui y seraient exploitées ;
- concernant le **suivi d'exploitation** de la ressource, les données du contrôle réglementaire ainsi que celles du suivi quotidien permettent d'attester de la stabilité des paramètres.
Le site est bien équipé et l'intérêt de disposer d'installations dotées de sondes permettant le suivi en continu des paramètres essentiels n'est plus à démontrer. Le suivi de la température de la conductivité et du débit, avec des mesures manuelles de contrôle et de calibrage des sondes est un point positif du site, il permet de contrôler la stabilité des paramètres et de juger du bon fonctionnement de l'exploitation ;
- concernant le **contexte environnemental** et la **protection du gisement**, compte tenu de la connaissance actuelle du gisement, l'impluvium serait principalement constitué de forêt et dépourvu d'activité. La zone d'émergence est située en bordure de la ville de Lamalou-les-Bains et n'est, à priori, pas soumise à une contrainte anthropique très marquée.
- concernant le **cadre réglementaire**, les autorisations d'exploiter sont acquises pour les deux forages qui alimentent l'établissement thermal. Le forage LB3 ne dispose pas, quant à lui, de l'autorisation d'exploiter et il serait pertinent de l'obtenir.
Ces forages sont situés dans le périmètre de protection dont disposent d'anciennes sources situées sur la commune et appartenant à la commune de Lamalou-les-Bains. Une actualisation de cette protection pourrait s'avérer pertinente pour l'avenir.

4.2. LES PISTES DE PROGRES A COURT ET MOYEN TERME

Plusieurs pistes de progrès ont été identifiées par l'état des lieux au regard de la démarche qualité pour la ressource prise pour référence.

Ces pistes, qui ont pour but de faire évoluer les situations vers le « plus » qualité pour la ressource, sont à hiérarchiser dans le temps (à court et moyen terme) selon leur importance relative.

Il est recommandé de s'engager à **court terme** sur les axes suivants :

- Amélioration de la **connaissance du gisement**, au sens géologique et hydrogéologique afin de préciser des hypothèses consolidées d'implantations d'ouvrages complémentaires ;

- Acquisition d'informations **géochimiques et isotopiques** complémentaires sur les eaux du secteur d'étude dans le but de :
 - Caractériser le pôle thermal (origine, température du réservoir, temps de résidence au sein du réservoir profond) ;
 - Caractériser la vitesse de remontée du fluide thermal ;
 - Qualifier et quantifier les mélanges avec les eaux froides du réservoir superficiel ;
 - Qualifier le temps de résidence moyen global des eaux et évaluer les vitesses de transfert de la composante superficielle (impluvium-gisement) ;
 - Améliorer le modèle conceptuel de structure et de fonctionnement de l'hydrosystème carbo-gazeux et thermo-minéral de Lamalou-les-Bains.

Il est recommandé de s'engager à **moyen terme** sur les axes suivants :

- Réalisation d'un **ouvrage de secours** indépendant des deux forages actuellement existants, sur la base du résultat des études menées à court terme ;
- Actualisation de la **protection réglementaire** de la ressource thermale du site (DIP et périmètre associé) pour garantir durablement la sécurité sanitaire d'approvisionnement du site. La démarche n'est certes pas aisée (décret en Conseil d'Etat) mais elle est très intéressante et unique pour disposer d'un outil réglementaire efficace vis-à-vis de risques liés à des projets sous-sol dans le secteur.

Annexe 1

Éléments de bibliographie

ANTEA (1994). Demande d'autorisation d'exploiter à l'émergence la source Stéphanie (forage LB1). Ville de Lamalou-les-Bains. Rapport ANTEA A 00214.

ANTEA (1994). Source Sandrine (forage Usclade 3) – Demande d'autorisation d'exploiter à l'émergence. Ville de Lamalou-les-Bains. Rapport ANTEA A 00234.

ANTEA, (2003). Forages LB2-LB3 – Diagnostic par inspections vidéo et diagraphies. Mairie de Lamalou-Les-Bains. Rapport A 28909/A. 16p.

ANTEA, (2009) - Gisement hydrothermal de Lamalou-les-Bains – Suivi des paramètres de production des sources « Vernière 2 » et « Sandrine ». Mairie de Lamalou-les-Bains. Rapports ANTEA annuels, années 2005 à 2010.

BAILLET L., LE STRAT P., (2009). Carte des ensembles litho-tectoniques de la région Languedoc-Roussillon et du golfe du Lion. Edition BRGM.

BLAVOUX B., Dazy J., Sarrot-Reynauld J. (1982). Information about the origin of thermomineral waters and gaz by means of environmental isotopes in Eastern Azerbaijan, IRAN, and Southeast France. *J of Hydrology*, 56, 23-38.

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

BUREAU D'ETUDES GEOLOGIQUES B. GUEGAN, (1987). Sondages LB1 et LB2 campagne 1987 – Synthèse géologique. Ville de Lamalou-les-Bains.

CARMES J., KOENIG J.C., LOPOUKHINE M., PAPCIAK E., POPOFF G., VIGOUROUX P., (1998). Inventaires des sources d'eau minérale naturelle en France. *Annales des Mines*. 40p.

CLARK I.D. et FRITZ P. (1997) - *Environmental isotopes in hydrogeology*, Lewis Publishers, 328p.

DEINES P. (1970). Mass spectrometer correction factors for the determination of small isotopic composition variations of carbon and oxygen. *Int. J. Mass Spectrom. Ion Phys.*, 4, 283-295.

DEINES P., LANGMUIR D., HARMON R. S. (1974). Stable carbone isotope ratios and the existence of a gaz phase in the evolution of carbonate ground waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38,1147-1164.

DURAND V., Diagnostic préalable à l'instrumentation des sources hydrothermales du gisement de Lamalou-les-Bains. Mairie de Lamalou-les-Bains. Rapport ANTEA A 11521/B. 18p.

GADALIA A., (1995). Chimie de la minéralisation. *La Houille Blanche*. N°2-3, p. 62-69.

GUIDE DU THERMALISME (2011). Le guide officiel des stations thermales françaises. 37^{ème} édition – Groupe Impact Médecine.

LADOUCHE.B., AQUILINA.L., DOERFLIGER.N. (2009) Chemical and isotopic investigation of rainwater in southern France (1996-2002): potential use as input signal for karst functioning investigation, *Journal of Hydrology*, Vol. 367, Issues 1-2, p.150-164

LOPOUKHINE M., VIGOUROUX P., (1998). Memento technique des eaux minérales. Rapport BRGM R40145.

MATTHEWS A., FOUILLAC C., HILL R., O'NIONS R.K. OXBURGH E.R. (1987). Mantle-derived volatiles in continental crust: the Massif Central of France. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 85, 117-128.

MICHARD G., FOUILLAC C., VUATAZ F.D., CRIAUD A. (1987). Etude chimique et modèle d'évolution des eaux du Cézallier. *Géologie de la France*, n°4, mémoire GPF, tome 2, p133-144.

MOOK W.G., BOMMERSON J.C., STAVERMAN W. H. (1974). Carbon isotope fractionation between dissolved bicarbonate and gaseous carbon dioxide. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 22, 169-176.

NEUZIL E., (1998). Rapport sur la demande d'autorisation d'exploiter, en tant qu'eau minérale naturelle, à l'émergence, après transport à distance et mélange, l'eau des captages Sandrine et Vernière 2 situés sur la commune de Lamalou-les-Bains (Hérault). *Bull. Acad. Natle Méd.*, 182, n°9, 1867-1885.

POMEROL C., RICOUR J., (1992). Terroirs et thermalisme de France. Edition BRGM.

POPOFF G., (1998). Rapport du laboratoire national des études hydrogéologiques et thermales (Ministère de l'Emploi et de la Solidarité). *Bull. Acad. Natle Méd.*, 182, n°9, 1867-1885.

POUCHAN P., (1995). L'émergence thermominérale. *La Houille Blanche*. N°2-3, p. 46-50.

POUL X., (1984). Station thermale de Lamalou-les-Bains (Hérault). Rapport BRGM 84-LRO-557-PR. 24p. (données hydrogéologiques)

RAYMAHASHAY B.C., (1996). *Geochemistry for hydrologists*. Editions Technip. 190p.

ROZES B., (1976). Centre Bourges Lamalou les Bains (Hérault) - Etude hydrogéologique en vue d'accroître les prélèvements d'eau souterraine - Proposition de travaux. Note Technique BRGM 76-LRO-180-PR. 13p. (Carte géol. simplifiée + données géol.)

TEISSIER J.L., (1990). Alimentation en eau thermale de l'établissement thermal – Ouvrages de captages et de transport de l'eau thermominérale – Etude technique et

financière comparative des solutions envisagées. Ville de Lamalou-les-Bains. Rapport BRGM 90 LRO 847 PR. 12p.

TEISSIER J.L., (1993). Forage hydrothermal « Lamalou-les-Bains » (LB1) – Pompage d'essai de longue durée après réhabilitation du captage. Ville de Lamalou-les-Bains. Rapport BRGM N 914 MON 4S/93. 8p.

TEISSIER J.L., (1993). Projet de réhabilitation du captage de la source thermominérale dite « Ancienne » – Etude géologique préalable, avant-projet sommaire des travaux de réhabilitation. Rapport BRGM 93-MON-1003PR.

TEISSIER J.L., (1994). Alimentation en eau thermale des Thermes de la Chaîne Thermale du Soleil – Projet d'utilisation du forage LB1 (source Stéphanie) en remplacement de la source thermale dite Ancienne – Argumentaire hydrogéologique. Ville de Lamalou-les-Bains. Rapport ANTEA A 00213 MON 94. (bloc diagramme hydrogéologique de Lamalou-Les-Bains + contexte hydrogéologique)

TEISSIER J.L., (1994). Forage hydrothermal «Usclade 3 » pompages d'essai de longue durée. Ville de Lamalou-les-Bains. Rapport ANTEA A 00215. 12p.

TEISSIER J.L., (2003). Station thermale de Lamalou-les-Bains – Recherche de ressources complémentaires en eau thermale – Localisation des sites hydrogéologiques. Rapport A.I.G.H.A. 10p.

TEISSIER J.L., (2005). Recherche d'eaux souterraines pour l'embouteillage en eau de source ou en eau minérale – Inventaire des sites potentiels de captages. Commune de Lamalou-les-Bains. Rapport A.I.G.H.A.

TEISSIER J.L., (2008). Gisement d'eau thermo-minérale – Etat actuel des captages (sources et forage) – Hydrodynamisme et genèse des eaux thermo-minérales. Commune de Lamalou-les-Bains. 20p.

VIGOUROUX P., (1999). Atlas des périmètres de protection des sources d'eau minérale. Rapport BRGM R40466.

VIGOUROUX P., (2005). Guide qualité pour la ressource en eau minérale et thermale. Edition BRGM. Collection scientifique et technique.

Annexe 2

Données météorologiques

Moyenne mensuelle des températures journalières pour la station Les Aires**Minimales (°C)**

Mois	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Moyenne
Janvier	3,7	1,3	1,3	3,3	1,9	1,9	3,3	3,3	0,6	0,6	2,1
Février	2,7	4,5	0,6	1,5	0,1	0,5	3,7	2,3	1,9	0,9	1,9
Mars	6,9	6,3	3,8	3,3	1,9	4,9	4,6	5,0	3,9	3,5	4,4
Avril	6,8	7,3	6,6	6,8	6,3	7,1	7,8	6,7	7,4	5,7	6,9
Mai	11,0	9,2	10,3	8,6	9,6	9,9	11,4	10,0	11,6	9,9	10,2
Juin	12,6	13,6	16,3	13,6	15,0	12,7	13,7	14,0	13,2	13,0	13,8
Juillet	15,2	15,1	16,6	15,5	16,0	17,9	15,1	13,9	15,5	17,0	15,8
Août	15,2	15,2	16,7	15,3	14,0	15,5	14,6	14,0	15,3	15,0	15,1
Septembre	11,7	11,9	12,1	12,7	12,0	14,2	11,7	9,7	10,6	11,0	11,8
Octobre	11,4	9,8	9,4	11,5	13,0	12,1	9,4	8,5	9,6	9,1	10,4
Novembre	4,8	6,7	5,8	4,3	4,2	7,3	4,3	6,0	7,2	5,5	5,6
Décembre	-0,8	5,0	4,0	3,0	-1,5	1,1	1,5	1,5	2,4	1,4	1,8

Maximales (°C)

Mois	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Moyenne
Janvier	10,6	11,7	9,4	10,8	10,4	9,5	13,3	13,0	10,0	7,8	10,7
Février	12,9	13,2	9,3	11,8	8,1	11,1	13,7	13,8	11,6	10,0	11,6
Mars	17,1	16,2	16,3	13,7	13,8	14,7	15,1	14,1	16,6	13,0	15,1
Avril	16,9	18,6	17,6	16,5	17,3	19,5	21,9	17,3	17,2	20,0	18,3
Mai	23,4	20,8	23,2	21,4	23,1	23,1	22,4	21,5	23,8	21,0	22,4
Juin	27,5	27,7	31,4	27,8	29,3	28,7	26,5	26,2	28,6	26,0	28,0
Juillet	29,3	28,5	32,0	29,2	29,8	34,3	28,2	29,2	30,1	31,0	30,2
Août	29,7	27,8	34,9	27,8	27,7	26,5	27,9	29,0	32,1	30,0	29,3
Septembre	22,6	23,4	24,9	24,4	24,8	25,2	24,6	24,4	27,0	25,0	24,6
Octobre	22,0	20,2	17,3	19,8	19,0	21,4	19,0	19,6	20,9	18,0	19,7
Novembre	12,4	15,8	15,4	14,0	13,7	17,0	13,2	13,3	15,4	14,0	14,4
Décembre	9,9	11,9	11,2	11,1	8,6	11,9	11,2	9,1	10,4	9,6	10,5

Moyennes (°C)

Mois	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Moyenne
Janvier	7,2	6,5	5,4	7,1	6,1	5,7	8,3	8,2	5,3	4,2	6,4
Février	7,8	8,8	4,9	6,7	4,1	5,8	8,7	8,0	6,8	5,4	6,7
Mars	12,0	11,2	10,0	8,5	7,8	9,8	9,9	9,5	10,2	8,3	9,7
Avril	11,9	13,0	12,1	11,7	11,8	13,3	14,8	12,0	12,3	13,0	12,6
Mai	17,2	15,0	16,8	15,0	16,3	16,5	16,9	15,8	17,7	15,0	16,2
Juin	20,1	20,7	23,8	20,7	21,9	20,7	20,1	20,1	20,9	19,0	20,8
Juillet	22,3	21,8	24,3	22,4	22,8	26,1	21,6	21,5	22,8	24,0	23,0
Août	22,4	21,5	25,8	21,6	20,9	21,0	21,2	21,5	23,7	23,0	22,3
Septembre	17,1	17,6	18,5	18,5	18,5	19,7	18,2	17,1	18,8	18,0	18,2
Octobre	16,7	15,0	13,4	15,7	15,9	16,8	14,2	14,0	15,3	14,0	15,1
Novembre	8,6	11,3	10,6	9,2	9,0	12,2	8,8	9,7	11,3	9,5	10,0
Décembre	4,5	8,4	7,6	7,0	3,6	6,5	6,3	5,3	6,4	5,5	6,1

Précipitations mensuelles à la station Les Aires (mm/mois)

Mois	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Moyenne
Janvier	177,9	56,1	26,8	57,6	8,8	340,2	20,6	228,4	98,6	147,0	116,2
Février	15,5	31,7	277,2	125,3	54,2	44,2	71,2	112,6	113,0	228,0	107,3
Mars	115,5	53,6	37,0	156,9	48,6	67,2	26,8	26,4	23,0	93,2	64,8
Avril	52,2	175,2	82,8	264,7	70,0	18,8	121,6	113,4	196,0	6,8	110,2
Mai	22,9	70,9	52,1	37,8	40,2	19,0	77,6	199,8	27,4	106,0	65,4
Juin	51,4	62,8	4,4	18,6	66,6	10,4	24,8	70,0	13,2	54,6	37,7
Juillet	84,3	18,6	23,1	4,4	1,4	45,4	10,4	40,8	48,8	8,0	28,5
Août	2,8	60,8	35,6	114,8	31,0	49,6	21,6	26,2	28,0	15,2	38,6
Septembre	223,0	54,9	117,2	101,8	202,0	200,4	58,2	39,0	41,2	42,0	108,0
Octobre	85,5	209,1	190,6	113,2	507,7	209,4	202,0	41,4	147,2	148,0	185,4
Novembre	32,4	75,6	422,1	6,8	142,6	20,2	72,0	91,6	21,0	54,4	93,9
Décembre	4,6	213,8	255,2	96,6	7,0	45,2	58,0	203,2	21,2	114,0	101,9
Total	868,0	1083,1	1524,1	1098,5	1180,1	1070,0	764,8	1192,8	778,6	1017,2	

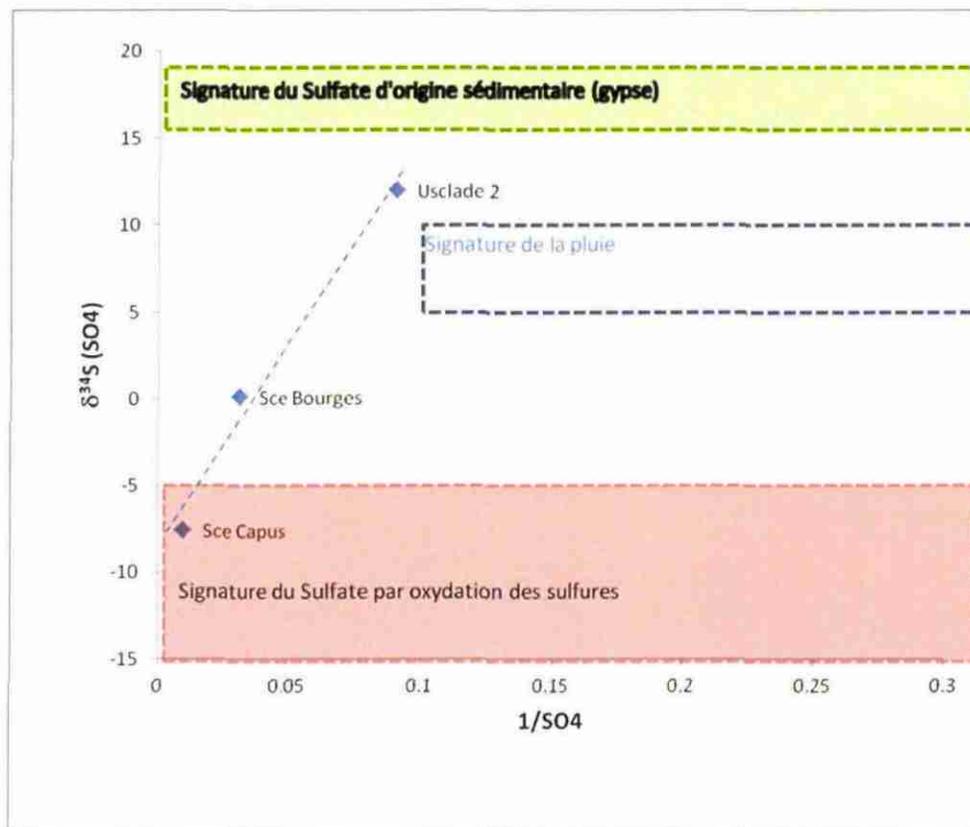
Précipitations mensuelles à la station de Saint-Gervais-de-Mare (mm/mois)

Mois	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Moyenne
Janvier	128,3	60,5	-	78,2	13,6	376,7	40,2	222,3	92,7	180,0	132,5
Février	13,8	41,8	297,0	143,8	65,9	30,0	96,6	83,9	141,4	195,0	110,9
Mars	114,6	46,0	18,8	245,7	49,8	101,8	33,1	40,3	27,7	102,0	78,0
Avril	84,0	183,7	87,5	288,2	95,4	26,1	120,8	125,5	184,3	9,5	120,5
Mai	41,0	104,3	27,0	37,4	33,0	25,2	73,7	251,4	39,2	102,0	73,4
Juin	31,0	100,3	3,2	21,5	13,2	23,0	18,7	47,6	14,8	66,2	34,0
Juillet	101,7	6,0	11,8	12,5	2,8	6,1	9,5	51,2	34,8	4,0	24,0
Août	2,1	49,9	17,9	110,1	37,1	43,9	11,5	23,5	20,0	49,0	36,5
Septembre	200,5	66,0	194,0	96,1	158,0	247,3	32,9	47,6	45,6	27,9	111,6
Octobre	80,6	198,2	174,7	82,1	457,7	166,8	169,0	63,6	210,5	206,0	180,9
Novembre	38,5	103,5	421,1	10,4	143,1	34,8	191,3	94,6	39,3	44,1	112,1
Décembre	2,2	229,7	253,7	102,5	16,6	47,2	80,2	163,5	31,1	107,0	103,4
Total	838,3	1189,9	1506,7	1228,5	1086,2	1128,9	877,5	1215,0	881,4	1092,7	

Annexe 3

Analyses physico-chimiques

			Sandrine	Vernière 2	Usclade 2	Bourgès	Capus	Francois
		Unité	09/02/1998	09/02/1998	15/09/1978	15/09/1978	15/09/1978	01/10/1956
Eléments majeurs	T	°C	53.5	27.6	50	24.7	19.6	27.4
	pH		6.6	6.1	6.4	5.98	5.5	6
	C(20°C)	µC/cm	2150	1820	2041			
	C(25°C)	µS/Cm	2387	2020				
	TAC(°F)	°F	141.4	109.5				
	SiO2	mg/l	60.5	23.9	60		28	36.8
	CO2 libre	mg/l	480	1670				1466
	Résidu sec 180°C	mg/l	1536	1302	1533	739	320	737.6
	Résidu sulfaté	mg/l	2004	1700				993.5
Eléments traces	HCO3-	mg/l	1724	1335	1573	799	216	754
	SO4++	mg/l	18.9	96.7	11	32	104	44.5
	Cl-	mg/l	16.3	14.6	18	15.5	16	16.8
	NO3-	mg/l	< 1	< 1	12.5	5.4	1.1	<0.1
	NO2	mg/l	0.03	0.02				<0.005
	F-	mg/l	0.8	0.5	0.8	0.34	0.26	0.7
	PO4--	mg/l	< 0,1	< 0,1	<0.1	<0.1	<0.1	0.28
	Ca ⁺⁺	mg/l	224	242	231	126	47.6	117.1
	Mg ⁺⁺	mg/l	55.3	60.1	55.2	33.5	14	32.9
	K ⁺	mg/l	92.6	53.4	97.5	40.7	17	38.7
	Na ⁺	mg/l	241	129	248	111	34.3	94.3
	Li ⁺	mg/l	1.6	0.9	0.81	0.32	0.11	0.32
	Fe ⁺⁺	mg/l	4.2	9.2	0.67	3.4	16.6	5.5
	Mn2 ⁺	mg/l	0.3	0.5	0.15	0.15	0.53	0.29
	Sr ⁺⁺	mg/l	1.3	1.2	1.44	0.48	0.21	0.4
NH4 ⁺	mg/l	0.3	0.2	0.6	0.4	0.3	0.21	
Gaz	Al	µg/l	7	< 3				
	As	µg/l	8	50				
	B	µg/l	460	360				
	Cd	µg/l	< 1	< 1	<1 ppb	<1 ppb	<1 ppb	
	Cr	µg/l	< 1	< 1	<1 ppb	<1 ppb	<1 ppb	
	Cu	µg/l	< 5	< 5	<1 ppb	<1 ppb	5 ppb	
	Pb	µg/l	< 10	< 10	<1 ppb	<1 ppb	190 ppb	
	Se	µg/l	< 10	< 10				
	Zn	µg/l	19	13	4 ppb	200 ppb	1260 ppb	
	Ag	ppb			<1	<1	<1	
	Co	ppb			<10	<10	16	
	Ni	ppb			<10	<10	76	
	Mo	ppb			<10	<10	<10	
	CO2	%			99.5	94.2		
	N2	%			0.8	4.33		
O2	%			0.16	0.54			
Ar	%			0.01	0.13			
CH4	ppm			29	67			
He	ppm			50	100			



Ressource en eau thermale de la station de Lamalou-les-Bains

Origine de la Donnée	Ref analyse	Nom ouvrage	Unité
			Date
	arrêté	Sandrine	09/02/1998
	arrêté	Vernière 2	09/02/1998
		Usclade (griffon)	14/10/1956
		Usclade 2	15/09/1978
82-LRO474-PR	IBBn82 5381	Usclade 2	01/07/1982
82-LRO474-PR	IBBn82 9643	Usclade 2	30/09/1982
B Guegan (1988) campagne de forage mars à juin 1988	IBBn61916	Usclade 3	14/04/1988
B Guegan (1988) campagne de forage mars à juin 1988	IBBn88 1686	Usclade 3	18/05/1988
Bureau d'étude Géologique B Guegan		Usclade 3	04/11/1988
Bureau d'étude Géologique B Guegan		Usclade 3	05/12/1988
		Sce Capus	15/09/1978
	Lab National de la Santé	Sce Capus	20/09/1983
	IBBn87 851	Sce Capus	04/02/1987
	82 LRO 01 NT	Sce Francois	01/10/1956
	Lab National de la Santé	Sce Francois	20/09/1983
	IBBn82 9645	Sce Francois	30/09/1982
	synthèse IBB	sce Bourges	20/05/1950
Trop plein du bassin d'embouteillage		sce Bourges	17/10/1956
		Sce Bourges	15/09/1978
81 LRO 421 PR	IBBn79 10345	sce Bourges	19/12/1979
	synthèse IBB	sce Bourges	28/01/1981
	synthèse IBB	sce Bourges	03/10/1983
	synthèse IBB	sce Bourges	25/04/1984
	IBBn84 12598	sce Bourges	19/12/1984
	IBBn87 8569	sce Bourges	26/10/1987
Rapport GUIGES SA		LB1 (ech de fond)	06/09/1988
92LRO978PR	IBB92 214945	LB1(gare)	03/08/1992
92LRO978PR	IBB92 216662	LB1(gare)	13/08/1992
B Guegan Bureau d'études Géologiques _annexe III	Bulletin n° 1535	LB1	20/05/1987
B Guegan Bureau d'études Géologiques _annexe III	IBBn87 51717	LB1 (profondeur 250, ancienne Gare)	06/08/1987
B Guegan (1988) campagne de forage mars à juin 1988	IBBn61917	LB2 Forage (sce Claudine)	14/04/1988
B Guegan (1988) campagne de forage mars à juin 1988	IBBn88 1688	LB2 Forage (sce Claudine)	18/05/1988
Rapport GUIGES SA		LB2 (ech de fond)	06/09/1988
Bureau d'étude Géologique B Guegan		LB2 Forage (sce Claudine)	04/11/1988
Bureau d'étude Géologique B Guegan		LB2 Forage (sce Claudine)	05/12/1988
B Guegan Bureau d'études Géologiques _annexe III	Bulletin n° 3754	LB2	14/10/1997
Rapport GUIGES SA		LB3 (ech de fond)	06/09/1988
Bureau d'étude Géologique B Guegan		LB3 Forage	04/11/1988
Bureau d'étude Géologique B Guegan		LB3 Forage	05/12/1988
82-LRO474-PR	IBBn82 5383	Sce Ancienne	01/07/1982
B Guegan (1988) campagne de forage mars à juin 1988	IBBn88 1687	Sce Ancienne	18/05/1988
B Guegan (1988) campagne de forage mars à juin 1988	IBBn61915	Sce Ancienne	14/04/1988
Robinet avant le réchauffeur		Forage du Thermal	15/10/1956
		09887X0080 (IBB)	15/06/1966
82-LRO474-PR	IBBn82 5380	Sce Jaillissante 2	01/07/1982
82-LRO474-PR	IBBn82 9644	nouveau Forage (90m)	30/09/1982

Nom ouvrage	Unité	mg/l											µg/l		ppb		%		ppm			
		Si ⁴⁺	U ⁶⁺	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Pb	Se	Zn	Ag	Co	Mn	Mo	CO2	N2	O2	Ar	CH4	He
Date																						
Sa ndrôme		1.2	1.4	7	8	450	<1	<1	<1	<10	<10	18										
Vernière 2		1.2	0.8	4.3	5.0	200	<1	<1	<1	<10	<10	12										
Ussade (griffon)		1	0.72																			
Ussade 2		1.44	0.81																			
Ussade 2		0.72	0.72																			
Ussade 2		1.6																				
Ussade 3		14.04	1.88																			
Ussade 3		18.05	1.88																			
Ussade 3		04.11	13.82																			
Ussade 3		05.10	14.82																			
See Capus		15.05	19.78																			
See Capus		20.09	19.80	<0.2	0.1	28.5	2	1.3	<0.4	2.1	3.1	1200	<0.8									
See Capus		04.02	19.87																			
See Frantoois		01.10	19.56	0.4	0.32																	
See Frantoois		20.05	19.80	<0.2	0.14	5.4	<1	0.7	<0.4	<2.2	1	750	<2.8									
See Frantoois		30.09	19.82																			
see Bourges		20.05	19.50																			
see Bourges		17.10	19.56																			
see Bourges		15.05	19.78	5.48	0.32																	
see Bourges		19.12	19.79																			
see Bourges		28.01	19.81																			
see Bourges		03.10	19.83	0.21																		
see Bourges		25.04	19.84	0.85	0.36																	
see Bourges		19.12	19.84																			
see Bourges		26.10	19.87																			
LB1 (ech de fond)		06.09	19.88																			
LB1 (ech de fond)		03.09	19.92	2.0	1.0																	
LB1 (ech de fond)		10.08	19.92	4.2	3.1																	
LB1		20.05	19.87																			
LB1 (prolondeur 250, ancienne Gare)		06.08	19.87																			
LB2 Forage (see Claudine)		14.04	19.88	8																		
LB2 Forage (see Claudine)		15.05	19.88	7																		
LB2 (ech de fond)		06.09	19.88																			
LB2 Forage (see Claudine)		04.11	19.88																			
LB2 Forage (see Claudine)		05.12	19.88																			
LB2		14.10	19.97																			
LB3 (ech de fond)		06.09	19.88																			
LB3 Forage		04.11	19.88																			
LB3 Forage		05.12	19.88																			
See Ancienne		01.07	19.82																			
See Ancienne		15.05	19.88																			
See Ancienne		14.04	19.88																			
Forage du Thermal		15.10	19.56	0.4	0.32																	
08187X0080 (RB)		15.05	19.66																			
See Jaitissante 2		01.07	19.82																			
nouveau Forage (30m)		30.09	19.82																			

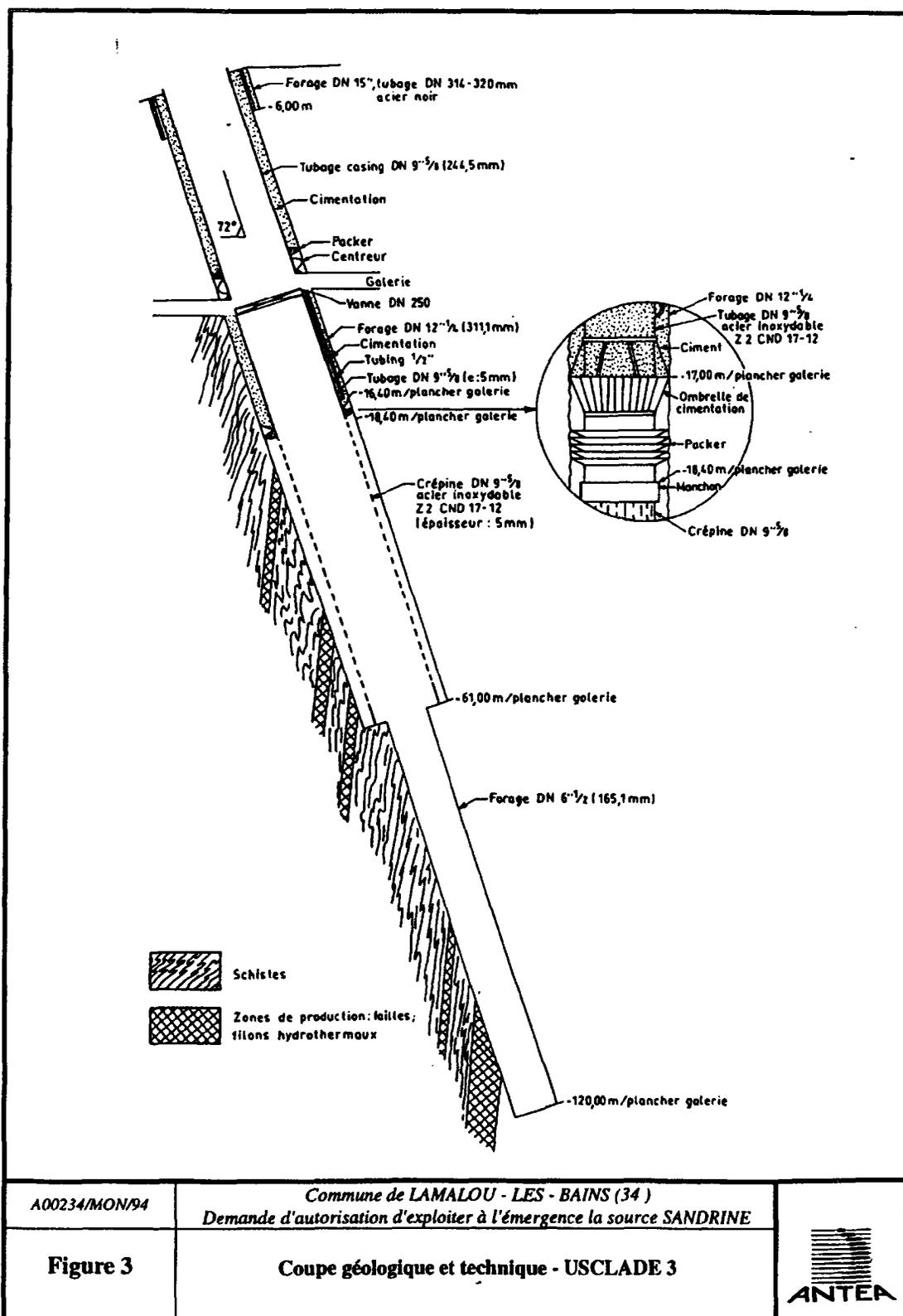
Ressource en eau thermale de la station de Lamalou-les-Bains

DATE_DEBUT_PRELEVEMENT	Unités	09887X0103/CHATEA	09887X0104/TENNIS (90 m)
03/04/2008 11:00			23/04/2009 10:00
Température de l'Eau	degré Celsius	13	18
Antimoine	µg/l	1	2,4
Arsenic	µg/l	1	18
Bore	µg/l	25	33
Cadmium	µg/l	0,5	0,5
Fer	µg/l	20	470
Manganèse	µg/l	5	35
Nickel	µg/l	5	5
Sélénium	µg/l	1	1
Conductivité à 20°C	µS/cm	430	717
Conductivité à 25°C	µS/cm	480	800
Ammonium	mg/l	0,05	0,05
Phosphore total	mg/l	0,1	0,1
Calcium	mg/l	45	120
Carbonates	mg/l	12	12
Carbone Organique	mg/l	0,5	0,5
Chlorures	mg/l	12	9
Chlore libre	mg/l		
Chlore total	mg/l	0,02	0,02
Anhydride carbonique libre	mg/l		44
Fluor	mg/l	0,2	0,2
Magnésium	mg/l	29	54
Nitrates	mg/l	6,2	1
Nitrites	mg/l	0,05	0,05
Couleur mesurée	mg/l		
Potassium	mg/l	1	2,3
Silice	mg/l	4,5	9
Sodium	mg/l	6,4	6,2
Sulfates	mg/l	19	280
Hydrogénocarbonates	mg/l	240	270
Oxygène dissous	mg/l	8,4	2,4
Taux de saturation en oxygène	pourcentage	83	26
Coloration apparente de l'eau	Sans objet		
pH d'équilibre	unité pH		7,2
Potentiel en Hydrogène (pH)		7,9	7

Nom ouvrage		°C		µC/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	Nom Abrégé	T	pH	C(20°C)	SiO2	HCO3-	SO4--	Cl-	NO3-	Ca++	Mg++	K+	Na+	Fe++	Mn2+	
24/10/1996 09:15	09887X0073/P2	7X0073_n1	13,5	7,47	442	10,4	256	52,2	10	1,7	59,4	22,2	1,9	6,5	0,02	0,005
25/03/1998 09:40	09887X0073/P2	7X0073_n2	13,1	7,42	409	8,7	236	47	6,1	1,4	60,7	21,1	1,27	5,4	0,02	0,005
25/09/2000 14:45	09887X0073/P2	7X0073_n3	19,9	7,61	425	10,3	242	46	7,3	1,1	58	23,7	1,93	6,1	0,024	0,005
29/07/2002 14:40	09887X0073/P2	7X0073_n4	15,6	0	394	10	230	34	7	1	52	21	1,8	6,7	0,049	0,005
03/05/2005 10:15	09887X0073/P2	7X0073_n5	13	7,6	421	7,4	220	62	9	1,4	60	25	1,2	6,8	0,02	0,005
11/05/2010 14:05	09887X0073/P2	7X0073_n6	14	7,35	385	7,7	230	32	8	1,2	53	22	1,4	6,8	0,029	0,005
20/03/1998 11:20	09887X0106/F.COUB	7X0106_n1	18,3	7,93	460	11,2	259	59	7,3	1,8	67,9	21,6	1,58	5,4	0,063	0,005
25/09/2000 14:30	09887X0106/F.COUB	7X0106_n2	17,3	8,48	466	10,5	255	55	8	1	64	24	1,87	6,6	0,068	0,005
15/07/2002 14:35	09887X0106/F.COUB	7X0106_n3	16	7,65	484	9,6	262	63	9	3,1	75	26	1,7	6,9	0,045	0,005
08/06/2004 14:00	09887X0106/F.COUB	7X0106_n4	16	6,6	480	9,6	260	77	12	5,8	79	27	1,6	7,3	0,02	0,005
28/04/2008 00:00	09887X0106/F.COUB	7X0106_n5	13	7,6	412	8	240	48	9	3,3	58	22	1,4	6,1	0,02	0,005
24/10/1996 09:00	09887X0080/AEP1	7X0080_n1	13,7	7,44	476	11,4	261	58	7,5	5	75,7	24,9	2,1	7	0,02	0,005
25/03/1998 09:15	09887X0080/AEP1	7X0080_n2	12,9	7,25	488	10,1	260	73	8,4	2,8	77,5	24,5	1,6	6,4	0,042	0,005
25/09/2000 14:00	09887X0080/AEP1	7X0080_n3	17,4	8,5	463	10,7	251	57	7,9	1	64	24	1,83	6,6	0,025	0,005
29/07/2002 15:00	09887X0080/AEP1	7X0080_n4	15,7	7,54	457	9,2	250	53	8	1,3	66	23	1,8	7,7	0,02	0,005
03/05/2005 09:35	09887X0080/AEP1	7X0080_n5	13	7,6	430	8,4	240	57	10	1,1	64	24	1,5	6,4	0,02	0,005
29/09/2009 13:40	09887X0080/AEP1	7X0080_n6	22	7,3	430	8,6	260	41	7	1	60	22	1,7	6,2	0,02	0,005

Annexe 4

Coupes géologiques et techniques des ouvrages exploités





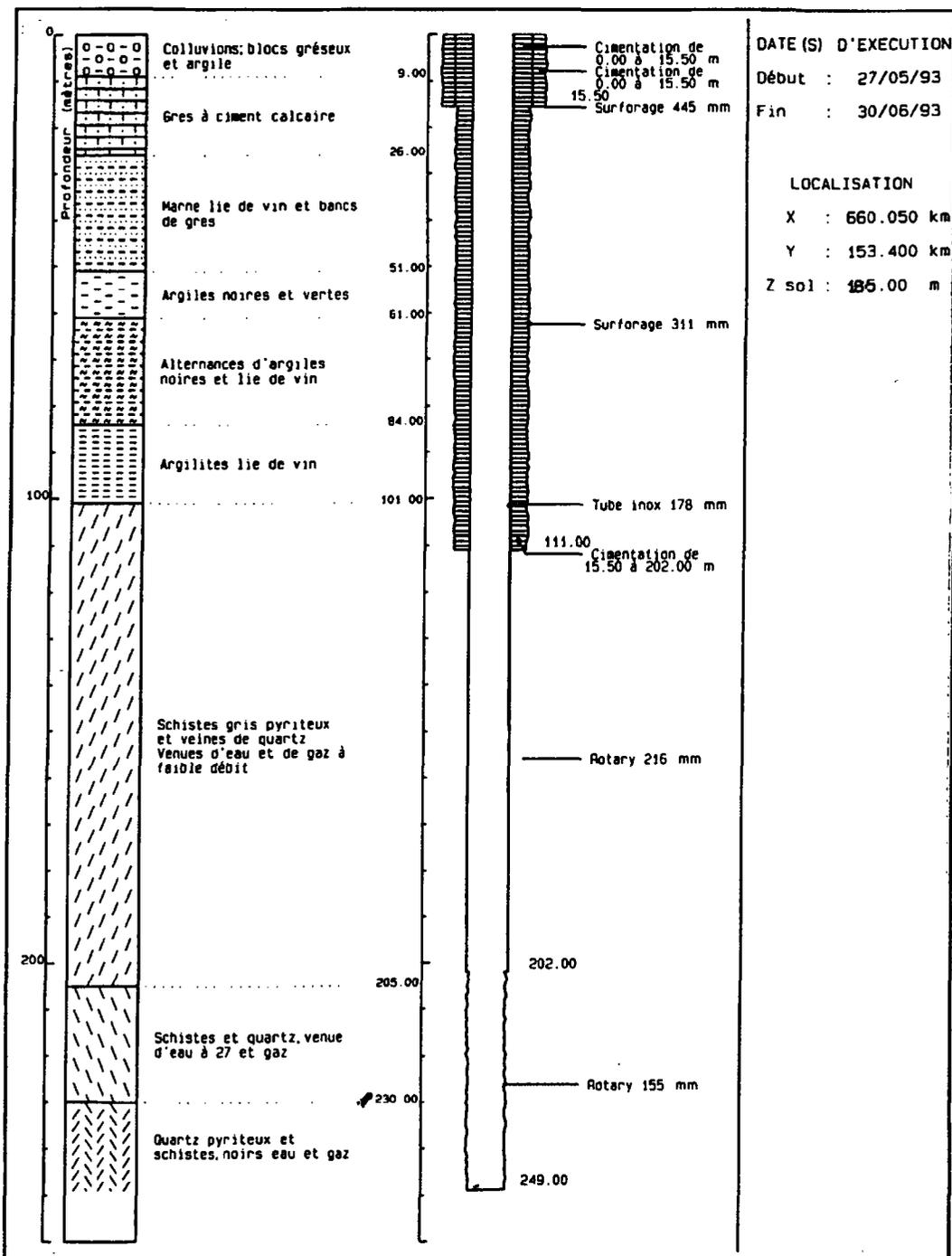
LAMALOU - LES - BAINS (34)
Forage STEPHANIE (LB1)

Pl. 3

Coupe géologique et technique

coupe géologique

coupe technique



Annexe 5

Arrêté d'autorisation d'exploiter

MINISTRE DE L'EMPLOI
ET DE LA SOLIDARITE
762

REPUBLIQUE FRANÇAISE

A R R Ê T É

accordant à la commune de Lamalou-les-Bains (Hérault) l'autorisation de livrer et d'administrer au public, en tant qu'eau minérale naturelle, à l'émergence et après transport à distance, l'eau des captages "Sandrine" et "Vernière 2" situés sur son territoire

LA MINISTRE DE L'EMPLOI ET DE LA SOLIDARITE,

- VU l'article 1^{er} de l'ordonnance royale du 18 juin 1823 portant règlement sur la police des eaux minérales,
- VU l'article L 751 du Code de la Santé Publique ;
- VU le décret du 28 janvier 1860 modifié portant règlement d'administration publique sur la surveillance des sources et des établissements d'eaux minérales naturelles ;
- VU le décret n° 57-404 du 28 mars 1957 modifié portant règlement d'administration publique sur la police et la surveillance des eaux minérales ;
- VU les demandes en date du 31 août 1994 et 26 novembre 1995 présentées par monsieur le maire de la commune de Lamalou-les-Bains, à l'effet d'obtenir l'autorisation de livrer et d'administrer au public, en tant qu'eau minérale naturelle, à l'émergence et après transport à distance, l'eau des captages "Sandrine" et "Vernière 2" situés à Lamalou-les-Bains (Hérault) ;
- VU les rapports et avis du Directeur Régional de l'Industrie de la Recherche et de l'Environnement de Languedoc-Roussillon, en date du 14 mars 1995 et du 11 juin 1996;
- VU l'avis du Directeur Départemental des Affaires Sanitaires et Sociales de l'Hérault, en date du 30 mars 1995 ;
- VU l'avis émis par le Conseil Départemental d'Hygiène de L'Hérault, en date du 30 mars 1995 ;
- VU l'avis du Préfet de l'Hérault, en date du 18 juin 1996 ;

VU les analyses réglementaires effectuées par le Laboratoire National des Etudes Hydrologiques et Thermales sur des échantillons prélevés le 7 juillet 1997 et le 9 février 1998 ;

VU l'avis de l'Académie Nationale de Médecine au cours de la séance du 1^{er} décembre 1998 ;

Sur la proposition du Directeur Général de la Santé,

ARRETE :

Article 1^{er} :

La commune de Lamalou-les-Bains est autorisée, dans les conditions légales et réglementaires, ainsi que dans les conditions particulières définies aux articles suivants, à livrer et administrer au public, en tant qu'eau minérale naturelle, l'eau des captages "Sandrine" et "Vernière 2" situés sur son territoire.

Les coordonnées Lambert (zone 3) et l'altitude du captage "Sandrine" sont les suivantes:

X = 659,98 Y = 144,02 Z = 229 NGF

Les coordonnées Lambert (zone 3) et l'altitude du captage "Vernière 2" sont les suivantes :

X = 659,97 Y = 143,41 Z = 185,45 NGF

Article 2 :

L'eau minérale naturelle des captages "Sandrine" et "Vernière 2" peut être exploitée:

- à l'émergence,
- après transport à distance.

Article 3 :

Sont retenus, comme caractéristiques de l'eau minérale naturelle du captage "Sandrine", du captage "Vernière 2" les éléments figurant dans les résultats des analyses pratiquées par le Laboratoire National des Etudes Hydrologiques et Thermales sur les échantillons prélevés à l'émergence le 9 février 1998, portés dans le tableau ci-après.

Les caractéristiques physico-chimiques essentielles de cette eau ne doivent pas s'écarter de plus de 10 % des indications mentionnées dans le tableau.

Sources de Lamalou-les-Bains (34)		Sandrine		Vernière 2	
Point de prélèvement		émergence		émergence	
Date du prélèvement du L.N.E.H.T.		09/02/1998		09/02/1998	
Température		53,5		27,6	
pH		6,6		6,1	
Conductivité à 20°C en µS/cm		2150		1820	
Alcalinité en ml N/10		282,7		218,9	
SiO ₂ (Silice) en mg/l		60,5		23,9	
CO ₂ libre en mg/l		480		1670	
Résidu sec 180°C en mg/l		1536		1302	
Résidu sulfaté en mg/l		2004		1700	
Anions en mg/l		mg/l	méq/l	mg/l	méq/l
HCO ₃ Hydrogénocarbonates		1724	28,270	1335	21,890
SO ₄ ⁻⁻ Sulfates		18,9	0,394	96,7	2,013
Cl ⁻ Chlorures		16,3	0,460	14,6	0,412
NO ₃ ⁻ Nitrates		< 1	0,000	< 1	0,000
NO ₂ ⁻ Nitrites		0,03	0,001	0,02	0,000
F ⁻ Fluorures		0,8	0,042	0,5	0,026
PO ₄ ⁻⁻⁻ Phosphates		< 0,1	0,000	< 0,1	0,000
<i>Total anions</i>			29,166		24,342
Cations en mg/l					
Ca ⁺⁺ Calcium		224	11,178	242	12,076
Mg ⁺ Magnésium		55,3	4,548	60,1	4,942
K ⁺ Potassium		92,6	2,368	53,4	1,366
Na ⁺ Sodium		241	10,478	129	5,609
Li ⁺ Lithium		1,6	0,231	0,9	0,130
Fe ⁺⁺ Fer		4,2	0,150	9,2	0,329
Mn ⁺ Manganèse		0,3	0,011	0,5	0,018
Sr ⁺⁺ Strontium		1,3	0,030	1,2	0,027
NH ₄ ⁺ Ammonium		0,3	0,017	0,2	0,013
<i>Total cations</i>			29,010		24,510
Traces en µg/l					
Al Aluminium		7		< 3	
As Arsenic		8		50	
B Bore		460		360	
Cd Cadmium		< 1		< 1	
Cr Chrome		< 1		< 1	
Cu Cuivre		< 5		< 5	
Pb Plomb		< 10		< 10	
Se Sélénium		< 10		< 10	
Zn Zinc		19		13	

Article 4 :

Le débit d'exploitation autorisé du captage "Sandrine" a été fixé à 26 m³/h
Le débit d'exploitation autorisé du captage "Vernière 2" a été fixé à 30 m³/h.

Article 5 :

L'exploitation de l'eau minérale naturelle du captage "Sandrine" se fait par un forage réalisé à partir d'un puits d'accès se situant à la cote 229 m et recoupant la galerie à 28,2 m de profondeur.

La colonne de production, par rapport au plancher de la galerie est la suivante :

- de 0 m à 16,4 m : pose d'un tubage en acier de 294 mm de diamètre,
- de 0 m à 18,4 m : pose d'un tubage en acier inoxydable de 244,5 mm de diamètre, manchonné fileté,
- de 18,4 m à 61 m : pose d'un tubage crépiné en acier inoxydable de 244,5 mm de diamètre, tulipé soudé,
- de 61 m à 120 m : trou de production libre de 165 mm de diamètre.

La cimentation annulaire a été réalisée entre 0 m et 17 m par rapport au plancher de la galerie, entre le terrain et le tubage en acier.

Le forage est équipé d'un groupe électro-pompe immergé de 6" de diamètre, placé à 58 m de profondeur par rapport au niveau de la galerie.

Le forage est abrité dans l'ancienne galerie de mine dite "Usclade" dont l'accès est contrôlé et est notamment équipé des instruments de contrôle suivants : débit-mètre, manomètre, conductimètre et sonde de mesure de température et de niveau.

L'exploitation de l'eau minérale naturelle du captage "Vernière 2" se fait par un forage dont la colonne de production consiste en un tubage en acier inoxydable, de 177,8 mm de diamètre entre 0,7 m et 202 m. Le trou est libre entre 202 m et 249 m.

Les cimentations annulaires ont été réalisées entre 0 m et 15,5 m entre le terrain et le tube en acier, entre 0 m et 15,5 m entre le tube en acier et le tube en inox et entre 15,5 m et 111 m entre le terrain et le tube en acier inoxydable.

Le forage est équipé d'un groupe électro-pompe immergé de 6" de diamètre, placé à 170 m de profondeur.

Le forage est abrité dans une construction en maçonnerie, entourée d'une clôture grillagée de 120 m² de superficie, avec une porte d'accès.

La tête du forage est équipée des instruments de contrôle suivants : débit-mètre, manomètre, conductimètre et sonde de mesure de température et de niveau.

L'exploitation de l'enregistrement des données caractéristiques de l'exploitation des forages (débit, pression, niveau, conductivité et température) ainsi que leur interprétation seront régulièrement transmises à la Direction Régionale de l'Industrie de la Recherche et de l'Environnement de Languedoc-Roussillon et à la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales de l'Hérault.

...

Article 6 :

Le périmètre sanitaire d'émergence du captage "Sandrine" est constitué par la parcelle n°638 d'une superficie de 390 m².

Le périmètre sanitaire d'émergence du captage "Vernière II" est constitué par la partie de la parcelle n° 1892 d'une superficie de 120 m² entièrement clôturée.

Le périmètre sanitaire d'émergence doit être maintenu constamment en état de propreté.

A l'intérieur de ce périmètre sont interdits l'entreposage de substances polluantes et tous actes et travaux de nature à compromettre la pureté de l'eau. Seules sont tolérées les activités nécessaires à l'entretien du captage.

Article 7 :

L'eau minérale naturelle du captage "Sandrine" est refoulée vers un bassin intermédiaire couvert de 800 m³ par l'intermédiaire d'une canalisation en acier inoxydable de 80 mm de diamètre et de 90 m de longueur. Elle est fixée en aérien sur la paroi de la galerie donnant accès à la tête de forage, puis disposée en caniveau visitable sur les 20 derniers mètres. Elle alimente les 2 compartiments du réservoir avec rupture hydraulique. Une seconde canalisation, en PVC alimentaire rigide, double la canalisation principale en cas de secours. A la sortie du réservoir, l'eau est reprise gravitairement par une canalisation en PVC alimentaire rigide de 100 mm de diamètre qui suit le même parcours que celle véhiculant l'eau du captage "Vernière 2". Le transport de l'eau de ce captage se fait sur une distance de 175 m.

L'eau minérale naturelle du captage "Vernière 2" est pompée de la source vers un bassin de stockage intermédiaire couvert, puis s'écoule gravitairement vers l'établissement thermal. Du local abritant la tête du forage au bassin intermédiaire, la canalisation est constituée de 2 tuyauteries en polyéthylène haute densité de 110 mm de diamètre et de pression de 16 bars enrobés par un film en PVC. Cette canalisation est disposée en tranchée profonde de 0,9 m et sous fourreau en PVC de 300 mm de diamètre lorsqu'elle passe sous la voirie. A la sortie du bassin, l'eau est reprise gravitairement par une canalisation en PVC alimentaire rigide de 100 mm de diamètre disposée en caniveau technique visitable puis en aérien derrière l'établissement thermal, jusqu'au local technique d'entrée dans le bâtiment. La distance totale du transport est de 911 m dont 835 m entre le forage et le bassin.

Article 8 :

Toute modification dans l'exploitation et toute variation dans les caractéristiques physico-chimiques de l'eau au captage en dehors des limites indiquées aux précédents articles doivent être portées à la connaissance du Préfet.

Article 9:

Des robinets doivent permettre d'effectuer les prélèvements prévus par la réglementation.

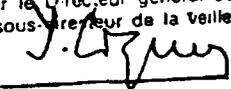
Article 10 :

L'autorisation sus-indiquée est accordée pour trente ans à partir de la date d'effet du présent arrêté.

Deux ans au moins avant l'expiration de ce délai, le titulaire devra, s'il entend continuer l'exploitation, solliciter une nouvelle autorisation

Article 11 :

Le Directeur Général de la Santé est chargé de l'exécution du présent arrêté dont mention sera publiée au Journal officiel de la République française

Fait à Paris, le 17 MAI 1999
Pour le Ministre et par délégation
Pour le Directeur général de la santé
Le sous-directeur de la veille sanitaire

Docteur Yves COQUIN



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

Service géologique régional Languedoc-Roussillon
1039 rue de Pinville
34000 Montpellier - France
Tél. : 04 67 15 79 80