



Rapport d'expertise :

Avis sur les investigations nécessaires pour l'estimation du débit d'autorisation de la source de Notre-Dame-De-Livron à Caylus (82)

BRGM/RP-62290-FR

Avril 2013

Cadre de l'expertise :

Appuis aux administrations



Appuis à la police de l'eau



Date de réalisation de l'expertise : Mars 2013

Localisation géographique du sujet de l'expertise : Caylus (82)

Auteurs BRGM : Mélanie Bardeau

Demandeur : DDT 82 – Police de l'eau

1.89 3740.46 -625.5



Géosciences pour une Terre durable

brgm

L'original du rapport muni des signatures des Vérificateurs et Approbateurs est disponible aux Archives du BRGM.

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

Ce rapport est le produit d'une expertise institutionnelle qui engage la responsabilité civile du BRGM.

Ce document a été vérifié et approuvé par :

Approbateur :	
Nom : Philippe Roubichou	Date : 10/04/2013
Vérificateur :	
Nom :	Date :

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

Mots clés : expertise – appui à la police de l'eau – captage – eau potable – autorisation – exploitation – pompage longue durée - karst

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

M. Bardeau (2013) – Avis sur les investigations nécessaires pour l'estimation du débit d'autorisation de la source de Notre-Dame-De-Livron à Caylus (82), Rapport final. Rapport BRGM/RP-62290-FR. 36p.,12 fig.

© BRGM, 2013, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Contexte :

Date de la formulation de la demande d'expertise au BRGM : 01/03/2013.

Demandeur : D.D.T. du Tarn-et-Garonne, Police de l'eau.

Nature de l'expertise / question posée :

Dans le cadre de la procédure d'autorisation de l'exploitation de la source de Notre-Dame-De-Livron et de la mise en place des périmètres de protection du captage, des essais de pompages ont été réalisés sur la source par le bureau d'étude Calligée en septembre 2010. Ces essais ont été perturbés par divers incidents, rendant les résultats de l'essai de pompage de longue durée inexploitable.

Dans ce cadre, la D.D.T. du Tarn-et-Garonne, service Police de l'Eau, a demandé au BRGM d'émettre un avis sur le type d'investigations complémentaires à mettre en place afin d'identifier précisément le débit d'exploitation de la source. Ce débit doit en effet garantir la pérennité de la ressource, ainsi que le maintien en aval d'un débit minimum.

Situation du sujet : Source de Notre-Dame-De-Livron à Caylus (82).

Dossier examiné :

- « Dossier de DUP relatif à la mise en place des périmètres de protection des captages d'eau potable- Pièce 2B : Avis de l'hydrogéologue agréé » Eten Environnement,
- « Dossier de DUP – Dossier d'autorisation relatif au Code de l'Environnement et de la Santé publique – Rapport » Eten Environnement,
- Extrait de « Rapport final d'étude – Rapport n°100384 du 12/06/1997 – SOGREAH »
- **Visite de terrain le 25/03/2013** : le BRGM (un technicien et un ingénieur) était accompagné par Johann CAVAILLE du Syndicat des Eaux du Canton de Caylus.

Conclusions et recommandations du BRGM :

La mise en place d'une station hydrométrique permettant de suivre le débit naturel (par reconstitution) de la source en continu sur plusieurs cycles hydrologiques est une solution optimale pour aboutir à une bonne compréhension du fonctionnement du système karstique étudié.

Cependant, la configuration du site de la source de Notre-Dame-de-Livron rend cette solution très délicate à mettre en œuvre, et peu pertinente au vue de la qualité des données obtenues (écoulements souterrains non mesurables, pertes karstiques, apports d'eaux pluviales).

Il est donc proposé de réaliser un nouvel essai de pompage de longue durée en période de basses eaux souterraines et en s'assurant que les problèmes survenus lors du premier essai (casse des canalisation, installation électriques sous-dimensionnées, épisode de pluies intenses) ne se reproduisent pas.

Les données de l'essai de pompage de longue durée seront interprétées de façon à caractériser le débit d'exploitation optimal en fonction de la ressource karstique en présence et du débit réservé à maintenir en aval. Le débit de réalimentation sera également évalué en période de basses eaux.

Par ailleurs, à défaut de pouvoir mettre en place une station hydrométrique en sortie de la source du Livron, il est recommandé de mettre en place une sonde pressiométrique dans un puits peu profond (1,5 m) creusé dans la vasque principale de la source du Dragon, le plus près possible de la sortie du siphon. Cette sonde sera équipée d'un capteur de conductivité (et de température) et procédera à un enregistrement des paramètres niveau-conductivité-température toutes les 15 minutes. Les données seront télétransmises au centre de gestion du syndicat.

A terme, ces données pourront être interprétées à l'aide d'une analyse corrélatrice et spectrale (ACS) afin d'obtenir des informations sur :

- La structure et le fonctionnement du système karstique : inertie, effet mémoire, typologie,
- La tendance à court et long du système,
- Les phénomènes périodiques associés à des variations de pressions.

Sommaire

1. Localisation de la source.....	8
2. Contexte géologique et hydrogéologique de la source.....	10
2.1 GEOLOGIE LOCALE.....	10
2.2 HYDROGEOLOGIE.....	13
3. Rappel des investigations précédentes.....	16
3.1 PROTOCOLE DE L'ESSAI.....	16
3.2 DEROULEMENT DE L'ESSAI.....	16
4. Configuration du site et conditions d'exploitation.....	17
4.1 CONFIGURATION DU SITE.....	17
5. Recommandations du BRGM	23
5.1 MISE EN PLACE D'UN SUIVI CONTINU DES HAUTEURS DE NIVEAUX ET DE DEBIT DE LA SOURCE.....	23
5.1.1 Intérêt du système.....	23
5.1.2 Principes et proposition d'équipement	24
5.1.3 Avantages et inconvénients.....	31
5.2 REALISATION D'UN SECOND ESSAI DE POMPAGE LONGUE DUREE	32
6. Conclusions.....	35

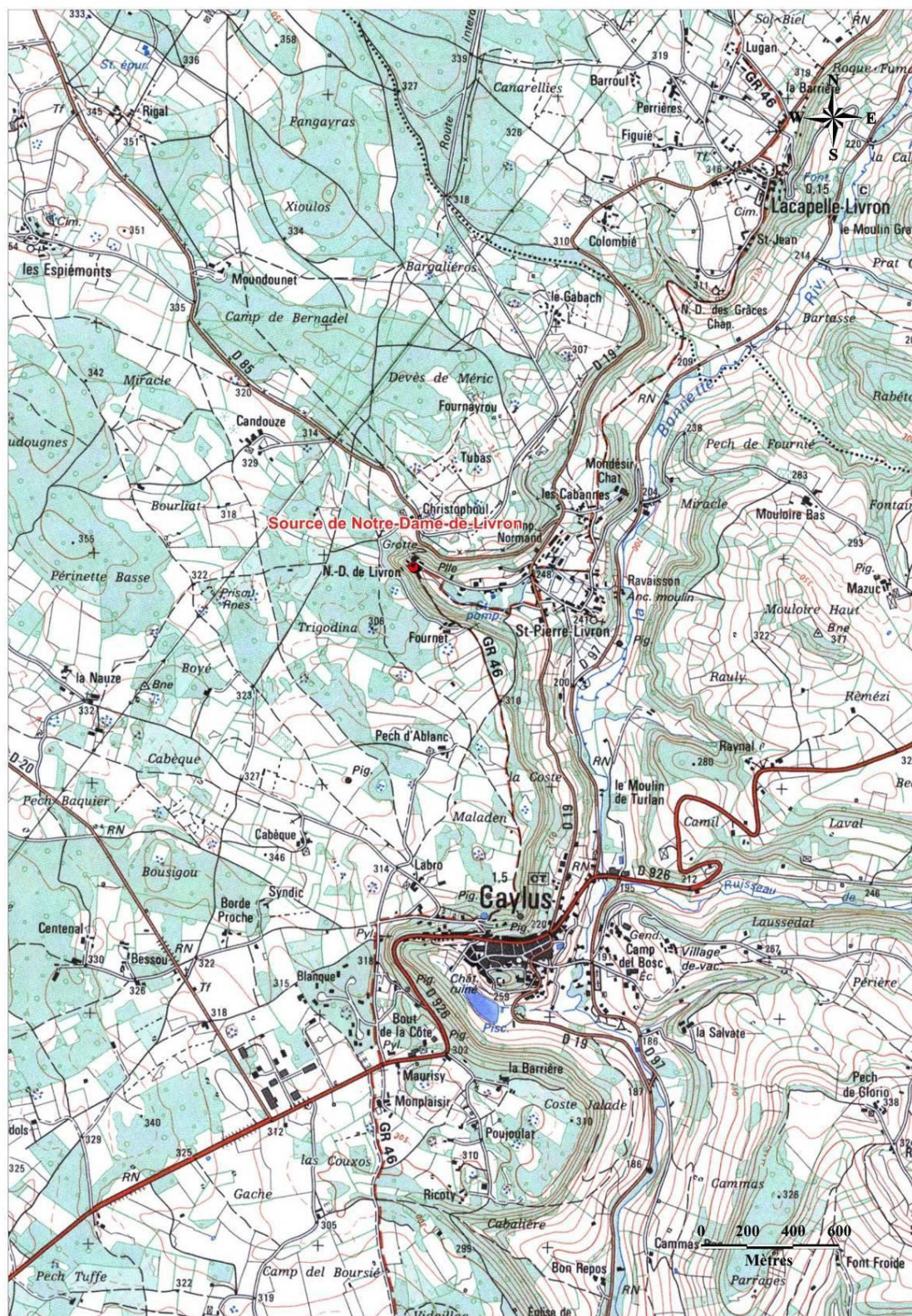
1. Localisation de la source

Le captage de Notre-Dame-de-Livron est localisé sur la Commune de Caylus, au fond d'un thalweg se raccordant à 1 km de la rive droite de la Bonnette.

La source est située au sein d'un site à vocation ecclésiastique.

Captage	Source de Notre-Dame-de-Livron
Code	09054X0001/HY
Département	Tarn-et-Garonne (82)
Commune	Caylus
Lieu-dit	Grotte de Notre-Dame-de-Livron
Parcelle concernée	Parcelle 581 section C2
Coordonnées Lambert II étendu	X = 554 339 m
Masse d'eau associée	Y = 1 916 870 m
	Z = 250 m NGF
	N°5037 – <i>Calcaires des Causses du</i>
	<i>Quercy BV Aveyron</i>

	Syndicat des Eaux de Caylus Dossier de D.U.P	Source de Notre-Dame-de-Livron Novembre 2010 Localisation géographique	
---	--	---	---




ETEN 325, Rue du 8 Mai 1945 - 82800 NEREPÉLISSE - ☎ 05.63.02.10.47 - 📠 05.63.67.71.56 ✉ environnement@eten-midi-pyrenees.com

Illustration 1 – Localisation de la source sur fond de carte IGN (1/25000) – Source ETEN

2. Contexte géologique et hydrogéologique de la source

Les informations et illustrations suivantes sont issues des rapports :

- « Dossier de DUP – Dossier d'autorisation relatif au Code de l'Environnement et de la Santé publique – Rapport » Eten Environnement,
- et de « « Dossier de DUP relatif à la mise en place des périmètres de protection des captages d'eau potable- Pièce 2B : Avis de l'hydrogéologue agréée » (Jacques Rey – Mars 2002) - Eten Environnement.

2.1 GEOLOGIE LOCALE

Texte issu du rapport d'ETEN Environnement du 27 mars 2013.

L'ensemble du territoire de la Commune de Caylus appartient à la bordure Sud-Ouest du Massif central qui est ici formée, comme sur toute sa longueur de dépôts divers d'âge secondaire :

- L'ensemble début, plus à l'Est du Canton de Caylus, par les grès grossiers du Trias. Ces sont des grès et des poudingues qui forment notamment la vallée de la Baye ;
- L'infralias est formé de deux types de roches : des dolomies très perméables, se décomposant en terre sableuse et un calcaire en bancs massifs. Ces calcaires forment une petite région sèche autour de Corrusson et les eaux infiltrées y réapparaissent à la source de Cornusson ;
- Le Lias est donc marneux et il forme le soubassement du Terrefort. Il est relativement imperméable et ses argiles forment la plupart des talus présent sur la vallée de la Bonnette et de ses affluents de la rive gauche. Cette imperméabilité, liée à des pentes relativement fortes est la cause d'un écoulement important lors des fortes pluies ;
- Le calcaire du Causse est très divers : tantôt massif et dolomitique (Bajocien) et parfois en bancs épais séparés sur de minces lits marneux (Bathonien). Ce calcaire est cassé par des diaclases, le long de plans verticaux, véritables cassures agrandit par les eaux d'infiltration chargées en gaz carbonique. L'eau est ainsi entraîné en profondeur jusqu'à la base karstique qui coïncide vers l'Est avec le plancher argileux et vers l'Ouest avec le plus bas niveau des vallées.

La Commune de Caylus est couverte par les cartes géologique n°905 de Caussade et n°900 de Najac.

Ainsi, les formations rencontrées au droit de la source de Notre-Dame-de-Livron et sur son bassin versant sont les suivantes dans l'ordre stratigraphiques :

- I4P-L : Formation de Penne et Lexos (Toarcien)

Cette formation est constituée de schistes carton (2m) puis de marnes et de calcaires sur 30 m puis de marnes noires (45 m), surmontée par la formation de Lexos sur 10 m (marnes et calcaires). Cette formation est visible dans le fond de la vallée de la Bonnette et représente une couche imperméable.

- j1A : Formation d'Autoire – Membre de la Toulzanie (Aalénien)

Il s'agit de 15 m de calcaires roux bioclastiques surmontés par 4 mètres de dolomies. Cette formation constitue la base de la falaise surplombant la vallée de la Bonnette, elle est située sous la source de Notre-Dame-de-Livron.

- j2-3C : formation de Cajarc (Bajocien supérieur – Bathonien)

Elle est constituée de calcaires micritiques en bancs à la base de la formation, épais au total de 30 m (membre de Larnagol), surmonté par des calcaires micritiques en dalle, séparés par des marnes sur 12 m (membre des calcaires massifs de la Bouye), puis par une alternance de calcaire, laminites et dolomies sur 10 m (membre des calcaires et marnes de la Bouye), puis par des calcaires argileux en dalles, micritiques, dolomitiques alternés sur 50 m (membre de Saint-Chels). Cette formation est affleurante sur le Causse surplombant la source de Notre-Dame-de-Livron.

- j3-4R : formation de Rocamadour (Bathonien – Callovien)

Ce sont à la base des calcaires micritiques puis des formations dolomitiques (membre de Marcilhac), surmonté par 80 m de calcaires micritiques à bancs métriques (membre de Cabrerets).

- j5G : formation de Saint-Géry (Oxfordien)

Ce sont des calcaires, épais de 90 m, principalement oolithiques à passées graveleuses, bioclastiques, à ciment sparitique.

- g2M : Marnes blanchâtres (Oligocène supérieur)

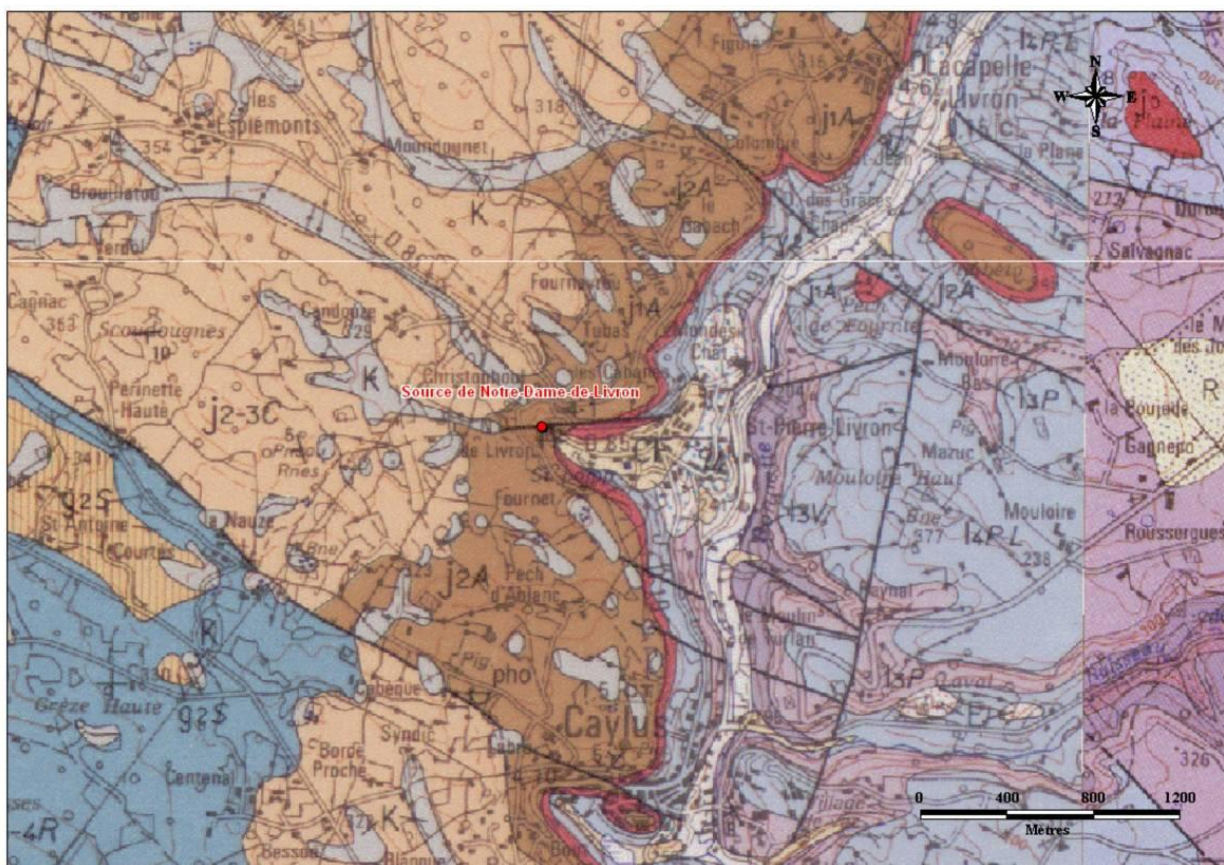
Cette formation est constituée de marnes reposant sur les formations jurassiques du causse situé à l'Ouest de la source de Livron.

- g2S : Calcaires lacustres de la Salle (Oligocène supérieur)

Ce sont des calcaires lacustres visibles au-dessus des marnes blanchâtres.

- K : remplissage des dolines (Quaternaire)

Cette formation est constituée de cailloutis à éléments calcaires et à matrice argilo-sableuse. Elle résulte d'un ancien réseau hydrographique bordant l'Aveyron et progressivement démantelé par les nombreuses dolines.



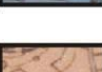
- | | |
|---|--|
|  | Quaternaire et formation superficielle, colluvions et alluvions des vallées secondaires et des ravins : cailloutis à matrice argileuse, limons |
|  | Quaternaire et formation superficielle, remplissage des dolines et cailloutis des vallées sèches suspendues : cailloutis à matrice argilo-sableuse |
|  | Quaternaire et formation superficielle, alluvions récentes (Bonneterre) : galets, graviers, sables et limons |
|  | Secondaire, formation de Rocamadour, Membre de Marcihac et de Cabrerets : calcaires micritiques |
|  | Secondaire, formation de Cajarc, Membre de Larnagol, de la Bouye et de St-Chels : calcaires micritiques et oolithiques, calcaires micritiques à pseudomorphoses, alternances marno-calcaires |
|  | Secondaire, formation d'Autoire, Membre de Calvignac et de Pech-Affamat : calcaires oolithiques et dolomies cristallines ; brèches dolomitiques et calcite fibroradiées |
|  | Secondaire, formation d'Autoire, Membre de la Toulzanie (Aalénien): Calcaires bioclastiques à oncolites |

Illustration 2 – Carte géologique extrait de la carte BRGM à 1/50 000 n°905 (Caussade)

2.2 HYDROGEOLOGIE

La source est alimentée par un réservoir karstique développé dans les calcaires et dolomies de la « Formation d'Autoire » de la base du Dogger (Jurassique). Il s'agit d'un aquifère de type fissural, développant un réseau karstique dans sa partie aval et dont le mur est constitué par les marnes imperméables du Toarcien. La source de Notre-Dame-de-Livron est située à l'intersection de la base de l'aquifère avec la surface topographique. Le karst est donc essentiellement perché. Cependant, du fait du pendage des couches, un siphon précède l'exsurgence. Dans sa partie terminale, le réseau est orienté Nord-Sud.

Il s'agit d'une **source vaclusienne** située en pied de falaise, dont les eaux sont hydrauliquement bloquées sur les marnes toarciennes.

Cette source est exclusivement alimentée par des infiltrations diffuses d'eau de pluie dans les calcaires du Jurassique moyen, affleurant sur la partie du Causse de Caylus, qui s'étend vers le nord-ouest, entre les Espiémonts et le Mas de Gardou. Une injection à la fluoresceine dans l'igue de « Cartayrou » a permis de confirmer la direction dominante du réseau. Une série de traçage a permis de définir le bassin d'alimentation souterrain de la source.

Texte issu du rapport d'ETEN Environnement du 27 mars 2013.

Une étude réalisée par le bureau d'étude SOGREAH en 2001 a permis de mettre en relief les débits de la source de Notre-Dame-de-Livron.

Ainsi, le débit moyen souterrain se situerait entre 15 et 20 L/s.

Le débit moyen de la source pour l'année 1996 a été déterminé à 117 L/s avec un débit souterrain de 17 L/s et un débit de surface de 100 L/s. Cependant, pendant la période d'étiage, il n'est pas rare que la source ne montre plus d'écoulement de surface.

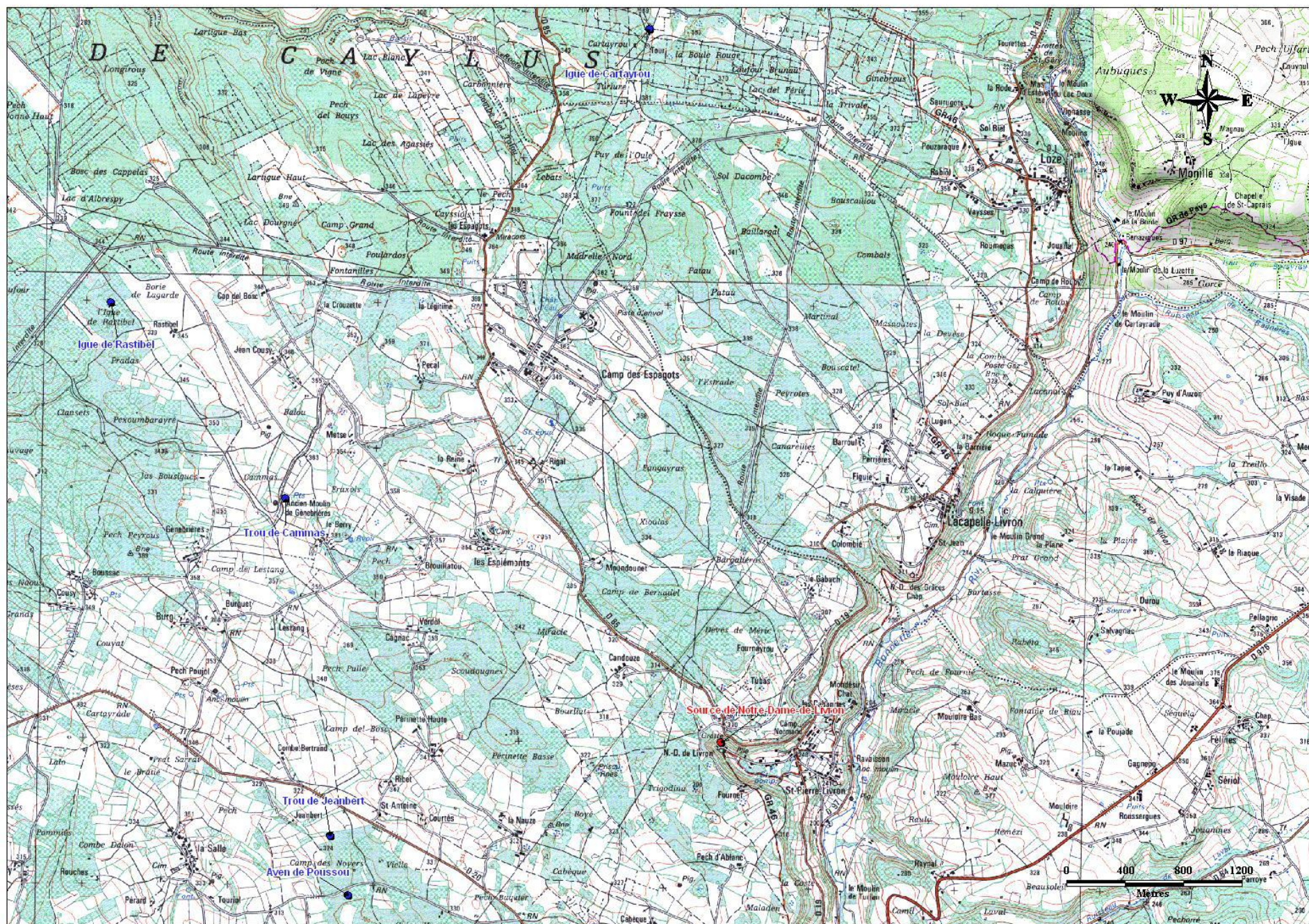
Des traçages ont été réalisés au cours de l'année 2007 au niveau de la zone d'étude de la source de Notre-Dame-de-Livron.

Des traceurs ont été injectés :

- Au « Trou de Cammas » à 3 km au Nord-Ouest de la source => Négatif
- Dans l'igue de « Rastibel » située à 4 km au Nord-Ouest de la source => Négatif
- Dans le trou de Jeanbert à 3 km à l'Ouest de la source de Livron => Négatif
- Dans l'Aven de Poussou à 3 km à l'Ouest de la source de Livron=> Négatif
- Dans l'igue de « Cartayrou » à 5 km au Nord de la source de Livron=> Positif

Un seul traceur a réapparu au niveau de la source de Notre-Dame-de-Livron. En effet, la fluoresceine est apparue au bout de 70 heures avec un taux de restitution de 27%.

Ce traçage montre une orientation préférentielle du bassin d'alimentation de la source vers le Nord. Les traçages laissent penser que le bassin versant est faiblement étendu vers l'Ouest.



3. Rappel des investigations précédentes

3.1 PROTOCOLE DE L'ESSAI

Des essais de pompage ont été réalisés du 21 au 24 septembre 2010 afin de tester le réservoir karstique et d'estimer le débit d'exploitation compatible avec le débit d'alimentation du réservoir et le volume de réserve disponible, tout en garantissant l'écoulement du débit réservé.

Ces essais ont été réalisés par le bureau d'études Calligée.

Le protocole adopté a été le suivant :

- Des essais par paliers de débit constant, avec interruption de pompage entre chaque palier pour évaluer la réalimentation. Les débits appliqués sont les suivants : 30, 70 et 120 m³/h,
- Un essai de longue durée effectué au débit de 120 m³/h. Cet essai a pour objectif d'évaluer l'impact du débit d'exploitation envisagé sur la ressource. En milieu karstique, il est intéressant de stopper le pompage sur de courtes périodes, afin de calculer le débit d'alimentation à un rabattement donné (essai de type « Porchet »). Ces informations permettent de tracer la courbe de production du réservoir capté et de visualiser d'éventuelles limites d'alimentation du réservoir. La durée de cet essai n'est pas précisée dans le rapport de Calligée.

3.2 DEROULEMENT DE L'ESSAI

Les essais ont été réalisés du 21 au 24 septembre 2010, et ont été perturbés par des incidents successifs.

- Le 1^{er} palier a été réalisé le 21/09/10 : un pompage de 30 m³/h a été réalisé pendant 1h00, et a été suivi d'une remontée du niveau pendant 1h30,
- Le 2^{ème} palier a été réalisé le même jour, à un pompage de 70 m³/h pendant 2h50 et suivi d'une remontée d'une durée de 2h10.
- Le 3^{ème} palier n'a ensuite pas pu être lancé correctement suite à un problème de sous-dimensionnement de l'installation électrique et à un problème de fuite dans le réseau. Le pompage à 120 m³/h (2 pompes de 80 m³/h et 40 m³/h) n'a pu commencer que le lendemain, le 22/09/10, pour une durée de 1h20. Le pompage a ensuite été interrompu pendant 1h20. Il a ensuite repris pendant 2 heures, puis a été interrompu par une nouvelle casse de la canalisation de refoulement.

Les travaux de réparation du réseau ont eu lieu pendant la matinée du 23/09/10.

L'essai de longue durée a donc débuté le 23/09/10 à 12h18, à un débit de 120 m³/h. Mais 14 heures après, un orage violent éclate et fait disjoncter la pompe de 80 m³/h. Le technicien sur place ne s'en aperçoit qu'à 7h45 du matin (remontée des niveaux pendant 5 heures). La pompe est alors redémarrée et fonctionne pendant 1h30. Un arrêt volontaire est ensuite réalisé pendant 30 minutes, puis le pompage est repris pendant 4 heures. La remontée est ensuite observée pendant plus de 12 heures.

En conclusion, le 3^{ème} palier de l'essai par palier et l'essai de longue durée n'ont pas pu être réalisés dans les règles de l'art, suite à de nombreux incidents successifs. Dans ces conditions, l'interprétation de l'essai de longue durée est très difficile à réaliser et la détermination du débit est délicate et entachée d'incertitudes.

La réalisation d'un nouvel essai de longue durée était donc préconisée par Calligée et également recommandé par le BRGM dans son rapport BRGM/RP-61366-FR.

4. Configuration du site et conditions d'exploitation

Le BRGM a procédé à une visite de terrain le 25/03/13, en compagnie de Monsieur le Président du Syndicat des Eaux de Caylus et de M. Joan Cavaillé, chargé de l'exploitation des captages au sein du syndicat. L'objectif de cette visite était de constater la configuration du site de captage, ainsi que les conditions d'exploitation de la source et de proposer des investigations permettant d'estimer le débit d'exploitation de la source.

Deux options étaient envisageables :

- la mise en place d'un suivi permanent et continu du niveau d'eau dans la vasque, avec mesure du débit en aval,
- la réalisation d'un nouvel essai de pompage de longue durée.

L'avis du BRGM est demandé pour :

- définir les conditions de mise en œuvre de la solution de suivi des niveaux en continu,
- procéder à évaluation de la gamme de prix associés à ces travaux.
- évaluer la pertinence d'une telle solution, en comparaison avec un nouvel essai de pompage de longue durée.

4.1 CONFIGURATION DU SITE

Le site de captage de la source de Notre-Dame-de-Livron se trouve en milieu karstique, dans un lieu de pèlerinage.

Le schéma de l'illustration 4 ci-après reprend la configuration des différents ouvrages et sorties d'eaux.

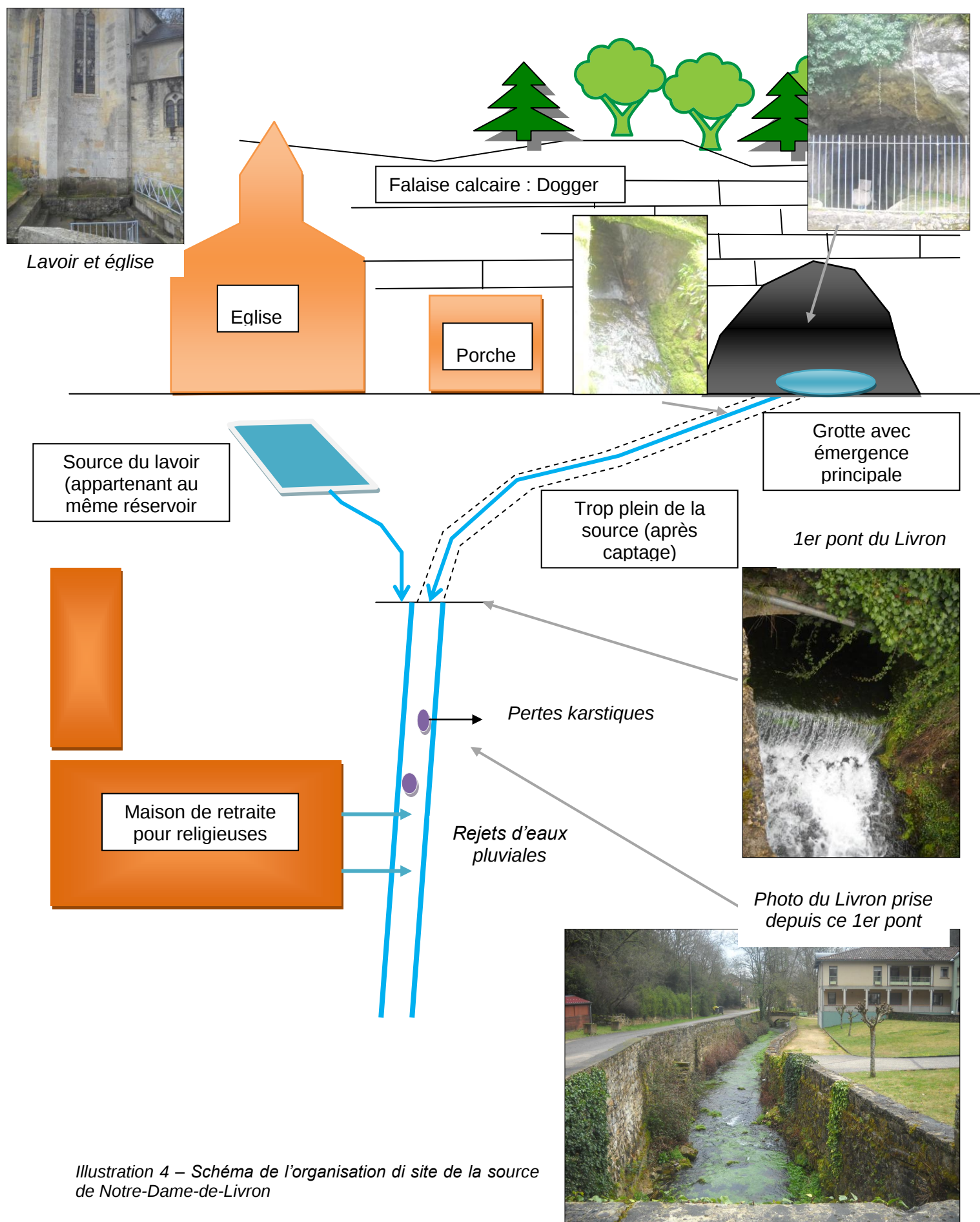


Illustration 4 – Schéma de l'organisation di site de la source de Notre-Dame-de-Livron

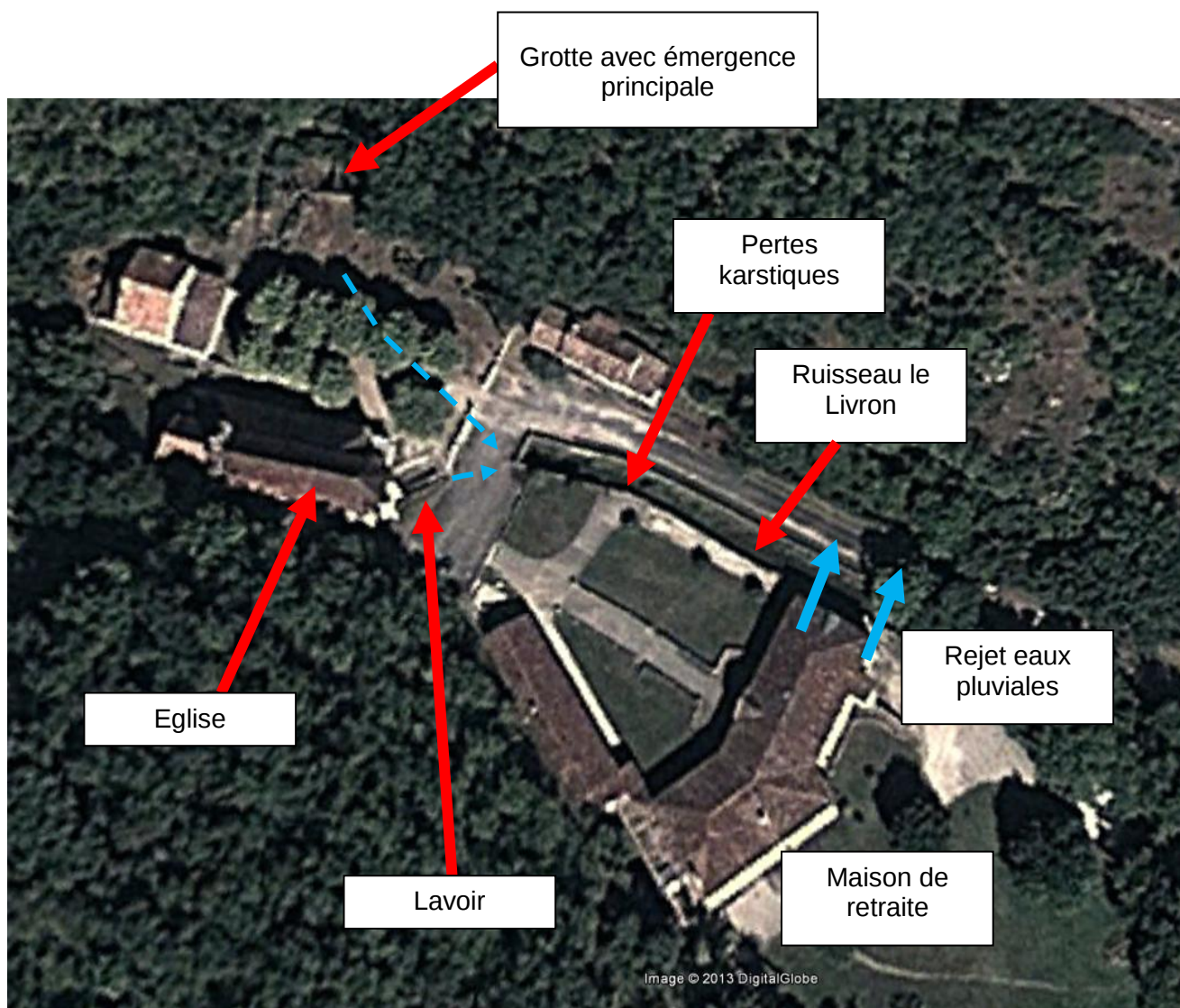


Illustration 5 – Photographie aérienne (source GoogleEarth) du site de la source de Notre-Dame-de-Livron

Texte issu du rapport d'ETEN Environnement du 27 mars 2013.

Le plancher de la grotte du dragon est constitué de dépôts alluviaux de sables, graviers, blocs calcaires et de couches argileuses. La formation peut atteindre 2,6 m de profondeur.

Les eaux de la source s'écoulent le long d'une galerie sub-horizontale aménagée sous la grotte et le parking près de la chapelle. Les eaux atteignent ensuite l'extérieur pour donner naissance à une cours d'eau qui se jette à 1 km en aval de la Bonnette.

Les eaux sont captées à l'intérieur d'un puits creusé au milieu de la grotte. Ce puits a été foré dans les formations caillouteuses et est entouré d'un massif sableux.

L'ouvrage capte gravitairement les eaux transitant au travers des formations alluviales.

Lorsque le niveau d'eau à l'intérieur du siphon est trop bas, le captage est alimenté par une pompe de 100 m³/h immergée mise en place dans le siphon.

Les eaux sont ensuite dirigées vers deux directions différentes à savoir :

- le réservoir de la Commune de Caylus et le réservoir de Laval situé à 4,8 km au Sud-Est du captage ;
- la station de pompage et de traitement située 500 m à l'aval du captage. Les eaux sont ensuite acheminées d'une part vers le château d'eau du camp militaire des Espagots et d'autre part vers le réservoir du Berry situé à 3 km au Nord-Ouest de la source.

Des explorations de la grotte du Dragon ont été effectuées il y a plusieurs années. Les spéléologues sont remontés le long de la grotte jusqu'à 700 m de profondeur après l'entrée de la grotte et ont pu réaliser un état des lieux.

Le réseau de la grotte du Dragon se développe vers le Nord et il est particulièrement complexe. Après le passage d'un siphon, la galerie mène à des salles concrétionnées jusqu'à aboutir à une grande salle qui représente la fin de l'expédition.

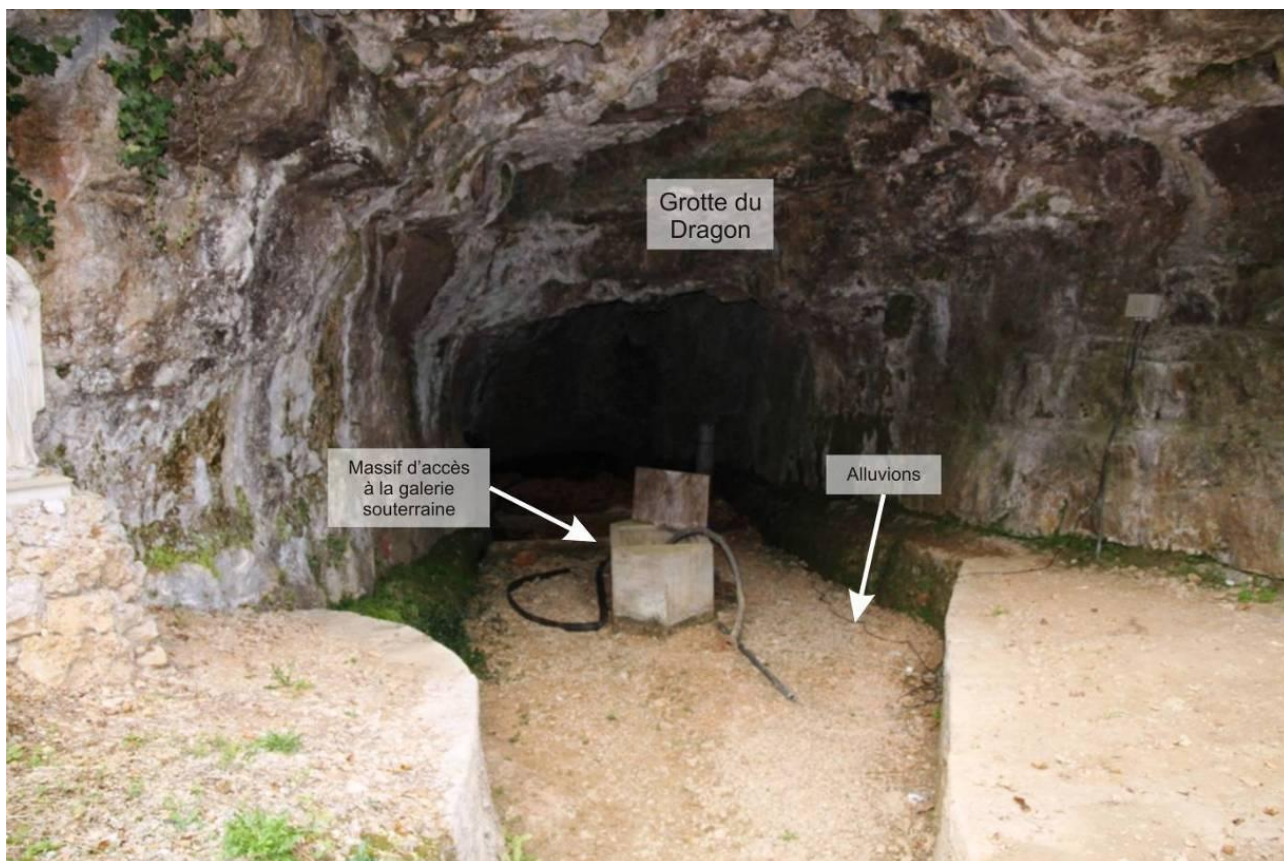


Illustration 6 - Photographie de la grotte du Dragon, lieu de l'émergence principale

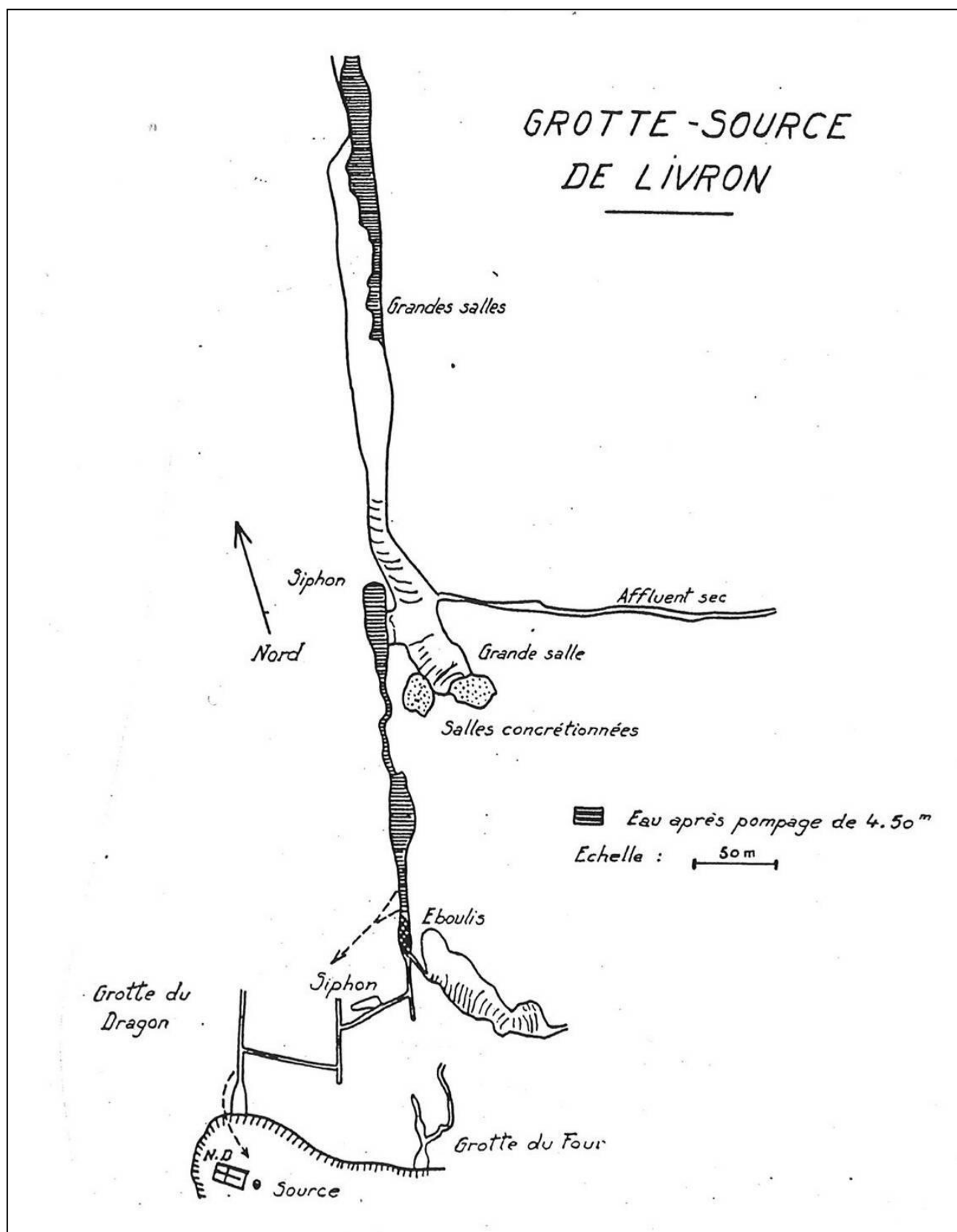


Illustration 7 – Réseau karstique proche de la source de Livron (source : rapport SOGREAH n°100384)

En période de hautes à moyennes eaux, la source de Notre-Dame-de-Livron coule généralement dans le fond de la grotte par-dessus les alluvions. Les eaux alimentent alors le ruisseau du thalweg jusqu'à la Bonnette.

En période de basses eaux ou sous l'effet des pompages du Syndicat, les eaux ne coulent plus sur les alluvions mais seulement au sein des alluvions, (la grotte est asséchée). Elles apparaissent alors plus bas dans le thalweg en fonction du niveau d'eau. Dans tous les cas, le thalweg constitue le drain principal de la source.

Une seconde source également visible en hautes et moyennes eaux est présente au pied de la chapelle de Notre-Dame-de-Livron. Des pompages effectués en mars 1992 ont permis de montrer la relation hydraulique existante entre la source de la grotte du Dragon et cette résurgence annexe. Les mesures ont montré que pour remplir le réseau asséché par le pompage, le débit souterrain de Livron était de 58 m³/h.

Un véritable ruisseau souterrain émerge sous le rocher jurassique, sur un sol encombré d'éboulis et constitué en profondeur par les marnes liasiques imperméables.

Son régime est sujet à de très grandes variations. Sujet à des crues exceptionnelles, le ruisseau est aussi susceptible d'un assèchement complet de son émissaire à la sortie de la grotte. L'assèchement se produit durant la période de basses eaux.

5. Recommandations du BRGM

Le premier essai de pompage de longue durée ayant été fortement perturbé par une série d'incidents, les résultats obtenus sont difficilement exploitables et la caractérisation d'un débit d'exploitation adapté au réservoir karstique paraît délicate.

Afin d'améliorer la connaissance du fonctionnement de l'aquifère karstique de la source de Notre-Dame-de-Livron, deux options sont envisageables :

- La mise en place d'un suivi pérenne en continu du niveau d'eau dans la vasque, couplé à une station de jaugeage afin d'établir une relation hauteur/débit,
- La réalisation d'un second essai de pompage de longue durée en période de basses eaux souterraines, afin de caractériser le débit d'exploitation de la source.

5.1 MISE EN PLACE D'UN SUIVI CONTINU DES HAUTEURS DE NIVEAUX ET DE DEBIT DE LA SOURCE

5.1.1 Intérêt du système

La mise en place d'une station de mesure du niveau piézométrique, couplée à une station hydrométrique permettant d'établir une loi de relation hauteur/débit pour l'ouvrage, permet de recalculer les variations du débit naturel de la source à un pas de temps très fin (30 minutes maximum).

La capitalisation des données de débits sur plusieurs cycles hydrologiques permet d'aboutir à des travaux d'interprétation permettant d'apprécier le fonctionnement hydrogéologique du système karstique étudié :

- L'étude des débits classés, conjointement à l'analyse simplifiée ou à l'étude des courbes de récession, permettent d'obtenir des informations sur :
 - o le volume des réserves,
 - o sur l'existence de fuites ou d'alimentation du système,
 - o sur le degré de karstification et sur l'organisation des écoulements au sein de l'aquifère.
- Les données de conductivité et de température enregistrées grâce à la sonde de pression peuvent être valorisées grâce à une Analyse Corrélatoire et Spectrales (ACS). Cette technique permet d'obtenir des informations sur l'inertie du système, son effet mémoire, mais également le type d'hydrogramme unitaire.
- L'analyse des courbes de récession permet une évaluation de la ressource, des réserves en présence et de l'inertie du système.

5.1.2 Principes et proposition d'équipement

Le principe de cette solution est de pouvoir placer un appareil de mesure du niveau de l'eau dans la vasque et de le coupler à une station hydrométrique un peu plus en aval sur le Livron, de façon à pouvoir établir une relation hauteur/débit.

En théorie, la configuration idéale serait la suivante :

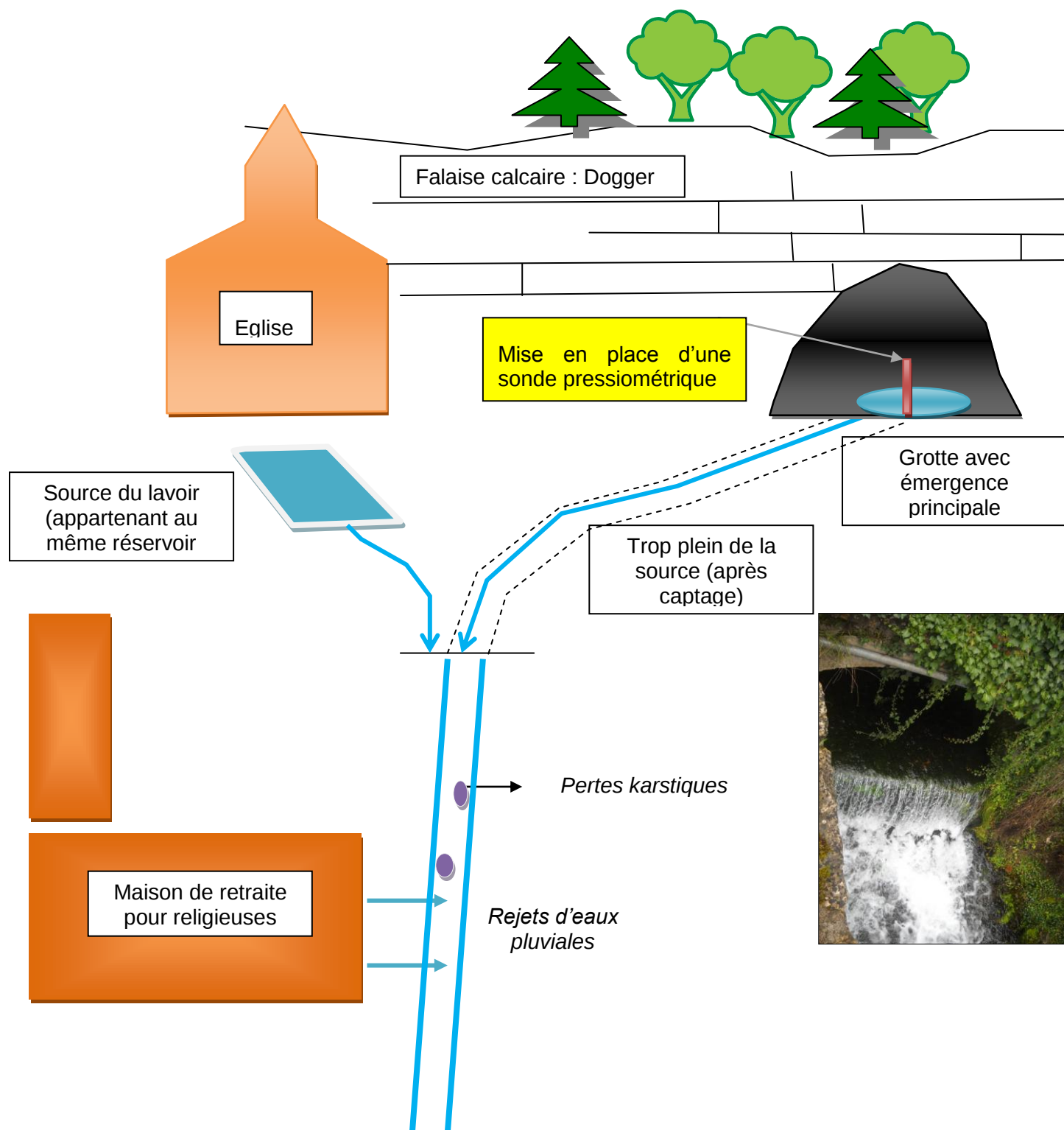


Illustration 8 – Implantation théorique des équipements de mesure du niveau et du débit de la source

La sonde pressiométrique peut être placée dans la vasque principale, le plus près possible de l'émergence, dans un puits creusé à la main sur 1 à 1,5 m de profondeur, de façon à garantir une hauteur minimale d'eau et une meilleure précision des mesures. Cet ouvrage serait équipé d'un tube en PVC crépiné. Cette sonde pourrait également être placée dans le siphon situé derrière la paroi rocheuse, avec l'intervention d'un plongeur expérimenté. Quel que soit l'emplacement choisi pour la sonde, le niveau d'eau mesuré par celle-ci sera influencé par les pompages effectués avec la pompe en place de 100 m³/h et qui fonctionne environ 10 jours par an.

Cette sonde pourra être de la marque habituellement utilisée par le syndicat. Elle sera dotée d'un système d'enregistrement et de télétransmission. La fréquence de mesure minimale proposée est de 30 minutes. Cette sonde pourrait être équipée d'un capteur de conductivité, afin d'améliorer la compréhension du fonctionnement du système karstique.

N.B. : L'idéal aurait été de pouvoir réaliser en forage directement dans le conduit karstique principal, bien en amont des prélèvements, mais l'accès au site par une foreuse paraît complexe.

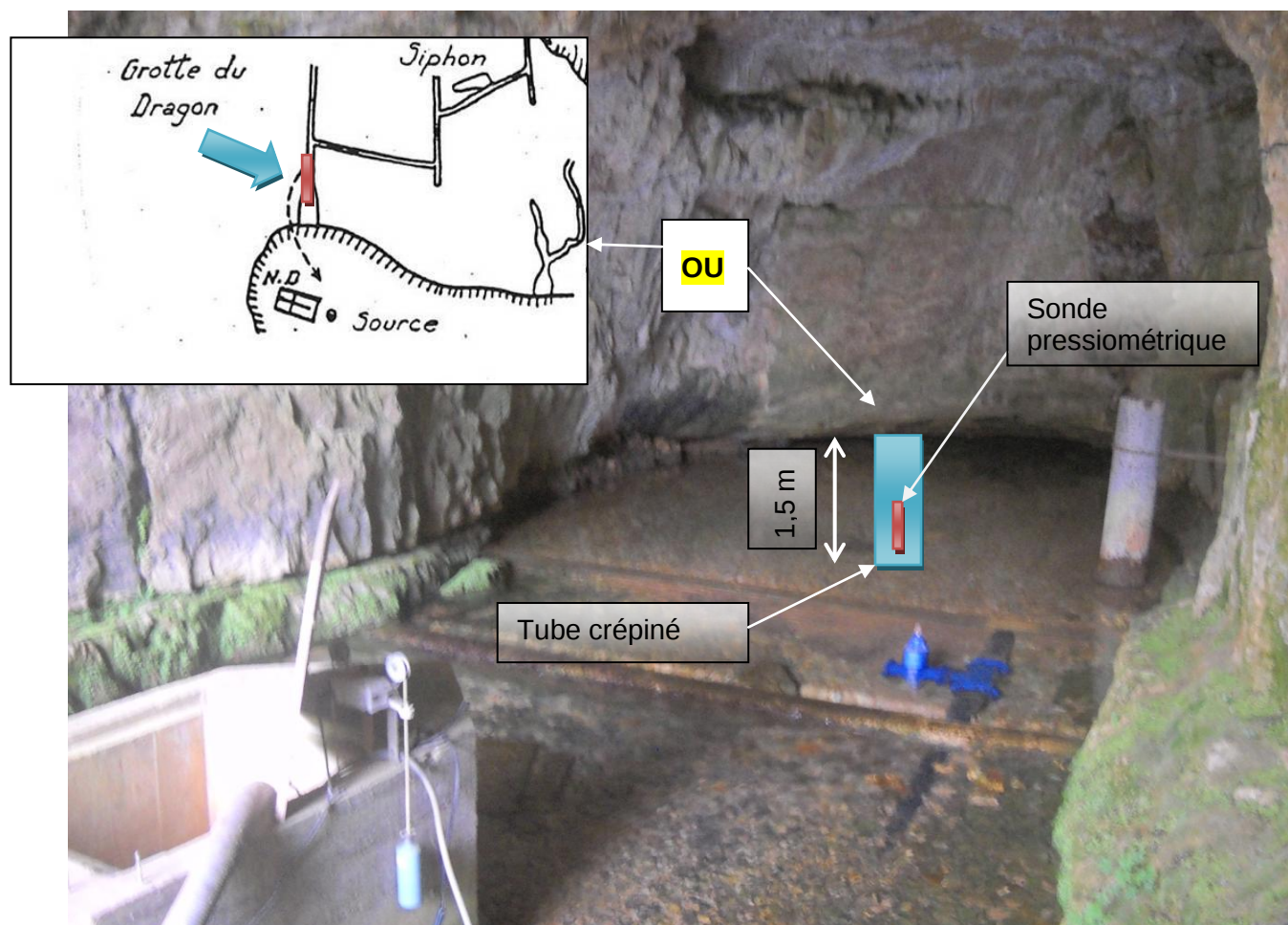


Illustration 9 – Localisation théorique des sondes de pression dans la grotte du Dragon

Les signaux de variation des niveaux piézométriques sont nécessaires pour connaître le fonctionnement hydrogéologique de la source et du système karstique associé, mais ne sont pas

suffisants en tant que tel. Ils doivent être couplés à des mesures de débits permettant d'établir une relation hauteur/débit (courbe de tarage). Cette relation permettrait d'obtenir la variation de débit en continu, et de pouvoir restituer le débit naturel du système, par addition des volumes prélevés par le syndicat.

La station hydrométrique doit être placée sur une section du ruisseau le Livron, le plus près possible de la résurgence. Cependant, comme l'indique le rapport SOGREAH n°100384 de juin 1997, « la configuration géométrique de la source de Livron induit des problèmes pour la calage d'une loi hauteur/débit. En effet, il existe deux cheminements possibles de l'eau : le premier est représenté par un écoulement de surface se produisant durant les mois de hautes à moyennes eaux. (...) Le second est représenté par un écoulement souterrain dans les graves et sables du fond de la grotte ainsi que dans les tufs sous-jacents au plateau de Livron. Ce débit n'est pas a priori calculable. Ce type d'écoulement est dominant durant toute la période d'étiage. Le débit de surface ne représente qu'une partie du débit total. »

Ce débit souterrain se situerait entre 15 et 20 l/s selon les hypothèses prises par SOGREAH.

« La détermination du débit de surface est aidée par les jaugeages sur un seuil noyé situé dans le fond de la grotte du Dragon, à l'aval du pont, et par l'observation de la lame d'eau s'écoulant ».

Au total, les débits drainés par le système varient de 15 l/s (4,16 m³/h) en étiage à 2000 l/s (556 m³/h) en période de hautes eaux exceptionnelles (mi-mai 1996).

Le débit moyen de la source pour l'année 1996 est de 117 l/s (32,5 m³/h), avec 17 l/s de débit souterrain (14,5 %) et 100 l/s de débit de surface (85,5 %).

En amont immédiat de l'émergence, la présence de cet écoulement souterrain pose plusieurs problèmes :

- Seulement 80 à 85 % du débit total de la source est mesuré en période de moyenne et hautes eaux,
- En période basses eaux, la mesure du débit n'est plus possible dans la mesure où l'écoulement de surface disparaît,
- En période de hautes eaux, le seuil présent dans la grotte du dragon est totalement submergé et ne permet plus une mesure précise des forts débits.

En conclusion, la mesure du débit en aval immédiat de l'émergence n'est valable que pour des débits moyens, ce qui limite considérablement son intérêt.

Le BRGM a cherché d'autres sites favorables à l'implantation d'une station hydrométrique. En effet, le trop-plein de la source se transforme juste en aval de la place principale en un cours d'eau, le Livron, dont la section est fortement anthropisée par la présence de murs en pierres calcaires.

La mise en place d'une station de mesure hydrométrique sur le premier pont du Livron serait possible car la conception du seuil est favorable. Cependant, il semble, d'après les observations du syndicat qu'une bonne partie des écoulements se fassent de manière souterraine. Cette station ne mesurerait donc qu'une partie des écoulements, ce qui n'est pas satisfaisant (cf. illustration 10).



Illustration 10 – Photographie du premier seuil du Livron, en aval immédiat de l'émergence principale

Le second site favorable à la mise en place d'une station hydrométrique est situé à une cinquantaine de mètres en aval du premier ouvrage (cf. illustration 11), juste à l'aval de la maison de retraite.



Vue du second pont depuis le 1^{er} pont du Livron



Vue de près de l'aval immédiat du second pont du Livron

Illustration 11 – Photographie du second pont du Livron

Ce pont ne présente pas de seuil maçonné. La mise en place d'un seuil et d'un déversoir serait possible, mais occasionnerait des coûts importants. Par ailleurs, ce second ouvrage est situé à 50 m en aval du premier pont. Or, sur ce linéaire, des pertes karstiques sont observées dans le lit du Livron. De plus, le rejet de deux gouttières des eaux du toit de la maison de retraite se situent juste en amont du 2^{ème} pont. Ainsi, les mesures de niveau et de débit seraient à la fois influencées par un manque dû aux pertes et par un apport d'eaux de pluies en périodes de précipitations. La surface de la toiture de la maison de retraite laisse supposer que le débit en question n'est pas négligeable. De plus, comme cela était évoqué précédemment, une partie (10 à 20 %) des écoulements se fait en souterrain et échappe donc une mesure des flux de surface.

Il existe un troisième pont situé à une trentaine de mètres en aval du 2^{ème} pont. L'ouvrage est constitué d'une dalle de béton rectangulaire, fixée sur une section droite du cours d'eau. Cette géométrie est plus favorable à la pose d'une poutre sur laquelle un déversoir, de forme adaptée au débit mesuré, peut être vissé (cf. illustration 12).

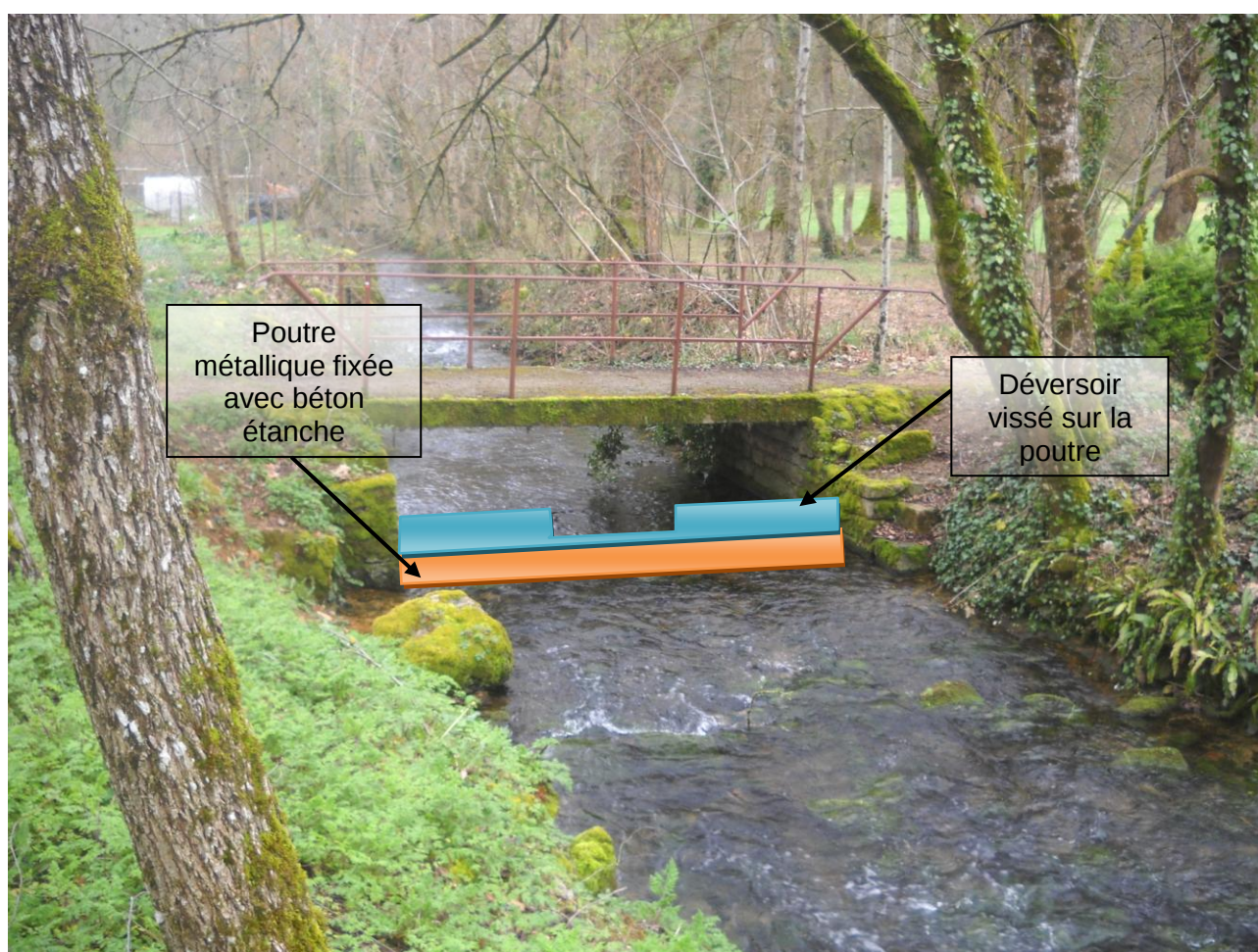


Illustration 12 – Equipement théorique d'un seuil sur le 3^{ème} pont du Livron

La mise en place d'un déversoir de géométrie connue et adaptée aux gammes de débits mesurés permet d'obtenir une relation hauteur/débit. Cependant des opérations de jaugeages à des gammes de débits différents sont nécessaires pour valider la courbe de tarage.

Malgré la possibilité d'équiper ce 3^{ème} ouvrage, le débit mesuré reste lui aussi influencé par les pertes karstiques et les apports d'eaux pluviales.

5.1.3 Avantages et inconvénients

La mise en place d'un tel système de mesure permettrait, en théorie, de suivre en continu l'évolution du débit de la source, et de recalculer par la suite son débit naturel, par addition des débits prélevés.

Ces chroniques de débits permettent, par différentes techniques d'analyse, de comprendre précisément le fonctionnement karstique de la source, et les volumes disponibles dans le réservoir associé. Ces informations sont indispensables pour adapter le débit d'exploitation à la ressource disponible, ainsi que pour évaluer la vulnérabilité du système karstique et donc du captage.

Cependant, la configuration du site rend la mise en place d'une station hydrométrique très délicate. En effet, plusieurs ouvrages de pont sont situés en aval immédiat du trop-plein du captage, mais tous présentent des inconvénients majeurs :

- La mesure du débit dans la vasque de la grotte du Dragon n'est possible que pour des débits moyens : en hautes eaux, le seuil en place devient transparent, et en basses eaux, les écoulements de surface disparaissent : seuls des écoulements souterrains ont lieu.
- Le 1^{er} pont est bien placé et sa géométrie favorable à l'implantation d'un seuil, mais une partie non quantifiable des écoulements se fait de manière souterraine et échapperait donc à la mesure.
- Le 2^{ème} pont, situé à une cinquantaine de mètres en aval du 1^{er}, pourrait également être équipé d'un seuil. Cependant, le linéaire du cours d'eau qui sépare les deux ponts présente plusieurs pertes karstiques et les écoulements qui s'y engouffrent ne pourront être mesurés. Par ailleurs, deux gouttières du toit de la maison de retraite se rejettent dans ce même tronçon, ajoutant ainsi des eaux pluviales au débit mesuré.
- Le 3^{ème} pont présente une section rectangulaire qu'il serait facile d'équiper avec une poutre métallique sur laquelle serait vissée un déversoir. Cependant, comme le 2^{ème} pont, les débits mesurés seraient faussés par les pertes et les rejets d'eaux pluviales.

Quelle que soit l'option choisie, les coûts de mise en œuvre de l'installation peuvent être estimés à 25 000-30 000 €.

Il convient de s'interroger sur la pertinence d'un tel investissement par rapport à la qualité et à la précision de la donnée obtenue. En effet, une donnée trop imprécise ne pourra être valorisée et interprétée dans de bonnes conditions.

5.2 REALISATION D'UN SECOND ESSAI DE POMPAGE LONGUE DUREE

L'autre option offerte au Syndicat des Eaux de Caylus est de procéder à la réalisation d'un nouvel essai de pompage de longue durée.

Il convient de rappeler seul un essai de pompage réalisé sur un forage recoupant le système annexe au drainage (SAD) permettrait d'évaluer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère karstiques (transmissivité, éventuellement le coefficient d'emmagasinement).

Il est proposé de réaliser un essai équivalent à celui réalisé par Calligée en septembre 2010, mais en évitant les multiples perturbations survenues alors. Cet essai sera réalisé en période de basses eaux souterraines, c'est-à-dire a priori en septembre/octobre. Cette information devra être vérifiée à partir des chroniques enregistrées par le BRGM sur la source de la Gourgue de Saint-Antonin-Noble-Val, et bancarisées sur le site de la Banque HYDRO de la DREAL (code de la source : O5685030). Par ailleurs, les prévisions, météorologiques du secteur devront être consultées afin d'éviter tout épisode de précipitations durant l'essai.

Un pompage sera réalisé directement dans le siphon à un débit de 120 m³/h.

Le pompage sera réalisé sur une durée minimale de 24 heures, pouvant être interrompue au bout de 12 heures et pour une durée de 30 minutes. Cette interruption a pour objectif d'évaluer de débit de réalimentation du réservoir karstique.

Ce pompage de longue durée devra être suivi d'une remontée de 12 heures minimum.

Un certain nombre de dispositifs de mesure du niveau et de débit devra être mis en place durant cet essai (pompage et remontée) :

- Une sonde niveau sera placée dans le même siphon, le plus loin possible de la pompe immergée. Lors de l'essai de pompage (pompage et remontée), les niveaux seront enregistrés toutes les minutes. Cette sonde sera placée environ 2 semaines avant le début du pompage, avec enregistrement des données toutes les 15 minutes.
- Le niveau d'eau dans le lavoir de la chapelle sera suivi à l'aide d'une sonde pressiométrique et validé manuellement.
- Le niveau d'eau sera également suivi à l'aide d'une sonde niveau dans le tunnel du trop-plein de la source.
- Le débit du trop-plein de la source principale sera mesuré au minimum 4 fois durant la réalisation de l'essai. Cette mesure pourra être effectuée à l'aide d'un déversoir mobile ou d'un courantomètre.
- La même séquence de mesure du débit sera réalisée dans le ruisseau du Livron, en amont des pertes karstiques.
- Un débitmètre sera également installé sur la conduite de pompage, de façon à suivre en instantanée le débit réellement pompé dans le siphon.

Précautions particulières à prendre :

- essai réalisé en période basses eaux souterraines,
- pas d'épisode pluvieux prévu pendant l'essai,

- s'assurer que le dimensionnement et la capacité de la conduite d'exhaure est compatible avec un débit de pompage de 120 m³/h,
- s'assurer que l'installation électrique est bien dimensionnée pour l'équipement de pompage à mettre en place.
- Vérifier en instantanée le bon fonctionnement des sondes de pression et du débitmètre.

Les données de l'essai de pompage de longue durée seront interprétées de façon à caractériser le débit d'exploitation optimal en fonction de la ressource karstique en présence et du débit réservé à maintenir en aval. Le débit de réalimentation sera également évalué en période de basses eaux.

6. Conclusions

La mise en place d'une station hydrométrique permettant de suivre le débit naturel (par reconstitution) de la source en continu sur plusieurs cycles hydrologiques est une solution optimale pour aboutir à une bonne compréhension du fonctionnement du système karstique étudié.

Cependant, la configuration du site de la source de Notre-Dame-de-Livron rend cette solution très délicate à mettre en œuvre, et peu pertinente au vue de la qualité des données obtenues (écoulements souterrains non mesurables, pertes karstiques, apports d'eaux pluviales).

Il est donc proposé de réaliser un nouvel essai de pompage de longue durée en période de basses eaux souterraines et en s'assurant que les problèmes survenus lors du premier essai (casse des canalisations, installation électriques sous-dimensionnées, épisode de pluies intenses) ne se reproduisent pas.

Les données de l'essai de pompage de longue durée seront interprétées de façon à caractériser le débit d'exploitation optimal en fonction de la ressource karstique en présence et du débit réservé à maintenir en aval. Le débit de réalimentation sera également évalué en période de basses eaux.

Par ailleurs, à défaut de pouvoir mettre en place une station hydrométrique en sortie de la source du Livron, il est recommandé de mettre en place une sonde pressiométrique dans un puits peu profond (1,5 m) creusé dans la vasque principale de la source du Dragon, le plus près possible de la sortie du siphon. Cette sonde sera équipée d'un capteur de conductivité (et de température) et procédera à un enregistrement des paramètres niveau-conductivité-température toutes les 15 minutes. Les données seront télétransmises au centre de gestion du syndicat.

A terme, ces données pourront être interprétées à l'aide d'une analyse corrélatrice et spectrale (ACS) afin d'obtenir des informations sur :

- La structure et le fonctionnement du système karstique : inertie, effet mémoire, typologie,
- La tendance à court et long du système,
- Les phénomènes périodiques associés à des variations de pressions.

Si ces données peuvent être complétées par des jaugeages ponctuels des débits des hautes eaux et des basses eaux, et des débits pendant une phase de récession, il est alors possible d'identifier le degré de karstification et la fonctionnalité du système (cf. méthode développée par H. Paloc).



Centre scientifique et technique BRGM Midi-Pyrénées
3, avenue Claude-Guillemin 3 rue Marie Curie – Bât ARUBA – BP 49
BP 36009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France 31 527 Ramonville St Agne – France
Tel. 02 38 64 34 34 Tél. : 05 62 24 14 58