



PROJET GEOPULSE

SAINT-PIERRE-ROCHE (63)

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

PIECE 3- MEMOIRE EXPOSANT LES CARACTERISTIQUES PRINCIPALES

DES TRAVAUX PREVUS

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

SOMMAIRE

1.	CONTEXTE DES TRAVAUX MINIERES	6
1.1.	LE CONCEPT GEOTHERMIQUE RECHERCHE.....	6
1.2.	ETUDES REALISEES DEPUIS L'OCTROI DU PER LA SIOULE ET IDENTIFICATION DE LA ZONE CIBLE.....	8
1.3.	RELATIONS ET INFORMATIONS DES PARTIES PRENANTES	9
2.	LES TRAVAUX MINIERES A ENTREPRENDRE DANS LE CADRE DE L'EXPLORATION	10
3.	LOCALISATION EN SURFACE DES TRAVAUX MINIERES	12
3.1.	LOCALISATION DES FUTURS PUIITS.....	12
3.2.	SITUATION DES ABORDS	13
3.3.	SITUATION AU TITRE DE L'URBANISME	14
3.4.	COORDONNEES PREVISIONNELLES DES PUIITS EN SURFACE.....	15
4.	CONFIGURATION EN SURFACE PENDANT LE CHANTIER DES TRAVAUX MINIERES	15
4.1.	ORGANISATION DE LA PLATEFORME.....	15
4.2.	AMENAGEMENTS COMPLEMENTAIRES	18
4.3.	TOPOGRAPHIE ET TERRASSEMENT	19
4.4.	ACCES	19
4.5.	APPROVISIONNEMENT EN EAU.....	20
4.6.	APPROVISIONNEMENT EN ENERGIE	22
5.	LES ETAPES DU CHANTIER DE TRAVAUX MINIERES	22
5.1.	ETAPE N°1 : TRAVAUX PREPARATOIRES DE GENIE CIVIL.....	22
5.2.	ETAPE N°2 : LES FORAGES.....	23
5.3.	ETAPE N°3 : LES TRAVAUX DE GENIE CIVIL DE FIN DE CHANTIER.....	24
6.	MOYENS MIS EN ŒUVRE	25
6.1.	DURANT L'ETAPE N°1 : TRAVAUX PREPARATOIRES DE GENIE CIVIL	25
6.2.	DURANT L'ETAPE N°2 : FORAGES	25
6.2.1.	METHODE DE FORATION.....	26
6.2.2.	LE CYCLE DE LA BOUE ET COMPOSITION	28
6.2.3.	LA GESTION DES DEBLAIS DE FORAGE	29
6.2.4.	LA GESTION DES EAUX DE RUISSELLEMENT	29
6.2.5.	EQUIPEMENTS DES PUIITS.....	31
6.3.	DURANT L'ETAPE N°3 : TRAVAUX DE GENIE CIVIL DE FIN DE CHANTIER	33
7.	ORGANISATION DU TRAVAIL POUR CES TRAVAUX	33
7.1.	DURANT L'ETAPE N°1 ET N°3 : TRAVAUX DE GENIE CIVIL	33
7.2.	DURANT L'ETAPE N°2 : FORAGES	33
8.	IMPLANTATION SOUS-SOL DES TRAVAUX MINIERES	34
8.1.	PRONOSTIC DE LITHOLOGIE RENCONTREE	34
8.2.	TRAJECTOIRES, PROFONDEURS ET VOLUMES CIBLES DES FORAGES	40
9.	MODELISATION ET SIMULATION DU RESERVOIR	44
9.1.	MODELE CONCEPTUEL	45
9.2.	GEOMETRIE ET MAILLAGE DU MODELE	46
9.3.	HYPOTHESES DE FONCTIONNEMENT DU/DES DOUBLET(S)	47
9.4.	PARAMETRES ET HYPOTHESES DE MODELISATION DYNAMIQUE	48
9.4.1.	PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES ET THERMIQUES	48
9.4.2.	REPRESENTATION DOUBLE MILIEU	49
9.4.3.	REPRESENTATION EN MILIEU EQUIVALENT	51

9.4.4. ETAT NATUREL.....	51
9.4.5. CONDITIONS AUX LIMITES DU MODELE.....	51
9.5. RESULTATS DES SIMULATIONS NUMERIQUES ET CONCLUSION.....	52
9.5.1. LE CAS DU DOUBLET SEUL.....	52
9.5.2. LE CAS DEUX DOUBLETS.....	55
9.5.3. INCIDENCES DES ESSAIS DE PRODUCTION ENVISAGES SUR LE RESERVOIR.....	57
10. PROGRAMMES ET ARCHITECTURES PREVISIONNELLES DES FORAGES.....	57
10.1. LE PREMIER FORAGE SIM1.....	58
10.2. LE SECOND FORAGE SIM2.....	63
10.3. LE TROISIEME FORAGE SIM3.....	68
10.4. LE QUATRIEME FORAGE SIM4.....	73
11. CONFIGURATION A L'ISSUE DES TRAVAUX MINIERES.....	78

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : (a) Extraits de la figure de présentation du système géothermique attendu sur le réseau de faille de Pontgibaud tirée de TLS Geothermics (2015). (b) Modèle synthétique du concept géothermique mis à jour au regard des dernières connaissances (2018)	7
Figure 2 : Probabilité de présence de failles (en haut) et imagerie MT haute résolution (en bas).....	7
Figure 3 : Représentation 3D de l'implantation d'un doublet, perméabilité.....	8
Figure 4: Représentation schématique d'un fonctionnement d'un doublet de géothermie pour la production d'électricité.	11
Figure 5 : Localisation de Saint-Pierre-Roche dans le Puy-de-Dôme.....	12
Figure 6 : Localisation des forages au droit de la parcelle n°104 section ZD à Saint-Pierre-Roche.....	13
Figure 7 : Les abords de la parcelle n°104 section ZD -en rouge- à Saint-Pierre-Roche (photo aérienne et plan cadastral)	14
Figure 8 : Photo d'une implantation type sur pour un forage de STORENGY en opération de nuit.....	17
Figure 9 : Plan d'implantation d'un RIG de type BENTEC 350	18
Figure 10 : Projet d'implantation prévisionnel des aménagements et de la plateforme	19
Figure 11 : Accès direct du chemin à la départementale RD986.....	20
Figure 12 : Accès existant à la parcelle.....	20
Figure 13 : Réseau AEP existant	21
Figure 14 : Surface remise en état en cas d'exploitation.....	24
Figure 15 : Photo d'une machine utilisée pour le forage de l'avant trou sur le projet d'Arcueil de type Rig 40 de Itag	25
Figure 16 : Sonde de forage rotary.....	27
Figure 17 : Choix des pressions de service des têtes de puits	31
Figure 18 : Exemple de tête de puits pour une exploitation en géothermie haute température	32
Figure 19 : Pronostic lithologique du puits SIM1 et zones de failles intersectées	35
Figure 20 : Pronostic lithologique du puits SIM2 et zones de failles intersectées.....	35
Figure 21 : Pronostic lithologique du puits SIM3 et zones de failles intersectées	36
Figure 22 : Pronostic lithologique du puits SIM4 et zones de failles intersectées.....	36
Figure 23 : Réseau de faille cartographié sur la zone du projet Sioule-Miouze	37
Figure 24 : Réseau de failles à 2000m (nm).....	38
Figure 25 : Trajectoires prévisionnelles des forages de la surface aux cibles en l'état des connaissances actuelles.	41
Figure 26 : Vue aérienne des volumes cibles autour des 4 puits actuellement prévus.....	42
Figure 27 : Vue en 3D depuis le sud-ouest des 4 volumes cibles associés aux puits actuellement prévus	43
Figure 28: Modèle numérique du réservoir – coupe O-E d'une perméabilité horizontale avec projection du puits SIM1.	46
Figure 29 : Modèle numérique – Maillage horizontal, trajectoires des 4 puits et trace des failles à -2000 mnm.....	47
Figure 30: Localisation relative des ouvrages en profondeur.....	48
Figure 31: Distribution de la porosité matricielle (à gauche) et de la perméabilité matricielle isotrope (à droite)	49
Figure 32 : Distribution de la porosité de fracture	49
Figure 33 : Distribution du tenseur de perméabilités de fracture (en mD)	50
Figure 34: Distribution du coefficient de transfert interporosité.....	50
Figure 35: Distribution de la porosité (en haut) et de la perméabilité (en bas)	51
Figure 36 : Illustration du champ de concentration d'un traceur non réactif injecté dans le réservoir.	53
Figure 37 : Illustration du flux hydraulique (vectoriel) autour du doublet	53
Figure 38 : Représentation du champ de température obtenu au bout de 30 ans en coupe passant par le puits injecteur ...	54
Figure 39 : Evolution de la pression en fond de puits (à gauche) et de la température (à droite) du fluide produit/injecté...	54
Figure 40 : Illustration du champ de vitesses fluides simulé dans les fractures	55
Figure 41 : Simulation du champ thermique au bout de 30 années engendré par l'exploitation simultanée des 2 doublets.	56
Figure 42 : Evolution de la pression des puits (à gauche) et de la température (à droite) des fluides produits/injectés	56
Figure 43 : Positionnement du tubage technique 18''5/8 pour SIM1	59
Figure 44 : Positionnement du tubage technique 13''3/8 pour SIM1	60
Figure 45 : Positionnement du tubage de production 9''5/8 pour SIM1.....	61
Figure 46 : Architecture prévisionnelle du premier puits SIM1.....	62
Figure 47 : Positionnement du tubage technique 18''5/8 pour SIM2	64
Figure 48 : Positionnement du tubage technique 13''3/8 pour SIM2	65
Figure 49 : Positionnement du tubage de production 9''5/8 pour SIM2.....	66
Figure 50 : Architecture prévisionnelle du second puits SIM2	67
Figure 51 : Positionnement du tubage technique 18''5/8 pour SIM3	70
Figure 52 : Positionnement du tubage technique 13''3/8 pour SIM3	70
Figure 53 : Positionnement minimal du tubage de production 9''5/8 pour SIM3.....	71
Figure 54 : Architecture prévisionnelle du troisième puits SIM3	72
Figure 55 : Positionnement du tubage technique 18''5/8 pour SIM4	74
Figure 56 : Positionnement du tubage technique 13''3/8 pour SIM4	75
Figure 57 : Positionnement minimal du tubage de production 9''5/8 pour SIM4.....	76
Figure 58 : Architecture prévisionnelle du quatrième puits SIM4.....	77

Figure 59 : Implantation prévisionnelle des puits et de leurs équipements connexes à l'issue des travaux miniers pour un doublet (projet)	79
Figure 60 : Implantation prévisionnelle des puits et de leurs équipements connexes à l'issue des travaux miniers pour deux doublets (projet)	79
Schéma 1 : Schéma du circuit boue de chantier de forage (Leblond)	28
Schéma 2 : Principe des écoulements des eaux de ruissellement.....	30
<i>Tableau 1 : Coordonnées des puits SIM1 et SIM2 en tête de puits en Lambert 93</i>	<i>15</i>
<i>Tableau 2 : Coordonnées des puits SIM3 et SIM4 en tête de puits en Lambert 93</i>	<i>15</i>
<i>Tableau 3 : Trajectoires prévisionnelles des forages</i>	<i>40</i>
<i>Tableau 4 : Coordonnées des puits SIM1 et SIM2 au toit du réservoir en en Lambert 93.....</i>	<i>42</i>
<i>Tableau 5 : Coordonnées des puits SIM3 et SIM4 au toit du réservoir en Lambert 93</i>	<i>42</i>
<i>Tableau 6 : Paramètres du modèle numérique mis en œuvre.</i>	<i>52</i>

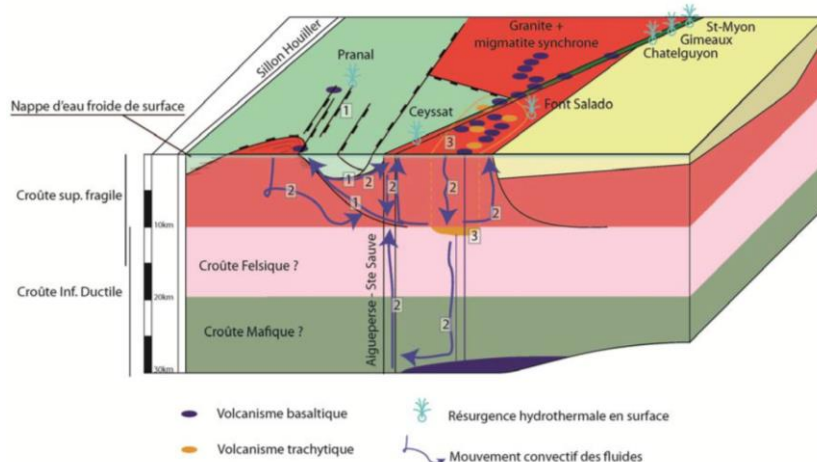
En préambule à cette pièce, un rappel des qualifications, de l'expérience et des conditions d'intervention de Storengy qui interviendra en maître d'œuvre sur la réalisation des forages de géothermie, mais également en co-investisseur au travers de la société GEOPULSE :

- Le personnel de Storengy, du rig de forage et de la surveillance des paramètres de forage (superviseurs, géologues, foreurs, mudlogging) seront présents 24h/24h pendant les opérations de forage avec le rig.
- Le personnel de Storengy est habitué à travailler dans des conditions de sécurité exigeantes (risques d'éruption de puits) liées aux conditions spécifiques de forage sur les sites de stockage de gaz. Le personnel de Storengy est formé régulièrement (par l'Institut Français du Pétrole entre autres) pour détecter et réagir aux situations de modifications de conditions de forages (éruption, pertes). Toute personne pouvant être amenée à intervenir sur ces opérations, sera certifiée Prévention des éruptions par l'IWCF (International Well Control Forum) pour détecter et maîtriser rapidement ces situations.
- Le personnel de Storengy travaille en équipe pluridisciplinaire (pétrophysiciens, géologues, ingénieurs réservoir, ingénieurs fluides et ciment, ingénieurs forage, etc.) ce qui facilite la réactivité et l'adaptation des programmes en fonction des situations rencontrées au cours des travaux.

1. CONTEXTE DES TRAVAUX MINIERS

1.1. LE CONCEPT GEOTHERMIQUE RECHERCHE

Le concept géothermique recherché est celui de failles crustales perméables (drain-réservoirs) enracinées à l'interface ductile-fragile où se trouverait une chambre magmatique holopléistocène en cours de refroidissement (Figure 1). Les failles attendues dans secteur sont les failles bordières du massif granitique de Gelles (dont la mise en place attendue suit le modèle dit de Core Complex), les failles d'Aigueperse-St Sauve et les failles de la Chaîne des Puys. La transition ductile-fragile est attendue entre 10 et 15 km. La chambre magmatique attendue est une unique chambre plurikilométrique située sous la croûte fragile.



(a)

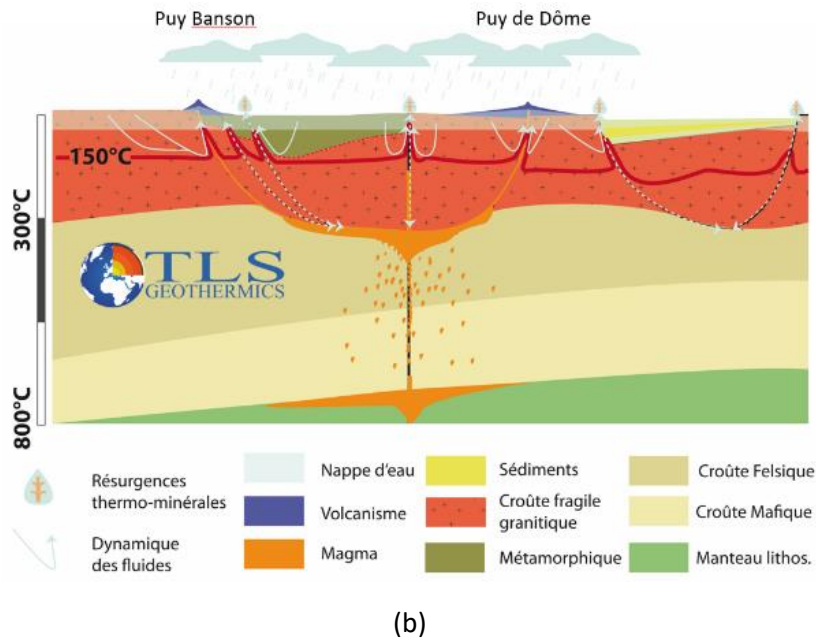


Figure 1 : (a) Extraits de la figure de présentation du système géothermique attendu sur le réseau de faille de Pontgibaud tirée de TLS Geothermics (2015), Mémoire technique du PER Sioule. (b) Modèle synthétique du concept géothermique mis à jour au regard des dernières connaissances (2018).

Ainsi, le réseau de failles de Pontgibaud (Figure 1 b), matérialisé notamment par de nombreuses minéralisations, a été un drain hydrothermal très actif à la fin du Carbonifère, lors de la mise en place du Granite de Gelles. Cette activité a été marquée par de nombreuses minéralisations et par la teneur en Arsenic des fluides, éléments que l'on retrouve en quantité dans les sédiments jouxtant ce réseau de failles.

Si les circulations sont certaines il y a 310 à 300Ma, les circulations actuelles le long de ce réseau sont également très probables. La source de Pranal, qui émerge en surface à la faveur de ce réseau, témoigne d'un réservoir profond relativement chaud (autour de 150-175°C). En outre, un forage profond à travers ce réseau montre un flux de chaleur de 120mW.m⁻². Là encore, le flux réel est probablement proche de 70 mW.m⁻² et le transient résulte très probablement de circulations hydrothermales le long de réseau de failles. Cet excès de chaleur se traduit par un excès du gradient géothermique mesuré proche de 12°C.km⁻¹ par rapport au gradient géothermique théorique.

Ci-après, quelques illustrations de la zone cible, avec son anomalie de résistivité électrique, un modèle probabiliste de présence de failles, et un modèle d'implantation d'un doublet.

La cible de ce forage est une intersection de la zone de failles de Pontgibaud et de la faille de la Miouze. Les interconnexions de failles sont favorables aux circulations fluides et anomalies géothermiques.

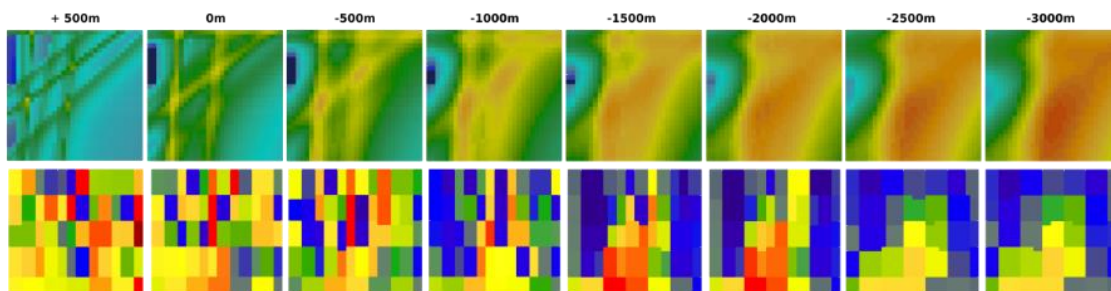


Figure 2 : Probabilité de présence de failles (en haut) et imagerie MT haute résolution (en bas)

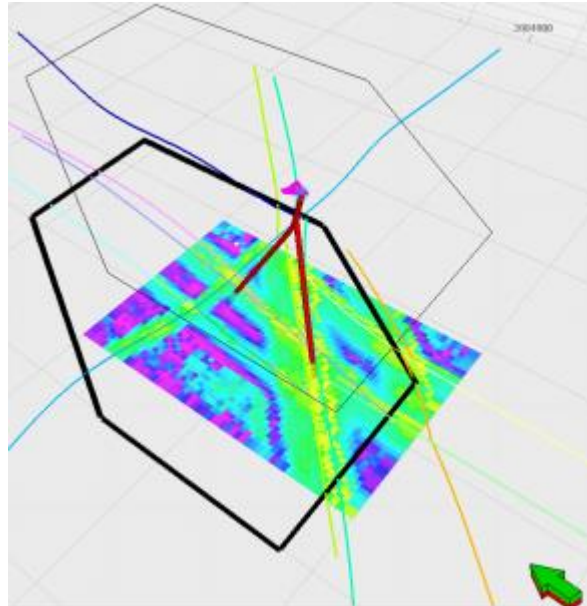


Figure 3 : Représentation 3D de l'implantation d'un doublet, perméabilité, sur fonds du périmètre du futur PER Sioule-Miouze

1.2. ETUDES REALISEES DEPUIS L'OCTROI DU PER LA SIOULE ET IDENTIFICATION DE LA ZONE CIBLE

Dans le cadre du PER de la Sioule, depuis 2015, les études ont consisté en :

- des études géologiques en bureau et des analyses sur le terrain (mesures, prises d'échantillons...)
- des mesures géophysiques nouvelles en collaboration R&D avec des universités.

Sur cette période, il a été réalisé :

- près de 2000 mesures microstructurales (orientations plans et lignes, cinématiques et rhéologies)
- 70 points d'acquisitions MT (20 heures par station)
- plus de 80 mesures gravimétriques nouvelles
- 16 déploiements de sismomètres larges bandes (enregistrement pendant 8 mois)
- 300 mesures sismiques par géophone 1 composante (35 jours).

Des modèles géologiques et géophysiques ont ainsi été produits :

- modèles géologiques pétro-structuraux (lithologie, failles, géométries),
- modèles de résistivité électrique,
- modèles d'anomalies gravimétriques,
- modèles de vitesses des ondes S,
- modèles géophysiques par inversion conjointe des jeux de données MT, gravimétriques et sismiques.

D'autres modèles géologiques structuraux ont été produits avec des approches linéaires et statistiques (probabilistes). Des études de la micro-sismicité naturelle et du régime des contraintes ont également été réalisées.

A l'issue de ces premières études, plusieurs zones favorables ont été identifiées.

Des travaux en approche dynamique (thermique et hydraulique), ont été initiés en 2018 pour le positionnement d'un à deux doublets dans l'environnement d'une zone identifiée comme favorable. Pour rappel, comme anticipé dans le préambule, le périmètre du PER de la Sioule a fait l'objet d'une demande de mutation partielle, au profit de TLS-Storengy, qui a pris le nom de PER Sioule-Miouze. Le périmètre de ce dernier a été établi sur la base de l'ensemble de ces travaux d'analyse (52 km²).

Une analyse des enjeux environnementaux du territoire à l'intérieur de ce périmètre a été réalisée afin d'identifier les zones à contraintes environnementales à éviter :

- ZNIEFF 1,
- ZNIEFF 2,
- ZICO,
- Zone humide,
- Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne
- Natura 2000
- Captages AEP
- Prélèvements d'eau
- Espaces Naturels Protégés (aires de protection du biotope, réserves biologiques, réserves naturelles nationales, réserves de biosphère, terrains des conservatoires d'espaces naturels),
- Sites patrimoniaux inscrits ou classés
- Zones inondables
- Contrats de milieu
- Classement UNESCO

A l'intérieur de ce périmètre, il a été déterminé une zone plus resserrée à prospecter afin de trouver un terrain disponible à accueillir un chantier de forage et dont la localisation permette une connexion à un réseau électrique disponible. Ainsi, cette zone a été déterminée par le croisement des informations récoltées auprès :

- des parties prenantes publiques, élus et collectivités,
- du gestionnaire du réseau d'électricité,
- des propriétaires fonciers intéressés.

Subséquentement, la zone d'implantation des travaux miniers a été sélectionnée en tenant compte :

- des caractéristiques géologiques et de la présence de failles à proximité,
- de l'absence de milieu remarquable et d'espace protégé,
- d'un réseau électrique sur lequel se connecter à proximité,
- de la disponibilité foncière.

1.3. RELATIONS ET INFORMATIONS DES PARTIES PRENANTES

Les études exploratoires qui ont conduit au choix de la zone d'intérêt et du site de forage ont été conduites en transparence avec les communes et les habitants concernés :

- Lors des campagnes d'acquisitions géophysiques, des demandes d'autorisations ont été faites aux propriétaires et exploitants agricoles pour des parcelles nécessaires au déploiement de mesures magnétotelluriques (70 stations en tout entre 2015 et 2017). Le déploiement de 10 sismomètres larges bandes entre 2015 et 2016 s'est fait pour moitié dans des locaux et caves appartenant à des communes du secteur d'étude, et pour l'autre moitié chez des propriétaires privés.

- Le déploiement de 300 géophones autonomes en novembre et décembre 2017 a nécessité de demander des autorisations (obtenues) à 33 communes du PER de la Sioule, et une communication en mairie a systématiquement été faite (affichage en mairie de la campagne géophysique).
- Deux réunions avec les parties prenantes concernées ont été organisées en décembre 2017 (Gelles et Saint-Pierre-le-Chastel) pour faire une restitution des premiers résultats de l'exploration dans le PER de la Sioule.
- Une autre réunion publique s'est tenue à Saint-Pierre-le-Chastel en Mars 2018 pour montrer l'ensemble des résultats et fournir un état d'avancement à la population intéressée par le projet. Il a été apporté des réponses aux questions du public.
- Une autre réunion publique a eu lieu en octobre 2018 au sein du Cabaret 'Le Poulailier' à Saint-Pierre-Roche, lieu culturel et alternatif local, au plus près de la population concernée par le projet qui se situe sur la même commune.

Par ailleurs, concernant les relations et les informations des parties prenantes publiques, élus et collectivités :

- Les maires des communes les plus proches (Saint-Pierre-Roche et Gelles) ainsi que la Communauté de Communes de Rochefort-Montagne sont informés au fur et à mesure des avancements du projet.
- Plusieurs réunions (téléphoniques et à la Maison du Parc) ont eu lieu avec les responsables (Président, DG, chargés de missions) du Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne. Ils sont informés régulièrement des progrès du projet.
- Une réunion de présentation a également eu lieu avec au SAGE Sioule en Juin 2018.
- La Chambre d'Agriculture, notamment par son bureau de Rochefort-Montagne, le Conseil Régional, le Commissariat du Massif Central, et les députés du Puy-de-Dôme sont également régulièrement informés du projet.

2. LES TRAVAUX MINIERS A ENTREPRENDRE DANS LE CADRE DE L'EXPLORATION

Il s'agit de réaliser sur une même plateforme, un doublet de forages (constitué de deux puits déviés, l'un producteur et l'autre injecteur), voire un second doublet, permettant de qualifier la ressource et les potentialités d'exploitation future selon le schéma d'exploration précisé en pièce 4 du présent dossier.

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

- Une température au-delà de 150°C,
- Un débit minimum de 100 l/s par doublet,
- Un indice de productivité minimal de 3l/s/ bar par puits producteur.

Si la ressource géothermale, est confirmée aux conditions précitées ci-dessus, il est projeté une utilisation de la géothermie pour la production d'électricité.

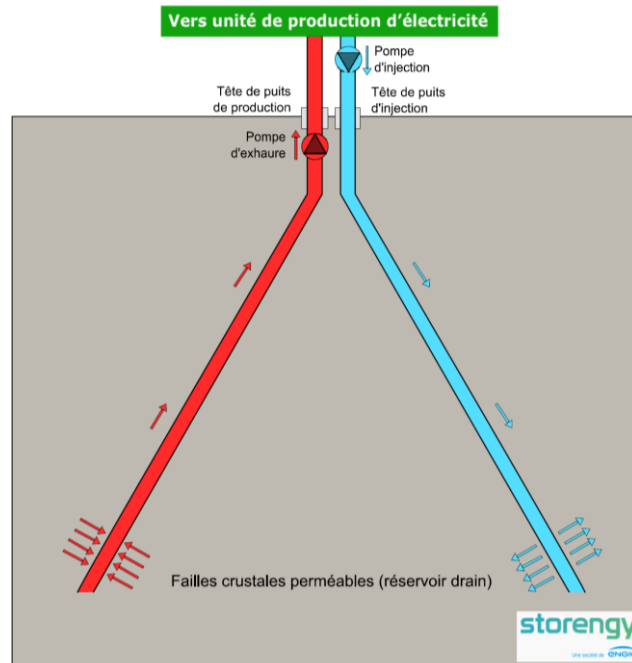


Figure 4: Représentation schématique d'un fonctionnement d'un doublet de géothermie pour la production d'électricité

Pour rappel, le prospect est caractérisé par une forte densité de failles profondes dans plusieurs directions principales, enracinées dans la zone de transition fragile-ductile de la croûte.

La zone d'intersection des failles en profondeur correspond à une anomalie de faible résistivité (provenant de l'inversion MT) dans la gamme 2000-3000 mTVD au sommet d'une anomalie de faible résistivité plus profonde (à partir de 10 km de profondeur) soupçonnée d'être produite par le refroidissement du magma, à un flux de CO₂ mantélique important en surface, à une mesure de flux thermique élevé et dans la région, à un panache mantélique identifié à partir de l'inversion de la vitesse des ondes de cisaillement.

Ainsi, le puits SIM1 est nécessaire pour explorer une ressource géothermique possible pour la production d'électricité. Si la ressource était confirmée, un puits d'injection SIM2 serait foré et le puits SIM1 pourrait être transformé en producteur. Selon les résultats des puits, un deuxième doublet (SIM3, SIM4) pourrait être foré pour maximiser la production d'électricité.

Chaque doublet géothermique sera constitué de deux drains d'une longueur permettant d'atteindre le sous-sol granitique (Carbonifère) et intercepter les grands accidents identifiés du sous-sol (failles et réseaux de fractures associés). Le fluide géothermique prélevé en sous-sol sera rejeté dans son milieu d'origine assurant ainsi la pression du gisement et la pérennité de la ressource.

Le premier doublet sera constitué d'un puits producteur, SIM1 et d'un puits injecteur SIM2 : le puits producteur (SIM1) puisera le fluide géothermique chaud dans des zones d'alimentation (« feed zones ») correspondant à une partie du réseau connecté de failles/fractures et le puits injecteur (SIM2), implanté à distance pour assurer la pérennité de la ressource, réinjectera dans cette même zone accidentée.

De la même façon, le second doublet sera constitué d'un puits producteur SIM3 et d'un puits injecteur SIM4 implantés à distance pour assurer la pérennité de la ressource, qui réinjectera dans cette même zone.

3. LOCALISATION EN SURFACE DES TRAVAUX MINIERS

3.1. LOCALISATION DES FUTURS PUIITS

Les futurs puits seront localisés sur la commune de Saint-Pierre-Roche située à l'ouest du département du Puy-de-Dôme, à environ 35 km à l'ouest de Clermont-Ferrand.

Le terrain dédié à ces travaux permet d'implanter les forages sur une seule et même plateforme d'environ 110*70 mètres. Ce terrain est localisé sur la parcelle n°104 section ZD au lieu-dit Le Champ située au nord du hameau de Prades (Figure 6) . Les travaux n'excéderont pas une emprise d'environ 3 ha sur la partie nord-est (haute) de la parcelle.

Le terrain d'implantation est à une altitude comprise entre 715 et 730 m. Il s'agit d'une propriété privée, dont l'exploitation agricole est faite par le Lycée Agricole de Rochefort Montagne. Des négociations sont en cours pour mettre en place une location pour la phase travaux avec option d'achat en cas de succès de l'exploration : un protocole notarié sera rédigé en ce sens et signé en 2020.

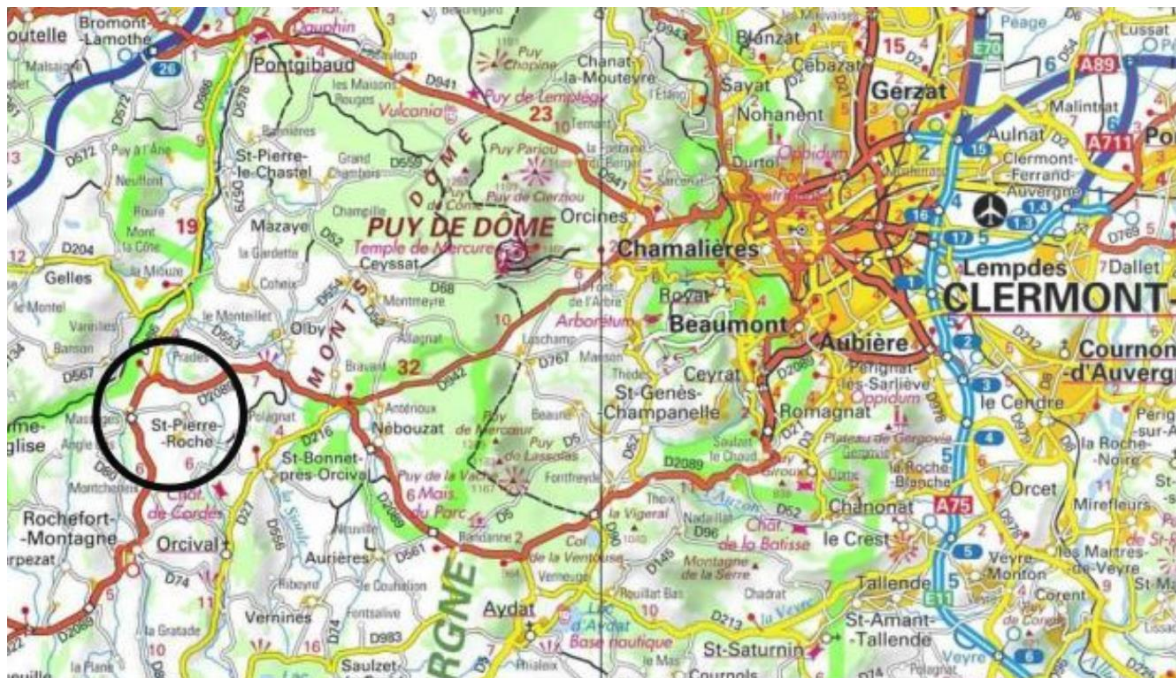


Figure 5 : Localisation de Saint-Pierre-Roche dans le Puy-de-Dôme (source Géoportail).

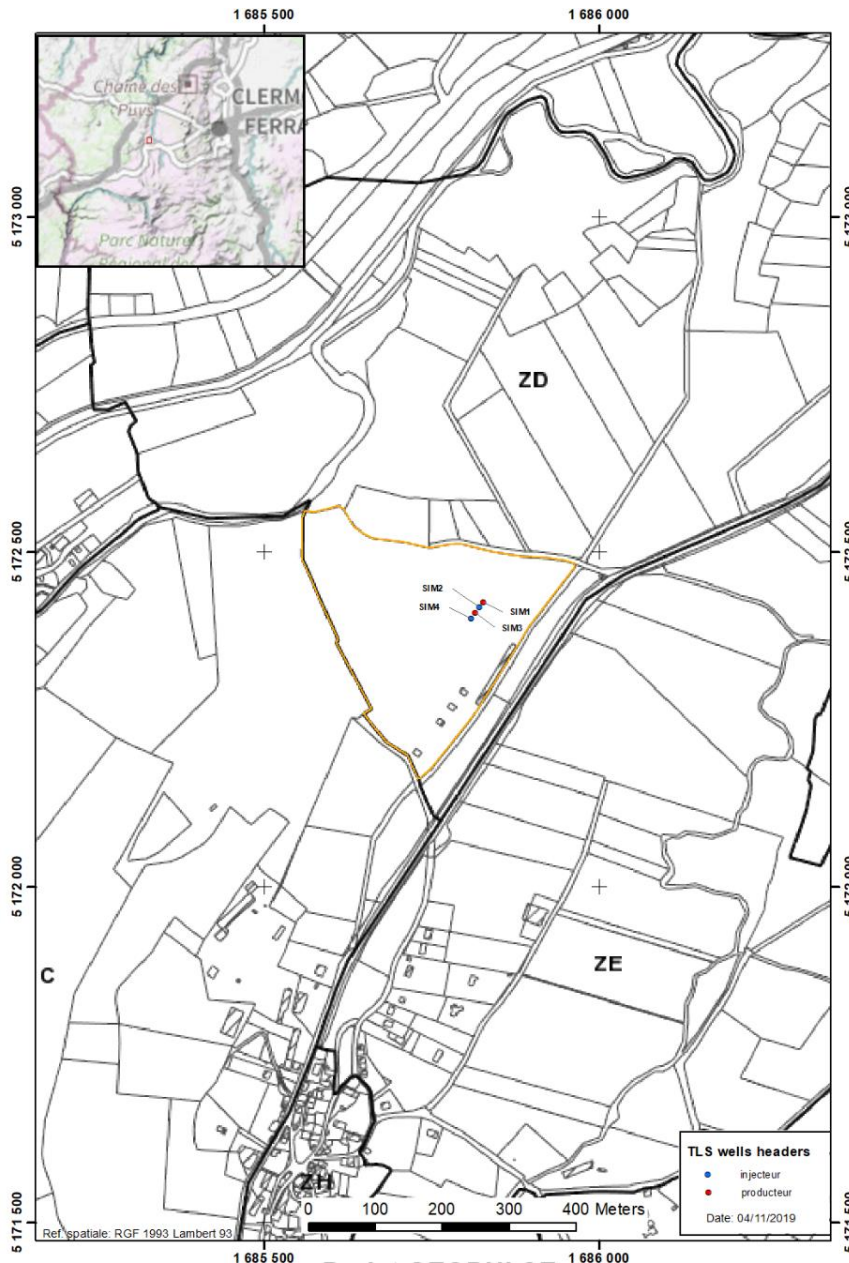


Figure 6 : Localisation des forages au droit de la parcelle n°104 section ZD à Saint-Pierre-Roche (sur plan cadastral- échelle 1 :5000e)

3.2. SITUATION DES ABORDS

Le terrain est situé à environ 1km au nord du hameau de Prades sur la commune de Saint-Pierre-Roche, commune rurale et agricole, dans le département du Puy-de-Dôme (région Auvergne-Rhône-Alpes).

Il est desservi par la départementale (RD 986) permettant de rejoindre Pontgibaud puis l'autoroute A89.

L'occupation actuelle du terrain est vierge de toute construction, sur un relief vallonné et bocager. C'est actuellement une parcelle agricole destinée au fourrage et exploitée par le Lycée agricole de Rochefort Montagne.

En contrebas de la parcelle, à l'est, s'écoule le cours d'eau de la Miouze. Les cartes ci-après permettent de situer le terrain et ses abords.

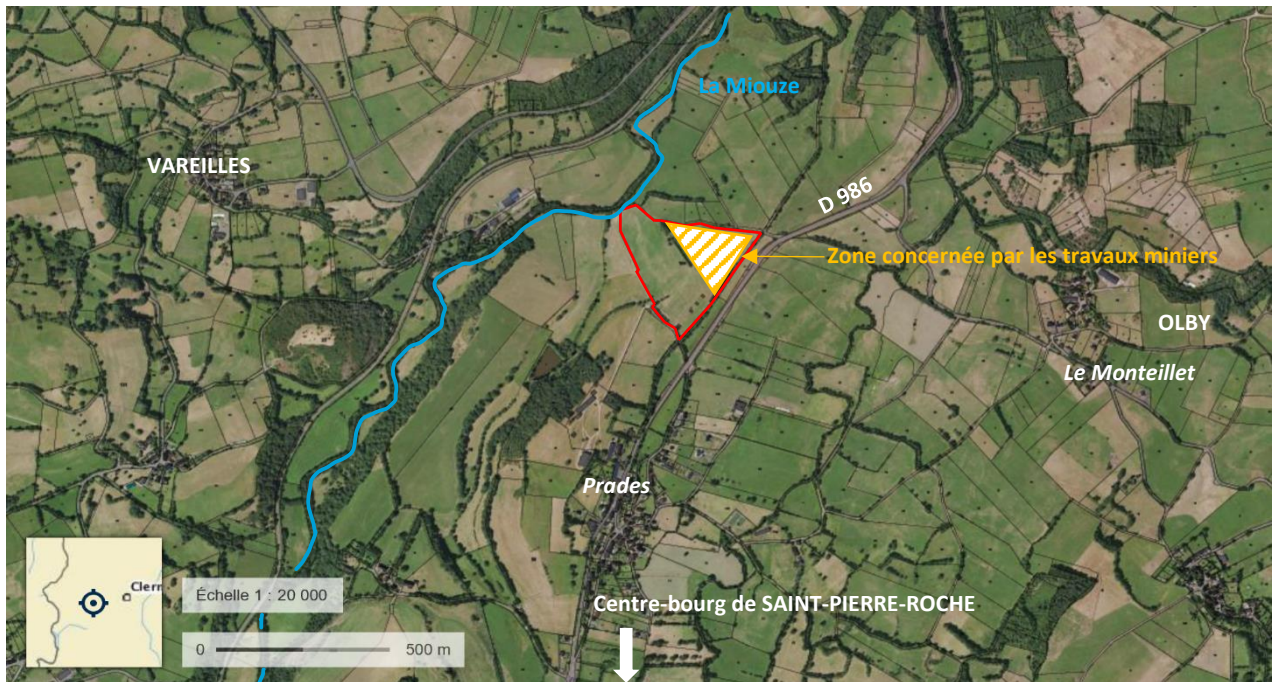


Figure 7 : Les abords de la parcelle n°104 section ZD -en rouge- à Saint-Pierre-Roche (photo aérienne et plan cadastral - source Géoportail).

La description détaillée de l'environnement de la parcelle figure dans le chapitre dédié à l'état initial de l'étude d'impact (pièce 8).

3.3. SITUATION AU TITRE DE L'URBANISME

La commune est dotée d'une carte communale approuvée en octobre 2018. La parcelle est située en zone non constructible.

Une dérogation pour construire en dehors du tissu urbain peut s'appliquer pour les cas de figure suivants, conformément à l'article L161-4 du code de l'urbanisme :

1° L'adaptation, le changement de destination, la réfection, l'extension des constructions existantes ou la construction de bâtiments nouveaux à usage d'habitation à l'intérieur du périmètre regroupant les bâtiments d'une ancienne exploitation agricole, dans le respect des traditions architecturales locales ;

2° Des constructions et installations nécessaires :

- a) à des équipements collectifs ;
- b) à l'exploitation agricole ou forestière, à la transformation, au conditionnement et à la commercialisation des produits agricoles lorsque ces activités constituent le prolongement de l'acte de production ;
- c) à la mise en valeur des ressources naturelles ;
- d) au stockage et à l'entretien du matériel des coopératives d'utilisation de matériel agricole.

Le projet est concerné par le 2°c) du présent article.

Par ailleurs, la commune est également concernée par la Loi Montagne qui spécifie l'interdiction de construire en discontinuité du tissu urbain. Néanmoins, l'article L.122-3 prévoit que les installations et

ouvrages nécessaires aux services publics ne sont pas soumis aux dispositions d'urbanisme de la loi Montagne lorsque leur implantation correspond à une nécessité technique impérative.

L'implantation de ces forages est définie en fonction de la localisation pressentie de la ressource, il s'agit là d'une nécessité technique impérative dans la mesure où ces puits ne peuvent être implantés que là où la ressource existe.

3.4. COORDONNEES PREVISIONNELLES DES PUIITS EN SURFACE

Les coordonnées prévisionnelles en tête de puits du premier doublet constitué des puits SIM1 et SIM2, en Lambert 93, sont reportées dans le tableau ci-dessous :

	SIM1 (puits producteur)	SIM2 (puits injecteur)
Coordonnées X	685838.41	685832.35
Coordonnées Y	6516920.57	6516912.63

Tableau 1 : Coordonnées des puits SIM1 et SIM2 en tête de puits en Lambert 93

Les coordonnées prévisionnelles en tête de puits du second doublet constitué des puits SIM3 et SIM4, en Lambert 93, sont reportées dans le tableau ci-dessous :

	SIM3 (puits producteur)	SIM4 (puits injecteur)
Coordonnées X	685825.29	685819.22
Coordonnées Y	6516904.7	6516896.76

Tableau 2 : Coordonnées des puits SIM3 et SIM4 en tête de puits en Lambert 93

4. CONFIGURATION EN SURFACE PENDANT LE CHANTIER DES TRAVAUX MINIERS

C'est la phase de forage qui dimensionne l'aire maximale utile pour le chantier. L'emprise dépend de considérations techniques (profondeur du forage, volume de boue, volume d'eau géothermale, taille de la machine, puissance des moteurs, etc.).

Ainsi, l'aire maximale du chantier est constituée de la plateforme de forage et d'une emprise au sol complémentaire constituée de bassins, voierie, zone de stockage et de bureaux.

4.1. ORGANISATION DE LA PLATEFORME

L'emprise de la machine dépend de ses spécificités techniques (capacité de levage, capacité de stockage des fluides de forage dans des mud tanks, puissance des moteurs, des pompes, du treuil de forage, etc.) qui dépendent elles-mêmes des besoins techniques liés à la réalisation du forage du puits : profondeur et déviation du forage, types de tubage à descendre, diamètres des sections de forage, types de formations géologiques traversées etc.). A ceci s'ajoutent les besoins en surface nécessaires pour les bureaux, ateliers, bungalows des différentes sociétés intervenantes et le stockage des équipements (typiquement les tubages).

La plateforme de forage projetée mesurera environ 110*70 mètres : elle sera constituée d'une aire empierrée, compactée en revêtement uniforme sur l'ensemble de la surface. Il sera implanté un réseau de caniveaux destiné à drainer les eaux de ruissellement de la plateforme vers le bassin d'orage.

La plateforme de forage sera organisée pour la réalisation des travaux, selon la description suivante :

a) une zone imperméabilisée en béton armé centrée sur les caves, sur laquelle seront positionnés les puits. La cave sera équipée d'un réseau destiné à récupérer les eaux ruisselantes ainsi que d'une pompe vide-cave pour la récupération des eaux et leur envoi dans le bassin d'orage.

b) L'appareil de forage :

Positionné au-dessus d'une cave, c'est à partir de cet emplacement que le puits est foré, au bas du mât de forage. Il comprend les équipements suivants :

- Un treuil qui permet le fonctionnement du système de levage,
- Une table de rotation,
- La « Dog house » : c'est la cabine de contrôle du forage, occupée par le foreur, avec une vue directe sur les opérations et manœuvres réalisées sur le plancher par les équipes de forage,
- Des clés permettant de visser et dévisser les tiges de forage,
- Un système de contrôle de l'installation de forage qui inclut le contrôle de la garniture, le contrôle des bassins, etc.
- Une installation stand pipe manifold (systèmes de vannes) qui permet la distribution des fluides de forage en fonction des besoins,
- Une zone de stockage des tiges de forage (dans le mat en vertical) ou « Drill pipe storage ».

c) Une zone de chargement et déchargement des tiges de forage, qui jouxtera le secteur du plancher et permettra ensuite de monter et descendre les tiges de forage dans le mat en fonction des phases.

d) Plusieurs secteurs de stockage de matériels : différents secteurs de la plateforme seront utilisés pour stocker du matériel, des tubulaires, les produits de base, les ateliers techniques, les unités des entreprises intervenant sur le puits.

e) Le secteur moteurs et pompes : Le Rig pourra éventuellement être raccordé au réseau électrique. Dans le cas contraire, cette zone regroupera l'ensemble des moteurs diesels et des groupes électrogènes nécessaire au fonctionnement de la machine de forage ainsi que les pompes haute pression qui permettent l'injection de la boue dans le forage.

f) Le quartier boues : la surface sur laquelle repose cet ensemble permettra de récupérer tous liquides qui peuvent être répandus de façon accidentelle sur cette zone. Le quartier boue sera constitué :

- D'un ensemble de grands containers ou bacs à boue (d'environ 60 m³ chacun) connectés entre eux, équipés d'agitateurs et recouverts de caillebottis ou plaques d'acier,
- D'une zone d'introduction de produits ou « mixing area » adossée aux containers, qui est constituée d'entonnoirs dans lesquels sont introduits les produits nécessaires à la fabrication des boues qui sont envoyés vers les bacs à boues,
- Des équipements de traitement des solides dans les fluides de forage.

g) La cabine de mudlogging, le laboratoire à boues et la cabine directional drilling (forage dirigé) : il s'agit de locaux fermés ; ils permettent le suivi des formations géologiques traversées et des paramètres de la boue (viscosité, température, volume des bassins etc.) ainsi que le suivi de

l'ensemble des paramètres nécessaires au pilotage du forage en temps réel (poids sur l'outil de forage, avancement du forage, résultats des capteurs etc.).

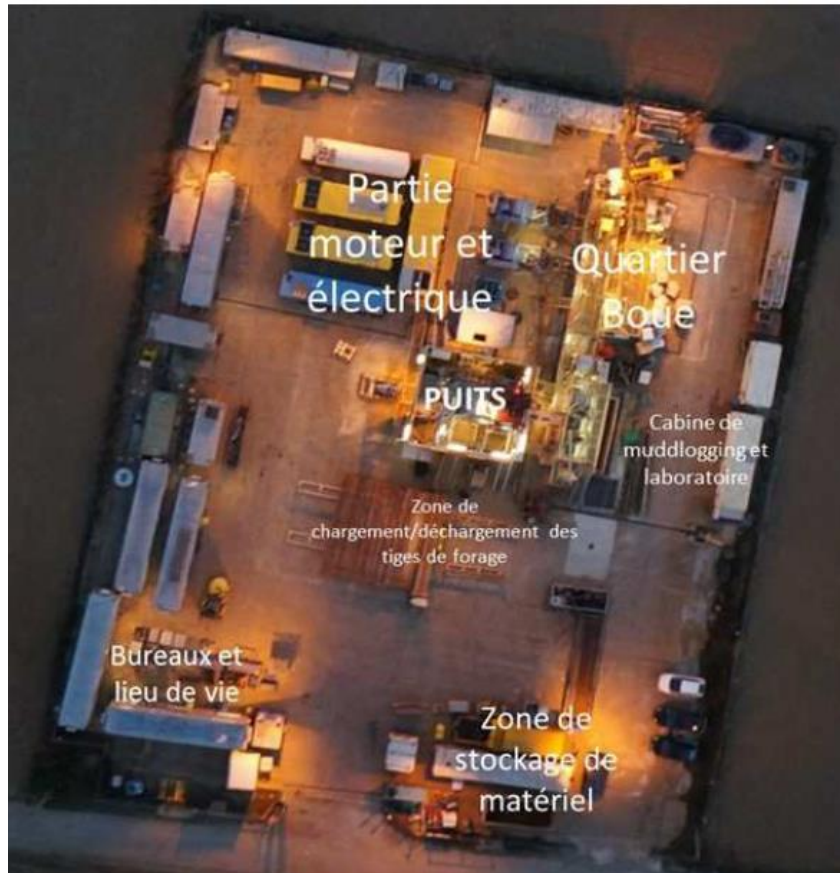


Figure 8 : Photo d'une implantation type sur pour un forage de STORENGY en opération de nuit – droit STORENGY

La Figure 8 présente l'implantation standard des zones d'activité sur un chantier de forage de géothermie. Il est à noter que compte-tenu de l'implantation de plusieurs puits sur une seule et même plateforme, du contexte environnemental et de la forme de la parcelle, l'implantation des zones du chantier sur la plateforme sera sensiblement différente. Celui-ci est présenté en Figure 10 du présent document.

A ce stade du projet, il n'a pas encore été contractualisée de machine. A titre indicatif, le plan type d'implantation d'une machine semblable à celle qui pourrait être choisie pour le forage (type BENTEC 350) est présenté en Figure 9 et précise l'organisation spatiale du chantier (hors bungalows de chantier et zone de stockage supplémentaire). La présentation de cette machine est consultable sur le site <http://www.smp-drilling.com/media/fiches/smp-en-tech-data-sheet-smp106.pdf>.

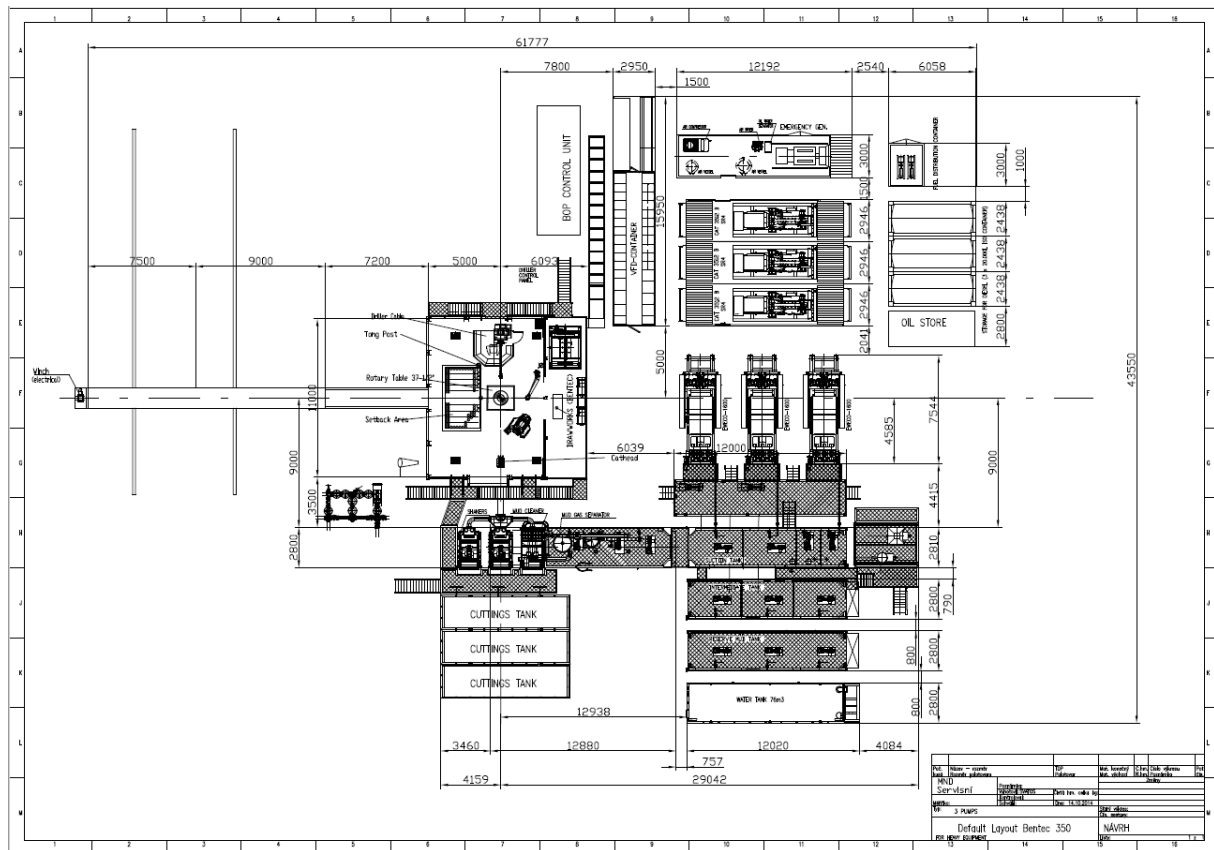


Figure 9 : Plan d'implantation d'un RIG de type BENTEC 350

4.2. AMENAGEMENTS COMPLEMENTAIRES

En dehors de la plateforme du RIG, une emprise au sol complémentaire d'environ 4000m² équipée également d'un réseau destiné à drainer les eaux de ruissellement vers le bassin d'orage, sera nécessaire. Celle-ci comprendra les zones suivantes :

- La base vie constituée de bungalows de chantiers comprenant les lieux de vie des employés (les équipes de forage), les bureaux (locaux fermés) et le bungalow de communication (pour les visites du public),
- Une zone de stockage de matériel complémentaire,
- Une zone de parking et une voie d'accès,

Enfin, le chantier inclura :

- un bassin d'orage (pour les eaux de ruissellement des surfaces imperméabilisées) de 570 m³ permettra d'assurer la régulation des eaux pluviales issues des différentes zones jusqu'à une occurrence vicennale, (3 l/s/ha pour une surface d'apports de 1,17 ha),
- un bassin de réserve d'eau dédiée à la sécurité incendie de 120 m³,
- trois bassins (l'un d'environ 2000 m³ et deux autres d'environ 4000 m³) pour stocker l'eau destinée à la fabrication des boues (réservoirs d'eau pour le forage). Ces bassins, une fois l'étape de forage réalisée, seront réutilisés pour stocker les eaux géothermales produites pendant les essais avant réinjection.

Le projet d'implantation de la plateforme et des aménagements connexes est présenté ci-après. Ces aménagements sont susceptibles d'être modifiés.



Figure 10 : Projet d'implantation prévisionnel des aménagements et de la plateforme

4.3. TOPOGRAPHIE ET TERRASSEMENT

La topographie du terrain est comprise entre 715 et 730 m d'altitude.

Compte-tenu de la topographie du terrain, des terrassements seront nécessaires. Les données topographiques sur les terrassements envisagés sont les suivantes :

- Les bassins de stockage, la base vie, la zone de stockage, les parkings et la plateforme seront à une altitude minimale de 725 m et maximale de 750m.
- Le bassin d'orage sera en contrebas de la parcelle à une altitude d'environ 717 m (+/- 3 m).

Environ 1,2 ha de sols seront décapés pour réaliser les aménagements. Les terres décaissées seront utilisées pour le modelage des surfaces et celui des bassins de stockage. En cas de déficit d'apport pour le terrassement, un approvisionnement sera effectué en carrière.

En cas d'excédent de terres, celle-ci seront stockées temporairement à proximité immédiate du terrain, sur la parcelle, pour une réutilisation ultérieure dans le cadre de la remise en état du site

4.4. ACCES

La desserte du site est facilitée par un accès direct à la départementale (RD 986) puis par le chemin qui longe le nord de la parcelle.



Figure 11 : Accès direct du chemin à la départementale RD986 – droit STORENGY

Ce chemin sera aménagé en voirie lourde afin de permettre la circulation des engins.

L'entrée existante de la parcelle sera aménagée afin de faciliter l'accès des engins de chantier et des camions transportant le matériel.



Figure 12 : Accès existant à la parcelle– droit STORENGY

4.5. APPROVISIONNEMENT EN EAU

Plusieurs hypothèses d'approvisionnement en eau pour le fonctionnement du forage (remplissage des bassins dédiés à la fabrication des boues) sont à l'étude.

En priorité, le remplissage se fera via le réseau AEP de la commune de Saint-Pierre-Roche : le réseau existant se situe dans le bourg de Prades (en bleu sur la figure ci-après). Une connexion à ce réseau via une pompe et un flexible (indiqué en rouge sur cette même figure) sera nécessaire sur une longueur de 800m environ en prenant en compte le linéaire supplémentaire depuis la limite cadastrale à la zone de chantier (localisée par un cercle noir).

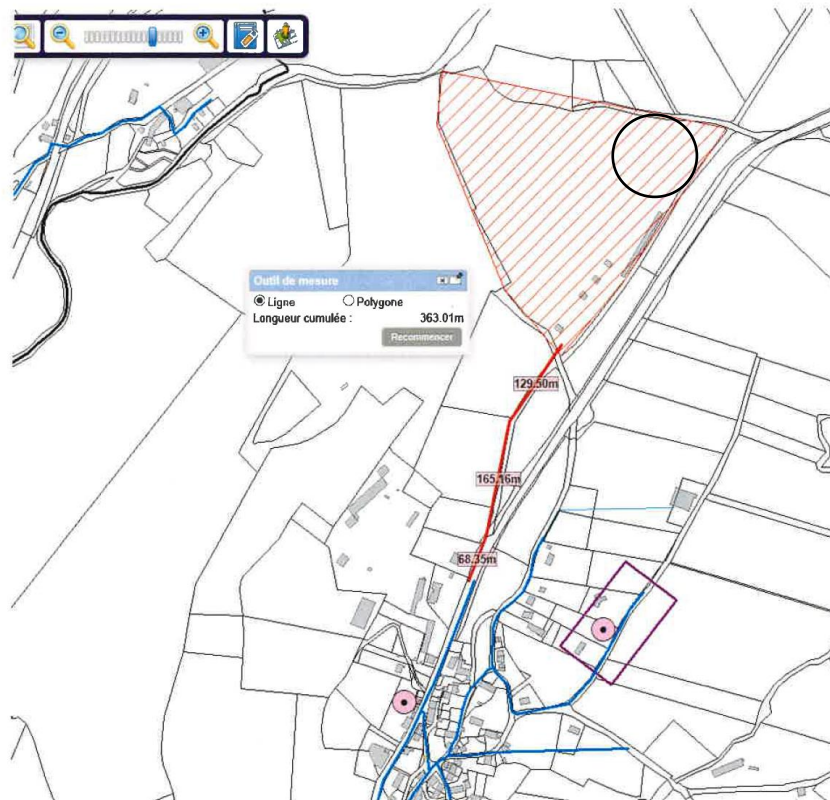


Figure 13 : Réseau AEP existant (source SAUR)

En complément de l'apport du réseau AEP, deux hypothèses d'apport d'eau sont envisagées et en cours d'étude :

- via un forage d'eau à proximité si la ressource le permet :

Un forage d'eau dans un aquifère superficiel est envisagé pour l'alimentation des bassins des forages géothermiques en eau. En effet, bien qu'aucun forage d'eau ne soit mentionné dans cette zone de socle métamorphique, un rapport issu de la BSS sur la mine du Colombier indique des écoulements d'eau. Cette mine ancienne visant à exploiter un filon faisant partie du réseau de la faille de Pontgibaud est située sur la rive droite de la Miouze, à 2,5 km au sud du site de forage environ, dans un ouvrage minier de 100 m de profondeur réalisé à partir de l'altitude 790m.

Le captage d'eau se ferait par la réalisation d'un puits entre 30 et 100 m de profondeur qui fonctionnerait uniquement pour la durée des forages. Le débit visé est de 30 m³/h pour remplir les bassins et avoir un appoint d'eau en cas de pertes dans les forages géothermiques. Il devrait donc avoir un diamètre de 8 1/2" (214 mm) et être équipé d'une pompe.

La ressource en eau sera vérifiée lors de l'étude géotechnique à venir par la pose de piézomètres. Une analyse de la qualité de l'eau sera effectuée afin d'assurer la conformité de la ressource par rapport à son usage. La rubrique IOTA visée serait 1.1.1.0. - Sondage, forage y compris les essais de pompage, création de puits ou d'ouvrage souterrain, non destiné à un usage domestique. Si les piézomètres révèlent une ressource en eau, le forage d'eau pourra être envisagé aux abords des bassins.

- via la Miouze par pompage par crépine immergée sans création d'ouvrage en période adaptée (novembre/décembre) :

Le débit de prélèvement serait inférieur à 2% du QMNA5 (soit inférieur à 9 l/s, en respect du débit réservé (280 l/s). La rubrique IOTA 1210 ne serait pas concernée car ce prélèvement serait en-

dessous du seuil de déclaration. Pour un prélèvement de 9 l/s (soit <2% QMNA5), le remplissage des 10 000 m³ pourrait se faire en 13 jours.

Le choix et la mise en œuvre de la solution retenue pour le remplissage en eau des bassins seront communiqués à la DREAL Auvergne – Rhône-Alpes pour validation préalable, au plus tard 6 mois avant l'ouverture des travaux de forage.

Par ailleurs, il n'est pas prévu de raccordement au réseau AEP uniquement pour les besoins en eau du personnel intervenant sur le chantier. Une base vie autonome sera privilégiée avec citernage. A raison de 40 personnes présentes sur le chantier par jour, la consommation en eau potable (hors consommation pour boisson du personnel qui sera approvisionnée en bouteilles d'eau de source) est estimée à 1.5m³/jour, ce qui équivaut à un approvisionnement en eau d'approximativement un camion-citerne par semaine.

4.6. APPROVISIONNEMENT EN ENERGIE

Deux hypothèses d'approvisionnement en énergie pour le fonctionnement du chantier sont envisagées en fonction de la machine qui sera choisie :

- en cas de RIG fonctionnant au fuel : la consommation moyenne sera comprise entre 3 et 8 m³ par jour en fonction de la machine choisie,
- en cas de RIG électrique : la consommation électrique sera évaluée au regard des spécifications techniques des équipements de la machine qui sera choisie. Une connexion au réseau existant sera à prévoir.

Le raccordement du RIG au réseau électrique sera privilégié, dans le cadre d'une démarche d'évitement, de réduction et de compensation, sous condition des résultats de de l'étude de faisabilité technico-économique.

5. LES ETAPES DU CHANTIER DE TRAVAUX MINIERS

Les travaux miniers sont limités dans le temps et de courte durée avec :

- des travaux de génie civil (environ 2 mois) pour préparer la plateforme qui accueillera le chantier et la machine de forage ;
- les travaux de forage (environ 4 mois par forage) en comptant le déménagement de la machine et les essais ;
- les travaux de génie civil de fin de chantier nécessaires pour finaliser le chantier et la remise en état autour des têtes de puits ou la remise en état totale en cas d'échec de l'exploration (environ 3 mois).

5.1. ETAPE N°1 : TRAVAUX PREPARATOIRES DE GENIE CIVIL

Il s'agira de préparer la plateforme qui accueillera le chantier et la machine de forage :

- La plateforme des puits sera conçue pour recevoir l'ensemble des équipements et permettra la circulation des engins de transport et de manutention par toutes conditions climatiques. Suivant les résultats de l'étude géotechnique préalable réalisée en amont des travaux, des renforts et adaptations pourront être réalisés pendant cette phase. Les résultats d'analyse caractérisant le fond géochimique du sol seront fournis au Préfet préalablement à la réalisation de la plateforme, conformément à l'article 23 de l'arrêté du 14 octobre 2016 ;

- Les trois bassins seront conçus pour stocker d'une part l'eau utile aux opérations de forage (réservoirs d'eau pour le forage) puis pour être utilisés pour stocker temporairement pendant les essais les eaux géothermales avant leur réinjection. Ils seront réalisés par creusement ;
- Le réseau de collectes sera conçu pour recueillir et diriger les eaux de ruissellement vers le bassin d'orage ;
- La réalisation des 4 avant-trou de 30 à 50 mètres de profondeur sera effectuée par une entreprise spécialisée (entreprise de forage) à l'aide d'un appareil de forage léger. Un cuvelage de large diamètre (tube guide) de 26'' sera descendu dans ces trous et cimenté jusqu'en surface. Cette étape interviendra avant l'installation de l'appareil de forage lourd (RIG) ;
- La réalisation des « caves » en béton armé. Ces ouvrages d'une surface au sol de l'ordre 3*4 mètres (dimensions en fonction de la machine de forage qui sera mise en œuvre) sont maçonnés. Ces blocs mécaniques étanches entourent les futures têtes de puits qui seront enterrées et positionnées sur l'avant-trou. Les caves accueilleront une pompe de relevage au cours du forage et de l'exploitation pour gérer et évacuer l'eau de ruissellement ou d'inondation qui pourrait s'y trouver piégée. La réalisation de ces caves interviendra avant la réalisation de l'avant-trou.

5.2. ÉTAPE N°2 : LES FORAGES

Ils seront réalisés à l'aide d'un appareil de forage (ou RIG de forage) qui sera sélectionné en fonction de la profondeur et de l'architecture du forage.

Cette étape comprendra pour les forages de SIM1 et SIM2 :

- Le déménagement, transport et montage de l'appareil de forage (10 jours en moyenne) : la machine sera constituée de plusieurs modules, l'ensemble démontable et transportable par la route sur des semi-remorques, d'un site à l'autre, en une soixantaine de colis de quelques dizaines de tonnes pour les plus lourds. Des grues automotrices seront utilisées pour les opérations de montage et de démontage, et épisodiquement au cours du chantier ;
- La réalisation du forage et les essais : construction de l'ouvrage et réalisation des mesures (diagraphies) et des essais de production, environ 4 mois (120 jours) par forage ;
- Démontage et déménagement de la machine (10 jours en moyenne) ;
- Les essais longue durée entre 12 et 16 jours en fonction des tests déjà réalisés avec l'appareil de forage.

Si à l'issue de la phase des tests longs sur SIM2 est positive pour forer les puits SIM3 et SIM4, la machine reviendra pour effectuer tour à tour ces forages puis sera de nouveau démontée et récupérée par camions.

5.3. ETAPE N°3 : LES TRAVAUX DE GENIE CIVIL DE FIN DE CHANTIER

Cette étape permettra selon les résultats des essais de poursuivre le projet vers la construction et l'exploitation d'une unité de production ou en cas d'échec de l'exploration en fin de forage de remettre à l'état initial la parcelle.

Dans le cas où les essais sont concluants et que l'exploitation d'un ou deux doublets est décidée, les travaux de génie civil de fin de chantier de travaux miniers consisteront à mettre en conformité si besoin la chaussée de la plate-forme, de remettre en état à l'initial les zones à supprimer. Cette remise en état (agricole) concernera la partie haute de la parcelle (environ 1 ha) où sont implantés la base vie, la zone de stockage de matériel complémentaire, les bassins (illustration ci-après). Ces travaux comprendront (liste non exhaustive) une remise en état des chemins d'accès, un nettoyage définitif des excavations avec suppression des caniveaux et reprofilage des terres, installations des câbles nécessaires au contrôle de tête de puits, et installation d'une pompe (LSP) dans le ou les puits producteur. Ils interviendront à l'issue des essais concluants des puits.

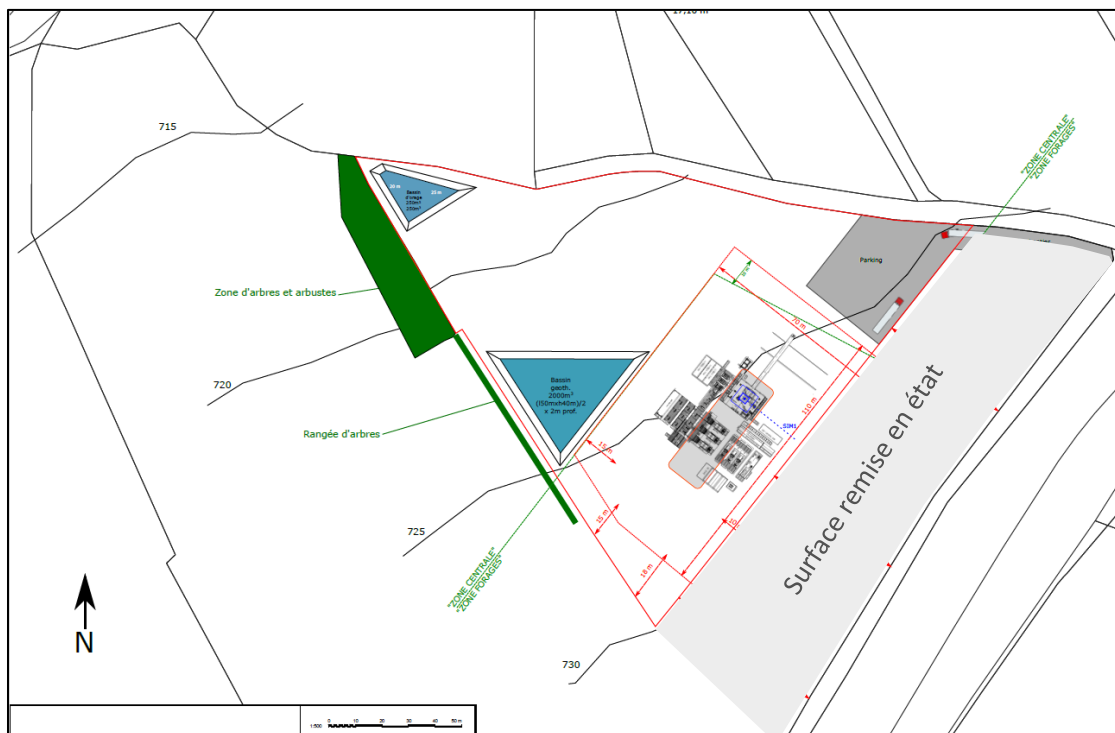


Figure 14 : Surface remise en état en cas d'exploitation

Dans le cas d'échec de la géothermie, il s'agira de remettre à l'état initial l'intégralité de la parcelle.

Cette étape comprendra :

- la démolition et l'évacuation en site de stockage agréé de l'ensemble des ouvrages techniques (plateforme, bassins) et aménagements (voierie, plateforme, zone de stockage, base vie, etc.)
- la dépose de la clôture,
- le nettoyage du fond de forme, griffage, scarification,
- la mise en place et régalage de la terre végétale, nivellement,
- le ramassage et l'enlèvement de tous les détritits,
- le nettoyage des routes après interventions.

Le ou les puits seront bouchés (voir la stratégie d'exploration et d'exploitation en pièce 4 et le programme de fermeture minier en pièce 6 du présent dossier) et fermé(s) avec une plaque soudée comportant le nom du puits gravé avec couverture végétalisée par-dessus.

Ces travaux seront réalisés pour assurer au propriétaire du sol les meilleures garanties de sécurité et de respect de l'environnement.

6. MOYENS MIS EN ŒUVRE

6.1. DURANT L'ÉTAPE N°1 : TRAVAUX PRÉPARATOIRES DE GENIE CIVIL

Une clôture sera posée tout autour de l'aire prévue pour les besoins du chantier de forage, installée au cours de l'étape n°1 et retirée à l'étape n°3, pendant les phases de travaux de génie civil.

Les travaux préparatoires à la réalisation de la plateforme, aux accès, et aux bassins nécessiteront des opérations de nivellement, de compactage, de terrassement et d'empierrement afin d'accueillir la machine pour l'étape n°2. Ces travaux requerront l'emploi d'engins conventionnels de travaux publics : pelles mécaniques, bulldozers, etc.

La machine qui réalisera les avant-trous planifiés au cours de l'étape n°1 n'est pas encore choisie parmi celles possible (différentes techniques sont possibles : rotary, battage, tarière, forage par percussion). C'est l'étude géotechnique qui précisera les caractéristiques de cette machine. L'utilisation d'une sondeuse adaptée (petite profondeur, facilement transportable) de type rotary sera a priori privilégiée.



Figure 15 : Photo d'une machine utilisée pour le forage de l'avant trou sur le projet d'Arcueil de type Rig 40 de Itag (2014)

Les caves autour des avant-trous seront réalisées avec l'aide d'une pelle mécanique et en ouvrage bétonné. Ces ouvrages feront entre 2 et 4 mètres de profondeur.

6.2. DURANT L'ÉTAPE N°2 : FORAGES

Le chantier est clos, inaccessible au public, et gardienné pendant la durée des travaux de l'étape n°2.

Le chantier sera balisé et sécurisé via une clôture pendant toute la durée des travaux. Son accès sera interdit au public par voie d'affichage. Le fonctionnement continu du chantier assurera une présence permanente (24/24) du personnel avec surveillance des entrées/sorties.

Une fois le forage et les essais courts réalisés pour le puits SIM1, la machine de forage sera démontée et récupérée par camions (environ 60 camions pendant 10 jours).

La machine reviendra si l'issue de la phase des tests longs sur SIM1 est positive pour forer le puits SIM2, puis sera de nouveau démontée et récupérée par camions.

Enfin, si l'issue de la phase des tests longs sur SIM2 est positive pour forer les puits SIM3 et SIM4, la machine reviendra pour effectuer tour à tour ces forages puis sera de nouveau démontée et récupérée par camions (environ 60 camions pendant 10 jours).

6.2.1. METHODE DE FORATION

Une machine de forage de type rotary poursuivra les phases de forage sur l'étape n°2 selon la Figure 16.

L'appareil de forage permet les fonctions de levage, rotation et pompage nécessaires à la réalisation du forage. Le mât sert à descendre le train des tiges de forage constitué d'un ensemble de tubes (ou tiges) vissés les uns aux autres au bout desquels se trouve l'outil de forage et un ensemble d'équipements de fond appelé garniture de forage. Le train de tige et la garniture de forage sont mis en rotation depuis la surface, un fluide de forage est pompé en continu dans les tiges creuses et ainsi, l'outil de forage broie la roche en fond de puits.

Le forage rotary utilise un outil de forage (ou trépan) à dents, à picots ou de type PDC sur lequel on applique une force procurée par le poids du train de tige et de la garniture de forage, tout en l'entraînant en rotation. Un fluide de forage est injecté en continu au niveau du trépan de manière à emporter les débris hors du trou grâce au courant ascensionnel du fluide vers la surface. Le poids appliqué sur l'outil est fourni par les masses-tiges vissées au-dessus de l'outil et prolongées jusqu'en surface par les tiges de forage, simples tubes vissés entre eux et qui assurent la transmission du mouvement de rotation et la canalisation du fluide de forage.

Le mouvement de rotation est obtenu soit par une table de rotation qui entraîne une tige d'entraînement solidaire des tiges de forage, soit par une tête d'injection montée sur une glissière dans le mât (Top Drive System ou TDS). Le mât est la superstructure métallique montée à l'aplomb du puits qui permet la manutention des tiges et soutient leur poids.

Le fluide de forage, constitué en général d'un mélange d'eau et de bentonite (argile naturelle) est utilisé en circuit fermé et injecté par une pompe à haute pression. Il assure la remontée des déblais produits par l'action des dents de l'outil, contribue au soutien des parois du puits et maintient en place par pression hydrostatique les fluides présents dans les terrains perméables.

Pour pallier aux éventuels problèmes liés à la mécanique des roches pendant le forage tel que le coincement d'outils, des manœuvres de contrôle en rotation sont réalisées de façon à éviter de laisser la garniture en statique. La densité et la rhéologie des fluides de forage sont ajustées aux cours des opérations.

Le puits est foré par intervalles ou phases de diamètres décroissants et concentriques. A la fin de chaque phase, un tubage en acier est mis en place dans le puits puis cimenté à l'extrados jusqu'à la surface (sauf pour les tubages de type liner qui sont suspendus dans le puits et donc cimentés jusqu'au système de suspension). En général, deux à quatre phases de forage sont nécessaires pour atteindre l'objectif fixé.

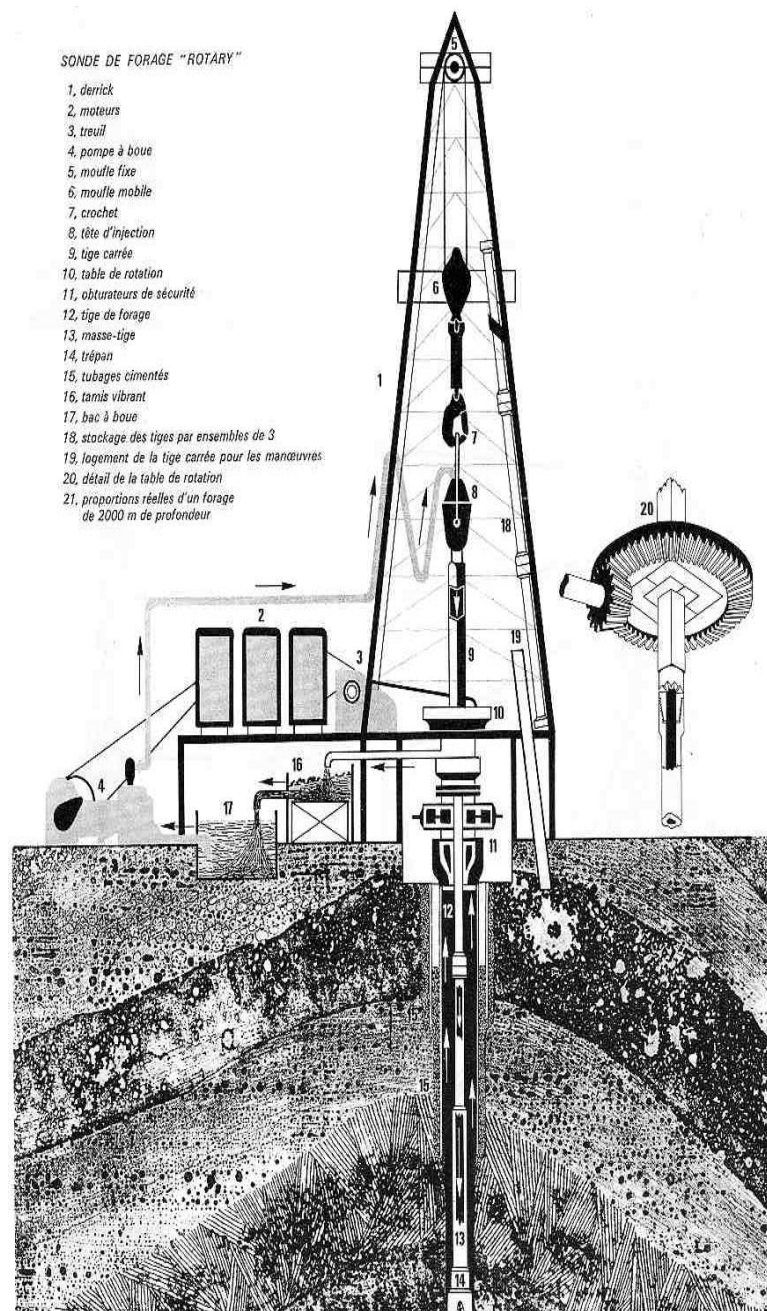


Figure 16 : Sonde de forage rotary (document ENSPM)

Pour le choix du tonnage du rig qui sera sélectionné pour réaliser les forages, c'est l'option la plus profonde (cible 2) qui a été utilisée. Pour chaque phase de forage, il a été réalisé un calcul de poids sur la base de la garniture de forage à utiliser pour forer le puits et sur la base de la colonne de tubage à descendre une fois la phase terminée. Compte-tenu du programme à mettre en œuvre, la machine de forage (rig) qui sera utilisée pour la réalisation des puits du projet aura une capacité minimale au crochet de 350 tonnes. La hauteur du mât de ce type de machine est comprise entre 30 et 40 mètres.

A titre indicatif, un rig de type « BENTEC 350 » a une puissance au treuil de 2000 HP, un Top Drive système de 1350 HP, 3 pompes de forage de 1600 HP chacune. L'alimentation du rig, lorsqu'elle est effectuée par des générateurs, comporte entre 3 et 4 générateurs, typiquement 4 générateurs de 1750 HP / 1950 KVA et un générateur de secours de 490 HP / 568 KVA.

Les impacts potentiels du forage sont en lien avec le lieu et l'architecture retenus pour le forage, ils sont détaillés dans l'étude d'impact. On peut cependant citer les principaux impacts potentiels liés au chantier où la machine est présente sur le terrain : les nuisances sonores, les nuisances visuelles, l'activité de rotation des camions de chantier.

Le raccordement du rig au réseau électrique sera analysé lors de l'étude technico-économique et sera privilégié, dans le cadre d'une démarche d'évitement, de réduction et de compensation.

6.2.2. LE CYCLE DE LA BOUE ET COMPOSITION

Le fluide de forage, plus communément appelé boue, est mélangé dans les bassins à boue puis est aspiré par des pompes à boue qui l'envoient vers la tête d'injection et les tiges de forage via la colonne montante. Le fluide passe alors par les orifices du trépan et remonte jusqu'à la surface par l'espace annulaire entre le trou et les tiges de forage.

La boue sortie du puits est chargée de déblais de forage, elle est envoyée vers le système de séparation liquide/solide constitué de tamis vibrants afin d'éliminer les déblais et de permettre une réutilisation de la boue (qui est renvoyée vers les bacs à boue une fois tamisée). Les déblais sont envoyés et stockés vers des bennes à déblais (demi-lunes) ou un bournier (étanches). Au moment des changements de phase de forage, la boue peut être changée.

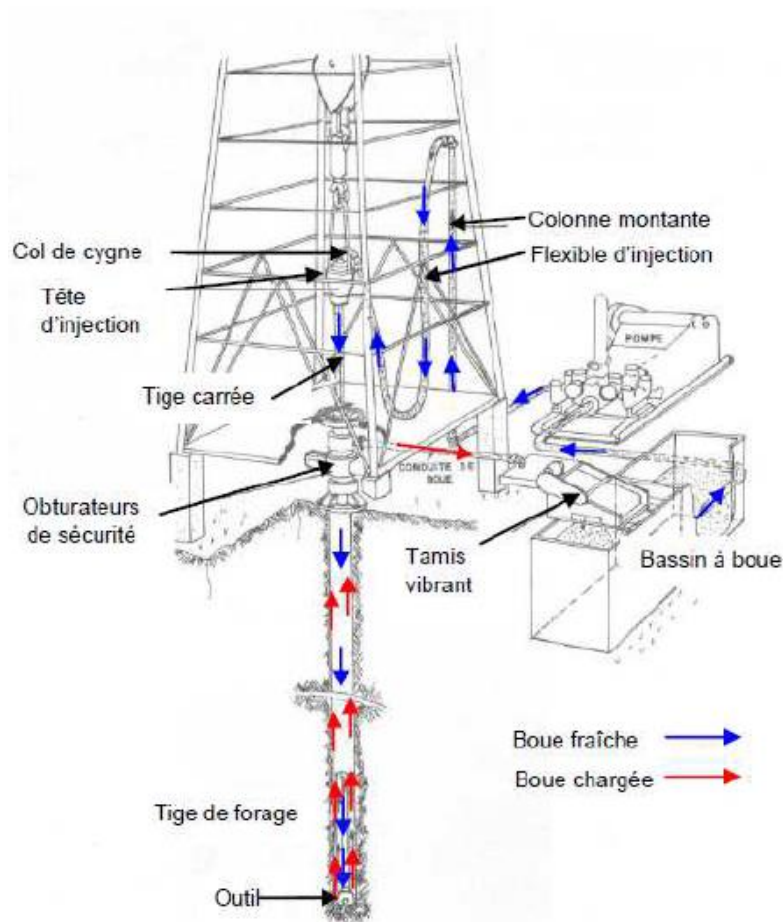


Schéma 1 : Schéma du circuit boue de chantier de forage (Leblond)

La formulation des boues, le contrôle et la caractérisation des boues de forage sont réalisés selon des normes précises éditées par l'API¹ basés sur quatre paramètres (densité, viscosité, filtrat, réactivité) en fonction des besoins (taux de gaz, alcalinité).

6.2.3. LA GESTION DES DEBLAIS DE FORAGE

Les déblais de forage seront contenus dans les boues de forage sous forme d'échantillons broyés de roche.

Une fois la séparation liquide/solide réalisée, les déblais seront envoyés vers les bennes à déblais ou un bournier (étanches). La phase solide sera alors évacuée par camions vers un centre de traitement adapté. Dans le cas d'un forage à la TD DEEP (forage le plus profond et le plus long en termes de durée de forage), le volume des déchets solides résultant des déblais est estimé à 460 m³ environ.

La boue utilisée et qu'il sera nécessaire de changer sera évacuée quant à elle en filière de traitement agréée. Dans le cas d'un forage à la TD DEEP (forage le plus profond et le plus long en termes de durée de forage), le volume des déchets liquides résultant de la boue de forage à évacuer est estimé à 3200 m³ environ.

6.2.4. LA GESTION DES EAUX DE RUISSELLEMENT

La plateforme de forage, le parking et la voirie (1,7 ha environ), imperméabilisés via un géotextile et/ou revêtement imperméable seront ceinturés par un fossé de façon à recueillir l'ensemble des eaux de ruissellement. La base vie et la zone de stockage supplémentaire (2000 m²), semi-imperméabilisées seront également ceinturées par un fossé pour recueillir les eaux de ruissellement excédentaires.

Ces fossés seront connectés au bassin d'orage.

Les eaux de ruissellement au droit du plancher de forage (600 m²) s'écouleront vers les caves. Elles seront équipées de pompe vide-cave pour évacuation vers le bassin d'orage ou en filière de traitement agréée en cas de pollution.

Le bassin, dimensionné pour une occurrence vicennale, sera équipé d'un organe de régulation et de traitement afin de garantir un rejet au milieu naturel conforme aux limites fixées par l'article 21 de l'arrêté du 14 octobre 2016 relatif aux travaux de recherches par forage et d'exploitation par puits de substances minières :

- Matières en suspension totale (MEST) 100 mg/l ;
- DBO5 : 100 mg/l
- DCO : 300 mg/l ;
- Hydrocarbures totaux : 5 mg/l.

Les eaux et épandages accidentels collectés sur le plancher de forage seront dirigés vers les caves de puits en béton armé et ne peuvent être évacués que par pompe de relevage, comme mentionné précédemment. Le dimensionnement des capacités de rétention de la plateforme sera précisé après la réalisation des études techniques et des choix d'équipement et répondra aux exigences de l'article 22 de l'arrêté du 14 octobre 2016. Les produits récupérés en cas d'incident seront réutilisés après traitement si nécessaire, ou éliminés comme déchets en filière adaptée.

¹ API 13A, 2004

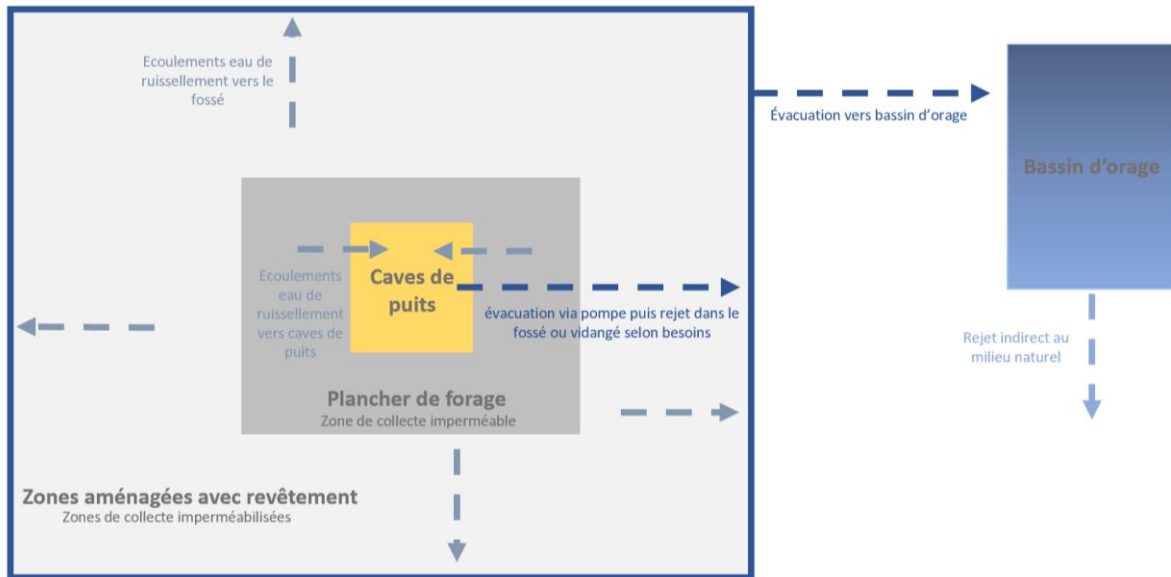


Schéma 2 : Principe des écoulements des eaux de ruissellement

Les dispositions techniques adoptées pour la gestion des ruissellements (cf. p. 163 et s. de l'étude d'impact) permettront d'assurer une régulation des eaux pluviales produites par les surfaces aménagées jusqu'à une occurrence vicennale au moyen d'un bassin de rétention dûment dimensionné, associé à un débourbeur-déshuileur, et muni d'un débit de fuite très faible (3,5 l/s). Le bassin permettra une décantation partielle des eaux ruisselées et ainsi un abattement significatif des matières en suspension. Le rejet de ce bassin (débit de fuite et trop-plein) se fera en direction de la Miouze via un exutoire favorisant l'infiltration à créer en limite aval de la parcelle ZD104 (principe et tracé à définir).

Un suivi de la qualité des rejets en eaux sera réalisé pendant toute la durée des travaux de recherche. Il est envisagé :

- 3 points de surveillance (cf. illustration ci-après) :
 - o En amont du point de rejet (mais en aval de la confluence avec le petit ru affluent rive droite),
 - o en aval du point de rejet,
 - o au niveau du rejet : en sortie du bassin de rétention ou en aval du fossé d'évacuation avant rejet dans la Miouze.
- Paramètres suivis (compte tenu de la nature des rejets - eaux pluviales ruisselées sur la plateforme de forage et la base vie, pas de rejet d'eaux géothermales) :
 - o MES, DCO, DBO, hydrocarbures totaux
 - o Débit, température, pH et conductivité
- Fréquence des prélèvements :
 - o Prélèvements trimestriels durant les travaux de recherches.

Pour plus de détails sur la qualité des rejets et le maintien du bon état de la Miouze se référer à la Pièce 8 du présent dossier.

6.2.5. EQUIPEMENTS DES PUIITS

Pendant le forage, un équipement de bloc d'obturation de puits – BOP (obturateurs de sécurité) sera mis en place sur chaque tête de puits (entre la table de rotation et l'orifice du puits) permettant une fermeture d'urgence en toutes circonstances pendant les phases de forage des niveaux potentiellement éruptifs. Lors du forage, l'artésianisme sera constamment contrôlé par la densité des fluides de forage sélectionnés pour compenser la pression de fond. La densité des fluides de forage pourra être modifiée afin de palier à des changements de pression de fond. En cas de contrôle de venue requis, la venue sera évacuée puis une boue plus lourde sera circulée dans le puits afin de regagner le contrôle.

Le BOP sera adapté à chaque phase de forage selon le diamètre des cuvelages et des tiges de foration : il sera installé juste après la pose du premier tubage et sera maintenu présent tout au long des opérations suivantes. En fonction des phases, il sera constitué des éléments suivants :

- un obturateur annulaire à membrane ;
- un ou deux obturateurs à mâchoires pour une fermeture sur matériel tubulaire ;
- un spool de forage qui dispose de deux sorties latérales. Ces deux sorties sont prévues pour recevoir la « Kill line » (ligne d'injection) et la « Choke line » (ligne d'évacuation).

A l'issue du chantier, les puits seront équipés de têtes de puits conformes aux normes en vigueur.

Avec 200°C en température maximale attendue au fond et une pression maximale en tête (puits plein de vapeur) de 16.6 MPa (selon la méthode de design de la « Minimum casing shoe depth selection » du standard NZS 2403:2015), une tête de puits de classe API 3000 sera nécessaire pour les puits. Ce modèle de tête de puits est utilisable jusqu'à une pression de 19.2 MPa pour la température maximale attendue de 200°C. Par ailleurs à la pression maximale attendue de 16.6 MPa, elle est adéquate jusqu'à une température de 294°C. Les têtes de puits de classe API 3000 sont des têtes de puits standards couramment utilisées dans l'industrie. La figure suivante présente l'évolution des pressions de service des têtes de puits/vannes/brides en fonction de la température selon ANSI-ASME B16.5 et API 6A

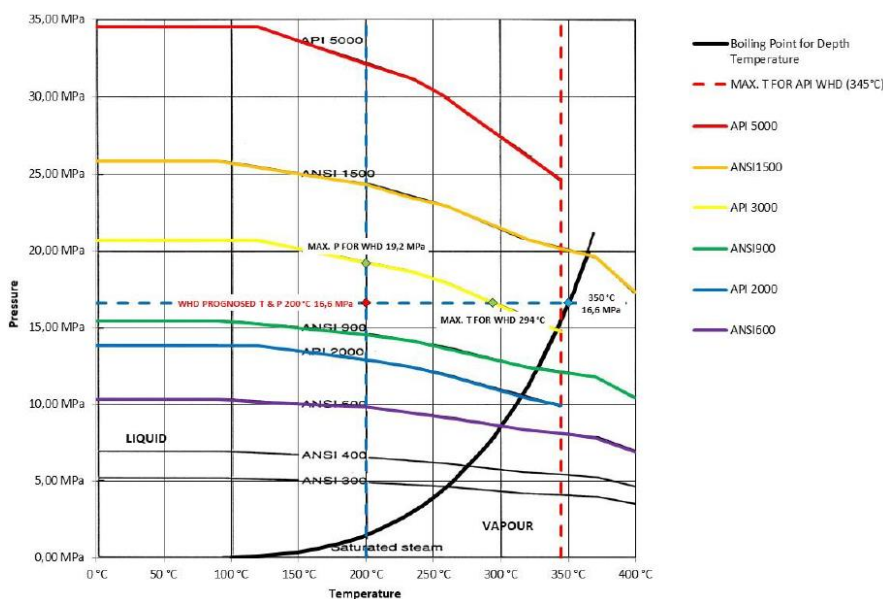


Figure 17 : Choix des pressions de service des têtes de puits

L'équipement d'une tête de puits comprendra les équipements suivants :

- Une casing head vissée ou soudée sur le 18 5/8" csg et qui permet d'accommoder le hanger du casing 13 3/8" csg
- Une spacer spool / separation spool
- Une master valve
- Un flow tee
- Une side valve
- Une companion flange sur le dessus avec une lubricator valve

Un exemple de tête de puits de production est présenté dans la figure ci-après.

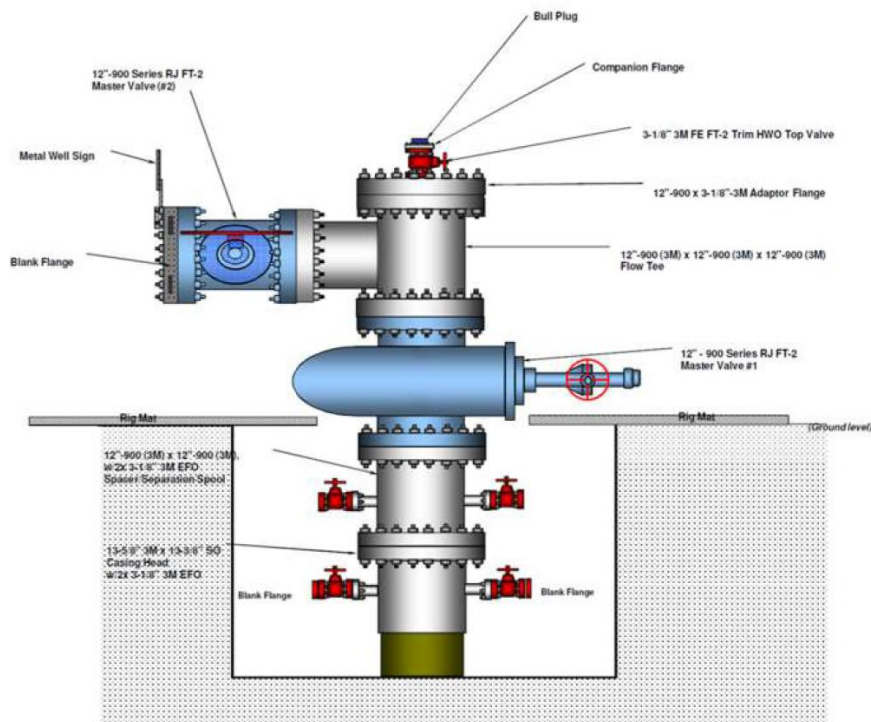


Figure 18 : Exemple de tête de puits pour une exploitation en géothermie haute température

Les tubages, gaines et équipements de puits seront choisis en fonction de leurs spécifications techniques pour protéger l'installation contre la corrosion et de la croissance bactérienne conformément à l'article 5, "Protection contre la corrosion et les développements bactériens", 1er chapitre de la section de forage dans le RGIE.

Des mesures localisées en tête du puits de production et sur un autre point du puits seront réalisées afin de spécifier in situ et en laboratoire la nature des précipités/dépôts et de suivre le potentiel de corrosion et enfin de déterminer la vitesse de corrosion.

Si nécessaire, des inhibiteurs de corrosion compatibles avec l'eau géothermale à traiter pourront être utilisés. Ils pourront être cathodiques (produits organiques cationiques ou moléculaires) ou anodiques (inhibiteurs minéraux).

Le choix définitif des qualités d'équipements sera communiqué à la DREAL au plus tard 30 jours avant le démarrage des travaux de forage.

6.3. DURANT L'ETAPE N°3 : TRAVAUX DE GENIE CIVIL DE FIN DE CHANTIER

Les opérations de mise en conformité de la chaussée de la plate-forme en cas de succès ou de remise en état à l'initial en cas d'échec requerront l'emploi d'engins conventionnels de travaux publics : pelles mécaniques, bulldozers, etc.

7. ORGANISATION DU TRAVAIL POUR CES TRAVAUX

7.1. DURANT L'ETAPE N°1 ET N°3 : TRAVAUX DE GENIE CIVIL

Les travaux de génie civil seront réalisés par des entreprises de génie civil sous la responsabilité de STORENGY (maître d'œuvre) représentée par un superviseur, pour le compte de la société GEOPULSE (maître d'ouvrage). Le travail sera effectué aux horaires de jours.

7.2. DURANT L'ETAPE N°2 : FORAGES

Les travaux seront réalisés par des sociétés de prestations de services ou prestataires spécialisés pilotés et sous la responsabilité de STORENGY pour le compte de la société GEOPULSE.

Les travaux réalisés pendant l'étape n°2 seront réalisés en continu (24h/24) et 7j/7 pour des raisons de sécurité et de bonne réalisation de l'ouvrage. Cette organisation du travail est calée sur les pratiques de la profession pour la construction de ces forages profonds :

- les activités seront organisées par équipes postées, 7 jours sur 7 avec des demandes d'autorisation de travail le dimanche ;
- les périodes de récupération seront organisées pour maintenir les durées de travail dans les limites définies par le Code du travail.
- les autres opérations s'effectueront selon un régime horaire classique de 8 heures par jour, 5 jours sur 7, sauf situations exceptionnelles de courtes durées qui seront gérées, le cas échéant, dans le respect du Code du travail (par exemple lors d'une opération de diagraphie, intervention urgente ou cas d'alarme pendant le week-end...).

Par conséquent un éclairage adapté permettant le travail nocturne en sécurité sur les zones de travail, les aires de stockage, les accès du chantier ainsi que son abord immédiat sera mis en œuvre.

Les horaires de travail sont organisés en fonction des besoins du chantier, tout en respectant les exigences réglementaires, mais également les accords et conventions des entreprises intervenantes. Le cas échéant, des demandes de dérogation au titre du code du travail seront faites par l'entreprise intervenante ou par le pétitionnaire, et les éléments seront transmis à l'administration dans les délais impartis.

Toutes entreprises confondues, l'effectif qui serait présent en permanence sur le site est d'environ 20 personnes :

- entreprise de forage : maximum 10 personnes présentes sur le site simultanément sauf situation exceptionnelle de courte durée (mobilisation et démobilitation de la machine de forage) ;
- sous-traitants divers (génie civil, transporteurs, opérateurs diagraphie, cimentation,) : maximum de 20 personnes présentes simultanément sur le site sauf situation de relève d'équipe ;

- personnel d'encadrement et de supervision (maître d'ouvrage, maître d'œuvre, superviseurs...) : 8 personnes maximum simultanément sur le site sauf pour les réunions de chantier (15 personnes maximum).

8. IMPLANTATION SOUS-SOL DES TRAVAUX MINIERS

Les informations qui suivent concernant l'implantation en sous-sol, les trajectoires et les volumes cibles, sont données ici à titre indicatif. Elles feront l'objet d'un document dédié et détaillé qui présentera également le détail du programme de forage, et sera soumis au plus tard un mois avant le début des travaux miniers.

8.1. PRONOSTIC DE LITHOLOGIE RENCONTREE

Les lithologies sont calculées à partir d'un modèle 3D de lithologie. Les zones de failles sont très importantes dans ce projet car elles canalisent et accentuent les écoulements fluides qui sont à la base de l'exploitation de la ressource thermique du sous-sol.

On leur attribue 3 types :

- non réservoir (probablement perméable mais trop peu profond, donc probablement trop froid) ;
- secondaire (cibles un peu plus profondes, nécessitant une confirmation) ;
- profonde (cibles principales).

Toutes les zones endommagées autour des failles ("Zone de faille") ont une épaisseur d'environ 200m +/-100m. Les zones de failles peuvent se chevaucher lorsque deux failles sont rencontrées à moins de 200m.

Les ensembles géologiques susceptibles d'être traversés depuis la surface jusqu'à la cible sont décrit ci-dessous.

- Série métamorphique de la Moyenne Dordogne (prolongement) ou de Bourg-Lastic :
 - Gneiss indifférenciés à biotite, sillimanite, orthose, +/- muscovite
 - Micaschistes quartzo-feldspathiques
 - Micaschistes alumineux

Pouvant être entrecoupée de :

- Filons basaltiques à tendance doléritique du Tertiaire/Quaternaire
- Microgranites à microleucogranites, porphyriques, en petits massifs ou filons
- Microgranite porphyroïde à cordiérite (faciès filonien)
- Socle hercynien, Massif de Gelles (Série Granitique massive)
 - Granite porphyroïde à biotite et cordiérite
 - Granite fin à biotite et cordiérite

Les lithologies attendues et les zones de failles intersectées pour chaque forage sont présentées Figure 19 à Figure 22 ci-après.

Ces cotes sont susceptibles d'évoluer compte-tenu du contexte exploratoire des travaux et seront ajustées en fonction de la profondeur réelle des formations rencontrées en phase opérationnelle.

LITHOLOGY and FAULTED ZONES	MD m
Metamorphic section	0
Granite section	1440
ROCH2 Fault zone Non-reservoir	1053
MIOUZE1 Fault zone Main target	2640
PONTGW2 Fault zone Main target	3155
MIOUZE2 Fault zone Deep Main target	3792
TOTAL DEPTH 1	3565
TOTAL DEPTH deep (drilling extension)	4000

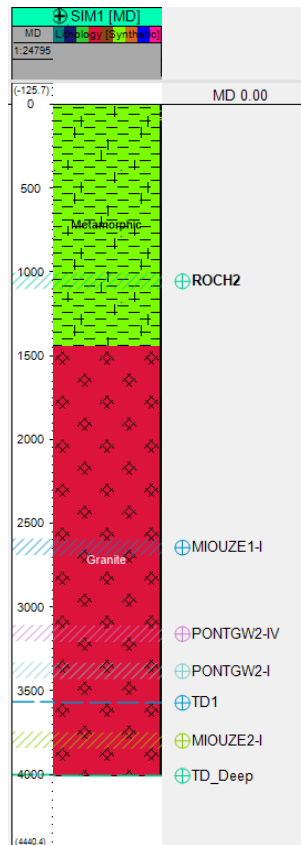


Figure 19 : Pronostic lithologique du puits SIM1 et zones de failles intersectées.

LITHOLOGY	MD m
Metamorphic section	0
Granite section	1272
MIOUZE1 Fault zone Non-reservoir	1002
MIOUZE2 Fault zone 2ndary target	1843
GELLES Fault zone Main target	2898
PONTGW1 Fault zone Main target	3045
PONTGW2 Fault zone Deep Main target	3416
TOTAL DEPTH 1	3182
TOTAL DEPTH deep (drilling extension)	3725

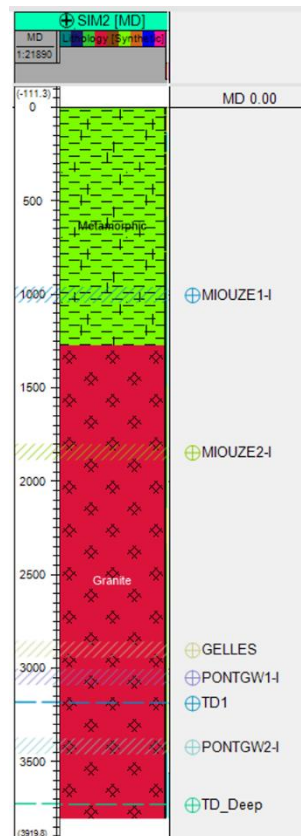


Figure 20 : Pronostic lithologique du puits SIM2 et zones de failles intersectées.

LITHOLOGY	MD m
Metamorphic section	0
Granite section	1299
ROCH2 Fault zone Non-reservoir	977
MIOUZE1 Fault zone Non-reservoir	1247
MIOUZE2 Fault zone 2ndary target	2182
PONTGW1 Fault zone Main target	2411
PONTGW2 Fault zone Main target	2462
PONTGW3 Fault zone Main target	3571
TOTAL DEPTH 1	3404
TOTAL DEPTH deep (drilling extension)	3900

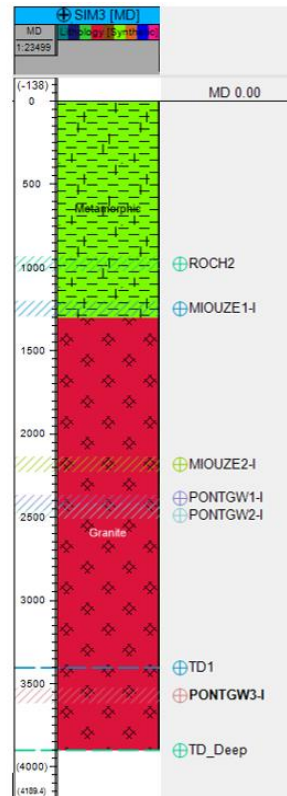


Figure 21 : Pronostic lithologique du puits SIM3 et zones de failles intersectées

LITHOLOGY	MD m
Metamorphic section	0
Granite section	1446
ROCH2 Fault zone Non-reservoir	1188
MIOUZE1 Fault zone Secondary target	1608
MIOUZE2 Fault zone Main target	3074
TOTAL DEPTH 1	3318
TOTAL DEPTH deep (drilling extension)	3800

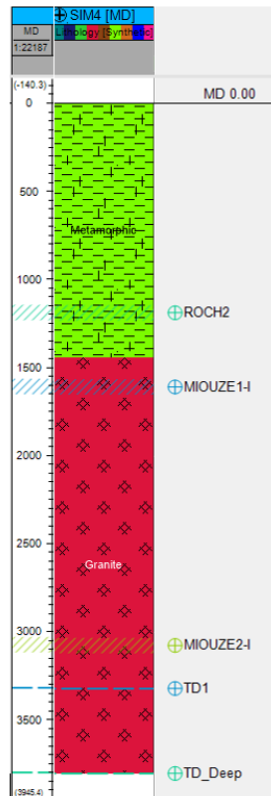


Figure 22 : Pronostic lithologique du puits SIM4 et zones de failles intersectées.

Les cartes présentées ci-après projettent la localisation présagée des failles ciblées. Nous rappelons que la position de ces failles et leurs caractéristiques sont issues de l'interprétation géologique du secteur et seront précisées lors des forages et mesures associées.

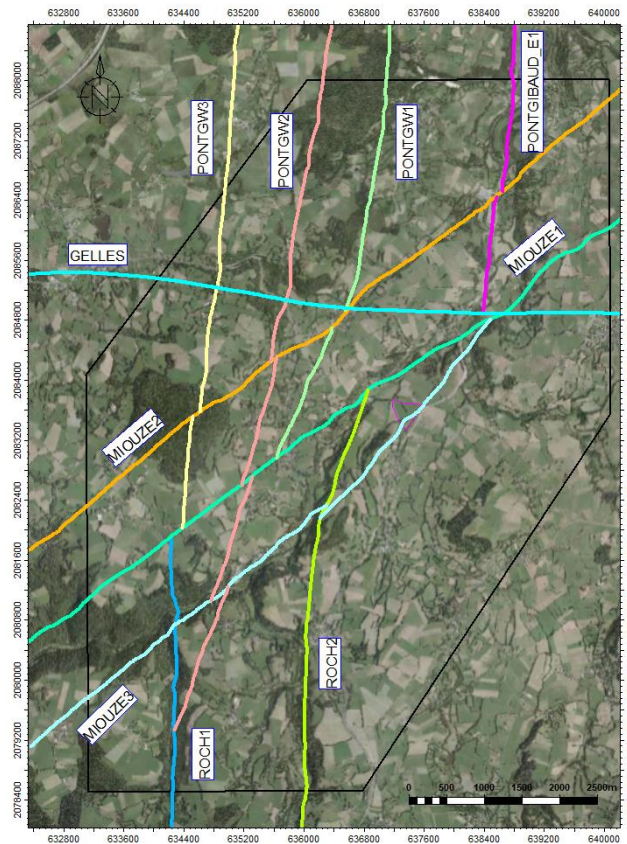


Figure 23 : Réseau de faille cartographié sur la zone du projet Sioule-Miouze

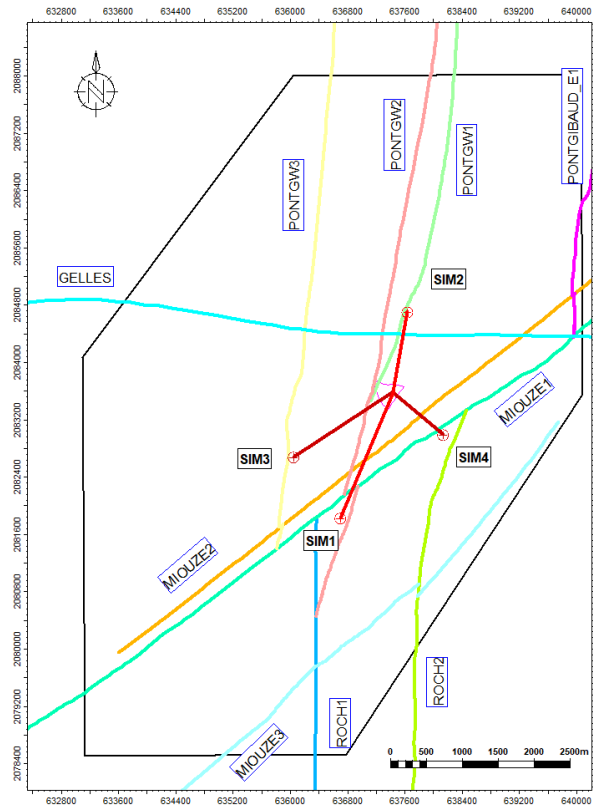


Figure 24 : Réseau de failles à 2000m (nm).

Les failles ont été cartées en surface à partir de l'étude de linéaments sur cartes topographiques et images satellites reliées à des relevés de géologie structurale sur le terrain. Les pendages des plans de faille identifiés ont également été mesurés. Le pendage moyen pour chaque faille a été conservé pour donner son prolongement en profondeur, globalement validé par les inversions de données géophysique.

Puits SIM1

Comme spécifié Figure 19 et illustré Figure 25, le puits SIM1 vise les failles Miouze1, PontgibaudW2 (PontGW2) et, en cas d'approfondissement si la ressource était insuffisante, la faille Miouze2.

La faille Miouze1 est orientée N55° et présente un pendage à vergence sud-est d'environ 65°.

La faille PontgibaudW2 est orientée localement N10° et elle appartient à un important réseau d'une faille majeure N-S. Elle présente un pendage à vergence est d'environ 60°.

Des intersections entre ces deux premières failles se trouvent à proximité de SIM1 et on s'attend à une fracturation importante à partir de l'intersection du puits avec la faille Miouze1.

La faille Miouze2 est orientée N52° et présente un pendage à vergence sud-est d'environ 55°. Elle intersecte la faille PontgibaudW2 à proximité du puits SIM1, si bien que l'on s'attend également à une zone très fracturée dans SIM1 après avoir passé la faille PontgibaudW2. D'autre part, en raison de leur différence de pendage, le modèle prévoit une intersection entre Miouze1 et Miouze2 à proximité de SIM1 vers le sud-est, favorisant d'autant mieux la présence de fracturation naturelle.

Puits SIM2

Comme spécifié Figure 20 et illustré Figure 25, le puits SIM2 vise la faille Miouze2 comme cible secondaire, la faille étant encore relativement peu profonde à la cote où elle est intersectée. Le puits

visent surtout les failles de Gelles, PontgibaudW1 (PontgW1) et, en cas d'approfondissement si la ressource était insuffisante, la faille PontgibaudW2 (PontgW2).

La faille Miouze2 est orientée N52° et présente un pendage à vergence sud-est d'environ 55°.

La faille de Gelles est orientée N90° et présente un pendage à vergence sud d'environ 78°.

La faille PontgibaudW1 est orientée localement N20° et elle appartient à un important réseau d'une faille majeure N-S. Elle présente un pendage local à vergence est d'environ 68°.

Des intersections entre ces deux dernières failles se trouvent à proximité de SIM2 et on s'attend à une fracturation importante à partir de l'intersection du puits avec la faille de Gelles.

La faille PontgibaudW2 est orientée localement N10° et elle appartient à un important réseau d'une faille majeure N-S. Elle présente un pendage à vergence est d'environ 60°. Elle est particulièrement proche de la faille PontgibaudW1 et elle intersecte la faille de Gelles aux alentours du puits, pouvant favoriser une fracturation naturelle importante entre les deux failles.

Puits SIM3

Comme spécifié Figure 21 et illustré Figure 25, le puits SIM3 vise la faille Miouze2 comme cible secondaire, si la température y est suffisamment élevée, la faille étant encore relativement peu profonde à la cote où elle est intersectée. Le puits vise surtout les failles de PontgibaudW1 (PontgW1) et PontgibaudW2 (PontgW2) et, en cas d'approfondissement si la ressource était insuffisante, la faille PontgibaudW3 (PontgW3).

La faille Miouze2 est orientée N52° et présente un pendage à vergence sud-est d'environ 55°.

La faille PontgibaudW1 est orientée localement N20° et elle appartient à un important réseau d'une faille majeure N-S. Elle présente un pendage local à vergence est d'environ 68°.

La faille PontgibaudW2 est orientée localement N10° et elle appartient à un important réseau d'une faille majeure N-S. Elle présente un pendage à vergence est d'environ 60°.

L'intersection entre ces deux dernières failles se trouve dans le voisinage immédiat de SIM3 et on s'attend à une fracturation importante autour de cette intersection. L'intersection de ces deux failles avec la faille Miouze2 est également proche.

La faille PontgibaudW3 est orientée localement N0° et elle appartient à un important réseau d'une faille majeure N-S. Elle présente un pendage à vergence est d'environ 62°.

Puits SIM4

Comme spécifié Figure 22 et illustré Figure 25, le puits SIM4 vise la faille Miouze2 dans une zone proche de l'intersection entre les failles Miouze2 et Miouze1.

La faille Miouze2 est orientée N52° et présente un pendage à vergence sud-est d'environ 55°.

Ne disposant pas de puits analogue dans la région et, l'état soit de la zone fracturée (ouverture, minéralisation, largeur...), soit de l'altération de la roche encaissante étant inconnues, aucune propriété hydraulique ne saurait être donnée avec précision avant le forage des puits. Le milieu attendu est un milieu fracturé à faible porosité (2-5%), hétérogène, augmenté localement d'une porosité matrice connectée dans les zones d'altération (jusqu'à 15-20%). Les perméabilités attendues dans les zones réservoir sont en moyenne de 20 mD, montant localement jusqu'à 1D.

8.2. TRAJECTOIRES, PROFONDEURS ET VOLUMES CIBLES DES FORAGES

Les trajectoires prévisionnelles de chacun des puits résultent de l'état des connaissances actuelles obtenues à partir des acquisitions géologiques, des analyses de ces résultats, des modèles géologiques et géophysiques et de la modélisation des impacts en pression et impact thermique conséquences de la production d'eau d'un réservoir en milieu de socle fracturé et à l'injection de cette même eau refroidie dans ce même réservoir (la modélisation est présentée au chapitre suivant).

Les trajectoires des puits sont conçues pour atteindre le sous-sol granitique (Carbonifère) et pour intercepter les grands accidents identifiés du sous-sol (failles et réseaux de fractures associés). Cela induit la possibilité de solliciter une à plusieurs zones d'alimentation (« feed zones ») sur le découvert de chaque puits.

En fonction des études plus poussées et/ou des résultats du premier puits, l'ordre des puits pourrait être modifié.

Compte-tenu du caractère exploratoire de ce projet, la profondeur finale pourra varier :

- Scénario 1 : la zone de basse résistivité est la zone à produire. La profondeur finale TD1 attendue est la moins profonde.
- Scénario 2 : la zone de basse résistivité correspond à une zone de fractures argilisées. La TD attendue sera la TD DEEP (option avec clay cap²)

La trajectoire des puits à partir de leurs coordonnées de surface est résumée dans le tableau ci-dessous. La deuxième section du tableau correspond au scénario de trajectoire étendue (environ + 500 mMD). Il est à noter que pour éviter les collisions de trajectoire entre puits, le puits SIM2 comporte deux sections de construction : vers le Nord-Ouest (azimut 340°) jusqu'à atteindre une inclinaison de 6° (60m) et ensuite en tournant vers l'azimut de 30° dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à atteindre une inclinaison de 23°.

	SIM1 (puits producteur)	SIM2 (puits injecteur)		SIM3 (puits producteur)	SIM4 (puits injecteur)
Azimut	N203°	N340°	N10°	N237°	N130°
KOP	700 m	700 m	760°	700 m	700 m
Progression de la trajectoire	3.26°/30 m	3°/30 m	2.26°/30 m	3.3°/30 m	1.8°/30 m
Angle final de la trajectoire	38°	6°	23°	33°	18°
Profondeur final (TD1)	- 3556 m MD	-3182 m MD		-3403 m MF	-3318 m MD
Profondeur final (TD-Depth)	-4000 m MD	-3725 m MD		-3900 m MD	-3800 m MD

Tableau 3 : Trajectoires prévisionnelles des forages

² Clay cap ou couverture argileuse : roche altérée en argile (smectite) et donc colmatée par la circulation hydrothermale de fluides descendant sous un certain seuil de température (150 à 200°C selon la roche), surmontant un réservoir où la température est plus élevée.

Ces trajectoires sont susceptibles d'évoluer selon les données acquises avant et en cours de forage : les trajectoires des puits SIM2, SIM3 et SIM4 seront recalées en fonction des résultats du premier forage exploratoire SIM1 puis des données acquises au cours des autres forages.

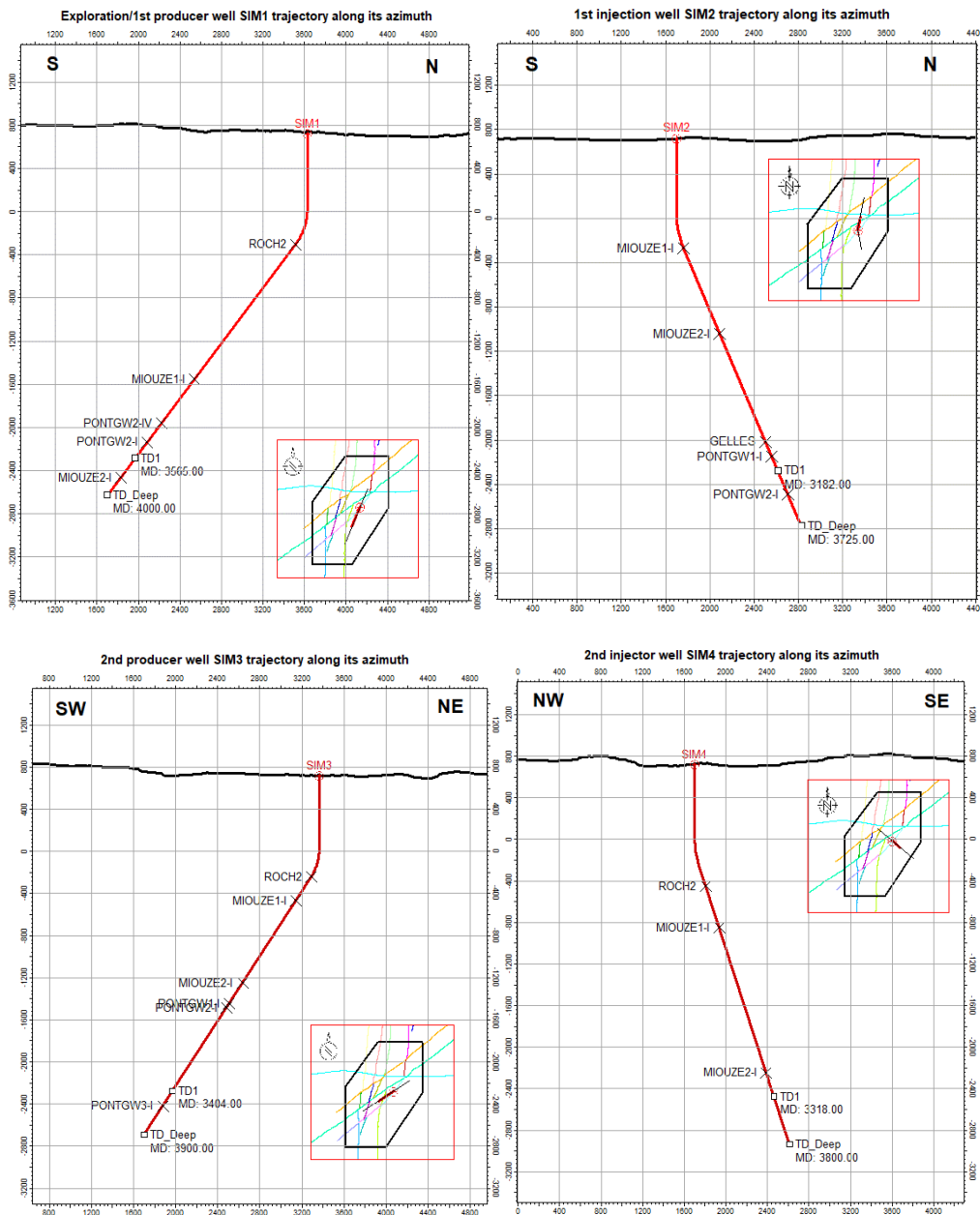


Figure 25 : Trajectoires prévisionnelles des forages de la surface aux cibles en l'état des connaissances actuelles.

Les coordonnées des cibles géologiques au toit du réservoir des puits SIM1 et SIM2, en Lambert 93, sont reportées dans le tableau ci-dessous.

	SIM1 (puits producteur)	SIM2 (puits injecteur)
Coordonnées X	685410.49	685916.5
Coordonnées Y	6515937.04	6517414.48
Profondeur	2256 m TVD	2047 m TVD

Tableau 4 : Coordonnées des puits SIM1 et SIM2 au toit du réservoir en en Lambert 93

Les coordonnées des cibles géologiques au toit du réservoir des puits du second doublet constitué des puits SIM3 et SIM4, en Lambert 93, sont reportées dans le tableau ci-dessous.

	SIM3 (puits producteur)	SIM4 puits injecteur)
Coordonnées X	685158.28	686091.04
Coordonnées Y	6516479.69	6516665.67
Profondeur	2074 m TVD	1950 m TVD

Tableau 5 : Coordonnées des puits SIM3 et SIM4 au toit du réservoir en Lambert 93

Il a été défini des volumes cibles relativement larges permettent de définir une cible à l'intérieur de chaque volume. Ces volumes sont définis comme des parallélépipèdes rectangles autour de la trajectoire actuellement envisagée de chacun des puits.

Les localisations prévisionnelles des volumes cibles au regard du périmètre de recherches de la Sioule- Miouze sont représentées dans la figure ci-après.

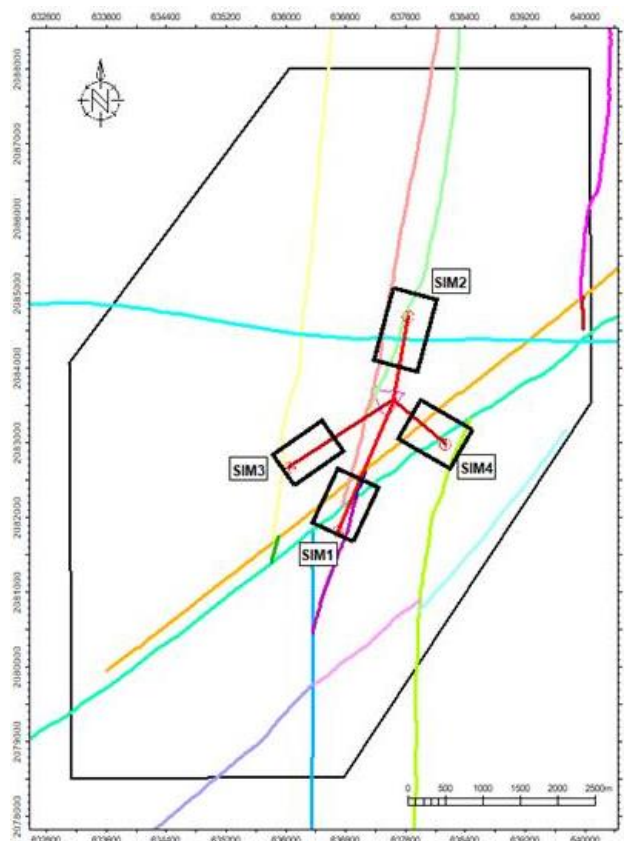


Figure 26 : Vue aérienne des volumes cibles autour des 4 puits actuellement prévus

Ces volumes sont également représentés en vue 3D en Figure 27.

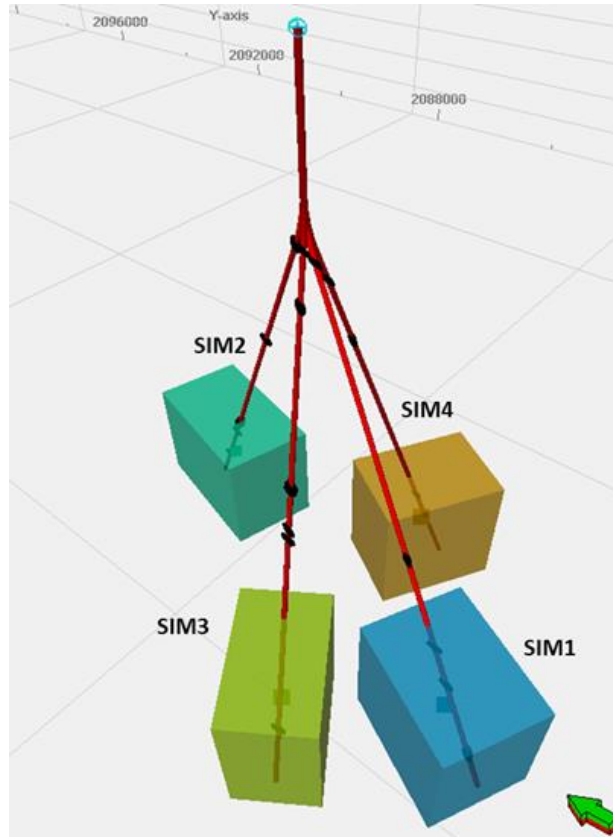


Figure 27 : Vue en 3D depuis le sud-ouest des 4 volumes cibles associés aux puits actuellement prévus

Le volume cible du puits SIM1 est défini ainsi :

	Centre du parallélépipède
Coordonnées X	685175.77
Coordonnées Y	6515471.42
Profondeur	2250 mNM

- Longueur le long de l'axe N205°, 400m de part et d'autre du centre
- Largeur de 300m de part et d'autre du centre
- Hauteur de 400m de part et d'autre du centre

Le volume représente donc un parallélépipède rectangle de dimensions L800xI600xh800 m

Le volume cible du puits SIM2 est défini ainsi :

	Centre du parallélépipède
Coordonnées X	685095.64
Coordonnées Y	6517820.05
Profondeur	2400 mNM

- Longueur le long de l'axe N15°, 500m de part et d'autre du centre
- Largeur de 300m de part et d'autre du centre
- Hauteur de 400m de part et d'autre du centre

Le volume représente donc un parallélépipède rectangle de dimensions L1000xI600xh800 m

Le volume cible du puits SIM3 est défini ainsi :

	Centre du parallélépipède
Coordonnées X	684682.13
Coordonnées Y	6516174.97
Profondeur	2300 mNM

- Longueur le long de l'axe N235°, 400m de part et d'autre du centre
- Largeur de 250m de part et d'autre du centre
- Hauteur de 450m de part et d'autre du centre

Le volume représente donc un parallélépipède rectangle de dimensions L800xI500xh900 m

Le volume cible du puits SIM4 est défini ainsi :

	Centre du parallélépipède
Coordonnées X	686382.63
Coordonnées Y	6516410.43
Profondeur	2500 mNM

- Longueur le long de l'axe N120°, 400m de part et d'autre du centre
- Largeur de 300m de part et d'autre du centre
- Hauteur de 450m de part et d'autre du centre

Le volume représente donc un parallélépipède rectangle de dimensions L800xI600xh900 m

9. MODELISATION ET SIMULATION DU RESERVOIR

Storengy a approfondi les études géologiques et construit en interne le modèle géologique 3D de façon à pouvoir évaluer les impacts et valider la distance et la position du/des doublet(s) de géothermie.

La modélisation réservoir a été effectuée à l'aide de deux logiciels de simulation numérique :

- Eclipse 100 avec l'option Thermal : Eclipse est la référence pour la simulation dans le domaine de l'Exploration Production pétrolière. L'option thermique n'est pas aussi complète que pour d'autres simulateurs, notamment certaines propriétés de l'eau ne varient pas avec la température (densité). Ainsi les phénomènes de convection naturelle ne peuvent être modélisés. En revanche, il s'agit d'une référence dans les représentations doubles milieux et certains problèmes de transport associés.
- AD-GPRS : il s'agit d'un simulateur thermique développé par l'université de Stanford, qui peut être utilisé pour modéliser les phénomènes de convection. Les simulations sur AD-GPRS ne pouvant être effectuées qu'en simple milieu, une grille avec une porosité et perméabilité équivalente a été générée.

L'objectif des simulations réservoir est d'évaluer au mieux les aspects "convection forcée" du fluide géothermal entre les puits du/des doublet(s) et en particulier le risque de percée thermique et l'efficacité du maintien de pression lié à la réinjection.

Dans tous les cas, l'hypothèse que le fluide géothermal est à l'état liquide pendant la durée d'exploitation (pas de steam cap³) a été faite, ce qui est cohérent avec les conditions de pression/température attendues.

9.1. MODELE CONCEPTUEL

Le modèle numérique est une représentation géométrique simplifiée de la réalité, réalisé grâce aux données disponibles et à l'interprétation qui en a été faite (nombre de fractures en fonction de la distance aux failles, altération associée, épaisseur productrice, porosité, perméabilité, ...).

Le réservoir modélisé est composé d'une seule unité granitique et est lié à la présence des failles. Il est surmonté de terrains métamorphiques (Unité Supérieure des Gneiss) dont l'épaisseur dépend des affleurements observés sur le terrain et de la carte géologique. Le milieu fracturé peut être associé à un milieu matriciel développé par l'altération hydrothermale. Le réservoir a donc été modélisé comme double milieu fracture-matrice, les fractures étant fonction de la distance à deux types de failles, N-S (réseau de Pontgibaud) à pendage 60°E et NE-SO (réseau Miouze) à pendage 60°SE. L'altération matricielle est modélisée également dans les zones fracturées où le fluide hydrothermal peut circuler.

L'épaisseur des épontes supérieure et inférieure est prise suffisamment grande pour éviter les interférences thermiques avec les limites du modèle (Figure 28).

³ Steam cap : partie supérieure d'un réservoir où l'eau est à l'état de vapeur.

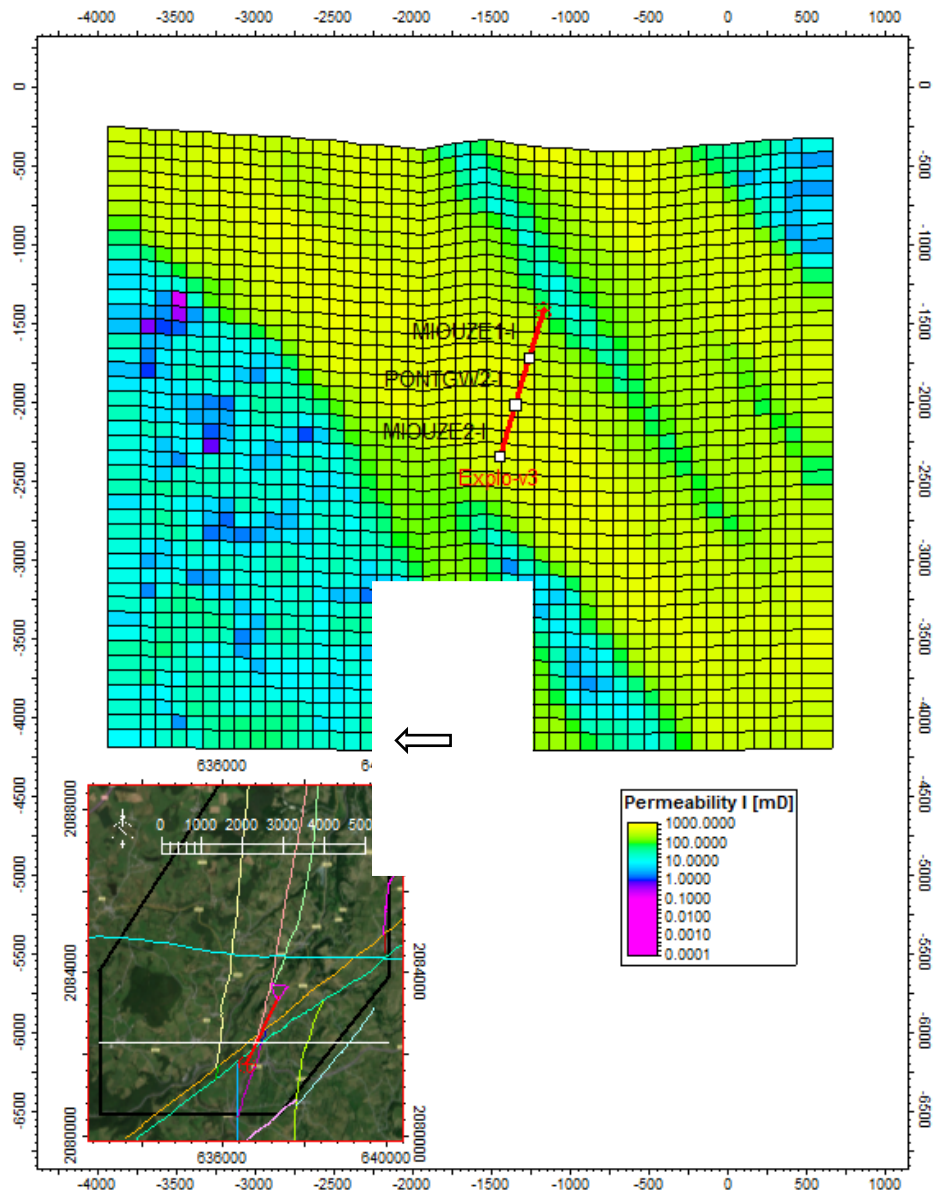


Figure 28: Modèle numérique du réservoir – coupe O-E d'une perméabilité horizontale avec projection du puits SIM1 (Explo-v3 sur la figure) à 300 m en avant et en arrière du plan de coupe avec intersection prévue des plans de failles de 2 directions.

9.2. GEOMETRIE ET MAILLAGE DU MODELE

Le modèle géologique numérique couvre une surface de 5,6 km de long en N-S et 4,6 km de large en E-W. Il couvre les profondeurs de -150 m à -4200 m. Ce modèle a été réalisé avec le logiciel PETREL de Schlumberger et contient environ 100 000 mailles, de dimension approximative 100 m x 100 x 90 m.

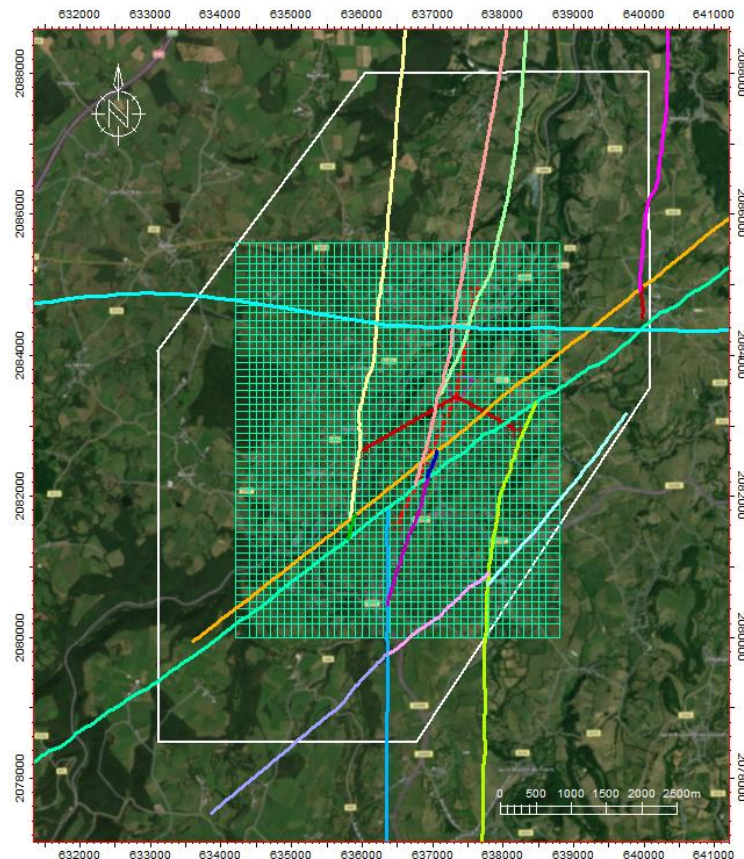


Figure 29 : Modèle numérique – Maillage horizontal, trajectoires des 4 puits et trace des failles à -2000 mnm.

Ce bloc 3D a été utilisé pour les évaluations d'impacts thermique (percée thermique) et hydrodynamique.

9.3. HYPOTHESES DE FONCTIONNEMENT DU/DES DOUBLET(S)

Il a été considéré 2 scénarii :

- le premier scénario d'exploitation correspond à un doublet simple géothermal (volumes injectés et soutirés équilibrés) avec un débit constant de 100 l/s soit 360 m³/h. La température de réinjection modélisée est de 100 °C (ce qui constitue une hypothèse majorante pour les aspects convection forcée dans le réservoir. Dans la pratique, la température minimale d'injection ne sera pas inférieure à 100 °C de moins que la température des fluides en sortie de puits) ;
- le second scénario d'exploitation correspond à deux doublets simples (volumes injectés et soutirés équilibrés) en interférence entre eux avec un débit constant de 100 l/s par doublet soit 720 m³/h en tout. La température de réinjection modélisée est de 100 °C.

La figure suivante présente le positionnement respectif de ces ouvrages. L'écartement des cibles est déterminé par les grands accidents identifiés du sous-sol (failles et réseaux de fractures associés) à intercepter dans l'encaissant granitique (Carbonifère).

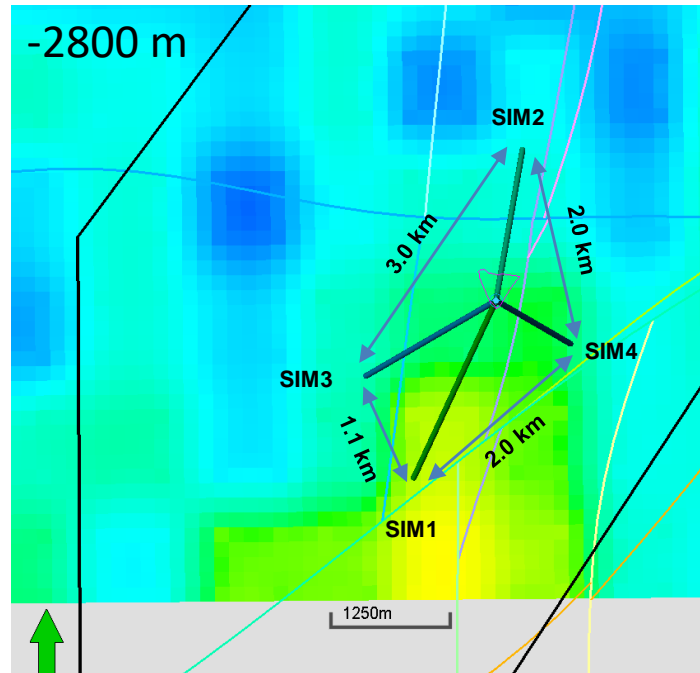


Figure 30: Localisation relative des ouvrages en profondeur

A cette étape du projet, aucun raffinement autour des puits n'a été mis en œuvre.

9.4. PARAMETRES ET HYPOTHESES DE MODELISATION DYNAMIQUE

Le logiciel de simulation d'écoulement et de transfert de chaleur en milieu poreux utilisé est le logiciel ECLIPSE de Schlumberger dans sa version E100. Dans ce cadre, est prise en compte la simulation en double milieu et la dépendance à la température de la viscosité du fluide (essentiel pour les aspects convection forcée entre les puits du doublet).

Il a été aussi utilisé le logiciel ADGPRS (Automatic Differentiation General Purpose Reservoir Simulator) issu des travaux du consortium de recherche SUPRI-B de l'université de Stanford Californie pour les milieux en porosité/perméabilité équivalente. Dans ce cadre, est prise en compte également la dépendance de la densité/viscosité du fluide à la température.

9.4.1. PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES ET THERMIQUES

Le réservoir modélisé est composé d'une seule unité dont l'hétérogénéité hydraulique s'organise autour des systèmes de failles et de fractures. Des modèles en double milieu, à savoir un milieu matriciel poroperméable et un milieu fracturé peu poreux et très perméable ont été étudiés. Suivant les formulations physiques mises en œuvre, trois typologies de milieux sont à distinguer :

- à double perméabilité : la matrice participe aussi à l'écoulement en plus des fractures ;
- à double porosité : la matrice ne sert que d'emmagasinement/stockage ;
- équivalents : on modélise le comportement des milieux matrice/fractures par un milieu équivalent.

Il a été également considéré des modèles sur lesquels a été surimposé l'impact de l'hydrothermalisme, à savoir la mise en place d'une couverture argileuse d'altération hydrothermale, appelée « clay cap », qui diminue localement la porosité et la perméabilité des milieux ou du milieu équivalent. La

complétion des puits du doublet s'adapte à cette situation, ainsi il a été estimé que la partie productive serait localisée 500m plus profondément que pour les modèles initiaux.

Pour cette étude, il a été utilisé deux chaînes de traitement, une première utilisant une représentation en double milieu, la seconde s'appuyant sur une représentation en milieu équivalent.

9.4.2. REPRESENTATION DOUBLE MILIEU

Les paramètres hydrodynamiques utilisés sont issus de la modélisation géologique, tant structurale que pétrophysique, déjà présentée.

Il a été considéré ici des *modèles double milieu* avec des formulations *double perméabilité* (ou *double porosité* le cas échéant). Leurs hétérogénéités fortes sont essentiellement liées à la répartition des failles et fractures (densité/espacement des fractures et leur orientation). De cette modélisation statique découlent les champs de porosité/tenseurs de perméabilité ainsi qu'un coefficient de transfert (σ) entre les media pour le milieu « fracture » ainsi qu'une poroperméabilité de matrice.

Dans le cadre d'un double milieu perméable, la modélisation pétrophysique (largement dépendante des aspects tectoniques et structuraux) a défini les distributions suivantes :

- d'une part pour la partie caractérisation de la matrice (Figure 31 ci-après) ;

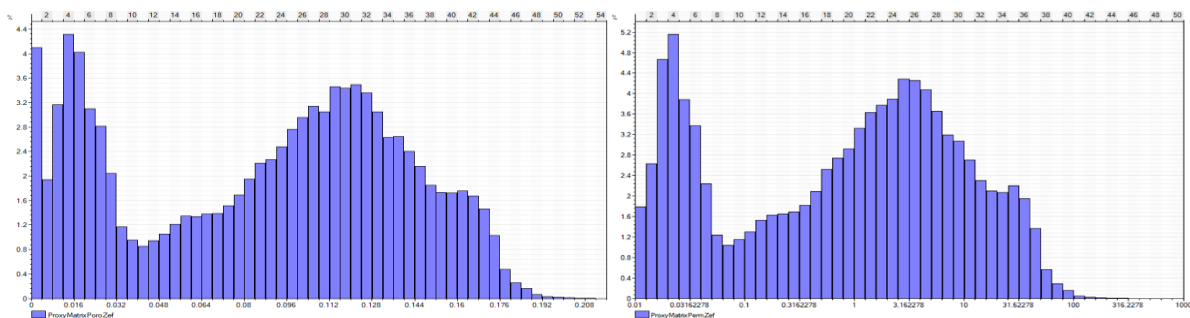


Figure 31: Distribution de la porosité matricielle (à gauche) et de la perméabilité matricielle isotrope (à droite)

- d'autre part pour la partie fracture, on retrouve une porosité (Figure 32) et un tenseur de perméabilité (Figure 33) :

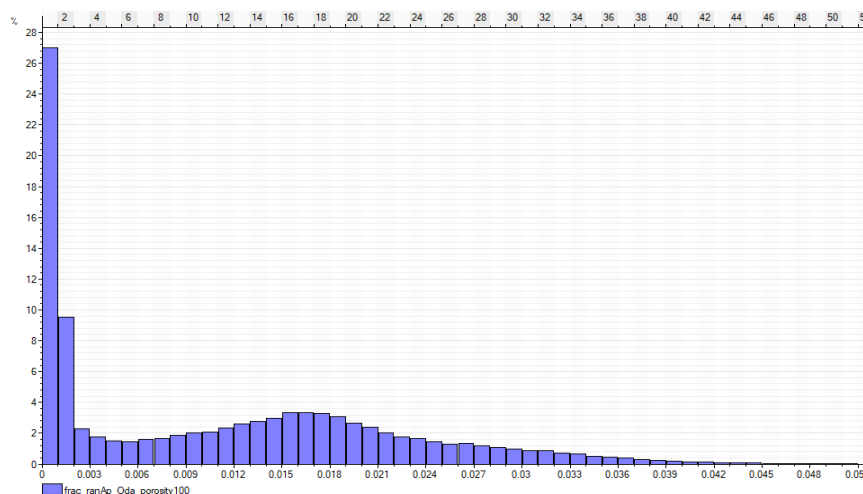


Figure 32 : Distribution de la porosité de fracture

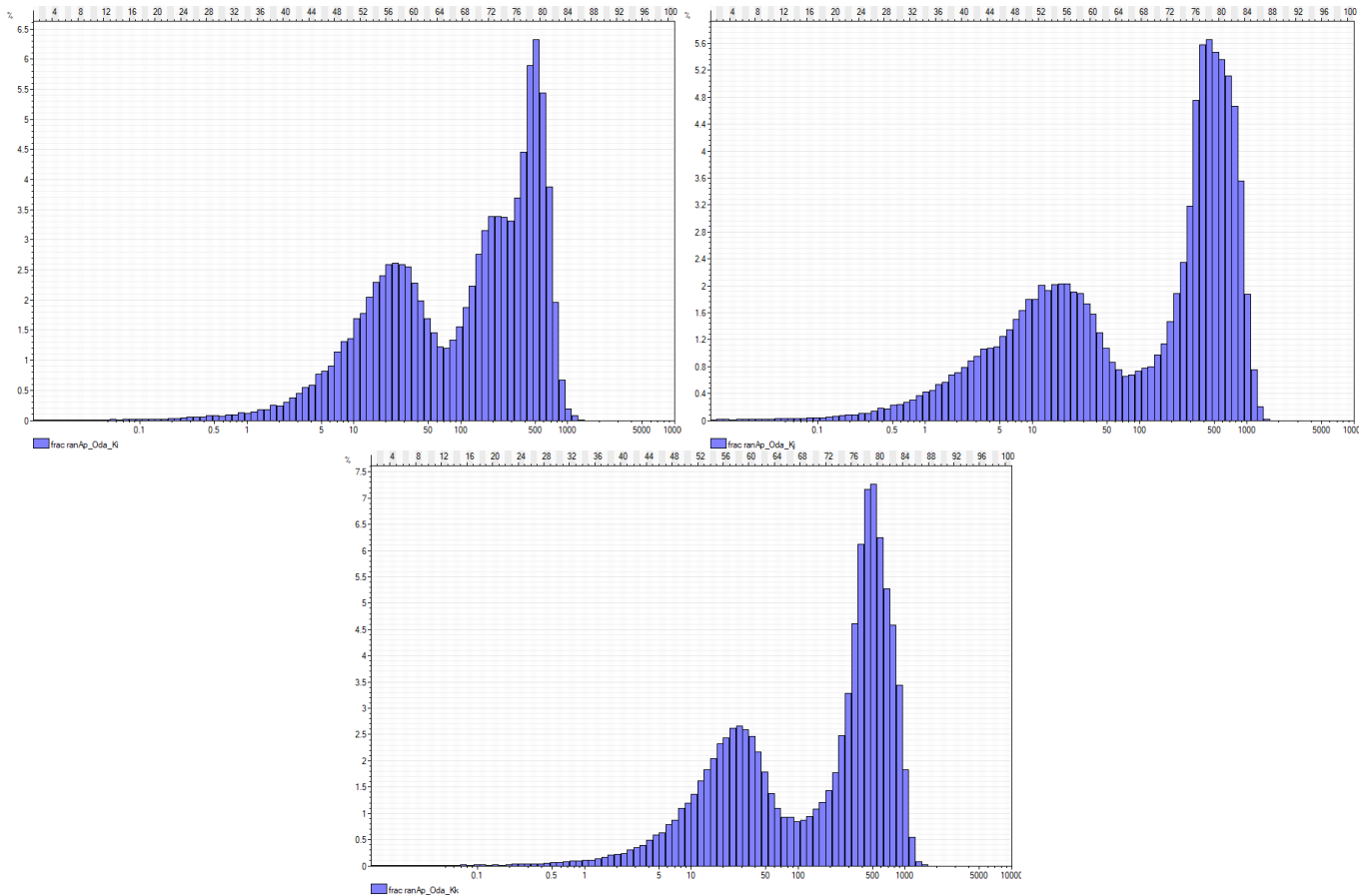


Figure 33 : Distribution du tenseur de perméabilités de fracture (en mD), dans la direction (E-W) (en haut), dans la direction N-S (en centre) et dans la direction verticale (en bas).

- Enfin le couplage des milieux (d'un point de vue hydrodynamique) est explicité par le coefficient de transfert interporosité Figure 34).

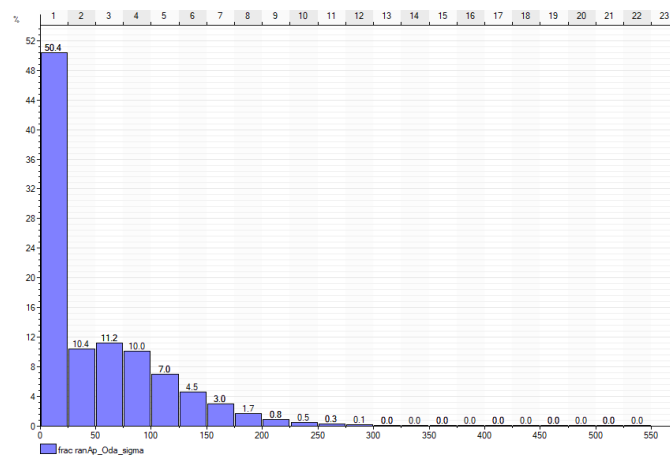


Figure 34: Distribution du coefficient de transfert interporosité

Quand un « clay cap » est considéré, ces distributions évoluent légèrement, l'hydrothermalisation argileuse ayant pour conséquence la diminution de la résistivité des roches ainsi que la diminution locale des porosité/perméabilité de matrice et de fractures. Suivant les résultats de l'inversion de données magnéto-telluriques, il est appliqué, selon la gamme de résistivité, des multiplicateurs de porosités/perméabilités, les zones à haute résistivité (faible conductivité) n'étant pas modifiées.

9.4.3. REPRESENTATION EN MILIEU EQUIVALENT

Dans le cadre d'une représentation en milieu équivalent, les distributions de porosité et de perméabilité sont les suivantes :

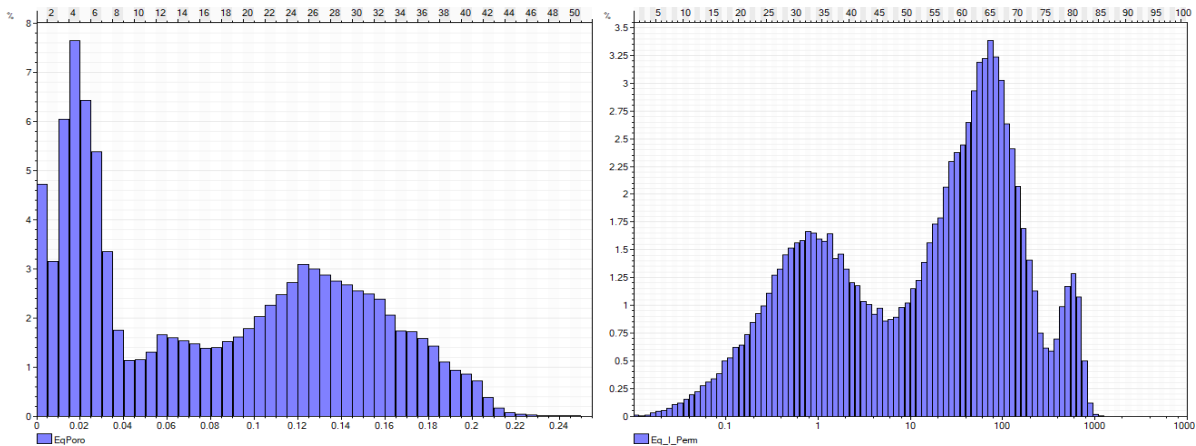


Figure 35: Distribution de la porosité (en haut) et de la perméabilité (en bas)

A ce stade du projet, un certain nombre de sensibilités par rapport aux paramètres hydrauliques, thermiques, et du design des puits ont été faites.

D'un point de vue hydraulique, il est envisagé des variations sensibles sur les champs de porosités/perméabilité et coefficient de transfert entre les milieux (multiplicateurs de perméabilité, porosité et sigma).

D'un point de vue thermique, il est envisagé des variations sur la conductivité thermique et la capacité calorifique des roches.

Suivant la présence ou pas d'un « clay cap », le puits pourra être approfondi : la zone dite réservoir est localisée 500 m plus profondément quand un clay cap est considéré (le sabot des puits est positionné en base de cette zone conductrice).

9.4.4. ETAT NATUREL

Concernant les conditions initiales, il est envisagé des champs thermiques locaux initiaux homogènes dérivés d'un champ géothermique avec un flux basal de 90 mW/m² et une température de 175°C à 2150 mTVD, ce qui est une simplification de la réalité.

D'un point de vue hydraulique, il est considéré que le milieu est en équilibre hydrostatique. Il est fait l'hypothèse que les fluides dans le réservoir sont sous forme liquide et il n'est pas envisagé la présence d'un steam cap dans un premier temps.

9.4.5. CONDITIONS AUX LIMITES DU MODELE

D'un point de vue numérique, différentes conditions aux limites ont été envisagées :

- boîte fermée d'un point de vue hydraulique et thermique (flux externes nuls)
- boîtes avec des températures et des pressions imposées sur la base, sur la base et les flancs et sur toutes les faces du modèle.

Pour rappel, le débit prélevé/injecté considéré est de 100 l/s par puits. Dans la pratique, il est envisagé une réinjection du fluide ayant une différence de température maximale de 100°C avec le fluide produit. Dans l'étude, la température de réinjection est fixée à 100°C. Cette hypothèse est

conservatrice (minimisant la viscosité des fluides et les échanges thermiques avec la matrice) pour l'objectif poursuivi : cette étude ne tient pas compte des effets thermoporomécaniques à ce stade du projet.

Les paramètres moyens du modèle numérique sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Paramètres	Valeurs
Température du réservoir	Variable selon champ géothermique (90 mW/m ²) 175°C à 2150 m/mer
Température de réinjection	100 °C
Hauteur ouverte sur le réservoir des puits	Entre 500 et 1000 m selon hypothèses
Net-To-Gross	100%
Transmissivité du réservoir	Selon distribution
Porosité du réservoir	Selon distribution
Débits	360 m ³ /h par doublet
Conductivité thermique (W/m ² K)	3 (2.5 à 4.1)
Capacité calorifique de la roche (KJ/m ³ K)	2100 (1800 à 2500)

Tableau 6 : Paramètres du modèle numérique mis en œuvre.

9.5. RESULTATS DES SIMULATIONS NUMERIQUES ET CONCLUSION

Seules quelques illustrations et les conclusions sont présentées ici. Ce document est repris en annexe dans l'étude d'impact, pièce 8.

L'ensemble des simulations réalisées valident la distance et la position pour les puits de géothermie, aucune percée thermique n'est simulée pendant la durée prévue d'exploitation de 30 ans.

Elles montrent aussi que le milieu est suffisamment bien connecté pour que l'injection de fluides géothermaux permette de maintenir la pression fluide au sein du réservoir. Le positionnement et l'espacement de l'ordre de 2000 mètres entre les puits producteur et injecteur dictés par les hétérogénéités induites par le champ de failles et de fractures semble être adéquat. Aucune percée thermique n'a lieu durant les 30 ans du projet. Un débit référence de 360 m³/h par puits peut donc être envisagé.

La simulation du champ de vitesse des fluides, de la concentration d'un traceur test (permettant de caractériser la percée hydraulique) et de la température (panache d'eau froide autour du puits injecteur) au bout de trente ans d'exploitation sont représentés dans les images/graphes suivants.

9.5.1. LE CAS DU DOUBLET SEUL

La simulation présentée ici correspond à la simulation d'un doublet globalement orienté nord sud (puits injecteur au nord, puits producteur au Sud) dans le cadre d'un milieu équivalent avec un « Clay Cap » sommital. Pour rappel, les hypothèses d'exploitation sont les suivantes :

- une production de 100 l/s par producteur
- une température de réinjection de 100°C.

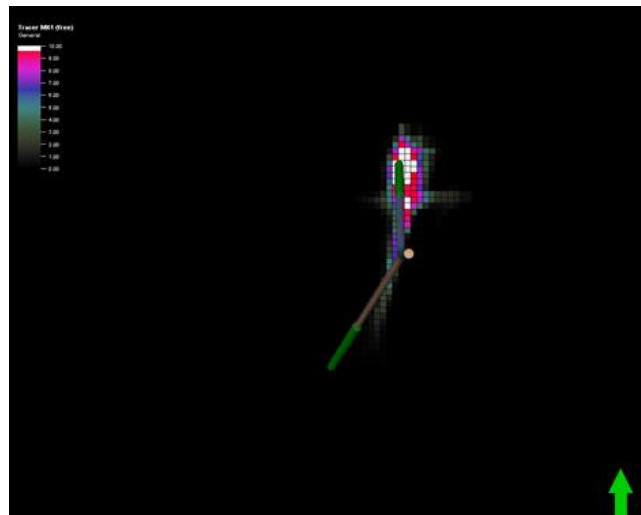


Figure 36 : Illustration du champ de concentration d'un traceur non réactif injecté dans le réservoir par le puits d'injection (illustre la non percée hydraulique au bout de 30 ans d'exploitation).

Il existe un lien assez direct entre les deux puits comme en témoigne le panache de traceur qui se développe du nord (puits injecteur) vers le sud (puits producteur) sans l'atteindre.

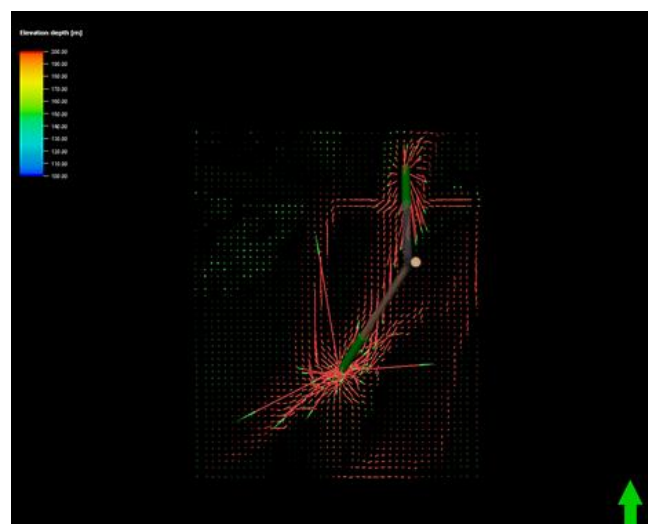


Figure 37 : Illustration du flux hydraulique (vectoriel) autour du doublet

Le champ de vitesse d'écoulement des fluides nuance la connexion hydraulique entre les puits du doublet en mettant en évidence des chemins de migration alternatifs de moindre importance.

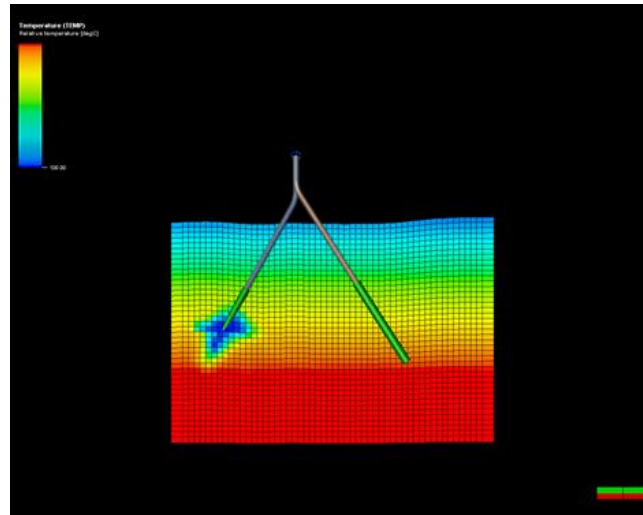


Figure 38 : Représentation du champ de température obtenu au bout de 30 ans en coupe passant par le puits injecteur

Les frontières du panache d'eau froide autour du puits injecteur se développant vers le puits producteur sont guidées par les hétérogénéités du support (champs de faille principaux et secondaires). Dans ce cas, il n'y a pas de percée thermique.

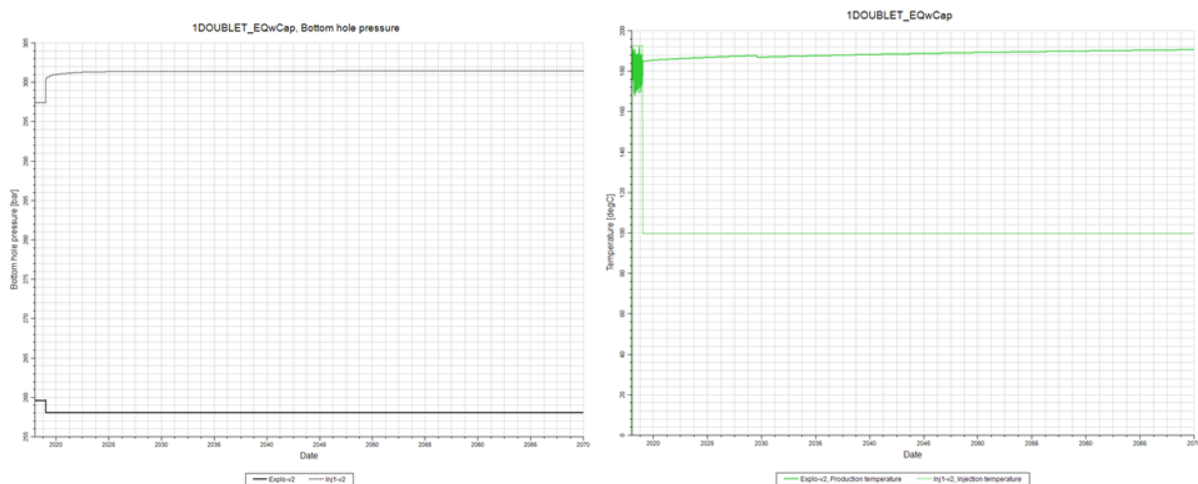


Figure 39 : Evolution de la pression en fond de puits (à gauche) et de la température (à droite) du fluide produit/injecté (la simulation englobe ici une année sans débit qui s'enchaîne sur une période de production de 30 ans)

Après la mise en marche du doublet, en dehors de la chute de pression liée à la convergence des fluides dans le puits, aucune autre chute de pression au niveau du producteur au cours du temps n'est simulée, il en va de manière équivalente pour l'injecteur. Enfin la pression moyenne calculée sur la grille du simulateur est stable, le doublet dans cette configuration permet le maintien de pression dans le réservoir.

Dans le cas géologique de référence (modèle en propriétés équivalentes à un « Clay Cap » comme précisé précédemment), la différence de pression est quasiment stabilisée aux puits d'injection et de soutirage durant les 30 années de l'exploitation. Le différentiel de pression maximal observé sur ce modèle est de l'ordre de 4 bars sur le puits d'injection et de l'ordre de 1.7 bars pour le puits producteur.

Plus globalement sur le découvert du puits SIM1 producteur, la modélisation prévoit une pression du réservoir comprise entre 225 et 340 bars et pour SIM2 (injecteur), celle-ci varie de 237 à 367 bars. Ces valeurs sont fonction des conditions initiales utilisées dans la modélisation.

De même, une stabilité voire une légère hausse de la température du fluide produit est simulée (cf. figure précédente à droite courbe du haut), ce qui montre que l'on n'a pas de percée thermique au niveau du puits producteur voire même que la production tendrait à solliciter les couches profondes et plus chaudes du réservoir.

9.5.2. LE CAS DEUX DOUBLETS

Dans le cas de deux doublets dans le même réservoir, les puits injecteurs sont au nord et à l'est, les puits producteurs sont au sud et à l'ouest.

Pour rappel, les hypothèses d'exploitation sont les suivantes :

- une production de 100 l/s (360 m³/h) par producteur ;
- une température de réinjection de 100°C.

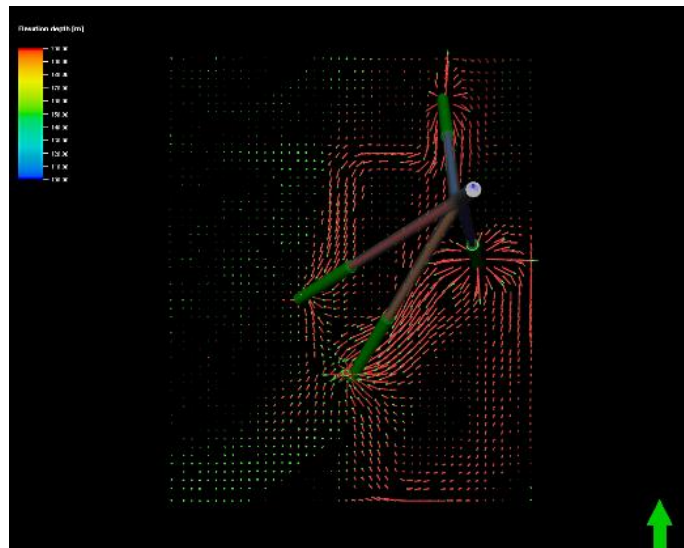


Figure 40 : Illustration du champ de vitesses fluides simulé dans les fractures

La simulation montre que les différents puits sont bien connectés entre eux et sont parfois en concurrence/en interférence sur certains chemins de migration préférentiels. La simulation montre aussi qu'au bout de 30 ans (dans ce cas précis) on commence à enregistrer une légère percée hydraulique.

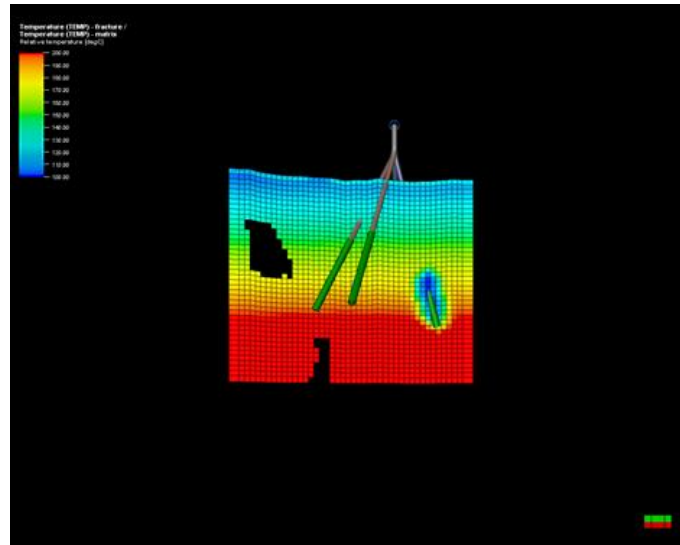


Figure 41 : Simulation du champ thermique au bout de 30 années engendré par l'exploitation simultanée des 2 doublets, ici une coupe sur l'injecteur à l'est.

La simulation de l'extension des panaches thermiques froids après 30 ans d'exploitation ne montre pas de percée thermique.

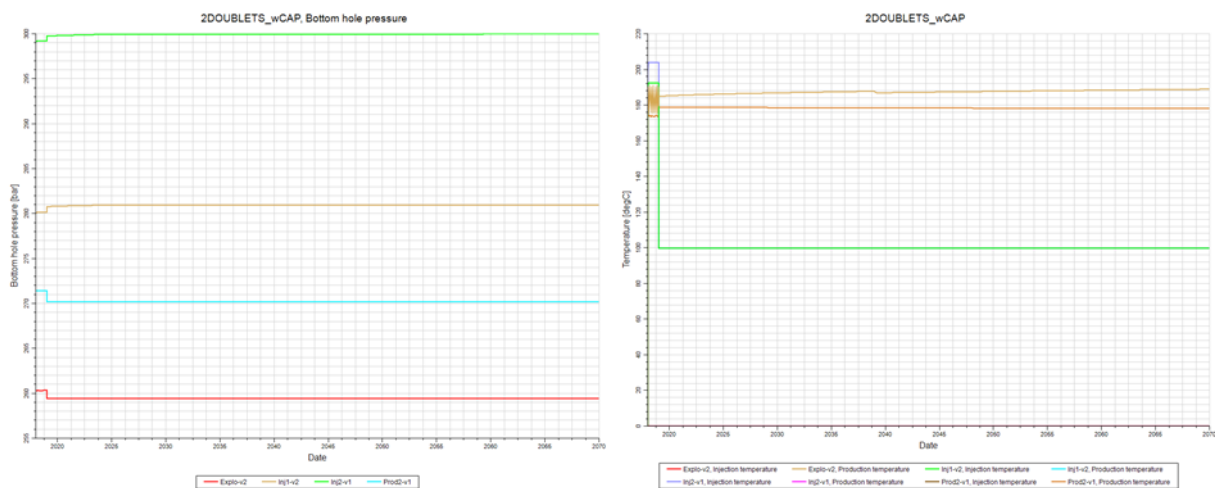


Figure 42 : Evolution de la pression des puits (à gauche) et de la température (à droite) des fluides produits/injectés

Cette absence de percée thermique au bout de 30 ans d'exploitation est simulée, les évolutions de la température au cours du temps étant plutôt à imputer à des circulations locales verticales (des zones plus ou moins profondes autour des puits de production sont mises à contribution). En termes de pression, la pression fond des puits est stabilisée dans le temps, les différences de pression entre les puits étant liées aux implantations des puits et la localisation plus ou moins profonde des zones productrices. La pression moyenne à l'échelle du modèle est stable dans le temps.

L'ensemble des simulations réalisées ne montre pas de percée thermique au bout de trente années d'exploitation. Elles montrent aussi que le milieu est suffisamment bien connecté pour que l'injection de fluides géothermaux soit suffisante pour maintenir la pression au sein du réservoir.

Le positionnement et l'espacement de l'ordre de 2000 mètres entre les puits producteur et injecteur dictés par les hétérogénéités induites par le champ de failles et de fractures semble être adéquat.

Aucune percée thermique n'a lieu durant les 30 ans du projet. Un débit référence de 360 m³/h par puits peut donc être considéré.

9.5.3. INCIDENCES DES ESSAIS DE PRODUCTION ENVISAGES SUR LE RESERVOIR

Pour ce projet, et particulièrement durant les essais, il est prévu que les fluides produits soient réinjectés, et ce afin de conserver une certaine balance hydrique du réservoir. On estime le volume fluide injectés/produits dans une fourchette de 10 000 à 50 000 m³. Les fluides produits durant les essais seront sous forme diphasique. La partie vaporisée à l'atmosphère compensera dans une certaine mesure les fluides perdus dans les formations durant le forage.

Une simulation d'une séquence potentielle des essais d'injectivité, de productivité et de longue durée, nous permet d'observer un delta de pression maximal de 3 bars dans le cadre d'un milieu équivalent avec un « Clay cap » au toit du réservoir, ce maximum étant localisé au niveau du puits injecteur.

En terme d'incidence thermique, l'injection de fluides plus froid que l'encaissant (température comprise entre 15 et 100 °C) induirait une stimulation thermique du réservoir proche du puits injecteur, qui se traduirait par une modification du champ de perméabilité (en partie réversible) ainsi qu'une perturbation très localisée du champ de contraintes autour du puits.

10. PROGRAMMES ET ARCHITECTURES PREVISIONNELLES DES FORAGES

Le puits SIM1 (producteur) est planifié pour traverser les failles PontgW2 (N-S) et Miouze1 (N45). Le puits SIM2 (planifié comme injecteur) est relié à SIM1 par le réseau N-S. Il est prévu pour intersecter la faille de Gelles, et surtout celle de PontgW1 (N-S) et s'approcher de la zone de faille fracturée de PontgW2. Le but est donc bien de réinjecter dans un réseau en communication avec SIM1.

Le puits SIM3 est planifié comme producteur et vise la faille N-S PontgW3. Cette faille est en relation indirecte avec les failles ciblées par SIM1, par l'intermédiaire de son intersection au sud avec les deux failles Miouze2 et Mioze1. Elle est également reliée au réseau intersecté par SIM2 par son intersection avec la faille de Gelles au nord.

Enfin SIM4 est planifié comme injecteur par son intersection avec la faille Miouze1. Miouze1 est par ailleurs la faille qui relie cette zone d'injection à la zone de production de SIM1. SIM4 est également relié indirectement à la zone de production de SIM3 et à la zone d'injection de SIM2.

Les relations entre les zones d'injection et de production peuvent être suivies visuellement à l'aide de la carte présentée en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Les caractéristiques du programme prévisionnel pour chaque forage accompagné de l'architecture prévisionnelle est repris ci-après. Les cotes précisées dans le programme sont indicatives et correspondent à une architecture déviée. Elles seront ajustées en fonction de la profondeur réelle des formations rencontrées en phase opérationnelle.

L'architecture proposée des forages répond à plusieurs objectifs notamment la réalisation d'un forage dans les règles de l'art pour exploiter une ressource à des fins de géothermie. Les forages ont été conçus pour être conformes à la réglementation en vigueur et en suivant les règles de l'art.

L'ensemble du design du puits d'exploration est fait en s'appuyant sur le Code of Practice for deep geothermal wells NZS 2403:2015 (New Zealand Standard). Ce standard est reconnu internationalement et est notamment appliqué en Nouvelle Zélande mais également sur les projets haute température africains. Ce standard pré-suppose que l'eau est à l'état vapeur alors que dans le cas de GEOPULSE l'eau sera très probablement à l'état liquide ce qui implique d'intégrer d'importantes

marges de sécurité dans le design des ouvrages. Il est toutefois rappelé que s'agissant de puits d'exploration, avec par nature un fort degré d'incertitude par rapport aux conditions exactes qui seront rencontrées dans le sous-sol, il convient d'être en mesure de parer à toute éventualité pendant le forage.

Les designs des tubages techniques et casing/liners seront sélectionnés de façon à résister aux des coefficients de sécurité liés à la température prévisionnelle et à la pression attendue au niveau de la formation traversée.

Le programme détaillé des travaux pour chaque forage sera repris dans un document et remis au moins un mois avant le début des travaux à la DREAL conformément à la réglementation en vigueur.

Le programme de chaque forage comportera 4 phases précisées ci-dessous et réalisées avec le rig de forage, espacées d'opérations de pose de cuvelage et de cimentation ainsi que de mesures (diagraphies) et de tests de production (voir programme de diagraphies et d'essais dans la pièce 4).

10.1. LE PREMIER FORAGE SIM1

Les données de base sur lesquelles s'appuient le design des puits et le programme de forage sont les suivantes :

- la présence de deux zones de failles « critiques » :
 - La zone de faille ROCH2 est classée comme « Non réservoir ». Il conviendra de l'isoler et de la couvrir par un casing avant de s'attaquer à la phase forage suivante. Compte tenu des trajectoires prévisionnelles et des incertitudes, celle-ci est localisée à 1064 m MD/GL
 - La zone de faille MIOUZE1-I délimite le démarrage de la zone de failles classées comme réservoir. Il conviendra de forer cette section en trou ouvert et de la couvrir par la suite selon les observations sur la stabilité avec un liner perforé non cimenté ayant pour seul objectif un maintien mécanique du trou. Compte tenu des trajectoires prévisionnelles et des incertitudes, celle-ci est localisée à 2640 m MD/GL
- la profondeur maximale à atteindre par le forage (4000 m MD GL),
- la température attendue au-delà de 150°.

Compte tenu de la trajectoire prévisionnelle de SIM1 et des incertitudes, on arrive à la fenêtre suivante en termes de profondeur pour la zone de faille ROCH2 :

ROCH2	Minimum	Prévisionnelle	Maximum
Profondeur forée	964 m MD GL	1064 m MD GL (+/- 100m)	1164 m MD GL

Compte tenu de la trajectoire prévisionnelle de SIM1 et des incertitudes, on arrive à la fenêtre suivante en termes de profondeur pour la zone de faille MIOUZE1-I :

MIOUZE1-I	Minimum	Prévisionnelle	Maximum
Profondeur forée	2380m MD GL	2640 m MD GL (+/- 260m)	2900 m MD GL

Les pré-trous seront réalisés pendant la phase de génie civil avant l'arrivée de la machine qui comprendra la pose d'un tube-guide (conductor pipe) 30'' entre 30 et 50 m MD/GL.

Le programme de forage du puits SIM1 comportera 4 phases espacées d'opérations de pose de tubages techniques et de cimentation. L'application stricte du NZS 2403:2015 conduirait à multiplier les tubages techniques notamment sur les phases de forage de surface. Il convient donc de nuancer les résultats obtenus et de les adapter également aux autres contraintes identifiées pour le forage. Des mesures de diagraphies seront réalisées à l'issue de chacune de ces phases (voir le programme de diagraphies en pièce 4).

Phase de forage 1 : 24''

- Cette phase de forage sera réalisée jusqu'à +/-595 m MD/GL
- Elle sera complétée par la **pose d'un tubage technique 18''5/8** à positionner à une profondeur égale ou supérieure à 590 m TVD GL et cimentée jusqu'en surface.

Il est à priori peu probable de rencontrer des zones de température élevée si près de la surface dans un contexte non volcanique.

En cas de venue de vapeur pendant la phase forage suivante en suivante en 17 1/2'', la cote du tubage 18''5/8 doit être suffisamment profonde pour éviter une fracturation des formations à cette cote. Le sabot du casing 18''5/8 devrait être positionné à une profondeur supérieure à 590 m MD/TVD.

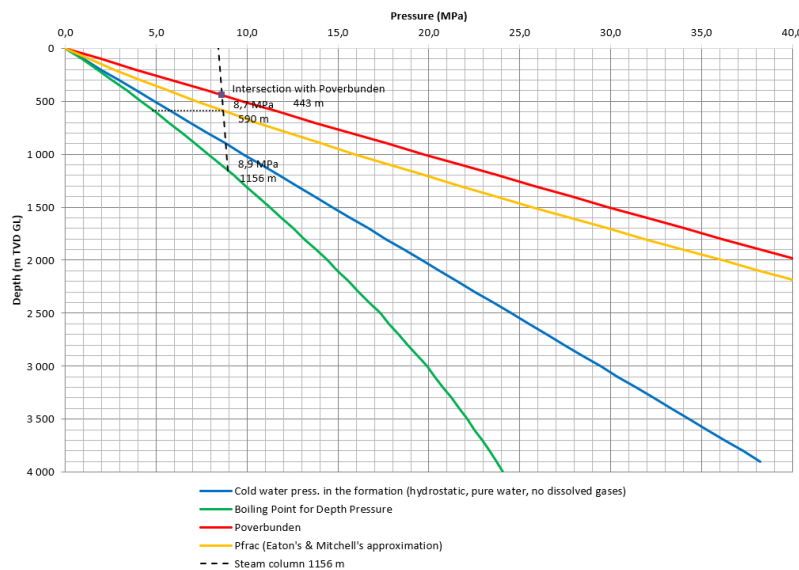


Figure 43 : Positionnement du tubage technique 18''5/8 pour SIM1

Phase de forage 2 : 17''1/2

- Cette phase de forage sera réalisée jusqu'à +/-1221 m MD/GL
- Elle sera complétée par la **pose d'un tubage technique 13''3/8** à +/-1216 m MD/GL et cimentée jusqu'en surface.

Pour positionner le sabot du casing technique 13''3/8, deux contraintes sont à prendre en compte :

- s'isoler de la zone de faille ROCH2 pendant le forage de la phase 12''1/4
- s'assurer d'être en sécurité en cas de venue de vapeur.

En cas de venue de vapeur pendant la phase forage suivante en 12''1/4, la cote du tubage 13''3/8 doit être suffisamment profonde pour éviter une fracturation des formations à cette cote.

En partant du sabot 9''5/8 le plus potentiellement profond de l'étape suivante (à 2483 m TVD GL) et en appliquant la méthode décrite dans le NZS 2403:2015, il convient de positionner le casing technique 13''3/8 à 1106 m MD/GL minimum.

Cependant, avec un sabot à cette profondeur, la zone de faille MIOUZE1-I ne serait pas couverte (953-1153 m MD/GL). Il convient donc de positionner le tubage 13''3/8 plus profondément afin de recouvrir cette première zone de faille avant de s'attaquer à la phase de forage suivante.

On choisit en conséquence de positionner le tubage 13''3/8 à une cote de 1156 m TVD GL (bas de la fenêtre pour la zone de faille ROCH2 + 50 mTVD) de s'attaquer à la phase de forage suivante.

A noter, en cas de venue de vapeur remplissant l'intégralité du puits la pression serait de 15.2 MPa soit 152 bar. Cette donnée est prise en compte comme donnée de base pour le design du tubage technique (en prenant compte également des coefficients de sécurité liés à la température prévisionnelle de 200°C). Il est toutefois envisagé de descendre par la suite un liner 9''5/8 afin d'aménager une chambre de pompage dans le puits, le casing technique 13''3/8 devra donc résister aux mêmes conditions que le liner suivant de 9''5/8 (soit 166 bar au lieu de 152 bar).

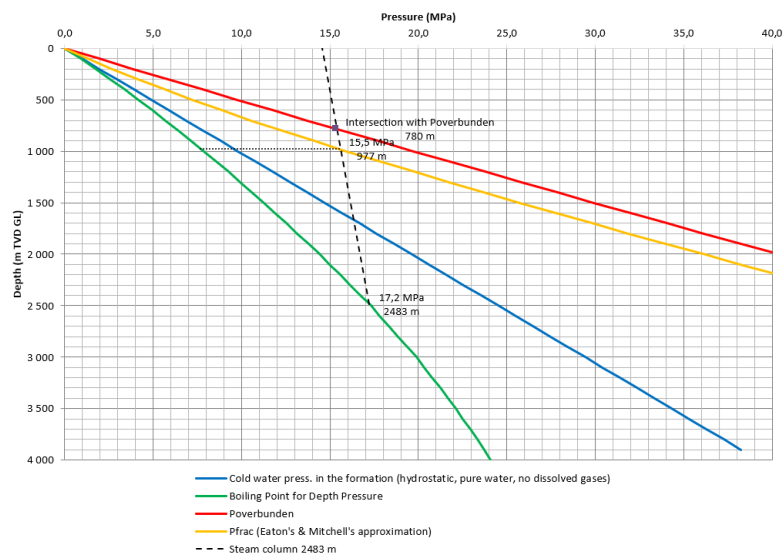


Figure 44 : Positionnement du tubage technique 13''3/8 pour SIM1

Phase de forage 3 : 12''1/4

- Cette phase de forage sera réalisée jusqu'à 2385 m MD/GL
- Elle sera complétée par la **pose d'un liner 9''5/8** à 2380 m MD/GL ancré vers 1116 m MD/GL et cimenté sur toute la hauteur.

En cas de venue de vapeur remplissant l'intégralité du puits une pression en tête serait de 16.6 MPa (166 bar). Il est envisagé d'aménager une chambre de pompage gros diamètre dans le puits. En conséquence, le tubage de production 9''5/8 sera un liner et c'est le tubage technique 13''3/8 de la phase précédente qui deviendra le tubage de production sur toute la partie supérieure du puits.

Il est envisagé d'aménager une chambre de pompage gros diamètre dans le puits. En conséquence, le tubage de production 9''5/8 sera un liner et c'est le tubage technique 13''3/8 de la phase précédente qui deviendra le tubage de production sur toute la partie supérieure du puits.

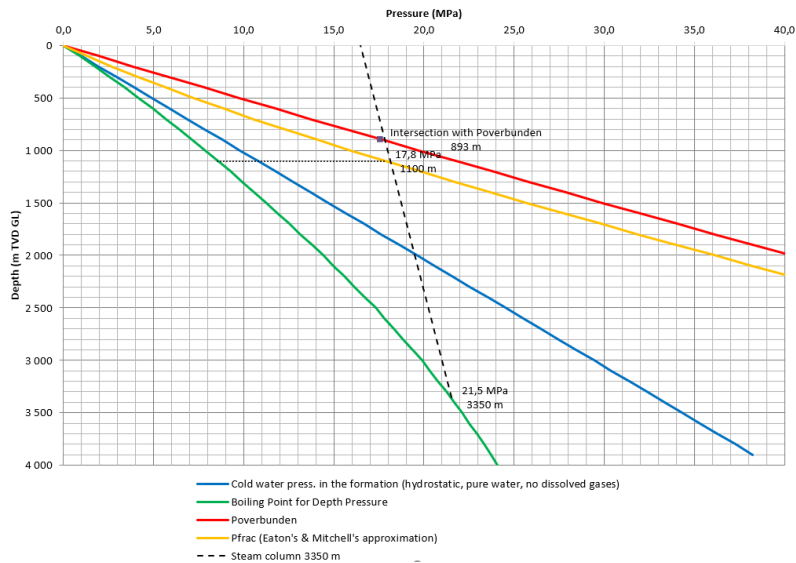


Figure 45 : Positionnement du tubage de production 9''5/8 pour SIM1

Le sabot du casing 9 5/8'' a été positionné de manière à être positionné au-dessus des zones d'intérêt, c'est-à-dire au-dessus de la zone de faille MIOUZE1-I (incertitude de 260m MD incluse).

Phase de forage 4 : 8''1/2

- Cette phase de forage sera réalisée jusqu'à 3565 m MD/GL (TD 1) ou 4000 m MD/GL (TD DEEP). La cote maximale à atteindre est fixée à la fin du forage de la partie considérée comme réservoir potentiel.
- Elle sera éventuellement complétée par la **pose d'un liner 7'' perforé** s'il y a nécessité d'assurer la tenue mécanique du trou (ancré ou non ancré dans liner 9 5/8'').

SIM1 Architecture de puits

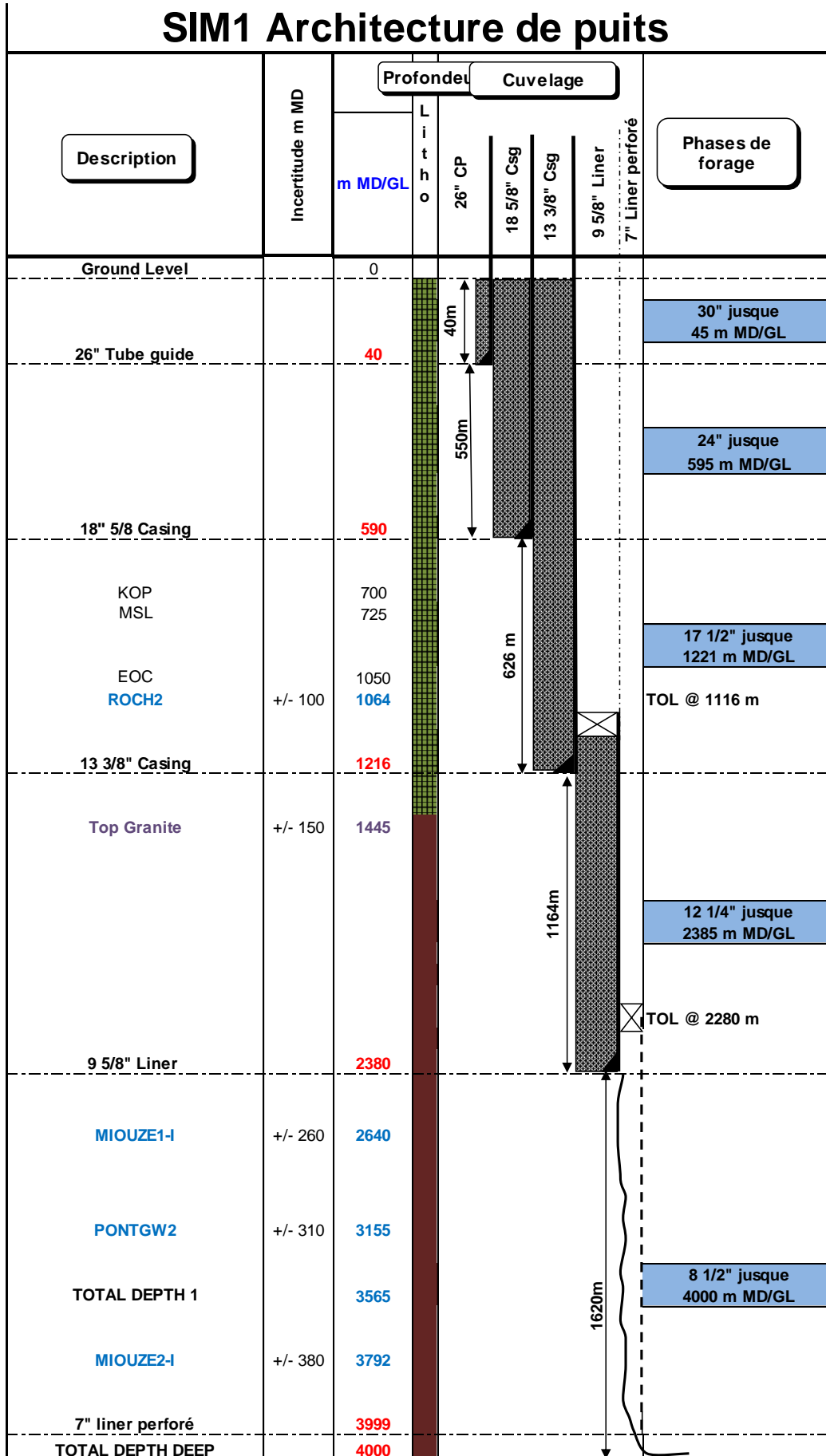


Figure 46 : Architecture prévisionnelle du premier puits SIM1

10.2. LE SECOND FORAGE SIM2

Les données de base sur lesquelles s'appuient le design du puits SIM2 et le programme de forage sont les suivantes :

- la présence de trois zones de failles « critiques » :
 - La zone de faille MIOUZE1-I est classée comme « non-réservoir » à ce puits car elle est rencontrée trop haut. ». Il conviendra de l'isoler et de la couvrir par un casing avant de s'attaquer à la phase forage suivante. Compte tenu des trajectoires prévisionnelles et des incertitudes, celle-ci est localisée à 1002 m MD/GL.
 - La zone de faille MIOUZE2-I est classée comme « potentiellement réservoir » à ce puits car elle est rencontrée à une profondeur intermédiaire. Il conviendra de l'isoler et de la couvrir par un casing avant de s'attaquer à la phase forage suivante. Le casing pourra être reperforé en cas de besoin, en fonction des résultats sur la phase suivante. Compte tenu des trajectoires prévisionnelles et des incertitudes, celle-ci est localisée à 1843 m MD/GL.
 - La zone de faille GELLES délimite le démarrage de la zone de failles classées comme réservoir. Il conviendra de forer cette section en trou ouvert et de la couvrir par la suite avec un liner perforé non cimenté ayant pour seul objectif un maintien mécanique du trou. Compte tenu des trajectoires prévisionnelles et des incertitudes, celle-ci est localisée à 2898 m MD/GL.
- la profondeur maximale à atteindre par le forage (3725 m MD/GL),
- la température attendue au-delà de 150°.

Compte tenu de la trajectoire prévisionnelle de SIM2 et des incertitudes, on arrive à la fenêtre suivante en termes de profondeur pour la zone de faille MIOUZE1-I :

MIOUZE1-I	Minimum	Prévisionnelle	Maximum
Profondeur forée	902 m MD GL	1002 m MD GL (+/- 100m)	1102 m MD GL

Compte tenu de la trajectoire prévisionnelle de SIM2 et des incertitudes, on arrive à la fenêtre suivante en termes de profondeur pour la zone de faille MIOUZE2-I :

MIOUZE2-I	Minimum	Prévisionnelle	Maximum
Profondeur forée	1663 m MD GL	1843 m MD GL (+/- 180m)	2023 m MD GL

Compte tenu de la trajectoire prévisionnelle de SIM2 et des incertitudes, on arrive à la fenêtre suivante en termes de profondeur pour la zone de faille GELLES :

GELLES	Minimum	Prévisionnelle	Maximum
Profondeur forée	2618 m MD GL	2898 m MD GL (+/- 280 m)	3178 m MD GL

Les pré-trous seront réalisés pendant la phase de génie civil avant l'arrivée de la machine et comprendra la pose d'un tube-guide (conductor pipe) entre 30 et 50 m MD/GL.

Le programme de forage du puits SIM2 comportera 4 phases espacées d'opérations de pose de tubages techniques et de cimentation.

Des mesures de diagraphies seront réalisées à l'issue de chacune de ces phases (voir le programme de diagraphies en pièce 4).

Phase de forage 1 : 24"

- Cette phase de forage sera réalisée jusqu'à +/-640 m MD/GL
- Elle sera complétée par la **pose d'un tubage technique 18''5/8** à positionner à une profondeur supérieure ou égale à 582 m TVD GL et cimentée jusqu'en surface.

Il est à priori peu probable de rencontrer des zones de température élevée si près de la surface dans un contexte non volcanique.

En cas de venue de vapeur pendant la phase forage suivante en 17''1/2, la cote du tubage 18''5/8 doit être suffisamment profonde pour éviter une fracturation des formations à cette cote. Le sabot du casing 18''5/8 devrait être positionné à une profondeur supérieure ou égale à 582 m MD/TVD.

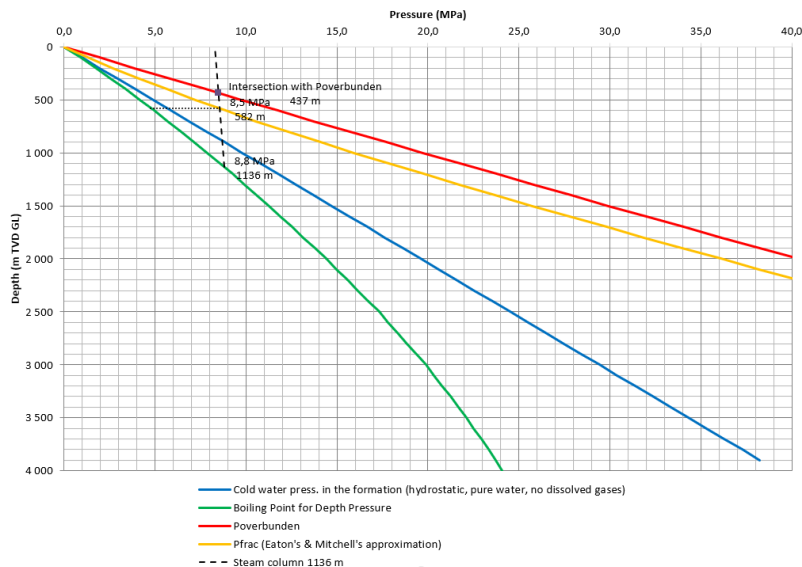


Figure 47 : Positionnement du tubage technique 18''5/8 pour SIM2

Phase de forage 2 : 17''1/2

- Cette phase de forage sera réalisée jusqu'à +/-1162 m MD/GL
- Elle sera complétée par la **pose d'un tubage technique 13''3/8** à +/-1157 m MD/GL et cimentée jusqu'en surface.

Pour positionner le sabot du casing technique 13''3/8, deux contraintes sont à prendre en compte :

- s'isoler de la zone de faille MIOUZE1-I pendant le forage de la phase suivante en 12''1/4 pour éviter d'avoir une zone à perte/fragile en début de phase de forage
- s'assurer d'être en sécurité en cas de venue de vapeur.

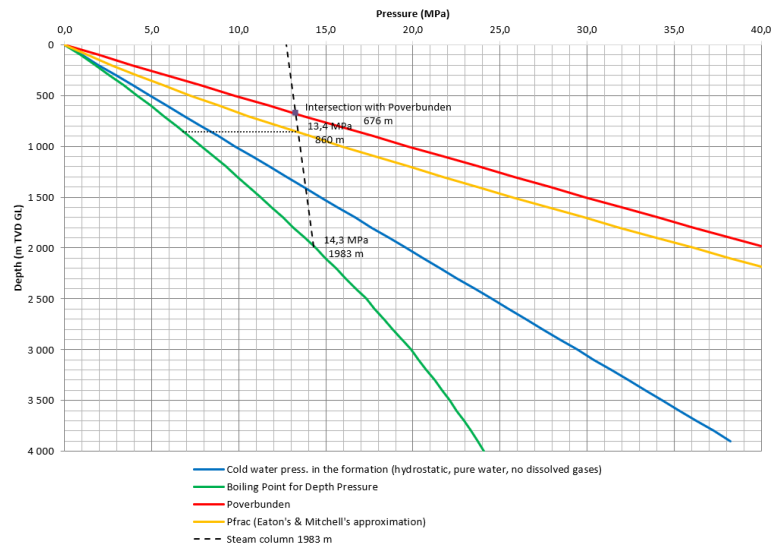


Figure 48 : Positionnement du tubage technique 13''3/8 pour SIM2

En cas de venue de vapeur pendant la phase forage suivante en 12''1/4, la cote du tubage 13''3/8 doit être suffisamment profonde pour éviter une fracturation des formations à cette cote.

En partant du sabot 9''5/8 le plus potentiellement profond de l'étape suivante (soit 2077 m MD/GL) et en appliquant la méthode décrite dans le NZS 2403:2015, il convient de positionner le casing technique 13''3/8 plus profondément que la zone de faille MIOUZE1-I (902-1102 m MD/GL) à 1157 m MD/GL (bas de la fenêtre pour la zone de faille MIOUZE1-I + 50 m TVD) avant de s'attaquer à la phase de forage suivante.

A noter, qu'il est envisagé de descendre par la suite un liner 9''5/8 afin d'aménager une chambre de pompage dans le puits, le casing technique 13''3/8 devra donc résister aux mêmes conditions que le liner 9''5/8 (soit 167 bar).

Phase de forage 3 : 12''1/4

- Cette phase de forage sera réalisée jusqu'à 2082 m MD/GL
- Elle sera complétée par la **pose d'un liner 9''5/8** à 2077 m MD/GL ancré vers 1057 m MD/GL et cimentée sur toute la hauteur.

Le casing/liner de production 9''5/8 devra être sélectionné de manière à résister à une pression de 167 bar en tête et une température de 200°C (qui est la température maximale attendue). La cote minimale à laquelle il pourrait être descendu pour résister à une telle pression est donc établie à 1113 mTVD/GL.

Il convient de positionner le liner 9''5/8 plus profondément que la zone de faille MIOUZE2-I (1633-2023 m MD/GL) à 2077 m MD/GL (bas de la fenêtre pour la zone de faille MIOUZE2-I +50m TVD) avant de s'attaquer à la phase de forage suivante.

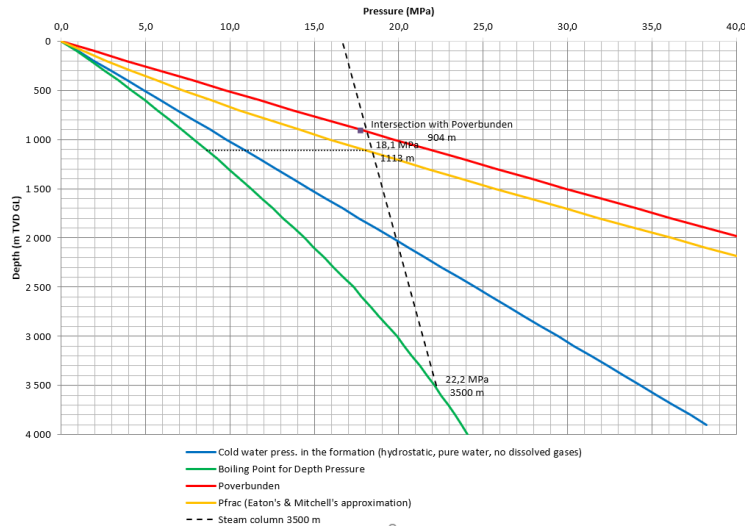


Figure 49 : Positionnement du tubage de production 9''5/8 pour SIM2

Phase de forage 4 : 8''1/2

- Cette phase de forage sera réalisée jusqu'à 3182 m MD/GL (TD 1) ou 3725 m MD/GL (TD DEEP). La cote maximale à atteindre est fixée à la fin du forage de la partie considérée comme réservoir potentiel.
- Elle sera éventuellement complétée par la **pose d'un liner 7'' perforé** s'il y a nécessité d'assurer la tenue mécanique du trou (ancré ou non ancré dans liner 9''5/8).

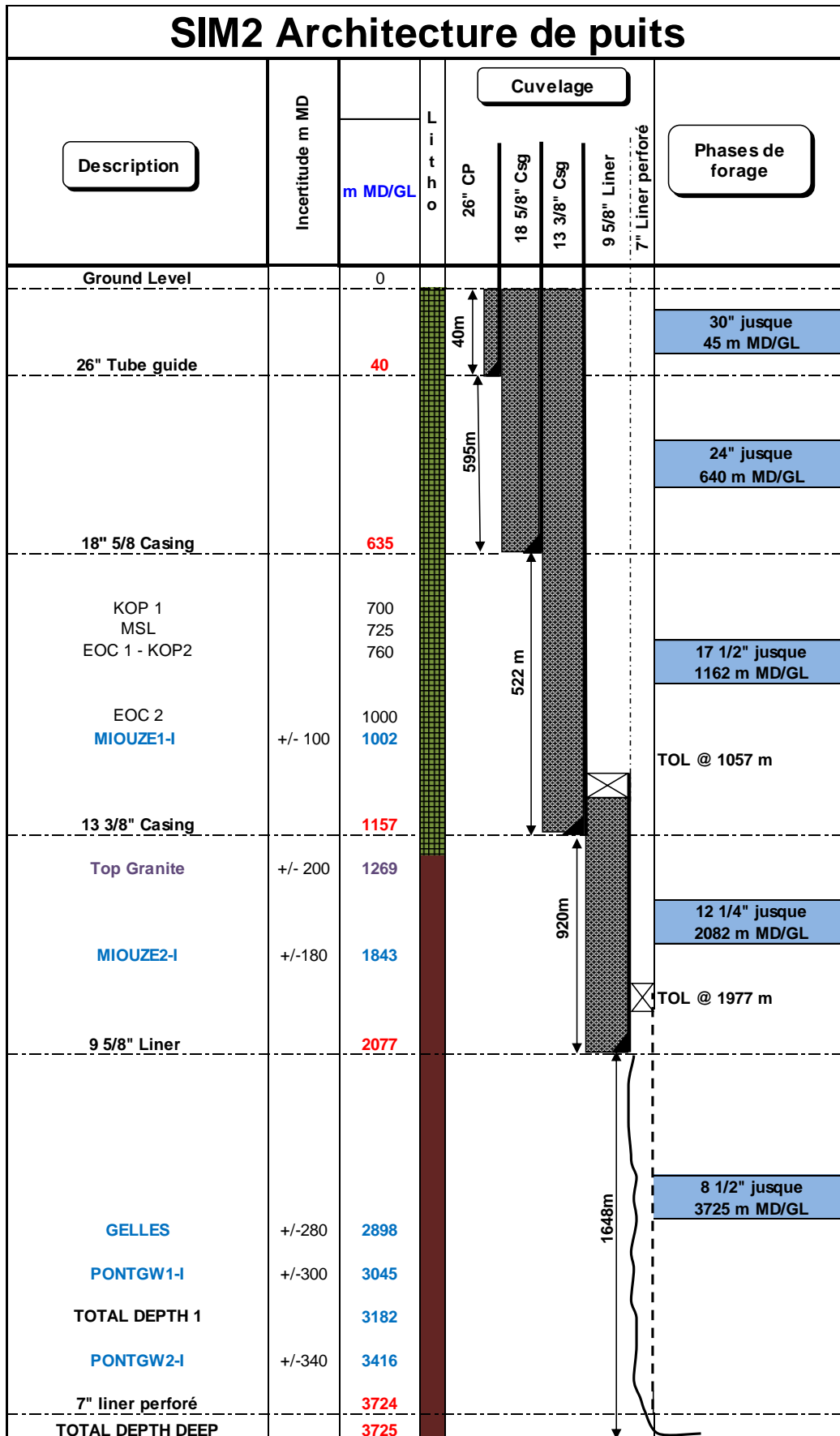


Figure 50 : Architecture prévisionnelle du second puits SIM2

10.3. LE TROISIEME FORAGE SIM3

Les données de base sur lesquelles s'appuient le design du puits SIM3 et le programme de forage sont les suivantes :

- la présence de quatre zones de failles « critiques » :
 - La zone de faille ROCH2 est classée comme « non-réservoir » à ce puits car elle est rencontrée trop haut. ». Il conviendra de l'isoler et de la couvrir par un casing avant de s'attaquer à la phase forage suivante. Compte tenu des trajectoires prévisionnelles et des incertitudes, celle-ci est localisée à 977 m MD/GL.
 - La zone de faille MIOUZE1-I est classée comme « non-réservoir » à ce puits car elle est rencontrée trop haut. ». Il conviendra de l'isoler et de la couvrir par un casing avant de s'attaquer à la phase forage suivante. Compte tenu des trajectoires prévisionnelles et des incertitudes, celle-ci est localisée à 1247 m MD/GL.
 - La zone de faille MIOUZE2-I est classée comme « potentiellement réservoir » à ce puits car elle est rencontrée à une profondeur intermédiaire. Compte tenu des trajectoires prévisionnelles et des incertitudes, celle-ci est localisée à 2182 m MD/GL. Il conviendra de forer cette section en trou ouvert, en continuité avec la faille suivante.
 - La zone de faille PONTGW1-I délimite le démarrage de la zone de failles classées comme réservoir. Il conviendra de forer cette section en trou ouvert et de la couvrir par la suite selon les observations sur la stabilité avec un liner perforé non cimenté ayant pour seul objectif un maintien mécanique du trou. Compte tenu des trajectoires prévisionnelles et des incertitudes, celle-ci est localisée à 2411 m MD/GL.
- la profondeur maximale à atteindre par le forage (3900 m MD/GL),
- la température attendue au-delà de 150°C.

Compte tenu de la trajectoire prévisionnelle de SIM3 et des incertitudes, on arrive à la fenêtre suivante en termes de profondeur pour la zone de faille ROCH2 :

ROCH2	Minimum	Prévisionnelle	Maximum
Profondeur forée	887 m MD GL	977 m MD GL (+/- 90m)	1067 m MD GL

Compte tenu de la trajectoire prévisionnelle de SIM3 et des incertitudes, on arrive à la fenêtre suivante en termes de profondeur pour la zone de faille MIOUZE1-I :

MIOUZE1-I	Minimum	Prévisionnelle	Maximum
Profondeur forée	1127 m MD GL	1247 m MD GL (+/- 120m)	1467 m MD GL

Compte tenu de la trajectoire prévisionnelle de SIM3 et des incertitudes, on arrive à la fenêtre suivante en termes de profondeur pour la zone de faille MIOUZE2-I :

MIOUZE2-I	Minimum	Prévisionnelle	Maximum
Profondeur forée	1972 m MD GL	2182 m MD GL (+/- 210m)	2392 m MD GL

Compte tenu de la trajectoire prévisionnelle de SIM3 et des incertitudes, on arrive à la fenêtre suivante en termes de profondeur pour la zone de faille PONTGW1-I :

PONTGW1-I	Minimum	Prévisionnelle	Maximum
Profondeur forée	2171 m MD GL	2411 m MD GL (+/- 240m)	2651 m MD GL

Les pré-trous seront réalisés pendant la phase de génie civile avant l'arrivée de la machine et comprendra la pose d'un tube-guide (conductor pipe) 30'' entre 30 et 50 m MD/GL.

Le programme de forage du puits SIM2 comportera 4 phases espacées d'opérations de pose de tubages techniques et de cimentation.

Des mesures de diagraphies seront réalisées à l'issue de chacune de ces phases (voir le programme de diagraphies en pièce 4).

Phase de forage 1 : 24''

- Cette phase de forage sera réalisée jusqu'à +/-694 m MD/GL
- Elle sera complétée par la **pose d'un tubage technique 18''5/8** à positionné à une profondeur supérieure ou égale à 689 m MD/GL et cimenté jusqu'en surface.

Il est à priori peu probable de rencontrer des zones de température élevée si près de la surface dans un contexte non volcanique.

En cas de venue de vapeur pendant la phase forage suivante en 17''1/2, la cote du tubage 18''5/8 doit être suffisamment profonde pour éviter une fracturation des formations à cette cote. Le sabot du casing 18''5/8 devrait être positionné à une profondeur supérieure ou égale à 689 m MD/TVD GL.

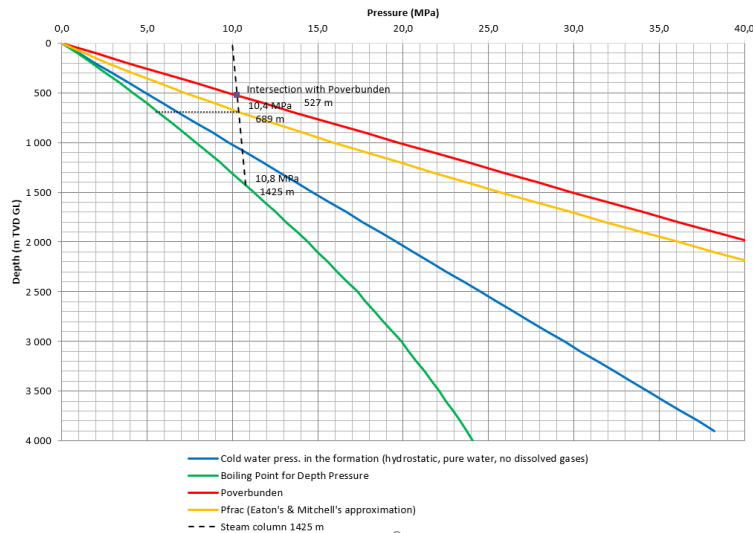


Figure 51 : Positionnement du tubage technique 18''5/8 pour SIM3

Phase de forage 2 : 17''1/2

- Cette phase de forage sera réalisée jusqu'à +/-1531 m MD/GL
- Elle sera complétée par la **pose d'un tubage technique 13''3/8** à +/-1526 m MD/GL et cimentée jusqu'en surface.

Pour positionner le sabot du casing technique 13''3/8, deux contraintes sont à prendre en compte :

- s'isoler de la zone de faille MIOUZE1-I pendant le forage de la phase suivante en 12''1/4 pour éviter d'avoir une zone à perte/fragile en début de phase de forage
- s'assurer d'être en sécurité en cas de venue de vapeur.

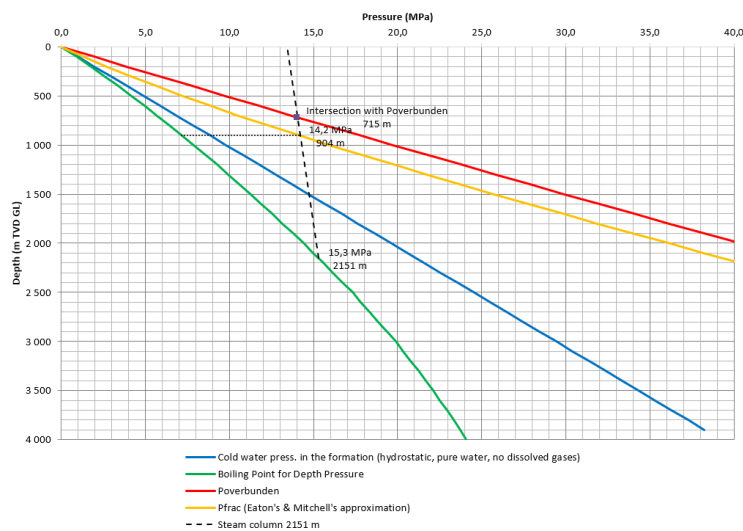


Figure 52 : Positionnement du tubage technique 13''3/8 pour SIM3

Tout d'abord, il faut qu'en cas de venue de vapeur pendant la phase forage suivante en 12''1/4, la cote du tubage 13''3/8 soit suffisamment profonde pour éviter une fracturation des formations à cette cote.

En partant du sabot 9''5/8 le plus potentiellement profond de l'étape suivante (soit 2151 m MD GL) et en appliquant la méthode décrite dans le NZS 2403:2015, il convient de positionner le casing technique 13''3/8 plus profondément que la zone de faille MIOUZE1-I (1127-1467 m MD/GL) à 1526 m MD/GL (bas de la fenêtre pour la zone de faille MIOUZE1-I +50m TVD) avant de s'attaquer à la phase de forage suivante.

En fonction de la profondeur à laquelle les granites seront rencontrés et des performances de forage associées en diamètre 17''½ il pourra être décidé de stopper la section 17''½ de manière anticipée mais dans tous les cas pas plus tôt que la profondeur minimale requise.

A noter, qu'il est envisagé de descendre par la suite un liner 9''5/8 afin d'aménager une chambre de pompage dans le puits, le casing technique 13''3/8 devra donc résister aux mêmes conditions que le liner 9''5/8 (soit 166 bar).

Phase de forage 3 : 12''1/4

- Cette phase de forage sera réalisée jusqu'à 1977 m MD/GL
- Elle sera complétée par la **pose d'un liner 9''5/8** à 1972 m MD/GL ancré vers 1426 m MD/GL et cimentée sur toute la hauteur.

Le casing/liner de production 9''5/8 devra être sélectionné de manière à résister à une pression de 166 bar en tête et une température de 200°C (qui est la température maximale attendue). La cote minimale à laquelle il pourrait être descendue pour résister à une telle pression est donc établie à 1106 mTVD/GL.

Le sabot du casing 9''5/8 a été positionné de manière à être au-dessus des zones d'intérêt, c'est-à-dire au-dessus de la zone de faille MIOUZE2-I (incertitude de 210m MD incluse).

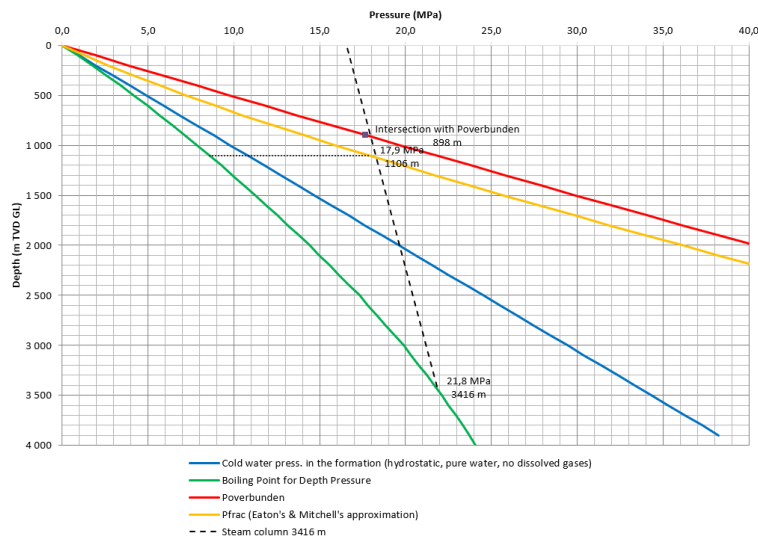


Figure 53 : Positionnement minimal du tubage de production 9''5/8 pour SIM3

Phase de forage 4 : 8''1/2

- Cette phase de forage sera réalisée jusqu'à 3404 m MD/GL (TD 1) ou 3900 m MD/GL (TD DEEP). La cote maximale à atteindre est fixée à la fin du forage de la partie considérée comme réservoir potentiel.
- Elle sera éventuellement complétée par la **pose d'un liner 7'' perforé** s'il y a nécessité d'assurer la tenue mécanique du trou (ancré ou non ancré dans liner 9 5/8'').

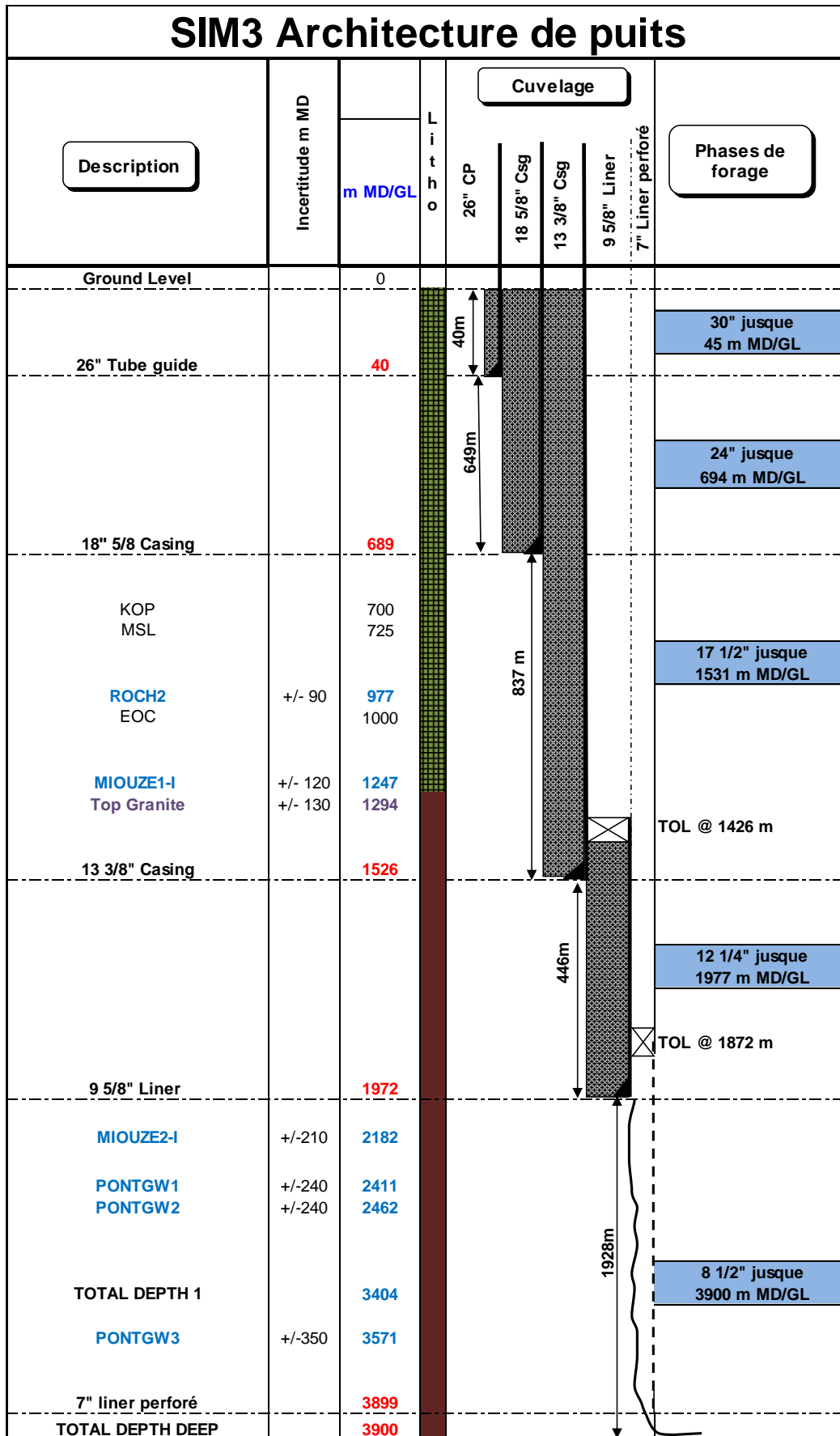


Figure 54 : Architecture prévisionnelle du troisième puits SIM3

10.4. LE QUATRIEME FORAGE SIM4

Les données de base sur lesquelles s'appuient le design du puits SIM4 et le programme de forage sont les suivantes :

- la présence de trois zones de failles « critiques » :
 - La zone de faille ROCH2 est classée comme « non-réservoir » à ce puits car elle est rencontrée trop haut. ». Il conviendra de l'isoler et de la couvrir par un casing avant de s'attaquer à la phase forage suivante. Compte tenu des trajectoires prévisionnelles et des incertitudes, celle-ci est localisée à 1188 m MD/GL.
 - La zone de faille MIOUZE1-I est classée comme « potentiellement réservoir » à ce puits car elle est rencontrée à une profondeur intermédiaire. Il conviendra de l'isoler et de la couvrir par un casing avant de s'attaquer à la phase forage suivante. Le casing pourra être reperforé en cas de besoin, en fonction des résultats sur la phase suivante. Compte tenu des trajectoires prévisionnelles et des incertitudes, celle-ci est localisée à 1608 m MD/GL.
 - La zone de faille MIOUZE2-I délimite le démarrage de la zone de failles classées comme réservoir. Il conviendra de forer cette section en trou ouvert et de la couvrir par la suite selon les observations sur la stabilité avec un liner perforé non cimenté ayant pour seul objectif un maintien mécanique du trou. Compte tenu des trajectoires prévisionnelles et des incertitudes, celle-ci est localisée à 3074 m MD/GL.
- la profondeur maximale à atteindre par le forage (3800 m MD/GL),
- la température attendue au-delà de 150°C.

Compte tenu de la trajectoire prévisionnelle de SIM4 et des incertitudes, on arrive à la fenêtre suivante en termes de profondeur pour la zone de faille ROCH2 :

ROCH2	Minimum	Prévisionnelle	Maximum
Profondeur forée	1078 m MD GL	1188 m MD GL (+/- 110m)	1298 m MD GL

Compte tenu de la trajectoire prévisionnelle de SIM4 et des incertitudes, on arrive à la fenêtre suivante en termes de profondeur pour la zone de faille MIOUZE1-I :

MIOUZE1-I	Minimum	Prévisionnelle	Maximum
Profondeur forée	1448 m MD GL	1608 m MD GL (+/- 160m)	1768 m MD GL

Compte tenu de la trajectoire prévisionnelle de SIM4 et des incertitudes, on arrive à la fenêtre suivante en termes de profondeur pour la zone de faille MIOUZE2-I :

MIOUZE2-I	Minimum	Prévisionnelle	Maximum
Profondeur forée	2774 m MD GL	3074 m MD GL (+/- 300m)	3374 m MD GL

Les pré-trous seront réalisés pendant la phase de génie civil avant l'arrivée de la machine et comprendra la pose d'un tube-guide (conductor pipe) 30'' entre 30 et 50 m MD/GL.

Le programme de forage du puits SIM4 comportera 4 phases espacées d'opérations de pose de tubages techniques et de cimentation.

Des mesures de diagraphies seront réalisées à l'issue de chacune de ces phases (voir le programme de diagraphies en pièce 4).

Phase de forage 1 : 24''

- Cette phase de forage sera réalisée jusqu'à +/-659 m MD/GL
- Elle sera complétée par la **pose d'un tubage technique 18''5/8** à positionner à une profondeur supérieure ou égale à 654 m MD/GL et cimenté jusqu'en surface.

Il est à priori peu probable de rencontrer des zones de température élevée si près de la surface dans un contexte non volcanique.

En cas de venue de vapeur pendant la phase forage suivante en 17''1/2, la cote du tubage 18''5/8 doit être suffisamment profonde pour éviter une fracturation des formations à cette cote. Le sabot du casing 18''5/8 devrait être positionné à une profondeur supérieure ou égale à 654 m MD/TVD.

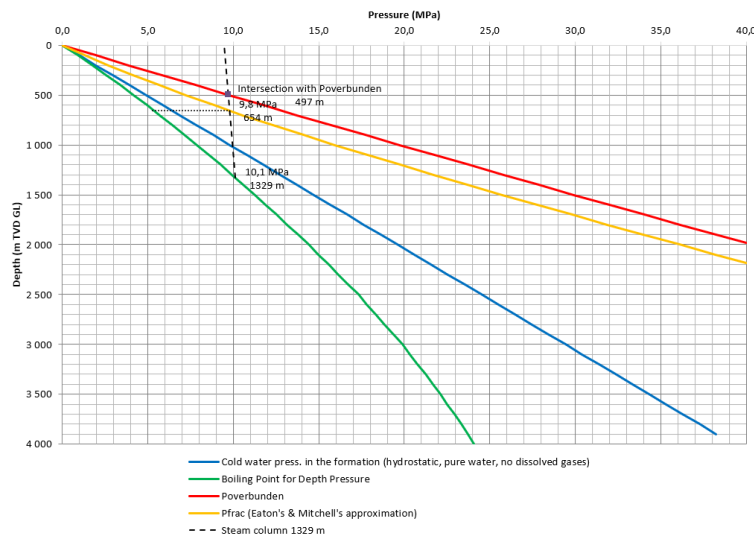


Figure 55 : Positionnement du tubage technique 18''5/8 pour SIM4

Phase de forage 2 : 17''1/2

- Cette phase de forage sera réalisée jusqu'à +/-1356 m MD/GL
- Elle sera complétée par la **pose d'un tubage technique 13''3/8** à +/-1351 m MD/GL et cimenté jusqu'en surface.

Pour positionner le sabot du casing technique 13''3/8, deux contraintes sont à prendre en compte :

- s'isoler de la zone de faille ROCH2 pendant le forage de la phase suivante en 12''1/4 pour éviter d'avoir une zone à perte/fragile en début de phase de forage
- s'assurer d'être en sécurité en cas de venue de vapeur.

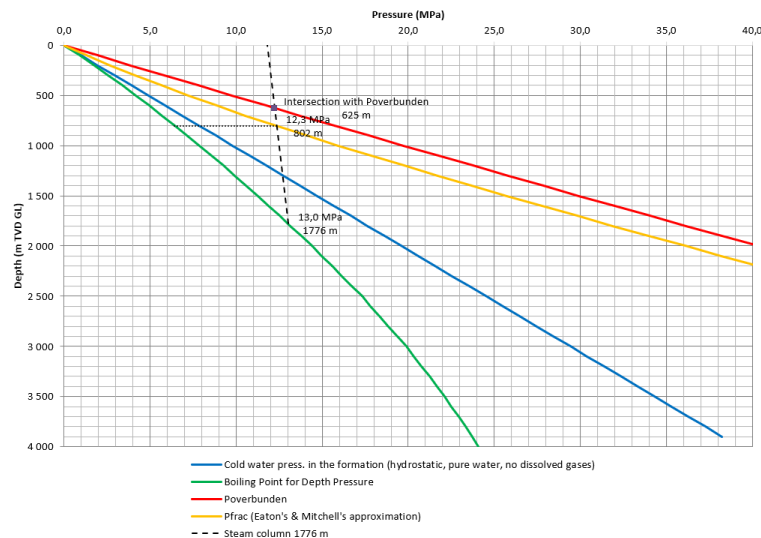


Figure 56 : Positionnement du tubage technique 13''3/8 pour SIM4

Tout d'abord, il faut qu'en cas de venue de vapeur pendant la phase forage suivante en 12''1/4, la cote du tubage 13''3/8 soit suffisamment profonde pour éviter une fracturation des formations à cette cote.

En partant du sabot 9''5/8 le plus potentiellement profond de l'étape suivante (soit 1821 m MD) et en appliquant la méthode décrite dans le NZS 2403:2015, il convient de positionner le casing technique 13''3/8 plus profondément que la zone de faille ROCH2 (1078-1298 m MD/GL) à 1351 m MD/GL (bas de la fenêtre pour la zone de faille ROCH2 +50mTVD) avant de s'attaquer à la phase de forage suivante.

A noter, qu'il est envisagé de descendre par la suite un liner 9''5/8 afin d'aménager une chambre de pompage dans le puits, le casing technique 13''3/8 devra donc résister aux mêmes conditions que le liner 9''5/8 (soit 168 bar).

Phase de forage 3 : 12''1/4

- Cette phase de forage sera réalisée jusqu'à 1826 m MD/GL
- Elle sera complétée par la **pose d'un liner 9''5/8** à 1821 m MD/GL ancré vers 1251 m MD/GL et cimenté sur toute la hauteur.

Le casing/liner de production 9''5/8 devra être sélectionné de manière à résister à une pression de 168 bar en tête et une température de 200°C (qui est la température maximale attendue). La cote minimale à laquelle il pourrait être descendue pour résister à une telle pression est donc établie à 1123 mTVD/GL.

Il convient de positionner le liner 9''5/8 plus profondément que la zone de faille MIOUZE1-I (1448-1768 m MD/GL) à 1821 m MD/GL (bas de la fenêtre pour la zone de faille MIOUZE1-I +50m TVD) avant de s'attaquer à la phase de forage suivante.

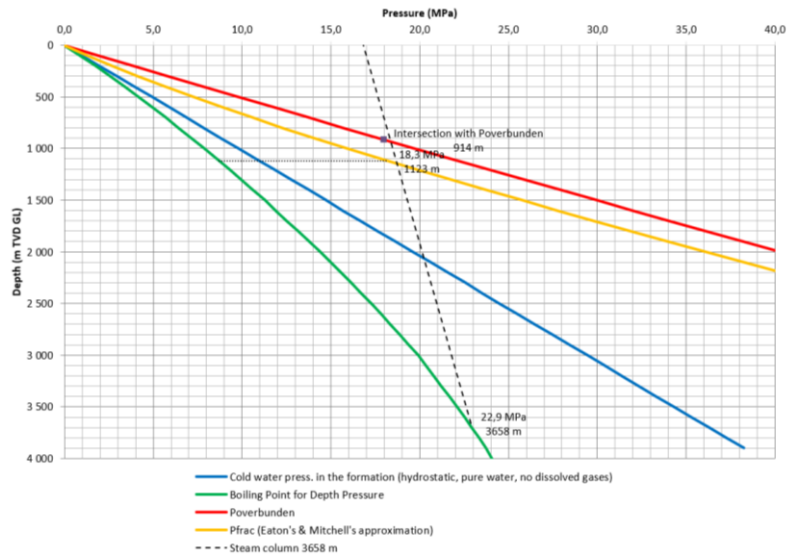


Figure 57 : Positionnement minimal du tubage de production 9''5/8 pour SIM4

Phase de forage 4 : 8''1/2

- Cette phase de forage sera réalisée jusqu'à 3318 m MD/GL (TD 1) ou 3800 m MD/GL (TD DEEP). La cote maximale à atteindre est fixée à la fin du forage de la partie considérée comme réservoir potentiel.
- Elle sera éventuellement complétée par la **pose d'un liner 7'' perforé** s'il y a nécessité d'assurer la tenue mécanique du trou (ancré ou non ancré dans liner 9 5/8'').

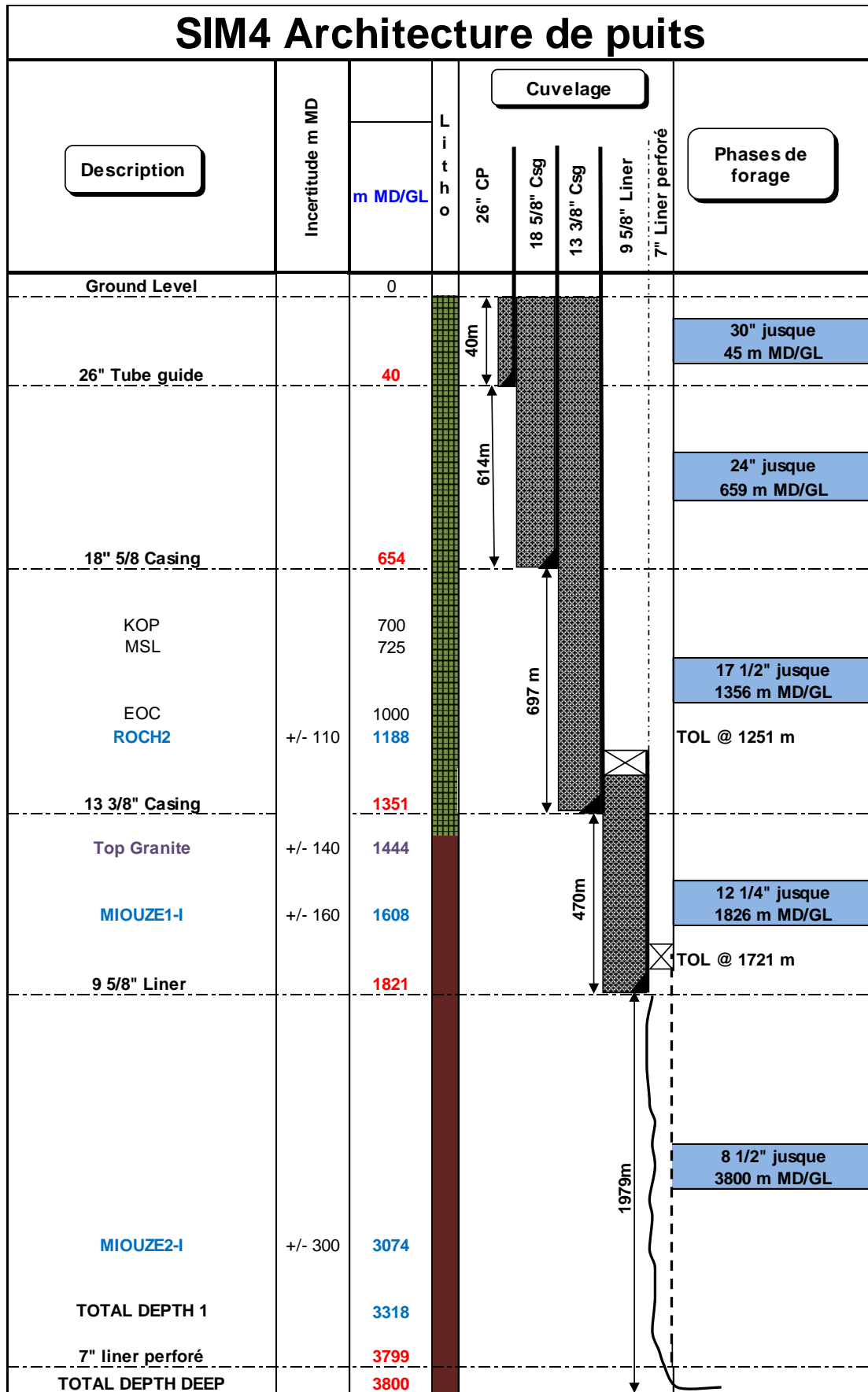


Figure 58 : Architecture prévisionnelle du quatrième puits SIM4

11. CONFIGURATION A L'ISSUE DES TRAVAUX MINIERS

Compte tenu du caractère exploratoire de ces travaux miniers, trois configurations du site à l'issue des travaux sont envisagées.

La première option de configuration après les travaux est une remise en l'état totale de la parcelle en cas d'échec tel que décrit au 5.3 de la présente pièce. Le site sera remis à son propriétaire après procès-verbal de réception définitive.

Les seconde et troisième options de configuration concernent les aménagements en cas de succès de l'exploration : une fois les forages réalisés, l'emprise au sol sera réduite autour des têtes de puits. Il est cependant nécessaire de conserver une surface potentielle d'intervention qui permettra le cas échéant d'intervenir avec une machine adaptée (work-over ou reprise de puits) et de réaliser également des opérations de maintenance et de mesures (diagraphies d'inspection) en toute sécurité.

L'intégration optimisée de ces espaces d'intervention post forage (circulation des camions de wire-line, grue, etc.) permet d'assurer un accès à l'ouvrage nécessaire à son exploitation future et aux contrôles réglementaires associés tel que décrits en pièce 4.

A l'issue des travaux de forage, en cas de succès exploratoire, il restera à demeure sur le site en ce qui concerne les puits :

- une dalle en béton armé (600 m² environ) destinée à accueillir la sous-structure de la machine de forage de work-over autour de laquelle pourra s'implanter de façon temporaire les équipements en cas d'intervention/ maintenance des puits ;
- pour chaque puits forés et exploités, une cave en béton armé au centre de laquelle est positionné le puits avec son empilage de vannes de sécurité et adaptateurs.
- Le bassin d'orage destiné à recueillir les eaux de ruissellement de la plateforme avant rejet au milieu naturel. Le volume de rétention pourra être adapté en fonction de la surface imperméabilisée.
- Un bassin de stockage des eaux géothermales de 2000 m³ en cas de maintenance

Les seconde et troisième options de configuration d'aménagement de la parcelle pour un ou deux doublets en exploitation sont présentées dans les figures ci-après. Ces implantations sont au stade de projet et sont susceptibles d'évoluer au grès des études à venir. L'unité de production (dans le cas d'un doublet exploité) sera alors implantée en contrebas de la plateforme de puits. Dans le cas d'un second doublet exploité, les équipements seront doublés à l'exception du bâtiment dédié au bureau qui n'évoluera pas en termes d'emprise (pour plus de détail sur l'unité de production, se référer à la pièce 4).

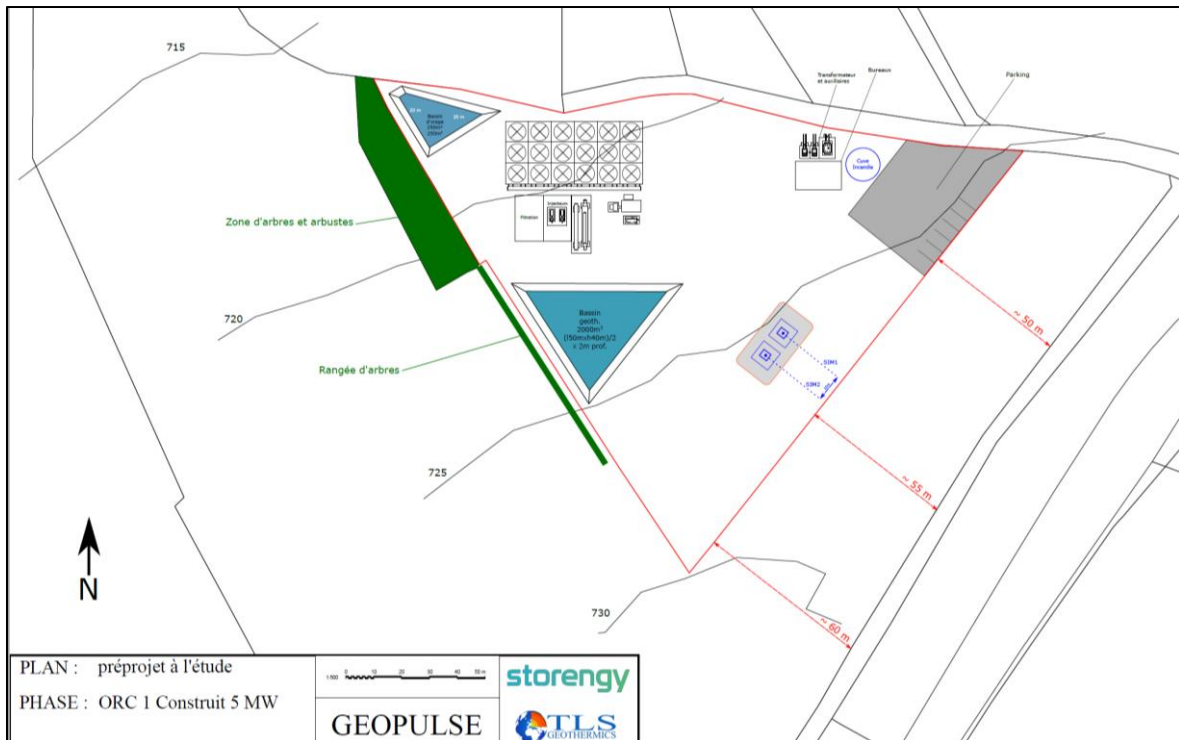


Figure 59 : Implantation prévisionnelle des puits et de leurs équipements connexes à l'issue des travaux miniers pour un doublet (projet)

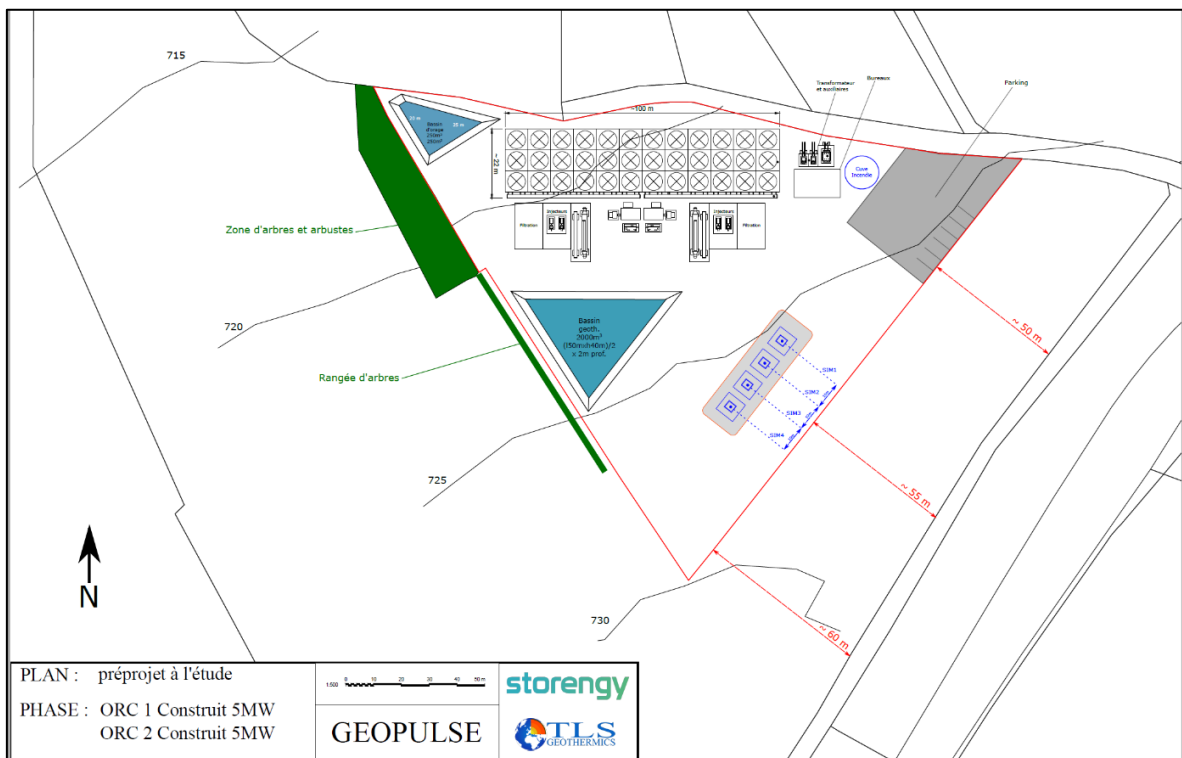


Figure 60 : Implantation prévisionnelle des puits et de leurs équipements connexes à l'issue des travaux miniers pour deux doublets (projet)