

RAPPORT D'ÉTUDE

03/11/2015

INERIS DRS-15-141899-07517A

Retour d'expérience de la reconversion des ouvrages profonds et examen de cas pour lesquels une reconversion aurait pu être entreprise

Projet ANR PRÉGO (Préfiguration géothermique des ouvrages profonds)

Livrable commun des tâches 1.1 et 2.1

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

Retour d'expérience de la reconversion des ouvrages profonds et examen de cas pour lesquels une reconversion aurait pu être entreprise

Projet ANR PRÉGO (Préfiguration géothermique des ouvrages profonds)

Livrable commun des tâches 1.1 et 2.1



Le projet ANR PRÉGO est un projet de recherche collaborative associant :



Le projet ANR PRÉGO bénéficie d'un financement de l'agence nationale de la recherche (ANR) pour la période 2014-2018.

Réf. ANR-14-CE05-0049



PREAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Étant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

| | Rédaction | Vérification | Approbation |
|---------|---|--|---|
| NOM | Stéphane LAFORTUNE | Régis FARRET | Mehdi GHOREYCHI |
| Qualité | Ingénieur à l'unité Eaux Souterraines et Émissions de Gaz | Responsable de l'unité Eaux Souterraines et Émissions de Gaz | Directeur des Risques du Sol et du Sous-sol |
| Visa |  |  |  |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|-----------|
| 1. RÉSUMÉ..... | 9 |
| 2. INTRODUCTION | 11 |
| 3. RETOUR D'EXPÉRIENCE EN FRANCE | 13 |
| 3.1 Encadrement réglementaire de la reconversion..... | 13 |
| 3.1.1 Dispositions prévues par le RGIE | 13 |
| 3.1.2 Dispositions prévues par le code minier | 14 |
| 3.1.3 Projet de réforme du code minier..... | 14 |
| 3.2 Exemples de reconversion | 15 |
| 3.2.1 Reconversion de puits pétroliers en puits producteurs d'eau chaude..... | 15 |
| 3.2.1.1 Cas du puits HÉLIONS 1 | 15 |
| 3.2.1.2 Cas du puits MIOS 2 bis..... | 17 |
| 3.2.2 Reconversion de puits pétroliers en puits de monitoring sismique | 19 |
| 3.3 Bilan du retour d'expérience en France..... | 20 |
| 4. RETOUR D'EXPÉRIENCE À L'ÉTRANGER | 21 |
| 4.1 Reconversions de puits pétroliers en puits d'alimentation en eau..... | 21 |
| 4.2 Reconversions de puits pétroliers en d'autres types de puits pétroliers..... | 22 |
| 4.2.1 Reconversions de puits profonds en puits géothermiques | 22 |
| 4.2.1.1 Exemple de reconversion en Allemagne | 22 |
| 4.2.1.2 Exemple de reconversion en Pologne..... | 22 |
| 4.2.1.3 Exemples de reconversion en Suisse | 23 |
| 4.3 Bilan du retour d'expérience à l'étranger..... | 24 |
| 5. CAS OÙ UNE RECONVERSION AURAIT PU ÊTRE ENTREPRISE..... | 27 |
| 5.1 Projet de reconversion du puits LA TAILLA 1 (1978) | 27 |
| 5.2 Projet de reconversion du puits THX-1 en Suisse (2001)..... | 29 |
| 5.3 Étude du potentiel géothermique des puits pétroliers profonds en région Rhône-Alpes (2012) | 29 |
| 5.4 Bilan | 34 |
| 6. CONCLUSION..... | 35 |
| 7. BIBLIOGRAPHIE | 37 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Coupe géologique de la région de Merkwiller-Pechelbronn et situation structurale du puits 1 266 (ou HÉLIONS 1) | 16 |
| Figure 2 : Coupe du puits GLTP1 (anciennement MIOS 2 bis) avant les travaux de reconversion..... | 17 |
| Figure 3 : Coupe du puits GLTP1 (anciennement MIOS 2 bis) après les travaux de reconversion..... | 18 |
| Figure 4 : Carte de localisation des puits et stations de surface utilisés pour le monitoring géophysique du site géothermique de Soultz-sous-Forêts | 20 |
| Figure 5 : Complétion du puits de Weissbad après travaux de reconversion | 23 |
| Figure 6 : Localisations des communes de Weissbad et Weggis et complétion du puits de Weggis après travaux de reconversion..... | 24 |
| Figure 7 : Complétion du puits LA TAILLA 1 réalisée en 1975 | 28 |
| Figure 8 : Carte de localisation des puits pétroliers profonds de la région Rhône-Alpes ayant le plus fort potentiel pour une réutilisation en géothermie..... | 31 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Puits pétroliers reconvertis et approfondis pour le monitoring géophysique du site géothermique de Soultz-sous-Forêts..... | 19 |
| Tableau 2 : Classes retenues pour la notation des forages pétroliers dans le cadre de l'inventaire du potentiel géothermique de la région Rhône-Alpes réalisé par le BRGM en 2012..... | 29 |
| Tableau 3 : Liste des puits pétroliers profonds de la région Rhône-Alpes ayant le plus fort potentiel pour une réutilisation en géothermie | 30 |
| Tableau 4 : Comparaison des puits pétroliers profonds de la région Rhône-Alpes ayant le plus fort potentiel pour une réutilisation en géothermie avec ceux situés à moins de 500 mètres d'une agglomération et estimation de l'énergie spécifique annuelle qui pourrait être récupérée pour chaque ouvrage | 33 |

1. RÉSUMÉ

Le projet de recherche ANR PRÉGO, dont l'INERIS est l'un des partenaires, concerne l'exploitation géothermique. Il a pour objectif d'étudier les enjeux économiques et sociétaux qui résulteraient de l'obligation de prévoir la reconversion de tout futur puits profond de prospection minière et pétrolière en vue d'un usage en géothermie.

Dans le cadre de ce projet en cours qui a commencé en novembre 2014, les premiers travaux de l'INERIS ont porté sur un **retour d'expérience de la reconversion des ouvrages profonds** en France et à l'étranger à partir de la documentation publique. Ce retour d'expérience apparaît aujourd'hui **peu documenté**, tant en termes des démarches administratives entreprises pour obtenir l'autorisation de reconversion, que des accidents ou incidents rencontrés lors des travaux. Mais il **devrait à l'avenir se développer** avec les reconversions géothermiques en cours ou en projet à l'étranger. Quoiqu'il en soit, les incidents et accidents recensés lors des opérations de reconversion ayant eu lieu dans le passé indiquent que **ces opérations ne sont pas anodines** et qu'il convient d'être particulièrement attentif à l'état et aux conditions de fermeture de l'ouvrage allant être reconverti.

En outre, l'INERIS a examiné des cas pour lesquels une reconversion géothermique a été envisagée mais n'a pas été entreprise. L'objectif était de déterminer les **raisons de l'absence de reconversion**. A travers quelques exemples de reconversion n'ayant pas abouti en France et d'un exemple en Suisse, il est apparu que les raisons principales de l'abandon des projets de reconversion ne sont pas liées aux risques ni aux aspects techniques, mais à un **potentiel géothermique insuffisant** pour assurer les besoins recherchés en termes de chaleur, ou bien à **l'absence d'utilisateur potentiel** à proximité directe de l'ouvrage, ce qui ne permet pas d'assurer la rentabilité de l'opération de reconversion.

2. INTRODUCTION

L'objectif du projet de recherche ANR PRÉGO, dont l'INERIS est l'un des partenaires, est d'étudier les enjeux économiques et sociétaux qui résulteraient de l'obligation de prévoir la reconversion en ouvrage géothermique de tout futur puits profond. Il s'agit notamment de s'intéresser à la reconversion des ouvrages de prospection minière et pétrolière qui pourraient être forés dans le futur à plus de 1 000 mètres de profondeur.

La reconversion d'un ouvrage profond en ouvrage géothermique peut être envisagée de deux manières [1] :

- En *système ouvert* : l'ouvrage est alors reconverti en puits producteur d'eau chaude.
- En *système fermé* : l'ouvrage est équipé d'un échangeur de chaleur, au sein duquel circule un fluide qui est réchauffé par le gradient géothermique.

Le présent rapport dresse le bilan du travail réalisé par l'INERIS depuis le lancement du projet ANR PRÉGO et fait office de livrable des tâches 1.1 et 2.1.

Dans le cadre des travaux de la tâche 1.1 du projet ANR PRÉGO, l'INERIS a proposé d'identifier quels impacts ou accidents, recensés par le passé sur des ouvrages profonds en reconversion, ont eu une incidence sur les textes réglementaires, en particulier en matière de risque. Ainsi, l'INERIS a réalisé un **retour d'expérience de la reconversion des ouvrages profonds** en France et à l'étranger à partir de la documentation publique. Afin d'être le plus large possible, les exemples cités ne se limitent pas aux cas de reconversion en ouvrages géothermiques, dont il est fait assez peu mention dans la littérature. Le retour d'expérience est présenté dans les deuxième et troisième parties du rapport.

Dans le cadre de la tâche 2.1 du projet ANR PRÉGO, l'INERIS a proposé d'examiner des cas pour lesquels une reconversion aurait pu être envisagée, dans le but de déterminer les **raisons de l'absence de reconversion**. Quelques cas de reconversion n'ayant pas abouti en France et un cas en Suisse ont été identifiés et sont présentés dans la quatrième partie du rapport.

À noter que dans le présent rapport, les termes suivants seront utilisés au regard de leur définition fournie dans l'article 1 du titre « Recherche par forage, exploitation de fluides par puits et traitement de ces fluides » du règlement général des industries extractives (RGIE ; <http://sstie.ineris.fr/>) :

- **Forage**¹ : désigne l'action de forer et l'ensemble des activités annexes.
- **Ouvrage** : désigne un puits ou un sondage.
- **Puits** : ouvrage résultant de l'opération de forage servant ou susceptible d'être ou non utilisé pour la production.
- **Sondage**² : ouvrage en cours de forage.

¹ Dans le RGIE, le terme « forage » ne désigne pas un objet, mais une action.

² Ce terme ne sera pas utilisé dans la suite du rapport, mais est ici fourni pour illustrer la différence d'usage des termes : « ouvrage », « puits » et « sondage ».

3. RETOUR D'EXPÉRIENCE EN FRANCE

Cette partie fait tout d'abord le point sur l'encadrement réglementaire de la reconversion des ouvrages profonds à vocation minière en France au regard de la réglementation en vigueur et dresse un retour d'expérience au travers de quelques exemples de reconversion appliqués ou non à la géothermie.

3.1 ENCADREMENT RÉGLEMENTAIRE DE LA RECONVERSION

En France, la reconversion des ouvrages profonds à vocation minière est régie par les textes en vigueur en matière de santé et sécurité au travail dans les industries extractives, ainsi que par le code minier.

3.1.1 DISPOSITIONS PRÉVUES PAR LE RGIE

La réglementation française en matière de santé et sécurité au travail dans les industries extractives est précisée dans le RGIE. Le titre « Recherche par forage, exploitation de fluides par puits et traitement de ces fluides » du RGIE concerne spécifiquement les opérations de forage et l'exploitation des puits. Ce titre n'encadre toutefois pas spécifiquement les travaux de reconversion.

La reconversion d'un puits peut être considérée comme étant une « intervention lourde³ » au regard du RGIE, c'est-à-dire une « opération comportant des risques importants pour le personnel ou l'environnement et nécessitant des moyens lourds, tels qu'un appareil de forage ou d'intervention ».

Le titre « Recherche par forage, exploitation de fluides par puits et traitement de ces fluides » précise les dispositions spécifiques aux interventions lourdes effectuées à l'intérieur des puits. Ces dispositions sont complétées par celles prévues dans l'arrêté du 22 mars 2000 relatif à la protection du personnel et à la maîtrise des venues dans les travaux de forage ou d'interventions lourdes sur des puits. Toutes ces dispositions s'appliquent donc a priori aux reconversions et concernent notamment :

- L'établissement d'un document de sécurité et de santé, qui précise les caractéristiques des appareils utilisés en fonction de celles du sol d'assise, ou les mesures à prendre vis-à-vis des caractéristiques des liaisons entre le fond de la mer et le support. Ce document doit démontrer que toutes les mesures pertinentes sont prises en vue de protéger la sécurité et la santé des travailleurs tant dans les situations normales que critiques.
- La constitution d'un dossier de prescriptions contenant notamment les règles de travail et les modes opératoires, ainsi que le programme d'intervention qui est transmis à l'administration au moins un mois avant le début des travaux.
- La réalisation d'exercices de sécurité mensuels par les équipes affectées à l'intervention.

³ *Workover* en anglais.

- La protection contre les explosions, les incendies et les atmosphères nocives.
- Les mesures (volume et densité) sur les fluides utilisés lors d'une intervention (e.g. boue de forage).

3.1.2 DISPOSITIONS PRÉVUES PAR LE CODE MINIER

En France, les mines ne peuvent être exploitées qu'en vertu d'une concession ou par l'État. Le code minier précise les substances et usages concernés⁴ ainsi que les droits et obligations des exploitants. Plus précisément, les travaux suivants relèvent du code minier :

- Travaux de recherche ou d'exploitation des gîtes contenant les substances minérales ou fossiles (charbon et hydrocarbures liquides ou gazeux) listés à l'article L111-1 du code minier.
- Travaux de recherche ou d'exploitation des gîtes géothermiques (article L112-1 du code minier).
- Travaux de recherche, création, essais, aménagement et l'exploitation des stockages de gaz naturel, d'hydrocarbures liquides, liquéfiés ou gazeux ou de produits chimiques à destination industrielle, dans des cavités ou formations souterraines (article L211-2 du code minier).

Étant donné que la concession minière n'autorise que la recherche et l'exploitation de la ou des substances/usages qui font l'objet de la concession, l'exploitant devra faire une nouvelle demande de concession s'il souhaite reconverter un puits pour l'exploitation d'une substance ou d'un usage qui ne figure pas sur la concession initiale. À noter que la superposition de concessions sur un même territoire est possible [2].

La reconversion peut être réalisée sur un puits ayant fait l'objet d'une déclaration d'arrêt des travaux validée par arrêté préfectoral. Le puits est alors converti après avoir été fermé selon les dispositions prévues dans l'article 49 du titre « Recherche par forage, exploitation de fluides par puits et traitement de ces fluides » du RGIE.

Il ne semble pas y avoir de cadre réglementaire concernant la reconversion des puits n'ayant pas fait l'objet d'une déclaration d'arrêt des travaux validée par arrêté préfectoral. La question d'une telle pratique en France se pose donc et doit être étudié au cas par cas [3].

3.1.3 PROJET DE RÉFORME DU CODE MINIER

La consultation sur la réforme du code minier, annoncée le 5 juillet 2012, a été engagée sur la base d'un projet de loi daté du 16 mars 2015⁵ [4]. Cette réforme a notamment pour objectif de :

- Moderniser le modèle minier français.

⁴ Se reporter aux articles L111-1 et L112-1 du code minier.

⁵ Pour lire le communiqué de presse : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Projet-de-loi-portant-reforme-du.html> (le projet de loi est également consultable à cette même adresse).

- Assurer la mise en œuvre effective de la participation du public définie à l'article 7 de la charte de l'environnement.
- Mieux prendre en compte dans les procédures la sécurité des travailleurs, la sécurité publique et la protection de l'environnement.

L'article 11 du projet de loi propose que les titres miniers soient dorénavant en classés deux catégories de titres : les **titres d'exploration** (anciennement « permis de recherche ») et les **titres d'exploitation** (anciennement « concession »). Ces titres d'exploitation confèrent pour une période déterminée le droit exclusif d'explorer ou d'exploiter un périmètre pour une ou plusieurs substances ou un usage. Cette réforme ne changerait rien au fait que l'exploitant doit faire une nouvelle demande de titre s'il souhaite reconvertir un puits pour l'exploitation d'une substance ou d'un usage qui ne figure pas sur le titre initial.

Il convient de noter qu'aucune disposition de la réforme aujourd'hui envisagée dans le projet de loi ne concerne spécifiquement la reconversion des puits. C'est l'un des objectifs du projet ANR PRÉGO de proposer une évolution du code minier qui préconiserait la reconversion des ouvrages profonds en ressources géothermiques.

3.2 EXEMPLES DE RECONVERSION

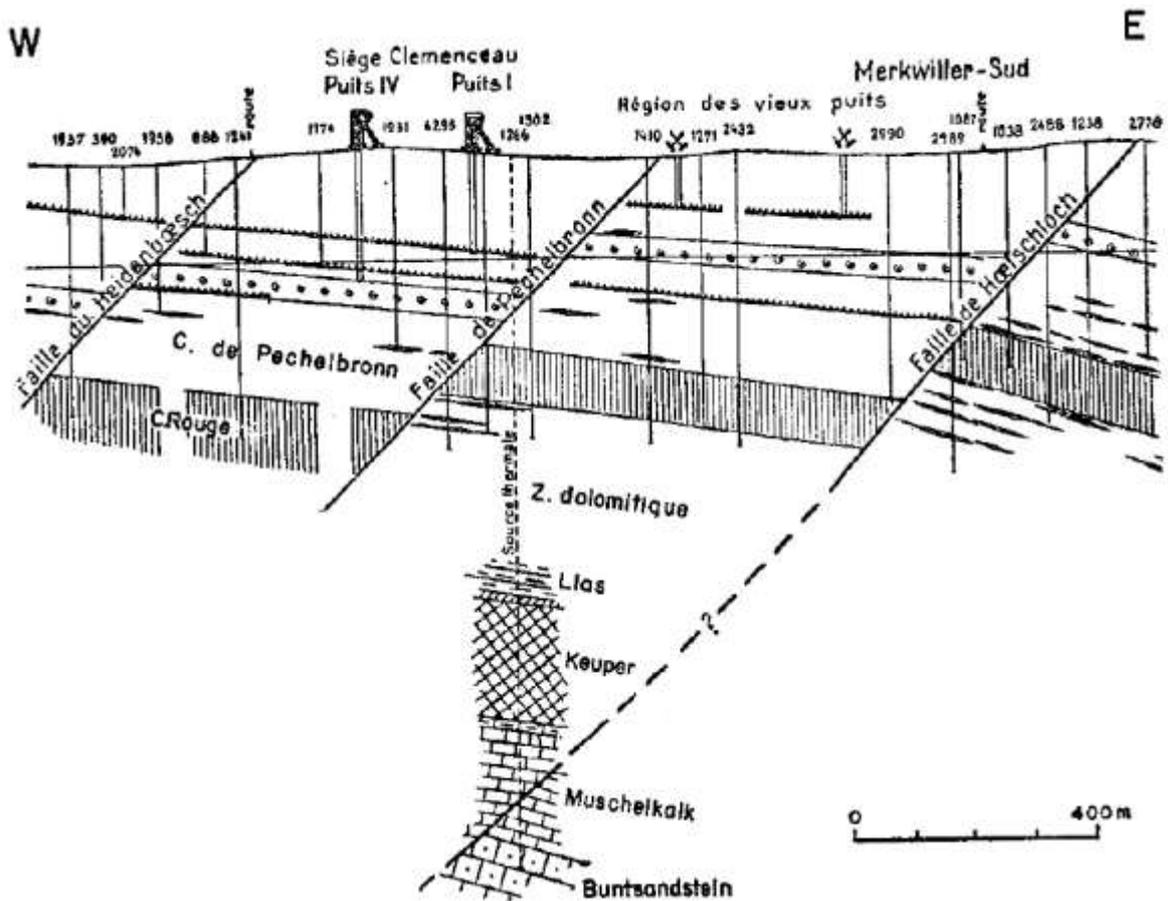
3.2.1 RECONVERSION DE Puits PÉTROLIERS EN Puits PRODUCTEURS D'EAU CHAUDE

3.2.1.1 CAS DU Puits HÉLIONS 1

En 1910, la société des mines de Pechelbronn fore le puits de recherche pétrolière n°1 266⁶, renommé par la suite HÉLIONS 1⁷, sur le territoire de la commune de Merwiller-Pechelbronn (67). Ce puits conduit à la découverte d'un gisement d'eau chaude minéralisée à 938 mètres de profondeur (cf. fig. 1) [5, 6].

⁶ Identifiant BSS (banque de données du sous-sol du BRGM) : 01983X0025.

⁷ Nom faisant référence à la présence d'hélium dans le gaz contenu dans l'eau produite par le puits [6].



Source : [7]

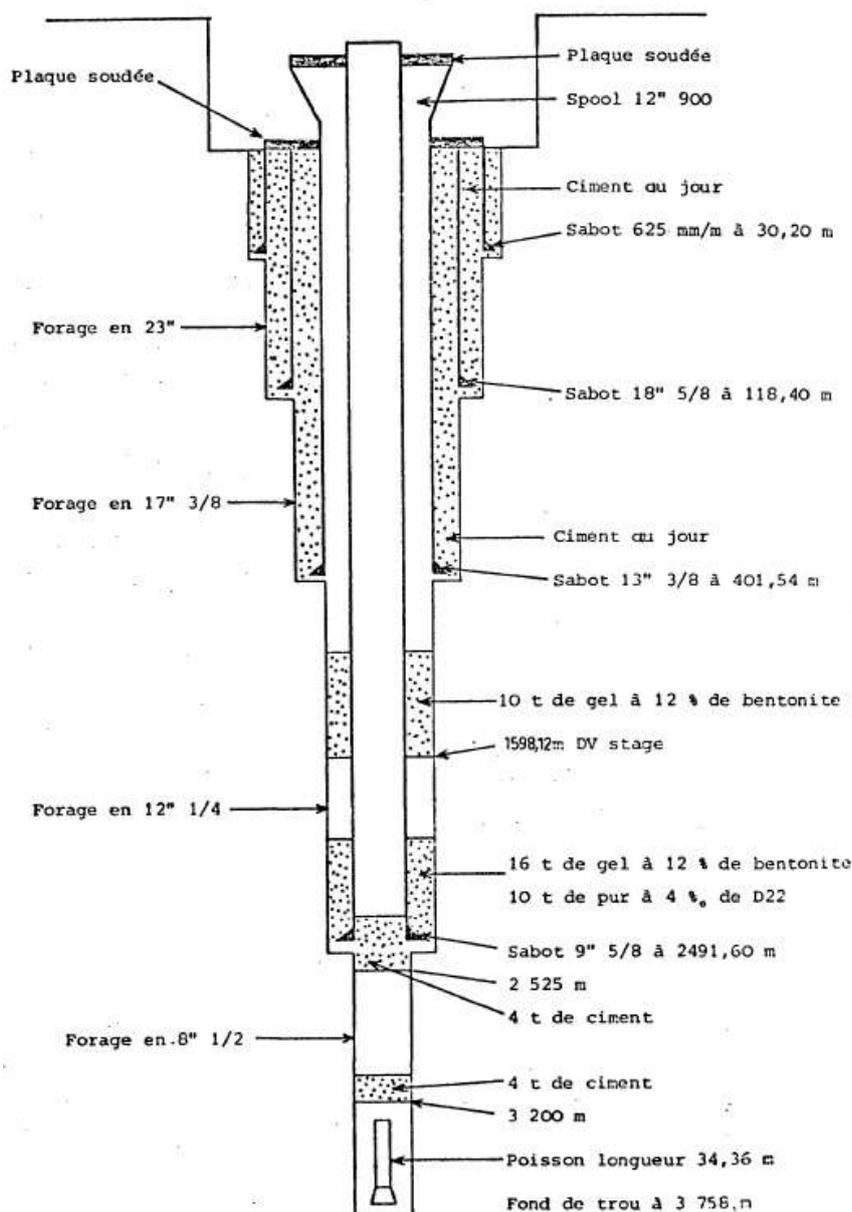
Figure 1 : Coupe géologique de la région de Merkwiler-Pechelbronn et situation structurale du puits 1 266 (ou HÉLIONS 1)

Suite à la découverte du gisement d'eau chaude, la société des mines de Pechelbronn installe deux bains alimentés par l'eau produite par le puits. L'eau est également utilisée pour alimenter les bains d'un établissement hôtelier et pour traiter les huiles brutes du champ pétrolier voisin. À partir de 1924, l'eau est également utilisée comme eau minérale. Suite à l'arrêt de l'exploitation minière fin 1962, les biens de la société des mines de Pechelbronn sont remis à l'État. En 1965, les droits de propriété du puits HÉLIONS 1 sont transférés aux communes de Preusdorf et de Merkwiler-Pechelbronn. L'exploitation du puits continue jusqu'en 1974, année à laquelle il est décidé de l'obstruer au profit de l'exploitation du nouveau puits HÉLIONS 2 foré en 1970 [7].

Depuis 2008, un arrêté préfectoral interdit tout usage des eaux qui sont déclarées impropres aux soins [8, 9].

3.2.1.2 CAS DU Puits MIOS 2 BIS

En 1983, l'ancien puits pétrolier MIOS 2 bis (renommé par la suite : GLTP1⁸) situé sur le territoire de la commune de Mios-le-Teich (33) a été transformé en vue de la mise en production d'eau chaude pour le chauffage de serres horticoles et d'une esturgeonnière. Ce forage a initialement été foré en 1964 pour le compte de la société ESSO, puis a été abandonné en 1981 par la mise en place de deux bouchons de ciment de 4 tonnes à 2 500 et 3 200 mètres de profondeur (cf. fig. 2) [10, 11].

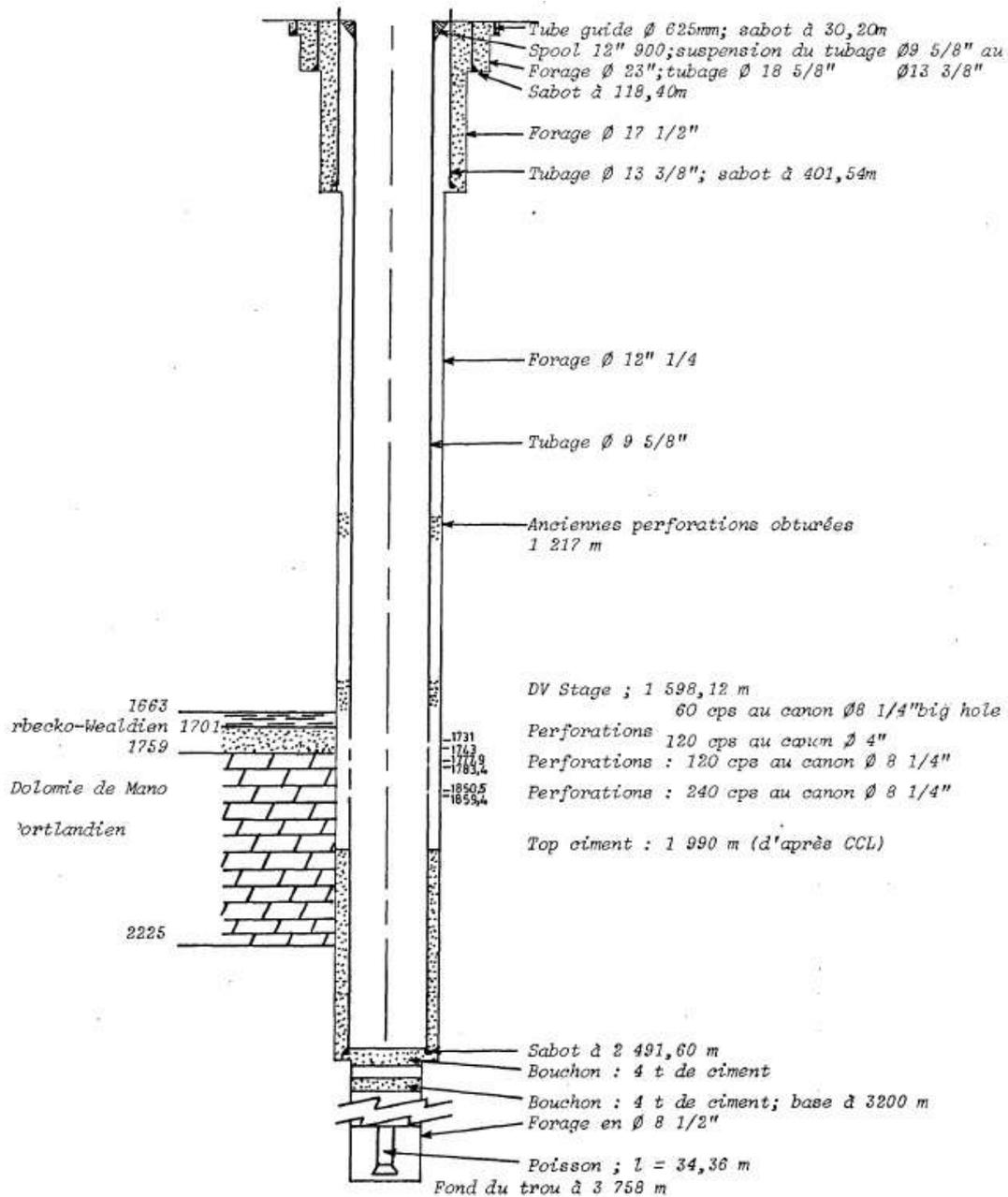


Source : [10]

Figure 2 : Coupe du puits GLTP1 (anciennement MIOS 2 bis) avant les travaux de reconversion

⁸ Identifiant BSS : 08502X0069.

Les travaux de reconversion ont consisté notamment à nettoyer le puits à l'eau claire, à réaliser des perforations entre 1 730 et 1 860 mètres de profondeur pour produire les aquifères de la dolomie de Mano⁹ et des grès du Purbecko-Wealdien¹⁰, puis à stimuler le champ proche puits par acidification. La figure suivante correspond à la coupe du puits après les travaux de reconversion (fig. 3).



Source : [10]

Figure 3 : Coupe du puits GLTP1 (anciennement MIOS 2 bis) après les travaux de reconversion

⁹ Limite Crétacé supérieur-Jurassique supérieur, soit ~145 Ma.

¹⁰ Crétacé inférieur, soit de ~130 Ma à ~145 Ma.

Les opérateurs ont relevé 2 incidents lors des travaux de reconversion du puits [10] :

- Le premier incident relevé correspond à la perte totale de circulation à la profondeur de 1 422 mètres. Cette perte a semblé correspondre à l'existence de perforations réalisées lors de l'abandon du puits pour isoler deux aquifères par injection de ciment dans l'annulaire du puits. Une esquiche¹¹ de ciment a été réalisée pour injecter du ciment derrière le tubage du puits et ainsi résoudre l'incident.
- Le second incident correspond à un avancement nul à la profondeur de 1 777 mètres du fait de la rencontre d'obstacles. Le fraisage des obstacles a été réalisé, puis le nettoyage du puits a été poursuivi. Après examen, il est apparu que les obstacles rencontrés correspondaient à des poutres métalliques abandonnées dans le puits.

3.2.2 RECONVERSION DE Puits PÉTROLIERS EN Puits DE MONITORING SISMIQUE

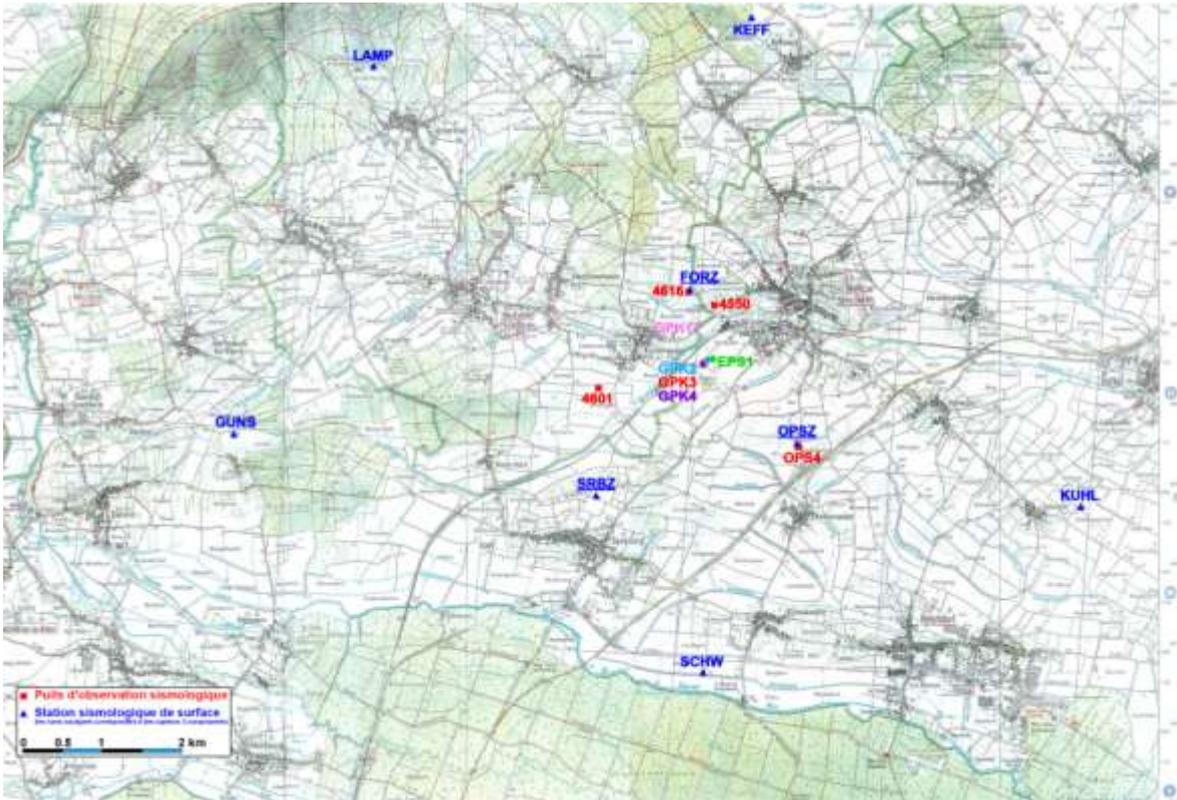
Un réseau de monitoring sismique a été installé autour du site géothermique de Soultz-sous-Forêts (67). Le réseau se compose de systèmes déployés en surface et en fond de puits. Afin de composer ce réseau, 4 anciens puits pétroliers ont été réhabilités et approfondis en 1990. Il s'agit des puits #4550, #4601, #4616 et EPS1 [12] (tab.1 et fig. 4). Ces ouvrages ont été équipés de sondes sismiques.

| Puits | #4550 | #4601 | #4616 | EPS1 |
|------------------------|--------------------------------|--------------|--------------|-------------|
| Identifiant BSS* | 01984X0050 | 01984X0051 | 01984X0020 | 01984X1374 |
| Date de creusement | 1950 | 1951 | 1951 | 1950 |
| Profondeur initial [m] | 1 050 | 1 010 | 967 (?) | 849 |
| Date approfondissement | 1987 (1 407 m) puis 1990 | 1990 | 1990 | 1990 |
| Profondeur finale [m] | 1 414 | 1 604 | 1 414 | 2 227 |

* BSS : banque de données du sous-sol du BRGM.

Tableau 1 : Puits pétroliers reconvertis et approfondis pour le monitoring géophysique du site géothermique de Soultz-sous-Forêts

¹¹ Opération consistant à injecter un fluide sous pression dans un sondage ou dans un puits (définition du RGIE).



Document archivé sur infoterre.brgm.fr

Les puits utilisés pour la production d'eau thermale sont les puits GPK1 à 4. Le puits de monitoring géophysique OPS4 (O1984X1370) est un puits creusé en 2000 pour le projet géothermique.

Figure 4 : Carte de localisation des puits et stations de surface utilisés pour le monitoring géophysique du site géothermique de Sultz-sous-Forêts

Aucun document ne permet de tracer plus précisément le contexte de la reconversion des puits, et donc de détailler les démarches réalisées par exemple auprès de l'administration ou les problèmes éventuels rencontrés. L'exemple de la reconversion des puits pétroliers du site géothermique de Sultz-sous-Forêts peut donc difficilement être utilisé pour un retour d'expérience.

3.3 BILAN DU RETOUR D'EXPÉRIENCE EN FRANCE

Le retour d'expérience de la reconversion des ouvrages profonds en France est peu documenté, tant en termes des démarches administratives entreprises pour obtenir l'autorisation de reconversion, que des accidents ou incidents rencontrés lors des travaux.

L'exemple de la reconversion de l'ancien puits pétrolier MIOS 2 bis souligne qu'il est nécessaire de prendre en compte :

- **L'état de l'ouvrage** qui est peut-être dégradé suite au vieillissement des matériaux ou d'une mauvaise appréciation des opérateurs réalisant l'abandon du puits initial.
- Les **conditions réelles de fermeture** des puits pour lesquels une reconversion n'était pas envisagée à l'époque de leur abandon.

4. RETOUR D'EXPÉRIENCE À L'ÉTRANGER

Le retour d'expérience de la reconversion des puits à l'étranger est présenté dans cette partie au travers de quelques exemples en Australie, au Brésil, aux États-Unis d'Amérique et en Europe. Ces exemples sont appliqués ou non à la géothermie.

4.1 RECONVERSIONS DE PUIITS PÉTROLIERS EN PUIITS D'ALIMENTATION EN EAU

En Australie, l'état du Queensland autorise sous conditions la conversion d'un puits à gaz foré dans les veines de charbon en puits d'alimentation en eau [13]. Ces conditions concernent notamment les zones où les eaux sont corrosives (recommandation de l'usage de tubages en PVC, fibre de verre ou acier inoxydable) et le diamètre minimal du tubage (114,3 mm). Cette disposition ne concerne toutefois que les puits forés après janvier 2012. La reconversion présenterait trois avantages :

- En termes d'image pour le concessionnaire.
- En termes économiques pour le propriétaire terrien qui n'a pas besoin de financer le creusement d'un nouveau puits.
- En termes de réduction du nombre de puits forés, qui peuvent être à l'origine de circulations de fluides entre différentes formations géologiques.

Aux États-Unis d'Amérique, certains états autorisent également la reconversion des puits pétroliers (huile ou gaz) en puits d'alimentation en eau, comme dans l'Arkansas ou le Montana :

- Dans l'Arkansas, la reconversion d'un ancien puits producteur est possible dans la mesure où un bouchon de ciment de 100 pieds de haut (environ 30 mètres) est placé juste au-dessous du mur de l'aquifère cible et que l'ensemble des anciens équipements de production en surface soit retiré¹². Le concessionnaire et le propriétaire terrien avertissent l'administration de la reconversion du puits à l'aide d'un formulaire ad hoc.
- Dans le Montana, seule la reconversion des puits secs est possible (cf. section 85-2-303 du code administratif de l'état¹³). Là encore, l'administration est avertie de la reconversion du puits à l'aide d'un formulaire ad hoc.

D'autres états interdisent la reconversion en puits d'alimentation en eau, que ce soit pour un usage domestique ou à des fins d'élevage. C'est notamment le cas de l'Illinois (cf. section 240.255 du titre 62 du code administratif de l'état¹⁴) ou du Kansas¹⁵.

¹² <http://www.sos.arkansas.gov/rulesRegs/Arkansas%20Register/2012/May12Reg/178.00.12-002.pdf>

¹³ <http://leg.mt.gov/bills/mca/85/2/85-2-303.htm>

¹⁴ Code consultable en ligne : <http://www.ilga.gov/commission/jcar/admincode/062/062parts.html>

¹⁵ http://www.kcc.state.ks.us/conservation/index.htm/forms/intents/intents/plugging/kcc/conversion_of_oil_well_to_water_well_prohibition_032913.pdf

4.2 RECONVERSIONS DE PUITES PÉTROLIERS EN D'AUTRES TYPES DE PUITES PÉTROLIERS

Les puits pétroliers destinés à un usage initial peuvent être reconvertis pour servir à un autre usage. On peut par exemple penser à la reconversion :

- D'un puits producteur d'huile en puits producteur de gaz.
- D'un puits producteur en puits injecteur, ou inversement.

Durant les opérations de reconversion, la structure en tête des puits n'est pas modifiée (par ex. : tube guide¹⁶ et cuvelages en proche surface¹⁷). Les autres tubages, et notamment le tubage de production, peuvent en revanche être remplacés [14].

Notons que la sévérité de l'accident du 6 juillet 1988 sur la plate-forme pétrolière Piper Alpha en mer du Nord, qui a fait 167 morts, est notamment attribuable à la non amélioration des dispositifs de sécurité suite à la reconversion des puits pétroliers en puits en gaz (en l'occurrence : présence de dispositifs résistants au feu, mais absence de dispositifs résistants aux explosions)¹⁸.

Le 28 avril 1988, un accident se produit également sur la plate-forme Enchova, au large du Brésil. Cet accident n'a fait aucune victime. Il résulte de l'éruption d'un puits à huile qui était en cours de reconversion en puits à gaz¹⁹.

4.2.1 RECONVERSIONS DE PUITES PROFONDS EN PUITES GÉOTHERMIQUES

La littérature fait référence à quelques exemples de reconversion de puits profonds (pétroliers ou producteurs d'eau chaude) en puits géothermiques avec installation d'un échangeur de chaleur : en Allemagne, en Pologne et en Suisse.

4.2.1.1 EXEMPLE DE RECONVERSION EN ALLEMAGNE

En Allemagne, la commune de Prenzlau (Brandenburg, NE de l'Allemagne) a reconverti en 1994 un puits d'injection²⁰ de 900 mètres de profondeur en un puits géothermique avec échangeur de chaleur. Ce puits avait initialement été foré en 1985. Il a été approfondi à 2 786 mètres lors des travaux de reconversion. La littérature ne fait référence à aucun incident particulier lors des travaux de reconversion [11, 15, 16].

4.2.1.2 EXEMPLE DE RECONVERSION EN POLOGNE

En Pologne, le puits d'exploration pétrolière Jachówka 2K a été foré en 1996-1997 sur le territoire de la commune de Sucha Beskidzka (voïvodie de Petite-Pologne, sud de la Pologne). Il s'agit d'un puits dirigé de 4 281 mètres de longueur, qui atteint la profondeur de 4 098,5 mètres. Le forage de ce puits n'a pas conduit à la découverte de réserves conséquentes et il a donc été décidé de tester la

¹⁶ *Conductor casing* en anglais.

¹⁷ *Wellhead casing strings* en anglais.

¹⁸ http://home.versatel.nl/the_sims/rig/pipera.htm

¹⁹ www.offshore-technology.com/features/feature-the-worlds-deadliest-offshore-oil-rig-disasters-4149812/

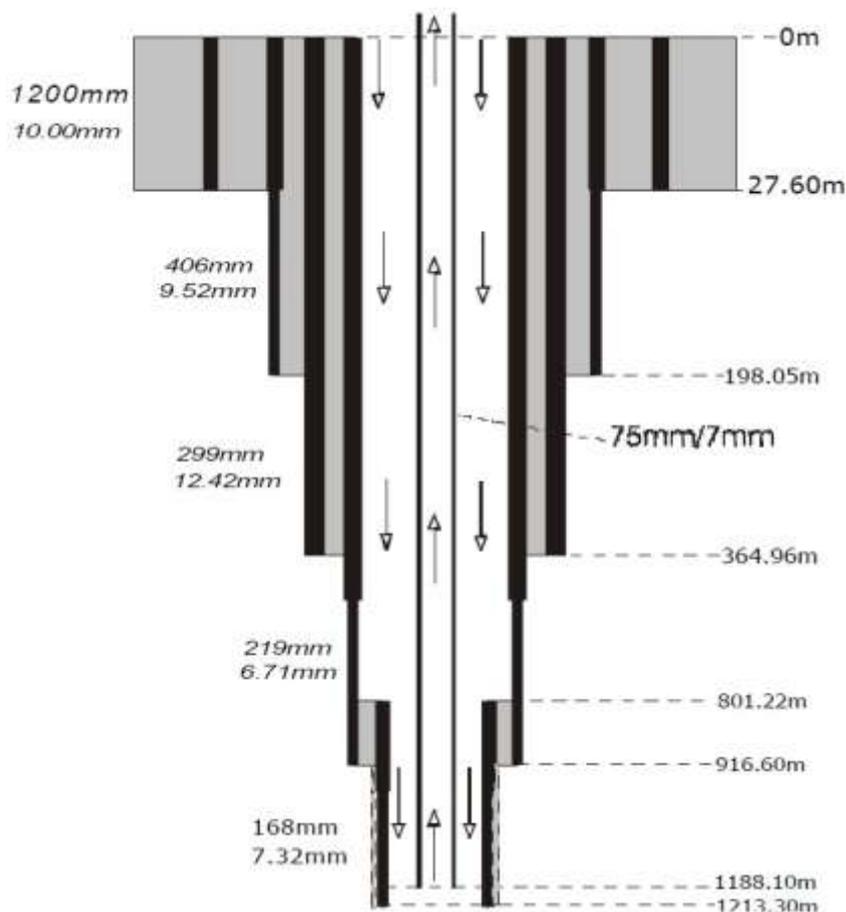
²⁰ L'usage initial de l'ouvrage n'est pas explicitement détaillé dans la littérature consultée.

reconversion de l'ouvrage en puits géothermique avec échangeur de chaleur. Différents équipements ont pu ainsi être étudiés (échangeurs de chaleur à tubes concentriques, colonne à double tube métallique contenant de l'azote dans l'espace intermédiaire). Il n'est pas certain que ce puits soit toujours utilisé aujourd'hui. La littérature ne fait référence à aucun incident particulier lors des travaux de reconversion [16].

4.2.1.3 EXEMPLES DE RECONVERSION EN SUISSE

En Suisse, deux exemples de puits profonds reconvertis peuvent être cités.

Un premier puits a été reconverti sur le territoire de la commune de Weissbad (canton d'Appenzell Rhodes-Intérieures, NE de la Suisse ; fig. 6). Ce puits de 1 600 mètres de profondeur a été approfondi en 1993 avec l'objectif de produire de l'eau chaude. Les travaux d'approfondissement n'ayant pas permis d'atteindre des formations aquifères, il a été décidé de cimenter le puits au-dessous de 1 213 mètres de profondeur et de le reconvertir en l'équipant d'un échangeur de chaleur en circuit fermé. La figure suivante présente la complétion finale du puits (cf. fig. 5). La littérature ne fait référence à aucun incident particulier lors des travaux de reconversion [16, 17, 18].

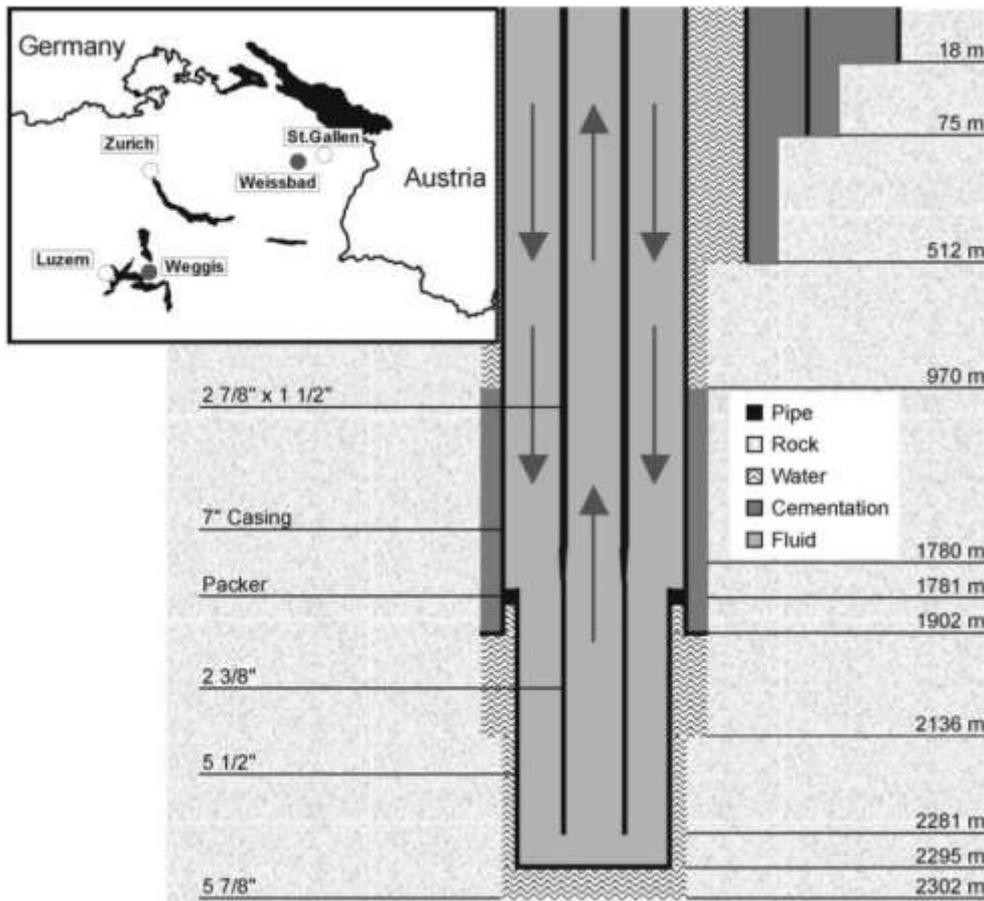


Source : [17]

La profondeur est indiquée en mètres à droite. Les diamètres extérieurs des tubages et leur épaisseur sont indiqués en millimètres à gauche. En noir : tubage ; en gris : ciment.

Figure 5 : Complétion du puits de Weissbad après travaux de reconversion

Un second puits a été reconverti sur le territoire de la commune de Weggis (canton de Lucerne, centre de la Suisse). Ce puits atteint la profondeur de 2 302 mètres et a initialement été foré en 1993 pour la production d'eau potable. Les formations traversées ayant cependant des perméabilités trop faibles, il a été décidé en 1994 de reconvertir l'ouvrage en puits géothermique avec échangeur de chaleur en circuit fermé. La figure suivante présente la complétion finale du puits (cf. fig. 6). La littérature ne fait référence à aucun incident particulier lors des travaux de reconversion [11, 16, 19].



Source : [19]

Figure 6 : Localisations des communes de Weissbad et Weggis et complétion du puits de Weggis après travaux de reconversion

4.3 BILAN DU RETOUR D'EXPÉRIENCE À L'ÉTRANGER

Comme pour la France, le retour d'expérience de la reconversion des ouvrages profonds à l'étranger est peu documenté, tant en termes des démarches administratives entreprises pour obtenir l'autorisation de reconversion, que des accidents ou incidents rencontrés lors des travaux.

Le retour d'expérience devrait à l'avenir se développer avec les projets en cours, comme en Croatie [20], ou ceux aujourd'hui encore en phase exploratoire, comme en Nouvelle-Zélande [21].

Néanmoins, les accidents des plates-formes Piper Alpha en mer du Nord et Enchova au large du Brésil témoignent que **les opérations de reconversion des ouvrages profonds ne sont pas anodines et qu'une analyse des risques doit être entreprise en amont**. Précisons qu'une analyse des risques pour l'environnement sera réalisée par l'INERIS dans le cadre du projet ANR PRÉGO (cf. tâche 2.2).

5. CAS OÙ UNE RECONVERSION AURAIT PU ÊTRE ENTREPRISE

Dans cette partie, nous allons étudier par ordre chronologique trois cas où la reconversion d'ouvrages profonds a été envisagée, mais n'a pas été entreprise :

- Reconversion du puits pétrolier LA TAILLA 1, en France.
- Reconversion du puits géothermique THX-1, en Suisse.
- Reconversion de certains puits pétroliers de la région Rhône-Alpes.

Nous allons mettre en évidence les raisons qui ont conduit à la non-réalisation des projets de reconversion des ouvrages.

5.1 PROJET DE RECONVERSION DU Puits LA TAILLA 1 (1978)

Le BRGM a réalisé en 1978 une étude pour le compte du syndicat intercommunal à vocation multiple du lac du Bourget concernant la réutilisation du puits pétrolier LA TAILLA 1 [22]. Ce puits a été foré en 1975 par la société ESSO-REP sur le territoire de la commune de Saint-Germain-la-Chambotte (73). Il a atteint la profondeur de 3 557 mètres sans détecter d'indices d'hydrocarbures. Une importante formation aquifère a en revanche été mise en évidence entre 1 987 et 2 080 mètres de profondeur (cf. fig. 7). Le BRGM a étudié trois reconversions possibles du puits :

1. Le chauffage de logements et le chauffage industriel.
2. Le chauffage de serres.
3. L'alimentation en eau potable (non abordée dans le cadre du présent rapport, car hors sujet par rapport au cadre du projet ANR PRÉGO).

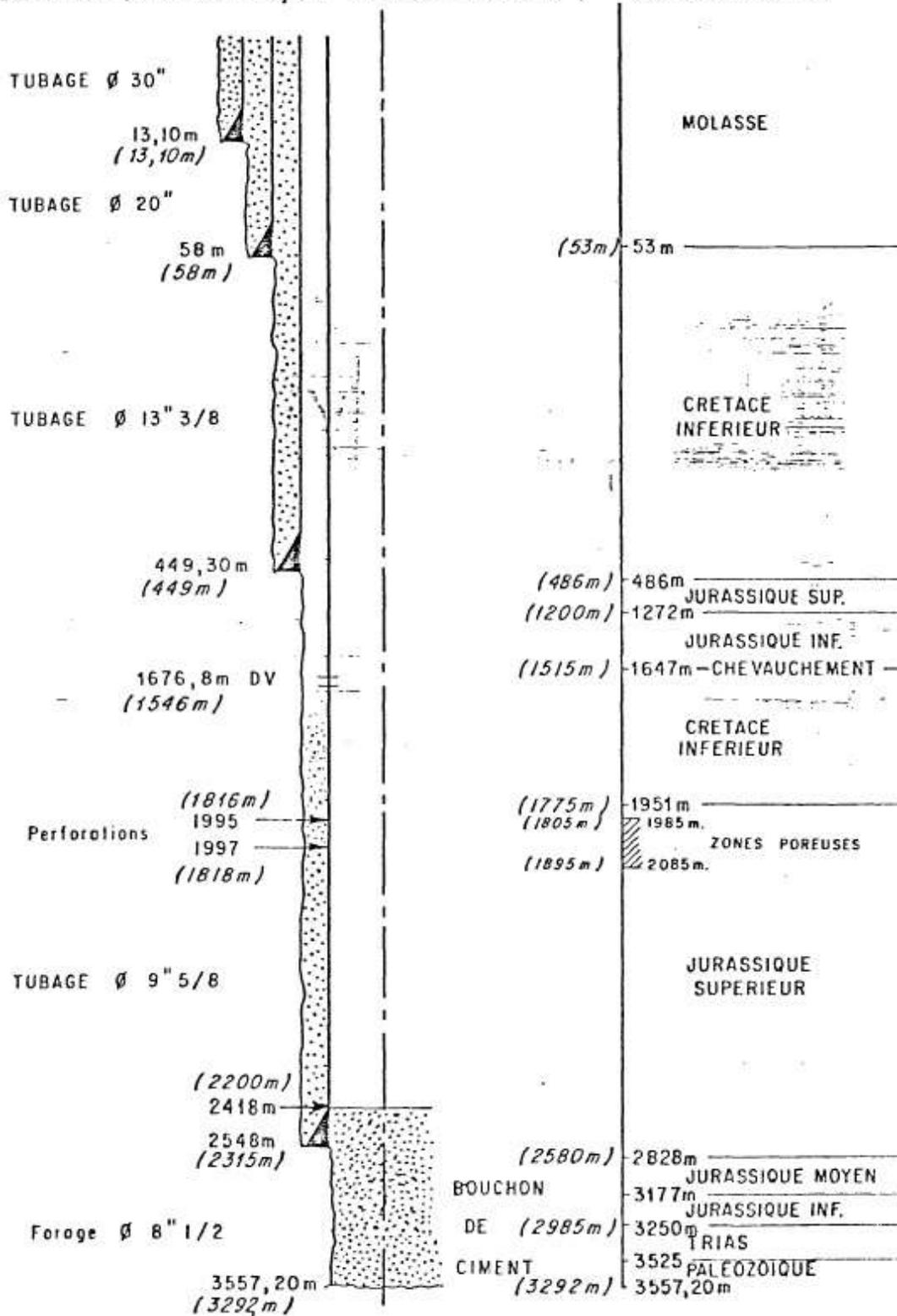
L'étude économique menée en 1978 concernant le premier usage envisagé a montré qu'**il n'était pas rentable** de mettre en place une opération de chauffage de logements ou d'industries à partir du puits LA TAILLA 1. À la date de l'étude, les **utilisateurs potentiels existants étaient en effet trop éloignés** du puits. Les auteurs de l'étude ont souligné que l'opération pouvait en revanche devenir intéressante pour le chauffage de logements neufs bâtis sur le territoire des communes voisines du puits.

La seconde étude économique menée la même année concernant le deuxième usage envisagé a montré que le recours à l'utilisation de l'eau chaude produite par le puits LA TAILLA 1 pour le chauffage de serres à Saint-Germain-la-Chambotte, aurait à l'époque permis de faire des économies très significatives par rapport à un chauffage au fioul domestique. Il n'y avait toutefois **pas de besoin** en termes de chauffage de serres sur ce territoire à l'époque, et un tel projet n'a donc pas pu être concrétisé.

LA TAILLA.1

COUPE DE Puits

COTES SONDEUR (ZTable = 478,6m au dessus de la mer) COTES SONDEUR



Source : [22]

Figure 7 : Complétion du puits LA TAILLA 1 réalisée en 1975

5.2 PROJET DE RECONVERSION DU PUIXS THX-1 EN SUISSE (2001)

Le puits de reconnaissance géothermique THX-1 a été foré en 1993 sur le territoire de la commune de Thônex (ouest de la Suisse). L'objectif était d'évaluer la productivité en eau chaude du sous-sol du canton de Genève. Ce puits a été dévié à partir de 700 mètres de profondeur et atteint la profondeur de 2 530 mètres pour une longueur forée de 2 690 mètres. La réalisation de ce puits n'a pas permis de mettre en évidence des formations aquifères avec des perméabilités suffisantes [11, 23, 24].

La reconversion du puits THX-1 a été envisagée en 1998 [24]. L'étude réalisée a conclu que l'exploitation n'était envisageable que jusqu'à une profondeur de 1 790 mètres (au-delà, les coûts ont été jugés prohibitifs) et uniquement en système fermé. L'identification des besoins a montré que le seul utilisateur potentiel à l'époque se situait à environ 300-400 mètres du puits. Les coûts d'aménagement ont été jugés trop élevés, d'autant plus que l'eau chauffée en circuit fermé aurait eu une température moyenne de 35°C, et qu'il aurait donc fallu recourir à l'installation d'une pompe à chaleur pour l'élever à la température nécessaire pour l'eau sanitaire (60°C) ou le chauffage. Le projet de reconversion a donc été **abandonné pour des raisons de rentabilité et faute d'utilisateurs** situés plus près du puits.

Cependant, l'étude n'a pas exclu la reconversion future du puits, dans le cadre d'un projet de construction situé directement à proximité de l'ouvrage.

5.3 ÉTUDE DU POTENTIEL GÉOTHERMIQUE DES PUIXS PÉTROLIERS PROFONDS EN RÉGION RHÔNE-ALPES (2012)

Le BRGM a réalisé en 2012 un inventaire du potentiel géothermique en région Rhône-Alpes [11]. L'étude a notamment inventorié les puits profonds de la région, forés lors des recherches pétrolières entreprises entre les années 1950 et 1980. Les auteurs ont identifié 85 puits pétroliers d'une profondeur supérieure à 100 mètres et dont la température au fond est connue ou a pu être estimée. Puis, chaque puits a reçu une note en fonction (1) de sa profondeur, (2) de la température au fond et (3) de la conductivité thermique de la roche (cf. tab. 2).

| Note | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Profondeur (m) | 0 – 1000 | 1000 - 2000 | 2000 - 3000 | 3000 - 4000 | 4000 - 5000 |
| Gradient (°C/km) | 20 - 25 | 25 - 30 | 30 - 35 | 35 - 40 | >40 |
| Conductivité thermique (W/m/°K) | < 2.7 | 2.7 – 2.8 | 2.8 - 9 | 2.9 – 3. | > 3 |

Source : [11]

Tableau 2 : Classes retenues pour la notation des forages pétroliers dans le cadre de l'inventaire du potentiel géothermique de la région Rhône-Alpes réalisé par le BRGM en 2012

Une sélection des puits avec le plus fort potentiel pour une réutilisation en géothermie a été réalisée (l'analyse traitait de la reconversion des puits en circuit fermé, par l'installation de sondes géothermiques profondes). En tout, 19 puits ont ainsi été retenus dans le cadre de l'inventaire de 2012 (cf. tab. 3). Les ouvrages retenus se situent notamment aux alentours des villes de Bourg-en-Bresse et de Valence (cf. fig. 8).

| INDICE | DPT | COMMUNE | profondeur m | Gradient °C/100m | Conductivité moy. W/m/°K |
|------------|-----|--------------------|-----------------|---------------------|-----------------------------|
| 08424X0001 | 26 | UPIE | 3976 | 4.5 | 2.96 |
| 08663X0001 | 26 | MARSANNE | 5015 | 4.4 | 2.87 |
| 06512X0001 | 1 | POLLIAT | 2002 | 4.0 | 4.08 |
| 06537X0003 | 74 | VIRY | 3051 | 3.0 | 3.26 |
| 08424X4001 | 26 | UPIE | 3624 | 4.4 | 2.89 |
| 06516X0002 | 1 | LENT | 3018 | 4.4 | 2.84 |
| 06028X0006 | 1 | SERMOYER | 1189 | 4.4 | 3.05 |
| 06757X0043 | 1 | CORMOZ | 1810 | 4.6 | 3.02 |
| 08658X0001 | 7 | VALVIGNERES | 4636 | 4.2 | 2.72 |
| 07952X0001 | 26 | MONTMIRAL | 2476 | 3.9 | 2.90 |
| 08891X0001 | 7 | VALLON-PONT-D'ARC | 3243 | 3.6 | 2.87 |
| 06753X0001 | 1 | VILLETTE-SUR-AIN | 2421 | 4.6 | 2.81 |
| 06512X0007 | 1 | PARCIEUX | 1535 | 4.2 | 2.94 |
| 07956X0002 | 38 | SAINT-LATTIER | 2790 | 3.6 | 2.87 |
| 08653X0001 | 7 | VILLENEUVE-DE-BERG | 2754 | 4.2 | 2.70 |
| 07486X0010 | 38 | BONNEFAMILLE | 2119 | 3.8 | 2.75 |
| 08662X0003 | 26 | SAVASSE | 2084 | 4.5 | 2.60 |
| 08437X0003 | 26 | AUREL | 2805 | 3.5 | 2.38 |
| 06993X0001 | 1 | BLYES | 1286 | 4.1 | 2.60 |

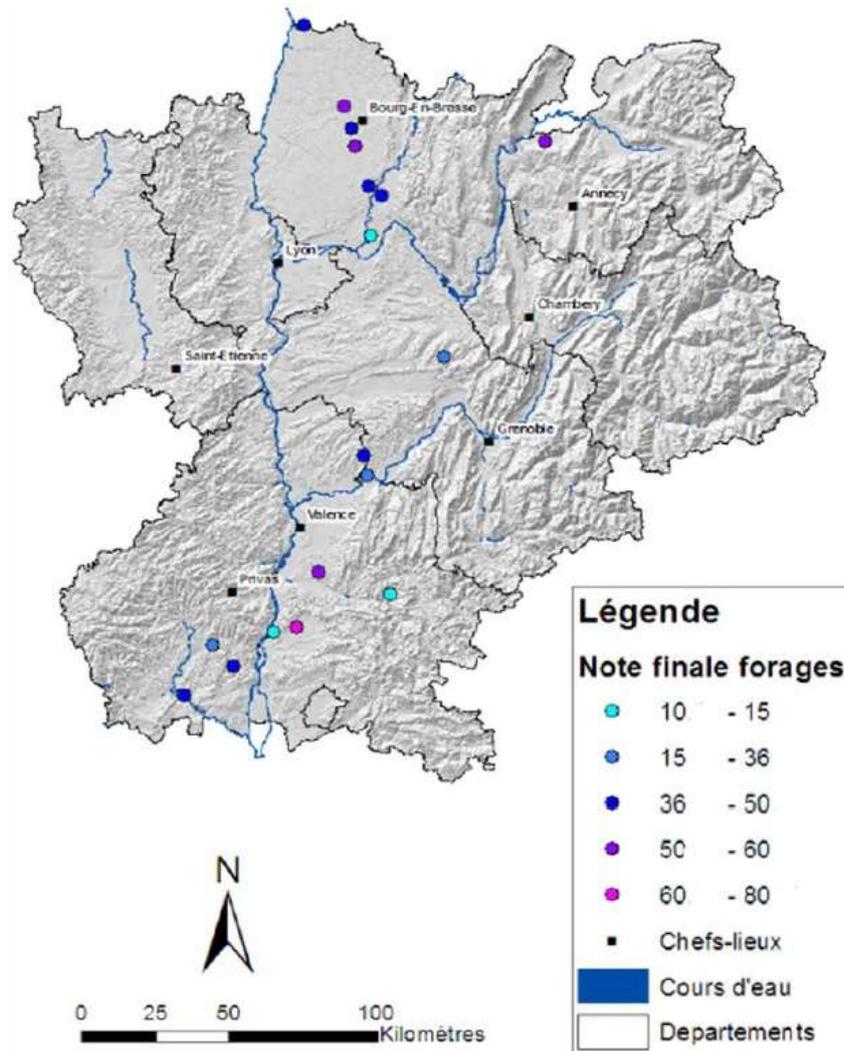
Source : [11]. Puits pétroliers d'une profondeur supérieure à 100 mètres.

L'indice correspond au numéro de référencement des puits dans la BSS.

Le code couleur utilisé correspond à celui retenu dans le tableau 2.

Attention ! Ici, les ouvrages ne sont pas classés en fonction de leur potentiel.

Tableau 3 : Liste des puits pétroliers profonds de la région Rhône-Alpes ayant le plus fort potentiel pour une réutilisation en géothermie



Source : [11]. Puits pétroliers d'une profondeur supérieure à 100 mètres.
 Sur cette carte, la note attribuée à un puits reflète son potentiel pour une réutilisation en géothermie. Plus la note est élevée, plus le potentiel est grand.

Figure 8 : Carte de localisation des puits pétroliers profonds de la région Rhône-Alpes ayant le plus fort potentiel pour une réutilisation en géothermie

Pour que la reconversion d'un ouvrage en puits géothermique soit pertinente, il est nécessaire d'identifier des besoins à proximité. En milieu rural, il apparaît y avoir peu de valorisation possible des ouvrages, en dehors d'une utilisation de la géothermie pour le chauffage de serre ou la pisciculture (cf. exemple de la reconversion de l'ouvrage MIOS 2 bis ; paragraphe 2.2.1.2). Les auteurs de l'inventaire du potentiel géothermique en région Rhône-Alpes [11] se sont donc plutôt intéressés au référencement des ouvrages pétroliers profonds situés à moins de 500 mètres d'une agglomération. Ils ont identifié 16 puits avec cette caractéristique. La liste de ces puits est fournie dans le tableau 4.

Il est possible d'identifier les puits combinant un fort potentiel géothermique avec l'existence d'un besoin de production de chaleur, en comparant les deux listes établies auparavant (cf. tab. 4). Il apparaît ainsi que 4 puits pétroliers profonds de la région Rhône-Alpes apparaissent dans les deux listes. Il s'agit des ouvrages référencés dans la BSS par les numéros : 08891X0001, 06516X0002, 07486X0010 et 06757X0043 et mis en exergue dans le tableau 4. Leur

reconversion en ouvrage équipé d'une sonde géothermique pourrait donc être justifiée, mais aucune suite au travail d'inventaire ne semble avoir été donnée à ce jour (les raisons ne sont pas connues).

Dans le tableau 4 :

- Les ouvrages « B-en-B » et « Valence » correspondent à deux puits géothermiques abandonnés, car les aquifères visés pour la production d'eau chaude ne se sont pas révélés assez productifs.
- **L'énergie spécifique annuelle** correspond à l'énergie qui pourrait être récupérée par l'installation d'une sonde géothermique profonde dans chaque ouvrage. Étant donné que cette énergie dépend notamment de la profondeur de l'ouvrage, de la conductivité thermique de la roche et du type de sonde employée, les auteurs proposent une gamme de valeurs (minimale ou pessimiste, moyenne ou réaliste, maximale ou optimiste). La méthode de calcul employée par les auteurs se limite aux puits de 2 500 mètres de profondeur (min. = 350 ; moyenne = 575 ; max. = 800). Pour les puits plus profonds, une estimation de la valeur pouvant être attendue est donnée entre parenthèses.

| Forages issus de la première sélection | | | | Forages à proximité des villes | | | |
|--|-----------------------------------|--------------|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------|-------------|
| INDICE | Energie spécifique annuelle MWh/a | | | INDICE | Energie spécifique annuelle MWh/a | | |
| | Min. | Interm. | Max. | | Min. | Interm. | Max. |
| 08663X0001 | 350 (702) | 575 (1153) | 800 (1605) | 08891X0001 | 350 (454) | 575 (746) | 800 (1038) |
| 08658X0001 | 350 (649) | 575 (1066) | 800 (1484) | 06516X0002 | 350 (422) | 575 (694) | 800 (966) |
| 08424X0001 | 350 (557) | 575 (915) | 800 (1272) | 07486X0010 | 297 | 487 | 678 |
| 08424X4001 | 350 (507) | 575 (834) | 800 (1160) | 06784X0093 | 221 | 359 | 497 |
| 08891X0001 | 350 (454) | 575 (746) | 800 (1038) | 07714X0007 | 220 | 357 | 495 |
| 06537X0003 | 350 (427) | 575 (702) | 800 (976) | 06757X0043 | 217 | 353 | 489 |
| 06516X0002 | 350 (422) | 575 (694) | 800 (966) | 08906X0001 | 161 | 262 | 362 |
| 08437X0003 | 350 (393) | 575 (645) | 800 (898) | 07711X0008 | 85 | 150 | 210 |
| 07956X0002 | 350 (391) | 575 (642) | 800 (893) | 06297X0002 | 63 | 111 | 155 |
| 08653X0001 | 350 (386) | 575 (633) | 800 (881) | 06253X0010 | 62 | 109 | 152 |
| 07952X0001 | 347 | 569 | 792 | 06761X0002 | 50 | 89 | 125 |
| 06753X0001 | 339 | 557 | 775 | 07964X0028 | 8 | 36 | 66 |
| 07486X0010 | 297 | 487 | 678 | 06752X0005 | 7 | 33 | 60 |
| 08662X0003 | 292 | 479 | 667 | 06534X0040 | 6 | 26 | 48 |
| 06512X0001 | 280 | 460 | 641 | 06534X0039 | 5 | 23 | 42 |
| 06757X0043 | 217 | 353 | 489 | 07732X0001 | 4 | 18 | 33 |
| 06512X0007 | 184 | 299 | 414 | Bourg-en-Bresse et Valence | | | |
| 06993X0001 | 154 | 251 | 347 | B-en-B | 316 | 519 | 722 |
| 06028X0006 | 143 | 232 | 321 | Valence | 350 (513) | 575 (843) | 800 (1173) |
| TOTAL | 5753 (7141) | 9438 (11718) | 13124 (16297) | total | 2771 (3111) | 4656 (5214) | 6533 (7310) |

Source : [11]. Puits pétroliers d'une profondeur supérieure à 100 mètres.

Forages issus de la première sélection = puits avec le plus fort potentiel géothermique.

Forages à proximité des villes = puits situés à moins de 500 mètres d'une agglomération.

L'**indice** correspond au numéro de référencement des puits dans la BSS.

Le **code couleur** utilisé correspond à la profondeur du puits (vert : 100-500 mètres ;
jaune : 500-1 000 mètres ; orange : 1 000-2 000 mètres ; rouge > 2 000 mètres).

Tableau 4 : Comparaison des puits pétroliers profonds de la région Rhône-Alpes ayant le plus fort potentiel pour une réutilisation en géothermie avec ceux situés à moins de 500 mètres d'une agglomération et estimation de l'énergie spécifique annuelle qui pourrait être récupérée pour chaque ouvrage

5.4 BILAN

Les recherches bibliographiques entreprises ont permis de relever trois cas (2 en France et 1 en Suisse) où la reconversion d'ouvrages profonds a été étudiée, mais n'a pas été entreprise. Ce n'est pas pour des raisons techniques, ni à cause d'incidents, que ces projets ont été abandonnés. En effet, les principales raisons de l'abandon des projets sont les suivantes :

- Le puits dont la reconversion est envisagée n'a pas un **potentiel géothermique suffisant** pour assurer les besoins recherchés en termes de chaleur.
- Le puits dont la reconversion est envisagée a un potentiel géothermique suffisant, mais est situé trop loin d'un possible utilisateur (distance supérieure à quelques centaines de mètres). L'opération de reconversion ne peut donc pas être **rentable**. Elle pourrait le devenir si un utilisateur vient s'installer dans l'environ immédiat du puits.

6. CONCLUSION

Le présent rapport dresse le bilan du travail réalisé par l'INERIS depuis le lancement du projet ANR PRÉGO et fait office de livrable des tâches 1.1 et 2.1.

Dans le cadre des travaux de la tâche 1.1 du projet, l'INERIS a réalisé un **retour d'expérience de la reconversion des ouvrages profonds** en France et à l'étranger à partir de la documentation publique. Les enseignements du travail réalisé sont les suivants :

- Le retour d'expérience de la reconversion des ouvrages profonds en France ou à l'étranger est aujourd'hui **peu documenté**, tant en termes des démarches administratives entreprises pour obtenir l'autorisation de reconversion, que des accidents ou incidents rencontrés lors des travaux.
- Il est **difficile d'identifier des événements clefs** qui auraient pu avoir une incidence sur les textes réglementaires, en particulier en matière de risque, comme cela était envisagé au début du projet.
- Le retour d'expérience **devrait à l'avenir se développer** avec les reconversions en cours ou en projet à l'étranger.
- Les incidents et accidents recensés lors des opérations de reconversion indiquent que **ces opérations ne sont pas anodines** et qu'il convient d'être particulièrement attentif à l'état et aux conditions de fermeture de l'ouvrage allant être reconverti.

Dans le cadre de la tâche 2.1 du projet, l'INERIS a examiné des cas pour lesquels une reconversion a été envisagée mais n'a pas été entreprise, dans le but de déterminer les **raisons de l'absence de reconversion**. A travers quelques exemples de reconversion n'ayant pas abouti en France et d'un exemple en Suisse, il est apparu que les raisons principales de l'abandon des projets de reconversion ne sont pas liées aux risques ni aux aspects techniques mais :

- À un **potentiel géothermique insuffisant** pour assurer les besoins recherchés en termes de chaleur.
- À **l'absence d'utilisateur potentiel** à proximité directe de l'ouvrage, ce qui ne permet pas d'assurer la rentabilité de l'opération de reconversion.

Ces conclusions vont dans le sens de celles d'A. P. BARBACKI qui a résumé les conditions nécessaires pour que la reconversion d'un puits pétrolier en ouvrage géothermique puisse être envisagée [25] :

- Les puits doivent permettre la production de chaleur géothermique²¹.
- La température de l'eau doit être constante.
- Dans le cas d'un *système ouvert* : le débit de l'eau doit être constant et il doit être possible de ré-injecter l'eau produite.
- Il doit y avoir des utilisateurs de la chaleur à proximité.

²¹ L'auteur ne précise pas s'il parle ici de l'existence d'une ressource géothermique ou de la configuration/complétion de l'ouvrage qui doit être adaptée à la reconversion (par ex. : diamètre de l'ouvrage).

Sur la base de ce travail, l'INERIS mènera une analyse des risques pour l'environnement des opérations de reconversion dans le cadre de la tâche 2.2 du projet ANR PRÉGO. Cette analyse sera complétée d'un état de l'art des techniques disponibles pour la surveillance des ouvrages reconvertis.

7. BIBLIOGRAPHIE

[1] J. D. TEMPLETON, S. A. GHOREISHI-MADISEH, F. HASSANI, M. J. AL-KHAWAJAH. Abandoned oil/gas wells as sustainable sources of renewable energy. 10 p. En ligne : <http://www.iranminehouse.ir/images/29.pdf>

[2] J.-C. MARTIN, M. METZ (2009). Procédures administratives et techniques de comblement de tout type de forages (eau, géothermique, pétrolier), y compris pour des forages profonds. Rapport BRGM RP-57843-FR, 29 p.

[3] C. MARAGNA, M. BOUZIT, J.-C. MARTIN (2012). Étude technico-économique de la reconversion de forages profonds en échangeurs géothermiques en boucle fermée. Rapport BRGM RP-60685-FR, 171 p.

[4] Projet de loi portant réforme du régime des mines et portant habilitation du gouvernement à prendre par ordonnances les mesures législatives nécessaires à l'actualisation et à l'adaptation du droit minier. 16 mars 2015. 17 p. En ligne : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/Code_Minier/20150316%20-%20Code_minier_PJL_modif-suite-RIM26012015_v4%203_LoiPrincipes%20SCA.pdf

[5] P. BLUM (1929). La source minérale chaude des « Hélios » à Merkwiller-Pechelbronn. *L'Alsace française*, numéro du 24 février 1929, pp. 188-190. Archivé sur infoterre.brgm.fr.

[6] C. SITTLER, C. WESTPHAL (1974). La recherche du pétrole mène au thermalisme à Pechelbronn. *Saisons d'Alsace* **52**, pp. 128-140.

[7] Académie nationale de médecine (1978). Avis demandé en vue de l'autorisation d'exploitation telle qu'à l'émergence de l'eau minérale de la source des « Hélios » située sur la commune de Preuschdorf (Bas-Rhin). *Bulletin de l'Académie nationale de médecine* **162**, pp. 802-815.

[8] V. CANTE, L. EDEL, R. MAHAMANE, S. PHILIPPS, M. SCHMITT (2009). Diagnostic de la place de l'eau sur le territoire Sauer-Pechelbronn. Rapport du diagnostic eau. Rapport de stage M1 AUDT (aménagement, urbanisme et développement des territoires) de l'université de Strasbourg, 51 p.

[9] Interdiction d'exploitation des sources thermales. *Petites et moyennes communes de France* **18** (avril 2003), pp. 21-22.

[10] J.-P. TEISSIER (1983). Forage géothermique « Le Teich-Pirac 1 » GLTP1. Rapport de fin de travaux et d'essais. Rapport BRGM 83 SGN 770 AQI, 47 p.

[11] R. CHARTIER, J. JOUANNEAU, M. SAINT MARTIN, J. BRUN, A. POUX (2012). Inventaire du potentiel géothermique en région Rhône-Alpes. État des lieux et étude du potentiel. Rapport BRGM RP-60684-FR, 190 p.

[12] R. BARIA, J. BAUMGÄRTNER, A. GÉRARD, R. JUNG, J. GARNISH (1999). European HDR research programme at Soultz-sous-Forêts (France) 1987-1996. *Geothermics* **28**, pp. 655-669.

[13] Department of natural resources and mines, State of Queensland (2013). Code of Practice for constructing and abandoning coal seam gas wells and associated bores in Queensland. Edition 2.0, 41 p.

- [14] SINTEF (2010). Ageing and life extension for offshore facilities in general and for specific systems. Rapport A15322, 203 p.
- [15] D. SCHNEIDER, T. STROTKÖFFER, E. BROßMANN (1996). Die 2800 m von Prenzlau oder die tiefste Erdwärmesonde der Welt. *Geothermische Energie* **16**, pp. 10-12.
- [16] A. SAPINSKA-SLIWA, M. A. ROSEN, A. GONET, T. SLIWA (2015). Deep borehole heat exchangers – A conceptual review. Actes de la conférence *World geothermal congress 2015* (Melbourne, Australie, 19-25 avril 2015). 11 p.
- [17] T. KOHL, M. SALTON, L. RYBACH (2000). Data analysis of the deep borehole heat exchanger plant Weissbad (Switzerland). Actes de la conférence *World geothermal congress 2000* (Kyushu – Tohoku, Japon, 28 mai-10 juin 2000). pp. 3459-3464.
- [18] L. RYBACH, M. BRUNNER, H. GORHAN (2000). Swiss geothermal update 1995-2000. Actes de la conférence *World geothermal congress 2000* (Kyushu – Tohoku, Japon, 28 mai-10 juin 2000). pp. 413-426.
- [19] T. KOHL, R. BRENNI, W. EUGSTER (2002). System performance of a deep borehole heat exchanger. *Geothermics* **31**, pp. 687-708.
- [20] T. KUREVIJA, D. VULIN (2011). High enthalpy geothermal potential of the deep gas fields in central Drava basin, Croatia. *Water resources management* **25**, pp. 3041-3052.
- [21] A. G. REYES (2007). Abandoned oil and gas wells – a reconnaissance study of an unconventional geothermal resource. Rapport GNS Science 2007/23, 41 p.
- [22] Y. BARTHELEMY (1978). Projets d'utilisation du forage ESSO-REP – LA TAILLA 1 à Saint-Germain-la-Chambotte (73). Rapport BRGM 78 SGN 152 JAL, 95 p.
- [23] Service cantonal de l'énergie (SCANE) et Services industriels de Genève (SIG) (2011). Évaluation du potentiel géothermique du canton de Genève – PGG. Rapport GADZ 5357/1 d'octobre 2011 en 2 volumes. 300 p. (vol. 1) et 109 p. (vol. 2).
- [24] Rapport du conseil d'état au grand conseil de la République et canton de Genève sur la motion de M. Alberto VELASCO concernant l'utilité des travaux de forage de prospection géothermique à Genève. Rapport M 1406-A du 3 août 2001. 5 p. En ligne : <http://ge.ch/grandconseil/data/texte/M01406A.pdf>
- [25] A. P. BARBACKI (2000). The use of abandoned oil and gas wells in Poland for recovering geothermal heat. Actes de la conférence *World geothermal congress 2000* (Kyushu – Tohoku, Japon, 28 mai-10 juin 2000). pp. 3361-3365.