



arverne
GROUP

Membre d'Arverne Group
entreprise à mission

2gré



Mise à jour des informations relatives aux Permis Exclusif de
Recherche de Géothermie de Pau-Tarbes de 2gré
(Anciennement Georhin)
Version allégée

4.

Mémoire technique

Rédaction du document

Référence interne	Date	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
4_PER de Pau-Tarbes	20/10/2023	Romain DUHAMEL	Damien BEVILLON	Pierre BROSSOLLET

Diffusion du document

Date	Destinataire	Organisme	Version numérique	Version papier
07/10/2023		DGEC / BRESS	1	0
07/10/2023		DREAL	1	0

2gré - 49 Route d'Agen 47310 Estillac
Adresse de correspondance : 2gré chez Arverne Group, 2 avenue Pierre Angot 64000 Pau
SAS au capital de 3 210 000 € | RCS AGEN 529 770 646 | Siret : 529 770 646 00030 | Code APE 7112B

www.2gre.fr

Table des matières

1	Préambule	5
1.1.	Remise en contexte et synthèse de la première période du PER de « Pau-Tarbes »	5
1.2.	Carte officielle originelle du PER de Pau-Tarbes	7
1.3.	Carte officielle du PER dit de « Pau-Tarbes » sur la première période de prolongation.....	8
1.4.	Carte proposée pour la 2 ^o prolongation du PER de Pau-Tarbes	9
2	PER de Pau-Tarbes	11
3	Etat des lieux des travaux réalisés sur la période initiale du PER dit de « Pau-Tarbes ».....	13
3.1	Sur le secteur de Lons	13
3.1.1	Cadre de recherche – Lancement du projet FONGEOSEC (terminé)	13
3.1.2	Etudes géologiques et géophysiques : base de données sur le projet de Lons.....	14
3.1.3	Acquisitions géophysiques sismique 2D réalisées	15
3.1.4	Recherche de la parcelle et Dépôt de la DAOTM Lons.....	18
3.1.5	Etude des retombées économiques locales.....	20
3.1.6	Etude du réservoir du Dano Paléocène	21
3.2	Sur le secteur de Tarbes	22
3.2.1	Exploration pétrolière	22
3.2.2	Synthèse des données sismiques	23
4	Etat des lieux des travaux réalisés sur la période de première prolongation du PER dit de « Pau-Tarbes » 24	
4.1	Interprétation des lignes sismiques traitées.....	26
4.2	Finalisation partielle du projet FONGEOSEC et clôture du projet.....	26
4.3	Etude de projet chaleur avec l'agglomération de Pau	26
4.4	Intégration du REX de Vendenheim.....	27
4.4.1	Renforcement des études exploratoires	27
4.4.2	Limite des outils scientifiques prévisionnels sur la gestion du risque sismique durant la conduite des tests 28	
5	Récapitulatif des engagements financiers réalisés au cours de la première période de prolongation du PER de Pau-Tarbes.	29
	ANNEXES.....	30

Table des figures

Figure 1: Synthèse des démarches administratives et des engagements effectués et envisagés sur le PER par 2 ^{gré} .	7
Figure 2: Carte originelle du PER dit de « Pau-Tarbes » obtenu en 2013.	8
Figure 3: Carte du PER de Pau Tarbes dans le cadre de la première prolongation.	9
Figure 4: Carte du PER dit de Pau Tarbes proposé dans le cadre de la 2 ^o prolongation.	10
Figure 5: Exemple de modélisation 2D d'un réservoir daté du Trias avec implantation d'un doublet et prise en compte du gradient géothermique.	12
Figure 6: Base de données de puits et de sismiques anciennes sur le PER HT Pau-Tarbes.	15
Figure 7: Tracé des lignes sismiques.	16
Figure 8: Dispositif d'acquisition sismique.	16
Figure 9: Exemple de Vibreur Type IVI MARK 4 Y2400, insonorisé.	17
Figure 10: Géophones et méthode de déploiement sans câble.	18
Figure 11: Localisation de la DAOTM de Lons déposée sur le PER HT Pau-Tarbes.	20
Figure 12: Potentiel de valorisation chaleur sur l'agglomération de Pau.	21
Figure 13: Principaux domaines structuraux dans le Bassin de Tarbes (IFP, 2006).	22
Figure 14: Données sismiques existantes (source : BEPH).	23
Figure 15: Répartition des consommations potentielles sur le territoire de la CDAPP.	27
Figure 16: Evolution du modèle de Vendenheim. A gauche avant forage, à droite après forage et analyses des données.	28

Table des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques de la source sismique.	17
Tableau 2: Synthèse DAOTM de Lons sur le PER de Pau-Tarbes.	18
Tableau 3: Récapitulatif des dépenses engagées au cours de la première durée du Permis Exclusif de Pau-Tarbes.	29

1 Préambule

1.1. Remise en contexte et synthèse de la première période du PER de « Pau-Tarbes »

La société 2gré (dont le nom précédant était Georhin et précédemment Fonroche Géothermie) a déposé, le 29 juillet 2011, une demande de permis minier d'autorisation de recherche au titre de la géothermie haute température sur le secteur de Pau Tarbes, pour une durée de 5 ans renouvelable, conformément au code minier titre I, article L122-3. Le permis a été octroyé par Arrêté Ministériel du 14 mars 2013. (DEV1242504A)

Une première prolongation a été déposée puis complétée le 07 mars 2018, puis modifiée le 06 février 2019. La première prolongation a été octroyée par Arrêté ministériel du 30 juillet 2019 (NOR : TRER1919004A).

Une demande de deuxième prolongation a été déposée le 14/11/2022 pour une prolongation de 5 ans soit jusqu'au 30 Mars 2028.

Le présent document porte sur la mise à jour de la deuxième demande de prolongation du PER de Pau Tarbes suite à l'intégration de la société Georhin, devenue 2gré, au sein d'Arverne Group.

Le PER dit de « Pau Tarbes » est situé à cheval sur deux départements, en majeure partie sur les Pyrénées Atlantiques à l'ouest (région Nouvelle Aquitaine) et sur les Hautes Pyrénées à l'est (région Occitanie). La superficie totale du permis couvre 755 km² lors de la 1^o prolongation et couvrait 985 km² lors de l'octroi initial. Au total, 135 communes sont concernées, partiellement ou en totalité par le PER.

La superficie du territoire proposé dans le cadre de cette mise à jour de la demande de deuxième prolongation est de 442 km².

La première période du PER a été consacrée à :

- A l'obtention du soutien de l'AMI par l'ADEME pour le lancement du projet FONGEOSEC sur la zone de Lons ;
- A l'obtention du DAOTM sur le secteur de Lons
- A l'acquisition des données géophysiques 2D venant compléter les bases de données existantes ;
- Aux études du démonstrateur de géothermie profonde porté par le projet FONGEOSEC.

La deuxième période du PER a été consacrée :

- Sur le secteur de Lons :
 - A la finalisation partielle et clôture du projet FONGEOSEC ;
 - A l'interprétation des données géophysiques acquises précédemment ;
 - Aux études du démonstrateur de géothermie profonde porté par le projet FONGEOSEC.
 - A l'étude de projets chaleur sr l'agglomération de Pau
 - Aux études sur le REX de Vendenheim et son application sur le contexte socio géologique du PER de Pau Tarbes
 - A l'études de ressources géothermiques alternatives
- Sur le secteur de Tarbes : à la validation du potentiel existant sur la partie Est du PER, couvrant la surface de l'Est de Pau à Tarbes.

- Sur le secteur Ouest du PER : à la synthèse bibliographique des bases de données géologiques et de forages.

Georhin a investie 4 682.35K€ sur les deux premières périodes du PER dit de « Pau-Tarbes ».

Le programme initial, même s'il n'est pas réalisé dans les 5 ans impartis par la prolongation du PER existant, est fortement engagé à hauteur de 4.68M€ sur 14,1 M€ prévu et sera déployé avec un engagement financier plus fort de 2,3 M€ soit 16,4 M€ pour le programme de renouvellement du PER, notamment dû à l'approfondissement des études géophysiques par une pseudo 3D et le recalage du programme de forage.

La demande s'inscrit donc parfaitement dans l'esprit de l'article 142-1 du Code Minier lequel rappelle la nécessité d'un engagement financier au moins égal à la période précédente pour pouvoir prétendre au renouvellement de droit d'un permis de recherche existant.

Le programme des travaux envisagés concerne la période de deuxième prolongation du PER « Pau-Tarbes » (2023-2028), sur 5 ans. Ce programme concerne :

- L'acquisition de nouvelles données de géophysiques par le rachat et réinterprétation de données anciennes et éventuellement par un nouveau levé en pseudo 3D
- la finalisation de la conception et la réalisation du premier doublet sur un site d'implantation dans la zone de Pau, sur un objectif multi horizon géologiques, allant de 1700 à 4000 m de profondeur ;
- la conception (modélisation – évaluation de réservoir – trajectoires de puits) du projet de Tarbes.

Une synthèse des démarches administratives et des engagements effectués et planifiés par 2gré à ce jour est illustrée par la Figure 1

1.2. Carte officielle originelle du PER de Pau-Tarbes

Le PER dit de « Pau Tarbes » est situé à cheval sur deux départements, en majeure partie sur les Pyrénées Atlantiques à l'ouest (région Nouvelle Aquitaine) et sur les Hautes Pyrénées à l'est (région Occitanie). La surface du permis dit de « Pau Tarbes » était de 985 km².

Au 1er janvier 2016, 69 679 personnes selon l'INSEE vivaient sur les communes impactées en partie ou en totalité par le permis de Pau-Tarbes.

La carte de ce PER est visible sur la (Figure 2).

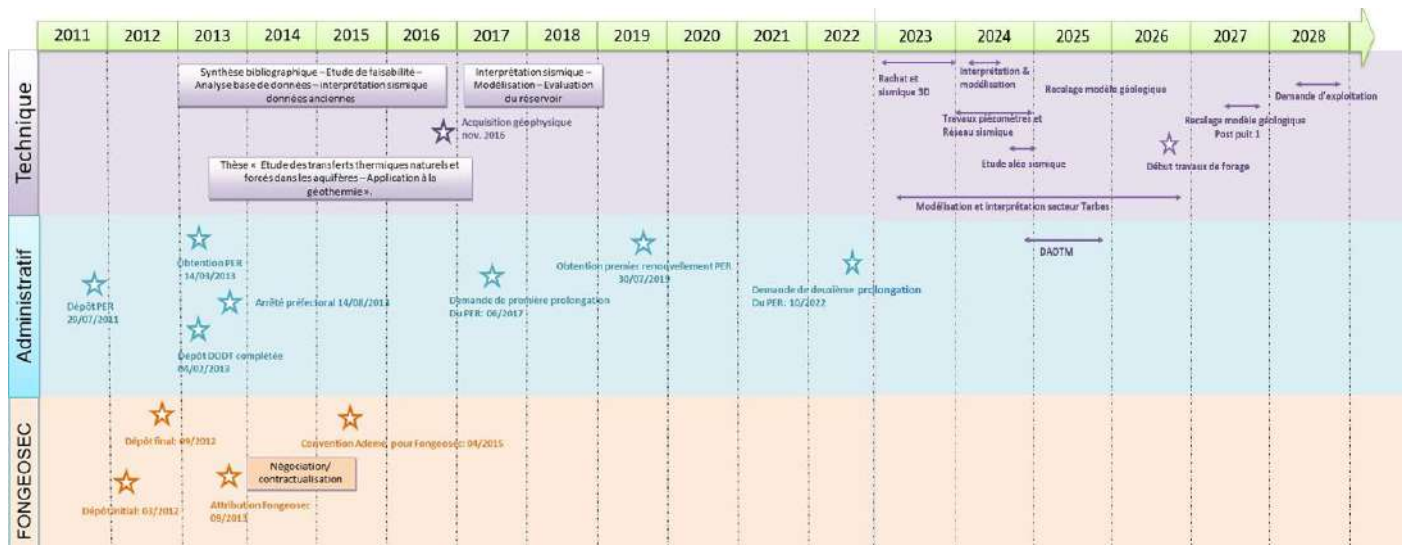


Figure 1: Synthèse des démarches administratives et des engagements effectués et envisagés sur le PER par 2gré.

Carte du Permis Exclusif de Recherche de Géothermie Haute Température, dit de "Pau-Tarbes"
 - Fonroche Géothermie -

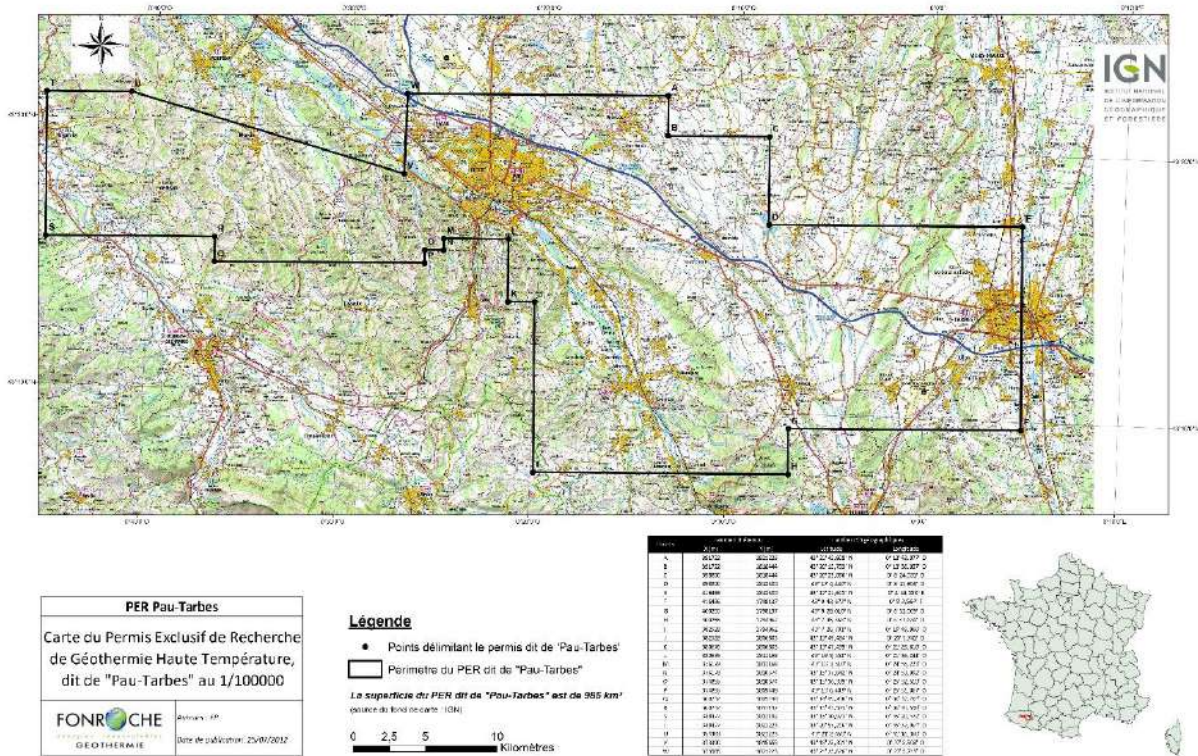


Figure 2: Carte originelle du PER dit de « Pau-Tarbes » obtenu en 2013.

1.3. Carte officielle du PER dit de « Pau-Tarbes » sur la première période de prolongation

Le PER dit de « Pau Tarbes » sur la première demande de prolongation se situe sur les régions Nouvelle Aquitaine et Occitanie et comprenait une partie des départements des Pyrénées-Atlantiques et des Hautes-Pyrénées. La surface du permis dit de « Pau Tarbes » était de 755 km².

La carte de ce PER est visible sur la Figure 3.

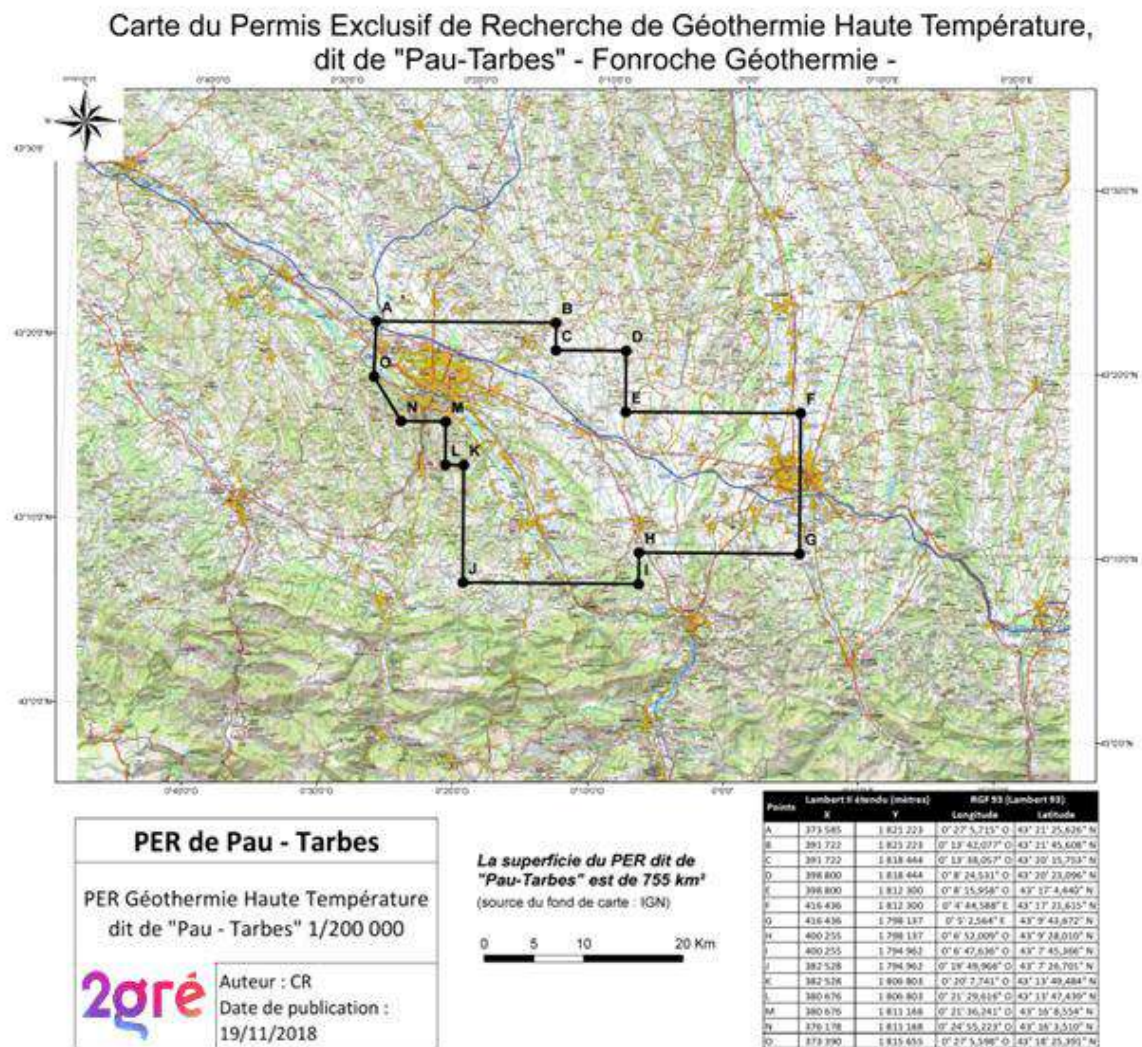


Figure 3: Carte du PER de Pau Tarbes dans le cadre de la première prolongation.

1.4. Carte proposée pour la 2^oprolongation du PER de Pau-Tarbes

Un nouveau tracé a été proposé pour le permis de Pau Tarbes (Figure 4). Il conserve la partie correspondant au secteur de Pau-Tarbes ainsi que le secteur de Tarbes. Ainsi 2gré s'engage à réduire de 543 km² la superficie de son permis initial de Pau Tarbes. Le nouveau permis fait donc 442 km².

Les travaux entrepris pendant la première période d'exploration et les études complémentaires réalisées au cours de la première prolongation du permis ont en effet permis de confirmer les différentes cibles sur le permis.

La carte officielle est présentée en annexe.

Carte du Permis exclusif de Recherche de Géothermie Haute Energie dit de "Pau-Tarbes" au 1/100 000

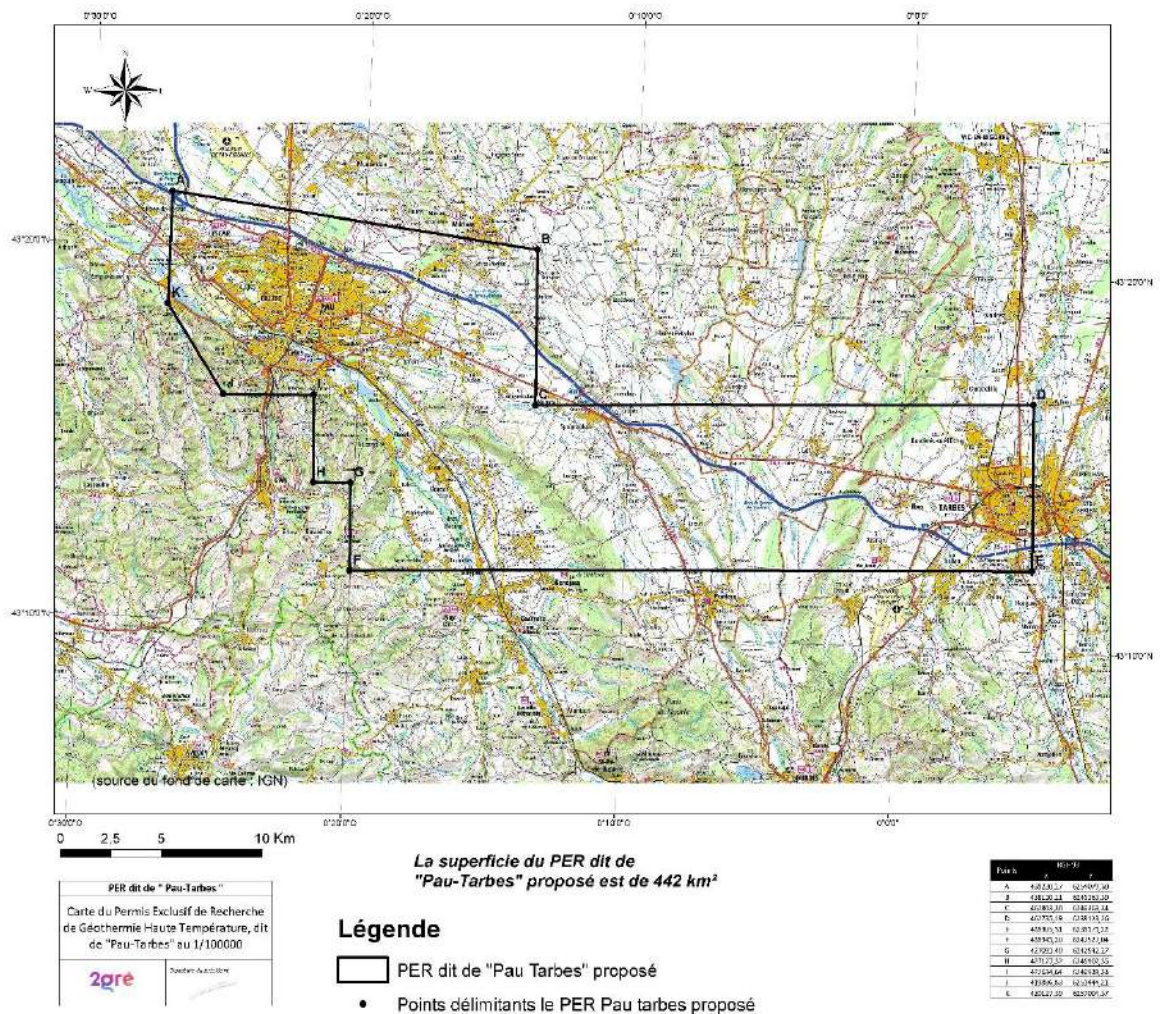


Figure 4: Carte du PER dit de Pau Tarbes proposé dans le cadre de la 2° prolongation.

Sur les 442 km² du PER, le département des Pyrénées-Atlantiques représente 347 km² (région Nouvelle Aquitaine) et celui des Hautes-Pyrénées 95 km² (région Occitanie).

2 PER de Pau-Tarbes

Un premier travail de définition d'une zone au 100 000 °, dite « gite régional », a été réalisé à l'échelle du Bassin Aquitain à partir :

- des données de synthèse géothermique de ELF / BRGM de 1977
- des données de la synthèse hydrocarbure IFP / B GM de 2006
- des données forages et diagraphies de 25 puits pétroliers, obtenues auprès du BEPH / BRGM
- des données de géostructures pyrénéennes régionales

Ce premier travail a permis :

- D'identifier les roches réservoirs cibles profondes : Albien, Aptien, Barrémien, Malm (Brèche de Garlin, Dolomies de Mano et Meillon), Dogger ;
- de délimiter un zonage cible au toit des réservoirs susceptibles de délivrer une température minimale de 130°C, pour les projets en mode cogénération, grâce à la cartographie structurale des isohypses et à la localisation des principaux accidents tectoniques.
- D'étudier les cibles à 60°C, sur le réservoir du dano paléocène, qui serait un bon potentiel pour certains réseaux basse température du secteur (annexe 6)

On retiendra ici que la première conclusion de cette phase de pré-étude a été de se focaliser initialement sur les zones de failles affectant le Malm, seules zones permettant d'envisager des perméabilités suffisantes pour un projet de co génération tel que le projet de Lons (accidents de direction N120° en particulier).

Un deuxième travail a été d'exclure les zones où une activité industrielle souterraines peut être susceptible d'affecter ou d'interagir avec la ressource géothermique. Il s'agit en particulier des zones suivantes :

- site d'exploitation du gisement de Lacq
- site de stockage de CO₂ de Rousse

Un troisième travail a enfin été de pré-analyser le potentiel géothermique par puits, en simulation de fonctionnement en doublet EGS (Enhanced Geothermal System). Le principe de l'EGS est d'injecter de l'eau à fort débit (150 à 200 m³/h) dans le puits injecteur et de la pomper dans le puits producteur, au travers d'un réseau de fissuration dans le réservoir. L'eau récupère les thermies du réservoir pendant son temps de cheminement. Le réseau de fissuration doit être contrôlé pour assurer une perméabilité suffisante et une communication souterraine entre les deux puits dimensionnés pour que le flux d'eau ait le temps de récupérer les thermies. Cette technique est appliquée si le débit de l'aquifère en place est insuffisant.

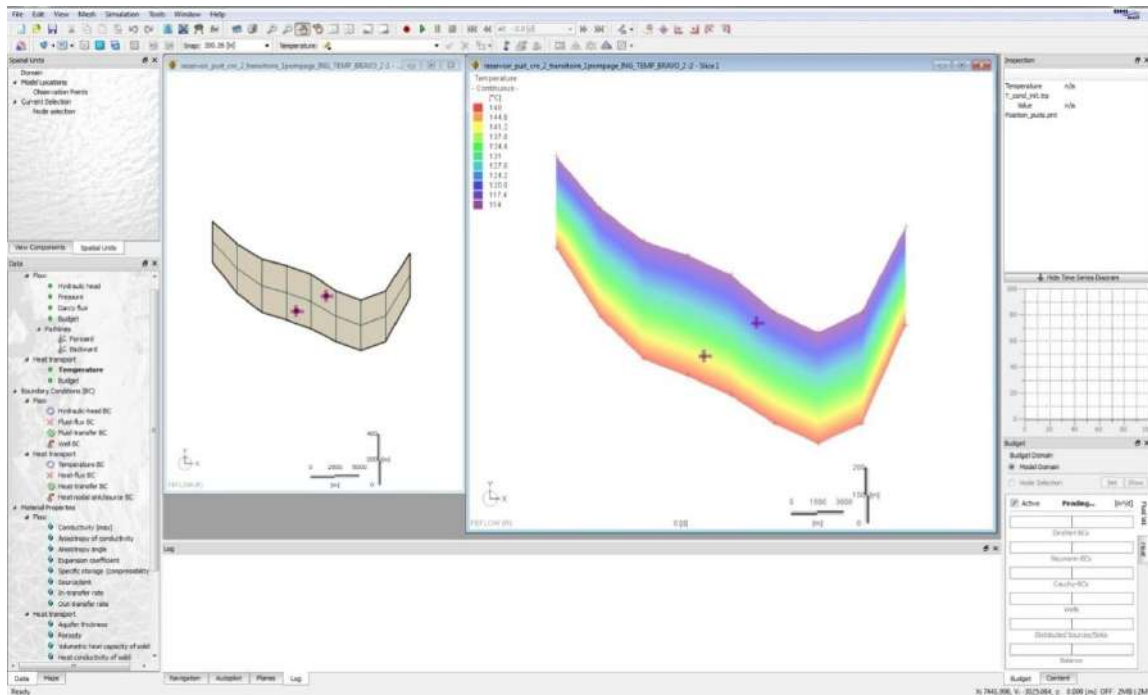


Figure 5: Exemple de modélisation 2D d'un réservoir daté du Trias avec implantation d'un doublet et prise en compte du gradient géothermique.

Suite à ces travaux préliminaires, les risques exploratoires de ne pas rencontrer les ressources géothermiques escomptées dans le Bassin Aquitain sud peuvent être catégorisés en fonction du niveau d'informations disponibles :

- Un aléa sur la ressource modéré sur la zone gazière et pétrolière historique s'étendant d'ouest en est de Bay ère vers Tarbes, et du nord au sud de Pau à Ossun, où la connaissance géologique est encadrée par un maillage de forages important et une forte densité de données sismique 2D et 3D ;
- Un aléa sur la ressource élevé sur une partie de la zone d'intérêt définie du sud au nord entre Pau et Hagetmau, et d'ouest en est d'Orthez à Thèze, en raison de la faible densité des informations forage disponibles et d'une structuration probablement moins intense et moins bien définie en sismique.

De manière générale, il a été estimé une forte probabilité de trouver de l'eau chaude en BT sur le Dano Paléocène.

3 Etat des lieux des travaux réalisés sur la période initiale du PER dit de « Pau-Tarbes »

3.1 Sur le secteur de Lons

Toutes les données disponibles ont été utilisées et analysées, et enrichies par des acquisitions géophysiques dédiées.

3.1.1 Cadre de recherche – Lancement du projet FONGEOSEC (terminé)

FONGEOSEC avait pour objectif de concevoir et réaliser à Lons (64), un démonstrateur innovant d'une centrale géothermique haute enthalpie de 5,5 MW électriques et 18 MW thermiques. L'objectif de ce démonstrateur géothermique était de créer un échangeur géothermique haute enthalpie, en grande profondeur et semi-ouvert.

FONGEOSEC	Mise au point d'une méthodologie de production et d'une architecture de puits innovante semi-ouverte permettant la production géothermique en réservoir à faible perméabilité	<i>Méthodologie de dimensionnement des drains de production et d'injection prenant en compte les échanges de masse, la conduction thermique et la régénération convective du réservoir alimentant la partie circulation forcée dans le drain. La production par échange de masse est considérée partielle par rapport à l'énergie primaire visée. Une circulation forcée complémentaire alimentée par l'énergie conductive, elle-même régénérée par l'alimentation convective du réservoir vient compléter l'apport de masse naturel. FONGEOSEC est appliqué en milieu carbonaté aquifère (Bassin Aquitain)</i>
-----------	---	---

Le projet **FONGEOSEC** a été sélectionné et soutenu financièrement par l'ADEME et le Commissariat général à l'investissement (CGI), dans le cadre des investissements d'avenir. Il représente un budget de plus de 80 millions d'euros. Le consortium **FONGEOSEC** a été créé et est piloté par Georhin ; il regroupe 6 entreprises et 4 laboratoires scientifiques (BRGM, Ecole des Mines de Paris, Université de Pau, Université de Bordeaux).

L'objectif de ce projet était de développer des méthodologies d'exploration et de mise en production en milieu de très faible perméabilité, pour réduire le risque d'échec sur la ressource. Il s'agit d'un projet de « Géothermie haute enthalpie », opérationnel depuis 2015.

Dans « le cadre de ce projet, une thèse, financée par Georhin, a été initiée, –en collaboration avec l'ENSE »ID (Equipe d'accueil (EA) 4592, Université de Bordeaux). Cette thèse s'intitule "*Etude des transferts thermiques naturels et forcés dans les aquifères - Application à la géothermie*". Les travaux de thèse ont apporté des réponses concernant l'adéquation entre contexte géothermique profond du site sélectionné (paramètres physiques, structures lithologiques et géologiques) et modalités d'exploitation (dimensionnement, positionnement, puissance extractible, durée de vie). En particulier, un des objectifs a été d'évaluer l'impact des phénomènes thermiques (de la conduction à la convection libre et forcée) au travers des puits d'exploitation. Ces puits présentent un dimensionnement complexe. Ces travaux de thèse ont été menés à l'aide d'un logiciel généraliste de recherche dont une des limites techniques est la non prise en compte des caractéristiques propres à un double milieu.

Georhin a poursuivi ces travaux de recherche sur la base administrative d'un post-doc, en collaboration scientifique avec l'ENSEGID et financé par Georhin. Ce post-doc avait pour objectif de transposer les concepts développés avec l'outil mentionné précédemment sur un outil commercialisé tel que la suite PUMA et COUGAR Flow, dont Georhin possède une licence, capable de représenter un gisement en double milieu.

Le projet de LONS, commune de l'agglomération « de Pau », était dédié à l'implantation de ce démonstrateur. Les aspects sociétaux et environnementaux sont intégrés dans la conception même du projet par :

- la réalisation d'un rig "vert", conçu en éco-conception, d'une capacité supérieure à 500 T non bruyant, présentant une prise au sol réduite, équipé des technologies spécifiques à la géothermie (large diamètre, grandes profondeurs, drains larges déports...)
- le respect du standard européen (bruit, colisage, routes européennes, émission de CO2, consommation)
- L'amélioration de la fissuration naturelle, monitorée préventivement par de la micro-sismique
- une campagne de communication, à objectif pédagogique, associant la création de valeurs locales (financières, emploi, énergie, recherche, formation...)

La conception du rig est en lui-même un des sujets d'étude du démonstrateur, qui est un des aboutissements de l'ensemble du programme.

Les objectifs sont donc les suivants :

- concevoir le programme de forage ;
- optimiser l'ensemble des paramètres permettant d'assurer le succès de la réalisation de l'échangeur.

La réalisation de l'échangeur souterrain nécessite de recourir à des déports latéraux et subhorizontaux importants (de l'ordre de 1000 à 2000 m), à grande profondeur (4000 à 6000 m) et à gros diamètre (8''1/2 à 12''1/4, soit 22 à 31 cm). La construction de cet échangeur demande la mise en place d'une colonne perdue de production sur la totalité de la zone d'échange thermique.

Actuellement, les techniques de forage horizontaux sont utilisées jusqu'à 11 km de déport latéral (Sakhalin, Magellan) en exploitation pétrolière (en diamètre inférieur à ceux utiles en géothermie profonde). Les techniques de production multi drain 'ont utilisées pour des réservoirs multi étagés. Le développement d'appareil de forage lourd avec capacité de travail en poussée ouvre certaines perspectives.

Les premières années d'études sur le démonstrateur ont apporté des connaissances sûres :

- les formations géologiques rencontrées et les profondeurs exactes des interfaces
- le programme de forage (architecture du démonstrateur, programme de boue)
- le programme d'acquisition de données (logging, LWD, carottage)
- la longueur minimale de l'échangeur
- le programme de test
- la conception du rig de forage
- l'ingénierie d'éco-conception des technologies de forages fond de trou

3.1.2 Etudes géologiques et géophysiques : base de données sur le projet de Lons

L'ensemble des publications, rapports, études réalisées sur les sous-bassins de Pau et Tarbes a été analysé et synthétisé pour caractériser le réservoir, à l'échelle régionale et locale.

L'ensemble des données de puits et géophysiques a été compilé. La base de données de puits est interprétée, en particulier au droit des agglomérations de Pau et de Tarbes. La base de données géophysiques a été interprétée.

La Figure 6 indique les données de puits, ainsi que les lignes sismiques anciennes acquises par l'exploration pétrolière.

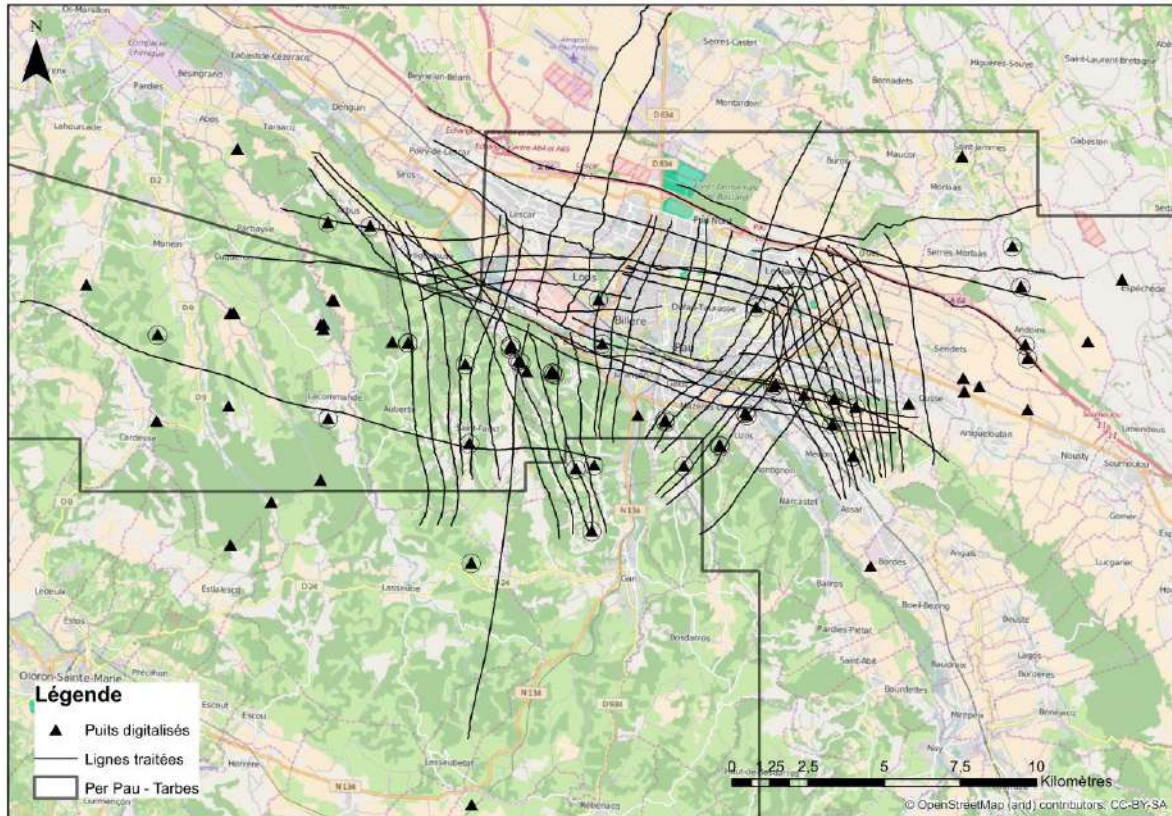


Figure 6: Base de données de puits et de sismiques anciennes sur le PER HT Pau-Tarbes

Sur cette base de données, une étude complète de distribution des paramètres hydrauliques et thermiques est réalisée, sur les formations du Jurassique supérieur (Dolomies de Mano et de Meillon).

Sur les 71 puits sélectionnés pour l'interprétation géophysique, les logs de densité, porosité, GR et Sonic sont digitalisés.

Les lignes antérieures ont été retraitées. La difficulté principale est l'homogénéisation des lignes, celles-ci étant issues de nombreuses campagnes réalisées à des périodes différentes. Un total de plus de 500 km de lignes est retraité.

3.1.3 Acquisitions géophysiques sismique 2D réalisées

- **Programme d'acquisition**

Sur la base des paramètres d'acquisition définis pour ces campagnes d'acquisition antérieures, les réflecteurs profonds ne présentent pas une précision d'image suffisante. La qualité des lignes étant pauvre, une nouvelle acquisition sismique ciblée sur le projet de Lons a été engagée, avec des paramètres adaptés pour imager les profondeurs des horizons à cibler.

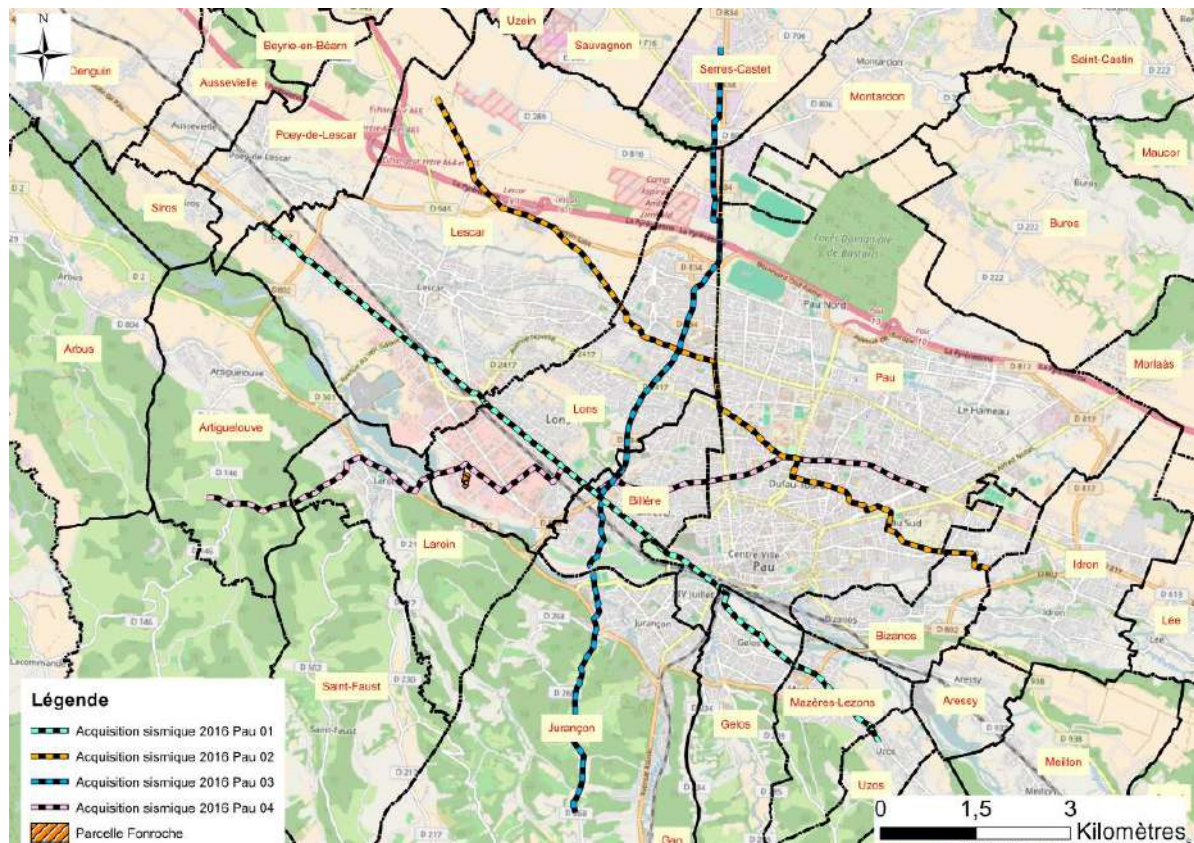


Figure 7: Tracé des lignes sismiques

- **Dispositif d'acquisition des données**

Le dispositif d'acquisition sur le terrain est composé :

- d'une source : convoi de 4 camions vibrateurs
- de récepteurs : géophones plantés dans le sol
- un camion laboratoire, fixe et hors du chantier, où les données sont réceptionnées et analysées.

La Figure 8 présente un schéma du dispositif.

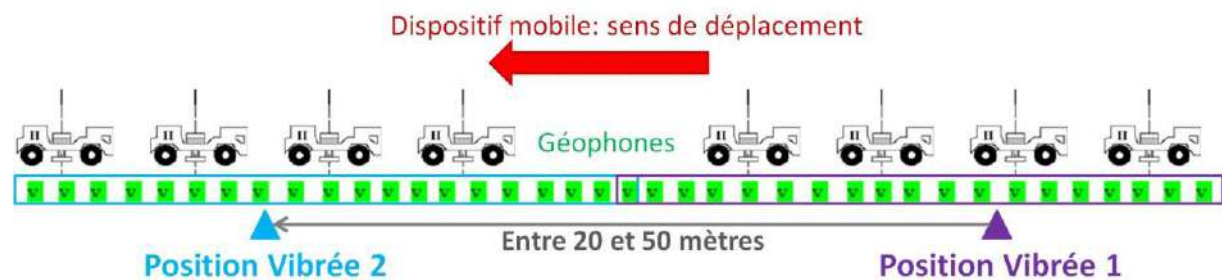


Figure 8: Dispositif d'acquisition sismique

- **La source : les vibrations**

Les vibrations sont effectuées par des camions vibrateurs. Ces derniers sont munis de plaques hydrauliques vibratoires carrées d'environ 1 m de côté, qui vont vibrer simultanément dans une certaine gamme de fréquence et pendant un temps défini (quelques secondes maximum), afin de propager des ondes acoustiques dans le sous-sol.

3 à 4 camions sont regroupés en convoi, espacés de quelques mètres. Ils suivent le tracé des lignes prédéfinies et s'arrêtent à chaque point d'émission des vibrations, soit tous les 30 mètres. Une autorisation en amont des levés est obtenue pour le passage des camions sur toutes les routes et chemins concernés par le tracé, lesquels sont modifiés si besoin.

Un exemple de vibreur est présenté Figure 9. Les camions vibreurs sont insonorisés et possèdent une force approximative de 42 000 livres.



Figure 9: Exemple de Vibreur Type IVI MARK 4 Y2400, insonorisé

Le Tableau 1 résume les caractéristiques techniques de la source sismique.

Tableau 1: Caractéristiques de la source sismique

Type de source	Vibro
Type de vibreur	IVI MARK 4 Y2400
Nombre de vibreurs	Maximum 4 (+ 1 de rechange)
Force hydraulique	42 000 livres
Taille camion vibreur	8m de long*2.45m de large*3.35m de haut
Distance entre les points vibrés	30 m
Longueur du convoi	Maximum 30 m

En ville, pour adapter la force à la proximité des constructions, mais également pour limiter les perturbations sur le trafic routier, le convoi de 4 camions peut être limité à 3, 2 voire 1 seul camion.

Rappelons que l'utilisation de ces vibrations de faible amplitude est sans risque pour l'homme et l'environnement. Cette technique a déjà été utilisée dans les rues de grandes villes telles que Paris, Genève, Strasbourg ou encore dans des parcs naturels sensibles et protégés. 2^{gré} s'assurera que le programme d'acquisition sismique respecte toutes les spécifications techniques et minimise l'impact sur l'environnement.

Toutes les constructions, le trafic routier des routes principales et secondaires, les voies ferrées, les lignes d'eau et de gaz seront rigoureusement étudiés et les travaux seront adaptés en conséquence. Ce travail sera réalisé pendant toute la phase de permittage.

- **Récepteurs : les géophones**

Les ondes acoustiques réfléchies sur les différentes couches du sous-sol sont enregistrées à l'aide de petits capteurs plantés dans le sol à 10 cm, appelés géophones (figure suivante). Ces derniers fonctionnent sans câble et transmettent l'information en temps réel par ondes radio au moyen d'un boîtier et d'une antenne.



Figure 10: Géophones et méthode de déploiement sans câble

Les géophones sont disposés de manière à suivre la courbe la plus rectiligne possible, au plus proche du tracé des camions vibreurs, à une distance maximale de 200m. Ils peuvent donc être disposés hors des routes ou des chemins existants (jardins, champs, massifs forestiers...).

La pose des géophones se fait à pied et ne présente ainsi aucune nuisance ou risque de dégradation pour l'environnement.

3.1.4 Recherche de la parcelle et Dépôt de la DAOTM Lons

Le PER de Pau-Tarbes a été octroyé par Arrêté Ministériel en date du 14 mars 2013. Sur le PER de Pau-Tarbes, une autorisation de forage a été obtenue le 28/11/2013 :

Tableau 2: Synthèse DAOTM de Lons sur le PER de Pau-Tarbes

PER Pau-Tarbes	DAOTM LONS
DDOT Dépôt initial / nouveau dépôt	16/03/2012 Nouveau dépôt le 04/02/2013
Enregistrement du dépôt	19/03/2012 04/02/2013
Préfet en charge	Pyrénées Atlantiques, Pau
DREAL en charge	DREAL Aquitaine, Bordeaux
Recevabilité	

Désignation Commission d'Enquête	06/02/2013
Enquête publique	06/05/2013 au 07/06/2013
Tierce Expertise	Oui
N° Arrêté	2013/GTH/001 du 28/11/2013
Etat d'instruction	ARS 11/06/2013 DREAL le 12/09/2013
Travaux engagés	Interprétation géophysique en cours

La DAOTM de Lons a fait également l'objet d'une tierce expertise, amenant Georhin à compléter son dossier initial de demande.

L'Etude de Danger (Pièce 6) de la DAOTM de Lons a été amendée en septembre 2015, visant à démontrer l'atteinte des objectifs du projet à un niveau de risque faible à nul, dans des conditions économiquement acceptables. L'Etude de danger complémentaire intègre la modélisation de 3 cas d'études concernant les effets toxiques, thermiques et surpressions :

- Une rupture de tête de puits (un rejet de gaz),
- Une fuite sur une tête de puits (un rejet de gaz),
- Une fuite enflammée et non enflammée par la torchère (rejet de gaz).

Une Déclaration de levé de mesures géophysiques a été déposée en avril 2016, pour une acquisition géophysique réalisée fin 2016.

Un projet sur l'agglomération de Tarbes a été étudié mais non engagé.

Un projet d'acquisition pseudo 3D est en cours de préparation et d'étude de préfaisabilité, dans le cadre de la deuxième prolongation du PER.

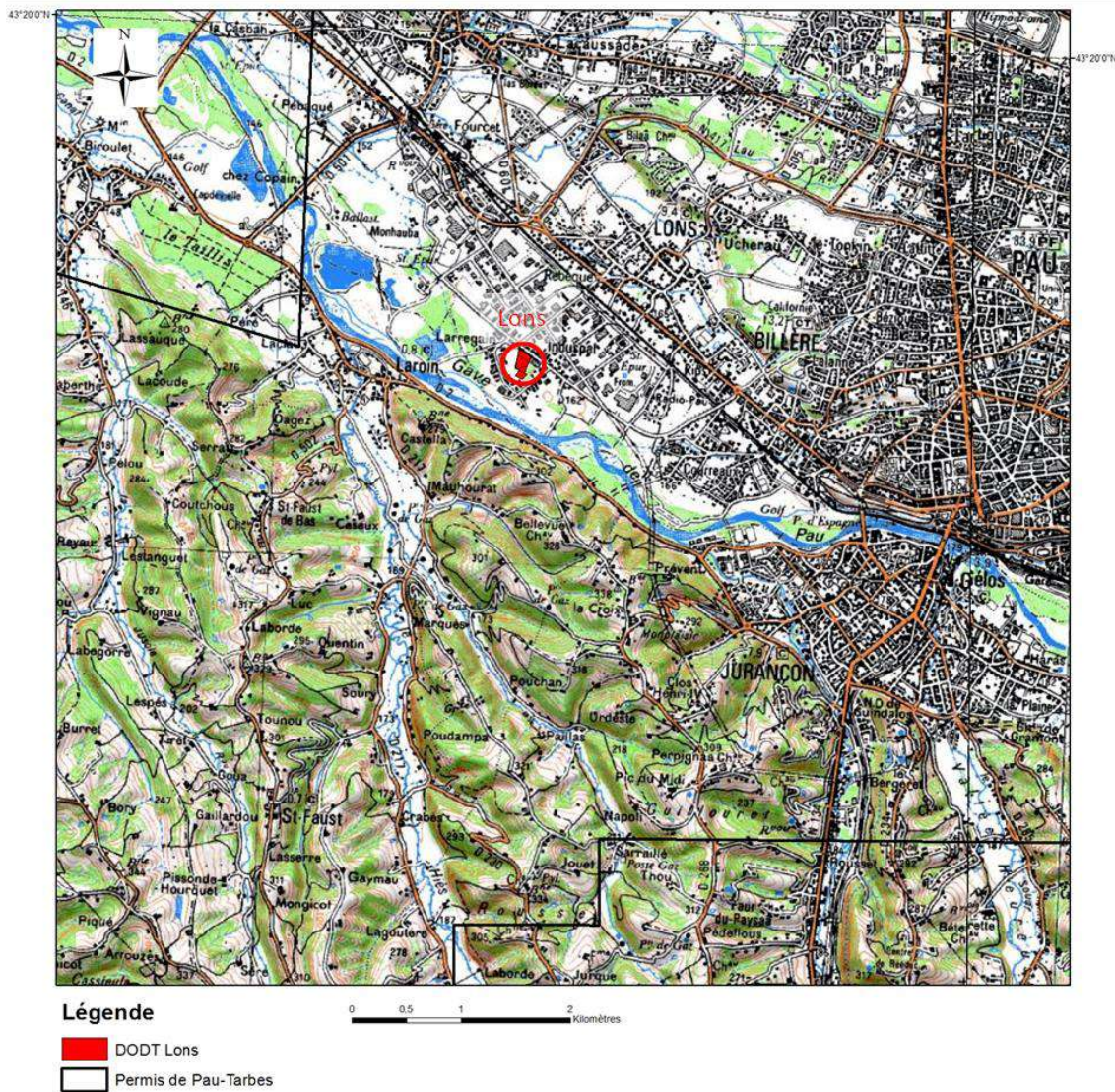


Figure 11: Localisation de la DAOTM de Lons déposée sur le PER HT Pau-Tarbes

3.1.5 Etude des retombées économiques locales

Un partenariat a été mis en place avec la Ville de Pau et la Communauté d'Agglomération de Pau Pyrénées pour développer un réseau de chaleur qui permettra de faire bénéficier la chaleur géothermale à l'agglomération. La CAPP a fortement investi en temps et en étude sur ce méta réseau et a sélectionnée mi 2016 un AMO pour faire l'étude de détail du réseau et pré sélectionner un délégataire de service public qui permettrait de mettre en œuvre un réseau à la suite du succès commercial de la ressource géothermale. L'utilisation de la géothermie a été intégrée dans le plan Climat de la CAPP.

La Figure 12 indique les débouchés de chaleur à partir des 2 sites d'implantation (Lons et Pissard). Suite au retard pris par le développement de la géothermie, l'agglomération de Pau a attribué le développement du réseau chaleur avec une première phase en biomasse et une seconde phase pouvant recevoir la chaleur géothermale.

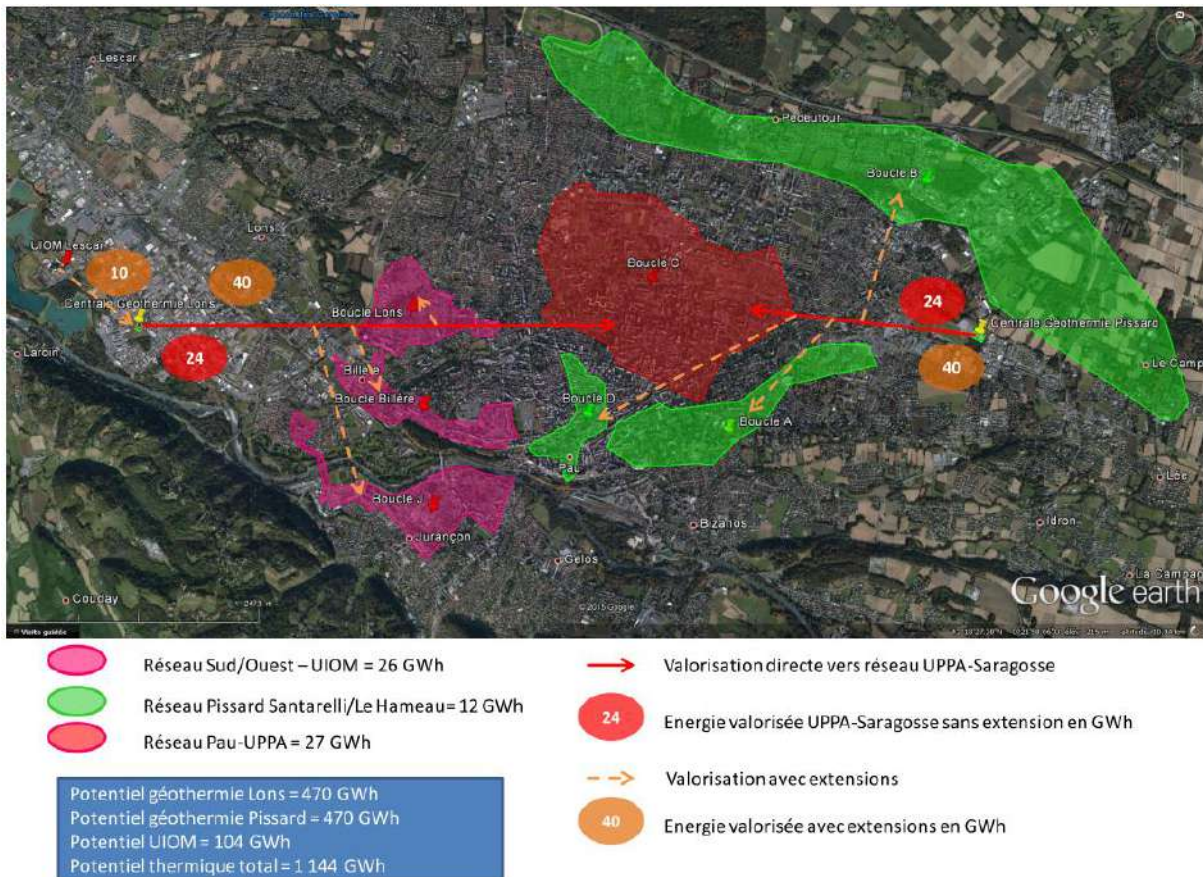


Figure 12: Potentiel de valorisation chaleur sur l'agglomération de Pau

Acceptabilité sociétale et communication :

Le projet de LONS est bien accepté par la population. Seulement 3 remarques lors de l'enquête publique, faite par des spécialistes du forage venant porter conseil.

Plusieurs conférences de presse ont été tenu notamment avec le Maire de Pau, en collaboration avec le service communication de l'agglomération, tant sur l'annonce du plan climat avec la géothermie que sur l'accompagnement de la campagne d'acquisition géophysique.

3.1.6 Etude du réservoir du Dano Paléocène

La demande du territoire en termes de chaleur pour les réseaux urbain et industriels étant croissante, Georhin a étudié la possibilité d'exploiter le réservoir d'eau chaude situé dans l'horizon géologique du Dano Paléocène comprenant les calcaires « repères » et les calcaires de Lasseube.

3.2 Sur le secteur de Tarbes

3.2.1 Exploration pétrolière

La formation du bassin de Tarbes a permis le piégeage d'hydrocarbures. Ce bassin a donc été l'objet d'exploration qui a mis en évidence un gisement de gaz (Ger) et 6 gisements d'huile :

- Lagrave et Castéra-Lou qui sont les plus proches géographiquement de Tarbes (production de Lagrave de 31249 t/an en 2011 (source : <http://www.developpement-durable.gouv.fr>) ;
- Laméac, Osmets, Jacque et Bonnefont, fermés actuellement.

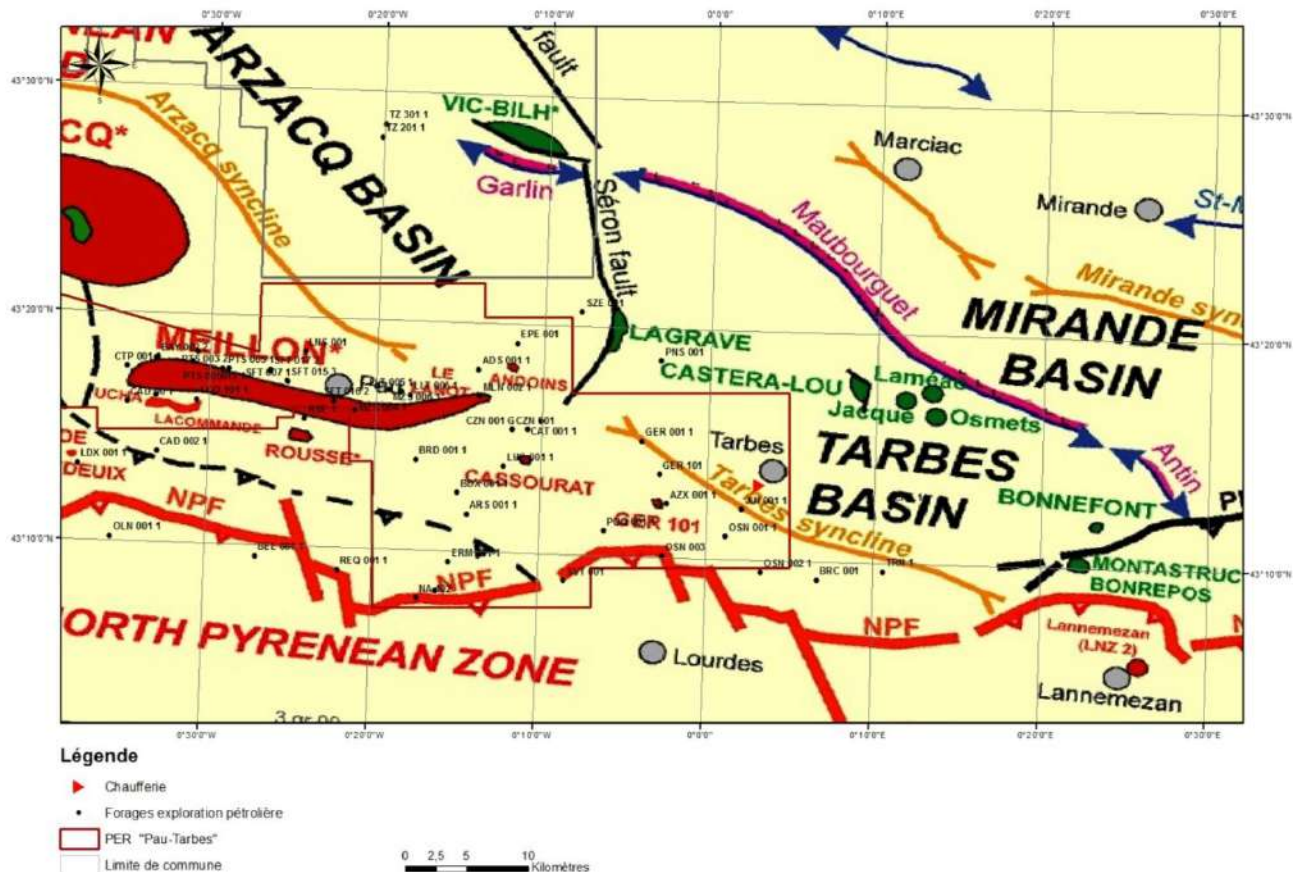


Figure 13: Principaux domaines structuraux dans le Bassin de Tarbes (IFP, 2006)

Le gisement de gaz de Ger, découvert par le puits GER101, est une exception : c'est en effet le seul qui a produit du gaz à partir d'un réservoir tertiaire gréseux (Yprésien).

Les principaux réservoirs des gisements d'huile, tous carbonatés, se répartissent du Lias au Crétacé Supérieur. A Castéra-Lou, ce sont la Dolomie de Mano et la Brèche de Garlin qui sont exploitées ; à Lagrave, les huiles ont été piégées dans la Formation.

Il résulte de cette présence d'huile un fort apport de connaissance (puits forés et données géophysiques brutes et interprétée, synthèse), qui précise le potentiel géothermique.

3.2.2 Synthèse des données sismiques

Les lignes sismiques acquises pour l'exploration pétrolière sont de campagnes et d'époques différentes (Figure 14). Sur le potentiel de Tarbes, les lignes suivantes seront utiles pour définir le modèle géologique :

- les lignes sismiques anté 1970
- les lignes sismiques acquises de 1970 à 1979
- les lignes sismiques acquises de 1980 à 1989
- les lignes sismiques acquises de 1990 à 1999

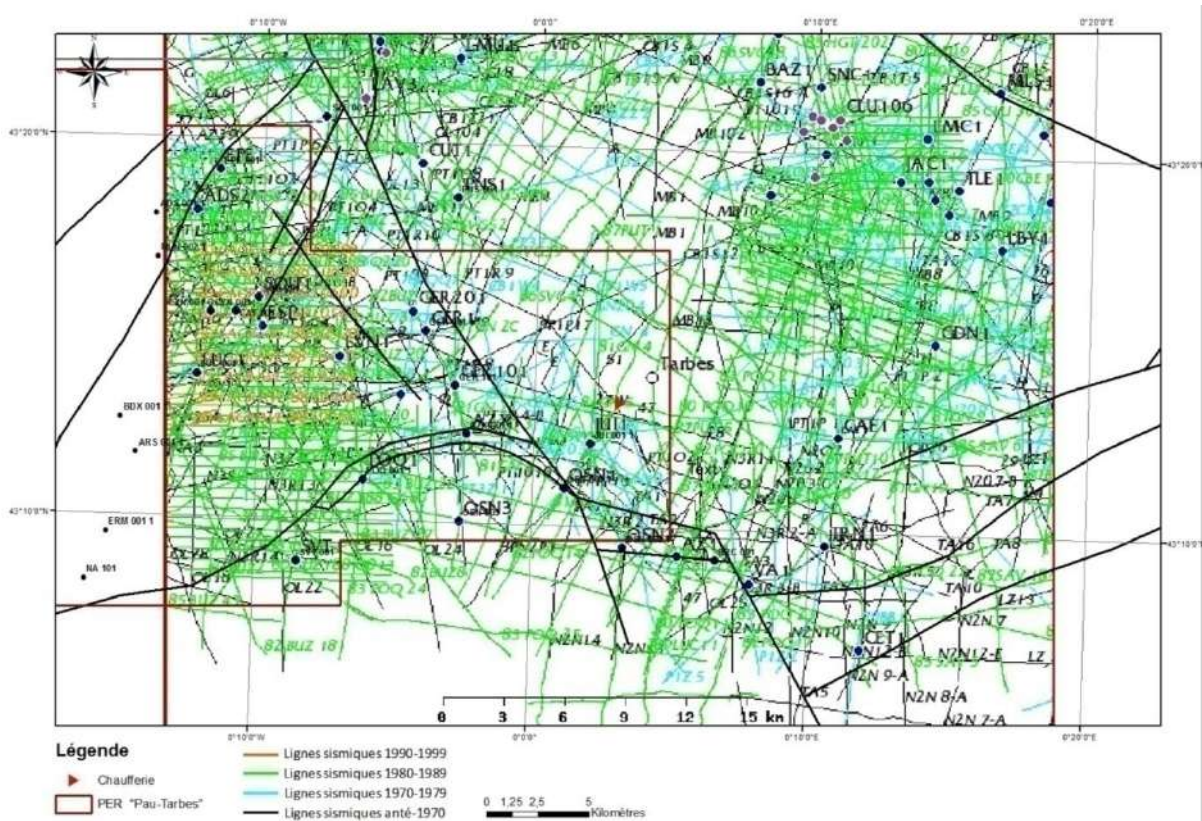


Figure 14: Données sismiques existantes (source : BEPH)

4 Etat des lieux des travaux réalisés sur la période de première prolongation du PER dit de « Pau-Tarbes »

Ce paragraphe synthétise les études réalisées pendant cette période.

Objectifs demande 1° prolongation (issu de la demande de 1° prolongation)	Réalisation 1° prolongation	Évaluation de l'atteinte des objectifs
<p>Les objectifs visés par la première demande de prolongation du PER « Pau-Tarbes » étaient les suivants :</p> <p>Au sein d'une zone sélectionnée, évaluer le gisement de ressources géothermiques par l'exploitation de données existantes et par un complément éventuel de données sismiques à acquérir.</p> <p>Reconnaitre au moyen d'un puits d'exploration le gîte privilégié en première phase, avec réalisation de tests de débit/température.</p> <p>Exploiter les données recueillies à l'issue des opérations précédents pour estimer le gisement exploitable et confirmer la faisabilité d'un développement de production d'électricité et de thermie par cycle ORC.</p>	<p>Sur le secteur de Lons :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ mise en place du projet FONGEOSEC ; ○ DAOTM sur le secteur de Lons ○ synthèse bibliographique des bases de données géologiques et de forages permettant la détermination de la parcelle qui accueillera le doublet géothermique ; ○ l'acquisition de données géophysiques et leur interprétation venant compléter les bases de données existantes ; ○ l'étude de ressources basse température du type Dano Paleocene sur le secteur de Pau visant à compléter l'alimentation des projets de réseau chaleur ○ études du démonstrateur de géothermie profonde porté par le projet FONGEOSEC. ○ études sur le REX de Vendenheim et son application sur le contexte socio géologique du PER de Pau Tarbes 	<p>Le projet FONGEOSEC a apporté des conclusions fondamentales sur le fonctionnement d'un échangeur profond fermé, démontrant sa faisabilité physique mais l'absence de rendement économique, selon les données du moment (2019/2020) .</p> <p>Il a aussi précisé les contraintes technologiques pour réaliser un ou plusieurs échangeurs fermés, notamment sur la faisabilité de relier deux branches d'échangeur à grande profondeur.</p> <p>L'ADEME a résilié la convention de financement du consortium Fongeosec courant 2020.</p> <p>Les travaux engagés avec le territoire de l'agglomération de Pau ont donc été suspendu, en attente de viser d'autres ressources géothermales. Les réservations foncières ont aussi été relâchées et une partie héberge aujourd'hui d'autres projet au service du réseau chaleur à) base d'ENR de l'agglomération.</p> <p>En particulier, la ressource du Dano paléocène a été étudié et cartographié pour évaluer son potentiel.</p> <p>En fin 2020, des évènements de sismicité ont été ressentis sur le site géothermal de Vendenheim, situé sur le PER de Strasbourg, lors de la séquence de test longues durées modifiés pour prendre en</p>

		<p>compte les demande du comité d'expert .</p> <p>Afin d'en tirer tous les enseignements, les développements sur les autres PER ont été décalés pour intégrer ce REX.</p> <p>Le REX sur la sismicité a été partagé avec l'association professionnelle AFPG en vue de l'établissement du guide national de bonnes pratiques, actuellement disponible.</p> <p>Les forages réalisés sur Vendenheim amènent un retour d'expérience très important pour le derisquage technique de la construction des futurs puits de captage de la ressource géothermale plus largement en contexte géothermal difficile.</p> <p>L'appareil de forage lourd, outil de travail clé pour le développement géothermal, a été adapté aux contraintes de la géothermie profonde ainsi que les technologies et méthodes de construction de puits.</p> <p>Les méthodes géosciences ont aussi été adaptées aux contraintes des zones tectonisées et chaudes</p>
	<p>Sur le secteur de Tarbes :</p> <p>Validation bibliographique du potentiel existant sur la partie Est du PER, couvrant la surface de l'Est de Pau à Tarbes.</p>	<p>Le REX géoscience de Vendenheim a été appliqué à l'ensemble des projets, en particulier la nécessité de généraliser les levés géophysique pseudo 3D, afin d'affiner la connaissance structurale et les études géomécaniques.</p> <p>Cette méthode est en cours de précision pour application sur les zones de Pau, Tarbes et Ouest du PER.</p>

	Sur le secteur Ouest du PER : Synthèse bibliographique des bases de données géologiques et de forages	
--	--	--

4.1 Interprétation des lignes sismiques traitées

Un premier travail d'interprétation comprenant 61 lignes sismiques réparties de façon homogène sur environ 400 km² et 45 forages pétroliers a été effectué. De manière générale, l'interprétation a été très difficile en raison d'images sismiques de faible qualité.

Le pointage et l'interprétation des couches géologiques visées par Georhin se révèlent compliqués. Cela s'explique par l'atténuation de l'information avec la profondeur
Le retraitement des lignes a été réalisé dans le but de gagner un maximum d'information pour des objectifs profonds avec des lignes à offset court initialement enregistrées pour imager moins profond.

Un travail de calage des données de forages sur les profils sismiques a été réalisé suivi d'un travail d'interprétation des horizons sismiques le long des profils en fonction des marqueurs sismiques sélectionnés. Tout le travail aboutissant à la création des cartes structurales en profondeur s'est effectué en étroite collaboration avec le BRGM.

La précision du pointé sismique va être altérée par la faible qualité des lignes, par le manque de forages au nord de la zone d'étude, par le manque de calage des données géologiques (en lien avec des données de forages erronées) et par la projection des forages sur les profils sismiques.

Réalisation des cartes de profondeur

Suite au pointé des horizons et l'assignation des failles le long des profils sismiques, il est possible de réaliser des cartes structurales en profondeur. Le principe étant de créer une grille d'interpolation 3D de ces horizons.

4.2 Finalisation partielle du projet FONGEOSEC et clôture du projet

Le projet FONGEOSEC a été arrêté par l'ADEME suite à un décalage important du planning du programme et à des litiges survenus entre partenaires du consortium.

4.3 Etude de projet chaleur avec l'agglomération de Pau

La communauté d'agglomération de Pau Béarn Pyrénées (CAPBP) a réalisé un réseau de chaleur sur son territoire de 2020 à 2023. L'UVE et la biomasse sont les principales sources d'énergie de ce réseau. Fin Avril 2023, le réseau de chaleur urbain avait délivré 29 GWh pour une production de 39 GWh. Une fois l'ensemble des abonnés connectés, le réseau devrait délivrer 130 GWh/an.

Des projets de réseaux chaleurs sont également en cours de réflexion dans l'agglomération paloise à savoir sur les communes de Lescar, Jurançon, Gelos et Bizanos.

Le potentiel total identifié sur le territoire de la CAPBP est estimé à environ 160 GWh/an dont la répartition des consommateurs est la suivante :

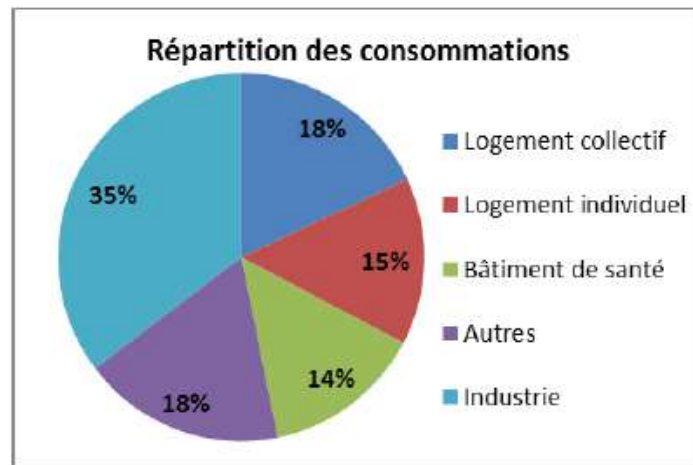


Figure 15: Répartition des consommations potentielles sur le territoire de la CDAPP

A ce jour, la géothermie répondrait à hauteur de 80% des besoins des réseaux chaleurs en projet. Par ailleurs, la géothermie permet également de répondre à des besoins en froid dont la demande est prévue comme croissante dans les années à venir.

Des discussions sont en cours afin de trouver la solution technico-économique optimale pour ce réseau de chaleur. Les besoins du réseau n'étant pas constants tout au long de l'année, des études approfondies "heure par heure" doivent encore être menées afin d'assurer constamment la température nécessaire à la couverture des besoins du réseau.

Les travaux issus du dossier ICPE de GEOLONS permettent une première approche des retombées économiques globales pour la région :

- Potentiel de 20 MW électrique sur le permis soit près de 3 unités de production
- 180 M€ investis directement d'ici 2030
- 100 M€ indirectement sur le développement chaleur

4.4 Intégration du REX de Vendenheim

4.4.1 Renforcement des études exploratoires

Les études exploratoires doivent être renforcées avec des technologies nouvelles de géophysique ou de mesures dans les zones d'intérêt à l'intérieur des puits. En effet, les éléments survenus sur le site de Vendenheim ont mis en évidence les limites de connaissances associées aux outils d'exploration traditionnels et des mesures de puits dans le cadre de projets de géothermie profonde de haute température (>180 °C).

Il est nécessaire d'entreprendre une cartographie la plus fine et précise possible du réseau de failles au droit de l'implantation du doublet géothermique afin de limiter au maximum l'aléa sismique. La Figure 16 présente l'évolution du modèle local de Vendenheim entre avant forage et après forage grâce à l'analyse de l'ensemble des données.

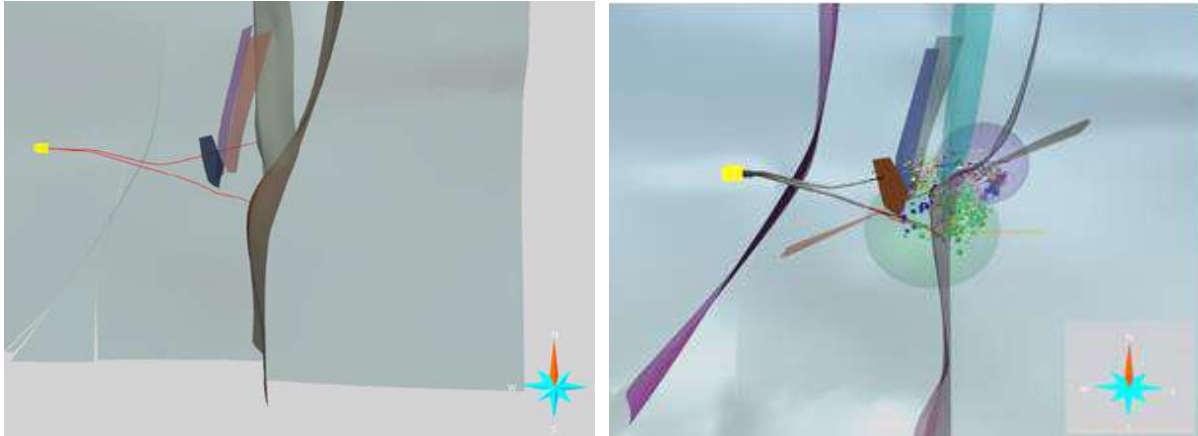


Figure 16: Evolution du modèle de Vendenheim. A gauche avant forage, à droite après forage et analyses des données.

La sismique réflexion 2D à elle seule n'a pas permis d'identifier la complexité de la zone de faille au droit du projet. Pour se faire, il est nécessaire de densifier le maillage de profils sismiques dans le but de réduire les incertitudes et d'éviter les zones potentielles de déconnexion entre les deux puits.

Une des techniques largement utilisées, notamment dans le milieu pétrolier, est la sismique réflexion 3D. Les résultats permettent d'obtenir un cube 3D précis du sous-sol. Cette technique n'était pas applicable en 2016 vu le caractère urbanisé des secteurs visés mais les derniers développements technologiques en acquisition géophysique et notamment en acquisition et traitement du signal ouvre actuellement de nouvelles possibilités.

Ce retour d'expérience sur l'intérêt d'un levé de mesures géophysiques 3D se traduit par un dépôt de déclaration de levé suite aux présentes études complémentaires. Il permettra d'approfondir l'état des connaissances du réservoir et de l'aléa sismique. Sa mise en œuvre relève d'une méthode novatrice de sismique réflexion dite « pseudo 3D », développée depuis 2020 par les entreprises en charge du levé. La méthode est envisagée dans le cadre de la deuxième période de prolongation du PER et présentée dans la pièce 5_Programme de travaux.

Une autre limite a été identifiée dans le cadre du projet de Vendenheim, celles des mesures de puits. Des diagraphies ont été entreprises sur le forage VDH-GT1 jusque dans le Permien afin de caractériser au mieux les propriétés pétrographiques et la fracturation. Les températures mesurées au droit du réservoir, à plus de 200°C, se sont révélées au-dessus des limites de températures des outils de logging disponibles (autour de 170/180 °C) et ce même en utilisant des phases de circulation de boue visant à refroidir les sondes.

Ces limites technologiques ont entraîné une collecte de données insuffisante dans le socle et le réservoir. Depuis, de nouvelles technologies ayant été éprouvées par exemple sur le projet Britannique en Cornouaille, appelées en « pipe conveyed » permettent la descente de nouveaux outils adaptés aux hautes températures dans des conditions de découvert difficiles.

Il semble donc nécessaire d'intégrer ces technologies dans les programmes d'acquisitions de données de puits pour les projets visant des températures supérieures à 180°C.

4.4.2 Limite des outils scientifiques prévisionnels sur la gestion du risque sismique durant la conduite des tests

Les outils scientifiques prévisionnels comme par exemple la loi de McGarr ou le TLS (Traffic Light System) doivent être améliorés pour mieux appréhender le risque sismique pendant la conduite des tests.

5 Récapitulatif des engagements financiers réalisés au cours de la première période de prolongation du PER de Pau-Tarbes.

Ce chapitre détaille les engagements réalisés sur la 1^{re} période de prolongation du PER

Tableau 3: Récapitulatif des dépenses engagées au cours de la première durée du Permis Exclusif de Pau-Tarbes

	Etudes G&G (k€)	Travaux géophysiques (k€)	Ingénierie forage	Etudes environnementales	Etude valorisation énergétique	Total (k€)
Jusqu'en 2014	300		250	200	103	853
2015	807	-	-			807
2016	774,079	302,350 €	132,473	50	150	1 408,9
2017	812	395	168			1375
2018	13		90			103
2019	5,34					5,34
2020	10,12	119,79				129,91
2021		0,23				0,23
2022 (prévision en cours)						
Total						4 682,38

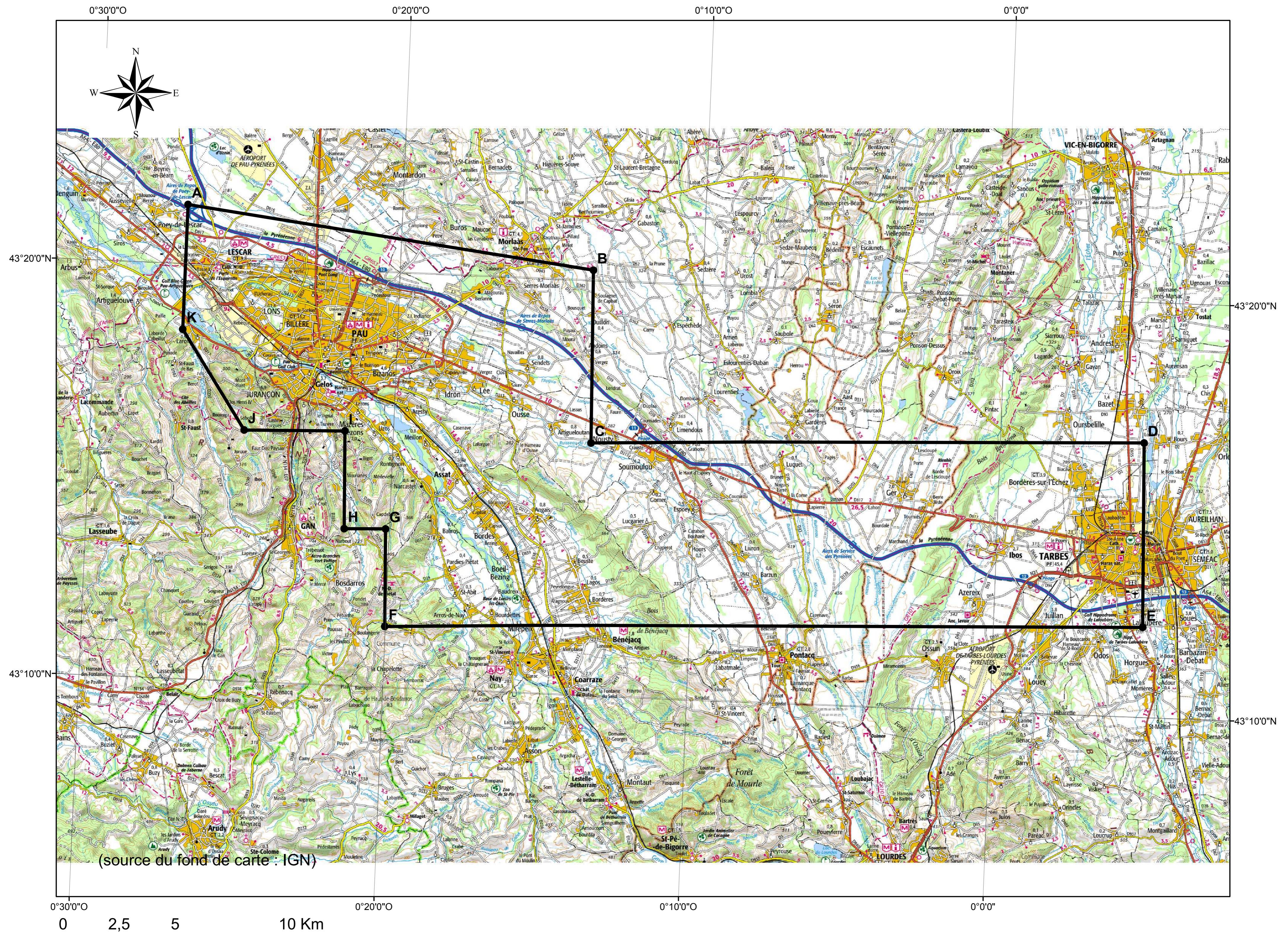
Dont subvention et Avances Remboursables :

FONGEOSEC PAU TARDES / LONS	AR	Subvention
2015	309 474.92 €	46 243.38 €
2016	193 912 €	25 208.56 €
2017	85 568.41 €	11 123.89 €
TOTAL	588 955,33 €	82 575,83 €

ANNEXES

- Carte officielle du PER dit de « Pau-Tarbes » au 1/100.000°

Carte du Permis exclusif de Recherche de Géothermie Haute Energie dit de "Pau-Tarbes" au 1/100 000



La superficie du PER dit de "Pau-Tarbes" proposé est de 442 km²

Légende

- PER dit de "Pau Tarbes" proposé
- Points délimitants le PER Pau tarbes proposé

PER dit de " Pau-Tarbes "	
Carte du Permis Exclusif de Recherche de Géothermie Haute Température, dit de "Pau-Tarbes" au 1/100000	
	Signature du président

Points	RGF 93	
	X	Y
A	438220,17	6254079,30
B	438110,11	6246363,39
C	462803,30	6246363,34
D	462735,19	6238123,26
E	428905,31	6238171,22
F	428941,20	6242527,04
G	427091,40	6242542,27
H	427127,32	6246902,35
I	422634,64	6246939,33
J	419886,83	6251444,21
K	420127,39	6257004,37