

DEMANDE D'AUTORISATION
ENVIRONNEMENTALE
D'OUVERTURE DE TRAVAUX
MINIERS « LES POTERIES
EXPLORATION »

10b

Configuration de
la phase chantier



Lithium
de France

chaleur & lithium géothermal



DEMANDE D'AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE D'OUVERTURE DE TRAVAUX MINIERS « LES POTERIES EXPLORATION »

10b. Configuration de la phase chantier

Référence interne	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
LPX_AE_010b_Doc10b	Jean Caurel Vincent Daumas	Jérôme Jacquemont	Guillaume Borrel

Date	Destinataire	Organisme
27/12/2024	M. le Préfet	Préfecture du Bas-Rhin
27/12/2024	Mme. Jacquot	DREAL – Grand Est



TABLE DES MATIERES

1	Localisation en surface des travaux miniers	3
1.1	Terrain de surface	3
1.2	Situation au titre de l'urbanisme	6
2	Mise en place de la phase chantier sur site.....	8
2.1	Implantation en surface	8
2.2	Phase génie-civil.....	12
2.3	Appareil de forage	12
2.3.1	Description & plan général.....	12
2.3.2	Autres aspects de l'appareil de forage	14
3	Eau & aquifères.....	15
3.1	Alimentation en eau	15
3.2	Protection des aquifères.....	15
3.2.1	Aquifères sous zone.....	15
3.2.2	Isolation des aquifères.....	15
3.2.3	Gestion des eaux usées	16
4	Construction du puits	17
4.1	Architecture du puits	17
4.2	Architecture en contingence.....	17
4.3	Corrosion.....	17
4.4	Déviation & trajectoires	18
4.4.1	Trajectoires du puits	18
4.4.2	Mesures de déviation.....	20
4.5	Fluides de forage.....	20
4.5.1	Réglementation, Généralités :	20
4.5.2	Autorisations :	20
4.5.3	Cycles d'utilisation et préservation de l'environnement :	20
4.5.4	Systèmes & formulations des fluides de forage	21
4.5.5	Pertes dans les formations.....	22
4.5.6	Fenêtre de densité de fluide de forage	23
4.6	Stabilité du puits.....	25
4.6.1	Causes d'instabilité des puits	25
4.6.2	Modèle de stabilité géomécanique du puits.....	26
4.7	Cimentations.....	28
4.7.1	Généralités.....	28
4.7.2	Tubages de grands diamètres.....	29
4.7.3	Cas particulier de la géothermie.....	29
4.8	Résumés synoptiques des ouvrages	31
4.8.1	Notice.....	31
4.8.2	Puits GPX.....	32

5	Aspects opérationnels	33
5.1	Traitement des déblais et fluides résiduels.....	33
5.1.1	Généralités.....	33
5.1.2	Traitements de déblais de forage	33
5.1.3	Traitements des fluides de forage	34
5.2	Organisation des opérations forage.....	35
5.2.1	Services.....	35
5.2.2	Equipements tangibles	38
5.2.3	Encadrement du chantier.....	38
	Chef de poste	39
	Assistant chef de poste	39
	Mudman.....	39
	Floorman.....	39
	Ouvrier de surface	39
5.3	Procédures HSE.....	41
5.4	Planning	42
5.4.1	Séquence opérationnelle de construction d'un puits	42
5.4.2	Planning global de préparation et réalisation du projet	44

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 2.1 : implantation des travaux en surface	8
Figure 2.2 : Schémas de la connexion des puits en surface	11
Figure 2.3 : Exemple d'implantation d'un chantier de forage	12
Figure 2.4: Modélisation du chantier de forage avec l'appareil ADS B04.....	13
Figure 4.1 : Trajectoire verticale du puits GPX	19
Figure 4.2 : Fenêtre de densité de fluide de forage.....	24
Figure 4.3 : Diagrammes de stabilité	26
Figure 4.4 : Profil directionnel et diagrammes de stabilité pour des puits théoriques (puits bleu, puits vert).....	27
Figure 4.5 : Profil directionnel pour des puits théoriques (puits bleu, puits vert).....	27
Figure 4.6: Cimentation des tubages de grands diamètres.....	29
Figure 4.7 : Installation d'un tubage (bleu) à travers divers bloc fracturés et faillés,	30
Figure 4.8 : Notice de lecture d'un tableau synoptique d'ouvrage d'un puits	31
Figure 4.9 : Tableau synoptique du puits GPX	32
Figure 5.1 : Schématisation du traitement des retours fluides sur un site de forage.....	34
Figure 5.2 : Principe des retraitements des déblais et fluides résiduels	35
Figure 5.3 : Encadrement du chantier forage	38

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 4.1: Résumé de l'architecture du puits : 17



1 LOCALISATION EN SURFACE DES TRAVAUX MINIERS

1.1 Terrain de surface

Le chantier de forage est implanté au sud du village de Soufflenheim sur une partie des parcelles 767 et 252, section 30, feuille 1 de la commune de Soufflenheim, dans le département du Bas-Rhin.

La juxtaposition des deux parcelles constitue la base foncière dans laquelle est découpée l'emprise du forage puits. L'accès au terrain est assuré par la rue Jean Lenoir, rejoignant la D138 à quelques centaines de mètres au niveau du croisement.

L'emprise sera entourée de la façon suivante :

- Sur la zone située à l'ouest de la D138 : Zone d'activité comprenant supermarché, entreprises de transport, menuiserie et fournisseurs de matériels électriques. Un parc solaire photovoltaïque sera développé sur le pourtour nord et est du site ;
- Le terrain sera distant de la départementale D138 de 150m environ et cette zone tampon, actuellement friche industrielle, sera convertie en une zone de développement artisanale. A l'est de la départementale se situent des habitations qui se trouvent pour la plus proche à 230m de la position prévisible du puits ;
- Vers le sud, les premières habitations se trouvent à 230m en troisième rangée derrière la zone industrielle ;
- A 275m au nord se situe une voie de chemin de fer désaffectée, qui limite une zone forestière.

Les trois cartes suivantes indiquent respectivement la localisation du Permis Exclusif de Recherches (PER) dans la région (Figure 1.1), la localisation du site dans la surface du PER (Figure 1.2) et les coordonnées Lambert 93 des terrains (Figure 1.3).

10B. CONFIGURATION DE LA PHASE CHANTIER

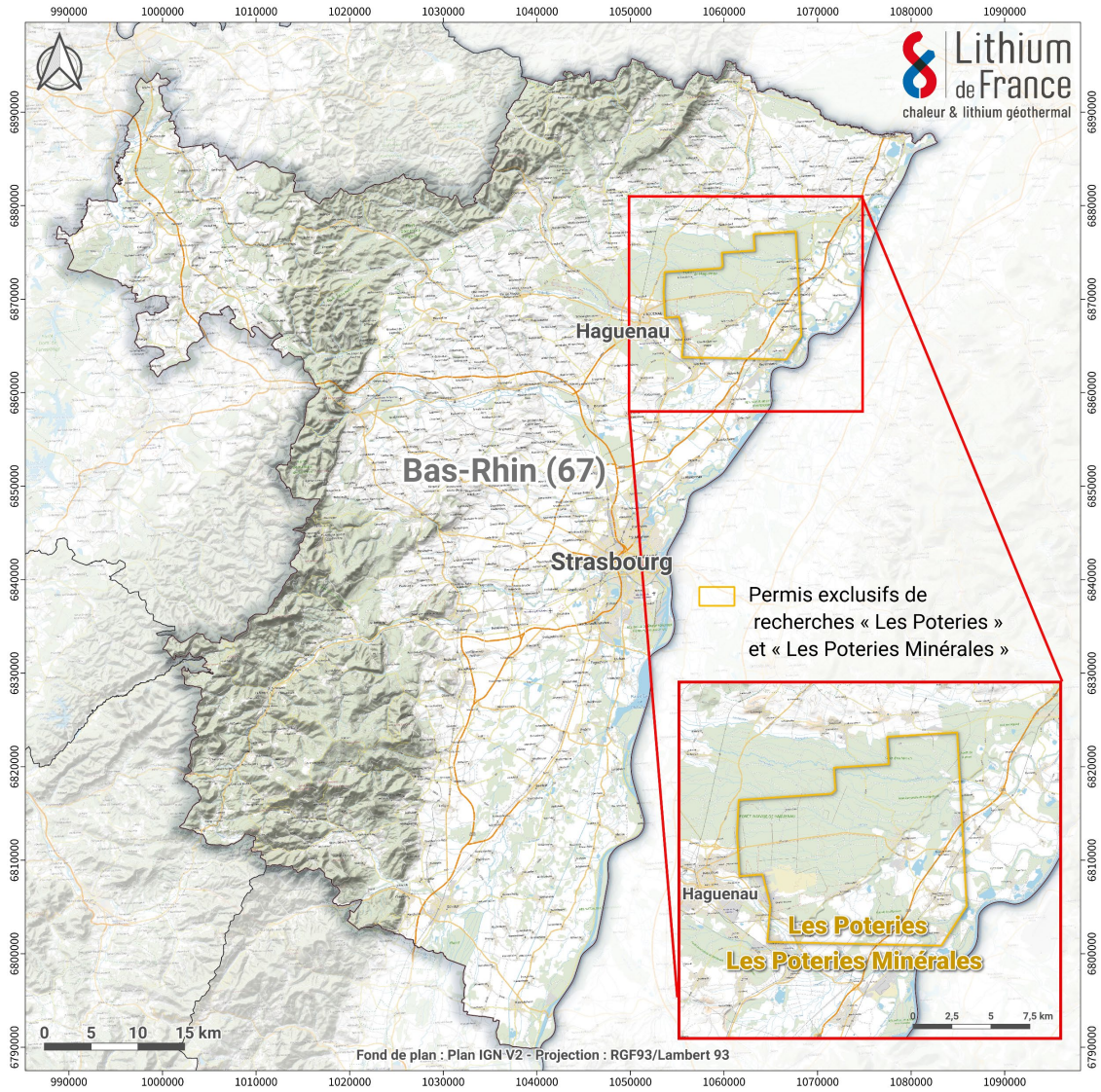


Figure 1.1: Carte régionale de localisation des PER « Les Poteries » et « Les Poteries Minérales »

10B. CONFIGURATION DE LA PHASE CHANTIER



Carte de localisation des permis exclusifs de recherche « Les Poteries » et « Les Poteries Minérales » au 1/100 000

Carte mise à jour le 23/07/2024

Légende :

- PER « Les Poteries » et « Les Poteries Minérales »
- Communes
- Communautés de communes

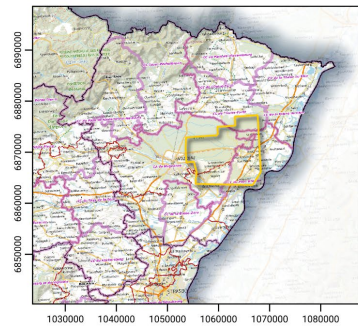


Figure 1.2 : Carte de localisation des PER « Les Poteries » et « Les Poteries Minérales »

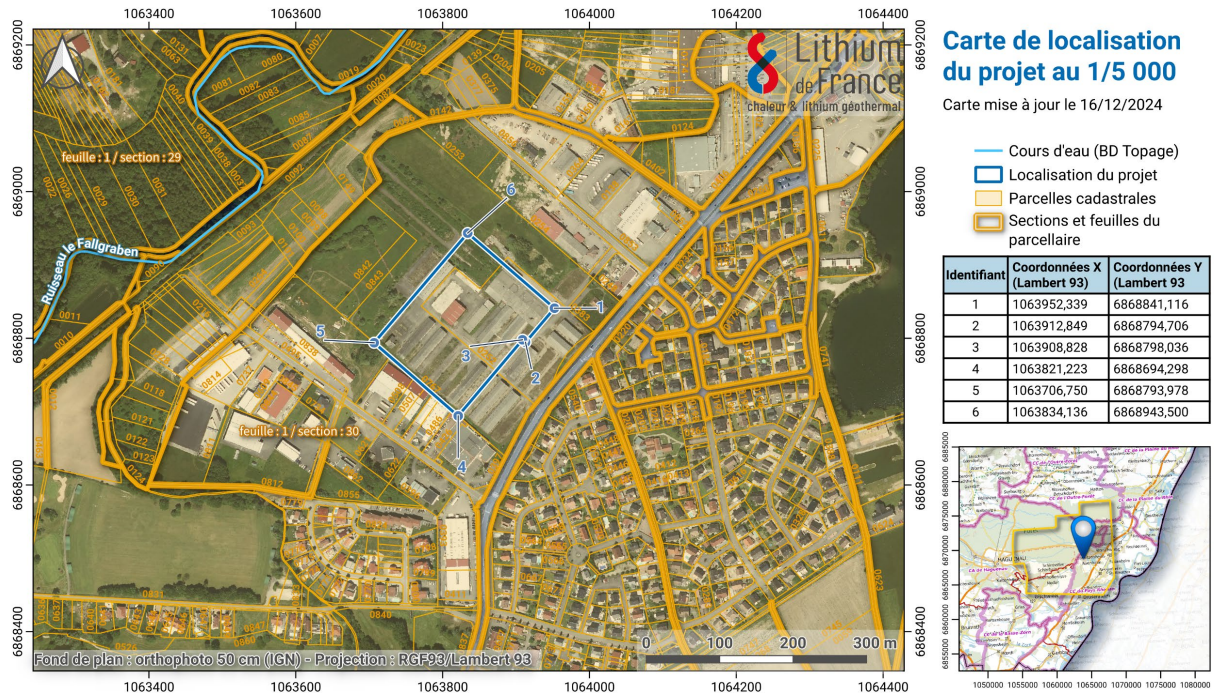


Figure 1.3 : Carte de localisation du terrain avec coordonnées géographiques (Lambert 93)

1.2 Situation au titre de l'urbanisme

La commune de Soufflenheim est couverte par un Plan Local d'Urbanisme intercommunal (PLUi). Il s'agit du PLUi du Pays Rhénan dont la dernière procédure a été approuvée le 20/03/2023.

Le PADD (Plan d'aménagement et de développement durable) du PLUi est structuré en 3 axes dont notamment le 3^{ème} axe « Vers un pays rhénan respectueux de son cadre naturel et paysager » :

- La préservation des espaces naturels, agricole et forestiers ;
- La préservation et la remise en bon état des continuités écologiques ;
- La gestion durable du sous-sol ;
- La maîtrise des risques et des nuisances ;
- La prise en compte des paysages ;
- L'énergie.

Sur la thématique énergie, deux orientations sont à relever en lien avec le projet LPX.

- (1) Orientation 1 : préparer le territoire à une société sobre en carbone ;
- (2) Orientation 2 : permettre et faciliter la réalisation de projets en matière énergétique.

Sur les points le concernant, le projet exploratoire de Lithium de France visant la recherche de ressources géothermales, est en accord avec les objectifs du PLUi. Rappelons d'ailleurs que le projet n'induit pas d'incidences sur le milieu naturel et n'altère pas l'ambiance paysagère. Il répond globalement à l'axe 3 du PADD.

Le projet est implanté au droit de terrains classés UXm dans le PLUi. Ce classement fait référence aux zones urbaines spécialisées, destinées principalement aux activités économiques. Elles constituent des zones d'activités économiques mixtes. En d'autres termes, le zonage UXm autorise des destinations complémentaires à celles strictement « économiques » et qui participent à la vie d'une zone d'activités

(certains équipements, services publics, restaurants, hôtels et autres hébergements touristique etc.).

Le document d'urbanisme de la commune de Soufflenheim permet donc la tenue de l'activité projetée par Lithium de France à travers son projet LPX. Le projet n'implique donc pas la nécessité d'une quelconque déclaration de projet emportant mise en compatibilité du PLUi

2 MISE EN PLACE DE LA PHASE CHANTIER SUR SITE

2.1 Implantation en surface

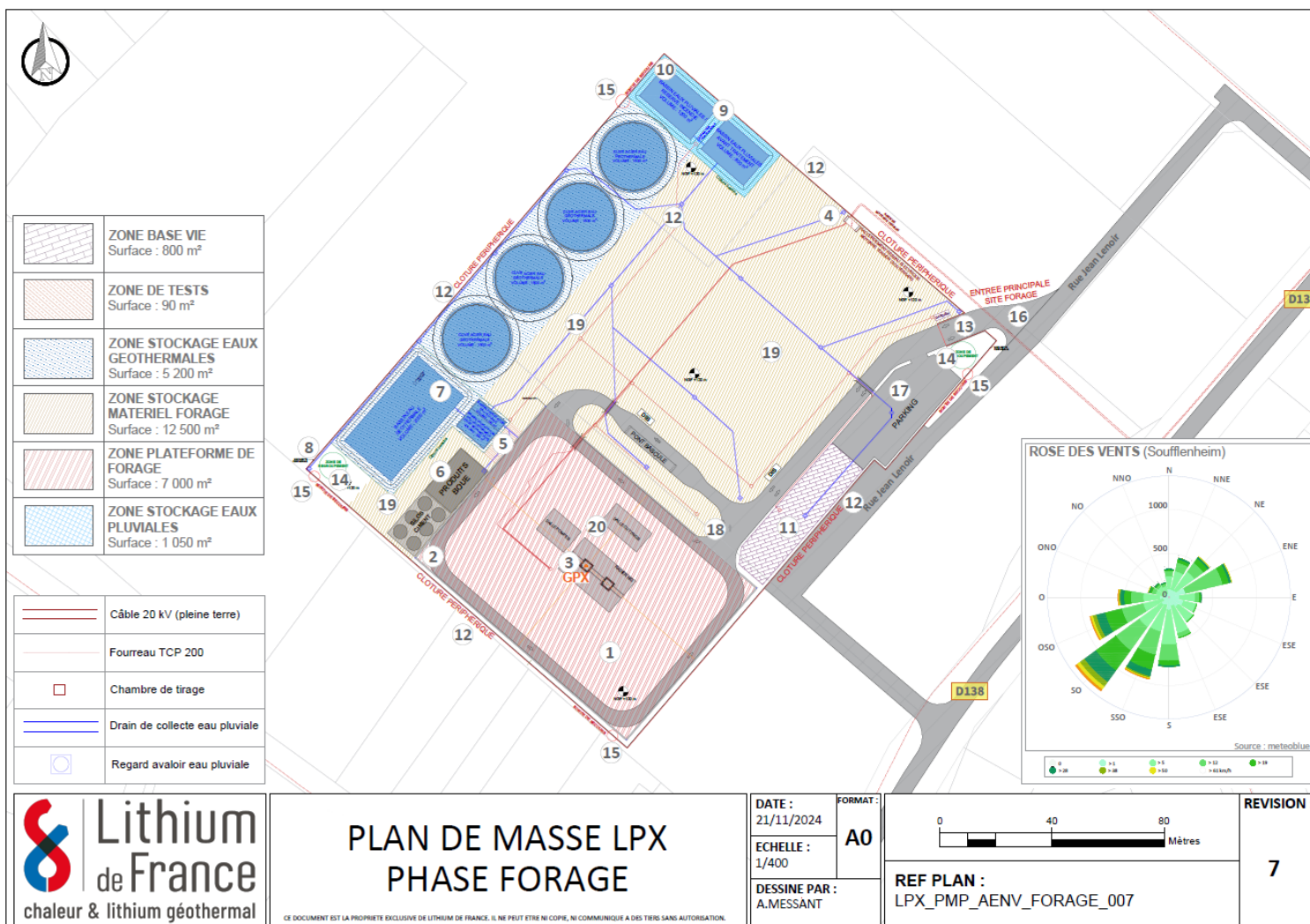


Figure 2.1 : implantation des travaux en surface

La Figure 2.1 ci-dessus résume l'implantation du chantier sur le terrain et les éléments le constituant sont décrits dans les paragraphes ci-dessous.

Il est important de noter que sont décrits dans ce paragraphe tous les éléments nécessaires à la réalisation du projet, cependant le plan de masse peut faire l'objet d'amendements de dispositions en fonction des aléas génie civil et sols.

Cependant, l'essentiel des recouvrements, fonctionnalités et mesures préventives ne sera pas modifié. Toute modification du plan d'implantation fera l'objet d'un amendement au présent document, transmis pour information aux autorités compétentes.

Les éléments essentiels sont les suivants :

- 1 La plateforme de forage pour accueil de l'appareil de forage avec un radier cimenté en fonction de la répartition des charges de l'appareil de forage, des pompes et des générateurs. La Figure 2.2 ci-après détaille la connexion des puits en surface.
L'ensemble des services nécessaires aux opérations forage et puits sera installé sur cette zone.
- 2 Un système de drainage pour la récupération des fluides résiduels sans contamination du sol.
La réserve de carburant, en cas d'alimentation électrique de secours pour autonomie de l'installation, sera positionnée avec self rétention et confinement.
L'ensemble de la plateforme de forage est nivelé, en concassé-compacté avec une géomembrane sous-jacente.
La structure radier à portance renforcée est une structure stable, en béton renforcé, adaptée aux semelles de l'appareil de forage et aux charges en place.
L'ensemble est drainé pour assurer l'écoulement des eaux.
- 3 L'emplacement de la tête de puits est positionné pratiquement au centre de la zone de forage.
Simultanément à la réalisation de la plateforme de forage sera construite une cave pour la tête de puits sur l'emplacement mentionné GPX. Les dimensions approximatives de la cave seront 5 m L x 4 m l x 2,50 m P.
Le design de la cave prend en compte les éléments suivants :
 - Un tube guide, diamètres 30", installés par battage à 30 – 40 m de profondeur et cimenté en fond de cave. Le tube guide constitue la première continuité hydraulique entre le puits et la surface pour la première phase forage (cf. Figure 2.2 ci-dessous).
 - Un adaptateur et une tête de puits pour supports des tubages suivants et du BOP (« Blow Out Preventer » ou bloc de fermeture d'urgence du puits, positionné au-dessus de la cave en élévation).
- 4 La zone alimentation Haute-Tension (20 kV) en bordure Nord-Est du chantier.
- 5 La zone de test de puits comprend le collecteur / distributeur pour séparation des effluents, échantillonnages et mesures de débits. Un merlon est prévu pour la rétention et le drainage des effluents en cas de fuite en surface de tout type de fluide.
- 6 La zone de produits boue et de nettoyage est prévue pour le stockage des produits chimiques sur une dalle stable avec système de rétention et confinement pour prévenir des impacts potentiels des produits chimiques sur la qualité des sols.
- 7 La zone de bassins de stockage est destinée à recevoir les fluides (eau pour formulations ou traitements des fluides de forage), le retour des fluides de forage et leur stockage provisoire, le retour des fluides récupérés lors du séchage des déblais, et le stockage des fluides géothermaux lors de la réalisation de tests de puits.
La capacité totale des bassins est calculée pour qu'ils aient la possibilité d'absorber les fluides géothermaux durant les tests de puits aux débits souhaités. Une capacité de 7 500 – 8 000 m³ permet jusqu'à 30 h de test en continu à un débit de 250 m³/h. Cette capacité totale de 7 500 à 8 000 m³ sera fournie par 3 à 4 bassins indépendants de 2 000 à 2 500 m³ chacun. Cette division permet d'opérer individuellement avec chaque bassin et ainsi de mieux ségréger les fluides ; elle augmente également

la flexibilité opérationnelle et limite l'impact au sol des travaux de génie civil et facilite la remise en état finale. Le fluide géothermal atteindra les bassins de stockage à une température inférieure à 100°C après être passé par les équipements de test.

En fin de test du puits, le fluide géothermal sera réinjecté dans son réservoir naturel d'origine.

- 8 Le système de drainage. L'altitude étant la même pour l'ensemble du site, tous fluides résiduels seront drainés et récupérés puis dirigés vers les bassins de rétention.
- 9 Le bassin de traitement des eaux pluviales et huileuses (avant traitement) est implantés au Nord.
- 10 Un bassin destiné à la réserve anti-incendie (Nord) qui est alimenté par les eaux pluviales traitées. Le trop plein de ce bassin est raccordé à l'assainissement pour évacuation (avec une vanne de sectionnement de secours).
- 11 Les zones de vie comprennent les zones de bureaux pour superviseurs et compagnies de services, la base de vie incluant les zones d'hygiène et récréatives.

Les principaux éléments relatifs aux aspects sureté et sécurité sont :

- 12 La zone clôturée
- 13 L'accès est contrôlé par une barrière et un gardiennage
- 14 Les 2 points de rassemblement en cas d'alerte
- 15 Les sorties de secours (x4) au Nord, Sud, Est et Ouest pour palier tout incident selon son emplacement, sa nature et un blocage éventuel des accès liés au sens du vent.

Les bassins creusés seront clôturés et une alarme générale modulée sera opérationnelle.

Les dispositifs pour circulation et stockage sont :

- 16 Les aires de dégagements et d'accès
- 17 Les aires de stationnement
- 18 Les aires de livraison et retournement
- 19 Les aires de stockage

Des zones de circulation piétonnes, les principaux accès aux puits ainsi que les zones de circulation vers les points de rassemblement et vers les sorties de secours seront également prévues.

Les zones de travaux de génie civil et constructions sont :

- 20 Les zones construites (plateformes et radiers béton) sont soumises à études préalables, incluant sans s'y limiter topographie, études géotechnique, compte rendu de stabilité, ...

Pour les zones de circulation, stockage, test de puits, base vie et bassins, une préparation de type décapage, nivelage, compactage, couche de finition en matériaux naturels calibrés est suffisante. Cette option permet une remise en état avec moindre impact sur le milieu.

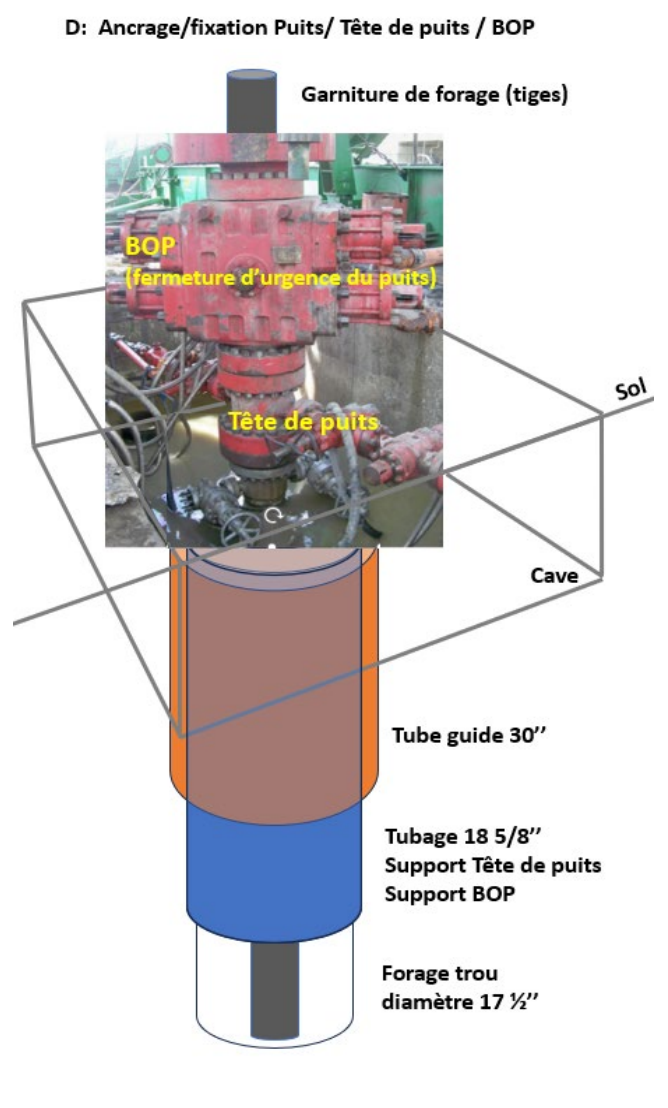
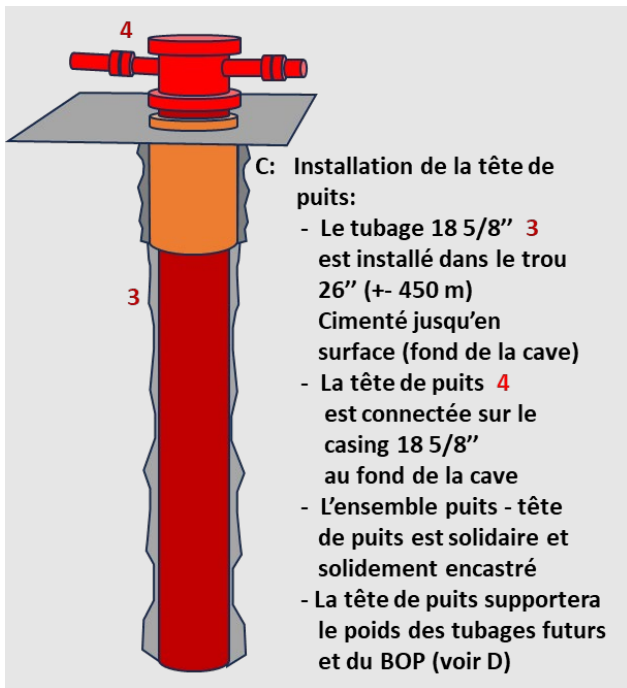
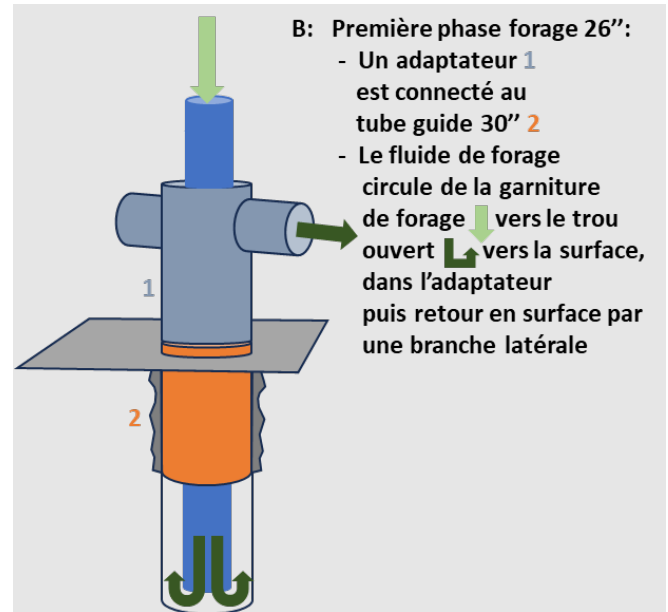
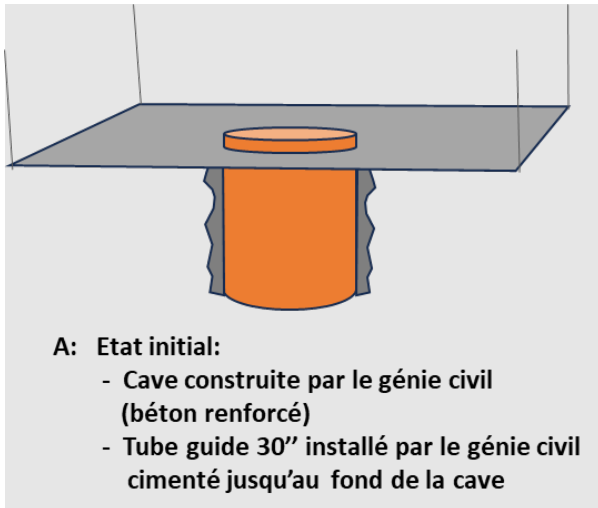


Figure 2.2 : Schémas de la connexion des puits en surface

2.2 Phase génie-civil

La phase génie-civil comprend la préparation, l'installation et la construction des éléments de surface décrits ci-dessus. Elle s'effectue en amont de toutes autres opérations. Sa durée estimée est de 5 à 6 mois, selon la météo et les disponibilités des intervenants.

Elle comprend l'utilisation de méthodes et moyens standards de terrassement et de génie civil. Les branchements au réseau électrique de distribution et au réseau d'eau font partie de cette phase amont.

Les travaux de préparation du site comprennent l'arasement, le nivellement, les excavations, la pose des géotextiles, le recouvrement, le compactage, le coulage du radier, des dalles et des parois renforcées ainsi que les implantations des drains et des merlons.

Un relevé topographie confirmera le positionnement précis des têtes de puits après l'implantation des tubes guides.

2.3 Appareil de forage

2.3.1 Description & plan général

L'appareil de forage sélectionné, (par exemple le B04) de la société Arverne Drilling Services, sera un appareil spécifique pour les forages de puits géothermaux, fonctionnant à l'énergie électrique et avec un système hydraulique et automatique pour les manœuvres.

La ci-dessous illustre l'aspect général du chantier de forage avec des équipements auxiliaires.



Figure 2.3 : Exemple d'implantation d'un chantier de forage

La Figure 2.4 ci-dessous décrit les organes principaux de l'appareil de forage

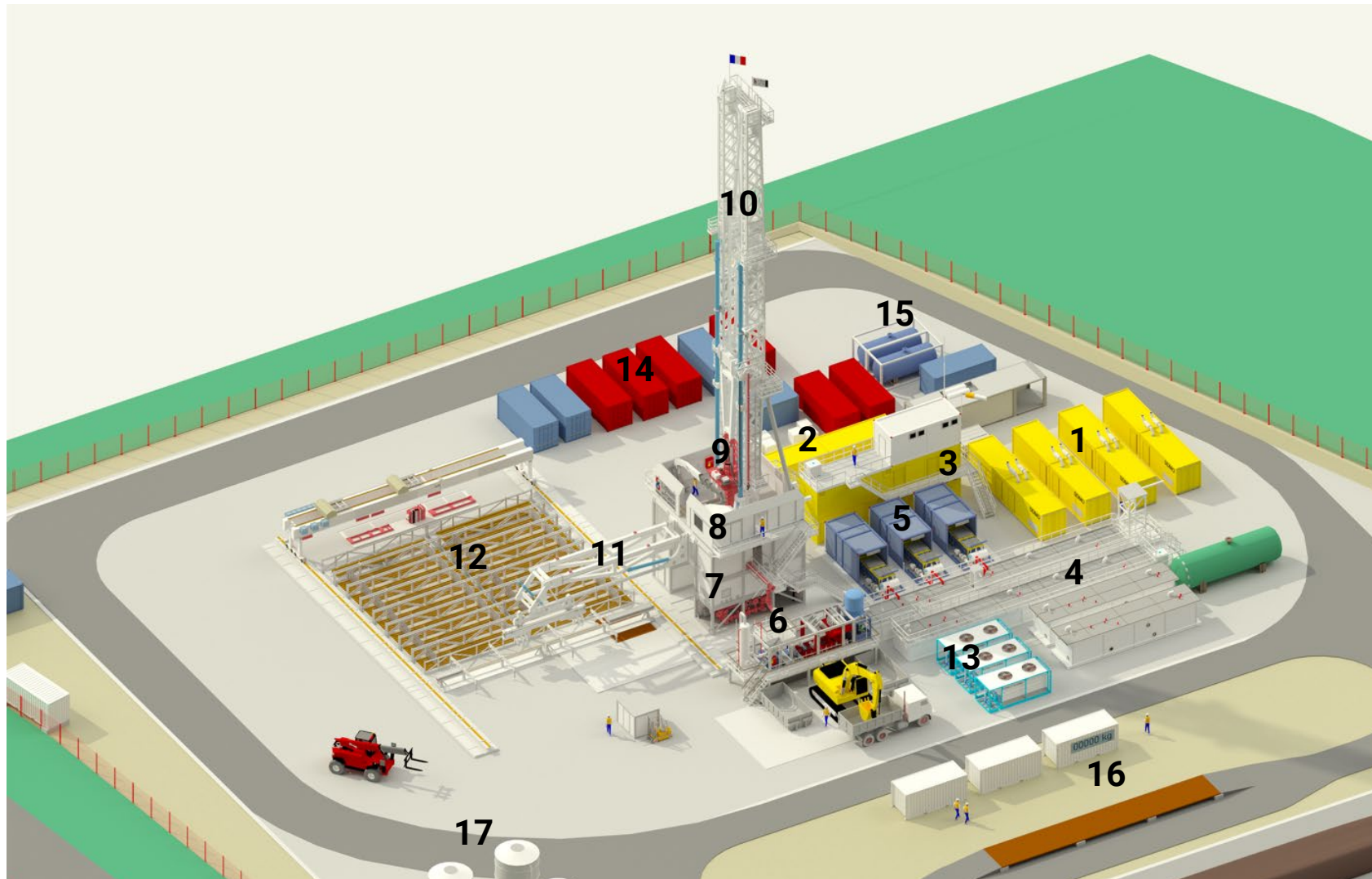


Figure 2.4: Modélisation du chantier de forage avec l'appareil ADS B04

- (1) Générateurs Diesel (Alimentation de secours)
- (2) Transformateur HTA/BT
- (3) Centre de contrôle
- (4) Quartiers fluides de forage : Préparation, stockage, traitements
- (5) Pompes de forage
- (6) Retours fluides de forage du puits, séparation des solides (sans pression)
- (7) Sous structure de l'appareil. Les caissons supportent les charges de l'appareil en opération (les têtes de puits sont au sol (caves) dans l'espace entre les caissons, le bloc de fermeture du puits (pour le contrôle des éruptions) est dans l'axe du puits, sous le plancher de forage)
- (8) Plancher de forage, centre de manipulation et manœuvres des garnitures, centre de contrôle du forage
- (9) "Top Drive swivel" ou organe d'entraînement des garnitures de forage en rotation/translation haut/bas
- (10) Mat, support des mouvements haut et bas des garnitures de forage
- (11) Dispositif de collecte, levage et livraison automatique des équipements tubulaires au plancher de forage pour utilisation dans le puits
- (12) Support horizontal pour collecte de tubulaires
- (13) Refroidisseur de fluide de forage
- (14) Ateliers de maintenance et stockage des pièces de rechange
- (15) Réserve de Diesel pour les générateurs (Alimentation de secours)
- (16) Pont-Bascule pour la vérification du poids total des camions
- (17) Silos de ciment

2.3.2 Autres aspects de l'appareil de forage

L'appareil de forage est déménagé de site en site en +/- 90 colis (un colis par voyage de semi-remorque) sur une durée d'environ 10 jours.

Le mat se scinde en trois parties pour être transporté, les autres éléments ne dépassent pas la taille d'un colis.

Le déménagement est organisé par le contracteur de forage, sous supervision et selon les procédures adéquates combinées du contracteur de forage et de l'opérateur.

L'appareil de forage sera déménagé et monté sur site. A l'issue de cette installation, l'opérateur validera la configuration préalablement au démarrage des opérations de forage du premier puits. L'acceptation de l'appareil consiste en une vérification multicritères techniques et sécurité, préétablis, définissant les conditions strictes de fonctionnement de l'appareil.

L'appareil de forage est essentiellement électrique et donc fonctionne sans nuisance sonore notable. Le niveau sonore de base sera enregistré préalablement à la mobilisation sur site de tout moyen de travaux, pour référence.

Les moyens de contrôle de puits (procédures et équipement pour fermeture du puits et contrôle de venue d'effluent) sont partie intégrante du contrat de forage et partie essentielle de l'empilement des équipements entre la tête de puits (au niveau de la cave) et le plancher de forage (Figure 2.4 ci-dessus).

Les moyens de contrôle de ces équipements, garantissant leur fonctionnement permanent, sont également partie intégrante du contrat forage.

3 EAU & AQUIFERES

3.1 Alimentation en eau

La consommation d'eau en phase forage est estimée à 55 m³ / jour en moyenne (variable selon la phase forage et les pertes dans les formations), soit 6 000 – 6 500 m³ par puits.

Les bassins géothermaux de capacité 8 000 m³ permettent le stockage d'eau pour la phase forage d'un puits dans son ensemble. De sorte qu'une solution de remplissage d'eau par citernage préalable aux opérations de forage est envisageable.

La phase forage n'est donc pas tributaire de l'alimentation régulière en eau.

3.2 Protection des aquifères.

3.2.1 Aquifères sous zone

Le projet de forage unique exploratoire de Lithium de France traverse une masse d'eau souterraine, celle référencée FRCG101 et désignée « Nappe d'Alsace, Pliocène de Haguenau et Oligocène ». Elle s'étend en Alsace, sur 3 200 km² dont 400 km² pour le Pliocène de Haguenau. Il s'agit de l'une des plus importantes réserves en eau souterraine d'Europe (35 milliards de m³ pour la partie alsacienne). Le réservoir de cet aquifère est constitué d'alluvions rhénanes d'origine alpine marquées par une variabilité de la vitesse de circulation, dénotant un caractère hétérogène.

L'écoulement de la nappe se fait globalement en direction du Rhin. Spécifiquement à Soufflenheim, les eaux circulent en direction du Nord-Est. Située à faible profondeur, la nappe est vulnérable et sensible aux pollutions diffuses et ponctuelles, d'origine industrielle, agricole ou domestique. Au titre du SDAGE Rhin-Meuse (2022-2027), la qualité des eaux souterraines de cette masse d'eau est mauvaise du fait de la présence de nitrates et produits phytosanitaires. En revanche son état quantitatif est bon.

Trois sondages seront forés au droit du terrain préalablement aux opérations de forage du puits afin de confirmer la présence d'eaux souterraines superficielles au droit même du site.

Selon la confirmation de la présence d'une nappe, ces sondages seront équipés de piézomètres. Ainsi, le réseau de surveillance comprendra un puits en amont et deux puits en aval pour surveiller l'impact potentiel du chantier sur la qualité des eaux souterraines superficielles.

Les mesures de surveillance seront les suivants :

- hydrocarbures C₅-C₁₀ ;
- hydrocarbures C₁₀-C₄₀ ;
- pH ;
- température ;
- conductivité ;
- potentiel Redox ;
- salinité ;
- matières en suspension.

3.2.2 Isolation des aquifères

Lors des opérations de forage de chaque puits, tout aquifère identifié sera isolé hydrauliquement par une colonne de tubage cimentée jusqu'en surface.

Les cimentations seront contrôlées et certifiées par :

- 1) Le contrôle des opérations de cimentation elles-mêmes : Contrôles des volumes annulaires à cimenter, des volumes de fluides de forage et laitiers déplacés, des à-coups de pression lors des déplacements de laitiers de ciment, des retours de fluides en surface (fluides de forage, fluides tampons, laitiers).
- 2) Les logs de cimentation type CBL pour les tubages 13 3/8", 9 5/8", 7" (si nécessaire)
- 3) Les mesures CBL dans les tubages de grands diamètres (> 13 3/8") ont été démontrées inefficaces :

- Les mesures CBL sont basées sur la propagation d'un signal acoustique émis par l'outil à travers le milieu et l'analyse du signal retour (plus ou moins atténué selon la résonance du tubage dépendante de la qualité de la cimentation),
- Dans un tubage 18 5/8" par exemple, de diamètre interne +/- 17.5" ou 451 mm, rempli de fluide de forage, le signal est considérablement atténué au cours des deux trajets à travers le milieu fluide, ce qui rend la mesure non significative.

Des procédures et mesures compensatoires pour garantir la cimentation des tubages de grands diamètres sont cependant explicitées ci-dessous au § 4.7 – Cimentations.

3.2.3 Gestion des eaux usées

Le processus de traitement des eau générées par la plateforme est en cours d'étude avec les services compétents de la SDEA, concessionnaire local. Deux cas se distinguent :

- Les eaux vannes devront être collectées sur la plateforme afin de pouvoir être reprises par le réseau communal (si la modification de celui-ci est possible, étude en cours par le SDEA). Si l'évolution du réseau communal n'était pas possible, la mise en place d'une microstation de traitement s'avèrerait nécessaire.
- Les eaux de pluies de la plateforme devront, selon la « note de doctrine de gestion des eaux pluviales en région Grand Est », être dans la mesure du possible infiltrées et si ceci n'était pas possible, être rejetées au milieu naturel.

A cet effet, l'étude de sol mandatée par Lithium de France devra permettre de qualifier la capacité du terrain à infiltrer les eaux de pluie. Si ce n'était pas le cas, le rejet en milieu naturel serait proposé, avec la mise en place des mesures de protection suivantes :

- Mise en place, avant rejet, d'un séparateur à hydrocarbure de section adaptée au débit en jeu ;
- Mise en place d'un bassin de retenue d'eau de dimension adaptée aux conditions de rejet et doté de vanne de confinement ainsi que d'un limiteur de débit de sortie.

Dans le cadre d'un rejet au milieu naturel, des prélèvements mensuels de mesure de qualité de rejet basés pourront être réalisés de façon mensuelle lors de la phase chantier, selon les paramètres physico-chimiques suivants :

- hydrocarbures C5-C10 ;
- hydrocarbures C10-C40 ;
- pH ;
- température ;
- conductivité ;
- potentiel Redox ;
- salinité ;
- matières en suspension.

4 CONSTRUCTION DU PUIT

4.1 Architecture du puits

L'architecture du puits d'exploration vertical GPX est résumée dans Tableau 4.1 ci-dessous et en Figure 4.1 .

Cette architecture répond aux spécificités et contrastes géologiques (stratigraphie, caractéristiques des formations, isolement des formations hydrauliquement ou mécaniquement incompatibles, des réservoirs et aquifères), aux contraintes en place (pressions, températures, contraintes mécaniques), aux nécessités de fonctionnalités du puits.

L'architecture satisfait tous les critères d'acceptation technique (spécificité d'ingénierie des puits, vérifications standards des scénarios de charges sur tubages en conditions de fonctionnement puits). Les études des effets thermiques en production et injection sur les assemblages « tubages + gaines de ciment » sont en cours de simulation.

Tableau 4.1: Résumé de l'architecture du puits :

Diamètre extérieur	Description	Cote sabot	Cote Top	Ciment	Observation
30" (76.2 cm)	Tube guide	18 – 25 m	Surface	Du sabot à la surface	Installé par le génie civil, battage
20" (50.8 cm)	Tubage de surface	+/- 510 m	Surface	Du sabot à la surface	Support tête de puits, support BOP, ancrage puits/sol et connexion puits/surface
13 3/8" (34 cm)	Tubage intermédiaire	+/- 1520 m	Surface	Du sabot à la surface	/
9 5/8" (24.5 cm)	Tubage de production, Liner	+/- 2000 m	+/- 1400 m	Du sabot au top	/

4.2 Architecture en contingence

En cas de graves problèmes de forage (spécifiquement phénomènes d'instabilité) rendant impossible ou très complexe la construction d'un puits selon l'architecture de base décrite au chapitre ci-dessus, une architecture est prévue en contingence.

L'architecture en contingence est décrite dans Figure 4.9 : Tableau synoptique du puits GPX, colonne « section forage et schéma de puits en contingence ».

Dans le cas où les phases forages de diamètres 17 ½" ou 12 ¼" n'atteignent pas les profondeurs souhaitées, les tubages 13 3/8" ou 9 5/8" seront donc installés à des profondeurs différentes de l'architecture prévisionnelle. Une phase supplémentaire de forage de diamètre 8 ½" et tubée avec un tubage 7" sera alors nécessaire pour atteindre le toit du réservoir. Cette phase est illustrée en bleu en Figure 4.9. Le réservoir est alors foré en diamètre 6".

4.3 Corrosion

L'acidité et la salinité des fluides géothermaux peuvent entraîner des phénomènes de corrosion des équipements de puits (corrosion chimique, corrosion galvanique, ...) dus notamment par les gaz :

H₂S :

Le risque est considéré nul dans la mesure où aucune concentration en H₂S n'a été rapportée sur les puits profonds à proximité du puits exploratoire.

CO₂:

La concentration de CO₂ anticipée est de 0,2% :

- soit une pression partielle de CO₂, $P_{CO_2} = 0,41 \text{ Bar} = 0,041 \text{ MPa}$ à la pression réservoir estimée à 205 Bar – 20.5 MPa
- soit une pression partielle de CO₂ entièrement dissous, $P_{CO_2} = 0,041 \text{ Bar} = 0,0041 \text{ MPa}$ à la pression en surface réglée 20 Bar – 2 MPa

Dans les deux cas, le fluide est sous pression, monophasique (CO₂ entièrement dissous, pas d'O₂ libre), cas le moins favorable au développement de phénomènes de corrosion. Tant que le CO₂ reste dissous dans le fluide, pour l'ordre de P_{CO_2} anticipées, la corrosion est prédite comme faible à inexistante.

La recommandation NACE (National Association of Corrosion Engineers) SP 0106-2006 catégorise les environnements avec $P_{CO_2} < 0.2 \text{ bar}$ comme non corrosifs, les environnements avec $0.2 \text{ bar} < P_{CO_2} < 2 \text{ bar}$ comme faiblement corrosifs à corrosifs. Les aciers carbonés sont considérés parfaitement compatibles avec $P_{CO_2} < 0.14 \text{ bar}$, les aciers inoxydables sont recommandés lorsque P_{CO_2} augmente.

Le renforcement des gaines ciments par de la silice, comme évoqué au paragraphe 4.7.3 « Cas particulier de la géothermie » sera mis en œuvre.

L'utilisation de tubages en acier carbone est compatible avec P_{CO_2} .

Des mesures de corrosion (calibration du tubage exposé) seront effectuées à fréquences régulières (au maximum tous les 6 ans pour le puits producteur, selon les arrêtés préfectoraux des concessions de Sultz et Rittershoffen) pour surveiller l'état de corrosion des tubages exposés.

Les contraintes mécaniques horizontales sont importantes. Les épaisseurs de chaque tubage ont été sélectionnées pour que leurs résistances mécaniques à l'écrasement soient suffisantes. Ceci constitue une précaution supplémentaire au cas où une corrosion uniforme marginale intervenait.

Les espaces sans circulation (annulaires) seront alimentés en fluide avec inhibiteur de corrosion et bactéricide. En cas de suspension d'opération sur un puits, il sera également injecté un fluide avec inhibiteur de corrosion et bactéricide.

4.4 Déviation & trajectoires

4.4.1 Trajectoires du puits

La trajectoire de ce puits d'exploration a volontairement été choisie verticale afin de :

- Favoriser la facilité du forage et du carottage ;
- Minimiser les problèmes de stabilité de paroi ;
- Améliorer le taux de récupération des carottes ;
- Faciliter les moyens d'acquisition de données géologiques.

La trajectoire du puits est définie en fonction des coordonnées de surface de la tête de puits.

Les trajectoires pourront être réajustées en continu en fonction des données acquises en cours de forage et de la mise à jour du modèle géologique (ajustement des profondeurs des formations). Elles pourront également être réajustées en fonctions de difficultés opérationnelles éventuelles.

10B. CONFIGURATION DE LA PHASE CHANTIER

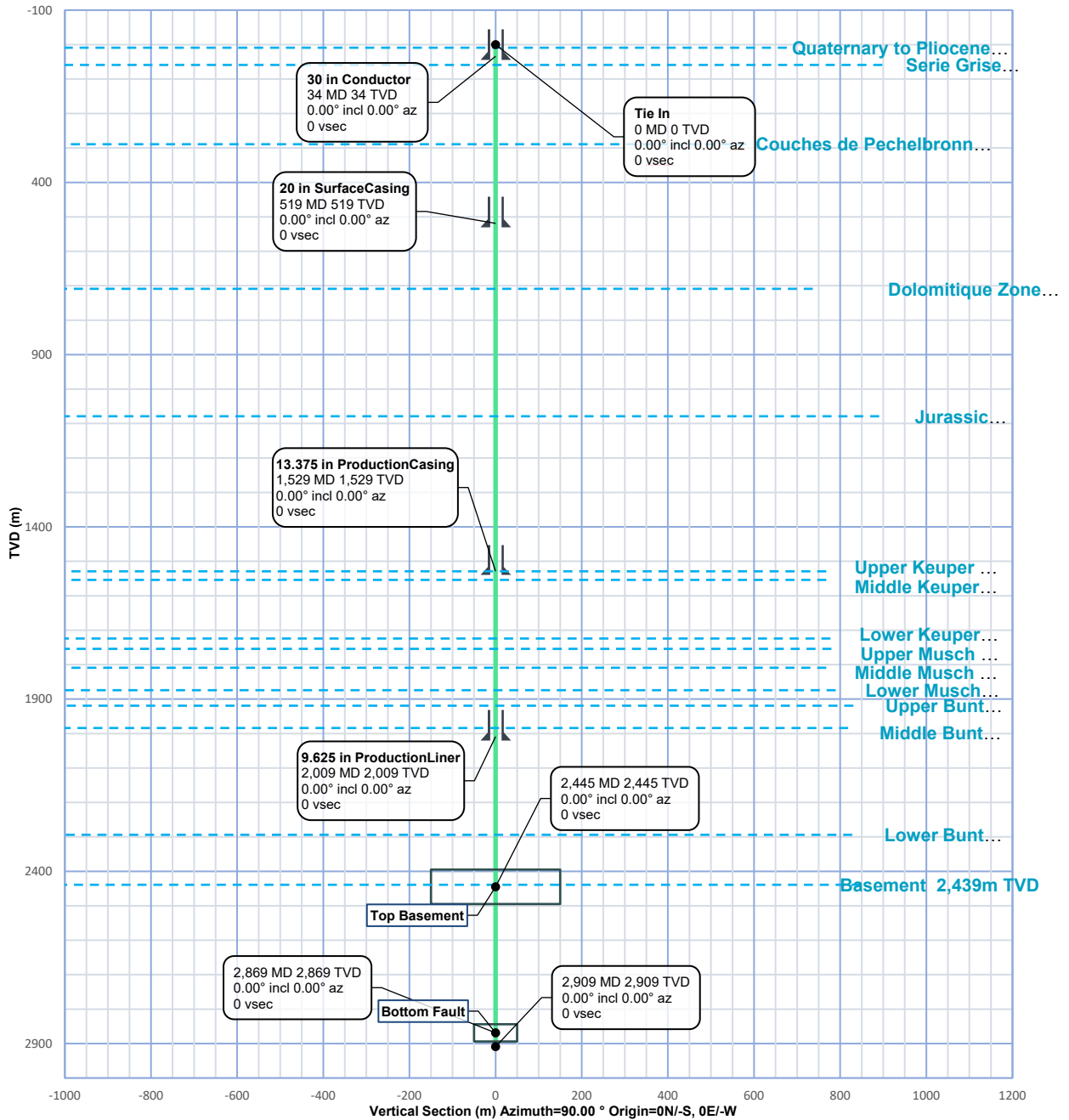


Figure 4.1 : Trajectoire verticale du puits GPX

Les profondeurs décrites dans la Figure 4.1 ci-dessus sont ici référencées au niveau du plancher de forage situé environ à 9m du sol. Cette distance sera mesurée plus précisément une fois l'appareil de forage installé.

4.4.2 Mesures de déviation

Les paramètres de déviations (inclinaison, azimuth) seront mesurés en continu par MWD (« Measurement While Drilling », mesures en cours de forage). Les mesures acquises en fond de trou sont transmises en surface en continu.

Les trajectoires sont calculées en continu sur la base de ces mesures.

L'outil utilisé sera un MWD-Res,GR, mesure en cours de forage de déviation + gamma ray + résistivité, de manière à calibrer en temps réels les toits des formations dans toutes les sections forées.

4.5 Fluides de forage

4.5.1 Réglementation, Généralités :

Les obligations générales résumées ci-après sont issues principalement du Code de l'environnement et du règlement général des industries extractives, BRGM/RP-61953-FR.

Les fluides de forage sont encadrés par les réglementations suivantes :

- Code de l'environnement, Livre V, Titre IV, Chapitre 1er, Section 1, Sous-section 2 « classification des déchets. (fluides et déblais de forage considérés comme déchets provenant de l'exploration et exploitation des mines et carrières)
- Les obligations de l'exploitant sont également décrites dans le Code de l'environnement, que ce soit sur les aspects de traçabilité et de gestion des déchets ;
- En résumé l'exploitant est tenu d'assurer ou de faire assurer l'élimination des déchets produits dans des conditions de nature à produire des effets nocifs sur l'environnement ; l'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, de transport, de stockage, de tri, de retraitement et de dépôt. Une telle filière ne peut être cédée à des tiers sans surveillance et gestion de leur devenir par l'exploitant.

4.5.2 Autorisations :

Les systèmes fluides utilisés sont décrits dans leurs grandes lignes dans l'autorisation Environnementale (Cf. Systèmes et formulations fluides ci-dessous). Ils ne sont pas décrits en détail à ce stade dans la mesure où les prestataires de service donc les spécifications précises des systèmes fluides et les additifs précisément utilisés ne sont pas encore définis.

Les programmes techniques détaillés concernant les fluides de forage seront précisés intégralement à une étape ultérieure lorsqu'ils seront définis. Les fiches techniques et de sécurité de chaque additif seront alors disponibles et soumis avec les programmes techniques.

Les additifs n'étant pas sélectionnés à ce stade, leurs propriétés telles qu'écotoxicité, biodégradabilité et bioaccumulation ne sont pas quantifiées. Toutefois, dès l'élaboration de programmes techniques précis, le dossier complet sera soumis.

4.5.3 Cycles d'utilisation et préservation de l'environnement :

Les fluides de forage sont fabriqués sur site de forage pour répondre aux spécifications requises en fonction de chaque phase de forage (ajustements des concentrations d'additifs pour réglages de densité, pH, viscosité, granulométrie [solides, fines, colloïdes, ...], « yield point » [ou seuil d'écoulement], gels, filtrat, sédimentation, concentrations en sels pour ajustements des paramètres rhéologiques, des performances de stabilité, de nettoyage de trou, de filtrat, ...).

Ils sont maintenus en permanence aux spécifications requises pendant leurs durées d'utilisation puis stockés dans la partie active (fluides prêts à être pompés dans le puits).

Ils sont injectés dans le puits via la garniture de forage, puis dans le découvert au travers des duses de l'outil de forage, ils parcourent ensuite l'espace annulaire de l'outil de forage jusqu'à la surface.

Leurs fonctions sont multiples et diverses, incluant sans s'y limiter, le refroidissement de l'outil et du

découvert, l'effet «jetting» au front de taille (aide à la coupe), la lubrification de l'outil, la remontée des déblais de forage, le nettoyage continu du puits, le support mécanique de la garniture dans le trou, la lubrification le long du trou pour diminution des frictions mécaniques, la densité ajustée pour contrôle des réservoirs, la densité ajustée pour contrôle de la stabilité du puits le cas échéant, le contrôle du filtrat en relation avec la formulation du fluide, l'inhibition des argiles ou le contrôle des échanges osmotiques avec les formations salines. Le contrôle des volumes de fluides injectés et récupérés (fluide IN et fluide OUT) permet indirectement de contrôler la neutralité hydraulique du puits (pertes, alerte et action en cas de déficit de volume OUT, venue d'effluent, alerte et actions en cas d'excédent de volume OUT).

En retour de puits, les déblais solides sont séparés des fluides par la chaîne de traitement des retours (élimination des particules les plus grossières aux particules les plus fines).

Les fluides récupérés sont retraités selon nécessité pour être remis en accord avec les spécifications requises et réintégrés au volume d'active.

Les fluides non récupérables (non retraitables pour intégration directe au volume d'active) sont stockés. Ils seront traités par la chaîne de traitement des fluides résiduels (chapitre 5.1.3 Traitements des fluides de forage).

Les déblais solides récupérés en sortie de puits par la chaîne de traitement des retours sont stockés puis seront collectés, transportés, traités selon une filière sélectionnée (chapitre 5.1.2 Traitements de déblais de forage).

Le cycle des fluides et déblais de forage est entièrement fermé, sans contamination possible des installations de surface (forage ou stockage). Toutes les procédures sont conçues pour avoir un contrôle complet des déblais fluides ou solides ; la plateforme de forage est conçue pour éviter ou contenir tout débordement accidentel.

L'éventualité de pertes de fluides de forage dans les formations géologiques est décrite ci-dessous (4.5.5 Pertes dans les formations).

4.5.4 Systèmes & formulations des fluides de forage

Il est prévu d'utiliser des fluides de forage à base d'eau pour toutes les phases de forage. Les formulations précises des fluides ne sont pas déterminées à ce stade, la compagnie de services « fluides de forage » n'étant pas choisie pour le moment.

Les boues à base d'eau sont génériquement composées de éléments suivants :

- Eau
- Bentonite : argile, viscosifiant et contrôleur de filtrat
- Viscosifiants : Argiles (Bentonite), polymères synthétiques ou biopolymères
- Réducteurs de filtrat : Amidon, carboxyméthylcelluloses (CMC), celluloses poly-anioniques (PAC) ou résines
- Inhibiteurs de gonflement et de dispersion des argiles : les fluides à base de Potassium (Chlorure, Formate ou Carbonate) Glycérol/polyol, silicates ou divers polymères (PHPA : polyacrylamide partiellement hydrolysé, PAG : polyalkylène glycols)
- Agents alourdissants : Baryte (sulfate de baryum $BaSO_4$), Carbonate de calcium ($CaCO_3$) sont les plus utilisés
- Contrôle de Calcium : En général Carbonate de soude
- Ajusteur de pH : Soude caustique, Carbonate de Potassium etc.

Les phases superficielles (diamètres de trou plus élevés, formations moins consolidées) seront forées avec des boues très chargées en bentonite, procurant typiquement un gel et une viscosité élevés pour meilleure suspension et remontée des déblais, permettant ainsi un meilleur nettoyage du trou.

Les phases plus profondes seront forées avec des boues inhibées de type KCl polymères. KCl et polymères offrent les paramètres requis de stabilité (de la formation), viscosité, gel, capacité de portance, filtrats pour le contrôle des trous et le nettoyage des trous. KCl et polymères sont couramment utilisés pour l'inhibition des formations argileuses, minimisant leur gonflement et les resserrements dans les trous. Des produits tels que des polymères HT (haute température), dérivés de lignite peuvent être ajoutés au fluide de forage pour

améliorer sa stabilité thermique (viscosité, filtration).

Des bouchons visqueux et/ou alourdis seront circulés fréquemment pour améliorer le nettoyage du trou.

La densité de la boue pour chaque section sera ajustée en fonction des recommandations issues du modèle de stabilité mécanique des puits décrit ci-dessous au chapitre 4.5.6 « Fenêtre de densité de fluide de forage ».

Le volume total de boue nécessaire par puits est entre 6000 et 6500 m³ selon les pertes encourues dans les formations, par évaporation et l'enrobage des déblais rejetés.

Un stock de boue lourde sera maintenu en permanence sur site durant les opérations forage. Son rôle est de procurer la capacité de contrôler le puits en cas de nécessité opérationnelle. La boue lourde sera une boue salée saturée.

La phase réservoir pourrait être forée avec une boue inhibée haute température non endommageante. La composition de cette boue comprend aussi peu de solides que possible, diminuant ainsi l'endommagement potentiel du réservoir.

4.5.5 Pertes dans les formations

En cours de forage, des pertes dans les formations peuvent survenir (pertes dans les formations géologiques hydrauliquement fragiles, pertes dans les fractures et failles).

Ces pertes constituent des problèmes notables pour le forage des puits (pertes de temps, pertes de fluides, perte de contrôle hydraulique du puits, pertes de stabilité, risques de coincements de garnitures de forage, risques de pertes de portions de puits, risques de pertes de puits ...) et sont combattues avec insistance.

Chaque programme de forage comprend un arbre de décision en cas de pertes dans les formations en cours de forage et selon leurs intensités. Les plans d'actions et les méthodes à utiliser font partie de la procédure établie par anticipation.

La gamme des produits colmatant, en cas de pertes et suivant la gravité des pertes, est large. Certains produits sont ajoutés en continu à la composition de la boue (fibres par exemple) pour traitement en continu de la formation en cas de pertes peu importantes. D'autres formulations font intervenir des bouchons de traitements spécialement préparés, pompés et injectés dans les zones à pertes lorsque celles-ci sont plus importantes et localisées. Les compositions sont variées (fibres, produits de granulométries variées, granulométries ajustées pour traiter certains canaux de communication trou-formation, parfaitement mélangeables ou à pré-hydrater, mélanges thixotropiques, etc.).

Lorsque les pertes ont lieu en milieu homogène perméable (non fracturé) des tentatives de consolidation de la formation peuvent être envisagés (élévation de la résistance de la formation). En milieu fracturés ou faillés, ces méthodes sont inefficaces.

Les bouchons de ciment interviennent souvent comme recours pour bouchage de niveaux à pertes : Pompage d'une formulation de laitier de ciment, injection, prise ciment puis reforage de la partie ainsi consolidée.

Un éventail large de solutions sera mobilisé pour les opérations sur le puits d'exploration GPX.

Les grandes lignes en fonction des scénarios d'intensité de pertes sont résumées ci-dessous :

Intensité faible de pertes :

Interruption du forage et circulation

- Diminution du débit pour évaluer l'équilibre hydraulique ;
- Traitement du fluide de forage pour diminution du filtrat, imperméabilisation de la surface de formation au contact ;
- Ajouts éventuels de produits mécaniquement colmatant dans le fluide de forage.

Le forage peut continuer, sous surveillance, en fonction de l'évolution de la situation.

Intensité moyenne de pertes ou intensité faible non résolue :

Interruption du forage et circulation,

- Traitement du fluide de forage pour diminution du filtrat, imperméabilisation de la surface de formation au contact ;
- Ajouts éventuels de produits mécaniquement colmatant dans le fluide de forage ;
- Manœuvre pour mise en place d'une garniture propice au pompage de bouchons de traitements (la garniture de forage ne convient en général pas) ;
- Mise en place de bouchons de traitement spécifiques individualisés (augmentation graduelle de complexité des solutions, temps et coûts graduels) ;
- Traitement de la formation, sous pression de forage (faible, pas ou peu d'injection), sous pression plus élevée pour injection et colmatage des canaux perméables ;
- Pompage de bouchon de ciment (tentative d'injection).

Intensité forte de pertes ou intensité moyenne non résolue (typiquement failles, fractures) :

Interruption du forage et circulation,

- Manœuvre pour mise en place d'une garniture propice au pompage de bouchons de traitements (la garniture de forage ne convient en général pas),
- Mise en place de bouchons de traitement spécifiques individualisés (augmentation graduelle de complexité des solutions, temps et coûts graduels) ;
- Traitement de la formation, sous pression de forage (faible, pas ou peu d'injection), sous pression plus élevée pour injection et colmatage des canaux perméables,
- Pompage de bouchon de ciment (tentative d'injection) ;
- Empiriquement, l'essentiel des pertes étant anticipé dans les Lias, Keuper, Muschelkalk et Buntsandstein, en phase forage 12 1/4", forée avec un débit de l'ordre de 2500 l/mn ;
- En considérant des pertes partielles de l'ordre de 10 m³/heure 12 à 24 h au maximum, le volume de fluide perdu serait de 120 à 240 m³, répété quelques fois pour le puits ;
- En considérant des pertes totales, de l'ordre de 50 m³/heure, pendant 3 à 5 heures, le volume de fluide perdu serait de 150 à 250 m³, répété quelques fois pour le puits.

Les pertes sont occasionnelles, surviennent pendant des intervalles de temps limités (en raison surtout de la nécessité de réaction rapide) et les volumes totaux injectés accidentellement sont inexorables mais peu élevés.

4.5.6 Fenêtre de densité de fluide de forage

La figure 4.2 ci-dessous explicite la notion de fenêtre de densité de fluide de forage pour un forage réussi d'un puits. La pression hydrostatique minimum maintenue dans le puits dans chaque section doit être supérieure à la **pression de pore (courbe bleue)** pour maintenir le contrôle du puits (pas de venue d'effluents).

La densité du fluide de forage est ajustée pour maintenir la pression hydrostatique dans le trou au-dessus de la pression de pore.

Il est utile de souligner les points suivants :

- La pression hydrostatique maximum maintenue dans le puits dans chaque section doit être inférieure à la **pression de fracturation (courbe orange)** pour ne pas fracturer la formation.
- La densité de fluide de forage est ajustée pour maintenir la pression hydrostatique dans le trou au-dessous de la pression de fracturation.
- En cas de phénomènes d'instabilité des formations (liés à la nature des formations, aux contraintes mécaniques en place et à la trajectoire du puits, voir § 4.6 « Stabilité du puits » ci-dessous), la pression hydrostatique minimum maintenue dans le puits dans chaque section doit être supérieure à la **pression de stabilité (courbe rouge)** pour maintenir la stabilité des formations.

- La valeur des pressions de stabilité est donnée par l'expérience, les données des puits existants et/ou des modèles de stabilité mécanique des puits (voir § 4.6 « Stabilité du puits » ci-dessous).
- La densité du fluide de forage est ajustée pour maintenir la pression hydrostatique dans le trou au-dessus de la pression de stabilité.
- En régime fracturé/ faillé, la pression hydrostatique maximum maintenue dans le puits dans chaque section doit être inférieure à la **pression de perte (courbe verte)** pour ne pas perdre des volumes de fluide de forage dans la formation. Cela amène donc à diminuer éventuellement la pression hydrostatique dans le puits.
- La pression de perte est inconnue a priori, elle dépend de la nature des fractures et de la pression de fluides en leur sein.
- La densité de fluide de forage est ajustée pour maintenir la pression hydrostatique dans le trou au-dessous de la pression de perte.
- La densité de fluide de forage doit être ajustée en fonction de ces paramètres dans la fenêtre de densité de fluide de forage schématisée par le polygone jaune sur la Figure 4.2 ci-après.

Cette figure étant générique, en fonction de la nature des failles et du profil du puits, la fenêtre peut être considérablement réduite, limitant les options opérationnelles.

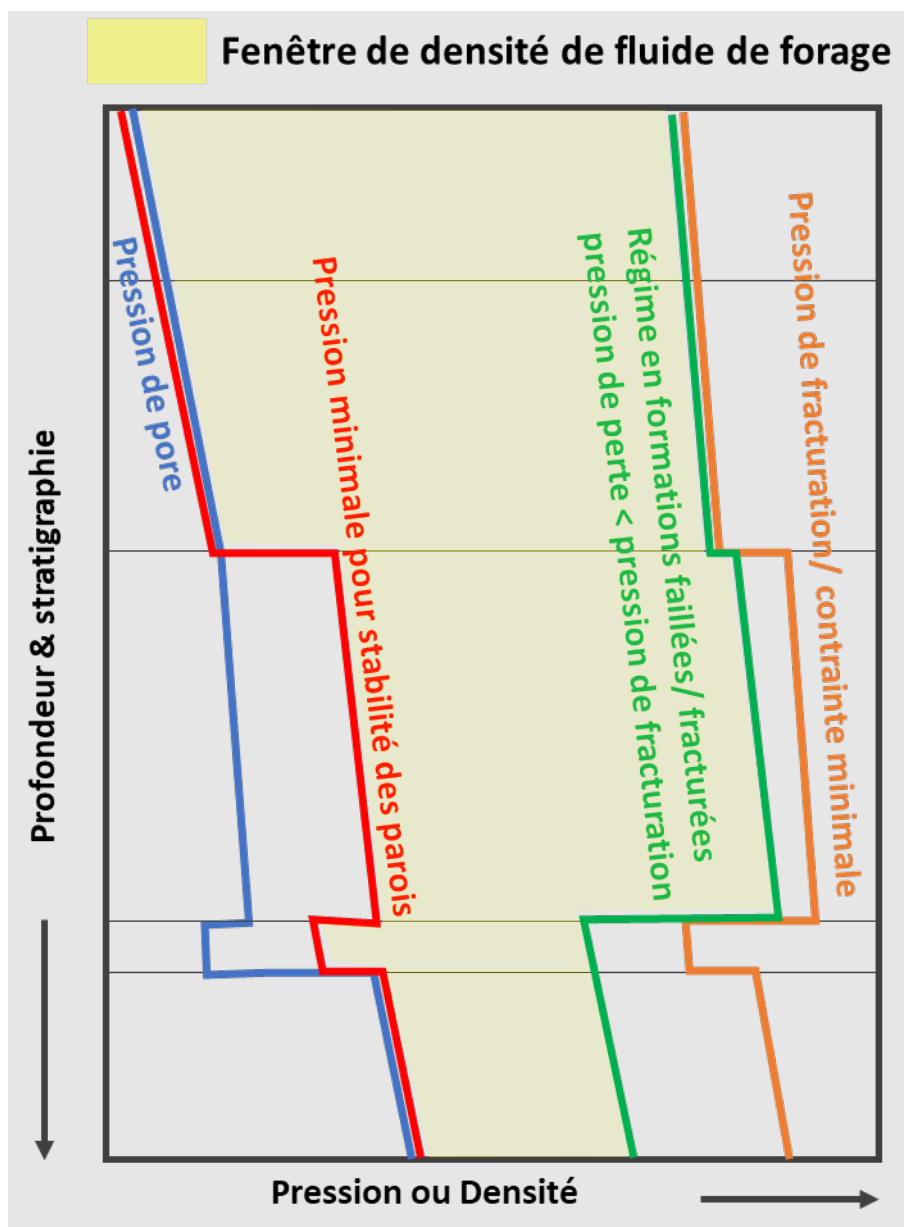


Figure 4.2 : Fenêtre de densité de fluide de forage

4.6 Stabilité du puits

4.6.1 Causes d'instabilité des puits

Les cibles géologiques géothermales de ce puits sont positionnées au plus près des zones de failles et du réseau de fractures associées. Les formations traversées sont donc structurellement détériorées et donc instables. Le phénomène est exacerbé par l'effet de la température.

Les formations argileuses traversées sont instables par nature (argiles gonflantes, glissements sur plan plus consistants comme en présence de dolomites ou lors de l'élargissement du trou, etc.). Le phénomène est également exacerbé par l'effet de la température.

Régionalement, dans le réservoir, la contrainte maximale horizontale (de direction +/- N170°) est aussi élevée que la contrainte maximale verticale. Ce régime de contrainte spécifique, avec une contrainte maximale horizontale, exacerbe l'instabilité mécanique des puits et sa dépendance à la direction des puits.

D'une manière générale, la stabilité des puits est donc un problème majeur dans le Fossé rhénan.

D'une manière générale également, plus les puits seront profonds, plus les phénomènes d'instabilité des puits seront exacerbés (températures plus élevées, incertitudes plus élevée, effet de la profondeur rendant les opérations plus complexes).

D'une manière générale encore, les puits à grands déports, avec une distance horizontale plus élevée entre la tête de puits et la cible géologique, donc une inclinaison plus élevée, seront plus complexes en termes de stabilité, l'effet de l'inclinaison de la trajectoire rendant le contrôle mécanique des formations instables plus complexe. Cette complexité de stabilité ne devrait pas être présente sur le puits d'exploration GPX prévu vertical.

La préoccupation de stabilité mécanique des puits pourrait apparaître comme strictement opérationnelle mais les problèmes d'instabilité entraîneront des temps opérationnels plus longs (impacts sur la durée des forages, sur les consommations générales, pertes éventuelles de sections forées à la suite de l'instabilité des parois, nécessités de rebouchages de sections perdues conformément à la réglementation, nécessités de re-forages de branches neuves (side-tracks*). *In fine*, l'impact de l'instabilité potentielle des puits est global.

Pour ces raisons, un modèle de stabilité géomécanique des puits a été développé. Il est destiné à établir des recommandations pour ajuster les densités des fluides de forage en fonction des caractéristiques mécaniques des formations et des critères de rupture.

* « Side-track » ou déviation du puits : portion de puits initialement forée et abandonnée (pour raisons géologiques ou opérationnelles). Le puits est re-routé dans une branche alternative suivant une nouvelle trajectoire.

Le terme « side-track », générique, peut être retrouvé dans la suite du document

4.6.2 Modèle de stabilité géomécanique du puits

Diagrammes de stabilité :

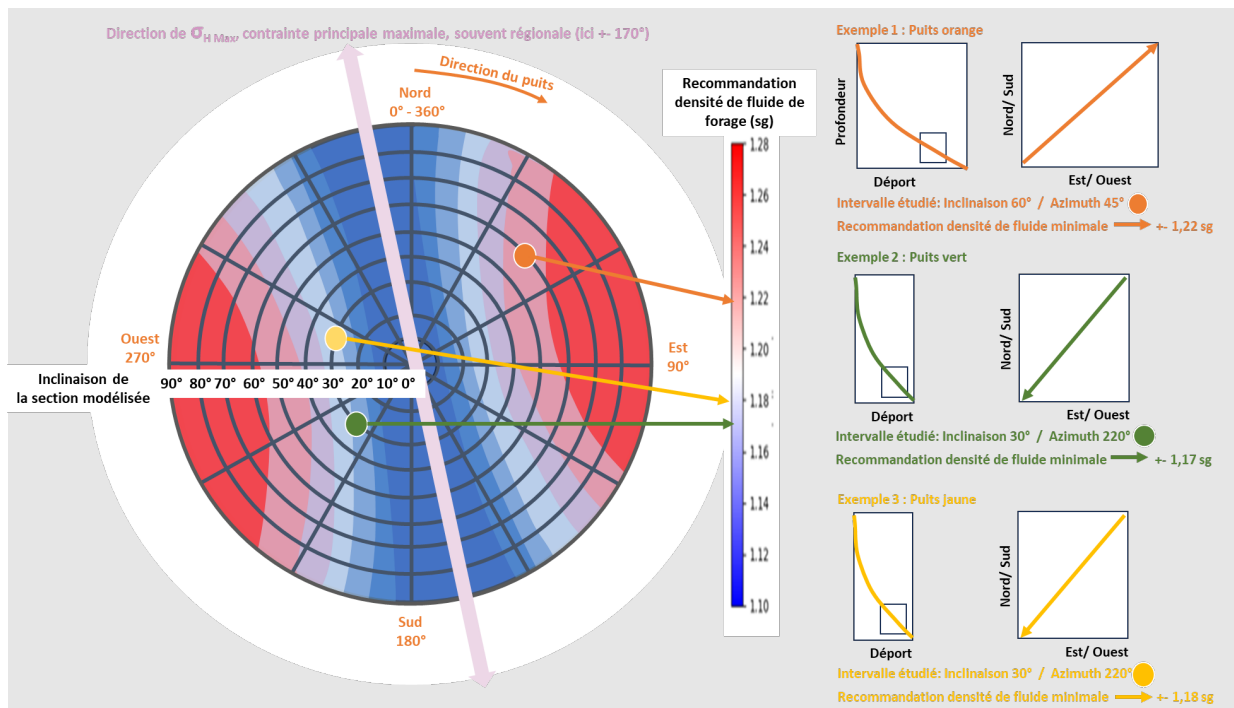


Figure 4.3 : Diagrammes de stabilité

La Figure 4.3 ci-dessus illustre le principe des diagrammes de stabilité.

Le modèle géomécanique utilise les pressions, contraintes, modules, données de puits disponibles (données régionales, puits existants, analogues, littérature) d'une part et le profil directionnel du puits d'autre part pour modéliser un diagramme de stabilité pour chaque formation forée, en fonction des données de la formation, de l'inclinaison et de la direction du puits.

Le diagramme radial et l'échelle de couleur (en densité de fluide de forage requise) est le résultat du modèle géomécanique pour chaque formation étudiée. Pour chaque intervalle étudié, les points inclinaison et azimut du puits sont placés sur le diagramme. La recommandation en termes de densité de fluide de forage est lue sur l'échelle de densité de fluide de forage. Sur cette figure, les exemples jaune, orange et vert sont théoriques.

D'un point de vue général, plus la direction d'un puits est proche de la direction de la contrainte horizontale maximale $\sigma_{H \text{ Max}}$, plus le puits est stable, plus la direction d'un puits est proche de la direction orthogonale à la contrainte horizontale maximale $\sigma_{H \text{ Max}}$, moins le puits est stable.

Par exemple, le puits orange ou le puits vert (cas purement théoriques) sont forés dans les directions respectivement 45° N et 220° N, très défavorables à leur stabilité.

Stabilité d'un puits :

Les diagrammes de la figure ci-dessus sont également utilisés par l'ingénieur forage pour déterminer la densité de fluide de forage nécessaire pour maintenir le puits mécaniquement stable dans chaque formation forée.

Pour chaque puits théorique, un diagramme radial est utilisé par l'ingénierie forage pour ajuster la densité de boue minimum pour assurer la stabilité de chaque intervalle géologique caractérisé, en fonction de la trajectoire du puits dans cet intervalle (cf. illustration à la Figure 4.4 ci-après).

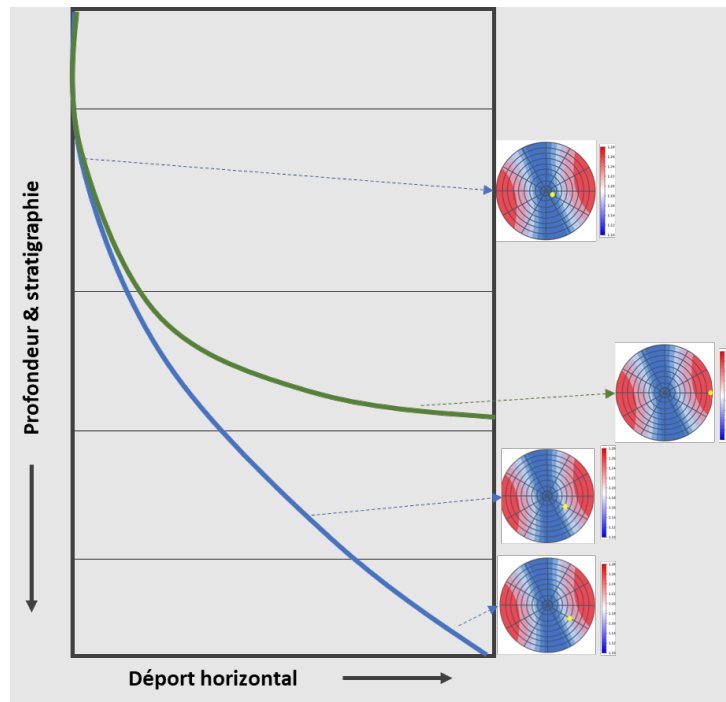


Figure 4.4 : Profil directionnel et diagrammes de stabilité pour des puits théoriques (puits bleu, puits vert)

Traitement de l'incertitude :

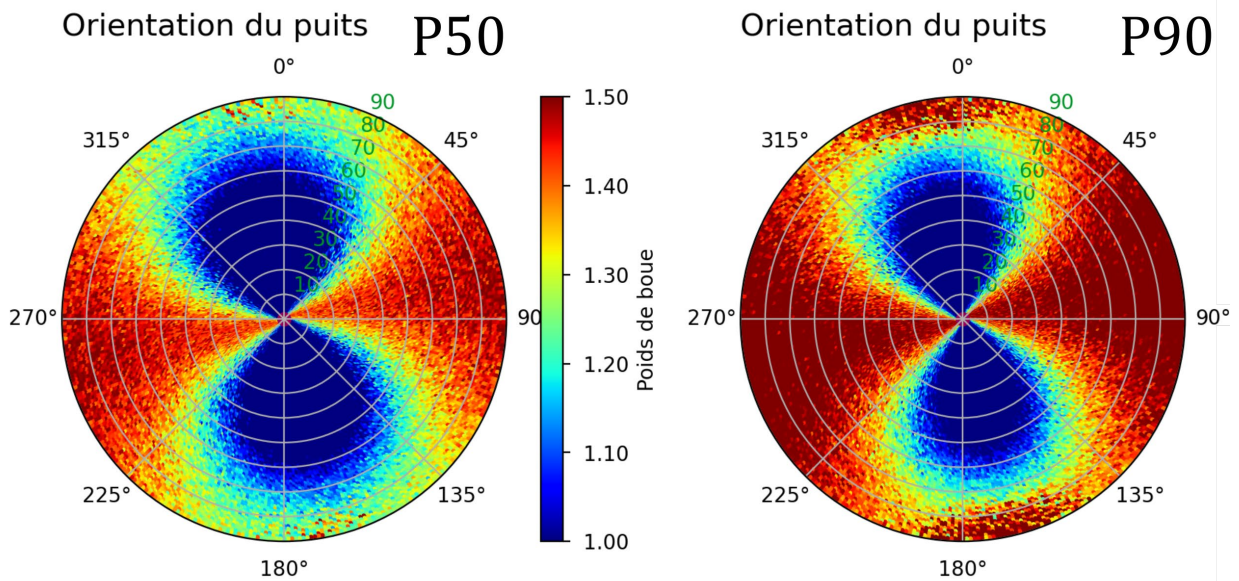


Figure 4.5 : Profil directionnel pour des puits théoriques (puits bleu, puits vert)

Les données de puits disponibles pour ce premier modèle géomécanique ne sont pas nombreuses, de sorte que l'incertitude sur les résultats du modèle est importante. Les résultats sont donc traités avec une approche probabiliste de Monte-Carlo pour établir les probabilités de succès aux seuils de probabilité P50 (50%) et P90 (90%).

La Figure 4.5 ci-dessus présente un exemple de double analyse, basé sur les probabilités P50 et P90 des résultats du modèle. L'ingénieur forage devra considérer l'ensemble de la simulation et statuer sur la probabilité à utiliser. Le modèle sera documenté et affiné au fur et à mesure du forage et des données acquises.

Retour vers GPX et généralités :

Le puits GPX étant planifié vertical, celui-ci présente la meilleure stabilité de paroi.

4.7 Cimentations

4.7.1 Généralités

La qualité des cimentations des tubages est essentielle pour la protection des réservoirs intermédiaires, de la surface, de la sécurité et du fonctionnement à long terme des puits.

La qualité des cimentations est dépendante :

- De l'état du trou (régularité) et de sa calibration (zones d'élargissement néfastes) => Qualité du forage ;
- Du nettoyage du trou préalable à la cimentation (fluides de forage, bouchons nettoyeurs, débit de circulation) => Procédure de nettoyage, adéquation des fluides ;
- De la centralisation suffisante du tubage dans le trou => Programme de centralisation du tubage, utilisation de centreurs, simulations ;
- De la formulation adéquate du laitier de ciment, des propriétés du ciment pour une résistance à long terme mais en premier lieu de la rhéologie et des propriétés du laitier pour pompabilité, de la qualité du déplacement et compatibilité avec la formulation => Etudes, formulations et tests en laboratoires ;
- Du déplacement du laitier, en fonction du débit et de la rhéologie => Programme de cimentation, simulations, opérations ;
- De la stabilité hydraulique en cours de déplacement du laitier, du débit et des pressions selon le programme, de la résistance de la formation, de la prévention de toutes pertes hydrauliques => Simulation, consolidations du trou selon nécessité, opérations ;
- De l'efficacité des bouchons de séparation laitier/ fluide de déplacement en tant que bouchons de séparation pour éviter toute contamination du laitier, en tant que bouchon de nettoyage pour favoriser l'adhérence du ciment sur le tubage et sur la paroi du trou => Sélection des produits et formulations, optimisation de la procédure de déplacement ;
- De la réalisation précise du pompage et du déplacement du laitier avec contrôle des débits, des pressions, des volumes, des retours, des à-coups de pression signifiant l'exactitude du déplacement => Qualité du programme de cimentation, des opérations ;
- Pour la résistance à long terme de la colonne de ciment, de la composition du ciment pour procurer une isolation à long terme et une résistance mécanique selon la nature des fluides au contact et les contraintes mécaniques => Sélection des formulations, tests en laboratoires.

Une partie des critères est opérationnelle, une autre dépend de l'ingénierie de construction des puits.

Les formulations précises des laitiers de ciment pour le puits d'exploration GPX ne sont pas déterminées à ce stade (la compagnie de services de cimentation n'étant pas déterminée), mais les types génériques de laitiers et les modes opératoires sont pressentis. L'ingénierie forage mettra tout en œuvre pour favoriser la qualité des cimentations selon les éléments décrits ci-dessus.

Les ciments utilisés pour les tubages de surface suivront les indications de la norme béton NF EN 206-1 de 2005 et la norme européenne TC 104 du Comité Européen de Normalisation (CEN).

Pour les tubages intermédiaires et de production, des laitiers allégés seront proposés. En cas de contact avec des zones à pertes, ils permettent de diminuer la pression sur la formation donc de stopper ou diminuer les pertes, garantissant ainsi le retour du ciment jusqu'en surface (ou au top liner pour un liner).

4.7.2 Tubages de grands diamètres

Pour les tubages de grands diamètres, par principe peu profonds, il convient d'assurer la cimentation de l'intégralité de l'annulaire, comme décrit dans le schéma Figure 4.6 ci-après.

Ceux-ci ne sont pas mis en place pour un souci réglementaire uniquement, mais parce que la gaine de ciment du tubage 20" par exemple est structurellement primordiale pour l'architecture du puits : Le tubage 20" cimenté fournit en effet l'encastrement pour le soutien des BOP (« Blow Out Preventer », terme générique, ou bloc de fermeture d'urgence des puits), soutien mécanique et la capacité de tenir la pression de fermeture du puits. Le support de la tête de puits (donc les charges des tubages à venir) doit résister aux effets thermiques. La cimentation intégrale de l'annulaire 20" est donc essentielle pour la construction du puits, aucun opérateur ne saurait compromettre sa réalisation conforme au programme.

Dans ce but, Il convient d'assurer le déplacement du laitier de ciment dans l'annulaire jusqu'à son retour en surface. Dans le cas où son retour en surface n'est pas observé (trou surdimensionné ou pertes importantes) la cimentation sera complétée depuis la surface par l'annulaire.

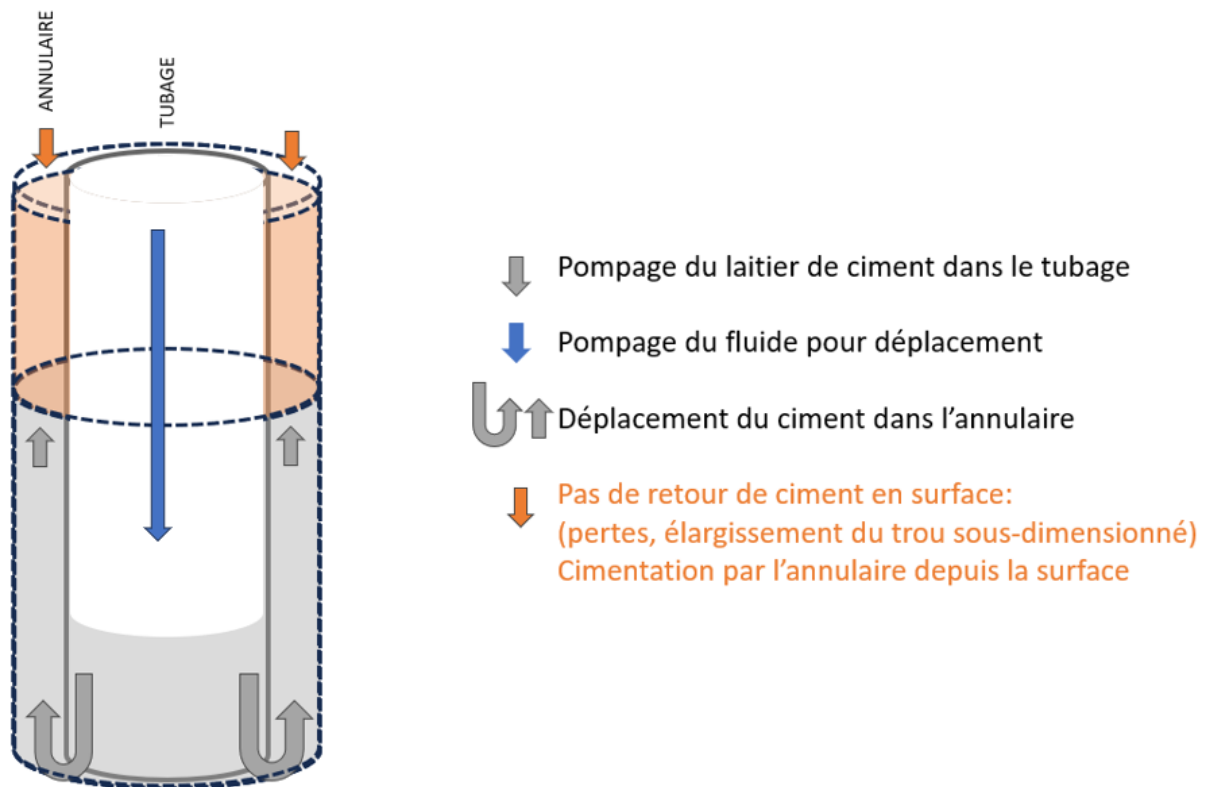


Figure 4.6: Cimentation des tubages de grands diamètres

D'autres techniques opérationnelles permettent de garantir le déplacement du laitier de ciment dans l'intégralité de l'annulaire. Les techniques sont en outre combinables.

4.7.3 Cas particulier de la géothermie

Zones à pertes :

Les formations ciblées sont par nature fracturées et faillées.

Un tubage peut être installé dans une zone particulièrement faillée donc une zone à perte hydraulique (Figure 4.7 ci-après). Il est difficile dans ces conditions de cimenter la globalité du tubage du sabot à la surface. Les pertes dans les différentes zones à pertes, non quantifiables par anticipation, compromettent le déplacement et le placement correct du ciment. Le risque est non négligeable qu'une partie seulement du tubage soit cimentée, le reste du laitier de ciment ayant été consommé dans les zones à pertes.

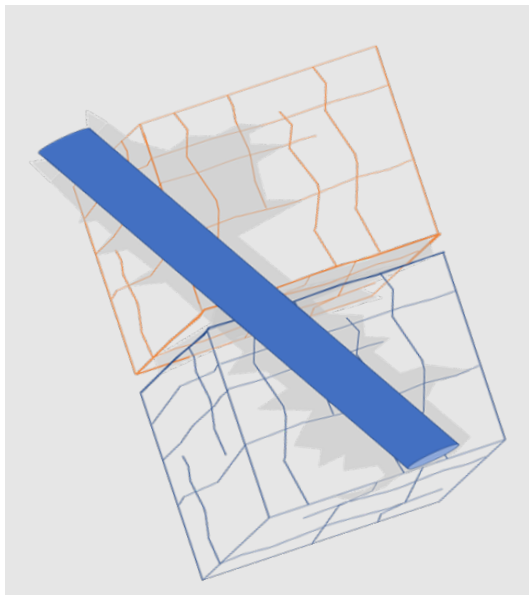


Figure 4.7 : Installation d'un tubage (bleu) à travers divers blocs fracturés et faillés,

Les mitigations qui seront mises en œuvre en zone fracturée sont les suivantes :

- Mesures de la résistance hydraulique de la formation avant cimentation : la formation doit être capable de supporter le déplacement du ciment dans son ensemble ;
- Tentative de consolidation de la formation le cas échéant pour augmenter sa résistance : colmatages de pertes, consolidation hydromécanique de la formation ;
- Utilisation de laitiers de ciment de densités allégées pour diminuer les pressions exercées sur la formation (la densité d'un laitier de ciment standard est de 1,90 sg, des formulations pouvant atteindre des densités aussi basses que 1,30 sg sont proposés par les contracteurs de cimentation) ;
- Cimentation étagée : la cimentation d'un tubage ne s'effectue pas en un seul déplacement mais elle est scindée en plusieurs déplacements, de cette manière la pression exercée sur la formation est plus faible pour chaque « sous-cimentation ».

Acidité & température :

En raison de l'acidité des fluides géothermaux et des températures élevées, les formulations des laitiers de ciment requièrent une proportion de silice renforcée.

Contraintes thermiques :

Pour tous les assemblages tubage + gaine de ciment, les simulations des comportements mécaniques sous contraintes thermiques durant les phases de production et d'injection sont en cours d'étude (fonction du programme de cimentation, des conductivités thermiques et caractéristiques de dilatation des matériaux). Les résultats des études seront pris en compte dans le programme de forage de chaque puits.

Toutefois, en attendant les résultats définitifs, l'architecture de puits retenue est très inspirée d'ouvrages existants et sera exposée à des contraintes moins intenses. L'étude finale est nécessaire mais ne remettra pas en cause le design des puits.

4.8 Résumés synoptiques des ouvrages

Les figures ci-après montrent le modèle standard du tableau synoptique retenu pour décrire les caractéristiques d'un forage (Figure 4.8) et son application pour la prévision GPX (Figure 4.9).

4.8.1 Notice

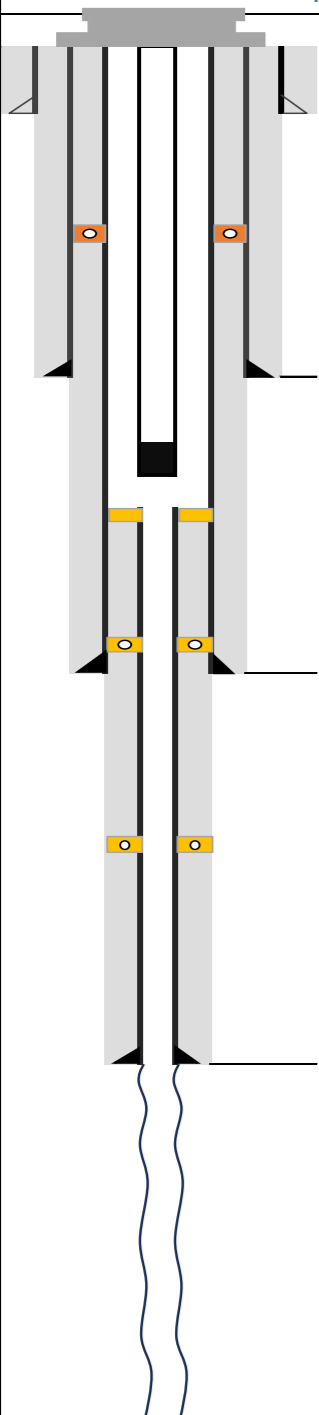
TABLEAU SYNOPTIQUE OUVRAGE PUIITS			Puits: Permis: Localisation: Type de puits:	Localisation de surface (avant topographie) & Objectifs géologiques (Lambert 93, Sol [élévation 140 m]) LOCALISATION DU PUIITS EN SURFACE (TETE DE PUIITS), SYSTEME LAMBERT 93, PROFONDEUR REFERENCE SOL COORDONNEES X,Y,Z DES CIBLES GEOLOGIQUES (SYSTEME LAMBERT 93, PROFONDEUR REFERENCE SOL)	Appareil de forage: B04, / Démarrage: Q4 20 Durée (plan): 95 - 1					
Formations	Prof. Verticale	Prof. Forée	Section forage et schéma de puits	Pressions de formations et contraintes in-situ (plan)	Température	Deviation & mesures	Programme de logging	Fluides de forage & ciment	Divers	Section forage et schéma de puits en contingence
<p>Sol</p> <p>DESCRIPTION STRATIGRAPHIE</p> <p>Incertitudes</p>			<p>Réf:</p>  <p>DESCRIPTION DE LA CONSTRUCTION DU PUIITS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - PHASES FORAGE SUCCESSIVES, COTES & DIAMETRES DE FORAGE - TUBAGES COTES & DIAMETRES - CIMENTATION DES TUBAGES - TOUS DISPOSITIFS SUPPLEMENTAIRES INSTALLES DANS LES PUIITS 	<p>PRESSIONS DE PORES & CONTRAINTES IN-SITU (DONNEES DE REFERENCE DISPONIBLES UTILISEES POUR LA CONSTRUCTION DU PUIITS)</p>	<p>PROFIL DE TEMPERATURE (modèle prédictif)</p>	<p>DESCRIPTION DE LA TRAJECTOIRE DU PUIITS, INCLINAISON & DIRECTION DESCRIPTION DU SYSTEME DE MESURE DE DEVIATION DU PUIITS</p>	<p>DESCRIPTION DU PROGRAMME PREVU DE MESURES DES DIAGRAPHIES (LOGGING) DANS LE PUIITS</p>	<p>DESCRIPTIONS SUCCINTES DES PROGRAMMES DE FLUIDES DE FORAGE & CIMENTATION DES TUBAGES. PROGRAMME PRELIMINAIRES SUCCINS CAR NON ENCORE ENTIEREMENT DETERMINES A CE JOUR.</p>	<p>INFORMATOINS SUR LES EQUIPEMENTS PUIITS, LES OPERATIONS SUR PUIITS</p>	<p>CONSTRUCTION ALTERNATIVE DU PUIITS EN CONTINGENCE</p>

Figure 4.8 : Notice de lecture d'un tableau synoptique d'ouvrage d'un puits

4.8.2 Puits GPX

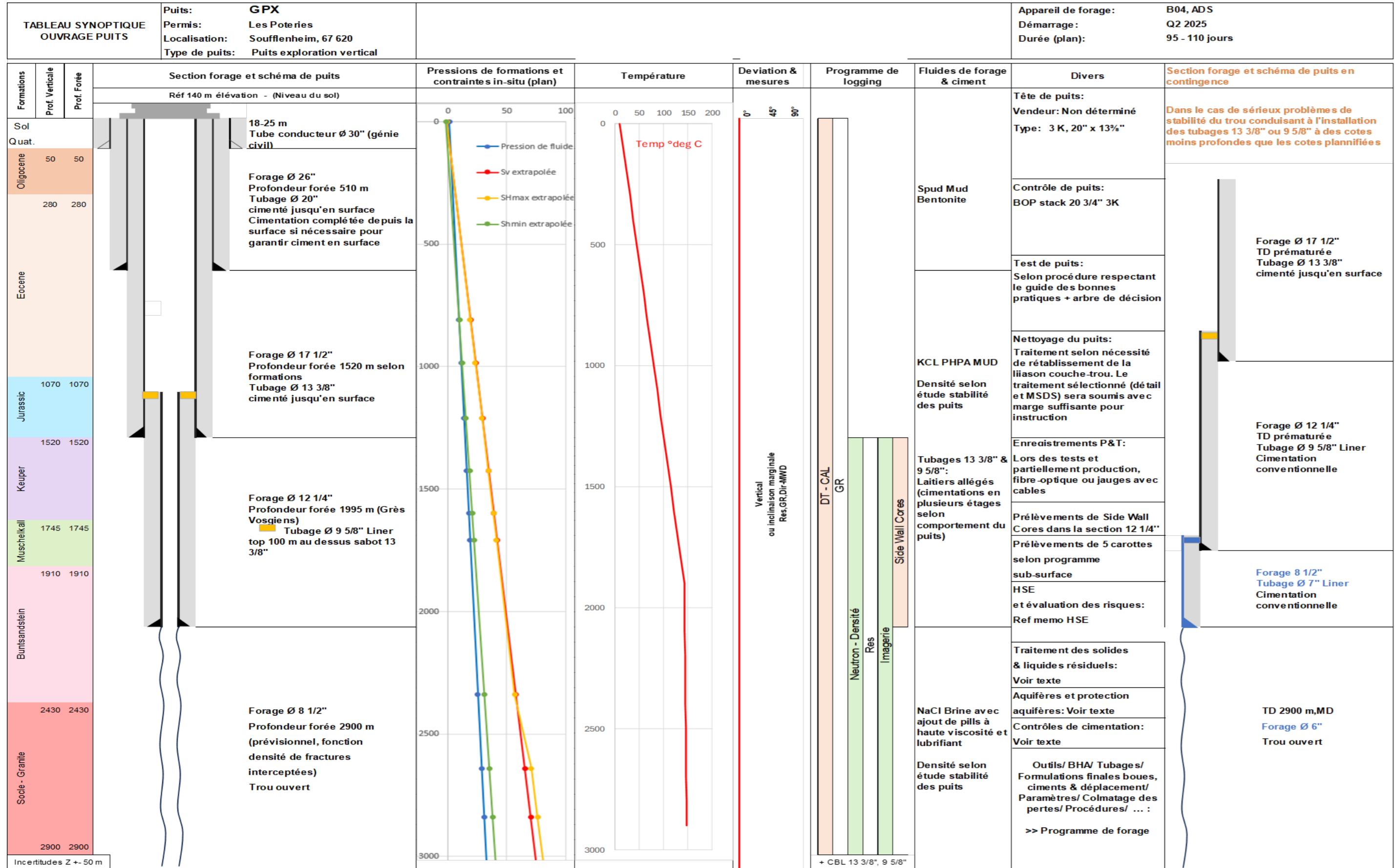


Figure 4.9 : Tableau synoptique du puits GPX

5 ASPECTS OPERATIONNELS

5.1 Traitement des déblais et fluides résiduels

5.1.1 Généralités

Les obligations générales résumées ci-après sont issues principalement du Code de l'environnement et du Règlement général des industries extractives, BRGM/RP-61953-FR.

Les fluides de forage sont encadrés par les réglementations suivantes :

- Code de l'environnement, Livre V, Titre IV, Chapitre 1er, Section 1, Sous-section 2 « classification des déchets. (fluides et déblais de forage considérés comme déchets provenant de l'exploration et exploitation des mines et carrières) ;
- Les obligations de l'exploitant sont également décrites dans le Code de l'environnement, que ce soit sur les aspects de traçabilité et de gestion des déchets ;
- En résumé l'exploitant est tenu d'assurer ou de faire assurer l'élimination des déchets produits dans des conditions de nature à produire des effets nocifs sur l'environnement ; l'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, de transport, de stockage, de tri, de retraitement, de dépôt. Une telle filière ne peut être cédée à des tiers sans surveillance et gestion de leur devenir par l'exploitant.

5.1.2 Traitements de déblais de forage

Dans le cadre des opérations de forage, des déblais solides et déchets liquides seront produits.

Lors des opérations de forage, ces déblais seront évacués du puits par le fluide de forage sous la forme de particules en suspension. Le mélange composé du fluide de forage ainsi que de ces déblais est dénommé "retours de puits".

Le traitement de ces retours de puits est réalisé par l'appareil de forage par l'enchaînement des phases suivantes :

- Filtration grossière par tamisage vibrant ;
- Dessablage ;
- Ségrégation des particules de la plus grossière à la plus fine par circulation au travers d'hydrocyclones.

Le volume total des déblais solides est estimé à 460 m³, soit environ 1130 tonnes. La nature de ces déblais dépend de la profondeur, du diamètre et de la section de forage concernée.

Les déblais sont analysés (analyses minérales et analyses chimiques) et seront assignés à des centres de retraitement et de valorisation des déchets solides agréés selon leurs natures (collecte, transport et retraitement).

Leur traitement sera réalisé en priorisant la revalorisation en matériaux de construction, sous réserve de conformité des analyses réglementaires aux critères d'acceptation. A défaut, ces résidus pourront être stabilisés par ajouts de cendres, de ciment, ou d'autres matériaux afin de faciliter leur manipulation et leur envoi en centre d'enfouissement de déchets inertes. Lithium de France suit et pilote la chaîne de traitement et de valorisation dans son ensemble, elle est responsable des déchets solides produits même si leur traitement est effectué par des prestataires.

Les 2 figures suivantes montrent les équipements présents sur le site pour le traitement des retours de fluides de forage (Figure 5.1) et les principes de retraitement des déblais et fluides résiduels de forage (Figure 5.2).

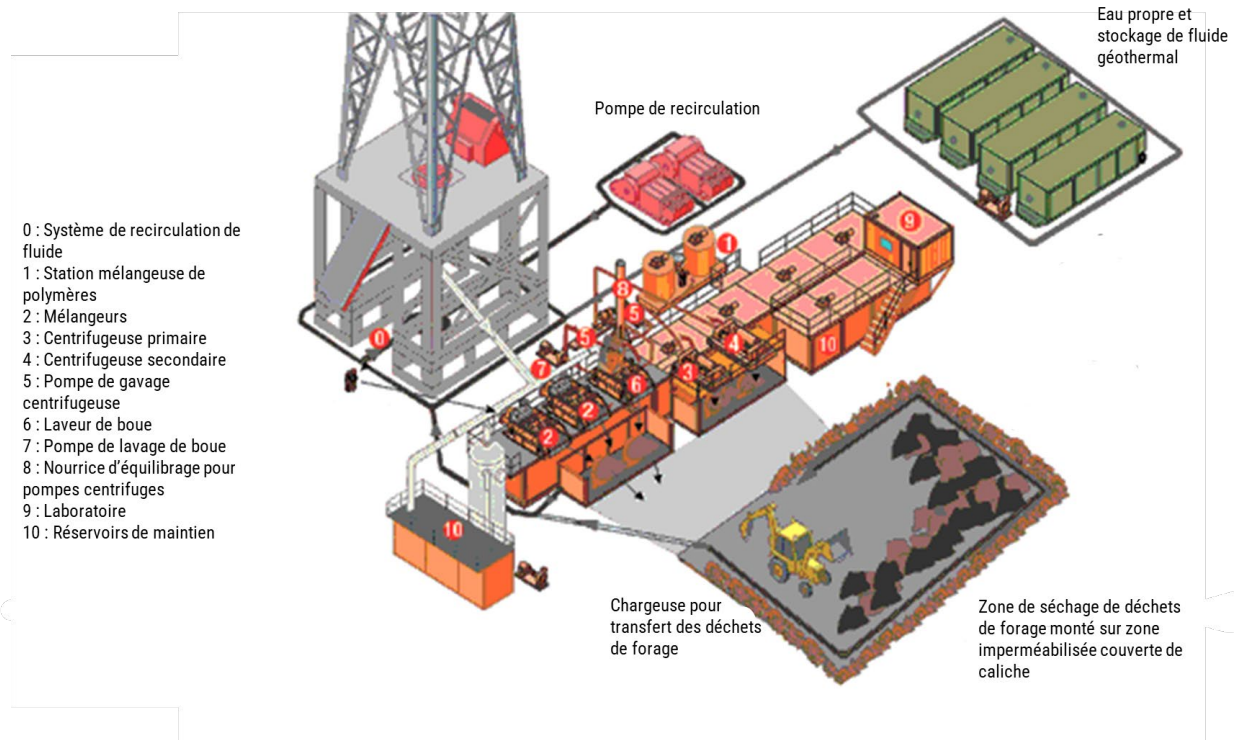


Figure 5.1 : Schématisation du traitement des retours fluides sur un site de forage

5.1.3 Traitements des fluides de forage

Les fluides « retour de puits », après extraction des phases solides, sont recyclés et reconditionnés pour réutilisation comme fluide de forage sur site.

Les fluides de forage résiduels, non directement recyclables, seront traités en surface selon le procédé suivant :

- Déflocculation pour séparer solides résiduels et fluides ;
- Drainage des eaux immédiatement récupérables vers les bassins de récupération pour réutilisation ;
- Séchage des solides résiduels sur site pour :
 - Récupération secondaire des fluides ;
 - Récupération des solides résiduels pour traitement et valorisation comme décrit en Figure 5.2. L'ensemble du traitement occupe une surface de +/- 2500 m², qui sera localisée sur site ou sur un site centralisé pour toutes les opérations de l'opérateur.

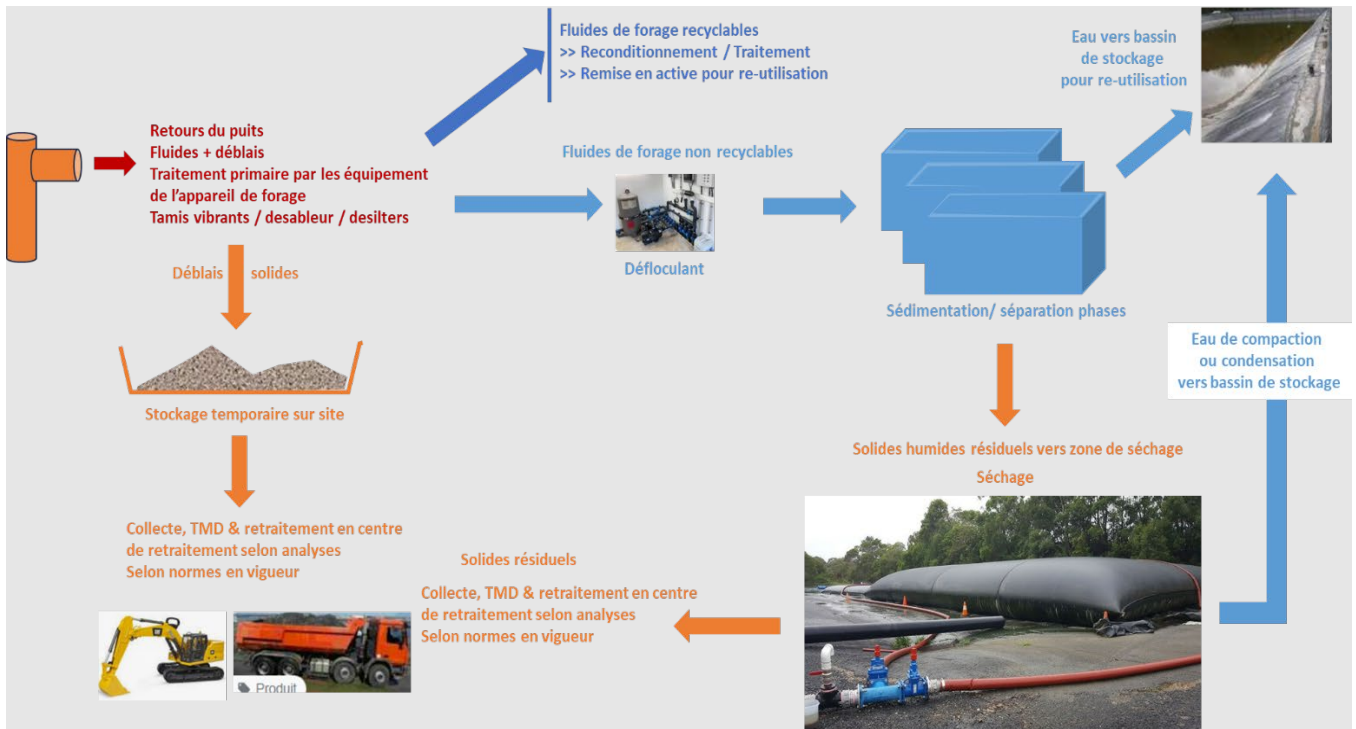


Figure 5.2 : Principe des retraitements des déblais et fluides résiduels

5.2 Organisation des opérations forage

5.2.1 Services

Pour réaliser les opérations de forage, Lithium de France contractera avec les compagnies de services pour les activités suivantes :

- **Appareil de forage :**

Incluant sans s'y limiter toutes implantations et connexions en surface/ Equipements de contrôle des puits, installation et maintenance/ Puissance (électrique ou groupe électrogène de secours)/ Bureaux, base de vie, sanitaires, installations et branchements/ Tous éléments de garnitures tubulaires pour opérations dans le puits/ Toutes manutentions et manœuvres dans le puits/ Maîtrise des paramètres d'opérations dans les puits/ Réservoirs pour stockage, traitement, conditionnement fluides de forage, nettoyage, traitements/ Pompage des fluides/ Installations et opérations de traitements des retours puits, traitement des déblais, traitement des fluides/ tous équipements de surface pour manutentions, déplacements, maintenances, connexions, tests, nettoyages, pompages, levage, ... / levage et transport pour déménagement de l'appareil.

- **Fluides de forage, de nettoyage, de traitements :**

Formulations des systèmes fluides selon les spécifications de l'ingénierie forage/ Fourniture éventuelle d'une « centrale à fluides » permanentes (stockage moyen et long terme des fluides de forage pour réutilisations régulières) / Fourniture des produits pour fabrication des fluides/ Tests et suivis des spécifications fluides/ Fabrication, maintenance, traitements des fluides.

En cas de nécessité, le même service peut fournir des équipements pour traitement ou manipulations additionnels des déblais ou fluides tels que centrifugeuses, hydrocyclones, vis convoyeuses, ...

- **Cimentation :**

Formulations des systèmes ciments selon les spécifications de l'ingénierie forage/ Fourniture des produits pour fabrication des laitiers ou livraison des laitiers pré-mélangés et bouchons de séparation laitier-boue/ Fourniture de la pompe de cimentation et des équipements spécifiques pour cimentations (têtes de cimentation) / Pompage des laitiers dans le puits/ Suivis des spécifications ciment et bouchons de séparation.

- **« Mud logging » ***:

Enregistrement permanent continu des paramètres forages, paramètres fluides, stratigraphie, échantillonnage des déblais et analyses, support principal du géologue de chantier, détection des gaz et analyses, alertes en cas de déséquilibre hydraulique dans le puits (pertes ou venues), écran de contrôle exhaustif de tous les paramètres à usage chantier, siège éventuellement, archivage des données et rapports.

Le service mud logging* a particulièrement la charge de la coordination des méthodes de détection de gaz et alertes :

- Détecteurs de gaz en zone tête de puits et BOP (cf. figure 2.2) – CH₄, H₂S, CO₂
- Détecteurs de gaz au plancher de forage (cf. figure 2.4) - H₂S, CH₄
- Détecteurs de gaz en retour de puits (goulotte des retours de fluides en sortie de puits, cf. figure 2.5) - Gaz total, composants C_n, CH₄, H₂S, CO₂
- Détecteurs de gaz en zone de traitement des fluides retour du puits (cf. figure 2.5) - CH₄, H₂S, CO₂
- Détecteurs de gaz en zone de préparation des fluides (cf. figure 5.1) - H₂S
- Détecteurs de gaz en zone de pompage des fluides (cf. figure 5.1) - H₂S
- Détecteurs de gaz au conteneur du groupe hydraulique (cf. figure 2.4) - H₂S

* : Le terme « Mud Logging », générique, peut être retrouvé dans la suite du document.

- **Forage directionnel & mesures de déviation « MWD » ***:

Tout équipement de fond pour pilotage de la déviation du puits selon trajectoire programmée (systèmes de stabiliseurs, tubulaires spécifiques, moteurs de fond, raccords coudés, systèmes spécifiques de pilotage) / Tous équipements de fond pour mesures de la déviation du puits (inclinaison, azimut, paramètres de fond) de type MWD (mesures en cours de forage), Gamma Ray – Résistivité MWD (mesures de déviation, gamma ray et résistivité en cours de forage)/ Système de transmission des données vers la surface/ Système de traitement des données en surface.

* : Le terme « MWD » (*Measured While Drilling*), générique, peut être retrouvé dans la suite du document.

- **« LWD » ou mesures de diagraphies en cours de forage ***:

Il existe plusieurs modes de conduite des outils de diagraphie et transmission des données du fond vers la surface :

- Outils au câble électrique : les outils sont manœuvrés dans le puits en étant suspendus à un câble électrique (conduite des outils et transmission des data) (voir paragraphe 'WL Logging' ci-dessous) ;
- Lorsque les conditions de puits sont difficiles (profondeur, instabilité, inclinaison élevée), les mêmes outils sont descendus suspendus au même câble mais une garniture tubulaire (tiges de forage) est utilisée pour conduire les outils jusqu'au fond du puits ;
- Le système « LWD » ou mesures de diagraphies en cours de forage utilise des outils inclus dans la garniture de forage elle-même. Les données, comme celles du MWD ci-dessus, sont acquises en cours de forage et transmises en surface.

Le service LWD inclut : la fourniture des outils de diagraphies selon les spécifications des ingénieries forage et subsurface / Systèmes de transmission des données vers la surface / Système de traitement des données en surface.

* : Le terme « LWD » (*Logging While Drilling*), générique, peut être retrouvé dans la suite du document.

- **« WL Logging » ou mesures de diagraphies au câble électrique***:

Fourniture des outils de diagraphies selon les spécifications des ingénieries forage et subsurface/

Câble de conduite et transmission/ Systèmes de conduite du câble/ Système de connexion au puits et de contrôle du puits en cours de diagraphie/ Système de traitement des données.

* : Le terme « WL Logging » (*Wire Line Logging*) ou « diagraphie WL », générique, peut être retrouvé dans la suite du document.

- **Enregistrement continu de pression (P) et température (T) en conditions de fond :**

Les conditions de P et T seront enregistrées en continu durant certains intervalles (notamment les tests). Des outils au câble électrique seront utilisés ou des fibres optiques.

- **« Slickline » ou câble de conduite *:**

Certains outils sont conduits dans le puits pour une opération spéciale ou pour y être installés, un câble de conduite est utilisé.

* : Le terme « Slickline », générique, peut être retrouvé dans la suite du document.

- **Vissage et descente des tubages :**

Tous équipements pour vissage des tubages selon la procédure adéquate au type de connexion sélectionné/ Enregistrement sur demande de chaque connexion/ Tout équipement pour descente des tubages dans le puits.

- **Repêchage :**

Tous équipements pour repêchage des équipements dans le puits, pour support aux opérations complexes dans les puits (fraisage, coupes, re-entrées ...)

- **Services aux têtes de puits :**

Préparations, installations, tests des têtes de puits/ Toutes opérations sur têtes de puits. Le fournisseur de têtes de puits n'est pas sélectionné, ce service ne sera fourni qu'en cas de nécessité.

- **Services aux « Liner Hangers » ou système de suspension de tubage *:**

Préparations, installations, tests des « Liner Hangers ».

* : Le terme « Liner Hanger », générique, peut être retrouvé dans la suite du document.

- **Services à tous types d'équipements de fond :**

Préparations, installations, tests de tous équipements de fond selon nécessités.

- **Nettoyage de puits :**

Fournitures d'équipement spécifiques en cas de nécessité pour opérations spécifiques de nettoyages de puits (brosses, gratteurs, jets, ...).

Préparations, installations, tests de tous équipements de fond selon nécessités.

- **Services aux pompes de production géothermique :**

Préparations, installations, tests des pompes de production géothermique.

- **Logistique et support :**

Transport, réception, manutention, stockage des équipements tangibles de l'opérateur.

- **Inspections :**

Inspections (appareil de forage, tous équipements, matériel tubulaire, tubages, véhicules, appareils de levage, ...) selon procédures et nécessités.

- **Atelier :**

Toutes coupes, fabrications, ajustements selon les nécessités opérationnelles.

- **Génie civil :**

Tous travaux de génie civil et préparation de la localisation de surface comme décrite au § 2.

- **Analyse des déblais, autres analyses :**

Analyse des déblais pour identification de la filière de traitement. Toutes autres analyses chimiques selon nécessité.

- **Collecte et traitement des déblais :**

Filières de collecte, transport et retraitement des déblais.

5.2.2 Equipements tangibles

Les équipements tangibles sont achetés par Lithium de France pour la construction des puits, installés pour le long terme. Ils font initialement partie du stock puis sont imputés sur chaque puits et sont composés des éléments suivants :

- Tubages ;
- Têtes de puits ;
- « Liner hangers » ou système de suspension des tubages ;
- « Stage tools » ou systèmes permettant les cimentations étagées ;
- Equipements de fond divers ;
- Pompes de production géothermique ;
- Outils de forage (les outils de forage ne sont pas des équipements puits mais des consommables, ils font cependant partie des achats).

5.2.3 Encadrement du chantier

Les opérations de forage sont en mode 24 h/24, 7 jours/7.

Opérateur :

La figure 5.3 ci-dessous résume l'organisation de l'opérateur pour l'encadrement du chantier forage.

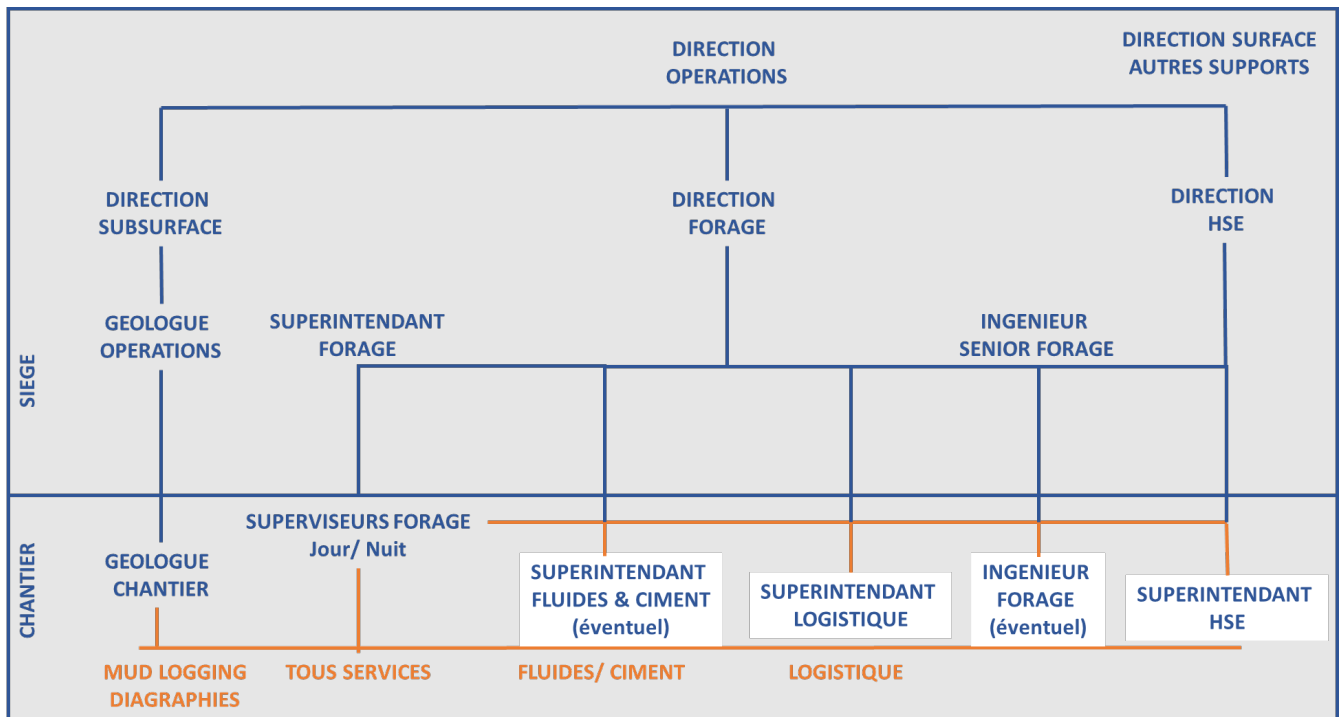


Figure 5.3 : Encadrement du chantier forage

Sur chantier :

- Le superviseur de forage est le représentant de l'opérateur sur site et point focal de contact, responsable en charge de la réalisation des programmes.

Assisté d'un superintendant HSE, il est également responsable *in-fine* des aspects HSE sur site

- Le superintendant HSE est en charge des mises en place et implémentations de toutes les procédures et mesures HSE de l'opérateur, de leur application par tous les personnels sur site, de l'opérateur, des contractants, sous contractants ou prestataires, sous forme directe ou en combinaison avec toutes procédures acceptées des parties, si elles ont été approuvées.
- Le géologue, le superintendant fluides & ciment, le superintendant logistiques et l'ingénieur forage ont la charge de leurs parties techniques respectives.

Au siège :

- Le superviseur de forage rapporte au superintendant forage et à l'équipe forage du contracteur de forage. Une couverture permanente est assurée par l'équipe forage (pour tous les aspects HSE, techniques, logistiques).
- Le superintendant HSE rapporte également au directeur HSE.
- Les équipes forage et HSE sont elles-mêmes au sein du département opérations (supervisant l'ensemble des opérations de l'opérateur).
- L'ensemble des opérations est assisté par les départements RH, administration, achats et contrats, finances, IT, communications.

Contracteur de forage :

- La société Arverne Drilling Services, spécialisée dans les services de forage de géothermie mais aussi de stockage ou d'exploitation d'autres ressources fournira l'appareil de forage B04, acquis en 2023, pour le forage des puits de l'opérateur.
- L'appareil est à présent en conditionnement et tests avant acceptation par l'opérateur. Il sera mobilisé sur le site de forage pour la réalisation du projet.
- Les équipes de forage sélectionnées sont pour 75% d'entre elles familières avec l'appareil. Les membres de l'équipe en addition sont des agents expérimentés en matière de chantier forage.
- Les équipes opèreront en mode 3 x 8 h ou 2 x 12 h selon les autorisations de la DRIEETS (Direction du travail). Les agents en poste travailleront en régime rotationnel.
- L'appareil de forage est opéré avec l'équipe suivante :

Base 8 h/ poste :

#	Description	Sur site par période de 24 h	#	Description	Sur site par période de 24 h
#1	Chef de chantier	1	#6	Chef de poste	3 (1 par poste)
#2	Mécanicien/ Hydraulicien	1	#7	Assistant chef de poste	3 (1 par poste)
#3	Electricien	1	#8	Mudman	3 (1 par poste)
#4	HSE	1	#9	Floorman	3 (1 par poste)
#5	Administratif	1	#10	Ouvrier de surface	2 (1 sur 2 postes)

Base 12 h/ poste :

Cette liste inclut un opérateur « volant » pour effectuer les remplacements légaux selon les qualifications lors des récupérations dans le cas du fonctionnement en 2*12 h)

#	Description	Sur site par période de 24 h	#	Description	Sur site par période de 24 h
#1	Chef de chantier	1	#6	Chef de poste	2 (1 jour/ 1 nuit)
#2	Mécanicien/ Hydraulicien	1	#7	Assistant chef de poste	2 (1 jour/ 1 nuit)
#3	Electricien	1	#8	Mudman	2 (1 jour/ 1 nuit)
#4	HSE	1	#9	Floorman	4 (2 jour/ 2 nuit)
#5	Administratif	1	#10	Ouvrier de surface	1 (jour)

Autres services :

Les autres services mentionnés à la Figure 5.3 seront couverts par des personnels mis à disposition dans le cadre des différents contrats de services, selon les nécessités opérationnelles à raison de 2 à 6 par services selon les équipes et les opérations.

Prestataires :

La loi de 1975 régira le recours aux prestataires par les différentes sociétés de services.

5.3 PROCEDURES HSE

Le document unique (DUERP) est présenté dans le Document n°6 « L LPX_AE_006_Doc6_DUERP_V1 ».

L'ensemble des procédures HSE, industrielles et spécifiques au forage, seront constituées durant l'année 2025, en accord avec les régulations et réglementations, créant le référentiel HSE de l'opérateur (procédures, préventions, actions & interventions, indicateurs de performances, rapports).

Le référentiel HSE de l'opérateur sera par ailleurs combiné avec le référentiel du contracteur de forage pour créer un référentiel commun pour la gestion de l'appareil de forage et ses opérations. Toute combinaison implique l'adoption des mesures les plus strictes de part et d'autre.

Certaines compagnies de services disposent de process HSE très complets et aboutis. Ceux-ci seront également combinés ou simplement appliqués lorsque leur standard est au moins aussi élevé que celui de l'opérateur.

L'ensemble des procédures HSE, en cours de création, n'est pas listé ici. Cependant certains principes de base gérant les aspects HSE peuvent être évoqués. Ils comprendront sans s'y limiter :

- Accueil et induction HSE systématiques de tous les personnels ;
- Vérification des certificats et compétences ;
- Système de permis de travail pour gestion systématique de tous travaux ou interventions sur site ;
- Analyse des risques systématique dans les programmes, procédures, instructions et avant tous travaux ;
- Supervision HSE par l'opérateur, par le contracteur de forage ;
- Réunions HSE préalables à tous travaux & interventions ;
- Système de signalement des situations ou actes préoccupants, système de « cartes stops » pour une interruption possible de toute opération ou une intervention par chaque participant à la suite de la détection de situation ou acte non sécurisé ;
- Encouragement systématique d'attitudes proactives, de prise en charge par chacun de sa propre sécurité ainsi que de celle du groupe, encouragement des signalements, culture de déculpabilisation (la possibilité d'erreurs individuelles ou collectives est envisagée, les participants sont encouragés à signaler et rapporter tous manquements, erreurs ou risques identifiés) ;
- Accents mis sur les postes et opérations les plus soumis à risques, campagnes de sensibilisation, information, formation ;
- Bien entendu, implémentation du référentiel HSE dans son ensemble, informations et formations y afférant.

5.4 Planning

5.4.1 Séquence opérationnelle de construction d'un puits

« Spud » *

- Démarrage des opération forage sur un puits ou « spud » *

La surface est entièrement prête, fonctionnelle et acceptée. Le tube guide 30" est en place.

L'appareil est installé, testé, accepté selon la procédure exhaustive d'acceptation de l'appareil intégrée au contrat, le fluide de forage nécessaire en quantité suffisante pour la première phase forage est prêt à l'emploi. Le tube guide est connecté par un adaptateur pour continuité hydraulique.

* : Le terme « spud », générique, peut être retrouvé dans la suite du document.

Phase forage 26" et tubage 20"

- Forage de la section 26" jusqu'à 510 m, verticale.
- Descente du tubage 20", cimentation jusqu'en surface.
- Installation et test du premier élément de tête de puits connecté au tubage 20".
- Installation et test des BOP (bloc obturateur de puits).

Phase forage 17 ½" et tubage 13 3/8"

- Forage de la phase 17 ½", verticale.
- Acquisition des diagraphies WL dans le trou ouvert 17 ½" (sauf si les diagraphies ont été acquises en cours de forage par LWD, Cf. 6.4.1).
- Descente du tubage 13 3/8", cimentation jusqu'en surface.
- Installation et tests du second élément de tête de puits, suspension du tubage 13 3/8".
- Connexion et tests des BOP (bloc obturateur de puits).

Phase forage 12 ¼" et tubage 9 5/8"

- Forage de la phase 12 ¼", verticale.
- Acquisition des diagraphies WL dans le trou ouvert 12 ¼" (sauf si les diagraphies ont été acquises en cours de forage par LWD, Cf. 6.4.1), acquisition du CBL dans le tubage 13 3/8"
- Descente & installation du tubage 9 5/8". Le tubage 9 5/8" est un « liner » qui n'est pas suspendu en surface mais dans le tubage 13 3/8" (à 100 m +/- au-dessus du sabot 13 3/8").
- Cimentation jusqu'au top liner.

Phase forage 8 ½"

- Forage de la phase 8 ½", verticale avec acquisition de 5 carottes à des profondeurs diverses.
- Acquisition des diagraphies WL dans le trou ouvert 8 ½" (sauf si les diagraphies ont été acquises en cours de forage par LWD, Cf. 6.4.1), acquisition du CBL dans le tubage 9 5/8".

Test de puits

- Nettoyage du puits avec circulation d'une solution d'acide ainsi que d'eau douce afin de débarrasser la section en trou ouvert des résidus de boue de forage pouvant colmater les parois. La nature des acides éventuels n'est pas définie à ce stade.
- Test hydraulique selon deux phases ; des tests de production ou dégorgeement suivis de tests d'injection des volumes produits précédemment. Les tests en production pourront se faire en artésianisme, par *airlift*, ou avec une pompe selon les prérequis techniques. Ces tests ont pour objectifs d'évaluer les propriétés hydrauliques initiales du puits et suivront les recommandations décrites dans le Guide de bonnes pratiques des forages géothermiques

profonds et le Guide de bonnes pratiques pour la maîtrise de la sismicité induite par les opérations de géothermie profonde.

Déconnexion de l'appareil

- En fin de forage et tests GPX, l'appareil est déménagé hors de cette localisation.

La Figure 5.5 ci-dessous donne le schéma du programme prévu pour le puits d'exploration GPX.

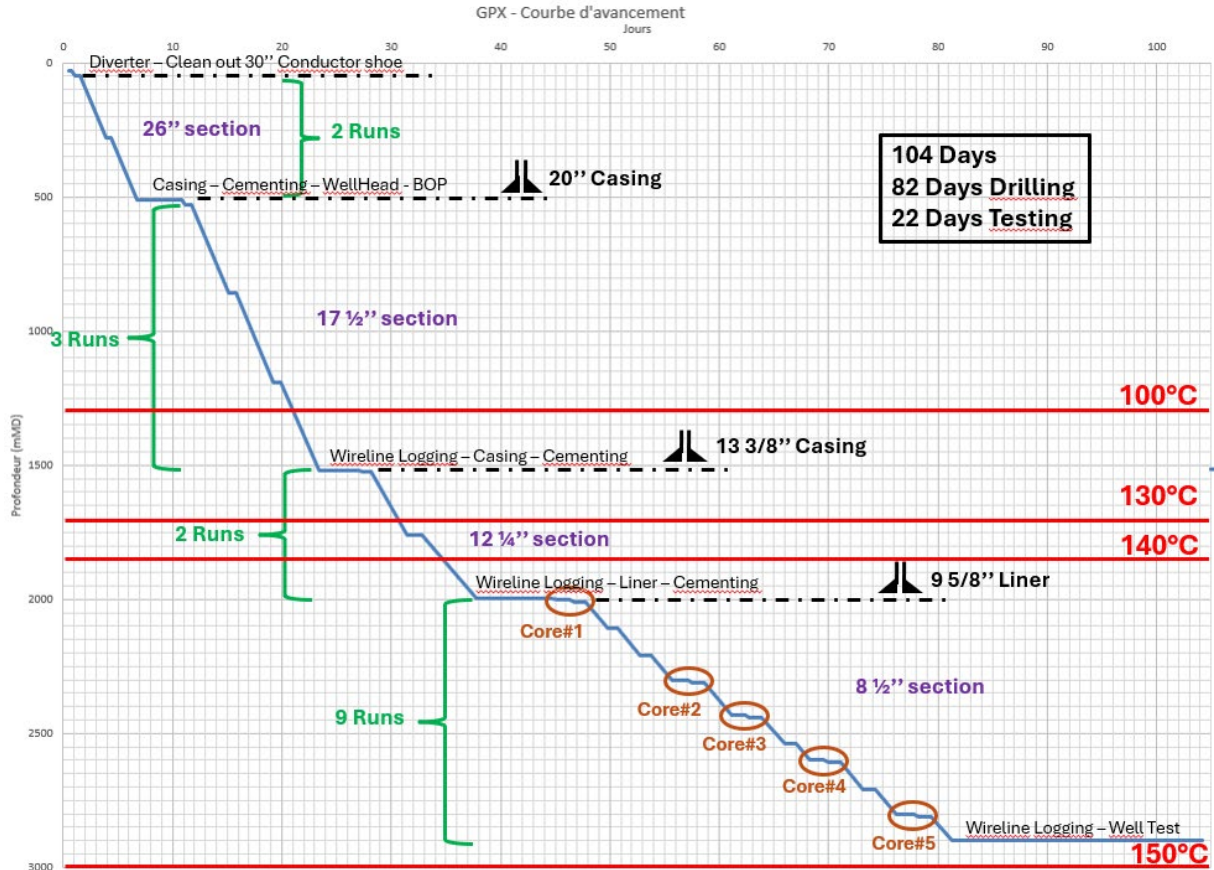


Figure 5.5 : Planning indicatif d'opérations puits avec appareil de forage

5.4.2 Planning global de préparation et réalisation du projet

Une fois l'arrêté préfectoral d'autorisation d'ouverture de travaux miniers exploratoires, le projet « Les Poteries Exploration » se déroulera sur une dizaine de mois répartis de la manière suivante :

- (1) **Travaux de génie civil** : 5 mois ;
- (2) **Mobilisation de l'appareil de forage** : 1 mois ;
- (3) **Forage du puits exploratoire** : 3 mois ;
- (4) **Test du puits** : 1 mois.

Cette chronologie est reportée sur la frise présentée ci-dessous en Figure 5.3.

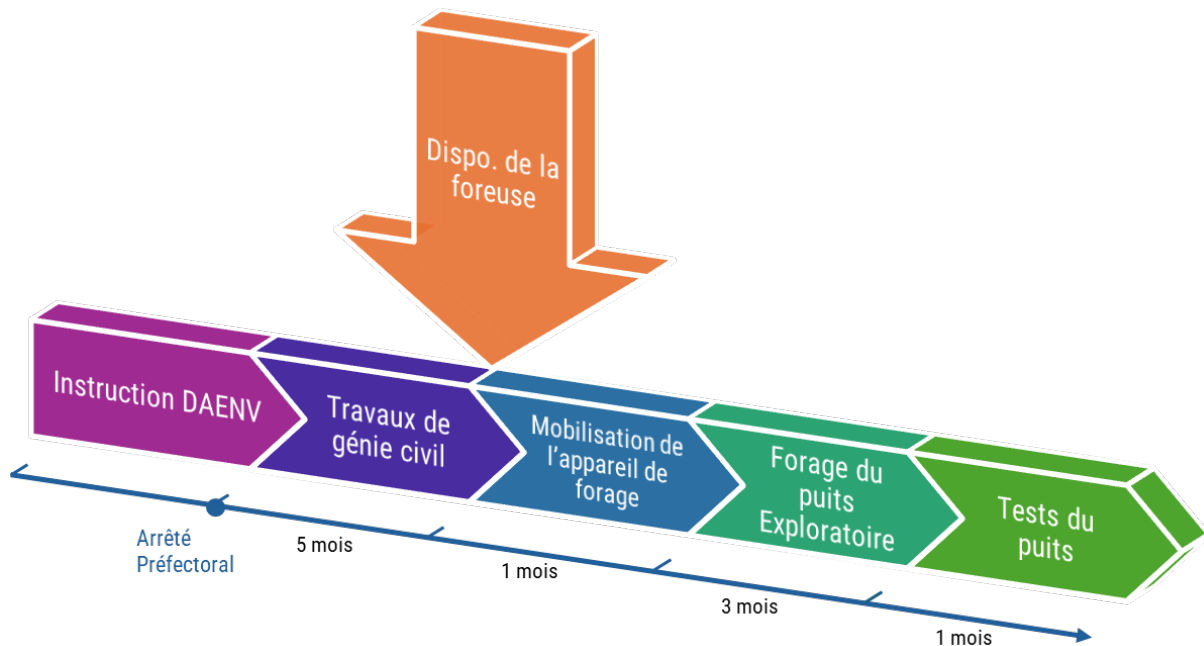


Figure 5.3 : Planning prévisionnel du projet exploratoire sur le PER "Les Poteries"

En l'absence de mesures concluantes sur le potentiel de chaleur et la concentration en lithium des saumures géothermales, Lithium de France procédera à la fermeture du puits dans les règles de l'art et à une remise en état de la zone de travaux.

Dans le cas où un gîte serait identifié au droit du forage exploratoire, Lithium de France étudiera la faisabilité d'un futur projet de doublet géothermique.

Lithium de France

31 rue de la Redoute

67500 Haguenau

contact@lithiumdefrance.com

