



PROJET GEOPULSE

SAINT-PIERRE-ROCHE (63)

DEMANDE D'AUTORISATION D'OUVERTURE DE
TRAVAUX MINIERS DE GEOTHERMIE PROFONDE

PIECE 4- METHODES DE RECHERCHE ET D'EXPLOITATION ENVISAGEE

**FEVRIER 2020 – VERSION
ACTUALISEE EN AOUT 2020**

SOMMAIRE

1.	STRATEGIE D'EXPLORATION ET DE DEVELOPPEMENT	5
1.1.	STRATEGIE EXPLORATOIRE DU PREMIER DOUBLET	5
1.2.	STRATEGIE DE DEVELOPPEMENT DU SECOND DOUBLET.....	6
2.	PLANNING PREVISIONNEL DES TRAVAUX MINIERs	7
3.	PROGRAMME PREVISIONNEL DES DIAGRAPHIES, CAROTTAGES ET ESSAIS	10
3.1.	MESURES EN CONTINU.....	10
3.2.	DIAGRAPHIES	10
3.2.1.	DIAGRAPHIES DE SIM1	10
3.2.2.	DIAGRAPHIES DE SIM2, SIM3, SIM4	11
3.3.	CAROTTAGES.....	12
3.4.	LES ESSAIS.....	13
3.4.1.	OBJECTIFS ET DEROULEMENT DES TESTS	13
3.4.2.	PROGRAMME DES ESSAIS DE SIM1	13
3.4.3.	PROGRAMME DES ESSAIS EN PRESENCE DE 2 Puits ET PLUS	16
3.4.4.	ACIDIFICATION ET DEVELOPPEMENT CHIMIQUE.....	17
4.	EN CAS DE SUCCES DE L'EXPLORATION : VALORISATION DU FLUIDE GEOTHERMALE.....	18
4.1.	EXPLOITATION DE LA BOUCLE GEOTHERMALE	19
4.1.1.	FONCTIONNEMENT PREVISIONNEL DE LA BOUCLE GEOTHERMALE.....	19
4.1.1.1.	LES PERTES DE CHARGE AU NIVEAU DU RESERVOIR	20
4.1.1.2.	LA COURBE CARACTERISTIQUE DE PRODUCTION	21
4.1.1.3.	LA COURBE CARACTERISTIQUE DE REINJECTION	23
4.1.2.	CONTROLE, SURVEILLANCE ET MAINTENANCE DE LA BOUCLE GEOTHERMALE	23
4.2.	UNITE DE PRODUCTION D'ELECTRICITE	25
4.2.1.	TERRAIN D'IMPLANTATION PROJETE	25
4.2.2.	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT ET DESCRIPTION DES EQUIPEMENTS.....	27
4.2.3.	DELAIS DE REALISATION.....	29
4.3.	LE RACCORDEMENT AU POSTE ELECTRIQUE EXISTANT.....	30
4.4.	LES SUBSTANCES CONNEXES A LA PRODUCTION GEOTHERMALE	31
5.	EN CAS D'ECHEC DE L'EXPLORATION	32

TABLE DES ILLUSTRATIONS

<i>Figure 1: Représentation schématique d'un fonctionnement de la boucle géothermale pour la production d'électricité</i>	<i>19</i>
<i>Figure 2 : Pertes de charge théoriques attendues au droit des zones productrices.....</i>	<i>21</i>
<i>Figure 3 : Rabattement théorique</i>	<i>22</i>
<i>Figure 4: Pertes de charge théoriques à l'injection au droit du réservoir</i>	<i>23</i>
<i>Figure 5 : Implantation prévisionnelle des équipements de production électrique en cas de succès de l'exploration pour un doublet (projet)</i>	<i>26</i>
<i>Figure 6 : Implantation prévisionnelle des équipements de production électrique en cas de succès de l'exploration pour deux doublets (projet).....</i>	<i>26</i>
<i>Figure 7 : Tracé potentiel du raccordement de la future centrale au poste de Saint-Pierre-Roche</i>	<i>30</i>
<i>Schéma 1 : Stratégie exploratoire et modalités d'exploitation de la ressource du premier doublet</i>	<i>5</i>
<i>Schéma 2 : Stratégie exploratoire et modalités d'exploitation de la ressource du second doublet.....</i>	<i>7</i>
<i>Schéma 3 : Schéma de principe du fonctionnement d'une centrale ORC.....</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 1 : Planning prévisionnel des travaux miniers.....</i>	<i>8</i>
<i>Tableau 2 : Calendrier prévisionnel des étapes avant 1^{er} forage.....</i>	<i>9</i>
<i>Tableau 3 : Calendrier estimatif de réalisation d'une centrale à cycle "ORC"</i>	<i>29</i>

En introduction à cette pièce, il est rappelé que TLS Geothermics avec pour maîtrise d’ouvrage la SPV GEOPULSE envisage l’exploration minière d’une ressource potentielle pour un usage de géothermie dans les failles bordières du massif granitique de Gelles.

Il s’agit de réaliser sur une même plateforme, un doublet (deux puits déviés, l’un producteur et l’autre injecteur), éventuellement un second doublet, permettant de qualifier la ressource et les potentialités d’exploitation future.

Région	Auvergne-Rhône-Alpes
Département	Puy-de-Dôme
Commune	Saint-Pierre-Roche
Maître d’ouvrage	GEOPULSE
Maître d’Œuvre	STORENGY
Classification des travaux	Forages exploratoires de gîtes géothermiques
Type d’ouvrages	Déviés orientés
Nombre de forages minimum	1 forage
Nombre de forages maximum	2 doublets (SIM1/SIM2 et SIM3/SIM4) constitués chacun d’un puits producteur (SIM1 et SIM3) et d’un puits injecteur (SIM2 et SIM4)
Profondeur finale	Compris entre 3500 et 4000m MD

En fonction des résultats de l’exploration du premier doublet et plus particulièrement des essais réalisés sur chacun des ouvrages pour qualifier une ressource viable, un second doublet pourra être foré.

Seront reprises dans cette partie, les différentes situations possibles en fonction du succès ou de l’échec de qualification du potentiel géothermique de la ressource.

Les conditions de succès technique (exploitation économiquement viable) sont établies en fonction des paramètres suivants :

- Une température au-delà de 150°C
- Un débit minimum de 100 l/s
- Un indice de productivité de 3 l/s/bar

Si la ressource est confirmée au travers des travaux miniers exploratoires, il est projeté une utilisation pour la production d’électricité.

La production d’électricité par géothermie présente plusieurs avantages, on peut citer :

- C’est une énergie renouvelable et propre : la ressource géothermale est durable, et sans rejet de CO₂ à l’atmosphère.
- C’est une énergie non intermittente : l’Energie issue de la géothermie est non sujette aux variations météorologiques et permet d’alimenter en continu le réseau électrique.
- C’est une énergie locale économique : l’Energie issue de la géothermie est indépendante des fluctuations géopolitiques et permet de décentraliser la production d’électricité. C’est une potentielle source locale de chaleur disponible. Les coûts d’exploitation sont faibles et permettent de générer 3 à 4 emplois par tranche de 5MW produit.

1. STRATEGIE D'EXPLORATION ET DE DEVELOPPEMENT

1.1. STRATEGIE EXPLORATOIRE DU PREMIER DOUBLET

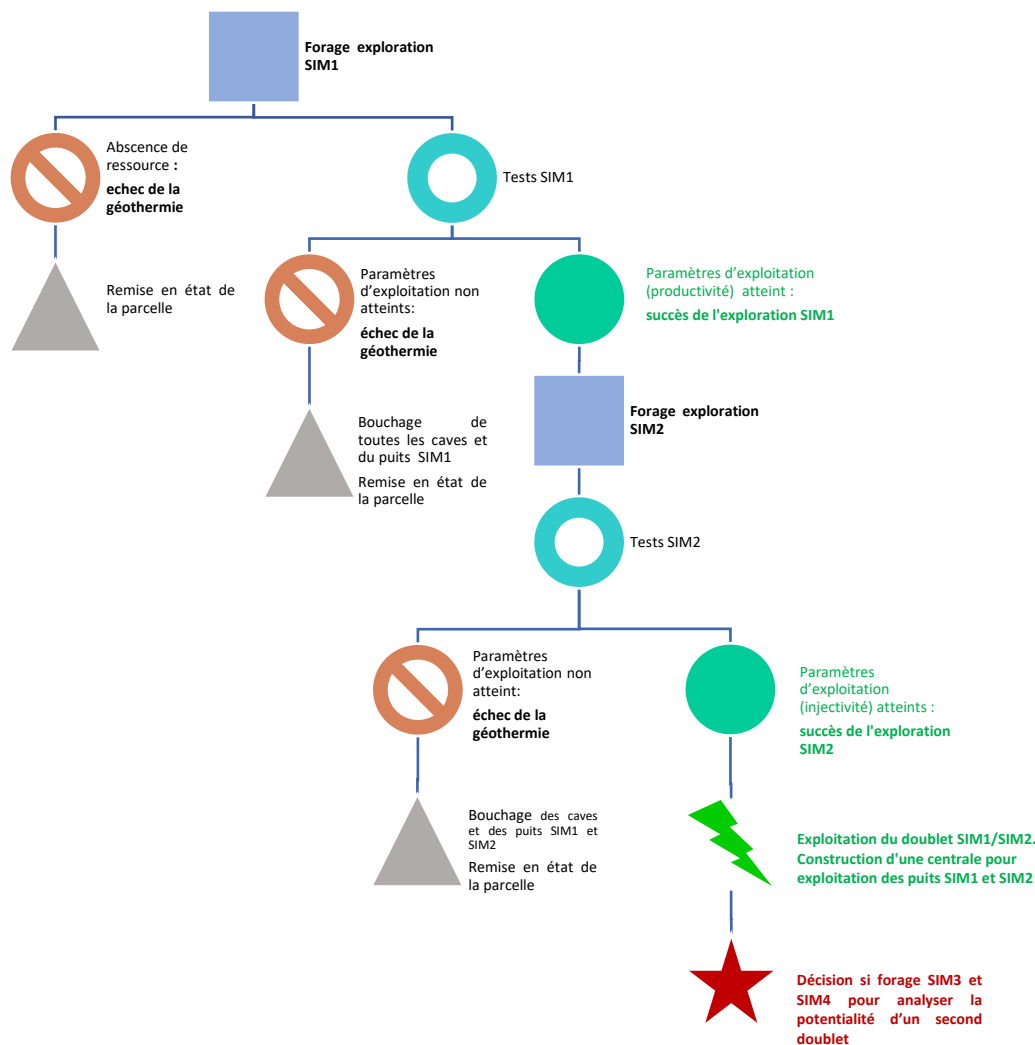


Schéma 1 : Stratégie exploratoire et modalités d'exploitation de la ressource du premier doublet

En premier lieu, interviendra le forage du premier puits (SIM1), avec qualification de la ressource au droit du premier forage (test, échantillonnage, analyse chimiques, interprétation des résultats, essais de production) :

- validation de la ressource pour un usage de géothermie

ou

- échec de la géothermie, critères d'exploitation non atteints
=> bouchage du forage (voir le programme de fermeture minier en pièce 6 du présent dossier), fermé avec une plaque soudée comportant le nom du puits gravé avec couverture végétalisée par-dessus

Si les paramètres d'exploitation visés sont atteints au puits SIM1, réalisation du second forage (SIM2) et qualification du réservoir géothermique :

- échec de la qualification du réservoir, critères d'exploitation non atteints
=> bouchage des deux forages (voir le programme de fermeture minier en pièce 6 du présent dossier), fermés avec une plaque soudée comportant le nom du puits gravé avec couverture végétalisée par-dessus

ou

- validation du réservoir pour un usage de géothermie
=> exploitation de ce doublet et construction d'une centrale pour exploiter cette ressource

Si les paramètres analysés sur ces deux forages indiquent une potentialité d'exploitation de forages supplémentaires, cette voie sera poursuivie au travers du forage d'un second doublet (SIM3 et SIM4) :

- échec de la qualification du réservoir pour un doublet supplémentaire, critères d'exploitation non atteints
=> fermeture des caves du doublet supplémentaire permettant une réutilisation éventuelle pour faire un puits supplémentaire après plusieurs années d'exploitation en cas de problèmes opérationnels sur les premiers puits.

ou

- paramètres présentant un intérêt pour l'exploitation d'un doublet supplémentaire pour un usage de géothermie
=> réalisation selon la stratégie ci-dessous.

1.2. STRATEGIE DE DEVELOPPEMENT DU SECOND DOUBLET

Si les paramètres présentent un intérêt pour le développement d'un doublet supplémentaire pour un usage de géothermie, le forage du troisième puits (SIM3) interviendra, avec qualification de la ressource (test, échantillonnage, analyse chimiques, interprétation des résultats, essais de production) :

- validation de la ressource pour un usage de géothermie

ou

- échec de la géothermie, critères d'exploitation non atteints
=> bouchage du forage SIM3 (voir le programme de fermeture minier en pièce 6 du présent dossier), fermé avec une plaque soudée comportant le nom du puits gravé avec couverture végétalisée par-dessus. Fermeture de la cave de SIM4 permettant une réutilisation éventuelle pour faire un puits supplémentaire après plusieurs années d'exploitation en cas de problèmes opérationnels sur les premiers puits.

Si les paramètres d'exploitation visés sont atteints au puits SIM3, réalisation du second forage (SIM4) et qualification du réservoir géothermique :

- échec de la qualification du réservoir, critères d'exploitation non atteints
=> bouchage des deux forages (voir le programme de fermeture minier en pièce 6 du présent dossier), fermés avec une plaque soudée comportant le nom du puits gravé avec couverture végétalisée par-dessus

ou

- validation du réservoir pour un usage de géothermie
=> exploitation de ce doublet et construction d'une seconde tranche à la centrale pour la production électrique correspondante.

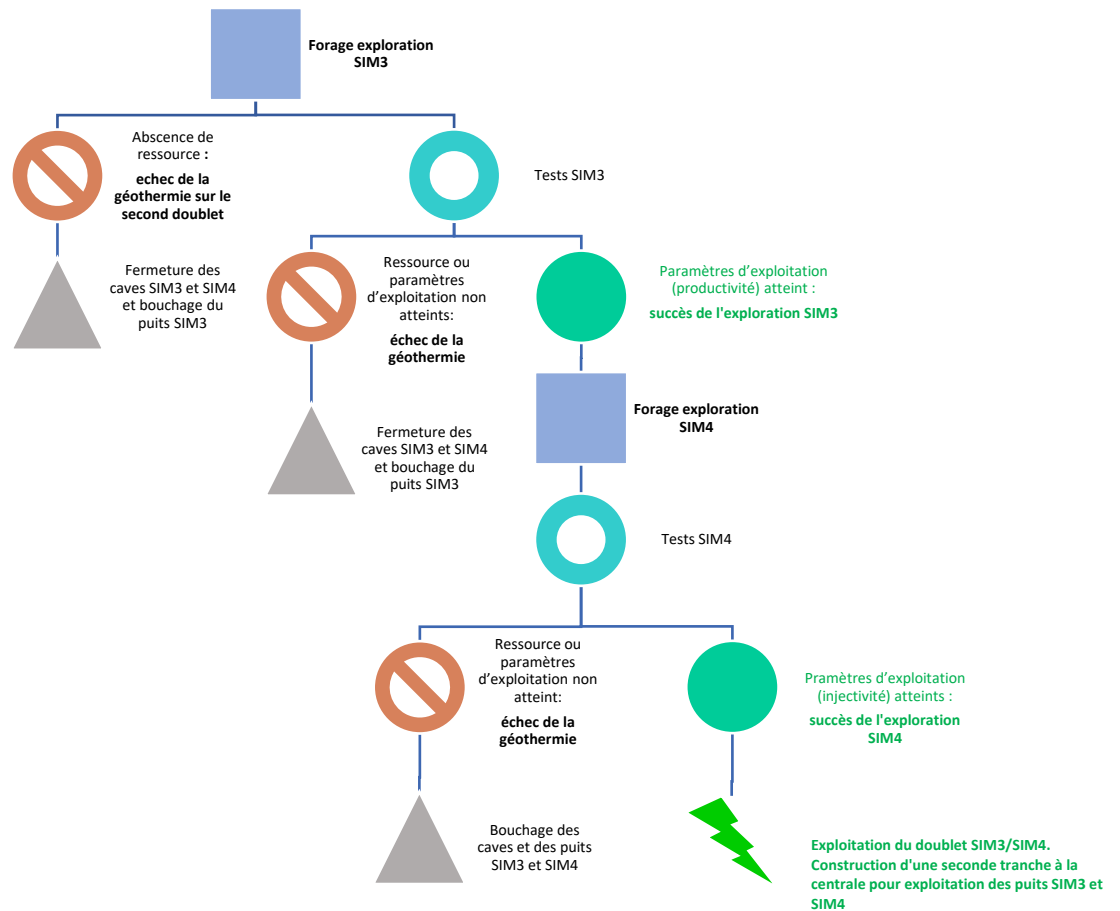


Schéma 2 : Stratégie de développement et modalités d'exploitation de la ressource du second doublet

2. PLANNING PREVISIONNEL DES TRAVAUX MINIERES

La durée prévisionnelle d'un forage est estimée à environ 120 jours à laquelle s'ajoute le temps nécessaire aux essais de production.

Les travaux miniers sont programmés sur 4 ans si les 4 forages sont réalisés :

- Le forage de SIM1 (en 2021-2022)
- Le forage de SIM2 (en 2022-2023)
- Le forage de SIM3 (en 2023-2024)
- Le forage de SIM4 (en 2023-2024)

Le planning suivant reprend les grands jalons depuis le dépôt de la demande d'autorisation jusqu'à la fin du dernier forage (SIM4). Ce planning est susceptible d'évoluer. Il prend en compte un stand-by au printemps/été de chaque année afin de limiter le dérangement de la biodiversité (voir étude d'impact, pièce 8).

		Permitting DAOT			Permitting Dérégation espèces protégées			Phase travaux miniers exploratoires										
		Dépôt de la demande DAOT	Instruction de la demande DAOT	AP DAOT	Dépôt de la demande Dérégation espèces protégées	Instruction de la demande	AP Dérégation espèces protégées	Stand-by biodiversité	Travaux de Génie civil /préparation de la plateforme	Forage SIM1	Test SIM1	Mise en repos du puits/ Décision de poursuite du projet au plus tôt	Stand-by biodiversité	Forage et test SIM2	Mise en repos du puits/ Décision enclenchement du second doublet	Stand-by biodiversité	Forage et test SIM3	Forage et test SIM4
2020	1																	
	2																	
	3																	
	4																	
	5																	
	6																	
	7																	
	8																	
	9																	
	10																	
	11																	
	12																	
2021	1																	
	2																	
	3																	
	4																	
	5																	
	6																	
	7																	
	8																	
	9																	
	10																	
	11																	
	12																	
2022	1																	
	2																	
	3																	
	4																	
	5																	
	6																	
	7																	
	8																	
	9																	
	10																	
	11																	
	12																	
2023	1																	
	2																	
	3																	
	4																	
	5																	
	6																	
	7																	
	8																	
	9																	
	10																	
	11																	
	12																	
2024	1																	
	2																	
	3																	
	4																	
	5																	
	6																	
	7																	
	8																	
	9																	
	10																	
	11																	
	12																	

Tableau 1 : Planning prévisionnel des travaux miniers

Afin de compléter le planning prévisionnel des travaux miniers, un calendrier prévisionnel plus détaillé des étapes avant démarrage du premier forage est présenté ci-après.

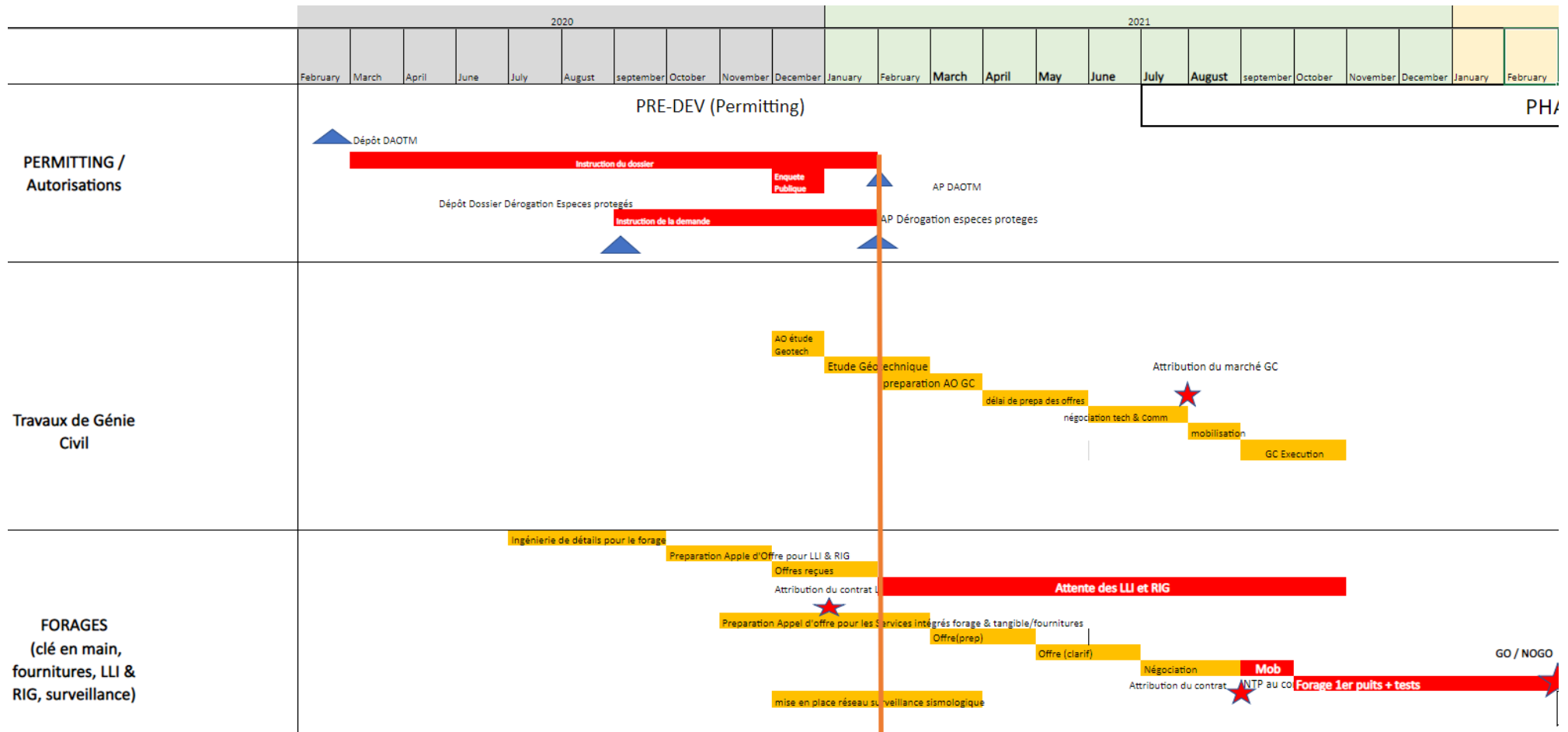


Tableau 2 : Calendrier prévisionnel des étapes avant 1^{er} forage

3. PROGRAMME PREVISIONNEL DES DIAGRAPHIES, CAROTTAGES ET ESSAIS

3.1. MESURES EN CONTINU

Les paramètres des forages, de boue, les détections des indices de gaz seront contrôlés tout le long des forages, en continu, et permettront la surveillance opérationnelle, la collecte des données sur les activités dans les puits.

L'examen des déblais de forage seront réalisés durant toutes les étapes des forages afin de déterminer la lithologie de chaque ouvrage, l'étalonnage des diagraphies et éventuellement obtenir des informations sur la géochimie et la pétrologie. Les échantillons de déblais seront conservés par la suite à la carothèque de Storengy.

Le monitoring de la microsismicité sera réalisé selon la méthodologie décrite dans la pièce 5.

3.2. DIAGRAPHIES

Le programme de mesures de diagraphies mis en œuvre sur le forage est repris ci-après en reprenant le déroulement chronologique par phase de forage.

Etant donné son caractère exploratoire, le programme du premier puits, SIM1, se distingue de ceux réalisés sur les puits suivants.

3.2.1. DIAGRAPHIES DE SIM1

Phase de forage 1 : 24'' (ou jusque 26'' en fonction de la taille du tube-guide)

- sur le découvert :
 - 4 arms Caliper¹
 - GR²

Phase de forage 2 : 17-¹/₂'' en découvert et 18-⁵/₈'' trou tubé

- sur le découvert :
 - Spectral GR³
 - Dipole sonic⁴
 - 4 arms Caliper Density-PEF⁵
 - Resistivité
 - Température

Phase de forage 3 : 12-¹/₄'' en découvert et 13-³/₈'' en trou tubé

- En option : 3D VSP entre 1500 et 2000 m
- sur le découvert :
 - 6-8 arms Caliper⁶
 - Spectral GR

¹ Diamètre 4 bras

² Gamma Ray

³ Gamma Ray

⁴ Outil acoustique dipole

⁵ Densité - Facteur d'absorption photoélectrique volumétrique

⁶ Diamètre 6 à 8 bras

- Dipole Sonic
- Résistivité
- Density-PEF
- Température

- en trou tubé :
 - Caliper Multifinger⁷
 - CBL⁸
 - CCL⁹
 - en option en fonction des résultats du CBL : log imagerie ultrasonique de contrôle de cimentation

Phase de forage 4 : 8-¹/₂ en découvert et 9-⁵/₈'' en trou tubé

- Sur le découvert :
 - 6-8 arms Caliper
 - Spectral GR,
 - Résistivité
 - Dipole Sonic,
 - Density-Neutron-PEF
 - Température
 - Image Log (Résistivité)

- en trou tubé :
 - Caliper Multifinger
 - CBL
 - CCL
 - Log imagerie ultrasonique de contrôle de cimentation
- Vertical 0 offset VSP*¹⁰
- PLT (PTS) – tout au long des tests d'injection/production

3.2.2. DIAGRAPHIES DE SIM2, SIM3, SIM4

Phase de forage 1 : 24'' (ou jusque 26'' en fonction de la taille du tube-guide)

- sur le découvert :
 - 4 arms Caliper
 - GR

Phase de forage 2 : 17-¹/₂'' en découvert et 18-⁵/₈'' trou tubé

- sur le découvert :
 - Spectral GR
 - Dipole sonic
 - 4 arms Caliper
 - Température

⁷ Diamètre multi-bras

⁸ Diagraphie acoustique de contrôle de cimentation

⁹ Contrôle de l'emplacement des joints

¹⁰ Outil de recalibration sismique

- en option en fonction des résultats de SIM1 : Dipole Sonic, Résistivité, Density-PEF

Phase de forage 3 : 12-¹/₄" en découvert et 13-³/₈" en trou tubé

- sur le découvert :
 - 6-8 arms Caliper
 - Spectral GR
 - Température
 - en option en fonction des résultats de SIM1 : Dipole Sonic, Résistivité, Density-PEF
- en trou tubé :
 - Caliper Multifinger
 - CBL
 - CCL
 - en option en fonction des résultats du CBL: log imagerie ultrasonique de contrôle de cimentation

Phase de forage 4 : 8-¹/₂" en découvert et 9-⁵/₈" en trou tubé

- Sur le découvert :
 - 6-8 arms Caliper
 - Spectral GR
 - Résistivité
 - Température
 - Image Log (Resistivité)
 - En option en fonction des résultats de SIM1 : Dipole Sonic et Density-Neutron-PEF
- en trou tubé :
 - Caliper Multifinger
 - CBL
 - CCL
 - En option en fonction du résultat du CBL : log imagerie ultrasonique de contrôle de cimentation
- PLT (PTS) – tout au long des tests d'injection/production

3.3. CAROTTAGES

Un programme de carottage sera réalisé sur le premier puits d'exploration, SIM1. Cependant, l'acquisition des carottes pourrait être reportée à l'un des puits suivants, en cas de pertes totales sur le premier puits qui pourraient augmenter le risque de blocage de l'outil.

Le programme sera réalisé en phase de forage 4 (8''¹/₂) dans le but d'acquérir de la donnée sur la conductivité thermique, vitesse sonique, densité, analyse pétrographique, porosité et perméabilité.

3.4. LES ESSAIS

3.4.1. OBJECTIFS ET DEROULEMENT DES TESTS

Les objectifs de ces tests de mise en débit de puits sont :

- déterminer la température du réservoir (150°C +/- 25° ou plus) ;
- déterminer si la mise en production du puits permet un débit de 100 l/s (360 m³/h);
- mesurer l'indice de productivité du réservoir (supérieur à 3 l/s/bar).

Les tests de mise en production du puits seront déclenchés à la fin des acquisitions des diagraphies de puits. Le puits sera alors tubé (présence éventuelle d'un slotted liner sur la hauteur du découvert- se référer au programme prévisionnel à la pièce 3).

La présence de l'appareil de forage et de ces auxiliaires permettent d'exécuter certaines opérations telles que :

- la mise en débit du puits par air lift;
- l'injection d'acide dans le réservoir dans le cas d'un développement par acidification;
- la réinjection d'eaux géothermales.

Les fracturations hydrauliques visant à fracturer artificiellement le réservoir par des injections rapides et à haute pression de fluides et d'agents de soutènement (« proppants ») ne seront en aucun cas réalisées.

Le monitoring de la microsismicité sera réalisé pendant les opérations des essais de puits selon la méthodologie décrite dans la pièce 5.

Ces tests sont conçus pour que les fluides produits soient en grande partie réinjectés. Cependant, comme ces tests sont réalisés à la surface et à la pression atmosphérique, une partie des fluides produits le sera potentiellement sous forme gazeuse, que cela soit sous forme de la vapeur ou des gaz non condensables. Cette partie gazeuse sera mise à l'atmosphère. Le fluide soutiré sera stocké momentanément en surface (dans les capacités de stockage disponibles du chantier) avant d'être réinjectés après traitements adéquats si nécessaire.

Pendant toute la durée des essais, la détection des indices gazeux sera contrôlée en continu tel que décrit dans la pièce 5.

En plus des objectifs déjà énoncés, ces tests conduiront à une meilleure connaissance du réservoir et devraient permettre :

- la détermination de sa pression et température initiale et la localisation des zones productrices (« feed zones ») ;
- la détermination des indices de productivité et d'injectivité du puits;
- la détermination des transmissivités du réservoir qu'elles soient locales ou plus globales (test de longue durée) ainsi que son coefficient d'emmagasinement et la présence ou non d'accidents/limites dans un voisinage étendu du puits ;
- une meilleure connaissance du puits, entre autres une évaluation du skin de liaison couche trou et de son effet capacitif.

3.4.2. PROGRAMME DES ESSAIS DE SIM1

Deux types de scénarii sont considérés :

- Pour l'un, les tests de productions¹¹ puis les tests d'injection ;
- Pour l'autre, les tests en injection¹² puis les tests de production.

se poursuivant par une phase de réchauffement du puits puis par des tests de production longue durée et enfin par la réinjection finale des fluides produits.

Ces programmes de test sont basés sur les éléments suivants :

- capacité de stockage en surface de l'ordre de 10 000 m³;
- les fluides rencontrés dans le réservoir ont une température comprise entre 150 et 200 °C pour des pressions allant de 200 à 300 bars.

Les données de durée et de volumes sont fournies à titre indicatif : il est essentiel d'atteindre pour chaque débit par palier une stabilisation en pression et dans le cas de la remontée de pression une pression finale voisine de la pression de départ (aux effets de température près).

- Scenario I : dans le cas où la capacité de stockage libre est à minima de 5 000 m³

La configuration des capacités de stockage disponibles en surface impose de commencer la séquence de test par une phase de production. Le puits est ainsi mis en débit en recourant à la technique d'air lift dans le cas où le puits n'est pas suffisamment éruptif.

Phase 1 :

Cette séquence commence par une mise en débit l'objectif étant de nettoyer le puits et d'arriver à une stabilisation du débit et de la pression. Cela débute par un débit moyen à fort que l'on stabilise. On réalise alors une débitmétrie (log PTS) pour déterminer les différentes zones productrices. On peut ensuite réaliser un second palier de débit et enregistrer un log de production à 2 débits différents.

Suit le test de mise en débit par paliers, 4 à 5 paliers de valeur croissante de débit de préférence et de durée équivalente puis un test de remontée de pression (build-up) d'une durée de l'ordre de 12h quand la pression est remontée à la pression originelle. Durant toute cette phase, des enregistrements de pression et de température sont réalisés en surface et idéalement au fond (au niveau du sabot ou au niveau de la première zone d'alimentation par ex.).

A l'issue de ces tests, le nombre et la disposition des zones productrices seront connus ainsi qu'une évaluation de l'indice de productivité du puits. Les volumes d'eau produits pendant cette phase sont de l'ordre de 4000 à 5000 m³ environ.

Phase 2 :

Cette séquence concerne les tests d'injectivité pour utiliser les pompes de l'appareil de forage et réinjecter les eaux géothermales produites après traitement ad 'hoc.

De la même manière que précédemment, il sera réalisé un ou plusieurs débits en injection jusqu'à obtenir une stabilisation de la pression et du débit. Il sera réalisé de ce fait un début de stimulation thermique du réservoir à proximité du puits. En outre il sera envisager une stimulation chimique par acidification du réservoir.

¹¹ Baujard C. et al. -2017- Hydrothermal characterization of wells GRT-1 and GRT-2 in Rittershoffen France: Implications on the understanding of natural flow systems in the Rhine graben. Geothermics

¹² Menzies T. -2013- Well Testing Program to Determine Well and Reservoir Characteristics - ITB Geothermal Workshop, Bandung, Indonesia.

Le test en injection par palier à proprement parler (1 à 2h par palier) sera ensuite mis en œuvre. Dans ce cadre, il sera envisagé de réaliser plusieurs plateaux à des débits importants dépassant même le débit nominal du puits (100 l/s) tant que la surpression fluide nécessaire restera raisonnable.

Enfin, un test de chute de pression (fall-off) jusqu'à un retour à la pression initiale sera réalisé.

A l'issue de ces tests d'injectivité, l'indice d'injectivité du puits suite au développement thermique (et chimique) du puits sera connu. Les volumes injectés pendant cette phase seront de l'ordre de 4000 à 5000 m³ environ.

Phase 3 :

Cette phase consistera à laisser le puits se réchauffer. La durée de cette dernière est fonction de nombreux paramètres mais reste souvent importante. Afin de suivre le réchauffement du puits, une série de profils Pression/Température à des périodes précises (1 jour, 3 jours, 7 jours, 14 jours, ...) sera réalisée.

A l'issue de cette phase, une évaluation de la température initiale du réservoir sur chacune des zones productrices sera connue.

Phase 4 :

Cette ultime phase consistera à réaliser des tests de production longue durée (a minima de 72h) avec un débit le plus constant possible et ce dans la durée. Si, pour quelque raison que ce soit, le débit devait être interrompu pendant une courte durée, le test pourra se poursuivre. En cas d'interruption longue, le puits serait mis en repos afin de recouvrer sa pression initiale et le test devrait être recommencé dans son intégralité. Au terme de cette période de production, la période de remontée de pression (24h par ex.) sera enregistrée. Pendant ou au terme de ce dernier test, des prélèvements d'eau du réservoir pourront être réalisés.

A l'issue de ce test, des informations concernant la nature du fluide réservoir ainsi que sur les caractéristiques dynamiques de ce dernier et notamment la présence ou non de limite hydraulique en champ éloigné du puits auront été recueillies.

Avant ou après ce test de longue durée, un test de mise en débit par palier pourra être réalisé en ayant pour objectif le débit nominal du puits (100 l/s) afin de déterminer l'indice de productivité du puits après développement et en condition les plus proches de celles de la production (fluide du réservoir à température et pression du réservoir) ;

Enfin il sera procédé à la réinjection finale des eaux géothermales produites (précédemment prélevées).

Si les débits escomptés au cours de la phase précédente ne sont pas atteints, il pourra être envisagé de programmer des tests de production de courte à moyenne durée ultérieurement avec une pompe adéquate au fond du puits.

- Scenario 2 : dans le cas où l'on dispose à minima de 5 000 m³ d'eau à injecter

La configuration des capacités d'eau disponibles en surface permettra de commencer la séquence de test par une phase d'injection. C'est un scénario plus classique pour les puits de haute température (150 °C et plus). Au préalable de la séquence de test, un dégorgement du puits sera mis en œuvre.

Phase 1 :

Cette séquence concernera les tests d'injection. En général, le forage de ce type de puits se termine souvent avec des boues à eau peu ou pas chargées. Cette phase commencera par une injection à débit soutenu avec pour objectif la stabilisation du/des débits et la réalisation d'une débitimétrie. S'ensuivront les tests d'injection par palier et enfin un fall-off (enregistrement de la chute de pression

sans débit). Injecter des fluides froids comparativement au réservoir constituera de fait un début de stimulation thermique du réservoir autour du puits.

A l'issue de cette phase, l'indice d'injectivité du puits et la localisation des zones d'alimentation potentielles du puits seront connus.

Durant cette phase, les opérations de développement du puits peuvent être engagées ou envisagées en début de la phase 3.

Phase 2 :

Cette phase consistera à laisser le puits se réchauffer. La durée de cette dernière sera fonction de nombreux paramètres mais restera souvent importante. Afin de suivre le réchauffement du puits, une série de profil Pression/Température à des périodes précises (1 jour, 3 jours, 7 jours, 14 jours, ...) sera réalisée.

A l'issue de cette phase, une évaluation de la température initiale du réservoir sur chacune des zones productrices sera connue.

Phase 3 :

Cette ultime phase consistera à réaliser des tests de production longue durée (a minima de 72h) avec un débit le plus constant possible et ce dans la durée. Si, pour quelque raison que ce soit, le débit devait être interrompu pour une courte durée, le test pourra se poursuivre. En cas d'interruption longue, le puits sera mis en repos afin de recouvrer sa pression initiale et le test devra être recommencé dans son intégralité. Au terme de cette période de production, la période de remontée de pression (24h par ex.) sera enregistrée. Pendant ou au terme de ce dernier test, des prélèvements d'eau du réservoir pourront être réalisés.

A l'issue de ce test, des informations concernant la nature du fluide réservoir ainsi que sur les caractéristiques dynamiques de ce dernier et notamment la présence ou non de limite hydraulique en champ éloigné du puits auront été recueillies.

Avant ou après ce test de longue durée, un test de mise en débit par palier pourra être réalisé en ayant pour objectif le débit nominal du puits (100 l/s) afin de déterminer l'indice de productivité du puits après développement et en condition les plus proches de celles de la production (fluide du réservoir à température et pression du réservoir) ;

Enfin il sera procédé à la réinjection finale des eaux géothermales produites (précédemment prélevées).

Si les débits escomptés au cours de la phase précédente ne sont pas atteints, il pourra être envisagé de programmer des tests de production de courte à moyenne durée ultérieurement avec une pompe adéquate au fond du puits.

Concernant le volume prévisionnel de stockage nécessaire aux essais de production longue durée, les tests envisagés pour le projet ne consistent pas à une mise en production/injection sur 72h à un débit stabilisé nominal ou légèrement supérieur, mais sont limités à un volume cyclable compris entre 8 et 10 000 m³, calibrés selon la capacité de stockage disponible en surface, et temporairement stockés avant d'être réinjectés dans le même puits. Cela équivaut à un essai de production de l'ordre de 35 l/s pendant 3 jours.

3.4.3. PROGRAMME DES ESSAIS EN PRESENCE DE 2 PUITS ET PLUS

Pour le second puits et les suivants, la même séquence de tests sera réalisée :

- un test par palier en injection et en soutirage
- un test de nappe (longue durée) en soutirage et/ou injection. Durant cette période de tests sur le nouveau puits, il sera réalisé un test d'interférence en utilisant le premier puits dans lequel des capteurs de pression auront été positionnés au fond. Si ce test est concluant, les premières informations concernant la connectivité réservoir des puits du doublet seront disponibles.
- des tests de production/circulation sur des durées plus longues (de l'ordre de plusieurs semaines). Dans ce cas les deux puits seront utilisés, l'un en soutirage et l'autre en injection. Des capteurs de pression seront positionnés au fond de chacun des puits. L'objectifs de ces tests sera entre autres de valider la connectivité des puits du doublet, d'évaluer le maintien en pression lié à la réinjection des fluides géothermaux produits. Il pourra être également réalisé une injection de traceur qui renseignera sur les temps de percée chimique du doublet et ainsi caractériser au mieux le réseau de fractures du réservoir.

3.4.4. ACIDIFICATION ET DEVELOPPEMENT CHIMIQUE

La quantité d'énergie fournie par la géothermie est directement proportionnelle au débit des forages et un nettoyage par acidification permet d'optimiser le fonctionnement de la géothermie.

La Direction Régionale et Interdépartementale d'Environnement et de l'Energie (DRIEE) a publié début 2016 un guide des bonnes pratiques d'un forage pour la géothermie en aquifère profond issu d'un projet porté par l'ADEME et le BRGM.

Extrait du rapport de ce guide des bonnes pratiques (BRGM RP 65443 décembre 2015) : « *Les opérations de développement d'un ouvrage font parties intégrantes du bon déroulement de la réalisation d'un forage : elles vont conditionner le captage optimal de la ressource et l'intégrité de la partie du forage captant le réservoir* ». Le nettoyage du puits (par développement chimique ou acidification) fait partie de ces bonnes pratiques (rapport du BRGM note technique 81) et GEOPULSE se conformera aux bonnes pratiques reprises dans ce guide. Lors du nettoyage des formations, l'action recherchée est la dissolution des dépôts minéralisés dans les fissures de la roche qui freinent l'écoulement de l'eau à proximité du puits. Une solution constituée d'eau dans laquelle on dilue un acide organique biodégradable et/ou inorganique en faible teneur est utilisée.

L'acide est choisi en fonction de la nature des roches à nettoyer. Les réactifs suivants pourront ainsi être utilisés :

- De l'acide chlorhydrique émulsionné : potentiel de réaction sur les carbonates et éventuellement la calcite
- L'acide fluorhydrique : réactivité sur les silices

Les quantités (dosage, volume) seront ajustées de façon à ce que la solution réagisse complètement avec les éléments à dissoudre et sont adaptées au nettoyage à réaliser. La solution sera dosée par étape de façon à réagir complètement avec les éléments à dissoudre.

En fin d'opération, il ne restera pas d'acide résiduel dans le circuit. Par ailleurs, des polyphosphates pourront être utilisés pour mettre en suspension les argiles et les remonter avec le fluide géothermal.

Au cours de ces opérations lors des essais, les effluents sont récupérés dans des bassins de récupération, tamponnés en pH si nécessaire à la chaux, décantés et gérés avec les eaux des essais.

Les produits servant à l'acidification et au développement chimique seront stockés en accord avec les standards de stockage de la compagnie de service mais aussi du RGIE.

4. EN CAS DE SUCCES DE L'EXPLORATION : VALORISATION DU FLUIDE GEOTHERMALE

L'analyse du potentiel de production électrogène à partir de géothermie de la France interprété avec le concept de failles crustales développé par TLS Geothermics révèle un potentiel important. Si la ressource est confirmée au travers des travaux miniers, il est envisagé une utilisation de la géothermie pour la production d'électricité.

4.1. EXPLOITATION DE LA BOUCLE GEOTHERMALE

En cas de succès total (paramètres d'exploitation atteints pour les quatre puits) ou partiel (paramètres d'exploitation atteint pour deux puits), ces puits recevables seront utilisés pour l'exploitation.

4.1.1. FONCTIONNEMENT PREVISIONNEL DE LA BOUCLE GEOTHERMALE

La boucle géothermale sera constituée d'un voire deux doublets (soit 2 voire 4 puits) localisés sur la même plateforme en surface et relativement éloignés au niveau de leur profondeur cible (se référer à la pièce 3 pour les valeurs d'écartement prévisionnels et à l'étude de simulation réservoir pour ce qui est de l'impact en pression et en température).

Pour chaque doublet, un puits sera producteur (puits de soutirage) et le second injecteur.

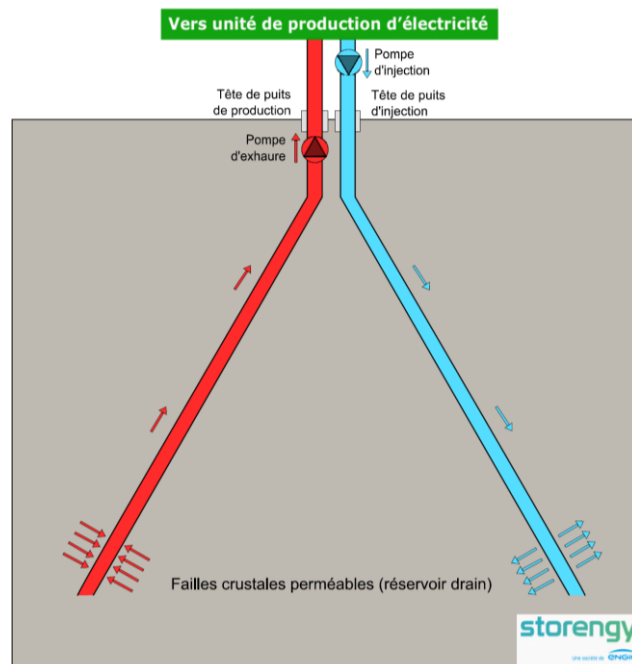


Figure 1: Représentation schématique d'un fonctionnement de la boucle géothermale pour la production d'électricité

Les équipements pour chaque doublet permettant de produire le fluide géothermique et de le faire circuler dans l'unité de production comprendront notamment :

- a. Une pompe d'exhaure : pompe à haute température/haute pression située dans la partie verticale du puits de soutirage (positionnement d'une pompe immergée ou d'une pompe à arbre de transmission possible entre 400 et 700 m).

Cet équipement permettra de produire le fluide géothermique et de le faire circuler dans l'unité de production (voir chapitre suivant). La pompe sera positionnée à l'extrémité de la colonne d'exhaure, dans la partie verticale du puits où le diamètre du cuvelage est le plus élevé ($13''^{3/8}$) : la chambre de pompage.

Les éléments pris en compte pour son dimensionnement sont présentés ci-dessous :

- Pression d'aspiration : entre 10 et 12 bar (pour éviter un dégazage intempestif en amont et dans le corps de pompe) ;
- Profondeur de la pompe/de l'extrémité de l'arbre : entre 400 m et 700 m (fonction de la température des fluides produits, de la productivité des puits, de la pression de

réservoir et des pertes de charge dans le puits, ces dernières se dégradant dans le temps) ;

- Pression de service en surface : 12 bar ;
- Débit nominal : 360 m³/h ;

Ce dimensionnement de la pompe/de la colonne d'exhaure est prévisionnel et sera ajusté en fonction des paramètres de production, une fois les essais réalisés en fin de forage.

b. des pompes d'injection en surface : pompe destinée à renvoyer l'eau géothermale vers l'aquifère d'origine

Les équipements d'injection comprendront les éléments suivants :

- La pompe de réinjection (externe au puits) ;
- Une colonne plongeuse si nécessaire.

Les éléments pris en compte pour son dimensionnement sont présentés ci-dessous :

- Débit nominal : 360 m³/h ;
- Pression d'aspiration : 11 bars.

c. une canalisation reliant le puit producteur au puit injecteur permettant la circulation du fluide géothermal. Afin de garantir l'intégrité de cet ouvrage les matériaux seront adaptés aux pressions, températures et propriétés chimiques du fluide géothermal et aux caractéristiques des terrains superficiels.

La quantité annuelle d'eau produite en exploitation est estimée à 360 m³/h par 24h par 346.75 jours.

Le flux d'énergie dans la boucle surface est estimée à :

- minimum (fluide à 150°C) : 57977 kJ/s
- moyenne (fluide à 175°C) : 66131 kJ/s
- maximum (fluide à 200°C) : 73703 kJ/s

Hypothèses d'exploitation :

Les estimations décrites ci-dessous sont établies à partir d'un débit nominal de 360 m³/h par puits.

A petite échelle, on considère que le système est à l'équilibre hydrostatique, l'équilibrage en pression du système est supposé très efficace.

En terme géothermique, il est attendu la présence et le développement de mouvements convectifs dans les systèmes de failles et fractures qui ont pour conséquence une accélération du transport de chaleur vertical en diminuant globalement le gradient géothermique (gradient thermique faible par opposition à un gradient géothermique moyen).

La température attendue est de l'ordre de 175°C et la pression de l'ordre de 250 bars à 2150 m/mer.

4.1.1.1. LES PERTES DE CHARGE AU NIVEAU DU RESERVOIR

Les puits de production et d'injection seront prévus pour être complétés éventuellement slotted liner de 7" sur la totalité du découvert foré en 8"1/2 (découvert supérieur à 500 m).

Il est fait l'hypothèse, en injection comme en soutirage, que les Indices de Productivité/ Injectivité obtenus seront de l'ordre de 3 l/s/bar. Ne connaissant pas le nombre ni l'étendue des zones productrices de chacun des puits, il est fait l'hypothèse qu'il n'y aura pas de turbulence à proximité

immédiate du trou (pas de pertes de charge quadratiques dans le réservoir). En revanche, il est fait l'hypothèse que l'exploitation induira dans le temps des modifications dans le champ proche du puits qui se traduiront par une altération de la liaison couche-trou (« effet de skin »). Une intensité de 2 est choisie pour fixer les idées. Tout ceci se traduit par des courbes de pertes de charge réservoir de la figure suivante.

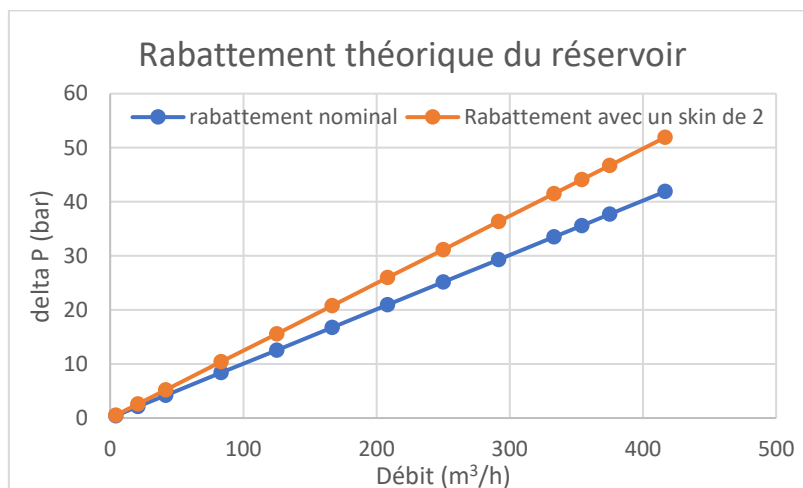


Figure 2 : Pertes de charge théoriques attendues au droit des zones productrices. La courbe bleue correspond à un différentiel de pression nominal, la courbe rouge correspond à un rabattement avec une altération de la liaison couche-trou (Skin =2).

4.1.1.2. LA COURBE CARACTERISTIQUE DE PRODUCTION

Ces éléments sont à ce stade hypothétiques compte-tenu du caractère exploratoire du projet.

Pour rappel, l'objectif des puits est de rencontrer un grand nombre de zones productrices (« feed zones ») à des températures et des productivités adéquates.

Pour assurer une production pérenne, une pompe de fond sera localisée dans la section verticale du puits, jusqu'à 700 m de profondeur (en diamètre 13''³/₈).

Durant l'exploitation, la pression sera maintenue à environ 12 bars (valeur à affiner en fonction de la chimie des fluides et des conditions de température) à l'aspiration de la pompe. Cette valeur permettra de s'affranchir des problématiques de dégazage et de désennoiment et de lui assurer un fonctionnement optimal et pérenne.

Dans le cas d'un puits type (trajectoire verticale en 13''³/₈, une partie dévié en 9''⁵/₈ jusqu' à 2000 mTVD ayant une inclinaison allant jusqu'à 35° et enfin une partie réservoir complétée éventuellement avec un slotted liner jusqu'à une profondeur de 4000 m MD), 3 feed zones différentes sont considérées, à des profondeurs, températures et pressions respectives de 2360 mTVD, 150 °C et 230 bar pour la première (FD1), de 2490 mTVD, 168 °C et 250 bar pour la seconde (FD2) et de 3240 mTVD, 185°C et 310 bar pour la troisième (FD3).

La figure suivante illustre les pertes de charges obtenues à 700 m de profondeur (base de la chambre de pompage) en fonction des zones de production modélisées (FD1, FD2 et FD3 la plus profonde).

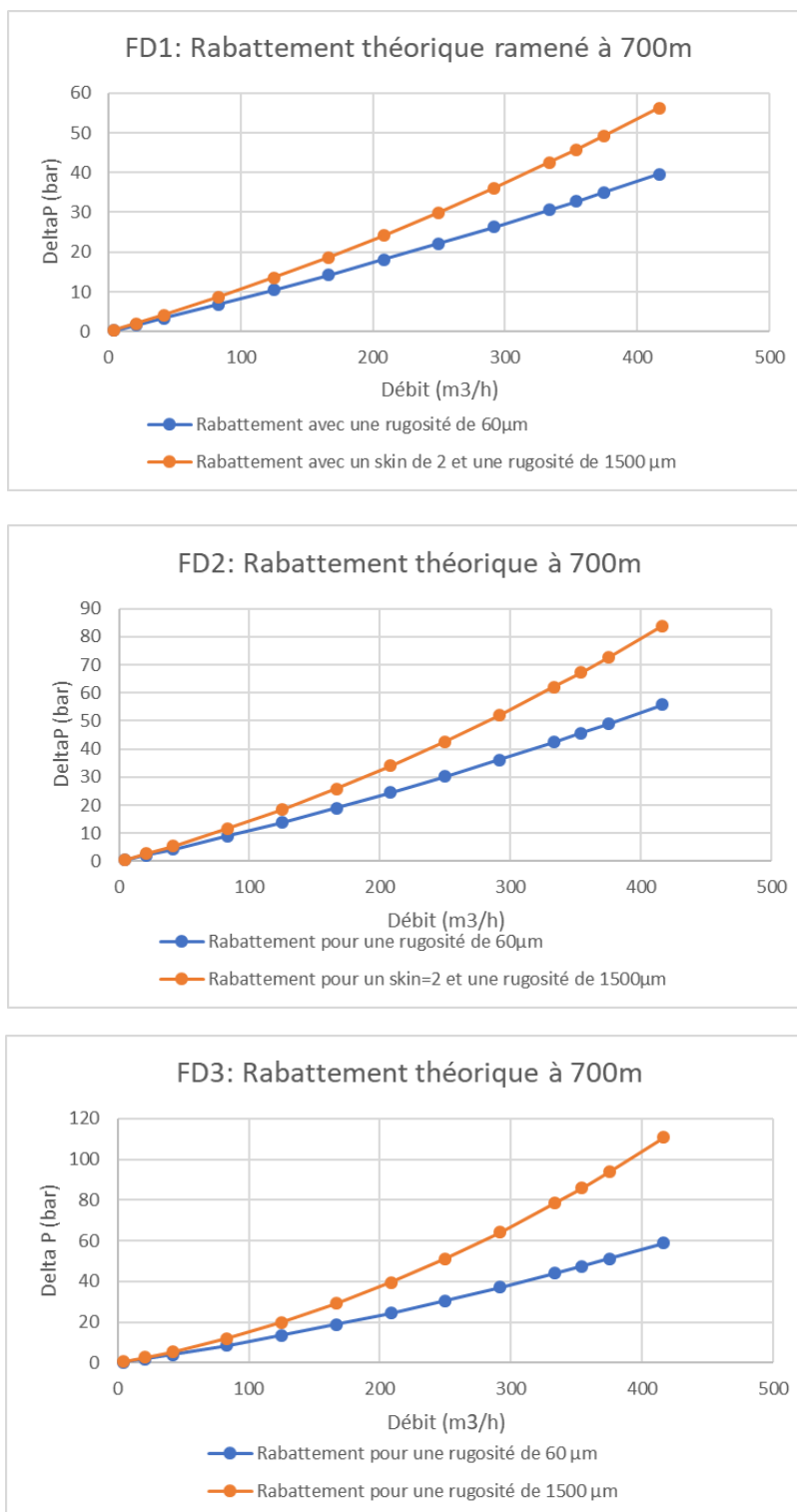


Figure 3 : Rabattement théorique à 700 m pour une feed zone à 2350 mTVD (FD1) en haut, à 2500 mTVD (FD2) au centre, à 3200 mTVD (FD3) en bas.

Dans cette modélisation, il est tenu compte, en plus des pertes de charges réservoir déjà présentées, des frottements des fluides dans les casings liés à leur rugosité moyenne. Il est fait l'hypothèse d'une rugosité initiale de l'ordre de 60 µm et comme précédemment une dégradation durant l'exploitation ici fixée à 1500 µm.

4.1.1.3. LA COURBE CARACTERISTIQUE DE REINJECTION

Ces éléments sont à ce stade hypothétiques compte-tenu du caractère exploratoire du projet.

De la même façon que précédemment, il est fait l'hypothèse sur les différents puits injecteurs d'un indice d'injectivité de l'ordre 3 l/s/bar.

Dans le cadre de ce modèle conceptuel, les puits sont susceptibles de rencontrer plusieurs feed zones. La figure suivante illustre les pertes de charge théoriques pour un Indice d'Injectivité de 3 l/s/bar sans et avec un skin de 2 (pour les pertes de charge intrinsèques du réservoir) et des pertes de charges par frottement dans le casing de la surface jusqu'à la feed zone la plus profonde (maximise les pertes de charge). Il n'est pas tenu compte des pertes de charge quadratiques dans le réservoir. L'augmentation de la rugosité des casings est supposée tenir compte des phénomènes d'entartrage éventuels (la rugosité initiale évolue de 60 à 1500 μm).

Il est fait l'hypothèse également que le fluide injecté a une température de 50 °C (approche conservatrice pour cette problématique), les conditions fond sont de 263 bars pour 175 °C dans le cas d'espèce (feed zone profonde).

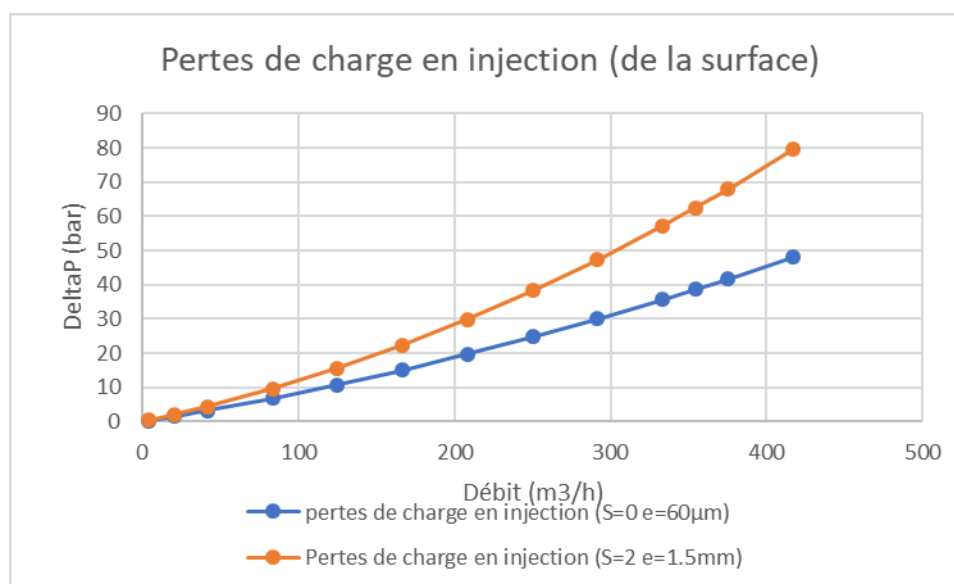


Figure 4: Pertes de charge théoriques à l'injection au droit du réservoir (feed zone à 2750 mTVD)

Ces courbes théoriques ne tiennent pas compte des pertes de charge gravitaires dont l'intensité est liée au champ de pression et de température initial et en dynamique ainsi que des propriétés des puits et de leur encaissant.

4.1.2. CONTROLE, SURVEILLANCE ET MAINTENANCE DE LA BOUCLE GEOTHERMALE

L'exploitant réalisera un suivi de la boucle géothermale lui permettant de :

- piloter l'installation ;
- assurer la maintenance préventive.

Le suivi d'exploitation de la boucle géothermale comprendra :

- Le contrôle du fonctionnement du ou des doublet(s) par la réalisation de : mesures périodiques de débit, température, pression qui permettent de piloter l'installation ;

analyses de qualité des eaux à un rythme imposé par arrêté préfectoral en fonction de la nature des paramètres ;

- Le contrôle des équipements de production de la boucle sera réalisé et fera l'objet d'un rapport d'intervention qui comprendra :
 - Un bilan sur les consommations électriques, les puissances et rendements des pompes ;
 - Un contrôle de l'état des dispositifs de sécurité de mesure et des vannes : des débitmètres, manomètres, thermomètres, le contrôle des vannes des clapets des régulations et des sécurités électriques ;
 - Un bilan de l'injectivité et de la productivité des puits (rabattement, pression, niveau dynamique et débit associé) ; cette surveillance permet de s'assurer du bon fonctionnement des équipements de la boucle et sera effectuée tous les 4 ans ;
 - Un bilan de l'état de la remontée de la pompe d'exhaure.
 - Un bilan thermique des échangeurs entre la boucle géothermale et la boucle secondaire ;

Les interventions, les contrôles, la vérification des appareils de mesures, les incidents particuliers de la boucle géothermale seront reportés dans une main courante disponible à tout moment sur ou à proximité du site de production. Ces données seront consignées dans un classeur et transmises annuellement à la DREAL sous forme de moyennes mensuelles.

Par ailleurs, l'exploitant appliquera le plan de maintenance sous-sol supervisé par STORENGY qui fera appel à des entreprises de sous-traitance compétentes pour la réalisation des mesures (diagraphies, analyses d'eau spécifiques).

La boucle géothermale fera l'objet d'une surveillance et d'un plan de maintenance spécifiques sur les éléments suivants :

- Le puits de production ;
- Le puits d'injection ;
- Les pompes ;
- Les canalisations entre les puits.

La surveillance qui s'appliquera à la boucle géothermale permettra de :

- Optimiser la disponibilité et la productivité par une maintenance préventive ;
- Garantir le respect des contraintes relatives à l'environnement.

La surveillance et le plan de maintenance des puits seront prescrits par arrêté préfectoral qui sera délivré en fin de forage, suite à l'instruction du dossier du titre d'exploitation (concession).

Les mesures réglementaires et d'exploitation réalisées au cours de l'exploitation permettront de :

- Vérifier la production du réservoir, le débit, la température et autres paramètres physiques (pompes, ...) qui sont les témoins de la performance du doublet de géothermie. Ce suivi sera synthétisé dans un document annuel ;
- Vérifier l'intégrité des puits en réalisant des diagraphies (de type diamètreur) de contrôle dans les puits et feront l'objet d'un rapport spécifique mis à la disposition de la DREAL.
- Vérifier la qualité de l'eau produite et sa composition à des fréquences mensuelles (pour les paramètres pH, Eh, Fer, conductivité) voire à des fréquences annuelles pour d'autres paramètres (paramètres de la balance ionique). Ces résultats seront reportés dans un bilan annuel mis à la disposition de la DREAL ;

- Vérifier l'état de corrosion par la réalisation de mesures de suivi de la corrosion (coupons).

Un bilan de l'eau qui transitera de la sortie de la canalisation jusqu'à l'entrée du puits d'injection sera réalisé.

Concernant les autres éléments qui rentrent en ligne de compte pour le fonctionnement de la boucle géothermale :

- Des filtres (de type cyclonique ou équivalent) seront installés entre le puits producteur et l'échangeur. Selon le niveau d'encrassement, ces filtres devront être nettoyés tous les 2 à 3 jours.
- Les échangeurs géothermiques seront nettoyés une fois par an lors de l'arrêt technique ;
- Les niveaux d'huile des pompes seront vérifiés régulièrement et l'ensemble des garnitures sera remplacé en fonction de leur usure.

Aussi, la maintenance préventive des pompes sera mise en œuvre au cours de l'exploitation.

4.2. UNITE DE PRODUCTION D'ELECTRICITE

Si la ressource est confirmée, il est projeté d'exploiter cette ressource géothermale pour la production d'électricité.

Les éléments qui suivent sont présentés à titre informatif et ne relèvent pas de la demande d'ouverture de travaux miniers (objet du présent dossier) mais d'une procédure type code de l'environnement.

Le dimensionnement et la sélection finale des équipements de production d'électricité pour le premier doublet seront enclenchées selon l'issue des résultats du premier forage SIM1.

Le dimensionnement et la sélection finale des équipements de production d'électricité pour le second doublet seront enclenchées selon l'issue des résultats du premier forage SIM3.

4.2.1. TERRAIN D'IMPLANTATION PROJETE

Les futurs équipements de production d'électricité en cas de succès seront implantés *in situ*, en contrebas de la zone des travaux miniers et de la plateforme, sur la parcelle n°104 section ZD au lieu-dit *Le Champ*. Les deux options d'implantation provisoire des équipements de production électrique en cas d'exploitation d'un ou deux doublets sont présentées dans la Figure 5 et la Figure 6.

Les équipements seront doublés dans le cas de la construction de deux unités de production. En revanche, le bâtiment dédié au bureau, n'évoluera pas en termes d'emprise entre les deux cas de figure. Le volume de rétention du bassin d'orage pourra être adapté en fonction de la surface imperméabilisée réelle.

L'implantation derrière la rangée d'arbre existant en milieu de parcelle permettra d'isoler visuellement en partie l'installation. Compte-tenu du contexte paysager remarquable, une insertion architecturale et paysagère sera étudiée.

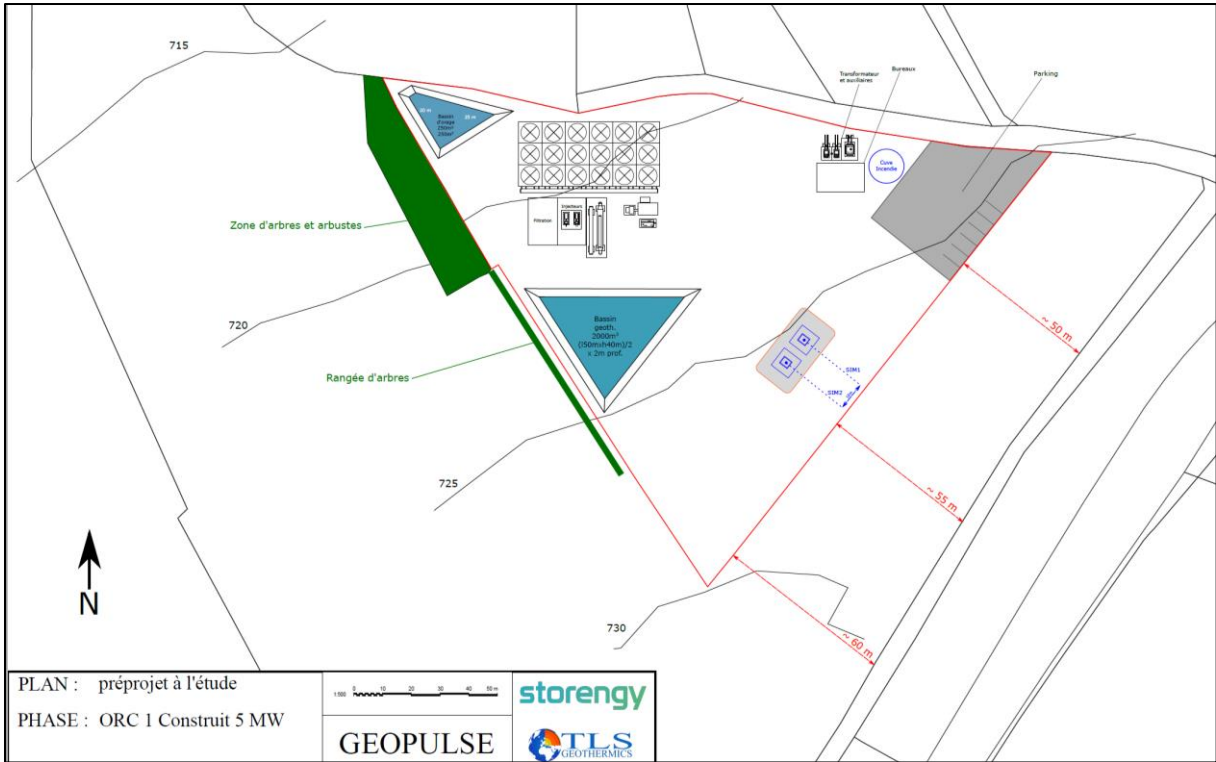


Figure 5 : Implantation prévisionnelle des équipements de production électrique en cas de succès de l'exploration pour un doublet (projet)

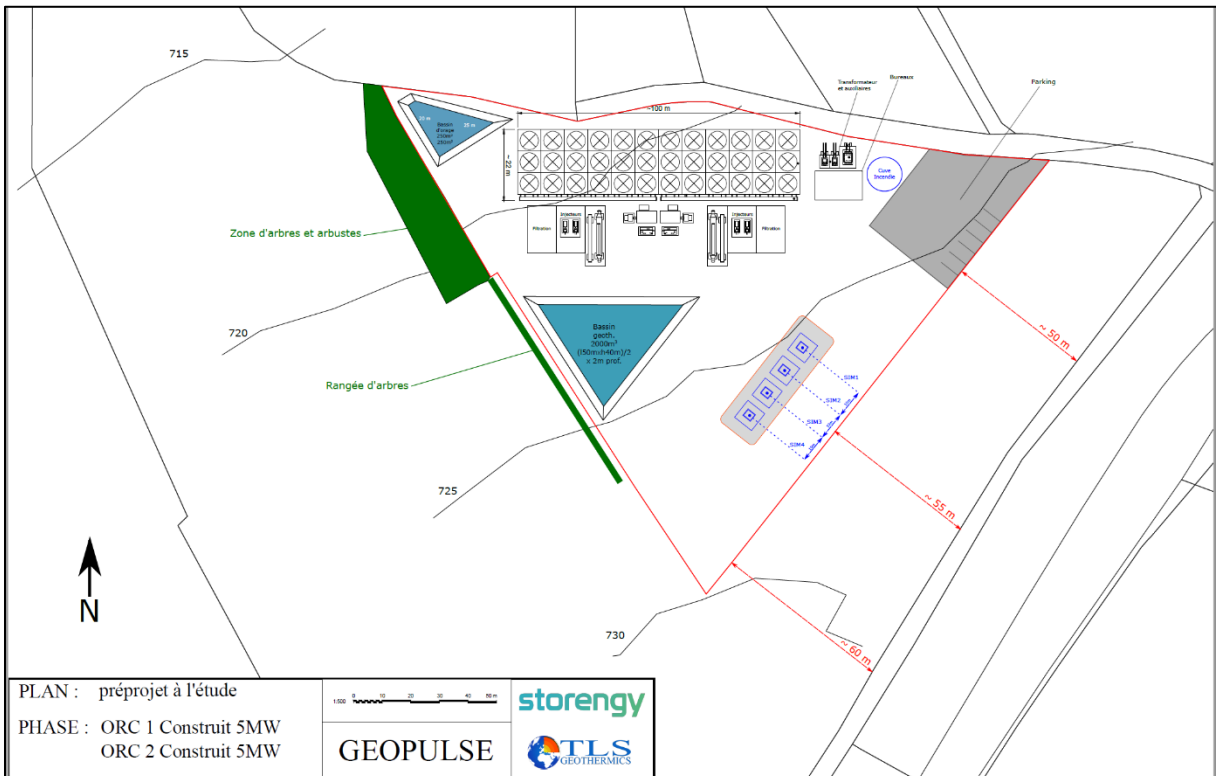


Figure 6 : Implantation prévisionnelle des équipements de production électrique en cas de succès de l'exploration pour deux doublets (projet)

4.2.2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT ET DESCRIPTION DES EQUIPEMENTS

Plusieurs systèmes de centrale électrique géothermique existent, mais dans le cadre du développement des projets de centrale en France, ce sont plutôt des centrales à cycle organique de Rankine « ORC » (également dénommée centrale à cycle binaire) qui ont tendance à se développer en raison des températures et natures de fluides géothermiques qui seront rencontrés entre 3000 et 6000 mètres de profondeur.

La puissance de production électrique d'une centrale à cycle "ORC" pour les paramètres visés dans cette campagne exploratoire est de l'ordre de 4 à 5 MW (30 à 45 MW thermiques) pour un doublet de forage géothermique.

Une centrale "ORC" utilise un fluide organique dont le point d'ébullition est inférieur à celui de l'eau. Le fluide organique évolue en cycle fermé : il est cyclé par une pompe. Le fluide géothermique est utilisé pour chauffer le fluide organique du cycle binaire dans un/des échangeur/s avant d'être acheminé vers la pompe de réinjection. Le fluide organique est pompé jusqu'à la pression de service nominale de l'échangeur où il est chauffé par le fluide géothermique puis il est détendu dans la turbine, créant ainsi un travail mécanique à partir de la chaleur. Enfin, le fluide organique est refroidi et condensé avant de repartir vers l'échangeur.

Le schéma de principe de ce fonctionnement tel que décrit précédemment est présenté ci-dessous.

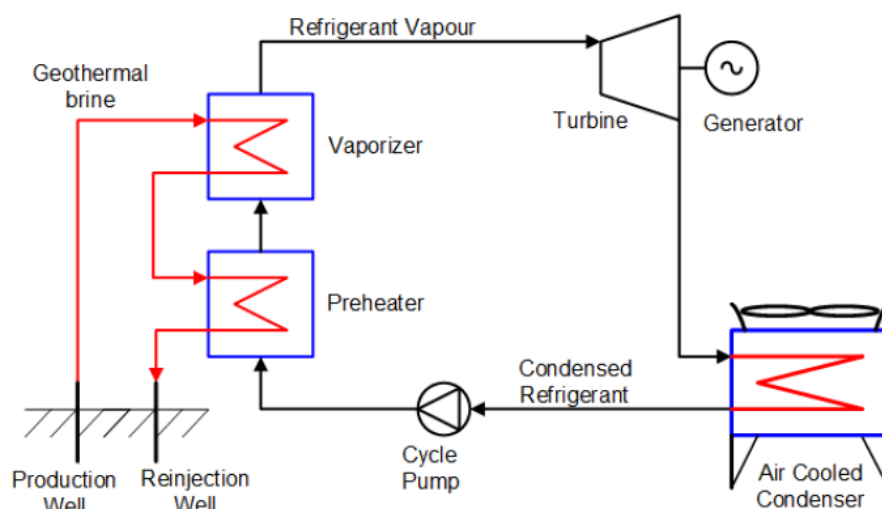


Schéma 3 : Schéma de principe du fonctionnement d'une centrale ORC

Les composantes d'une centrale binaire et son fonctionnement tel qu'envisagé à ce stade du projet sont décrits ci-après :

- La pompe de soutirage : la taille et la position de la pompe influencera grandement sur la puissance de la centrale. Le but de la pompe sera de faire remonter le fluide à la surface et de le maintenir à la pression désirée afin de limiter les précipitations et dégazages éventuels. La pompe sera sélectionnée selon les spécifications établies après le forage des puits. La technologie n'est pas décidée à ce stade. L'emploi des pompes de surface (LSP) dont le moteur est en surface et l'arbre de transmission descend dans le puits est à l'étude.
- Le système d'alimentation en saumure : le système d'approvisionnement en saumure sera constitué de tuyaux isolés en acier au carbone qui relieront le puits de production aux échangeurs de chaleur, puis de nouveau au puits de réinjection. La tuyauterie en

acier au carbone sera isolée avec de la laine de roche et recouverte d'aluminium (protection thermique et mécanique).

- Le système d'alimentation en inhibiteurs : il sera nécessaire pour éviter un entartrage important dans le puits. Les inhibiteurs chimiques sont généralement des acides. Le système se composera de réservoirs d'alimentation d'inhibiteurs et de pompes.
- Le réservoir d'injection de gaz : les gaz dissous du séparateur de gaz et de particules seront injectés dans le fluide refroidi. Ainsi, les gaz seront réinjectés avec le fluide, ce qui évitera qu'ils ne s'échappent du cycle avec les émissions qui en découlent.
- Les unités de filtration : elles seront utilisées pour filtrer les minéraux précipités avant leur réinjection. Le nettoyage de ces filtres respectera les réglementations NORM (matières radioactives naturelles) et conformément à la réglementation, les déchets seront évacués vers un centre de traitement spécifique, adapté aux déchets pouvant présenter un risque pour la santé en termes de radioprotection. Pour plus de précisions, se référer à la pièce 5 du présent dossier.
- La pompe de réinjection : si nécessaire, une pompe de réinjection sera utilisée pour acheminer le fluide géothermal dans le puits de réinjection. La pompe ne sera nécessaire que si le niveau de pression du cycle du fluide géothermal dans le réservoir de réinjection est insuffisant.
- Les échangeurs de chaleur : de type tubulaire, ils transporteront la chaleur de la boucle fluide géothermique. Le matériau choisi devra résister à la pression, à la température et à la corrosion potentielle du fluide géothermal. Les échangeurs de chaleur devront également être conçus de manière à être facilement accessibles pour le nettoyage et l'entretien. En cas d'entartrage des échangeurs de chaleur, le nettoyage par inhibiteurs, mécanique et/ou l'injection de produits chimiques sera envisagé.
- La turbine : il peut s'agir d'un détendeur à spirales, de turbine radiale ou d'un détendeur à vis.
- Le condenseur de refroidissement sec : il peut s'agir d'un système de refroidissement sec refroidi par air ou d'une tour de refroidissement humide.
- Le système électrique et de commande :
 - Générateur : de type synchrone à courant alternatif, avec excitation sans balais et régulateur automatique de tension sera conçu pour être installé dans un local. Les caractéristiques de capacité des génératrices seront conformes avec les recommandations nationales. Un régulateur automatique de tension sera équipé de fonctions permettant de contrôler l'exportation/importation de la puissance réactive, c'est-à-dire le facteur de puissance dans les limites que l'opérateur fixe à tout moment. Les relais de protection et le dispositif de synchronisation du générateur seront conformes aux recommandations nationales. Les courants de défaut estimés d'un générateur au niveau 11 kV sont conformes à la méthode IEC60909 :
 - Les transformateurs : de type ONAN, ils seront implantés dans un local annexe, près du bâtiment de contrôle.

- L'appareillage moyenne tension : à gaine métallique et à isolation pneumatique il se composera de quatre disjoncteurs 11 kV du type débrochable sur chariot et d'une armoire avec disjoncteur de terre et mesure de tension de barre omnibus.
- L'appareillage basse tension
- Le système de contrôle commande : il s'agit d'un système basé sur PLC. Les principales fonctions du système de contrôle permettent le contrôle et la surveillance de toutes les parties de la centrale électrique, la séquence de démarrage automatique de l'ORC à la suite d'un démarrage de la turbine et d'une synchronisation avec le réseau, le contrôle et régulation de la CCO et de la saumure dans les installations, les tendances et rapports et la base de données historiques.
- Les tuyauteries de surface permettant de relier les composantes entre-elles.

Il faut souligner que l'un des avantages d'une centrale ORC est son faible impact sur l'environnement : il s'agit d'un cycle fermé à la fois pour le fluide organique (ou fluide de travail) et pour le fluide géothermique (réinjecté dans le milieu d'origine). Proche d'aucune émission de gaz à effet de serre ou d'autres gaz dangereux, ce type de centrale permet également d'éviter une consommation importante d'eau (le refroidissement se fait à l'air). Les principaux impacts potentiels de ce type d'installation sont l'impact visuel et les émissions sonores. Ceux-ci peuvent être évités grâce à la conception architecturale de l'installation et à l'isolation acoustique des principaux composants.

4.2.3. DELAIS DE REALISATION

Le calendrier estimatif de réalisation de la centrale comprenant les études de conception, les délais relatifs aux procédures administratives, le génie civil, la construction et la mise en service d'une centrale est présenté dans le tableau suivant.

Année	1				2				3				4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Etudes de conception																
Elaboration du dossier de demande administrative (dont mise à jour de l'étude d'impact)																
Instruction de la demande																
Préparation du site (GC)																
Installations des équipements de mécaniques																
Installations des équipements électriques																
Tests																
Mise en service																

Tableau 3 : Calendrier estimatif de réalisation d'une centrale à cycle "ORC"

4.3. LE RACCORDEMENT AU POSTE ELECTRIQUE EXISTANT

Le raccordement de la centrale au réseau se fera via le poste de Saint-Pierre-Roche », situé au lieu-dit *Massagettes*. Il s'agit d'un poste en 63kV et RTE prévoit de l'agrandir par la création d'un 225kV/20kV.

Le tracé du raccordement au réseau ne peut être connu qu'à l'issue de l'obtention de l'ensemble des autorisations administratives du projet selon les procédures de raccordement du gestionnaire du réseau : les modalités de travaux de raccordement et le tracé devront être ainsi confirmés par Enedis. Toutefois, il peut être anticipé l'ouverture d'une tranchée nécessaire pour l'installation du câble souterrain. Les routes et chemins seront utilisés en priorité. Ci-après, une carte illustre le tracé potentiel de ce raccordement par le biais des chemins et routes existantes.

Avec les connaissances actuelles des incidences les plus probables d'un tracé de raccordement, les impacts éventuels de ces travaux sont temporaires et liés aux terrassements et fouilles le long des chemins et voies existantes : les engins de travaux publics et d'aménagement des terrains seront des sources d'émissions de polluants atmosphériques provenant de la combustion des moteurs. Ces engins seront également source de soulèvement de poussières et de nuisances sonores. Les travaux pourront également perturber momentanément le trafic.



Figure 7 : Tracé potentiel du raccordement de la future centrale au poste de Saint-Pierre-Roche par le biais des chemins et routes à confirmer par les futures études ENEDIS (photo aérienne - source Géoportail).

4.4. LES SUBSTANCES CONNEXES A LA PRODUCTION GEOTHERMALE

La saumure géothermale produite par le forage peut présenter des substances connexes notamment des teneurs en lithium valorisables¹³. En effet, le lithium est un métal que l'on trouve en concentration importante dans les roches de la ceinture granitique Varisque.

Un permis exclusif de recherche mines de substances connexes est déposé auprès de l'administration début 2020.

Le lithium (Li) est le métal alcalin le plus léger. Il est le troisième élément chimique du tableau périodique des éléments. Le lithium est utilisé dans l'industrie pour produire divers produits tels que du verre, de la céramique, des lubrifiants, du caoutchouc et des thermoplastiques. Il est aussi utilisé dans les secteurs du traitement de l'air, de la métallurgie, de la chimie fine et de la pharmacie. C'est par son utilisation dans les batteries Li-ion et les dispositifs de stockage d'énergie que le lithium est devenu un métal stratégique de la transition énergétique.

La majeure partie du lithium mondial est produit en Amérique du Sud, où il est extrait de la saumure concentrée par évaporation solaire et en Chine et en Australie où il est extrait sous forme solide (spodumène). Ce sont les deux types de gisements les plus exploités. L'Europe est très peu représentée dans la production mondiale du lithium (7% de la production, <1% des réserves mondiales). Le lithium n'est pas un métal rare mais difficile à extraire car les ressources sont généralement diffuses. Du lithium peut être contenu dans les saumures géothermales, ce sont des ressources dites non-conventionnelles et des procédés d'extraction émergent depuis quelques années. La valorisation des eaux extraites du sous-sol est un enjeu important pour l'Europe et s'inscrit parfaitement dans la politique de transition énergétique.

Dans le Massif Central, il n'existe pas de puits suffisamment profond pour affirmer qu'il y'a bien un potentiel mais des sources minéralisées ont été identifiées comme riche en lithium en Bordure de Limagne : c'est le cas des eaux de Croix en Neyrat, de Croizat, de Camuse et de Coren avec de teneurs atteignant 81 mg/l (Pauwel et al 1981) ce qui est important car ces eaux sont très probablement diluées par mélange avec des eaux de surface.

Le gisement des échassières exploité par Imerys Ceramics France situé à une 20 km au nord de La Sioule, exploite le lithium et le Béryllium sous forme minérale. C'est un gisement de kaolin qui est une altération argileuse hydrothermale des granites Varisques. Le kaolin s'étend sur des granites composés de 2 unités :

- Le granite des Colettes, un granite alcalin porphyroïde à muscovite (mica blanc), composé de quartz, microcline (feldspath potassique), plagioclase (albite, oligoclase), muscovite, biotite (mica noir), zircon et apatite;
- L'albitite de Beauvoir (un granite à albite-lépidolite), à quartz, albite (plagioclase sodique), microcline (feldspath potassique), lépidolite (mica lithinifère), topaze, béryl et nombreux autres minéraux accessoires.

Les minéralisations en cassitérite et lépidolite (mica lithinifère), de même que les teneurs en bore et fluor, sont indépendantes de la kaolinisation.

On note également d'autres minéralisation d'intérêt dans le Massif Central, comme le tungstène (W) des gisements Vaulry, Leucamp et Engualès (Harlaux et al., 2018) et minéralisations polymétalliques

¹³ Pauwels H. Lambert M. Genter A. – 1991 – Valorisation des fluides contenant du lithium rapport BRGM R33547

telles que les veines W-Au-As et As-Sb-(Au) des veines Briou de Massiac, Pb-Ag et As-Sn de Pontgibaud et les veines As-Pb-Sb-Au de Labessette (Marignac et Cuney, 1999; Bril et al., 1991).

Ces eaux concentrées et ces gites minéraux de lithium sont liés à l'altération hydrothermale du granite, ce sont de bons indices du haut potentiel qu'on pourrait trouver au droit des futurs forages. Les premières analyses géochimiques permettront de diagnostiquer si des valorisations du fluide notamment celles du lithium et du béryllium sont possibles et d'évaluer les méthodes d'extraction les plus propices à leur valorisation.

5. EN CAS D'ÉCHEC DE L'EXPLORATION

En cas d'échec de l'exploration, les puits seront fermés et le terrain sera remis à l'état initial conformément à ce qui est décrit en pièce 3 du présent dossier. Les travaux relatifs à la fermeture de puits sont décrits en pièce 6 du présent dossier.