

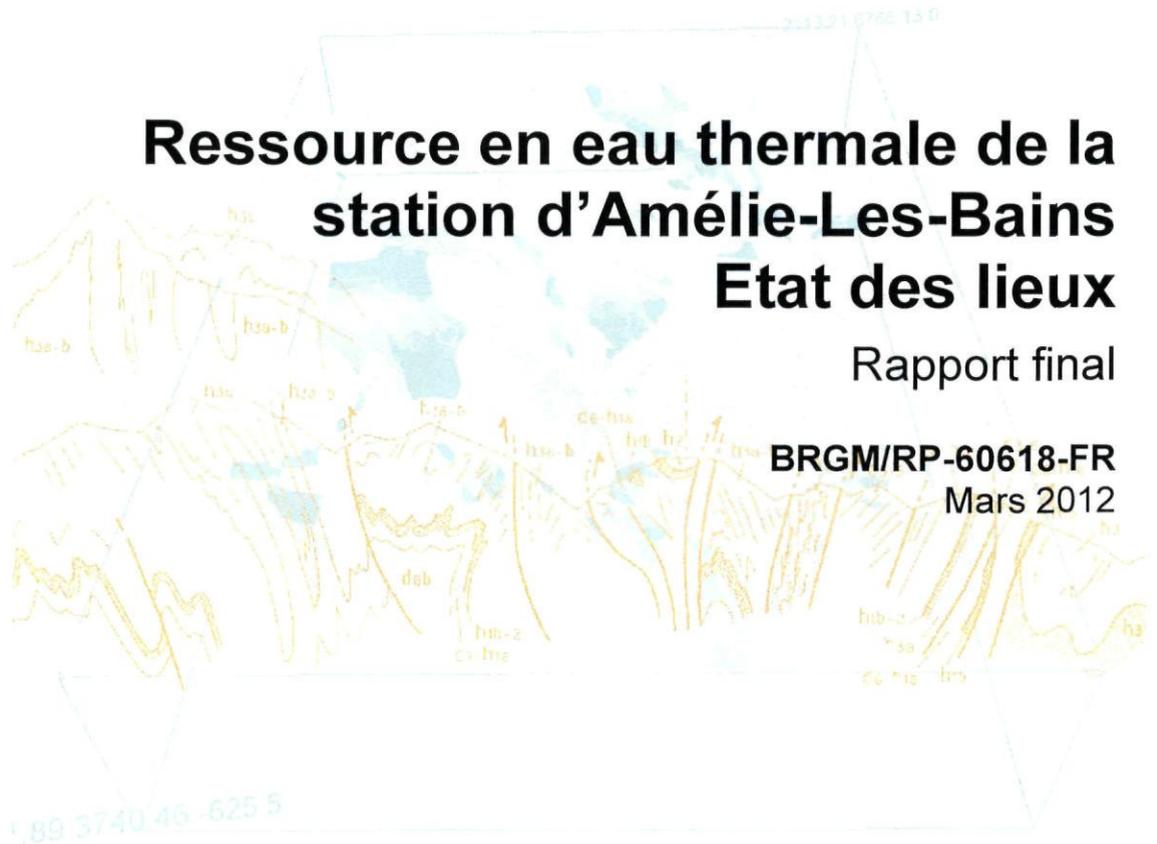
Document public



# Ressource en eau thermale de la station d'Amélie-Les-Bains Etat des lieux

Rapport final

BRGM/RP-60618-FR  
Mars 2012



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

BRGM



3 5000 00091466 2



# Ressource en eau thermale de la station d'Amélie-les-Bains Etat des lieux

Rapport final

**BRGM/RP-60618-FR**  
Mars 2012

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

**Caballero Y., Gironde C., Ladouche B., Le Goff E.**

**Vérificateur :**

Nom : P. Vigouroux  
Date : 06 mars 2012

**Approbateur :**

Nom : M. Audibert  
Date : 09 mars 2012

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**



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**Mots clés :** Eau thermo-minérale, source thermale, synthèse hydrogéologique, gestion ressource eau, qualité eau, périmètre protection, Amélie-les-Bains, Conseil Général des Pyrénées Orientales.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : Caballero Y., Gironde C., Le Goff E. (2012), Ressource en eau thermale de la station d'Amélie-les-Bains. Etat des lieux. Rapport BRGM/RP-60618-FR. 56 pp., 31 ill. 7 ann..

© BRGM, 2012, 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 d'Amélie-Les-Bains s'inscrit dans le cadre du programme 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). Une quinzaine de sources et un forage sont recensés sur la commune d'Amélie-les-Bains. La plupart des sources et le forage sont exploités par la Chaîne Thermale du Soleil. Le présent rapport porte essentiellement sur les sources appartenant à la commune qu'elle compte exploiter prochainement et conclut sur les points suivants :

- concernant les **connaissances du gisement hydrothermal**, les contextes géologique et hydrogéologique globaux sont connus. La caractérisation de la géométrie des circulations en profondeur mériterait cependant d'être améliorée ;
- concernant la connaissance du **fluide thermal**, la ressource au niveau des émergences est bien caractérisée, mais une meilleure connaissance du circuit hydrothermal (processus géochimiques en jeu) est recommandée ;
- concernant les **conditions d'exploitation**, le caractère superficiel (exploitation de sources) de la ressource captée, la rend vulnérable aux apports d'eau météorique ;
- concernant la **sécurité d'approvisionnement**, les sources présentent un comportement stable, mais un captage de la ressource plus en profondeur est recommandé pour sécuriser à la fois le débit d'exploitation et sa qualité ;
- concernant le **suivi d'exploitation** de la ressource, il est performant et permet de juger du bon fonctionnement de l'exploitation. Les installations réalisées (source du Gros Escaldadou) et les procédures de suivi adoptées sont robustes ;
- concernant le **contexte environnemental et la protection du gisement**, sur la base des connaissances actuelles du gisement et de l'évolution temporelle de sa qualité, on peut considérer que le site bénéficie de conditions favorables ;
- concernant le **cadre réglementaire**, une demande d'autorisation d'exploiter les sources communales est en cours, cependant le périmètre de protection établi au titre de la DIP et qui date de 1860, mériterait d'être redéfini.

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

- l'amélioration de la **connaissance du circuit hydrothermal** (géométrie des circulations en profondeur et processus géochimiques en jeu) ;
- la **mise à jour du périmètre de protection** (au titre de la DIP) du gisement.

A **moyen terme** la principale piste de progrès est :

- la **réalisation d'un forage** positionné de manière à ne pas perturber les sources actuellement captées et à s'affranchir des apports d'eau météorique. Un tel forage devra probablement être relativement profond (1 000 m ?).



## Sommaire

<b>1. Introduction</b> .....	<b>9</b>
1.1. CADRE DU PROGRAMME REGIONAL THERMALISME.....	9
1.2. MODALITES D'INTERVENTION.....	9
<b>2. La station thermale d'Amélie-les-Bains</b> .....	<b>11</b>
2.1. CONTEXTE GENERAL DU SECTEUR D'AMELIE-LES-BAINS .....	11
2.1.1. Contexte géographique .....	11
2.1.2. Contexte climatique .....	11
2.1.3. Contexte géologique.....	14
2.1.4. Contexte hydrogéologique.....	20
2.2. L'ACTIVITE THERMALE DE LA STATION .....	21
2.2.1. Historique de l'activité thermique.....	21
2.2.2. Nature de l'activité thermique .....	22
2.2.3. Importance de l'activité thermique.....	23
<b>3. La ressource en eau thermale de la station d'Amélie-Les-Bains</b> .....	<b>25</b>
3.1. LE GISEMENT D'EAU MINERALE.....	25
3.1.1. Approche théorique de la notion de gisement .....	25
3.1.2. Le gisement d'Amélie-Les-Bains .....	27
3.2. LE FLUIDE THERMAL.....	29
3.2.1. La ressource exploitée .....	29
3.2.2. Caractérisation physico-chimique de la ressource .....	32
3.2.3. Caractérisation isotopique de la ressource .....	37
3.3. LA MISE EN PRODUCTION – LES EQUIPEMENTS.....	42
3.3.1. Ouvrages exploités par la commune : Gros Escaldadou et Marché .....	42
3.3.2. Ouvrages exploités par la CTS.....	48
3.3.3. Les plateaux techniques de suivi d'exploitation.....	49
3.3.4. Les conditions de transport et de stockage .....	49
3.4. LE CADRE REGLEMENTAIRE .....	50
3.4.1. Les autorisations existantes .....	50
3.4.2. Les procédures en cours .....	51

<b>4. Conclusion .....</b>	<b>53</b>
4.1. LA SITUATION ACTUELLE DE LA RESSOURCE THERMALE .....	53
4.2. LES PISTES DE PROGRES A COURT ET MOYEN TERME .....	54
<b>5. Bibliographie.....</b>	<b>55</b>

## Liste des illustrations

Illustration 1 : La station thermale d'Amélie-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 d'Amélie-les-Bains.....	11
Illustration 3 : Carte de situation du poste météorologique d'Amélie-les-Bains .....	12
Illustration 4 : Variation annuelle des températures (Station d'Amélie) - Données Météo France. ....	13
Illustration 5 : Cumul annuel des précipitations à Amélie-les-Bains.....	13
Illustration 6 : Moyenne mensuelle des précipitations à Amélie-les-Bains .....	14
Illustration 7 : Schéma structural de la carte géologique du BRGM au 1/50 000 de Céret (en préparation) montrant les différentes unités et déformations.....	15
Illustration 8 : Carte des entités géologiques du secteur d'Amélie-les-Bains.....	18
Illustration 9 : Coupe géologique schématique du secteur d'Amélie-les-Bains (Carte géologique 1/50 000, n°1100, d'Arles-sur-Tech).....	19
Illustration 10 : Evolution de l'activité thermale pour la période 2001 à 2010 (données CNETH).....	23
Illustration 11 : Schéma de principe du circuit hydrominéral .....	26
Illustration 12 : Coupe hydrologique du secteur d'Amélie-les-Bains .....	28
Illustration 13 : Situation des sources captées et forages d'eau thermale d'Amélie-les-Bains, la faille du Vallespir est indiquée par la courbe noire.....	30
Illustration 14 : Caractéristiques des sources et forages (d'après Poul (1983 et 1984), CFT (1989) et arrêtés d'autorisation d'exploitation) à Amélie-les-Bains.....	31
Illustration 15 : Principales caractéristiques chimiques des captages d'Amélie-les-Bains (extrait des arrêtés d'autorisation).....	32
Illustration 16 : ACP – Projection des 52 échantillons analysés dans le plan factoriel 1-2.....	33
Illustration 17 : ACP – projection sur les axes 1 et 2 des éléments chimiques analysés sur les 52 échantillons (Temp (°C), pH et teneurs en Fluor, SiO <sub>2</sub> , Ca <sup>(2+)</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>(2-)</sup> , HCO <sup>3-</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>(2-)</sup> et Bore). ....	34
Illustration 18 : Teneurs en calcium et en silicates des eaux échantillonnées en fonction des températures des eaux et de leur position perchée (haut) ou proche (bas) du Mondony. ....	35

Illustration 19 : Teneurs en sodium des eaux échantillonnées en fonction des teneurs en chlorures et de leur position perchée (haut) ou proche (bas) du Mondony. La position de eaux de recharge sur la droite de dilution de l'eau de mer est également reportée.....	36
Illustration 20 : Comparaison des valeurs du rapport isotopique du strontium au rapport des teneurs en sodium et strontium pour les eaux d'Amélie les Bains échantillonnées.....	37
Illustration 21 : Comparaison de la relation Deutérium/Oxygène <sup>18</sup> pour les sources d'Amélie-les-Bains avec celle d'autres sources situées dans la région.....	39
Illustration 22 : Comparaison de la relation Température/Tritium pour les sources d'Amélie-les-Bains avec celle d'autres sources situées dans la région.....	40
Illustration 23 : Comparaison de la relation Carbone <sup>14</sup> /Carbone <sup>13</sup> pour les sources d'Amélie-les-Bains avec celle d'autres sources situées dans la région.....	41
Illustration 24 : Suivi en continu du débit, température et conductivité de Gros Escaldadou.....	43
Illustration 25 : Suivi en continu du débit, température et conductivité de la source du Marché.....	44
Illustration 26 : Photos du dessus du captage Gros Escaldadou avant et après les travaux.....	45
Illustration 27 : Analyses effectuées sur 1 an sur le captage Gros Escaldadou.....	46
Illustration 28 : Analyses effectuées sur 1 an sur le captage Du Marché.....	47
Illustration 29 : Installations et dispositif de suivi de la source Gros Escaldadou.....	49
Illustration 30 : Tableau récapitulatif des arrêtés d'autorisation d'exploiter.....	50
Illustration 31 : Périmètre de protection établi au titre de la DIP.....	51

## Liste des annexes

Annexe 1 Données météorologiques.....	57
Annexe 2 Analyses chimiques compilées.....	61
Annexe 3 Données isotopiques compilées.....	65
Annexe 4 Travaux de réfection des captages Gros Escaldadou et Marché.....	67
Annexe 5 Travaux de protection du captage Gros Escaldadou.....	77
Annexe 6 Coupe géologique du forage A1.....	85
Annexe 7 Coupe technique du forage « Le Couchant ».....	87



# 1. Introduction

## 1.1. CADRE DU PROGRAMME REGIONAL THERMALISME

L'analyse de la ressource en eau thermale de la station d'Amélie-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 (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 d'Amélie-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 d'Amélie-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 2001-2010.

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 d'Amélie-les-Bains ont été les suivants :

- recherche bibliographique aussi exhaustive que possible à partir de nombreuses sources d'informations et de documentation (Mairie d'Amélie-les-Bains, ARS, BRGM, ingénierie, bibliothèques universitaires et scientifiques, etc.) ;
- 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 d'Amélie-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.

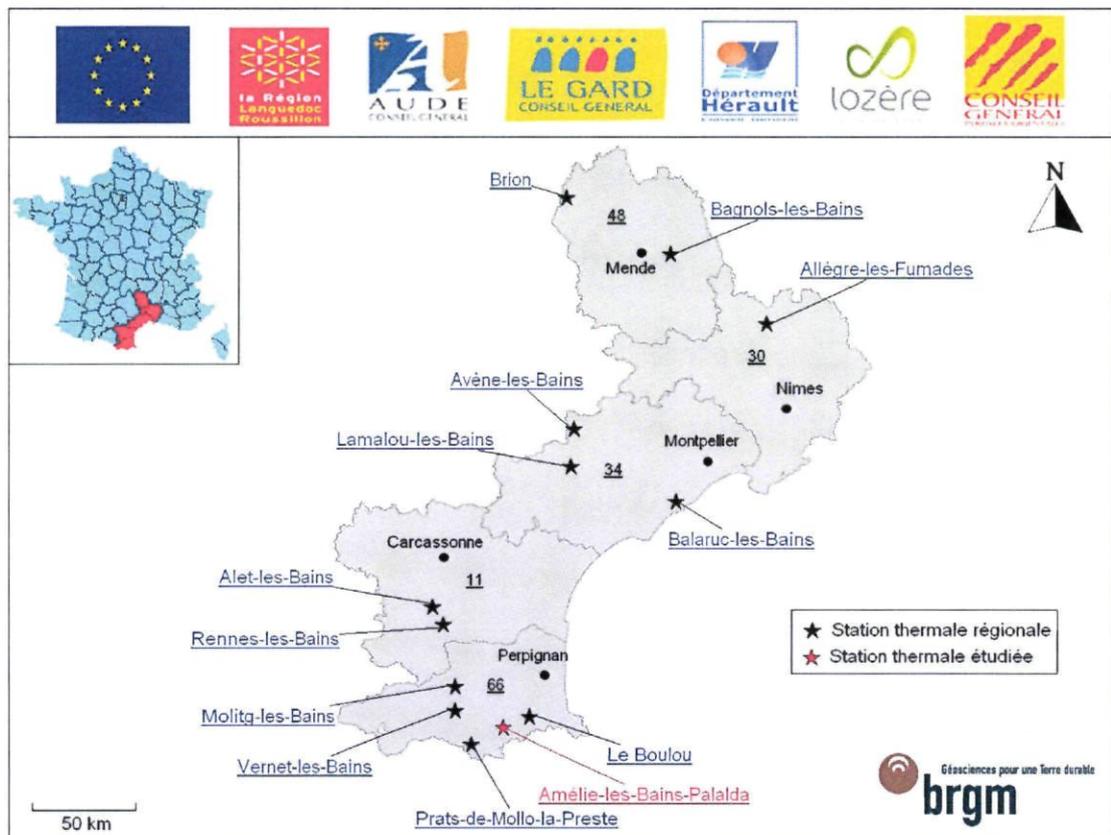


Illustration 1 : La station thermale d'Amélie-les-Bains et les autres sites d'exploitation d'eau thermale de la région Languedoc-Roussillon

## 2. La station thermale d'Amélie-les-Bains

### 2.1. CONTEXTE GENERAL DU SECTEUR D'AMELIE-LES-BAINS

#### 2.1.1. Contexte géographique

La commune d'Amélie-les-Bains est située dans le département des Pyrénées-Orientales sur le flanc sud des Pyrénées, à environ 30 kilomètres au sud-ouest de Perpignan (Illustration 2). Plus précisément, elle se trouve au débouché des Gorges de Mondony, sur le versant méridional du Canigou, à 230 m d'altitude. La ville se situe non loin de la frontière espagnole et est traversée par le Tech, fleuve côtier.

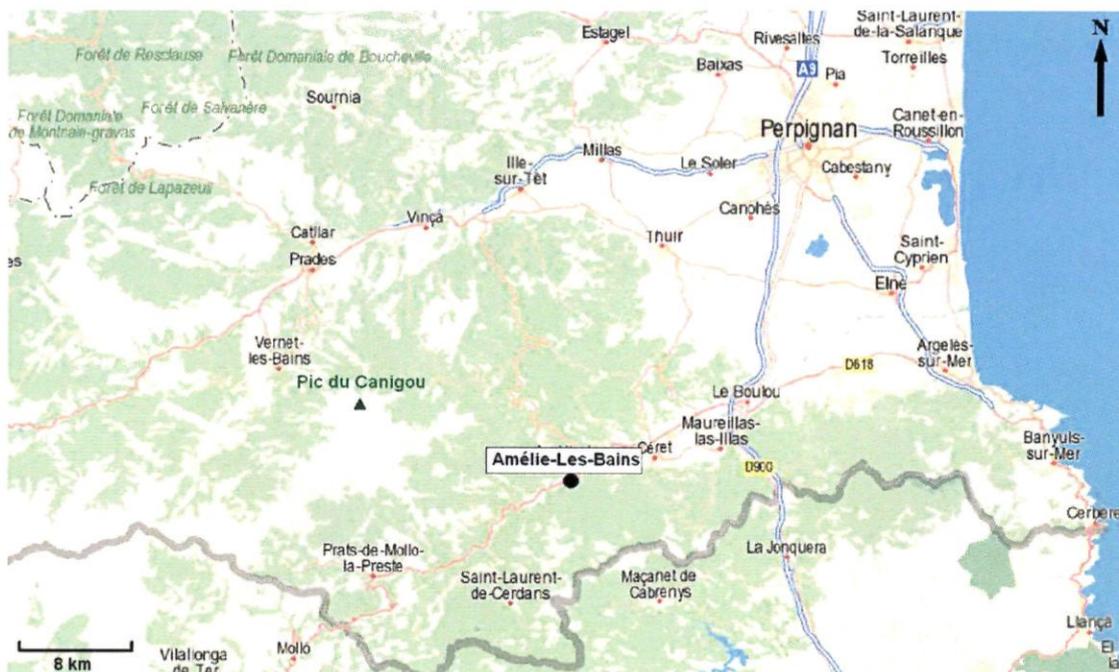


Illustration 2 : Carte de situation de la commune d'Amélie-les-Bains

La ville d'Amélie-les-Bains compte environ 3600 habitants (INSEE 2007) et s'étend sur une superficie de 30 km<sup>2</sup>.

#### 2.1.2. Contexte climatique

Le secteur d'Amélie-les-Bains bénéficie d'un climat méditerranéen, sec et très ensoleillé. L'été est généralement chaud et sec et l'hiver plutôt doux. De fortes précipitations peuvent avoir lieu après l'équinoxe d'automne ainsi que de longues périodes de sécheresse après le solstice d'été. Le vent de terre ou de mer est omniprésent.

Les données utilisées pour caractériser le climat (précipitations et températures) proviennent du poste pluviométrique (station bénévole manuelle) situé sur la commune d'Amélie-les-Bains. La carte suivante (Illustration 3) indique la position de cette station pluviométrique.



Illustration 3 : Carte de situation du poste météorologique d'Amélie-les-Bains

### Analyse de la température

Le graphique suivant (Illustration 4) permet d'apprécier l'évolution de la température au cours de l'année dans le secteur d'Amélie-les-Bains.

La zone est caractérisée par un été assez chaud (moyenne d'environ 24°C pour les mois de Juillet et Août) et un hiver plutôt doux où la température moyenne ne passe pas en dessous de 8°C. La température moyenne annuelle est de pratiquement 16°C. Pendant la saison thermale, de mai à octobre, la température moyenne varie entre 17°C et 24°C.

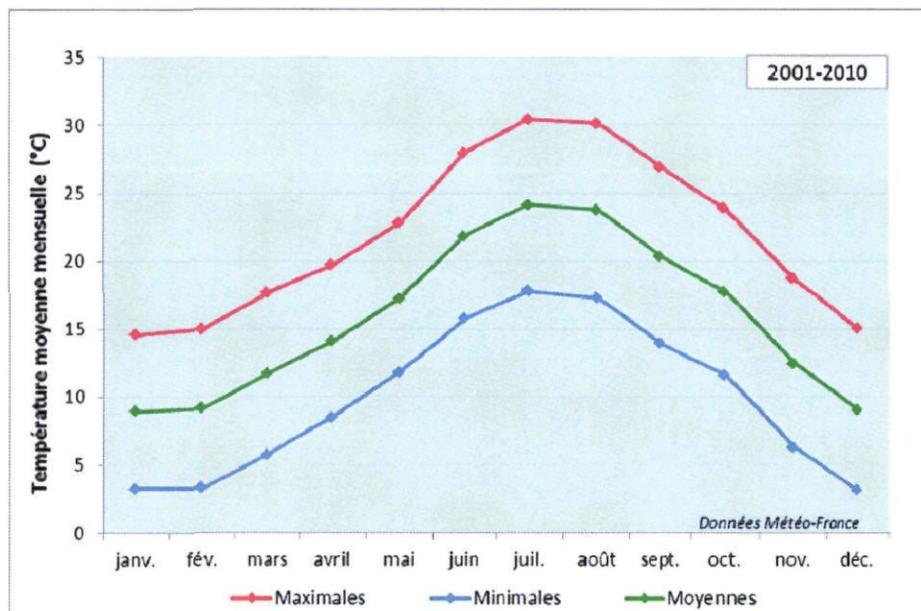


Illustration 4 : Variation annuelle des températures (Station d'Amélie) - Données Météo France.

### Analyse des précipitations

Les graphiques suivants (Illustration 5 et Illustration 6) permettent d'apprécier l'évolution de la pluviométrie dans le secteur d'Amélie-les-Bains.

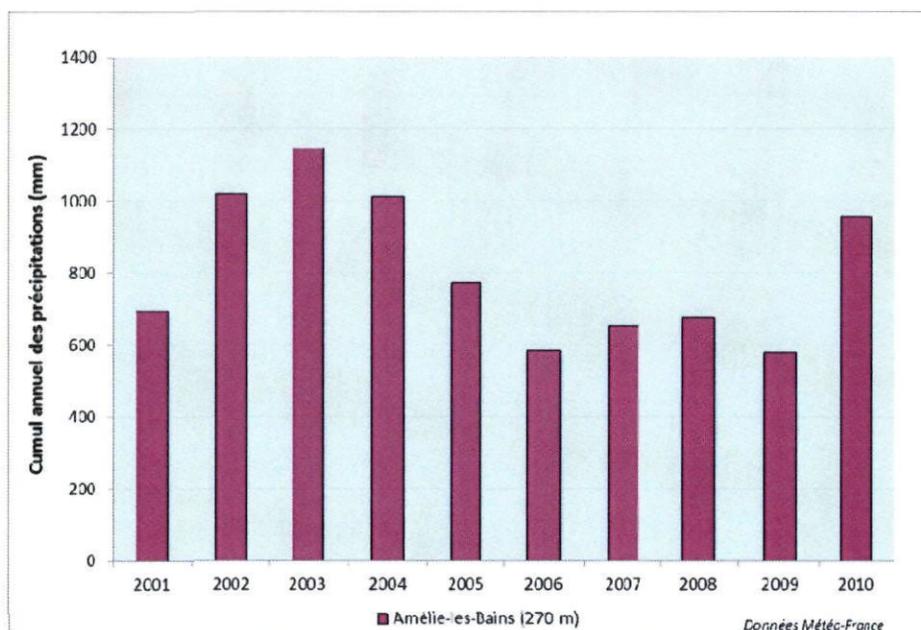


Illustration 5 : Cumul annuel des précipitations à Amélie-les-Bains.

Les cumuls annuels des précipitations à Amélie-les-Bains sont très variables d'une année sur l'autre et oscillent entre environ 600 et 1150 mm/an. La valeur moyenne de la pluviométrie annuelle se situe autour de 800 mm/an.

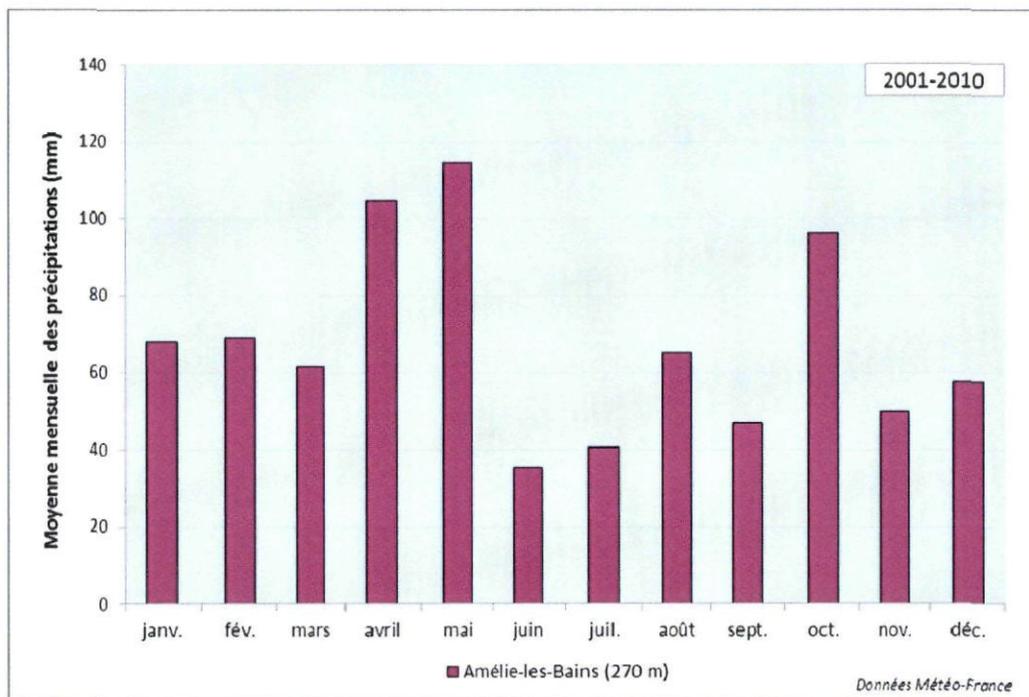


Illustration 6 : Moyenne mensuelle des précipitations à Amélie-les-Bains

La répartition des pluies au cours d'une année est assez hétérogène. On remarque que les précipitations au printemps (avril et mai) ainsi qu'à l'automne (octobre) sont les plus importantes. Pendant la période estivale, les cumuls précipités restent peu élevés, avec toutefois un cumul mensuel plus important pour le mois d'Août.

### 2.1.3. Contexte géologique

#### **Géologie régionale**

La zone d'Amélie-les-Bains se situe dans la zone qui forme l'axe morphologique actuel de la chaîne Pyrénéenne et où affleurent principalement le socle paléozoïque et quelques lambeaux de sa couverture mésozoïque.

Trois entités géologiques se distinguent (Illustration 7) :

- les formations sédimentaires, métamorphiques fini-néo-protérozoïques à dévoniennes et leur magmatisme associé, affleurant dans le massif des Aspres, du Canigou, des Albères ainsi que dans le massif granitique de Millas ;
- le bassin mésozoïque et paléocène d'Amélie-les-Bains ;
- les formations néogènes et quaternaires de la plaine du Roussillon.

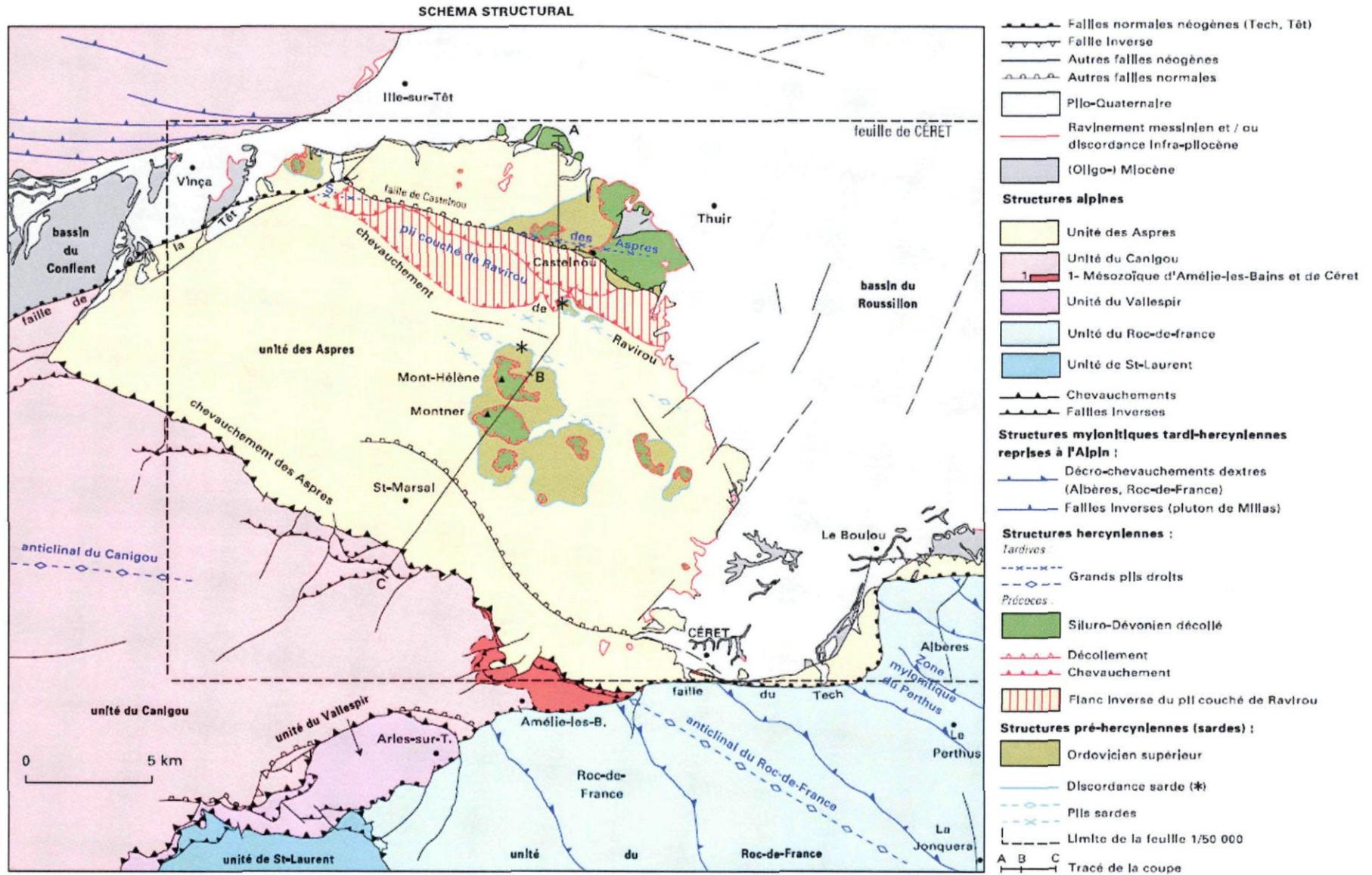


Illustration 7 : Schéma structural de la carte géologique du BRGM au 1/50 000 de Céret (en préparation) montrant les différentes unités et déformations.

D'un point de vue géodynamique, quatre grandes étapes de l'histoire géologique peuvent être distinguées :

- l'histoire anté-hercynienne ;
- l'histoire hercynienne ;
- l'histoire alpine ;
- l'histoire récente.

**L'histoire anté-hercynienne** (Protérozoïque supérieur à Ordovicien inférieur à moyen :  $580 \pm 10$  Ma à 460 Ma) : les terrains pré-hercyniens sont divisés en deux groupes, le Groupe de Canaveilles, surmonté par le Groupe de Jujols.

Le Groupe de Canaveilles se caractérise par l'abondance des carbonates et des influences volcaniques (volcano-sédimentaires et volcano-clastiques) distales (dont la source d'émission est éloignée). Un âge de  $580 \pm 10$  Ma (Vendien) a été mesuré sur un méta-tuf rhyodacitique à lapillis intercalé dans la base de la série (Cocherie et al., 2005).

Le Groupe de Jujols présente un caractère grésopélitique. La base de ce groupe, discordante sur le groupe de Canaveilles, peut être marquée par des faciès conglomératique et carbonaté.

Ces groupes sont intrudés par des orthogneiss laccolithiques, dont les orthogneiss du Canigou, datés à l'Ordovicien inférieur (475-470 Ma) (Cocherie et al., 2004). Ils sont affectés par des plis d'orientation NNW-SSE, droits ou déversés au SE, dont l'amplitude peut atteindre 2 km. Cette phase de déformation appelée « sarde » pourrait être synchrone de la mise en place des granites laccolithiques (Laumonier et al., 2011).

**L'histoire hercynienne** (Ordovicien supérieur au Dévonien terminal : 450 à 360 Ma) : l'Ordovicien supérieur repose en discordance (discordance sarde) sur les terrains précédents. Localement, il débute par les conglomérats du Caradoc surmontés par des volcanites rhyodacitiques datées à  $450 \pm 4$  Ma (Cocherie et al., 2005). Au-dessus, se développent des schistes divers qui se terminent par des calcaires et des pélites calcareuses. Le Silurien est constitué d'ampélites qui forment souvent un niveau de décollement. Le Dévonien forme une épaisse dalle carbonatée. L'ensemble de ces formations est intrudé par des granites carbonifères de la chaîne varisque.

Au cours de l'orogénèse hercynienne, les terrains paléozoïques sont affectés par deux épisodes de déformation (Laumonier et al., 2011). Le premier épisode D1 se caractérise par la mise en place d'un grand pli couché, le pli de Ravirou, dont le flanc inverse est affecté par un chevauchement à vergence Sud. L'épisode D2 se caractérise par des structures plissées (anticlinal du Canigou, synclinal des Aspres masqué par la faille de Castelnou) et des zones mylonitiques dextres à dextres-inverses dans le massif des Albères (Illustration 7).

**L'histoire alpine** : sur le socle hercynien, des formations triasiques (formations grésopélitiques, dolomitiques, calcareuses et marneuses puis calcaro-argileuses avec gypse et argiles) et crétacées (grès, argiles, calcaires gréseux et marnes) se sont déposées. La tectonique alpine se traduit par des chevauchements à vergence sud (chevauchements des Aspres, du Vallespir et du Canigou). Le chevauchement des Aspres permet la préservation de la couverture mésozoïque d'Amélie-les-Bains.

**L'histoire récente** (Néogène et Quaternaire) : le Néogène consiste en des séries détritiques épaisses du Miocène et du Pliocène (Oligocène non exclu). Ces séries terrigènes à marines remblaient les fossés d'effondrement du Roussillon et du Conflent, montrant de l'Ouest vers l'Est une évolution allant du continental vers le marin. Le Pliocène repose en discordance nette sur les formations miocènes. Le Quaternaire consiste principalement en des terrasses fluviales très développées dans les axes du Têt, du Tech et de leurs affluents.

Les structures tectoniques majeures sont les failles normales du Tech, de la Têt, ainsi que la faille du Castelnou qui pourrait être plus récente.

### ***Géologie locale***

Dans le secteur d'Amélie-les-Bains, sont distinguées quatre grandes unités séparées par des accidents tectoniques (Illustration 8) :

- au sud, l'unité du Roc de France, massif constitué de gneiss et de micaschistes et limité au nord par la faille du Tech (faille de direction E-O) ;
- à l'ouest, l'unité du Canigou, composée de schistes et de granites ;
- au centre, les niveaux sédimentaires du synclinal d'Amélie constitués de grès, d'argiles, de calcaires et de dolomies qui reposent en discordance sur l'unité du Canigou. Ces niveaux sédimentaires disparaissent vers le nord-est sous le chevauchement frontal (direction NO/SE, attribué à la phase pyrénéenne de la tectonique alpine), de l'unité du massif des Aspres ;
- au nord-est, l'unité du massif des Aspres, constituée de schistes et calcaires métamorphiques qui chevauchent les formations du synclinal d'Amélie.

**L'unité du Roc de France** est constituée de métapélites, métagrès, méta-grauwackes avec des passées carbonatées, de gneiss calciques, d'orthoamphibolites et de tuffs, l'ensemble constituant le membre inférieur de l'unité de Canaveilles. Il est intrudé par des granites dont certains sont Ordoviciens ( $477 \pm 4$  Ma). Granites et formations sédimentaires sont affectés par une déformation et un métamorphisme de type basse pression / haute température. L'unité du Roc de France est en contact avec l'unité du Canigou par l'intermédiaire d'une faille normale tardive d'orientation Est-Ouest (faille du Vallespir / prolongement vers l'ouest de la faille du Tech). Celle-ci masque probablement l'ancien contact chevauchant de l'unité du Canigou sur l'unité du Roc de France. Des mouvements tectoniques récents (phase de distension Oligocène et de surrection Tortonienne) ont provoqué le rejeu de la faille du Tech-Vallespir (faille normale) provoquant l'effondrement des plaines du Roussillon par rapport au massif du Roc de France et des Albères.

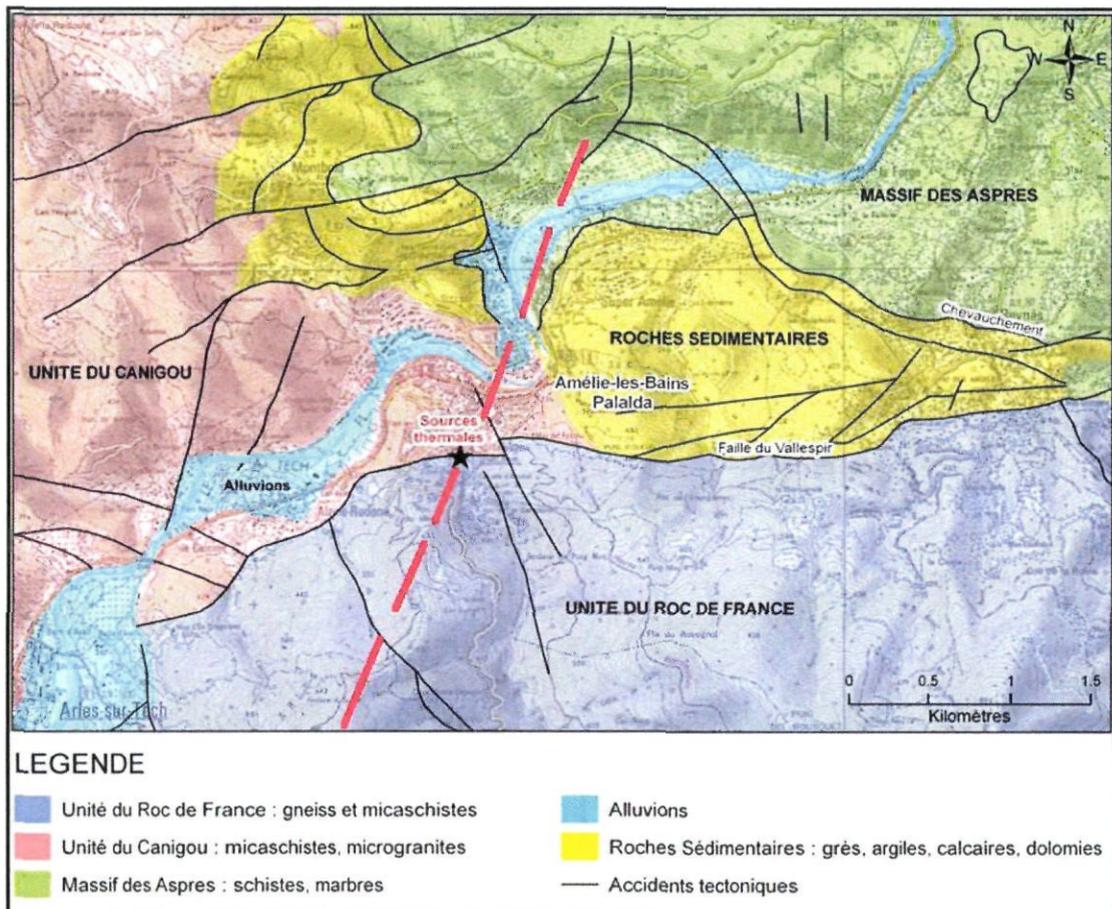


Illustration 8 : Carte des entités géologiques du secteur d'Amélie-les-Bains

Nota : l'illustration 8 a été réalisée à partir de la carte géologique harmonisée au 1 / 50 000ème de la France (BRGM). Le tracé pointillé rouge localise la coupe présentée sur l'illustration 9.

L'unité du Canigou comprend, à proximité d'Amélie-les-Bains, des métapélites, métagrès à intercalations de carbonates et de tuffs plagioclasiques. Cet ensemble, affecté par un métamorphisme de contact, appartient au membre inférieur de l'unité de Canaveilles.

L'unité d'Amélie-les-Bains est constituée de formations sédimentaires d'âge Mésozoïque, reposant en discordance sur les micaschistes de l'Unité du Canigou. On observe à la base, le Trias, composé de conglomérats, de pélites et de grès (Buntsandstein), surmontés par des calcaires et des dolomies (Muschelkalk), puis des calcaires argileux, gypses et argiles (Keuper). Sur ce Trias, reposent des grès conglomératiques, des calcaires, des marnes et des calcaires lacustres du Crétacé supérieur. Les formations sont plissées, fortement écaillées et chevauchées vers le Sud-Ouest par l'unité du massif des Aspres. Elles forment un synclinal d'allure assez complexe (Illustration 9) lié à la tectonique de compression d'âge Eocène moyen (phase pyrénéenne).



## **Géologie et sources thermales**

Les sources thermales sont localisées au Sud de la faille du Tech, dans les migmatites du Groupe de Canaveilles, unité Roc de France (Illustration 9). Trois types de structures sont susceptibles de favoriser la percolation de fluides : les foliations, les limites lithologiques et les failles cassantes.

Les foliations sont bien caractérisées dans les migmatites de l'unité du Roc de France, elles sont d'orientation Est-Ouest. Les limites lithologiques correspondent, à proximité des sources, à la limite entre les micaschistes affectés par un métamorphisme de contact (micaschistes tachetés) de l'unité du Canigou au Nord et les migmatites de l'unité du Roc de France au Sud. Cette limite correspond par ailleurs à la faille du Tech-Vallespir. Les failles cassantes sont, d'une part, la faille du Tech, d'orientation Est-Ouest et, d'autre part, les failles d'orientation N160-170, plus tardives, qui décalent localement la faille du Tech. Les sources d'Amélie semblent se localiser à l'intersection de ces deux familles de failles.

### **2.1.4. Contexte hydrogéologique**

#### ***Hydrogéologie régionale***

Les éléments présentés dans ce paragraphe proviennent de la synthèse hydrogéologique du Languedoc-Roussillon (Marchal et Blaise, 2004). Ainsi que nous l'avons vu au § 2.1.3, les principales formations géologiques dans cette zone sont des formations de socle. Ces formations sont englobées au sein de l'entité hydrogéologique n°620a2, dénommée « *Formations cristallines et métamorphiques (schistes, gneiss, granites, calcaires) des Pyrénées axiales dans le bassin versant du Tech* ». Etant donnée la nature métamorphique et relativement imperméable du substratum (gneiss et schistes), la présence d'eau souterraine dans ce contexte est principalement reliée à la présence de roches fissurées et fracturées. De petites nappes libres peuvent aussi se former dans la frange d'altération superficielle de ces roches qui, lorsqu'elles sont en contact avec des réseaux de fissures, peuvent constituer des ressources localement intéressantes. Les débits des sources drainant ces nappes perchées sont cependant modestes la plupart du temps et la productivité des forages qui y sont implantés est le plus souvent faible (inférieure à 5 m<sup>3</sup>/h).

Les formations carbonatées affleurant dans la région d'Amélie-les-Bains sont généralement peu aquifères. Ainsi par exemple, les calcaires et dolomies du Cambrien (série de Canaveilles) des gorges de la Fou (au sud-ouest d'Amélie-les-Bains) n'affleurent que sur une superficie très limitée et ne contiennent pas ou peu de ressource en eau souterraine. D'autres petits bassins sédimentaires tels que ceux de Coustouges (au sud d'Amélie, proche de la frontière) et de Lamanère (au sud-ouest d'Amélie, proche de la frontière) contiennent une ressource en eau souterraine dont le potentiel est limité. Enfin, les formations marno-calcaires du Trias et les grès et calcaires du Crétacé supérieur que l'on rencontre dans le synclinal d'Amélie-les-Bains sont, elles aussi, peu aquifères.

Dans les formations récentes qui recouvrent les formations de socle, des placages d'alluvions peuvent être le siège de petites nappes localisées, ce qui est notamment le cas en bordure du Tech, entre Arles-sur-Tech et Céret. L'extension latérale de ces alluvions dépasse rarement 300 à 500 m et leur épaisseur est généralement inférieure à quelques mètres.

### ***Hydrogéologie locale***

Les émergences d'eau thermale d'Amélie-les-Bains sont situées le long de la faille du Tech-Vallespir, qui met en contact le massif de gneiss du Roc de France au sud (compartiment surélevé) et les schistes de l'unité du Canigou au nord. Les principaux griffons sont localisés dans les gneiss, tandis que ceux situés dans les schistes se trouvent à proximité immédiate du plan de faille. Les sources sont situées nettement au-dessus du lit du Mondony (Poul, 1984).

Les hypothèses sur l'origine et les conditions de circulation de l'eau thermale d'Amélie-les-Bains seront discutées au § 3.1.2.

## **2.2. L'ACTIVITE THERMALE DE LA STATION**

### **2.2.1. Historique de l'activité thermale**

Le présent paragraphe est essentiellement une synthèse de la présentation détaillée de l'histoire de la station thermale d'Amélie-les-Bains, proposée par Naydénov (1989).

L'histoire d'Amélie-les-Bains remonte à l'époque romaine (bien que des vestiges plus anciens, faisant références aux sources, aient été mis à jour). Les romains vénéraient les sources et les utilisaient pour la cure de leurs soldats. C'est ainsi qu'apparurent les thermes antiques, les « *Aquae Calida* », réputées dans toute la région.

Les bains étaient constitués d'une salle principale qui mesurait 20 m de long par 12 m de large et 11,20 m de haut, d'un bassin central pavé de petites briques et appelé « *Lavacrum* », qui mesurait 16 m par 8,50 m et 2 m de profondeur. Il existait également deux petits bassins individuels.

Au début du V<sup>e</sup> siècle les invasions barbares chassèrent les romains de la région. Les différents peuples qui l'envahirent alors successivement ne restèrent pas assez longtemps pour profiter de ce qui avait été construit et lorsque les wisigoths s'y fixèrent, ils ne prirent pas en considération ces bâtiments jugés inutiles. Perdant toute utilité, les thermes antiques furent abandonnés et le site déserté.

Au VIII<sup>e</sup> siècle, un monastère fut fondé par l'Abbé Castellan, vraisemblablement au sein même des thermes antiques. Les bains furent alors entretenus par les moines menés par l'abbé jusqu'en 1237, date à laquelle le seigneur du Roussillon et du Vallespir, Nunyo-Sanche, en fit l'acquisition.

Passée sous contrôle de l'état français après la révolution, les thermes furent vendus par la commune en 1813 au sieur Hermabessière, dont le fils, docteur, fit faire des travaux très importants pour les remettre en état. Il fit ainsi rajouter de nombreux bâtiments, rénover les anciens et parvint à en faire une station thermale renommée : les Thermes Romains. Les nombreux propriétaires suivants firent perdurer l'activité de la station et le docteur Pujade créa même un deuxième établissement à son nom, captant huit sources thermales supplémentaires situées à proximité du Mondony.

En 1840, le lieu-dit prit son nom actuel, passant du nom « *La ville des bains d'Artes* » à celui d'*Amélie-les-Bains* en l'honneur de la reine Marie-Amélie de Bourbon, épouse de Louis Philippe, Roi de France. Dans la foulée, un hôpital militaire fut construit pour accueillir les blessés et invalides des guerres du Premier Empire et de la conquête de l'Algérie. A partir de 1898, la construction de la ligne ferroviaire permit l'arrivée d'une clientèle nombreuse et aisée, de tout le pays, qui transforma la station en une des plus renommées de France.

En 1986, les deux établissements (Thermes Romains et Pujade) furent acquis par la « Chaîne Thermale du Soleil », qui développa encore un peu plus l'activité déjà importante de la station, la classant au 3<sup>ème</sup> rang des stations thermales françaises. Aujourd'hui (2010), cette activité se maintient à un haut niveau puisque que la station d'Amélie se situe au 4<sup>ème</sup> rang des stations thermales françaises.

L'hôpital militaire ne fonctionnant plus depuis le début du siècle, c'est sur l'emprise de cet hôpital que la commune d'Amélie projette de créer un centre thermoludique qui serait essentiellement alimenté par la source du Gros Escaladou.

## **2.2.2. Nature de l'activité thermale**

Les principales indications thérapeutiques traitées à la station d'Amélie-les-Bains sont essentiellement la rhumatologie et les voies respiratoires (Naydénov (1989), Guide du thermalisme (2011)). Fortement chargée en soufre et en oligo-éléments, l'eau thermale agit directement sur les muqueuses, qu'elle régénère. Elle stimule également les défenses locales de l'organisme contre les agents infectieux. Le soufre qu'elle contient possède des vertus antalgiques, souveraines contre les douleurs rhumatismales et anti-inflammatoires sur les muqueuses des voies respiratoires. Les eaux sont également riches en fluor et silice. Cette dernière a un pouvoir cicatrisant et contribue à restaurer les muqueuses des voies respiratoires.

Les principales indications traitées en voies respiratoires sont les suivantes :

- ORL : rhinopathies chroniques, sinusites aiguës, récidivantes et chroniques, pathologie auriculaire et tubotympanique, pharyngites chroniques et récidivantes, laryngopathies, accidents barotraumatiques otologiques et sinusiens (plongée sous-marine et transports aériens) et le traitement complémentaire de la rééducation de la voix ;
- pneumologie : broncopathies, dilatation des bronches, emphyseme, asthmes.

Les principales indications traitées en rhumatologie sont l'arthrose, les rhumatismes dégénératifs, les syndromes algiques (cervicalgies, cervico-brachialgies, sciatiques), les rhumatismes inflammatoires, les rhumatismes abarticulaires, l'ostéopathie raréfiante, la fibromyalgie et les séquelles de traumatismes ostéo-articulaires.

### 2.2.3. Importance de l'activité thermale

L'établissement thermal d'Amélie-les-Bains est ouvert pratiquement toute l'année, de fin janvier à mi-décembre. Les types de cure dispensés dans les thermes sont variés : gargarisme, irrigation nasale, humage individuel, bain nasal, piscine, inhalation collective, douche locale pour les voies respiratoires et bain de boue local ou général, cataplasmes, bain avec douche sous-marine pour la rhumatologie. Les cures de type thérapeutique s'effectuent sur 18 jours. Cependant, l'établissement propose des mini-cures thermales et des mini-cures spécifiques (spécial mal de dos par exemple) de 6 à 12 jours<sup>1</sup>.

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 l'illustration 10. La fréquentation de la station thermale d'Amélie-les-Bains a quelque peu diminué au cours des 10 dernières années, passant de quasiment 30 000 curistes en 2001-2003 à environ 26 000 curistes pour ces dernières années. La fréquentation est cependant stable depuis 2005. La tendance observée est conforme à celle observée à l'échelle régionale et nationale, puisqu'on constate également une légère diminution de la fréquentation régionale et nationale sur la période d'observation.

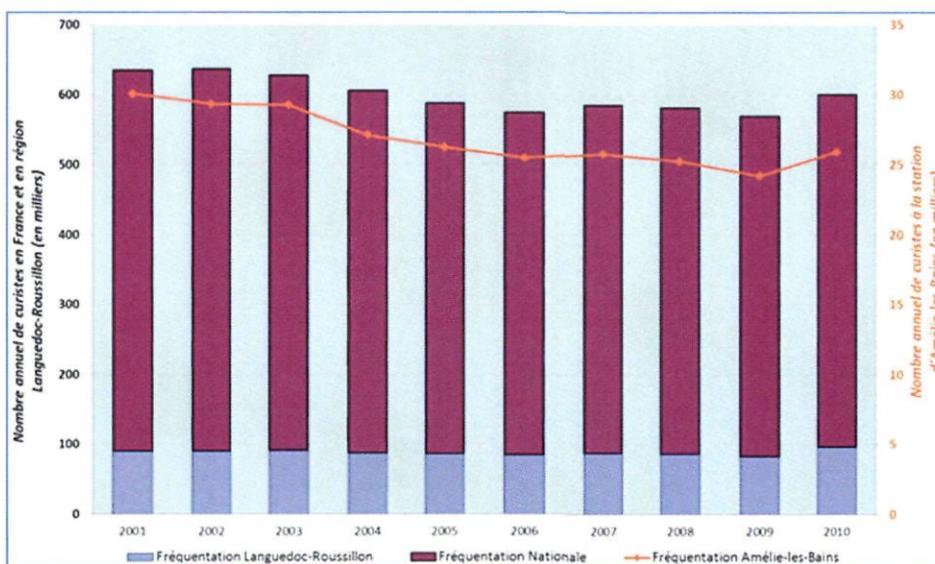


Illustration 10 : Evolution de l'activité thermale pour la période 2001 à 2010 (données CNETh<sup>2</sup>)

<sup>1</sup> <http://www.chainethermale.fr/cures/stations-thermales/amelie-les-bains.html>

<sup>2</sup> Conseil National des Exploitants Thermaux – <http://www.france-thermale.org/>



## 3. La ressource en eau thermale de la station d'Amélie-Les-Bains

### 3.1. LE GISEMENT D'EAU MINERALE

#### 3.1.1. Approche théorique de la notion de gisement

Le gisement d'eau minérale est défini comme étant l'ensemble de la structure géologique souterraine dans laquelle s'écoule fluide thermal, depuis la zone d'alimentation jusqu'à la zone d'émergence, située au droit d'une zone géographique bien déterminée.

Dans un gisement d'eau thermale, on peut distinguer ainsi (Illustration 11) :

- **une aire d'alimentation où s'infiltrent les 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 au travers duquel l'eau s'infiltré est généralement vaste en volume, mais la vitesse de circulation de l'eau y est lente. La Terre produisant de la chaleur selon un flux correspondant à la désintégration des radionucléides présents dans la croûte terrestre, elle contribue à réchauffer l'eau qui s'infiltré en profondeur. Ce flux de chaleur (de 1 à 2 microcalories par seconde et par centimètre carré en moyenne pour le globe) peut être localement plus fort dans les secteurs où se produit de l'activité magmatique en profondeur. Le gradient géothermique qui traduit ce flux est de l'ordre de **+3°C/100 m** en moyenne, ce qui permet d'estimer grossièrement la profondeur de l'eau qui s'infiltré depuis l'aire d'alimentation, en fonction de sa température. Lors de son transit en profondeur, l'eau acquiert également sa **minéralisation**, qui va dépendre de multiples paramètres affectant les interactions entre l'eau et la roche : 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, sursaturation, etc...) ;
- **un axe de collecte et de drainage permettant la remontée de l'eau minérale** : selon la vitesse de remontée, les échanges avec le terrain encaissant sont variables. Cependant, l'expérience ayant montré que les pertes sont généralement faibles et que le régime est stationnaire, le législateur a instauré 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 la pression qui va conduire à la détente des gaz présents dans l'eau, certains inertes du point de vue chimique (gaz rares, azote N<sub>2</sub>) et d'autres, comme le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) ou le sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S), 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 ;
- variation de température, qui affecte les équilibres chimiques ;

- dissolution/précipitation de phases minérales, avec plusieurs origines possibles : l'eau profonde peut rencontrer en ascension des associations minérales nouvelles vis-à-vis desquelles elle peut-être sur ou sous-saturée, le dégazage de CO<sub>2</sub> peut entraîner une précipitation de carbonates, la baisse de température peut favoriser 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 la connaissance de l'origine de l'eau et de sa minéralisation en profondeur, ainsi que de son parcours depuis les parties profondes jusqu'à l'émergence (Illustration 11).

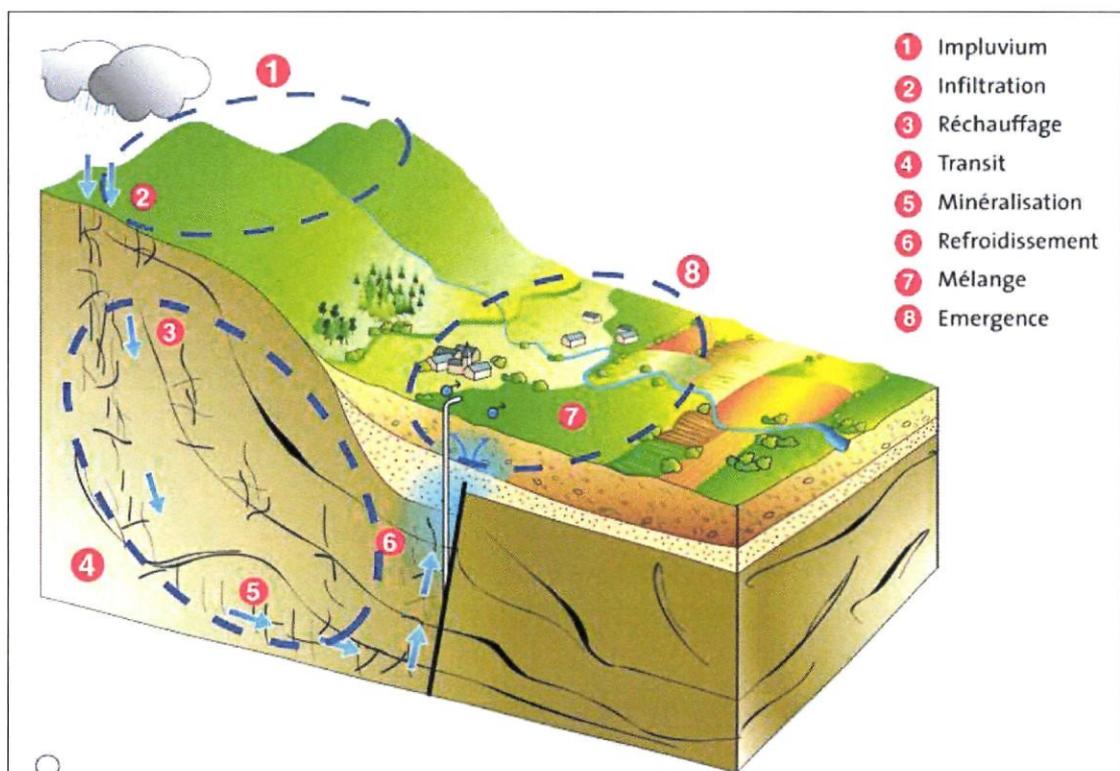


Illustration 11 : Schéma de principe du circuit hydrominéral

Associés à la notion de gisement, un certain nombre de concepts apparaissent qu'il est utile de définir :

- l'**âge de l'eau** est défini comme le temps de transit entre la zone d'infiltration des pluies et l'émergence ;
- l'**émergence** est le point sur la surface du sol correspondant au prolongement de l'axe de circulation de l'eau, 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 de cet axe, par un phénomène d'advection sous conditions thermo-artésiennes (Raymahashay, 1996). La possibilité d'une montée rapide et d'émergence de l'eau implique cependant que l'**axe corresponde à une zone de fracturation ouverte**, le plus souvent lié à l'intersection d'au moins deux plans de faille ;

- la **température de l'eau à l'origine**, correspond à celle de l'aquifère profond faisant office de réservoir géothermal. Sa détermination a fait l'objet de recherches poussées ces dernières années, notamment dans le domaine de la géochimie, débouchant sur la caractérisation de « géothermomètres » (Pouchan, 1995). Un géothermomètre est un minéral ou une association de minéraux, permettant de déterminer la température ayant régné lors de leur formation. Le comportement d'un géothermomètre (dont la teneur au sein de l'eau thermale en son point d'émergence peut être déterminée par analyse), est contrôlé par le fait que la solubilité des minéraux et, par extension, les équilibres chimiques entre l'eau et sa roche encaissante, varient avec la température.

### 3.1.2. Le gisement d'Amélie-Les-Bains

Les études géologiques et hydrogéologiques réalisées jusqu'à présent sur l'hydrosystème thermal d'Amélie-les-Bains (Baubron et al. (1978), Poul (1983 et 1984), Naydenov (1989), Krimissa (1993) et Durand (1996)) ont permis d'apporter un grand nombre d'éléments de connaissance concernant les modalités d'émergence des eaux thermales.

Les émergences sont, pour la plupart, alignées le long de la faille du Tech-Vallespir et situées dans les gneiss fracturés de l'Unité Roc de France. Elles se situent topographiquement au-dessus du lit du Mondony.

On distingue deux directions de fracturation dans les gneiss :

- une fracturation N80° parallèle à la faille, dans laquelle on trouve des traces de dissolution (petites cavités) ;
- une fracturation N160° qui affecte l'ensemble du massif gneissique (bien visible dans les gorges du Mondony).

L'alignement des sources selon la direction de la faille indique qu'une partie de la circulation des eaux thermales est contrôlée par la fracturation N80°. Cependant l'existence d'émergences situées en retrait par rapport au plan de faille et à des altitudes supérieures à celles du lit du Mondony, indique que c'est probablement la combinaison de la fracturation le long de la faille avec la fracturation de direction N160° qui permet la circulation de l'eau. Tout se passe donc comme si les eaux thermales circulaient dans les gneiss fracturés en bordure de la faille sous un écran pratiquement imperméable constitué par les schistes broyés et altérés du compartiment de l'unité du Canigou (Illustration 12). Enfin, certaines émergences situées dans les schistes seraient contrôlées par le plan de schistosité de ceux-ci (de direction N130°) et remonteraient également au niveau du contact entre les filons de microgranite et les schistes.

L'eau des sources d'Amélie-les-Bains est donc d'origine météorique. Il s'agit d'eau qui percole en profondeur depuis la surface puis qui remonte grâce au gradient hydraulique lié au fait que l'altitude de l'impluvium est supérieure à celle de la zone d'émergence. Ceci est confirmé par l'existence d'émergences de type « artésien » (au sens où l'eau jaillit à la source sous l'effet de la pression).

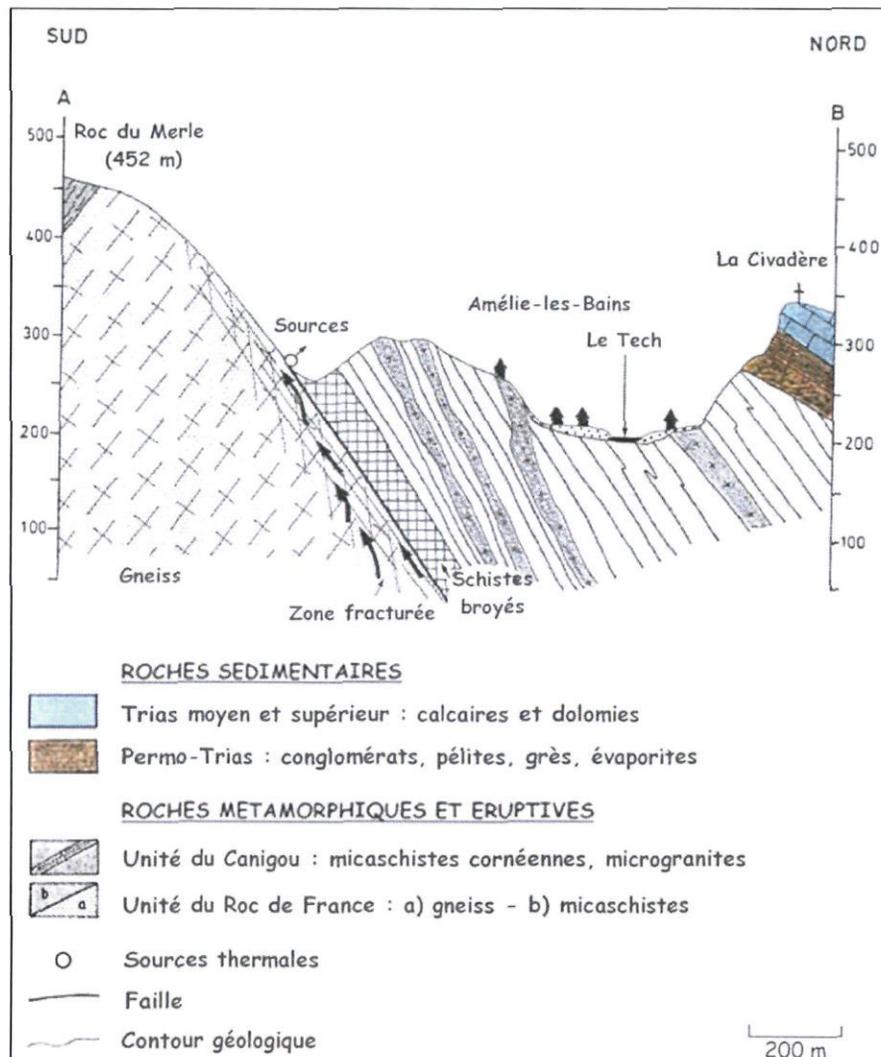


Illustration 12 : Coupe hydrologique du secteur d'Amélie-les-Bains  
(Rapport BRGM 83 SGN 324 LRO)

Les auteurs s'accordent sur le fait que les sources d'Amélie-les-Bains ont une origine commune car celles-ci ont des minéralisations quasiment identiques. La température à laquelle les eaux acquièrent cette minéralisation est probablement supérieure à 100°C. Leur temps de transfert n'est pas connu avec précision, même s'il dépasse probablement largement la cinquantaine d'années. Ces questions seront plus précisément abordées au §3.2.2.

On peut considérer, en résumé que des imprécisions demeurent sur le schéma hydrothermal global (sa géométrie), notamment si des hypothèses d'ouvrages complémentaires devaient être précisées. Une meilleure compréhension de l'hydrosystème serait ainsi pertinente.

**Une meilleure caractérisation hydrogéologique de l'hydrosystème thermal constitue une piste de progrès au titre de la démarche qualité pour la ressource thermique d'Amélie-les-Bains**

## 3.2. LE FLUIDE THERMAL

### 3.2.1. La ressource exploitée

Une quinzaine de sources sont recensées sur la commune d'Amélie-les-Bains (Illustration 13).

L'eau exploitée dans l'établissement thermal de la Chaîne Thermale du Soleil (CTS) correspond à un mélange entre l'eau du forage « Le Couchant » et l'eau du mélange « Le Vallon » constitué des sources « Alcaline », « Amélie », « Anglada », « Arago », « Ascentionnelle », « Concorde », « En Cômes », « Fanny », « Galerie », « Parès », « Petit Escaladou » et « Petit Monjolet ».

Les sources appartenant à la municipalité (« Gros Escaladou », « Marché » et « Rénale ») ne sont actuellement pas exploitées.

Il existe également 3 autres sources actuellement abandonnées et de débit à priori très faible :

- la source « Chomel » : captage très ancien, situé dans les thermes et inaccessible ;
- la source « Pascalonne » : émerge au-dessus du lit du Mondony et s'écoule dans un bassin cimenté avant d'être rejetée dans le torrent ;
- la source « Grand Monjolet » : située dans le prolongement des sources des anciens thermes romains, à 50 m au sud-ouest de la source Petit Escaladou.

L'ensemble de ces sources peut être séparé en deux groupes du point de vue topographique et de l'éloignement par rapport au lit du Mondony (Illustration 13). Le premier groupe est constitué des sources les plus éloignées et situées en position perchée par rapport au Mondony (anciens thermes romains) et le second par celles situées en bordure du Mondony (anciens thermes Pujade).

Les principales caractéristiques des sources sont regroupées et présentées sur l'illustration 14. Les débits du groupe de sources situé en position perchée par rapport au Mondony sont stables en première approximation et représentent la majeure partie du débit cumulé des émergences reconnues sur la commune d'Amélie (Poul 1983 indique ainsi que les sources Concorde, Petit Escaladou et Gros Escaladou représentent les deux tiers du débit total des sources d'Amélie). A l'inverse, le débit cumulé des émergences situées à proximité du Mondony est faible (sauf pour la source Arago) et variable. Le groupe des sources en position perchée serait ainsi situé dans une zone de fracturation plus importante, qui lui conférerait une meilleure relation hydraulique avec le gisement thermal, que celui situé près du Mondony.

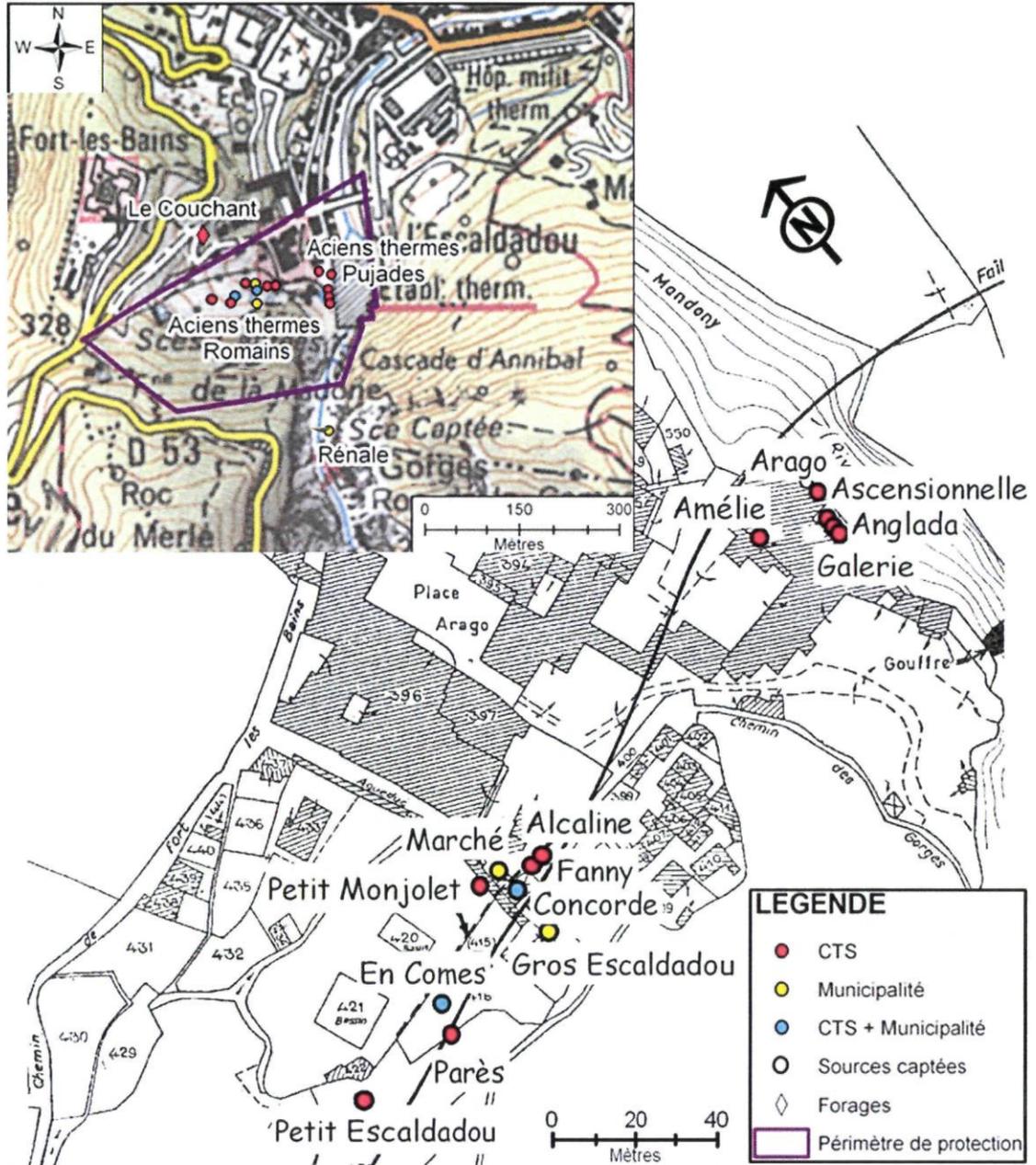


Illustration 13 : Situation des sources captées et forages d'eau thermale d'Amélie-les-Bains, la faille du Vallespir est indiquée par la courbe noire.

	SOURCES	NUMERO BSS	COORDONNEES LB2E		ALTITUDE (m)	DEBIT (m3/j) (d'après arrêté)	DEBIT MOY OBS (m3/j) (d'après Poul, 1983)	TEMP. (°C) (d'après arrêté)	DESCRIPTIF DES CAPTAGES (Extrait des arrêtés si non visités)
			X	Y					
Chaîne Thermale du Soleil	Alcaline	11002X0024/SAME	627150,4	1718440,5	247	65	39,4+/-33,1	60,8	Emergent dans 2 bassins distincts mais contigus, creusés dans les parois de la chambre des vannes, de construction très ancienne.
	Fanny	11002X0019/SAME	627150,4	1718439,5	247	32	50,4+/-22,2	61,4	
	Amélie	11002X0025/SAME	627236,6	1718489,7	233	28	26,4+/-17,8	50,8	Griffon situé à la base d'une paroi rocheuse dans le fond d'une cavité formant un bassin de 1.80m sur 2.45m et 20cm de profondeur.
	Anglada	11002X0026/SAME	627247,7	1718486,6	226	15	15,6+/-7,9	56,7	Emergent de la paroi rocheuse dans la "piscine des hommes" des thermes Pujades.
	Galerie	11002X0030/SAME	627248,7	1718485,6	226	1,3	5,3+/-4,6	52	
	Arago	11002X0027/SAME	627248,7	1718496,7	223	138	111,4+/-44,6	59	Source captée dans un caisson de briques, sous la maçonnerie du bâtiment des Thermes Pujades. A la sortie du caisson, une vanne de vidange, placée en contrebas permet d'isoler la source.
	Ascentionnelle	11002X0028/SAME	627247,7	1718486,6	225	18	9,4+/-13,2	52	Émerge de la paroi rocheuse constituant le fond de la piscine des hommes des thermes Pujades par l'intermédiaire d'un caisson étanche.
	Parès	11002X0020/SAME	627120,4	1718401,4	257	26	27,1+/-4,6	55,2	Captée à l'intérieur d'une cavité rocheuse, située à environ 16m en amont de la source "En Cômes". Le captage est assuré par un tuyau de plomb de 30mm de diamètre empruntant une petite galerie débouchant perpendiculairement dans la galerie technique principale.
	Petit Escaladadou	11002X0022/SAME	627099,3	1718398,4	262	163	146,4+/-21,2	63	Petit ouvrage en béton de construction ancienne situé sous une dalle scellée à l'intérieur d'une niche située au flanc de la colline. Une canalisation en fonte de 80mm, munie au départ d'un robinet à boisseau, aboutit à un bassin de stockage.
	Petit Monjolet	11002X0023/SAME	627139,4	1718432,5	249	78	64,1+/-60	57,6	Émergence située sur la paroi sud de la galerie technique. Eau captée dans un bassin de béton étanche de 50 litres environ, équipé d'une canalisation galvanisée, aboutissant au bassin de stockage.
Forage Le Couchant	11002X0015/SAME	627194,5	1718518,7	284		13	65,5	Forage de 167m de profondeur.	
Municipalité	Gros Escaladadou	11002X0052/SAME	627144,44	1718413,44	263	553	507,1+/-17,9	60,1	Source émergeant au niveau d'une cassure verticale orientée nord-sud. Une rigole de 5m de longueur et de 30cm de profondeur creusée pour prolonger la cassure vers le nord, aboutit à un bassin cubique de 0.75m de côté dans un abri fermé par une porte cadénacée.
	Marché	11002X0053/SAME	627309,77	1718444,95	249	33	36+/-0	57,9	Émergence située sous la rue du Rentador, dans une niche aménagée dans une galerie technique. Bassin de captage recouvert par une dalle en béton.
	Rénaie	11002X0054/SAME	627405,6	1718191,67	262		30,7+/-2,9	40,7	Griffon localisé au fond d'une galerie de 7.7m, creusée au flanc d'une falaise de 60m de hauteur. Sol de la galerie nivellé pour éviter la pénétration des eaux météoritiques et l'accès de la galerie est protégé par une grille métallique.
CTS + Municipalité	Concorde	11002X0016/SAME	627310,8	1718439,5	252		312,2+/-26	59,5	Bassin de captage profond d'un mètre et de section rectangulaire, protégé par une dalle en béton. Eau captée par un tuyau PVC de 160mm de diamètre et d'environ 3.5m de long dans un répartiteur, situé dans un local construit à cet effet, immédiatement à l'aval du captage.
	En Cômes	11002X0017/SAME	627278,8	1718435,5	254		54,5+/-12,1	52,6	Bassin de captage constitué par une cavité de 1.6m de haut encastrée dans la falaise. Un plaque verticale de 0.5m de côté en ferme l'accès. L'eau du griffon tombe en cascade dans le bassin de captage d'où part une canalisation en PVC de 50mm de diamètre.

Illustration 14 : Caractéristiques des sources et forages (d'après Poul (1983 et 1984), CFT (1989) et arrêtés d'autorisation d'exploitation) à Amélie-les-Bains.

### 3.2.2. Caractérisation physico-chimique de la ressource

Les eaux d'Amélie-les-Bains sont de type bicarbonatées-sodiques, sulfurées et hyperthermales (fluorées). Leurs caractéristiques physico-chimiques principales, telles que présentées dans leurs arrêtés d'autorisation, sont synthétisées dans le tableau de l'illustration 15.

CAPTAGES	T° (°C)	Conductivité (%S/cm)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca	Na	Chlorures	Sulfates
			mg/l				
Alcaline	60.8	462	105.2	2.4	102	26.9	36.0
Amélie	50.8	442	106.3	2.2	100	25.5	34.0
Anglada	56.9	444	102.3	1.7	101	26.5	29.0
Arago	59.0	440	101.6	2.3	100	27.5	29.5
Ascentionnelle	52.5	435	107.5	2.2	102	27.5	30.5
Concorde	59.5	444	112.3	2.1	99	28.3	29.0
En Cômes	52.6	444	114.8	2.1	99	27.0	37.0
Fanny	60.8	462	105.2	2.4	102	26.9	36.0
Forage Le Couchant	65.5	464	98.5	2.4	102	29.6	37.6
Galerie	52.2	447	105.8	2.2	101	26.5	27.8
Gros Escaldadou	60.1	450	101.3	3.5	98	26	32.0
Marché	57.9	442	118.1	2.5	100	29.2	30.7
Parès	55.3	439	111.2	2.0	99	27.0	30.5
Petit Escaldadou	63.0	444	105.5	2.1	98	28.0	31.8
Petit Monjolet	57.6	441	98.85	2.2	99	26.0	33.0
Rénale	40.8	437	113.5	2.3	100	25.2	33.8

Illustration 15 : Principales caractéristiques chimiques des captages d'Amélie-les-Bains (extrait des arrêtés d'autorisation)

Ce tableau montre que les minéralisations de toutes les sources sont très proches et que les températures des sources les plus basses et proches du Mondony sont globalement plus faibles.

A partir d'une synthèse des analyses chimiques disponibles dans les différents rapports réalisés et des données de surveillance bancarisées sous ADES et par l'ARS (Annexe 2), une analyse descriptive des eaux émergeant à Amélie-les-Bains a été réalisée, dans le but de préciser les connaissances sur leur origine et leur temps transfert. Un total de 52 résultats d'analyses a ainsi pu être constitué. La caractérisation recherchée ici passe par l'interprétation de diagrammes binaires qui permettent la comparaison d'informations apportées par deux éléments chimiques. Cette comparaison permet d'identifier des pôles géochimiques et de mettre en évidence des processus de mélange, lorsqu'ils existent. Elle permet en outre d'approcher l'identification des processus qui contribuent à expliquer les minéralisations observées.

De manière à identifier les éléments à utiliser pour la comparaison à l'aide des diagrammes binaires, une Analyse en Composantes Principales (ACP<sup>3</sup>) a été réalisée sur les échantillons considérés. L'ACP permet d'étudier les ressemblances entre les eaux échantillonnées en considérant l'ensemble des éléments chimiques analysés et de dégager des profils. Elle permet également de réaliser un bilan des relations linéaires entre variables à partir de leurs coefficients de corrélation.

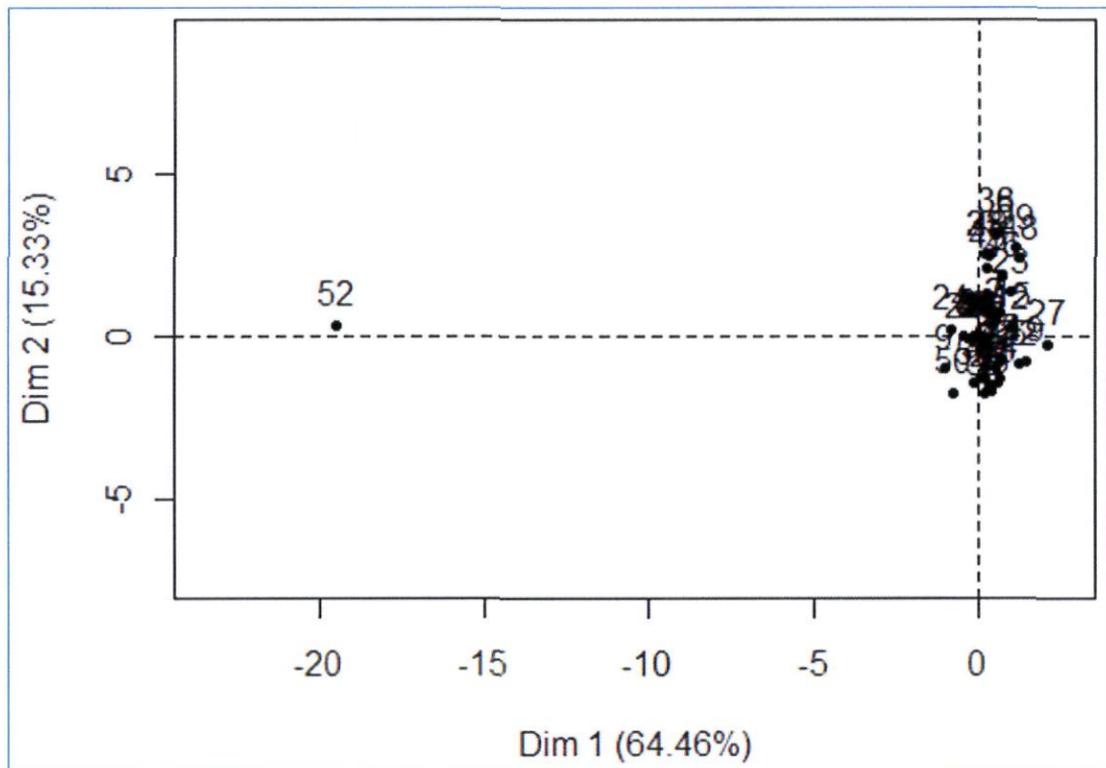


Illustration 16 : ACP – Projection des 52 échantillons analysés dans le plan factoriel 1-2.

La projection des échantillons retenus dans le plan principal de l'ACP (Illustration 16) permet de montrer la différence de signature entre les eaux de surface (échantillon n°52 – cf. Annexe 2) utilisées pour servir de référence et les eaux thermales des différentes sources d'Amélie-les-Bains. Cette projection confirme le caractère homogène de la minéralisation des sources étudiées et la quasi-absence de phénomènes de mélange avec les eaux de surface.

<sup>3</sup> 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 de nouvelles variables indépendantes les unes des autres (donc « non corrélées »). Ces nouvelles variables sont nommées « Composantes Principales » (CP), ou axes et 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 des données décrites par un grand nombre de variables quantitatives, des représentations planes (et donc interprétables visuellement) dans lesquelles on positionne les données étudiées. Pour cela, on projette ces données sur des plans factoriels, chaque plan étant défini par une paire de Composantes Principales prises les premières CP (qui expliquent le maximum de variance).

Les deux dimensions sur lesquelles les échantillons sont projetés suffisent à décrire la totalité des échantillons considérés puisqu'à elles deux, elles couvrent presque 80% (64,46 + 15,33) de leur variance totale.

L'illustration 17 permet de vérifier que l'axe de la dimension 1 est bien celui sur lequel se décrit la minéralisation de l'eau, puisqu'il associe la température, le pH et les teneurs en Fluor, SiO<sub>2</sub>, Ca<sup>(2+)</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>(2-)</sup> et Bore. Cette illustration permet de montrer qu'une diminution de la minéralisation de l'eau (par mélange avec de l'eau de surface par exemple) se traduit également par une augmentation de la signature en Calcium, qui s'oppose à toutes les autres. On constate aussi que la minéralisation peut avoir deux signatures différentes en termes de teneurs en sulfates, silicates et bicarbonates, suivant que l'on se situe au-dessus ou au-dessous de l'axe 1. Ce phénomène, qui est contrôlé par le pH des eaux, se traduit par la prépondérance des ions CO<sub>3</sub><sup>(2-)</sup> sur les HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> du fait du caractère basique des eaux.

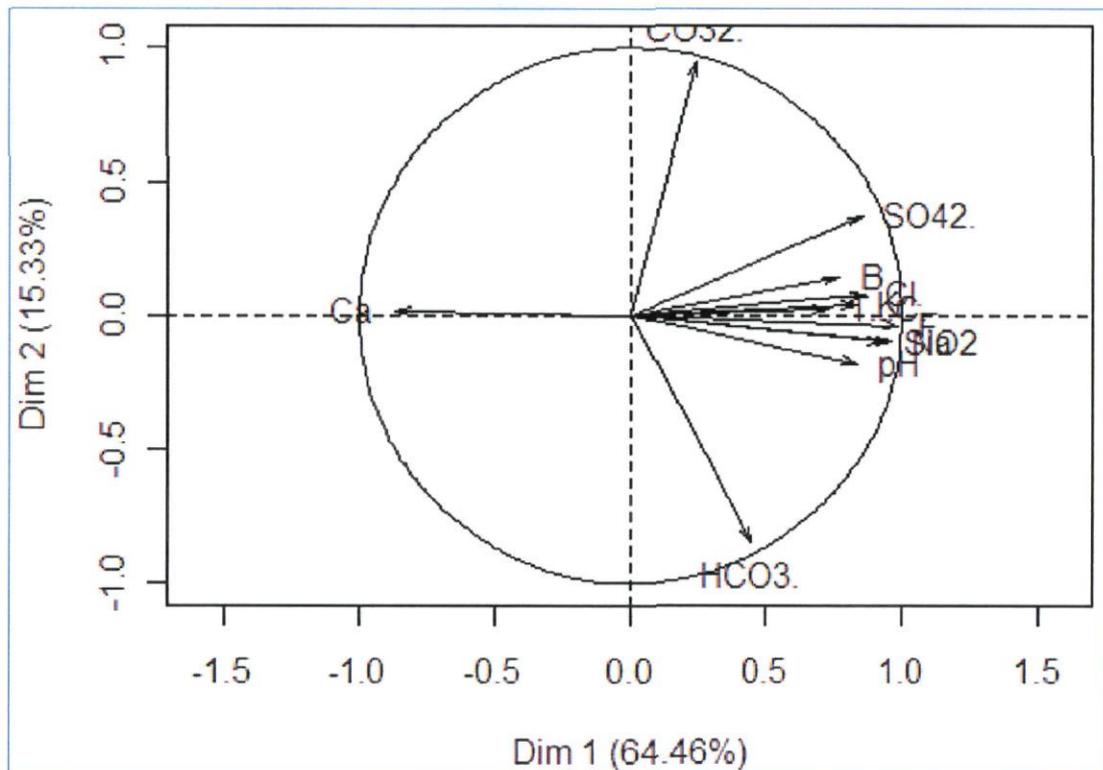


Illustration 17 : ACP – projection sur les axes 1 et 2 des éléments chimiques analysés sur les 52 échantillons (Temp (°C), pH et teneurs en Fluor, SiO<sub>2</sub>, Ca<sup>(2+)</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, CO<sub>3</sub><sup>(2-)</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>(2-)</sup> et Bore).

L'ACP a ainsi permis de sélectionner les couples de traceurs pertinents à représenter dans des diagrammes binaires pour tenter d'en retirer des informations complémentaires sur l'origine de la minéralisation des eaux échantillonnées. Ainsi, il apparaît intéressant de comparer dans un premier temps le calcium et les silicates à la température des échantillons, en différenciant les eaux situées en position perchée par rapport au Mondony (haut), de celles situées à proximité (bas) du cours d'eau (Illustration 18).

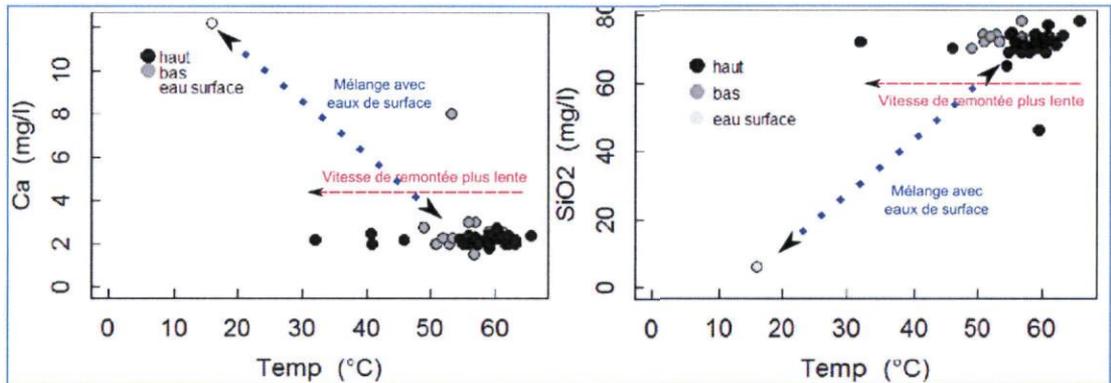


Illustration 18 : Teneurs en calcium et en silicates des eaux échantillonnées en fonction des températures des eaux et de leur position perchée (haut) ou proche (bas) du Mondony.

L'illustration 18 confirme que les eaux des sources d'Amélie ont un gisement unique puisque l'on constate que quelle que soit leur température, les teneurs en calcium et en silicates sont globalement constantes. Si l'on vérifie que les eaux des sources perchées (haut) sont globalement plus chaudes que celles situées à proximité du Mondony (bas), leur minéralisation est globalement similaire et ne présente pas de signes de mélange avec les eaux de surface dont la signature est bien différente. Les silicates sont tout de même un peu moins bien corrélés avec la température que le calcium, ce qui peut s'expliquer par le pH des eaux, dont le caractère basique peut provoquer l'ionisation de la silice (qui n'est alors plus visible sous forme de silicate).

L'illustration 19 permet de confirmer le caractère protégé des eaux émergentes au niveau des sources par rapport aux eaux superficielles, puisque l'on constate que les eaux des sources sont fortement enrichies en sodium et en chlorures par rapport aux eaux de surface. Cet enrichissement se traduit par une minéralisation en sodium constante (ce qui veut dire que l'eau a été saturée en sodium en profondeur au contact de minéraux qui en contiennent), alors qu'elle est plus variable en termes de chlorures.

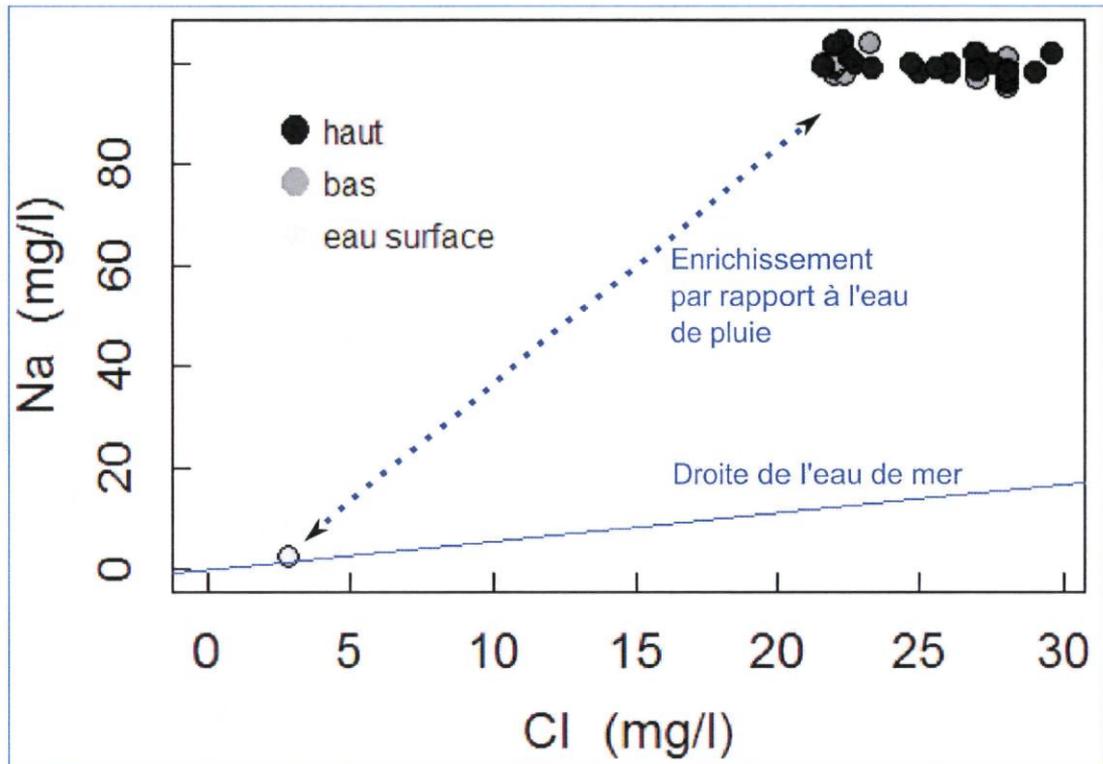


Illustration 19 : Teneurs en sodium des eaux échantillonnées en fonction des teneurs en chlorures et de leur position perchée (haut) ou proche (bas) du Mondony. La position de eaux de recharge sur la droite de dilution de l'eau de mer est également reportée.

Ainsi, le résultat du traitement par ACP et des diagrammes binaires permet de confirmer l'absence de phénomènes de mélange entre les eaux émergentes et les eaux de surface et le caractère homogène de la minéralisation des eaux, quelle que soit leur position et l'altitude de leur émergence. Ceci confirme par ailleurs que les différences de température au niveau des sources ne sont pas dues à un mélange avec des eaux froides, mais bien par une remontée plus ou moins rapide des eaux depuis leur gisement profond. Ainsi, le fait d'avoir globalement des eaux plus chaudes en position perchée par rapport au Mondony traduit bien des connexions hydrauliques plus favorables qu'au voisinage de la faille du Vallespir. Il convient cependant de remarquer que des différences mineures s'observent en termes de minéralisation des eaux, qui, même si elles ne sont pas reliées à leur altitude d'émergence mériteraient d'être explorées de manière plus détaillée.

### 3.2.3. Caractérisation isotopique de la ressource

Comme pour les analyses chimiques, une synthèse des analyses isotopiques disponibles dans les différents rapports réalisés et des données de surveillance bancarisées sous ADES a été réalisée (Annexe 3).

Parmi les isotopes<sup>4</sup> analysés, il apparaît intéressant de décrire le comportement des isotopes du strontium, de l'oxygène et du deutérium d'une part, pour leur qualité de marqueurs des relations eau-roche et celui des isotopes du tritium et du carbone 14 d'autre part, pour estimer le temps de résidence des eaux dans le système.

L'analyse du comportement des isotopes du strontium des différentes eaux échantillonnées en fonction du rapport des teneurs en sodium et en strontium (Illustration 20) confirme le caractère homogène de la minéralisation des eaux des sources échantillonnées. Cette illustration montre aussi le caractère spécifique de cette minéralisation par rapport à celle d'autres sources connues dans la région.

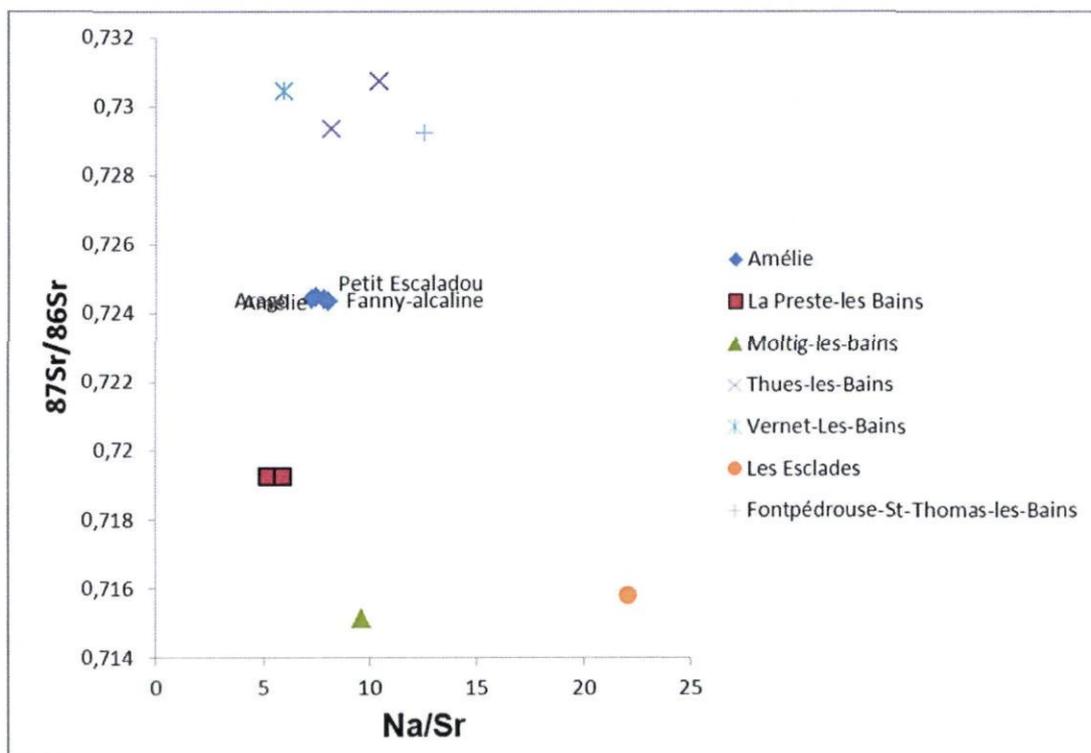


Illustration 20 : Comparaison des valeurs du rapport isotopique du strontium au rapport des teneurs en sodium et strontium pour les eaux d'Amélie les Bains échantillonnées.

<sup>4</sup> Les réactions chimiques sont gouvernées par les électrons présents dans les éléments chimiques. Cependant, pour un même élément, le nombre de neutrons qui le constituent est variable. Ainsi, tous les atomes appartenant au même élément mais de masses différentes (du fait de leur nombre de neutrons variable), sont appelés « isotopes » de cet élément. Les propriétés physiques des éléments diffèrent selon les isotopes, car les effets de la masse sont alors influents. Certains sont stables (strontium, deutérium, oxygène), alors que d'autres sont instables et se désintègrent en émettant un rayonnement (tritium, carbone<sup>14</sup>).

Les isotopes stables de la molécule de l'eau (oxygène<sup>18</sup> et deutérium) sont des traceurs très intéressants pour décrire les processus qui affectent l'eau au cours de son cycle hydrologique<sup>5</sup>.

Les eaux d'Amélie présentent des valeurs en deutérium comprises entre -56,8 et -66,2 ‰ et en oxygène<sup>18</sup> comprises entre -8,75 et 9,23 ‰, qui leur donne un caractère globalement moyen pour ces isotopes en comparaison des autres sources de la région (Illustration 21). Krimissa (1993) a estimé un gradient d'évolution des teneurs en oxygène<sup>18</sup> et en deutérium en fonction de l'altitude :

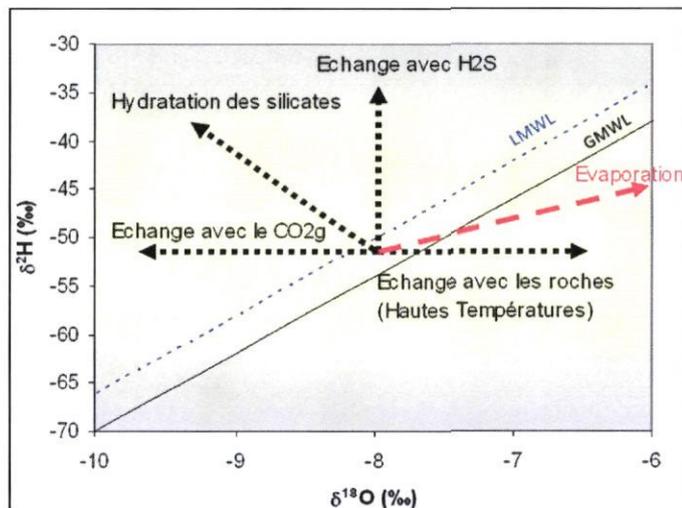
- 
- 

Sur la base de ce gradient, il a estimé que l'altitude de l'impluvium des eaux qui émergent à Amélie serait comprise entre 1100 et 1200 m.

<sup>5</sup> **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 :  $\delta 2H = 8 \cdot \delta 18O + 10$  ; couramment appelée droite mondiale des eaux météoriques.

Sous certaines conditions (temps de résidence élevé, faible rapport Eau/Roche, température élevée du réservoir, échange avec le CO<sub>2</sub>), 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 (<sup>18</sup>O, <sup>2</sup>H) 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.

Cette estimation est plausible étant donné que les eaux d'Amélie ne subissent pas de phénomènes de mélange, qui pourraient perturber le signal isotopique. Cependant, le fait que les sources du Petit Escaladou et de Fanny-Alcaline se positionnent à droite de la droite des pluies sur l'illustration 21 indique que ces eaux ont subi une interaction avec les roches à des températures largement supérieures à 100°C. Krimissa (1993) a ainsi proposé une température de l'ordre de 110°C en utilisant le géothermomètre à SiO<sub>2</sub> (quartz). Il est cependant possible que cette valeur soit sous-estimée dans la mesure où, comme nous l'avons vu dans le commentaire de l'illustration 18, le caractère basique de l'eau d'Amélie-les-Bains est susceptible de provoquer l'ionisation du SiO<sub>2</sub>, dont la teneur réelle serait alors sous-estimée.

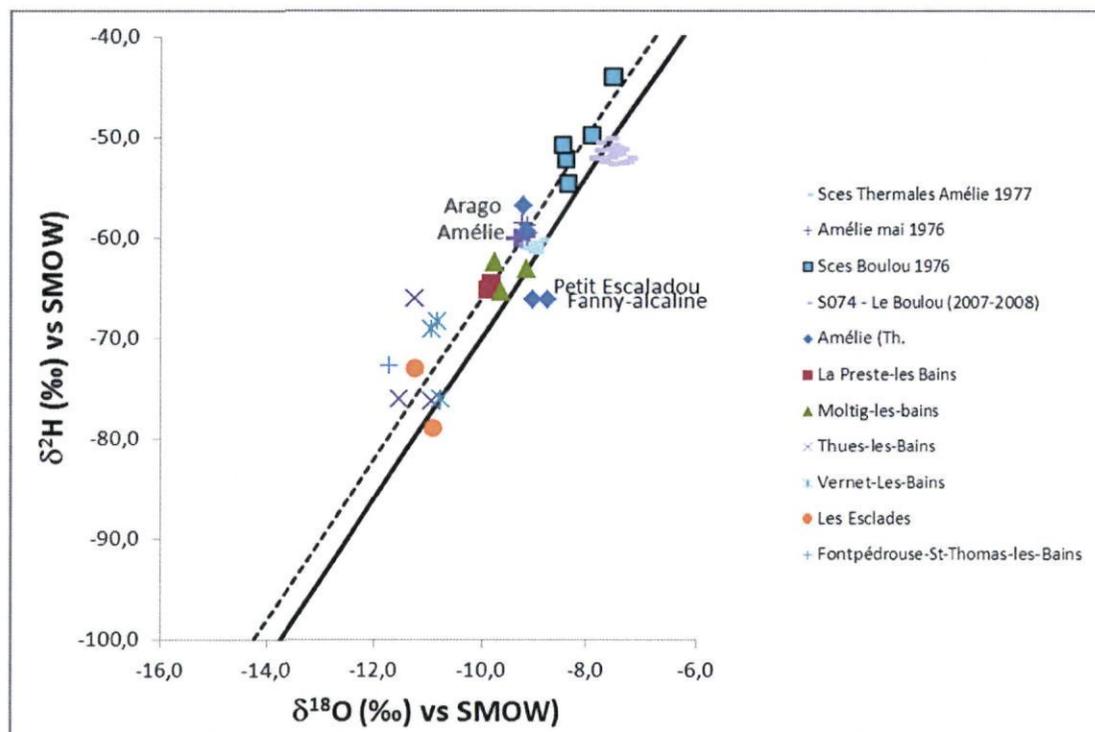


Illustration 21 : Comparaison de la relation Deutérium/Oxygène18 pour les sources d'Amélie-les-Bains avec celle d'autres sources situées dans la région.

L'isotope tritium de la molécule d'eau est fréquemment utilisé comme géochronomètre pour dater les eaux ( $^3\text{H}$ , isotope radioactif de période courte de 13.32 ans). C'est un marqueur des masses d'eau contemporaines. En effet, une production artificielle s'est ajoutée à la production naturelle<sup>6</sup> au cours des essais thermonucléaires aériens qui ont eu lieu pendant la période 1952-1963. Ces essais ont contribué à augmenter les teneurs en tritium dans l'atmosphère et donc dans les précipitations. Cet événement est donc utilisé pour différencier les eaux souterraines qui résultent des précipitations sans tritium nucléaire (avant 1952), des eaux qui ont précipité après ces essais (teneurs beaucoup plus importantes). La présence de tritium dans une eau souterraine indique donc une alimentation récente (après les essais thermonucléaires). La plupart des sources d'Amélie échantillonnées présentent des teneurs en tritium nulles, ce qui indique qu'elles datent d'avant 1950. Seule la source d'Amélie présente des teneurs non nulles en tritium, couplées à une température légèrement inférieure à celle des autres sources à la date de l'échantillonnage. Cependant, la teneur observée étant très faible et correspondante à une température un peu plus basse que les autres, la présence de tritium pourrait tout aussi bien être liée à une pollution ponctuelle d'eau de surface par un effet « zone d'émergence » (circulation hétérogènes d'eaux superficielles dans les secteurs d'émergence).

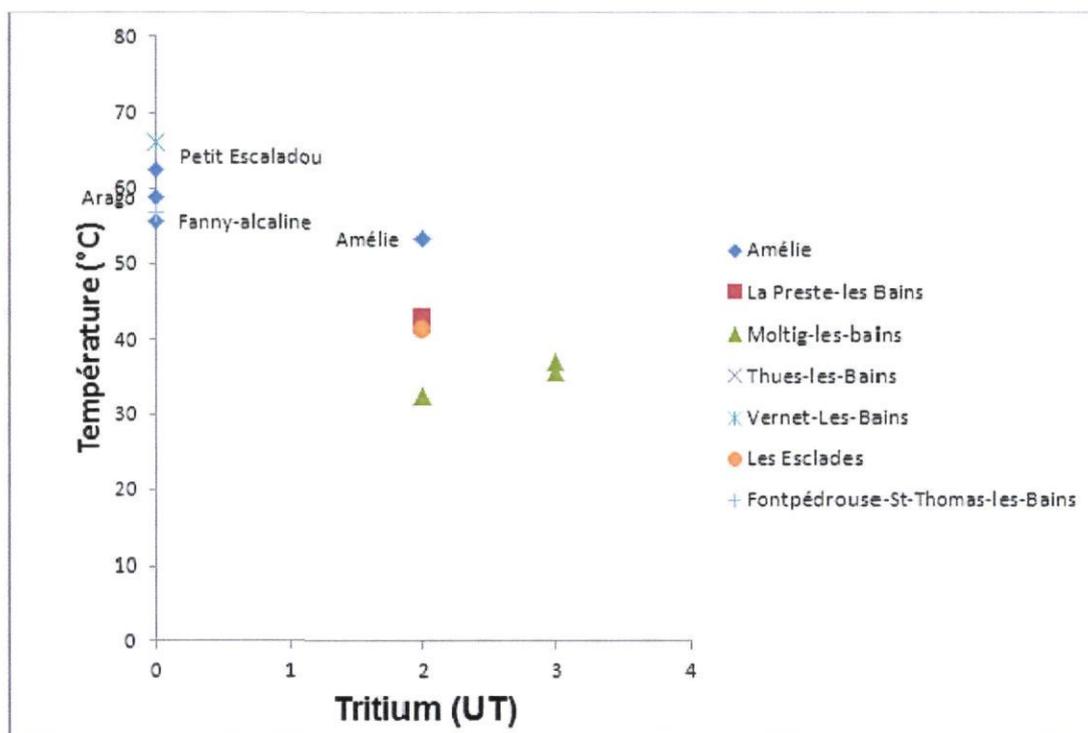


Illustration 22 : Comparaison de la relation Température/Tritium pour les sources d'Amélie-les-Bains avec celle d'autres sources situées dans la région.

<sup>6</sup> Production naturelle de 1 atome de  $^3\text{H}$  pour  $10^{18}$  atomes de  $^1\text{H}$ .

L'activité en carbone<sup>14</sup> des sources d'Amélie (seulement Fanny-Alcaline et Petit Escaladou ont été échantillonnées ici) est parmi les plus faibles en comparaison des sources thermales de la région. Ces très faibles activités <sup>14</sup>C des eaux laissent suggérer des temps de résidence de plusieurs milliers d'années. Le calcul du temps de séjour n'a pas été abordé dans le cadre de cette synthèse. Pour mener à bien ce calcul, il est nécessaire de vérifier le modèle géochimique basé sur la minéralisation initiale des eaux en carbone dissous et l'équilibration partielle avec le CO<sub>2</sub> du sol et des carbonates de la matrice minérale. La détermination du temps de séjour des eaux par l'utilisation des isotopes du carbone constitue ainsi un axe de progrès intéressant.

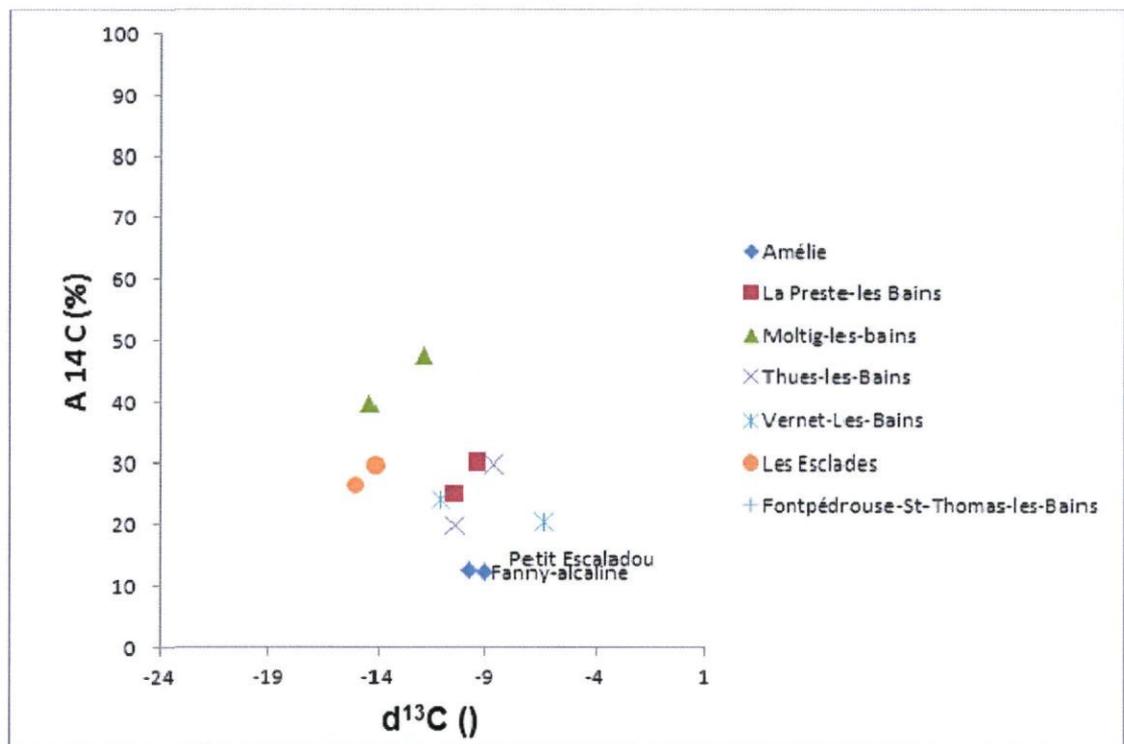


Illustration 23 : Comparaison de la relation Carbone<sup>14</sup>/Carbone<sup>13</sup> pour les sources d'Amélie-les-Bains avec celle d'autres sources situées dans la région.

### **3.3. LA MISE EN PRODUCTION – LES EQUIPEMENTS**

#### **3.3.1. Ouvrages exploités par la commune : Gros Escaldadou et Marché**

La commune d'Amélie-les-Bains souhaite utiliser l'eau thermale des sources Gros Escaldadou et Marché dans le cadre d'un projet de centre thermoludique. Une nouvelle demande d'autorisation d'exploiter dans laquelle des données de suivi doivent être présentes devra être déposée (les anciennes étant caduques).

Dans un premier temps, une réfection des locaux de captages a été réalisée et les deux sources ont été équipées de dispositifs de suivi en continu (équipements de mesure et d'enregistrement de la température, de la conductivité, du volume et du débit). Des photos avant et après ces travaux sont présentées en Annexe 4.

Le suivi réglementaire visant à obtenir l'autorisation d'exploiter les deux sources a commencé fin août 2010 et s'est déroulé sur une année. Les paramètres suivants ont été suivis à un pas de temps horaire : température, débit, conductivité (Illustration 24 et Illustration 25).

Le suivi montre que les deux sources ont un comportement globalement stable. Cependant, lors de forts événements de précipitation, des apports d'eau de surface sont ponctuellement observés, qui augmentent le débit et provoquent des baisses de température et de conductivité. Le retour à l'équilibre suite à ces perturbations ne prend généralement pas plus de quelques jours.

Les observations disponibles grâce au suivi ont cependant rapidement montré qu'il était nécessaire d'améliorer la protection des captages vis-à-vis des apports d'eau de surface. C'est la raison pour laquelle d'importants travaux ont été réalisés en juin 2011 sur la source Gros Escaldadou pour assurer une meilleure protection du captage.

Les travaux suivants ont ainsi été réalisés par une entreprise spécialisée :

- terrassement au-dessus du captage et évacuation des anciennes dalles de couverture ;
- creusement de la fissure découverte au-dessus du captage ;
- mise en place de ferrailage dans la fissure et au-dessus du captage ;
- mise en place d'un drain amont pour évacuer latéralement les eaux pluviales de ruissellement provenant des pentes supérieures ;
- réalisation du bétonnage de la fissure et de la dalle de couverture.

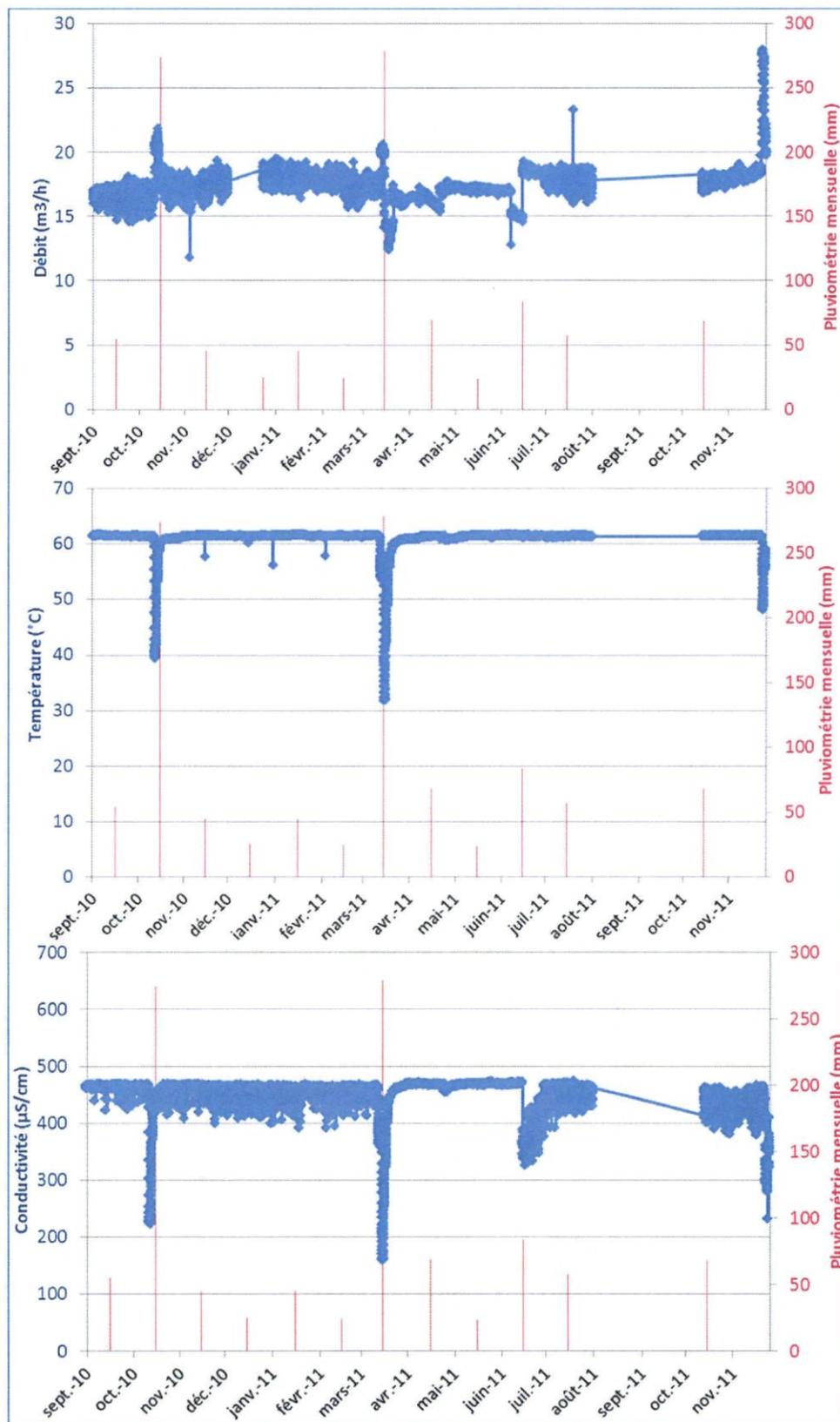


Illustration 24 : Suivi en continu du débit, température et conductivité de Gros Escaldadou.

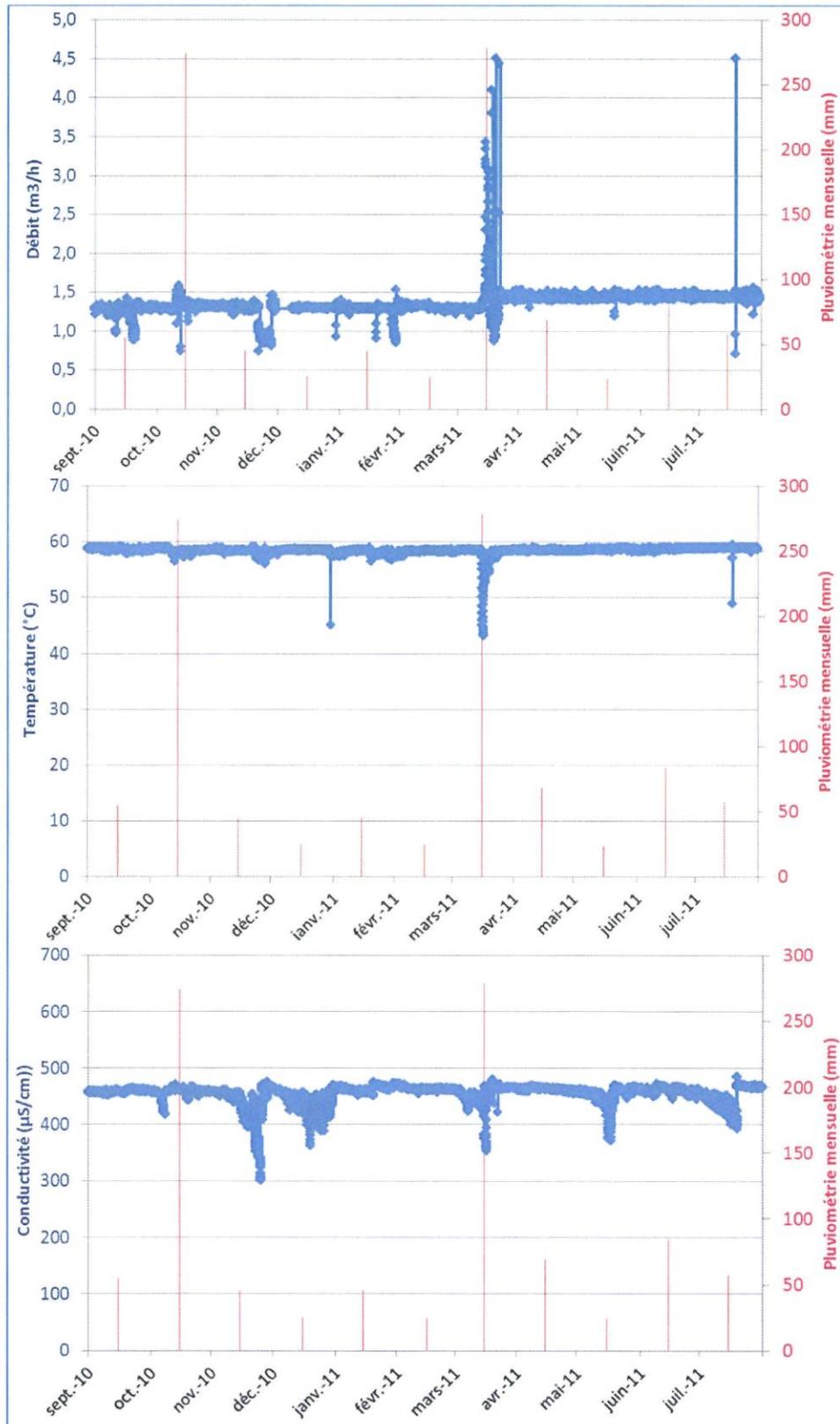


Illustration 25 : Suivi en continu du débit, température et conductivité de la source du Marché.

L'illustration 26 présente des photos de l'état du dessus du captage avant et après les travaux. Des photos supplémentaires prises lors des travaux sont présentées en Annexe 5.



Illustration 26 : Photos du dessus du captage Gros Escaldadou avant et après les travaux

Les travaux réalisés améliorent grandement la protection des captages vis-à-vis des apports d'eau de surface. Le comportement de la source du Gros Escaldadou lors des épisodes importants de novembre 2011 (Illustration 24) montre cependant que des apports d'eau de surface subsistent, dont il faudra tenter de déterminer l'origine.

Toujours dans le cadre du suivi réglementaire, les deux sources ont également fait l'objet d'analyses chimiques et bactériologiques une fois par mois durant la période du suivi en continu.

L'illustration 27 et l'illustration 28 présentent les analyses effectuées sur les captages Gros Escaldadou et Marché pour la température, la conductivité, le TAC (Titre alcalimétrique complet), le calcium, le sodium, les chlorures et les sulfates.

On observe que les différents paramètres surveillés sont relativement stables au cours de l'année de suivi pour les deux captages. Au niveau bactériologique, aucune anomalie ou contamination n'a eu lieu durant ce suivi (absence notamment d'Escherichia coli, d'Entérocoques, de Pseudomonas).

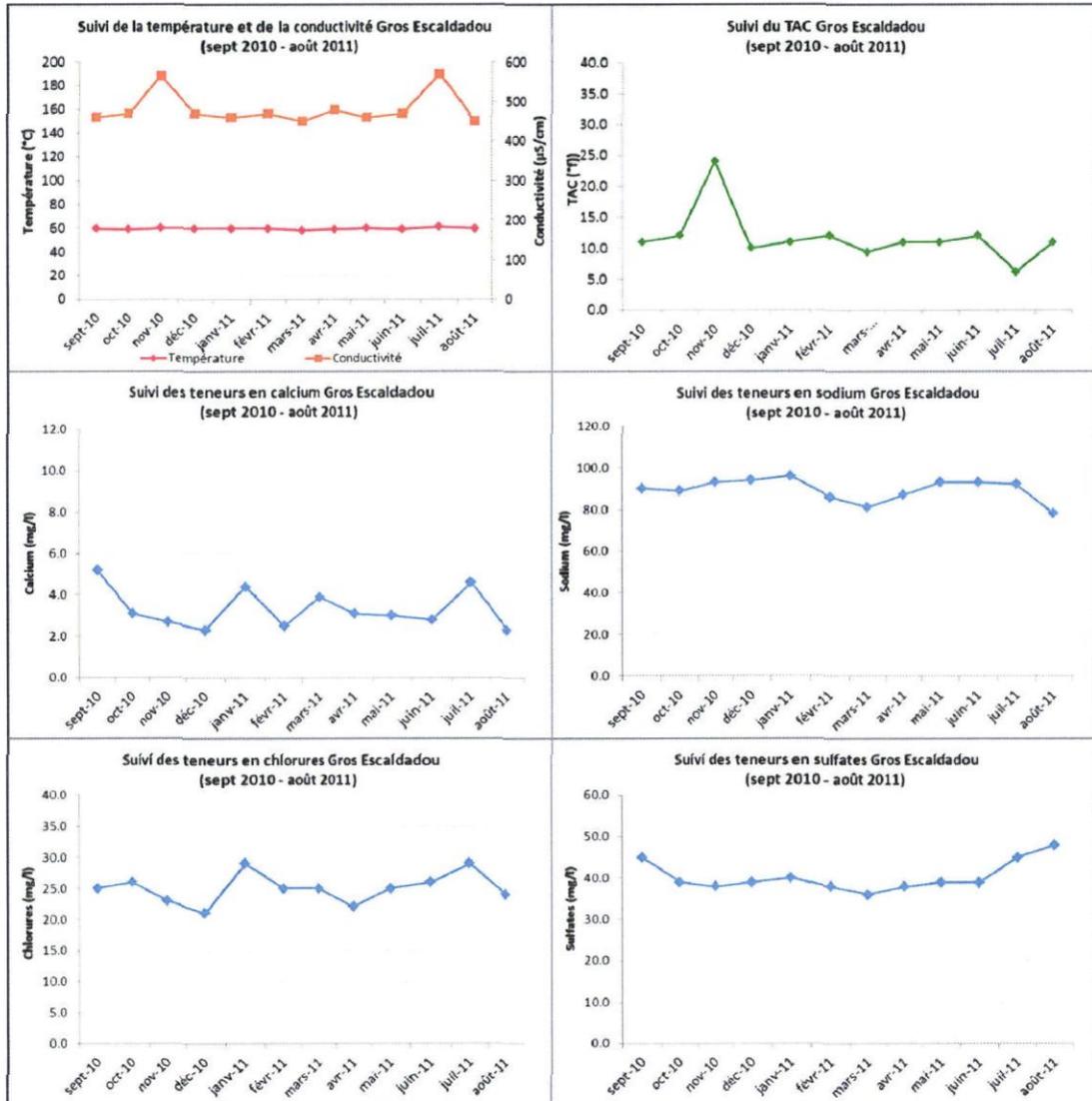


Illustration 27 : Analyses effectuées sur 1 an sur le captage Gros Escaldadou

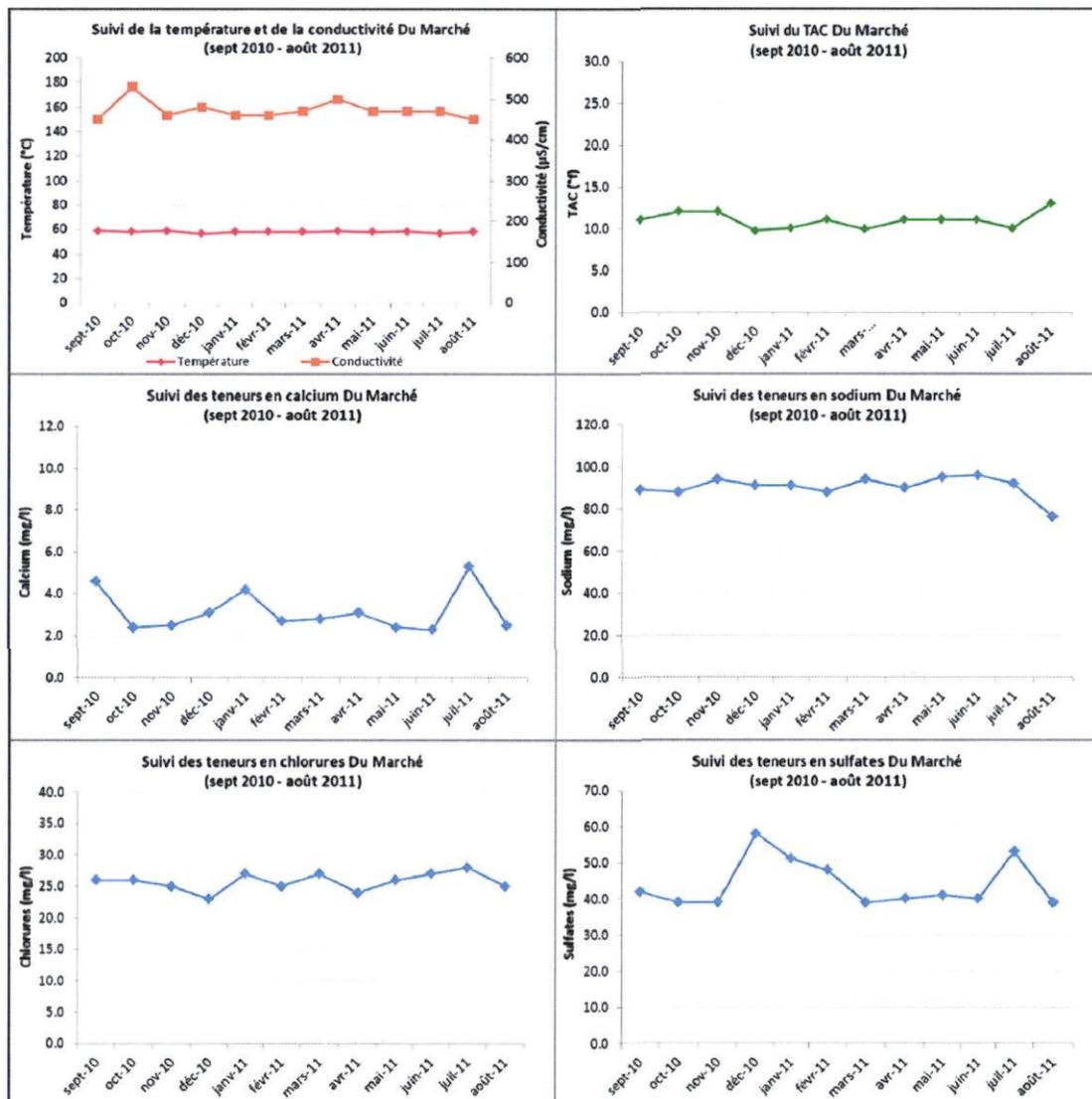


Illustration 28 : Analyses effectuées sur 1 an sur le captage Du Marché

Il convient de noter que pour l'alimentation de son nouveau centre thermoludique, la mairie d'Amélie-Les-Bains ne dispose pas d'ouvrage de secours. En conséquence, une réflexion sur les possibilités de capter en profondeur une ressource mieux sécurisée que l'émergence actuelle mériterait d'être menée pour le site.

**La sécurité d'approvisionnement en eau thermale du site d'Amélie-Les-Bains (création d'un ouvrage de secours) constitue une piste de progrès au titre de la démarche qualité pour la ressource en eau thermale du site.**

### 3.3.2. Ouvrages exploités par la CTS

L'accès aux ouvrages de la CTS et aux documents concernant leur exploitation n'ayant pas été possible, seul des éléments techniques concernant le forage « Le Couchant » (indice BSS: 11002X0015/SAME) sont présentés ici.

Un premier forage, le « Forage A1 », d'une profondeur de 142 m, a été réalisé en mai 1984 (coupe géologique en Annexe 6), à une centaine de mètres au nord-ouest du groupe de sources situées en position perchée par rapport au Mondony (Illustration 13). Les premières venues d'eau sont apparues au-delà de 130 m de profondeur avec un débit total artésien de l'ordre de 12 m<sup>3</sup>/h et une température de 64°C environ. Ce forage a été détérioré suite à un test d'étanchéité sous forte pression, qui a entraîné des fêlures du tubage au niveau des soudures.

Un second forage a alors été réalisé à côté du forage A1 en juillet 1984, désigné forage du Couchant. Sa réalisation a donné lieu à de nombreuses discussions et études d'impact du fonctionnement du forage sur le comportement des autres sources captées, notamment celle du Gros Escaldadou. Suite à l'une d'entre elles, le périmètre du Gros Escaldadou a été étendu à la demande de l'autorité militaire, propriétaire de la source à cette époque. La dernière étude en date sur cette même question a été réalisée en 1996 par ANTEA, à la demande de l'Académie de Médecine et conclut à une influence totale du forage du Couchant sur l'ensemble des sources thermales de l'ordre de 2 à 3 m<sup>3</sup>/h et, en particulier, comprise entre 0,5 m<sup>3</sup>/h (hautes-eaux) et 1,2 m<sup>3</sup>/h (étiage) sur le débit du Gros Escaldadou.

Le forage du Couchant a été réalisé par la CTS après autorisation préfectorale en date du 17 juillet 1984. La tête de captage est située à l'intérieur d'un bâtiment de dimension 3 m x 1,4 m.

La coupe géologique du forage exploité n'a pu être relevée en raison des difficultés techniques de forage, mais le « Forage A1 » situé à 3 mètres donne néanmoins toutes les caractéristiques des terrains rencontrés (Annexe 6).

De façon grossière, les couches rencontrées sont les suivantes :

- de 0 à 3 m : argiles ;
- de 3 à 142 m : schistes.

La coupe technique de l'ouvrage est la suivante (Annexe 7) :

- de 0 à 18 m : tubage en acier de 12''3/4 de diamètre extérieur, avec cimentation de l'espace annulaire ;
- de 18 à 129,5 m : tubage en fibre de verre de 7'' de diamètre extérieur et cimenté ;
- de 127,8 à 144 m : tubage en acier de 112-114 mm de diamètre, cimenté, à l'intérieur duquel se trouve un tubage en acier HQ (90 mm) qui part de la cote 126,9 m jusqu'au fond de l'ouvrage (cote 167,15 m), les derniers 19 mètres étant crépinés.

A la suite de la réalisation du forage du couchant, la CTS s'est engagée à colmater et refermer le forage A1 dans les règles de l'art. Aucune information n'a été obtenue pour valider ce point.

### 3.3.3. Les plateaux techniques de suivi d'exploitation

Le forage du Couchant serait équipé d'un dispositif de suivi constitué d'un débitmètre, d'un manomètre avec thermomètre et d'un robinet de prélèvement. Aucune information n'a été fournie concernant le suivi de cet ouvrage, ni celui des autres sources exploitées par la CTS.

Les sources Gros Escaldadou et Marché sont équipées d'un dispositif de suivi en continu permettant de suivre la conductivité, la température, le débit et le volume. L'illustration 29 présente le dispositif de suivi pour la source « Gros Escaldadou » installé dans un abri en béton proche de la source.



Illustration 29 : Installations et dispositif de suivi de la source Gros Escaldadou.

### 3.3.4. Les conditions de transport et de stockage

Le transport de l'eau minérale du forage du Couchant s'effectue par voie gravitaire vers le collecteur 2 situé en contrebas dans la galerie technique de l'établissement des thermes situés en situation perchée par rapport au Mondony, par l'intermédiaire d'une canalisation de transport en polyéthylène basse densité de 50 mm de diamètre. Un piquage sur cette canalisation, avant le collecteur 2, permet de diriger l'eau directement vers le service des soins des voies respiratoires des thermes de Mondony.

Le transport de l'eau minérale naturelle du mélange « Le Vallon » s'effectue depuis les réservoirs de stockage d'une contenance totale de 1500 m<sup>3</sup> jusqu'aux services de soins des thermes de la CTS.

### 3.4. LE CADRE REGLEMENTAIRE

#### 3.4.1. Les autorisations existantes

L'illustration 30 récapitule les différents arrêtés d'autorisation d'exploiter des sources situées sur la commune d'Amélie-les-Bains.

	SOURCES	EMERGENCE	TRANSPORT	MELANGE		
CTS	Le Couchant	15 octobre 1999	15 octobre 1999	-		
	Amélie	27 août 1985	-	-		
	Anglada					
	Arago					
	Ascentionnelle					
	Galerie					
	Parès					
	Petit Monjolet					
	Petit Escaldadou				1 <sup>er</sup> février 1996	-
	Fanny				-	-
	Alcaline				-	-
	Mélange Fanny Alcaline	-	1 <sup>er</sup> février 1996	1 <sup>er</sup> février 1996		
	Mélange Vallon	-	1 <sup>er</sup> février 1996	1 <sup>er</sup> février 1996		
Mélange Couchant + Vallon	-	15 octobre 1999	15 octobre 1999			
Commune + CTS	Concorde	10 avril 1989	-	-		
	En Cômes	7 mars 1989	-	-		
Commune	Gros Escaldadou	5 avril 1985	5 avril 1985	-		
	La Rénale	24 décembre 1985	24 décembre 1985	-		
	Marché	5 février 1987	-	-		

Illustration 30 : Tableau récapitulatif des arrêtés d'autorisation d'exploiter

Les caractéristiques physico-chimiques ne doivent pas varier de plus de 10% des analyses de référence indiquées dans l'arrêté d'exploiter.

Le débit maximum autorisé pour le captage « Le Couchant » et précisé dans l'arrêté est de 13 m<sup>3</sup>/h. Il ne doit en aucun cas dépasser cette valeur.

Seule la source « Gros Escaldadou » dispose d'une DIP et d'un périmètre de protection d'une superficie de 5 ha 47a (Cf. Illustration 31). La procédure de DIP date du 16/07/1860 et celle de DPP du 07/02/1863. Ces procédures mériteraient d'être mise à jour pour ce qui concerne la délimitation du périmètre de protection.

***L'actualisation de la protection établie par la DIP existante constitue une piste de progrès au titre de la démarche qualité pour la ressource thermale d'Amélie-les-Bains***

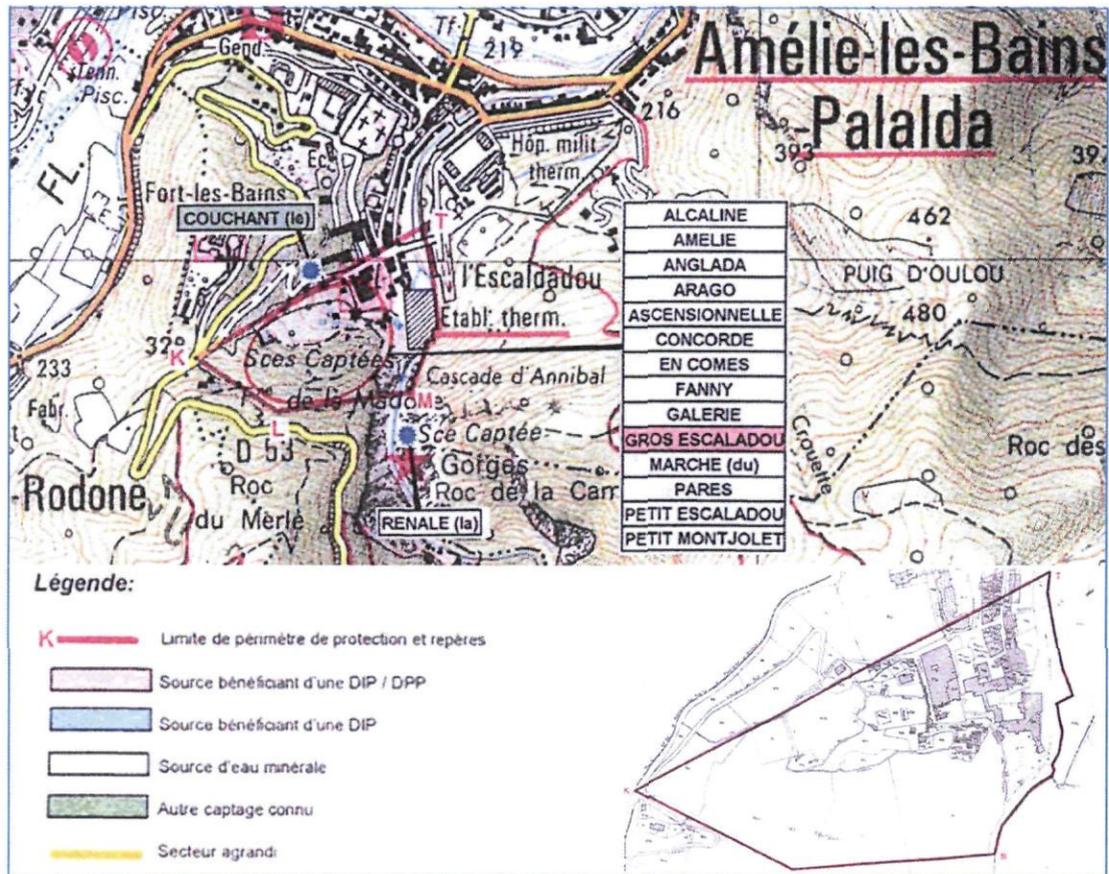


Illustration 31 : Périmètre de protection établi au titre de la DIP

### 3.4.2. Les procédures en cours

Dans le cadre du projet de centre de balnéothérapie, la commune d'Amélie-les-Bains souhaite utiliser les sources Gros Escaladou et Du Marché.

Ces deux sources n'ayant plus été exploitées depuis plusieurs années, la législation (décret 2007-49 du 11 janvier 2007) précise que l'autorisation d'eau minérale devient caduque après un arrêt d'exploitation supérieur à trois ans.

Un nouveau dossier d'autorisation d'exploiter ces deux sources d'eau minérale va donc être déposé conformément à la réglementation de 2007 sur les eaux minérales (décret 2007- 49 du 11 janvier 2007, de l'arrêté du 5 mars 2007 et de la circulaire du 31 janvier 2008).



## 4. Conclusion

### 4.1. LA SITUATION ACTUELLE DE LA RESSOURCE THERMALE

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

- concernant les **connaissances du gisement hydrothermal**, les contextes géologique et hydrogéologique globaux sont connus. L'ensemble des émergences ont une origine commune et ne sont pas perturbés par des phénomènes continus de mélange avec des eaux de surface (ce qui n'empêche pas des mélanges ponctuels dans la zone d'émergence). La caractérisation de la géométrie des circulations en profondeur mériterait cependant d'être améliorée ;
- concernant la connaissance du **fluide thermal**, la ressource au niveau des émergences est bien caractérisée, mais une meilleure connaissance du circuit hydrothermal (processus géochimiques en jeu) est recommandée. En effet, la température à laquelle les eaux acquièrent leur minéralisation est probablement très supérieure aux 100°C estimés aujourd'hui (du fait de l'effet du pH basique de l'eau qui sous-estime probablement la silice présente dans l'eau, utilisée comme géothermomètre). Par ailleurs, le temps de transfert des eaux n'est pas connu avec précision, même s'il dépasse probablement largement la cinquantaine d'années. Enfin, l'altitude moyenne de l'impluvium est estimée à ce jour de manière approximative. Une détermination plus précise de ces questions serait sans conteste un atout supplémentaire en termes de communication pour l'exploitation de la ressource ;
- concernant les **conditions d'exploitation**, elles sont globalement bonnes notamment du fait de l'absence d'observations de pollutions de type bactérien. Le caractère superficiel (exploitation de sources) de la ressource captée, la rend cependant vulnérable aux apports ponctuels d'eau météorique ;
- concernant la **sécurité d'approvisionnement**, les sources présentent un comportement stable en termes de débit (notamment celles situées en position perchée par rapport au Mondony). Cependant, un captage de la ressource plus en profondeur est recommandé pour sécuriser à la fois le débit d'exploitation et sa qualité. Poul (1983) cite par exemple une expérience de pompage réalisée dans le gouffre du Mondony (situé à une cinquantaine de mètres en aval des sources proches du cours d'eau - Illustration 13) par la CTS. Cette expérience aurait consisté à dériver le cours d'eau et à effectuer un essai de pompage de l'eau du gouffre à un débit de l'ordre de 70 m<sup>3</sup>/h. Une arrivée d'eau importante (entre 10 et 30 m<sup>3</sup>/h) et chaude (50° environ) a alors été identifiée au droit du gouffre. A l'instar du forage du couchant, un forage incliné pourrait être implanté en rive droite du Mondony (en face des sources), pour intercepter la faille du Vallespir en profondeur sous le Mondony, sans pour autant perturber le comportement des sources ;

- concernant le **suivi d'exploitation** de la ressource, il est performant et permet de juger du bon fonctionnement de l'exploitation. Les installations réalisées (source du Gros Escaldadou) et les procédures de suivi adoptées sont robustes ;
- concernant le **contexte environnemental** et la **protection du gisement**, sur la base des connaissances actuelles du gisement et de l'évolution temporelle de sa qualité, on peut considérer que le site bénéficie de conditions favorables ;
- concernant le **cadre réglementaire**, une demande d'autorisation d'exploiter les sources communales est en cours, cependant le périmètre de protection établi au titre de la DIP et qui date de 1860, mériterait d'être redéfini.

#### 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.

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

- l'amélioration de la **connaissance du circuit hydrothermal** (il s'agit essentiellement de localiser plus précisément l'impluvium des sources, de préciser la géométrie des circulations en profondeur et de caractériser les processus géochimiques en jeu, notamment les conditions d'acquisition de la minéralisation) ;
- la **mise à jour du périmètre de protection** (au titre de la DIP) du gisement.

A **moyen terme** la principale piste de progrès est :

- la **réalisation d'un forage** positionné de manière à ne pas perturber les sources actuellement captées et à s'affranchir des apports d'eau météorique tout en captant une ressource de meilleure qualité (température plus élevée et débit plus important). Un tel forage devra probablement être relativement profond (un ordre de grandeur de l'ordre de 500 à 1 000 m).

## 5. Bibliographie

**Baillet I., Le Strat P.** (2009), Carte des ensembles litho-tectoniques de la région Languedoc-Roussillon et du golfe du lion. Edition BRGM.

**Baubron J.C., Bosch B., Degranges P., Halfon J., Leleu M., Marce A., Sarcia C.** (1977), Recherches Géochimiques sur les eaux thermales d'Amélie-les-Bains (Pyrénées Orientales) et de Plombières-les-Bains (Vosges). IAEA. International symposium of isotopic hydrology.

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

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

**Cocherie A., Baudin T., Autran A., Guerrot C., Fanning C. M., Laumonier, B.**, (2005), U-Pb zircon (ID-TIMS and SHRIMP) evidence for the Early Ordovician intrusion of metagranites in the late Proterozoic Canaveilles Group of the Pyrenees and the Montagne Noire (France). Bulletin de la Société Géologique de France, vol.176, no.3, pp.269-282.

**Durand V.**, (1996), Thermes d'Amélie-les-Bains. Impact du forage du Couchant sur les sources thermales du site. Rapport ANTEA. Octobre 1996.

**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<sup>ème</sup> édition – groupe Impact Médecine.

**Iopoukhine M., Vigouroux P.** (1998), Memento technique des eaux minérales. Rapport BRGM R40145.

**Krimissa M.**, (1993) Application des méthodes isotopiques pour l'estimation des temps de résidence des eaux thermales en milieu granitique (Pyrénées, France), Etat d'avancement n°1.

**Laumonier et al.**, (2011), Carte géologique à 1/50 000 de Ceret, en préparation.

**Marchal J.-P., Blaise M.**, (2004), Actualisation de la synthèse hydrogéologique en région Languedoc-Roussillon. Rapport méthodologique. BRGM/RP-53020-FR. 31 p., 8 ill., 1 vol. séparé.

**Naydénov, G.**, (1989), La station thermale d'Amélie-les-Bains, Association pour la recherche thermale et climatique en Languedoc-Roussillon. 62 p.

**Pomerol C., Ricour J.** (1992), Terroirs et thermalisme de France. Edition BRGM.

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

**Poul X.**, (1983), Etude des possibilités d'amélioration de la productivité du gisement thermal d'Amélie-les-Bains. Contexte géologique et caractéristique des eaux thermales. 83 LRO 324 LRO.

**Poul X.**, (1984), Sources thermales Concorde, En Côte et du Marché. Etude hydrogéologique. Périmètres sanitaires des émergences. 84 LRO 538 PR.

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

**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 1**

# **Données météorologiques**



**Moyenne mensuelle des températures journalières pour la station d'Amélie-les-Bains****Minimales (°C)**

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

**Maximales (°C)**

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

**Moyennes (°C)**

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

**Précipitations mensuelles à la station d'Amélie-les-Bains (mm/mois)**

Mois	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Moyenne
Janvier	167,6	7,5	33,1	54,8	13,1	241,0	2,9	36,7	78,1	44,7	68,0
Février	40,5	30,6	244,7	70,7	132,1	19,7	65,0	10,3	33,2	41,9	68,9
Mars	78,7	64,6	90,9	99,7	19,7	53,6	33,2	37,8	32,4	103,0	61,4
Avril	67,1	228,7	66,3	227,0	27,4	51,1	186,5	41,9	121,0	29,2	104,6
Mai	58,5	266,9	75,3	139,3	99,7	22,1	104,6	176,0	46,2	158,0	114,7
Juin	12,7	59,9	18,4	26,8	32,3	1,0	41,8	33,4	63,0	63,1	35,2
Juillet	60,0	46,5	58,4	8,6	54,2	14,5	8,0	42,3	76,1	35,7	40,4
Août	25,2	122,3	60,5	126,4	33,1	55,9	86,8	10,1	48,7	82,1	65,1
Septembre	36,3	42,6	68,1	38,6	51,1	59,2	20,5	72,4	26,1	54,9	47,0
Octobre	22,9	72,7	234,7	85,4	164,7	39,5	26,3	19,9	20,5	274,0	96,1
Novembre	110,4	38,5	51,8	12,1	137,0	1,0	4,0	78,2	20,7	45,1	49,9
Décembre	13,1	37,0	142,6	120,7	8,3	24,9	73,5	117,0	12,6	25,1	57,5
<b>Total</b>	<b>693,0</b>	<b>1017,8</b>	<b>1144,8</b>	<b>1010,1</b>	<b>772,7</b>	<b>583,5</b>	<b>653,1</b>	<b>676,0</b>	<b>578,6</b>	<b>956,8</b>	

## **Annexe 2**

### **Analyses chimiques compilées**

Nom Site	Temp	pH	F	SiO2	Ca	Na	K	CO3	HCO3	Cl	SO4	B
<b>Alcaline-1-1983</b>	61	8,65	17,5	73	2,4	98	3,7	3,8	115,7	25	33	0,3
<b>Alcaline-1977</b>	56	8,67	18	70	2,4	97	3,8	12	98	28	36	0,3
<b>Alcaline-1993</b>	60	8,62		71,0	2,3	100,8	3,9			22,0		
<b>Alcaline-4-1983</b>	60,8	8,8	18	73,8	2,5	98	3,5	4,8	105	26	34	0,3
<b>Alcaline-6-1993</b>	60,8	8,8	18,8	77	2,4	102	3,2	4,7	105,2	26,9	36	0,37
<b>Amélie-1-1983</b>	50,8	8,71	18,2	74	2	100	3,7	3,8	101	26	33	0,28
<b>Amélie-1977</b>	61	8,66	18	73	2,6	95,4	3,7	12	95	28	38	0,3
<b>Amélie-1993</b>	49	8,68		70,0	2,8	99,8	4,0			21,6		
<b>Amélie-5-1994</b>	53,3	8,86	17,2	72,9	8	104	3,6		111,5	23,2	33,8	0,23
<b>Anglada-1993</b>	57	8,71		78,0	2,3	97,8	3,9			21,9		
<b>Anglada-1-1983</b>	57	8,74	18	73,4	1,9	101	3,4	4,3	109,1	27	28	0,33
<b>Anglada-1977</b>	57	8,8	19	72	3	98,7	3,8	12	101	27	38	0,3
<b>Anglada-4-1983</b>	56,7	8,97	18,4	73,3	1,5	100	3,6	6,3	95,4	26	30	0,3
<b>Arago-1-1983</b>	58,9	8,76	17,6	74	2	100	3,6	4,4	106,7	28	29	0,33
<b>Arago-1977</b>	57	8,82	18	72	2	96,1	3,8	12	101	28	38	0,3
<b>Arago-1993</b>	59	8,69		73,0	2,2	97,8	3,9			22,3		
<b>Arago-4-1983</b>	59	8,94	17,6	74,1	2,6	100	3,6	6	96,4	27	30	0,32
<b>Ascentionnelle-1-1983</b>	53	8,73	18,4	74	2	102	3,7	4,2	112,7	27	29	0,28
<b>Ascentionnelle-1977</b>	51	8,81	19	72	2	96,5	3,8		119	28	42	0,3
<b>Ascentionnelle-1993</b>	55	8,67		69,0	2,2	102,4	3,9			22,1		
<b>Ascentionnelle-4-1983</b>	52	8,91	18,4	73,5	2,3	101	3,5	5,6	102,2	28	32	0,28
<b>Chomel-1993</b>	46	8,64		70,0	2,2	98,9	3,8			21,9		
<b>Concorde-1977</b>	59	8,66	18	74	1,8	96	3,6	15	92	28	42	0,3
<b>Concorde-1993</b>	60	8,58		46,0	2,3	99,8	3,9			22,1		
<b>En_Comes-1977</b>	56	8,63	18	73	3	96,8	3,6	21	79	27	38	0,3
<b>En_Comes-1993</b>	55	8,64		69,0	2,2	104,2	3,9			22,2		
<b>F_Couchant-6-1993</b>	65,5	8,9	17,7	78	2,4	102	3,3	5,4	98,5	29,6	37,6	0,45
<b>Fanny-1-1983</b>	61,6	8,64	17,5	72,4	2	98	3,7	3,5	111,4	27	30	0,3
<b>Fanny-1977</b>	62	8,67	18	71	2	96,7	3,6	21	79	28	38	0,4
<b>Fanny-1993</b>	61	8,58		69,0	2,3	99,6	3,9			22,7		
<b>Fanny-4-1983</b>	61,4	8,81	17,6	72,3	2,2	100	3,5	4,9	103,3	27,5	32	0,29
<b>Fanny-6-1993</b>	60,8	8,8	18,8	77	2,4	102	3,2	4,7	105,2	26,9	36	0,37
<b>Galerie-1977</b>	56	8,63	18	73	3	96,8	3,6	21	79	27	38	0,3
<b>Galerie-1993</b>	54	8,59		72,0	2,3	100,1	3,9			22,0		
<b>Gros_escaldadou-1993</b>	59	8,72		70,0	2,4	99,4	3,8			21,6		
<b>Gros_escaldadou-1977</b>	62	8,65	18	71	2,4	97,4	3,6	24	73	28	38	0,3
<b>Gros_escaldadou-4-1983</b>	60,2	8,8	19	73,3	2,7	98	4,1	4,7	103,7	26	32,5	0,13
<b>Marché-6-1997</b>	62	8,65	18	71	2,4	97,4	3,6	24	73	28	38	0,3

<b>Nom Site</b>	<b>Temp</b>	<b>pH</b>	<b>F</b>	<b>SiO2</b>	<b>Ca</b>	<b>Na</b>	<b>K</b>	<b>CO3</b>	<b>HCO3</b>	<b>Cl</b>	<b>SO4</b>	<b>B</b>
<b>Parés-1-1983</b>	55,4	8,65	17,6	74,8	2	98	3,4	3,6	115	28	29	0,31
<b>Parés-1977</b>	56	8,5	18	72	2	98	3,7	21	82	28	38	0,3
<b>Parés-1993</b>	55	8,66		65,0	2,2	101,2	3,9			22,5		
<b>Parés-4-1983</b>	55,2	8,8	18	74	2	100	3	4,7	107,4	26	32	0,31
<b>Petit_escaldadou-1993</b>	57	8,66		69,0	2,3	98,9	3,9			23,3		
<b>Petit_monjolet-1993</b>	58	8,56		69,0	2,2	103,5	4,0			21,9		
<b>Petit_escaldadou-1-1983</b>	63	8,51	18,5	73,8	2	98	3,7	2,6	110,2	29	30,5	0,31
<b>Petit_escaldadou-1977</b>	57,5	8,7	18	71	2	97,5	3,7	18	85	28	38	0,3
<b>Petit_escaldadou-4-1983</b>	63	8,79	18,6	73,8	2,2	98,5	3,4	4,6	100,8	27	33	0,29
<b>Petit_monjolet-1977</b>	59	8,67	18	72	2	98,5	3,7	21	85	28	38	0,4
<b>Rénale-1977</b>	32	8,94	18	72	2,2	98,2	3,7	21	82	28	38	0,3
<b>Rénale-1-1983</b>	40,9	8,56	17,8		2	100	3,5	2,6	114,4	24,7	32,7	0,26
<b>Rénale-5-1984</b>	40,7	8,76	17,4		2,5	99	3,7	3,9	112,5	25,6	34,8	0,29
<b>Eau-surface-2011</b>	15,9	7,65	0,15	6	12,2	2,7	0,65	0	56	2,7	0,5	0,01



## **Annexe 3**

### **Données isotopiques compilées**

## Ressource en eau thermale de la station d'Amélie-les-Bains

Site	Source/forage	Indice_BSS	Date	Rb/Sr	O18 (‰ SMOW)	H2 (‰ SMOW)	Tritium (Unité Tritium)	C13 (‰ PDB)	C14 (pcm)	87Sr/86Sr
<b>Amélie-les-Bains</b>	Fanny-alkaline	11002X0019	18/05/1994	0,72192054	-8,75	-66,2	0	-9,73	12,6	0,724418
	Petit Escaladou	11002X0022	18/05/1994	0,73763497	-9,04	-66,2	0	-9	12,4	0,724475
	Amélie	11002X0025	18/05/1994	0,711131651	-9,16	-59,4	2			0,724357
	Arago	11002X0027	18/05/1994	0,73820521	-9,23	-56,8	0			0,724408
<b>La Preste-les-Bains (CTS)</b>	Apollon 1	10993X0001	19/05/1994	0,21280332	-9,82	-64,5	2	-9,36	30,1	0,719254
	Apollon 2	10993X0002	19/05/1994	0,21262199	-9,89	-65,2	2	-10,36	25	0,71925
<b>Molitg-les-Bains (CTS)</b>	Forage SM1	10953X0058	02/07/1993	0,42088721	-9,77	-62,4	3	-14,42	39,8	0,71513
	Forage SM4	10953X0059	02/07/1993	0,30677765	-9,16	-63,1	3	-11,87	47,5	
	Source Llupia		02/07/1993	0,51506352	-9,65	-65,4	2			
<b>Thuès-les-Bains</b>	Source Beauté		01/07/1993	1,25932924	-11,23	-66,1	0	-10,36	19,7	0,730748
	Source Saint-André		01/07/1993	1,07869788	-10,92	-76,3		-8,6	29,7	0,729354
	Source Exalada		01/07/1993	1,00603244	-11,52	-76,1				
<b>Vernet-les-Bains</b>	Source du Parc	10957X0021	02/07/1993	0,54739834	-10,75	-76	0	-6,37	20,4	0,730453
	Source Vaporium	10957X0020	02/07/1993	0,53067151	-10,92	-69,1		-11,07	24,1	
	Source Barrèra		02/07/1993	0,53105894	-10,8	-68,4				
<b>Station thermale Les Escaldes</b>	Source Colomer		30/06/1993	1,38390805	-10,9	-78,9	2	-14,05	29,5	0,715811
	Source des Bains Romains		01/07/1993	1,28641159	-11,23	-73		-14,93	26,3	
<b>Fontpédrouse-Saint-Thomas-les-Bains</b>	Grande Source	10955X0018	03/07/1993	0,95537148	-11,7	-72,7	0	-8,92	24,3	0,729216
	Source Baraquette	10955X0022	03/07/1993	0,95609572	-11,51			-6,44	24,9	

## **Annexe 4**

### **Travaux de réfection des captages Gros Escaldadou et Marché**

(Photos juin 2011)



## Entrée du captage avant et après travaux Gros Escaladou



## Intérieur du captage avant et après travaux Gros Escaldadou



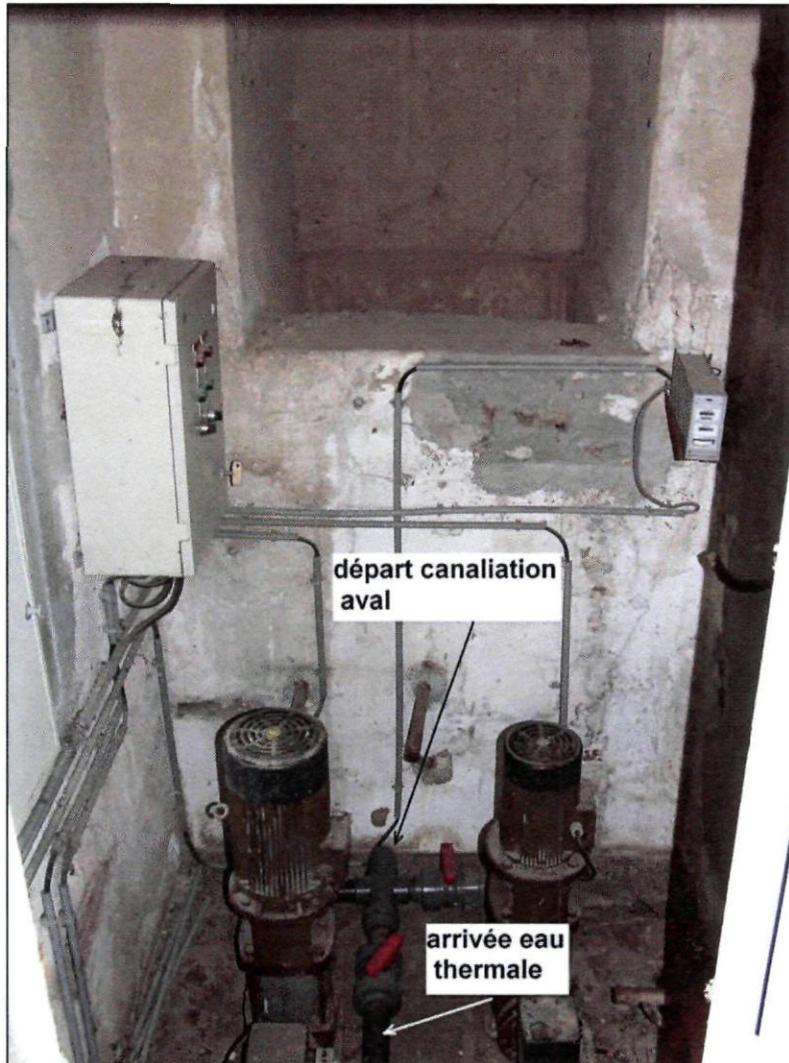
## Départ canalisation avant et après travaux Gros Escaldadou



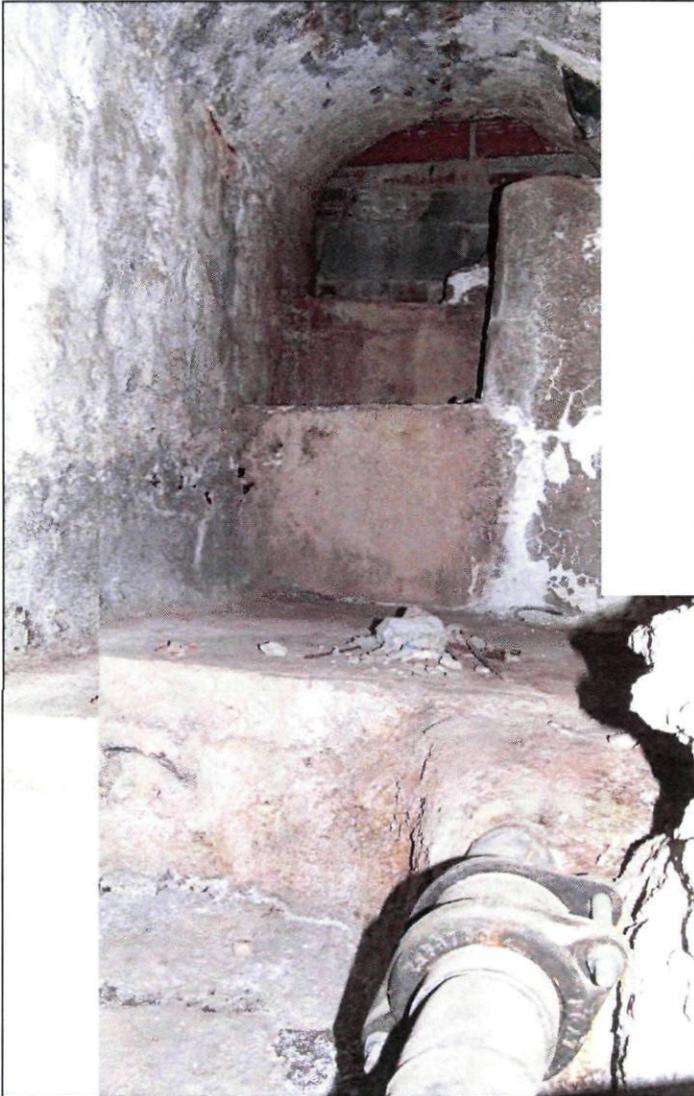
## Départ canalisation avant et après travaux Gros Escaldadou



## Local technique du captage avant et après travaux Gros Escaldadou



## Instrumentation avant et après travaux Du Marché



## Captage avant et après travaux Du Marché





## **Annexe 5**

### **Travaux de protection du captage Gros Escaldadou**

(Photos Juin 2011)



## Etat du dessus du captage avant travaux



## Fissures après décapage de la dalle



## Réalisation du ferrailage de la fissure et de la dalle



### Canalisation d'évacuation des eaux de ruissellement amont



### Regard pour les eaux de ruissellement et ferrailage de la cunette amont



## Héliportage et bétonnage de la dalle



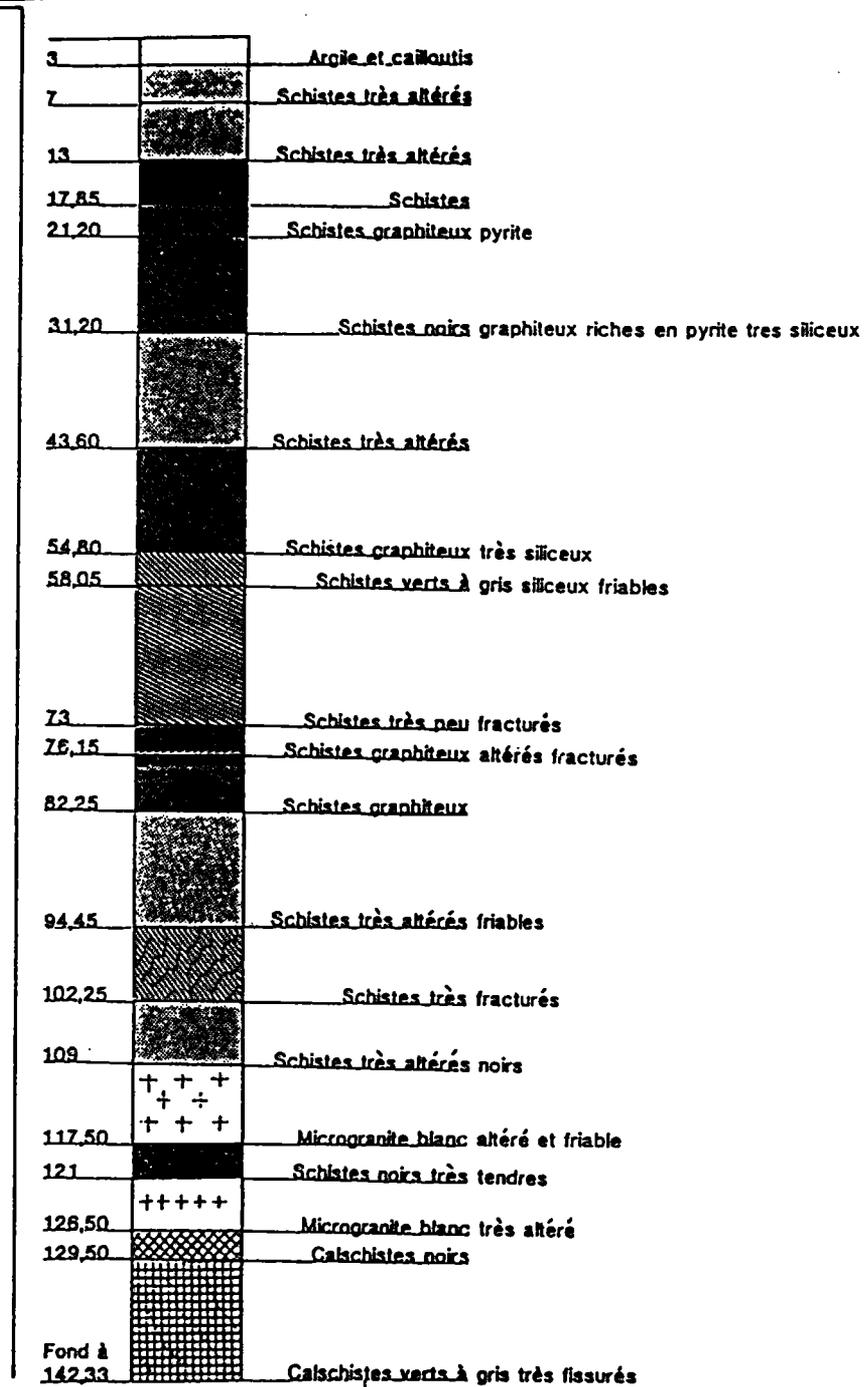
## Fissure bétonnée et dalle de protection finalisée



## **Annexe 6**

### **Coupe géologique du forage A1**

Côtes en mètres/sol

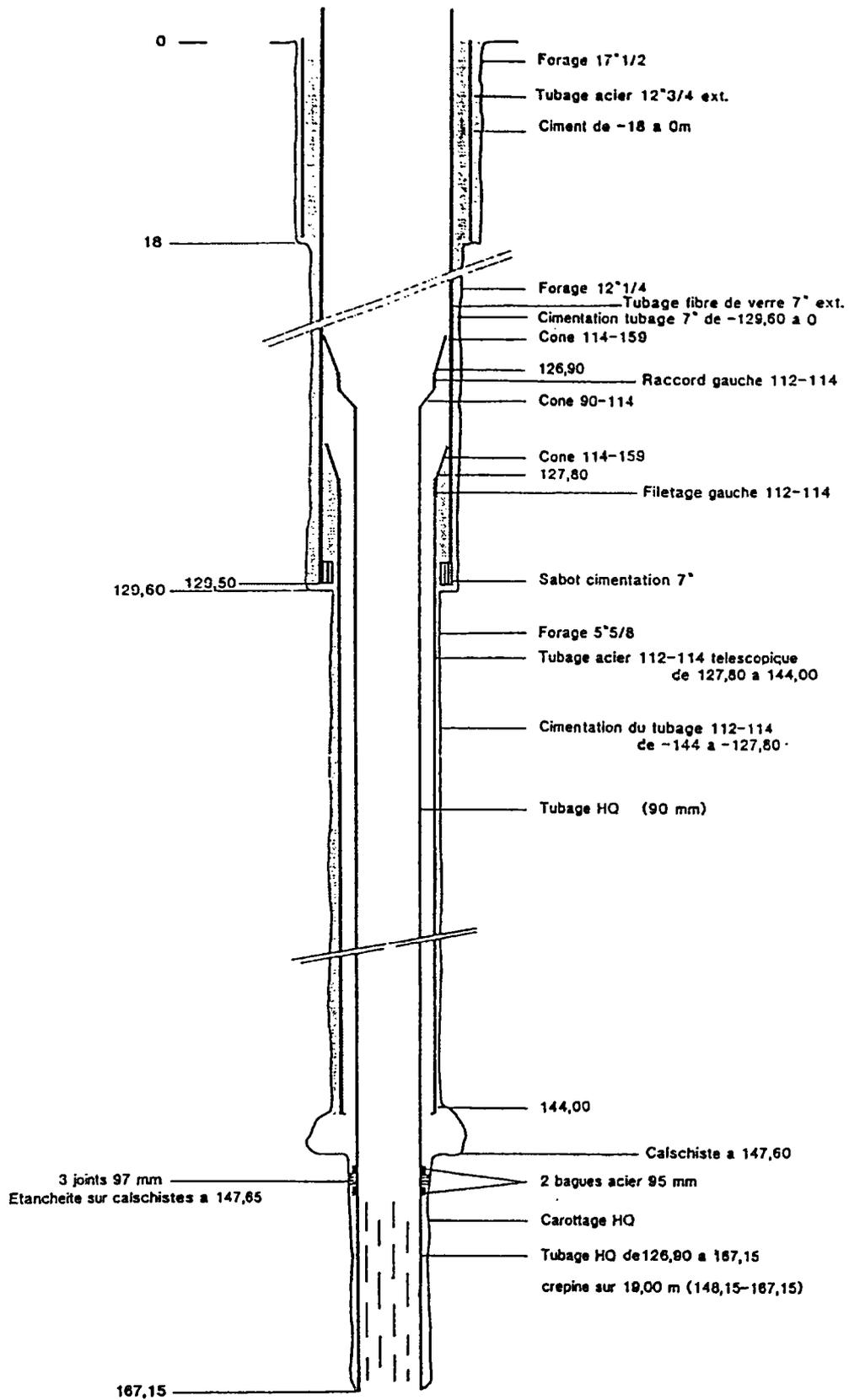


- fissures ouvertes - circulation d'eau thermale

## **Annexe 7**

### **Coupe technique du forage « Le Couchant »**

Ressource en eau thermique de la station d'Amélie-les-Bains





**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