

Exploration - Programme de forage - Puits Ittigen-01

Maître d'ouvrage: Nom

12-03-2018

Ingénieur forage: Nom

Géologue: Nom

Chef de projet: Nom

Ce document est un exemple, qui est destiné à servir comme modèle de "Programme de forage" pour les projets et les opérations de forage/puits de géothermie profonde.

- Le but de ce document est d'informer les Canton Suisses dans leur travail d'autorisation, sur ce qui pourrait être présenté par un maître d'ouvrage/d'œuvre comme programme de forage/puits d'un projet de géothermie profonde. Durant les opérations de forage/puits, ce document peut servir de support pour la surveillance des activités.
- Le niveau de détails présenté dans un tel document doit être ajusté en fonction des dangers et des risques associés à la construction et l'exploitation des puits. (par exemple un puits avec une probabilité significative de rencontrer du gaz naturel aura un profil de risque et un niveau de détail différent d'un puits d'eau non artésien)
- Le contenu de ce document est fictif et doit être remplacé avec des informations réelles.

Table des matières

Abréviations / Terminologie	4
1. Résumé	5
1.1. Informations clés de puits.....	5
1.2. Champ d'application des travaux.....	6
1.3. Critères de design - Normes	7
2. Géologie	8
2.1. Objectifs du puits.....	8
2.2. Description de l'objectif géologique	8
2.3. Eau du sous-sol (eau potable et eau exploitable)	11
2.4. Pronostic géologique	12
2.4.1. Lithologie.....	12
2.4.2. Coordonnées de l'objectif	12
2.4.3. Critère d'arrêt de forage (TD criteria)	13
2.4.4. Hydrocarbure, H ₂ S et CO ₂	13
2.5. Pronostic de pression et température	14
3. Forage.....	16
3.1. Site de forage	16
3.1.1. Sélection du site de forage	16
3.1.2. Plan du site	17
3.1.3. Tubage d'ancrage.....	17
3.2. Unité de forage (foreuse).....	17
3.3. Design du puits.....	18
3.3.1. Général.....	18
3.3.2. Design du puits - cas de base	19
3.3.3. Tubage en cas d'imprévu.....	19
3.3.4. Analyse du design de tubage.....	20
3.3.5. Tolérance de "kick"	21
3.3.6. Emplacement du puits et de l'objectif du puits.....	22
3.3.7. Emplacement de forage secondaire (s'il y a lieu).....	22
3.3.7.1. Communication avec les autorités (s'il y a lieu)	23
3.3.7.2. Limitation d'accès / météo (s'il y a lieu)	23
3.3.7.3. Puis de secours / disponibilité d'unité de forage / logistique (s'il y a lieu)	23
3.3.7.4. Impact en cas de perte de contrôle de puits (s'il y a lieu)	24
3.3.8. Spécification de la tige de forage (drill pipe) et scénario d'efforts.....	25
3.3.9. BOP: Bloc d'obturation du puits (s'il y a lieu)	25
3.3.10. Information de tête de puits	25
3.3.11. Test de pression: BOP et tubage	26
3.3.12. Fluide de forage / simulation hydraulique	27

3.3.13. Cimentation.....	28
3.3.14. Trajectoire de forage	29
3.3.15. Simulation de couple et de frottement (Torque & Drag)	29
3.3.16. Usure de tubage (s'il y a lieu).....	30
3.3.17. Durée des opérations.....	30
3.4. Détails des opérations.....	31
3.4.1. Tubage d'ancrage.....	31
3.4.2. Section de 26" - Tubage de surface 22"	32
3.4.3. Section de 16" - tubage intermédiaire de 14"	33
3.4.4. Section de 12 ¼" - tubage de production de 9 ⅝"	33
3.4.5. Section de 8 ½" - liner de production de 7".....	33
3.4.6. Test de production	34
3.4.7. Abandon du puits (P&A)	36
3.5. Acquisition de données - diagraphies.....	37
3.5.1. MWD / LWD et diagraphie	37
3.5.2. Test de production	38
3.5.3. Mudlogging.....	38
3.5.4. Échantillon de déblais de forage (cuttings).....	38
3.5.5. Échantillon de boue de forage	38
3.5.6. Carottage conventionnel.....	38
3.5.7. Carottage latéral	39
4. Gestions des risques et des dangers.....	39
4.1. Objectifs clefs	39
4.2. Analyse de risques	39
4.3. Déviations.....	39
4.4. Barrière de puits	40
5. Organisation.....	41

Abréviations / Terminologie

MD = measured depth = profondeur mesurée

TVD = True vertical depth = profondeur verticale réelle

RKB = rotary kelly bushing = en référence à la fourrure de transmission

GL = ground level = en référence au niveau du sol

TD = total depth = profondeur finale

BOP = Blow out preventer = bloc d'obturation du puits

s.g. = standard gravity = gravité standard (pour un fluide: ratio entre la densité du fluide et la densité de l'eau)

Logging = mesure de paramètres du souterrain (aussi appelé diagraphie)

Wireline = câble de descente d'équipement dans le puits

Liner = tubage ancré dans le tubage supérieur (et non pas jusqu'à la tête de puits)

Liner hanger = Equipement permettant l'ancrage du liner

Packer = Equipement fait d'élastomère permettant d'assurer l'isolation entre deux tubages

Kick = venue de fluide dans le puits (eau, gaz...)

Mudlogging = mesure des paramètres de boue. Plus généralement de l'ensemble des paramètres associés au forage

1. Résumé

1.1. Informations clés de puits

Nom du puits: *Ittigen-01*

Classification du puits: *exploration (avec option de production)*

Profil du puits: *vertical / dévié / horizontal...*

Profil de risque du puits: *moyen*

Prospect: *Aquifère du Massif de Ittigen*

Canton: *Bern*

Commune: *Ittigen*

Numéro de permis de recherche/exploration: *4738901872-MN-GEO-2017*

Maître d'ouvrage: *Géothermie Ittigen AG*

Unité de forage: *POWER COPCO 1370 D - fournisseur: BFE forage AG*

Altitude du site de forage: *432 m au dessus du niveau de la mer*

Distance Sol - RKB / élévation: *9m*

Coordonnées de la tête de puits:

Coordonnées géographiques:

- Latitude: *42 degrés 12' 02" N (+ référence, ex WGS84)*
- Longitude: *7 degrés 01' 31" E*

Coordonnées UTM:

- Nord: *5 118 227 m (Zone/Secteur: 32T)*
- Est: *347 647 m*

Adresse: *Geothermiestrasse 34, Ittigen, 3063, Canton de Bern.*

Emplacement de l'objectif: *dévié de 600m sur un azimuth 42 degré (N-NE)*

Réservoir et profondeur: *Massif de Ittigen à 2.630 m TVD RKB*

Profondeur finale prévue: *3.500 m TVD RKB*

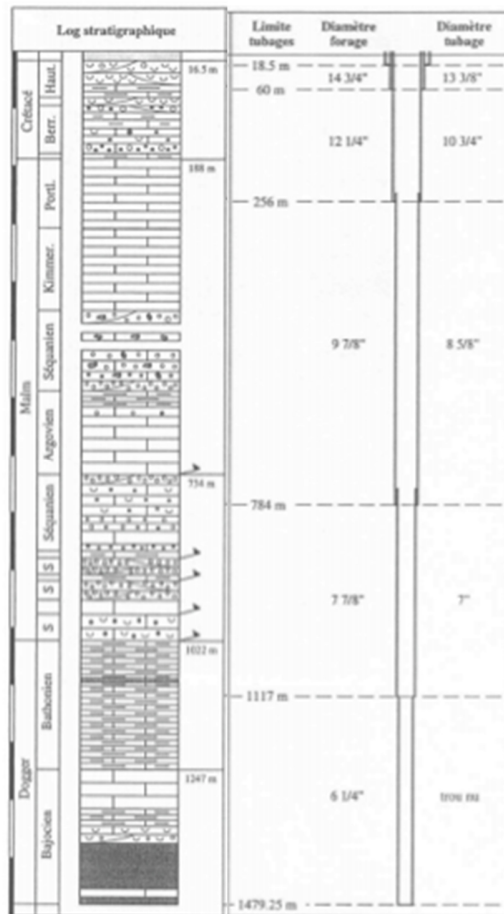
Formation géologique à la profondeur finale: *Massif de Ittigen/ inconnue*

Pression de design du puits: *250 bars*

Température de design du puits: *150 degrés*

Durée prévue du forage: *68 jours*

Schéma récapitulatif du puits (*un exemple de schéma de puits peut être présenté, avec son design des tubages et la lithologie associée. Une coupe géologique avec la trajectoire de puits peut aussi être présentée*).



Source: Etude du potentiel géothermique du Canton de Vaud (Vuataz et al. 1997)

1.2. Champ d'application des travaux

Le puits Ittigen-01 est le premier puits d'exploration de la formation de Ittigen, et le quatrième puits profonds à être foré par Géothermie Ittigen AG en Suisse. Le puits sera foré verticalement jusqu'à son objectif. En cas d'indication positive de température et de débit, le puits sera converti en puits de production.

Ce document présente les activités de forage du puits Ittigen-01:

- Préparation du site de forage (Installation de la foreuse ATLAS COPCO 1370D de Ittigen forage AS)
- Activités de forage
- Acquisition de données (diagraphie)

- *Test de production*
- *Abandon*
- *Option de conversion en puits de production.*

Dans le cas où les conditions du sous-sol seraient différentes des prévisions et que celles-ci engendreraient des opérations et des risques différents de ceux présentés dans ce document, un processus de gestion du changement sera initié et ces changements seront communiqués aux autorités compétentes (commune, canton, confédération...).

1.3.Critères de design - Normes

La préparation du site de forage est réalisée selon la norme NZ 2401-2015.

Le design des tubages du puits est réalisé selon la norme NORSOK D-010.

La préparation des activités de forage du puits est réalisée selon la norme WEG-Bohrungsintegrität.

La surveillance sismique durant les opérations de forage est réalisée selon les recommandations du SED Suisse.

Toute déviation de ces normes est spécifiée au sein de ce document.

2. Géologie

Commentaire: L'objectif de ce chapitre est de donner aux autorités compétentes une compréhension suffisante des conditions du sous-sol pour vérifier que le puits est planifié de façon adéquate.

2.1.Objectifs du puits

Objectifs principaux:

- *Prouver que la production du réservoir est économiquement viable.*
- *Confirmer une isolation acceptable entre les aquifères peu profonds et l'aquifère profond*
- *Calibrer les données sismiques et leur interprétation*
- *etc...*

Objectifs secondaires:

- *Évaluer le potentiel de chaleur de l'aquifère sur le long terme*
- *Évaluer la possibilité de réaliser une stimulation hydraulique avec un niveau de risque acceptable*
- *etc.*

Commentaire: Les objectifs du puits sont clés dans cette phase de planification. Car toutes les opérations détaillées qui suivront seront faites pour atteindre ces objectifs. De la même façon, en cas de changement opérationnel durant les opérations de forage, tous les ajustements seront faits pour pouvoir atteindre ces mêmes objectifs.

2.2.Description de l'objectif géologique

Le massif de Ittigen est une formation sédimentaire du Jurassique. Elle est isolée entre le...

Le réservoir s'étend sur un axe Nord-Sud avec une inclinaison de 5 à 9 degrés vers le sud.

Une communication avec un autre aquifère est attendue à l'Est, au sein du système de...

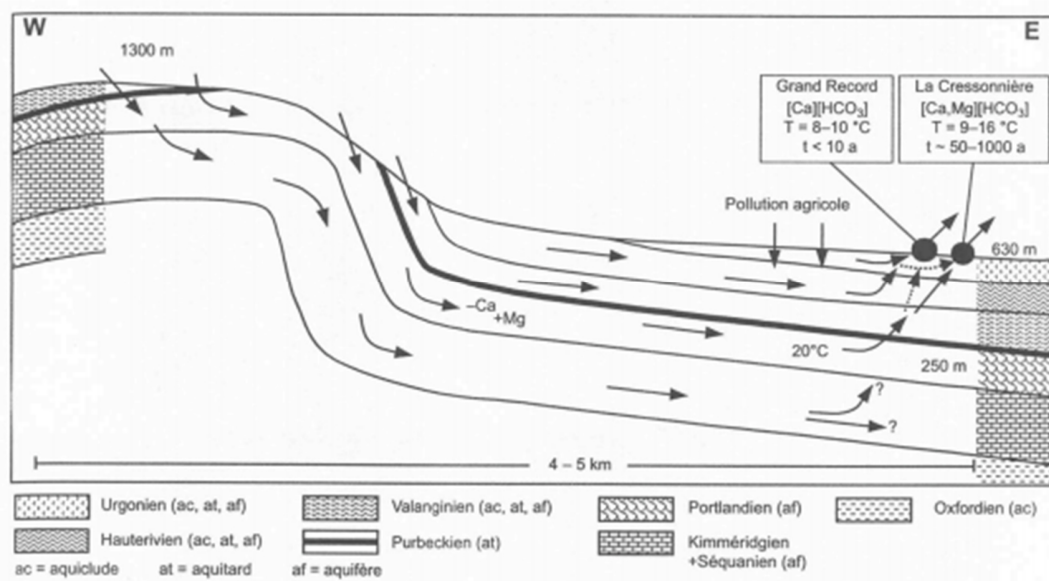
Il est attendu que le réservoir soit très fracturé dus aux événements géologiques de...

Les paramètres du réservoir sont très incertains. Cependant, il a été évalué que la conductivité sera comprise entre...et...

Le gradient de température élevé qui est attendu est généré par une circulation profonde de fluide qui provient de...

Ci-dessous, sont présentées:

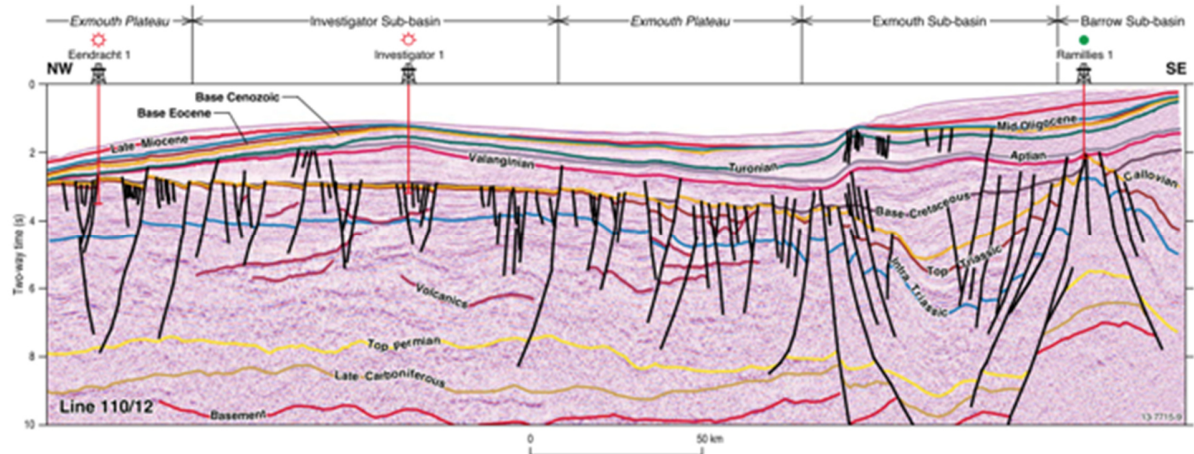
- *Une illustration du "modèle conceptuel" ("play concept")*



Source: *Etude du potentiel géothermique du Canton de Vaud* (Muralt 1999)

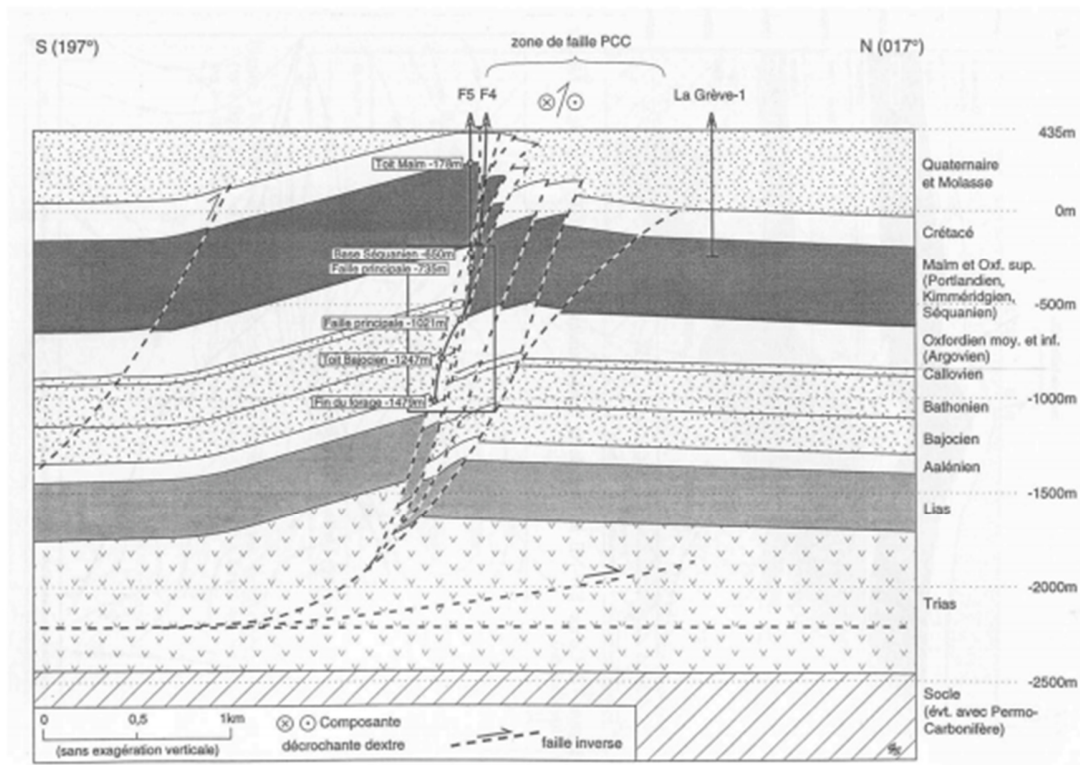
(Autre exemple disponible à <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114003578>)

- Une coupe sismique et son interprétation (avec la trajectoire de puits)



Source: wikipedia

- Une coupe géologique E-O (avec la trajectoire de puits)



Source: Etude du potentiel géothermique du Canton de Vaud (Vuataz et al. 1999)

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- La probabilité de rencontrer les paramètres spécifiques de l'aquifère.
- Les incertitudes associées au réservoir et aux formations adjacentes.

2.3.Eau du sous-sol (eau potable et eau exploitable)

Commentaire: l'objectif de ce paragraphe est de démontrer que les considérations et les précautions nécessaires ont été appliquées pour la protection des eaux du sous-sol; et que les dangers et les risques ont été identifiés.

Les eaux potables et exploitables suivantes ont été identifiées:

- *L'aquifère de Bern à la profondeur de...*
- *L'Aquifère de Ittigen à la profondeur de...*

Ceux-ci seront protégés par les mesures suivantes:

- *La collecte de tous les fluides présents sur la plateforme de forage de béton.*
- *Le stockage de tous les produits chimiques dangereux dans une zone spécifique avec enceinte de confinement.*
- *L'utilisation de fluide compatible pour le forage de ces aquifères (non polluant).*
- *L'isolation de ces aquifères par une cimentation complète des tubages. Et la vérification de cette cimentation par une diagraphie de CBL azimutale (ciment bond log)*
- *etc.*

Les seuls fluides qui seront déversés dans l'environnement sont:

- *Les eaux de pluie*
- *Les eaux de test de productions, si elles ne sont pas polluantes pour l'environnement. Celles-ci seront déversées en suivant les réglementations communales, cantonales et fédérales.*

Tout autre fluide déversé dans l'environnement sera considéré comme un accident.

La gestion de ces accidents sera faite en conformité avec la "stratégie de gestion des risques" de Géothermie Ittigen AG.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *Les références aux secteurs Au, Zu, Ao, Zo (OEaux 814.201).*

2.4.Pronostic géologique

2.4.1.Lithologie

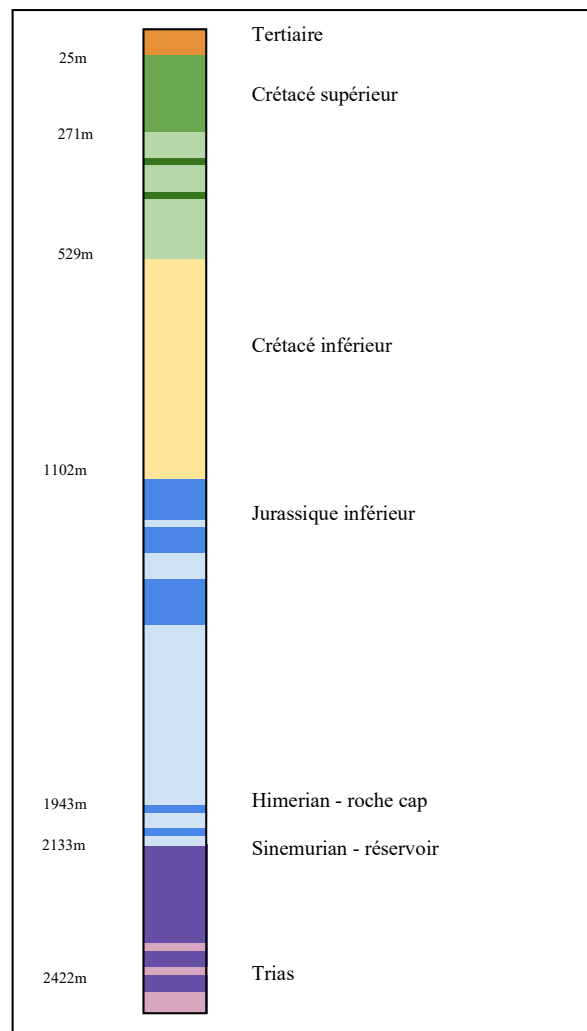
Le puits rencontrera des sédiments du Aase sur les premiers 55m, puis des argiles entre 50 et 390m, puis des calcaires entre 390 et 550m avec de fines couches de schistes

...
...
...
...
...
...
...

Le type de roche qui sera rencontré peut être présenté, ainsi que les incertitudes qui pourraient affecter les opérations de forage (dureté de la roche, fractures majeures, fracturations, instabilités)

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *Les corrélations avec les marqueurs sismiques.*
- *La présentation de la lithologie attendue résumée dans un tableau ou un schéma.*



2.4.2.Coordonnées de l'objectif

Nord: 5 118 227 m (Zone/Secteur: 32T)

Est: 347 647 m

Profondeur: 3.300m TVD RKB

Dimension de l'objectif géologique:

- *Cercle de 100m de rayon (dans un plan horizontal) à 3.300 m TVD RKB, dans le réservoir.*

2.4.3.Critère d'arrêt de forage (TD criteria)

Le forage du puits sera stoppé lorsque l'un des critères suivant sera satisfait:

- *Une profondeur de 3.800 m TVD RKB est atteinte*
- *Les paramètres du réservoir montrent une conductivité et une température suffisantes*
- *Les opérations de forage ont duré plus de 94 jours.*

2.4.4.Hydrocarbure, H₂S et CO₂

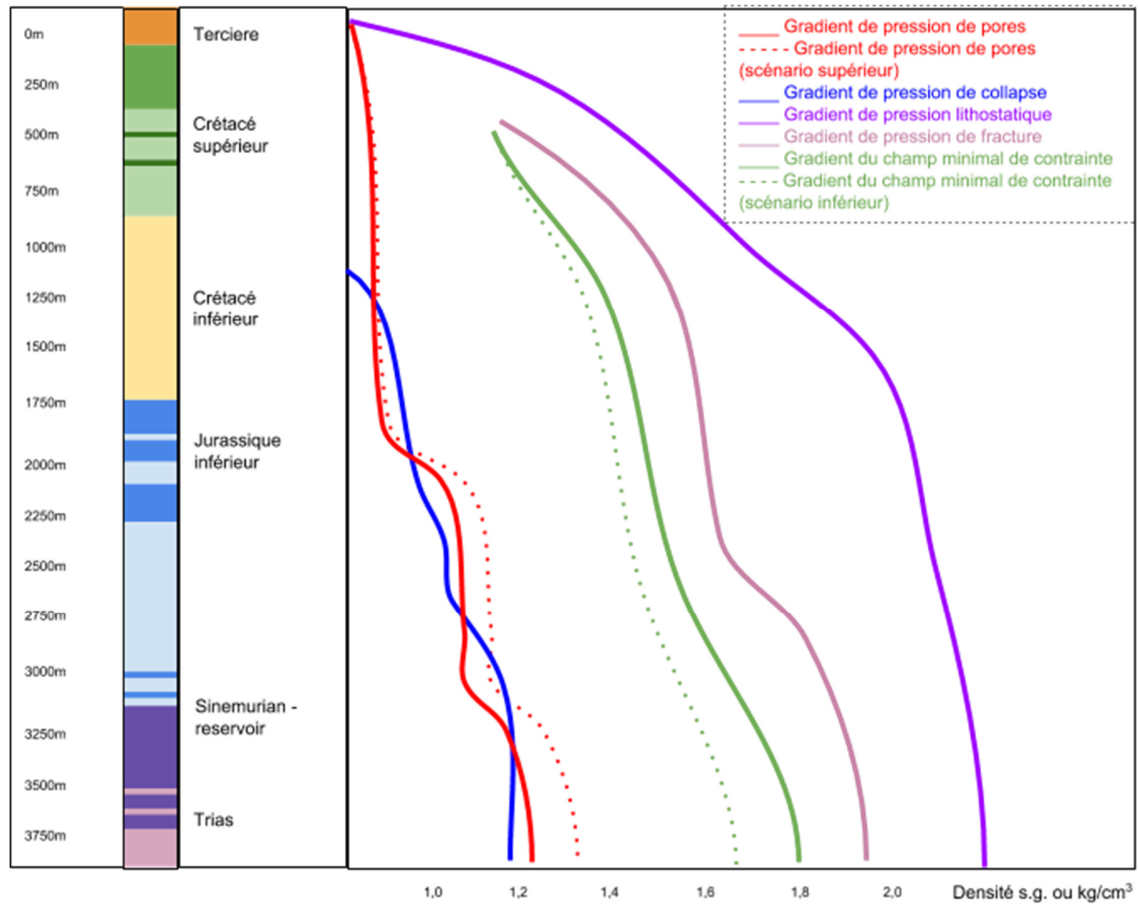
Il y a un risque de présence de H₂S à faible concentration au sein de la formation du Mont Cervin à 2.100m TVD RKB.

Du CO₂ ou des hydrocarbures ne sont pas attendus dans le puits, au vu des résultats des puits de référence.

Les précautions nécessaires pour forer des roches avec un risque de H₂S seront prises à partir de 2000 m TVD RKB et plus en profondeur.

2.5. Pronostic de pression et température

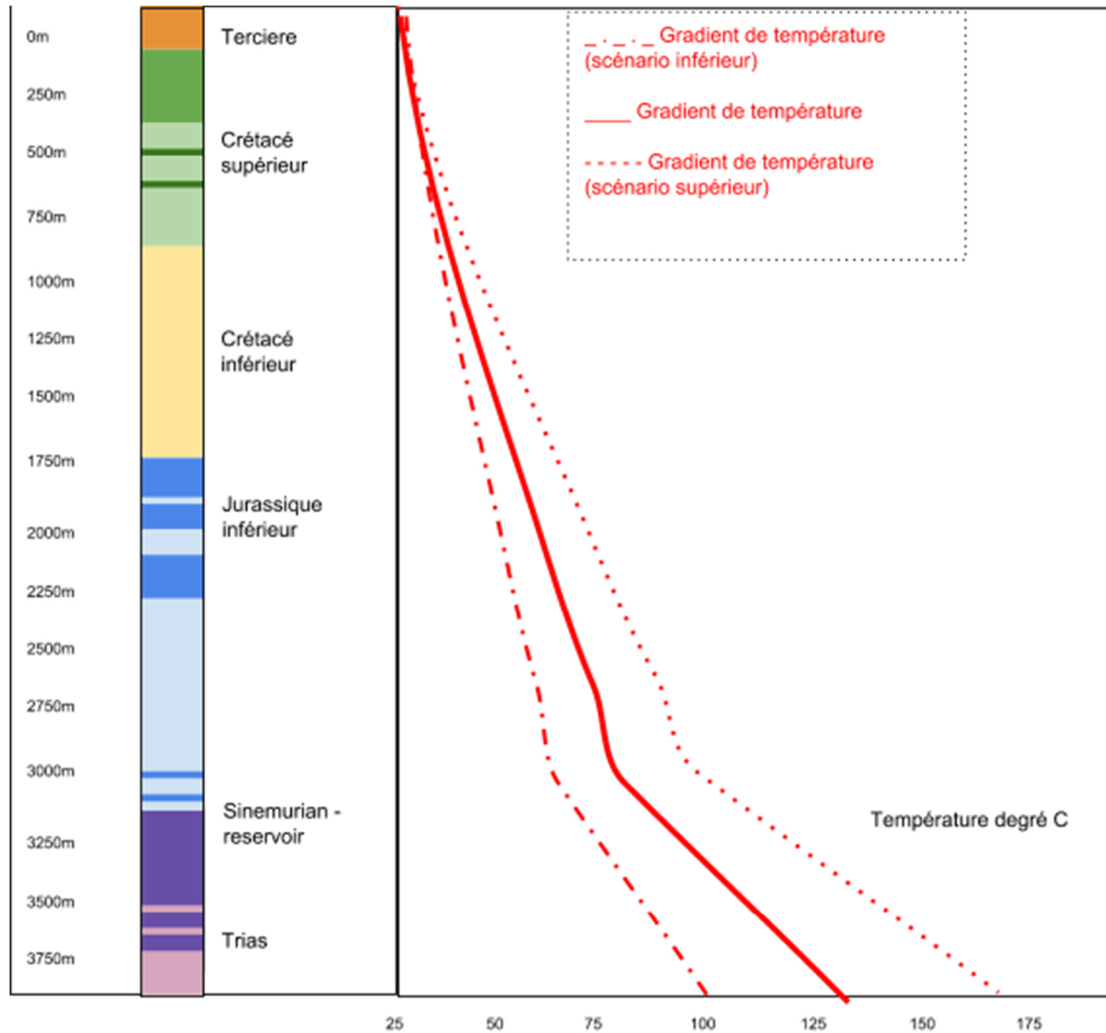
Le pronostic de pression est présenté ci dessous:



Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *Le contexte et la construction du pronostic de pression*
- *Les incertitudes vis à vis du pronostic de*
 - *Pression de pore*
 - *Pression de fracture*
 - *Pression d'effondrement « collapse »*
 - *Pression minimale du champ des contraintes*
- *Les données qui ont été utilisées pour construire ce pronostic*
- *Les valeurs de pression qui doivent être utilisées pour le design du puits et pour les opérations de forage.*
- *Dans certains cas, certains gradients de pression peuvent être présentés avec leur incertitudes: scénario inférieur / scénario supérieur*

Le pronostic de température est présenté ci dessous:



Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- Le contexte, les incertitudes et la construction du pronostic de température
- Les données qui ont été utilisées pour construire ce pronostic
- Les valeurs de température qui doivent être utilisées pour le design du puits et pour les opérations de forage.
- Dans certain cas, le gradient de température peut être présentés avec ses incertitudes: scénario inférieur / scénario supérieur

3. Forage

3.1.Site de forage

Référence est faite au permis de construction du site de forage pour plus de détails.

3.1.1.Sélection du site de forage

Le site choisi se situe sur un terrain qui appartient à xxxx sur la commune de Ittigen, dans le canton de Bern. L'emplacement se situe à l'intersection de la route Muhlestrasse et Papiermuhlestrasse, près de la limite Est de la commune.

Ce site a été choisi pour les avantages:

- *Présence d'une structure de béton existante et de sol avec une forte capacité géotechnique (ancien site industriel)*
- *Absence de voisin direct (habitation la plus proche à 2,4 km)*
- *Présence d'une forêt entre le site de forage et les habitations les plus proches (limitant la pollution sonore et lumineuse)*
- *Existence de deux routes d'accès au site de forage, dimensionné pour des camions lourds.*

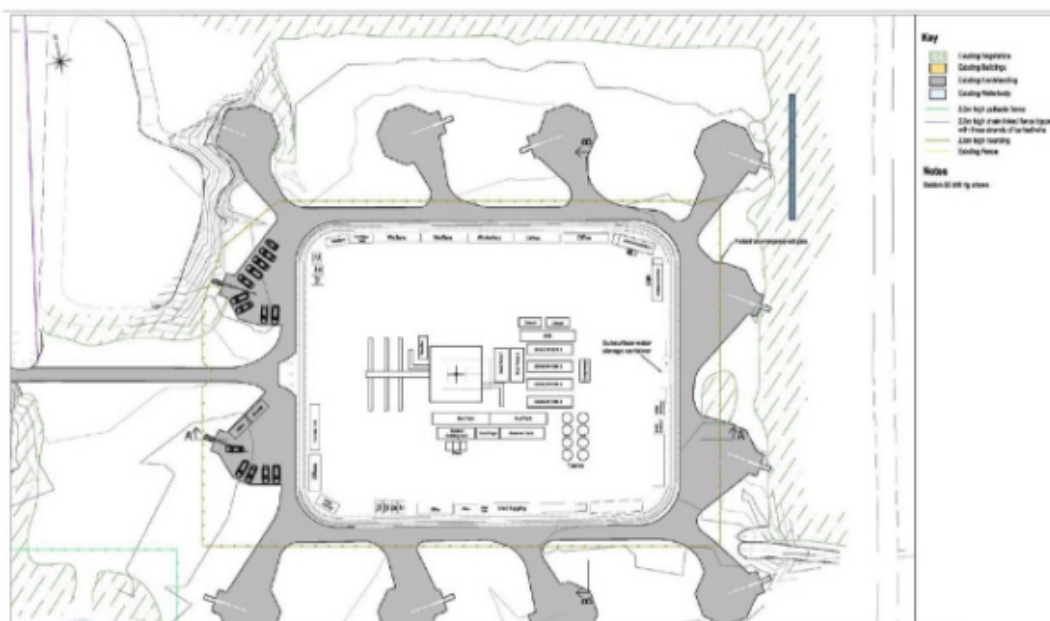
Les limitations du site sont:

- *Présence d'une ligne ferroviaire à 20m du site de forage, au Nord.*
 - *Une étude spécifique a été conduite pour confirmer que la ligne de chemin de fer ne sera pas affectée par les opérations normales de forage.*
- *Présence d'une ligne à haute tension à 100m du site de forage, au Sud.*
 - *Des précautions seront prises pour limiter la hauteur du derrick de forage et l'exposition des travailleurs au danger électrique.*
- *Présence d'un hangar abandonné de 20m de hauteur sur le site de forage, à l'Est.*
 - *Une inspection spécifique a été faite du hangar pour confirmer qu'il n'y a pas de risque de chute de débris, et de risque d'effondrement du hangar.*
- *Présence de plusieurs conduites souterraines sur tout le site industriel, avec des incertitudes quant à leur emplacement.*

Les activités de préparation du site sont prévues pour 13 semaines, avec:

- *Mise à niveau du site et nettoyage des débris*
- *Installation de ligne électrique et téléphonique*
- *Construction de la partie finale de la route d'accès*
- *La construction de la fosse du puits de 3x3m et 2,4m de profondeur*

3.1.2. Plan du site



Exemple de plan de site de forage. Source: drillordrop.com/2016/10/05

La carte du site de forage présente:

- La zone de plateforme de béton avec système de drainage.
- La zone de plateforme de béton sans système de drainage
- La zone où la végétation sera retirée
- L'emplacement des réservoirs de boue de forage et leur capacité
- La route d'accès
- etc

3.1.3.Tubage d'ancrage

Dans le cas où le tubage d'ancrage est installé avant l'installation de l'unité de forage (par exemple avec un marteau à pieux), cette opération, ses risques et les précautions choisies peuvent être décrites dans ce paragraphe.

3.2. Unité de forage (foreuse)

Les critères minimaux de l'unité de forage ont été identifiés:

- Capacité de charge: 150 tonnes
- Capacité de pompage: 2.400l /min
- Pression de fonctionnement du BOP (bloc d'obturation du puits): 350 bars
- Alimentation en énergie: Moteur diesel avec back-up (2,5 MW)
- Accès: un transport spécifique sera nécessaire pour la passage du derrick sur le pont situé à 1km au nord de l'emplacement du site de forage.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *Impacts de l'unité de forage sur le voisinage (emplacement des grues et des structures existantes, limitation de l'espace aérien...)*

3.3.Design du puits

3.3.1.Général

Stratégie de design du puits

De part le côté exploratoire du puits et des incertitudes géologiques fortes, le design du puits a été préparé pour être robuste et flexible: offrant la possibilité d'installer des tubage additionnels si nécessaire durant le forage et permettant de faire face à des imprévus.

Pression de design du puits

La pression de design du puits (pression maximale qui peut être attendue en surface dans tous les scénarios possibles) a été évaluée à 350 bars.

Basé sur une pression maximale du réservoir (de 1,8 s.g.) à la profondeur la plus faible attendue (2.050 m TVD RKB), considérant un puits complètement rempli de fluide en phase gazeuse (ex: vapeur d'eau ou gaz naturel ou... avec une densité de 0,03 s.g.).

Puits de référence pour le design

Le design des tubages du puits est basé sur des puits similaires and sur l'expérience de Géothermie Ittigen AG dans des projets similaires.

Les puits de références suivant ont été consultés pour le design:

- *Puits d'exploration situé à 22km au Sud-Est. Puits VD-12324235-HGUD-23*
- *4 puits de géothermie profonde de la région de Munich en Allemagne (nom des puits...)*
- *2 puits de géothermie de la région de Strasbourg, France (nom des puits...)*
- *etc.*

Les limitations associées aux puits de références peuvent aussi être présentées.

Calcul de vérification

Les analyses de tolérance de "kick" et de calcul d'effort ont été réalisées pour vérifier le design du puits.

3.3.2.Design du puits - cas de base

Les tubages suivants seront installés dans le puits:

- 36" tubage d'ancrage
- 22" tubage de surface
- 18" tubage intermédiaire
- 14" tubage intermédiaire
- 9 5/8" tubage de production
- 7" liner de production

Les spécifications des tubages et leurs profondeurs d'installation sont présentées ci-dessous:

<i>Trou nu</i>	<i>Diamètre nominal Tubage inch</i>	<i>Grade</i>	<i>Poids (lbs/ft)</i>	<i>Type de connexion</i>	<i>Intervalle MD RKB</i>	<i>"Float shoe"</i>	<i>"Shoe track"</i>
36" (machine à pieux)	36"	X-56	552	D90	6 - 36m	n/a	n/a
26"	22"	X-80	224,21	DQ S-90	6 - 380m	oui	24m (2 joints)
20"	18 5/8"	L-80	94,50	Big Omega	320 - 530m	oui	48m (4 joints)
17 1/4"	14"	Q-125	114	Vam SLJII	6 - 1720m	oui	200m
12 1/4"	9 5/8"	P-110	62,8	Vam Top	6 - 2480m	oui	200m
8 1/2"	7"	P-110		Vam Top	2420 - 2800m	oui	200m

3.3.3.Tubage en cas d'imprévu

Les tubages suivants seront préparés et disponibles en cas d'imprévu:

- 16" liner
- 11 3/4" liner
- 7 5/8" liner

Ces tubages pourront être installés en cas de perte de boue forte et pour isoler la zone de perte. Alternativement, en cas de forage difficile dans une zone instable, ces tubages pourront être installés pour assurer une isolation de ces formations.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- Un arbre de décision peut être inclus pour présenter les critères et les conditions pour décider de l'installation d'un de ces tubages.

3.3.4. Analyse du design de tubage

Le design de tubage a été réalisé en suivant les coefficients de sécurité de la norme WEG Bohrungintegritat pour les paramètres d'effort axial, d'éclatement, d'effondrement et d'effort triaxial.

Le software xxxx a été utilisé pour cette analyse.

Les scénarios d'efforts suivant ont été considérés pour les différents tubages:

36" tubage d'ancrage: descente dans le puits

22" tubage: descente dans le puits / cimentation / test de pression

18" casing: descente dans le puits / cimentation / test de pression / perte de retour de boue

14" casing: descente dans le puits / cimentation / test de pression / perte de retour de boue / venue de vapeur

9 5/8" casing: descente dans le puits / cimentation / test de pression / perte de retour de boue / venue de vapeur

7" liner: descente dans le puits / cimentation / test de pression / venue de vapeur

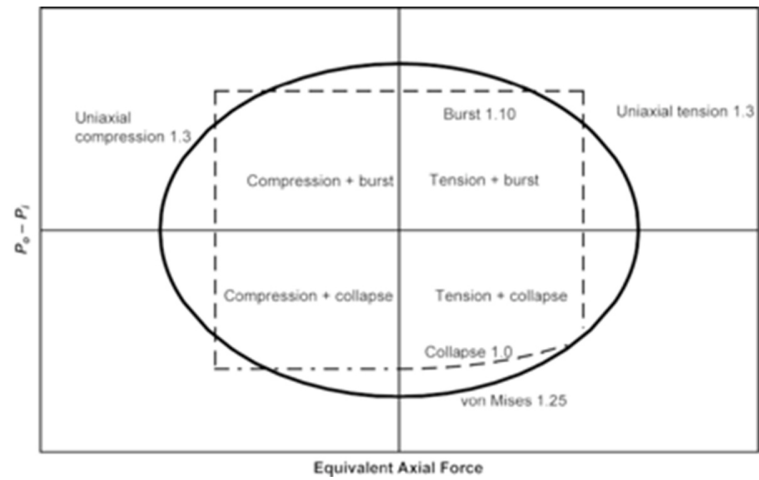
Le tableau ci-dessous présente les tubages et leurs coefficients de sécurité calculés.

Tubage	Poids et grade	connexion	Profondeur	Coefficient de sécurité - explosion	Coefficient de sécurité - effondrement	Coefficient de sécurité - axial	Coefficient de sécurité - triaxial
22"	226ppf P-110	Tenaris ER	0 - 800 m MD RKB	1,74	8,3	3,62	2,16
18"	119 ppf Q-125	Hydril 511	0 - 1200 m MD RKB	4,1	1,86	3,07	4,1
14"	112,6 ppf SM125S	Vam Top	0-1900 m MD RKB	2,12	8,5	4,44	2,97
etc...							

Les paramètres suivant pourront aussi être considérés:

- Le risque de flambement ("buckling") et les simulations associées.

- Présentation des scénarios d'efforts sur un graphique (effort axial vs. pression différentielle)



3.3.5. Tolérance de "kick"

A cause du risque de rencontre d'hydrocarbure, les tolérances de kick ont été calculées pour les sections de forage au dessous de 310 m TVD RKB.

Les critères de la norme NORSOK D-010 rev.3 ont été suivis.

Le tableau suivant présente les différentes sections et les tolérances de kick associées.

Taille du trou nu	intervalle	Densité de la boue de forage	Champ des contraintes FIT / LOT	Pression max de pore / attendue	Pression de fracture max / attendue	Tolérance de kick
36"	0 - 30m MD RKB	1.05 sg	n/a	n/a	n/a	n/a
26"	30 - 310 m MD RKB	1,05 sg	n/a	n/a	n/a	n/a
17 ½"	310 - 820 m MD RKB	1,15 sg	1,22 sg	1,1 sg / 1,03 sg	1,32 sg / 1,25 sg	infinie
12 ¼"	820 - 1500 m MD RKB	1,3sg	1,38 sg	1,25 sg / 1,10 sg	1,46 sg / 1,38 sg	14 m3
etc...						

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *Risque de venue (kick) d'eau de formation géologique artésienne (même dans les sections préliminaires)*
- *Risque de venue (kick) d'hydrocarbure (même dans les sections préliminaires)*
- *Risque de formation de vapeur d'eau en cas de température élevée*
- *Utilisation de techniques/équipements de détection de venues (kick) spécifiques*
- *etc...*

3.3.6.Emplacement du puits et de l'objectif du puits

Emplacement du puits:

Coordonnées géographiques:

- *Latitude: 42 degrés 12' 02" N (+ référence, ex WGS84)*
- *Longitude: 7 degrés 01' 31" E*

Coordonnées UTM:

- *Nord: 5 118 227 m (Zone/Secteur: 32T)*
- *Est: 347 647 m*

Adresse: Geothermiestrasse 34, Ittigen, 3063, Bern Kanton.

Emplacement de la cible du puits:

Coordonnées UTM:

- *Nord: 5 118 227 m (Zone/Secteur: 32T)*
- *Est: 347 647 m*
- *Profondeur: 3.300m TVD RKB*

Tolérance de la cible:

La cible a une tolérance en forme d'ellipse horizontale avec les paramètres 20 m / 120 m

Les paramètres suivants pourront aussi être considérés:

- *La taille de la tolérance de la cible du puits vis de la vis de la taille de l'objectif géologique du puits. Le risque de ne pas atteindre l'objectif géologique.*

3.3.7.Emplacement de forage secondaire (s'il y a lieu)

Si les risques de forage des premières sections ont montré le besoin de définir un emplacement de forage secondaire, celui-ci peut être présenté ici.

Exemple: 200m au sud de l'emplacement de puits.

3.3.7.1.Communication avec les autorités (s'il y a lieu)

Commentaire: ce paragraphe vise à spécifier la communication et l'implication des autorités cantonales et communales en cas d'incident.

Durant toutes les opérations décrites par ce document, les incidents seront capturés, classifiés et traités comme suit:

- *Pour les incidents de faible importance (très faible blessures, risque limité au site de forage, pas de menace pour l'environnement pour la population), une enquête interne sera conduit pour analyser l'accident et en tirer les leçons.*
- *Pour les incidents d'importance moyenne (blessures sérieuses, risque limité à une zone proche du site de forage, risque limité pour la population et l'environnement) une notification sera envoyée aux autorités communales et cantonales dans les 12h suivant l'incident. Une enquête interne sera conduite pour analyser l'accident et en tirer les leçons. Les conclusions seront transmises aux autorités communales et cantonales.*
- *Pour les accident de forte importance (risque de décès, risque étendu à une large zone, risque significatif pour la population et l'environnement), un contact immédiat sera établi avec les autorités communales et cantonales. Si la situation sur le site de forage peut être maintenue stable, les décisions seront prises en coordination avec les autorités communale et cantonale. Si la situation sur le site de forage ne peut pas être maintenu stable, les décisions de sûreté seront prises aussi rapidement que possible.*

Dans le cas d'incident d'importance moyenne et forte, il est prévu de solliciter le support d'autres maîtres d'œuvre/ouvrage de géothermie en Suisse, France, Allemagne et Italie pour s'assurer que les décisions les plus sûres seront prises.

3.3.7.2.Limitation d'accès / météo (s'il y a lieu)

Pour des raisons d'accès au site de forage en toute sécurité, et du aux aléas météorologiques, il a été identifié qu'aucune opération de forage ne sera effectuée entre le mois de décembre et de février. Ainsi, la date prévue de fin des opérations de forage, plus un mois, ne doit pas excéder le 1er décembre.

3.3.7.3.Puits de secours / disponibilité d'unité de forage / logistique (s'il y a lieu)

Commentaire: Ce paragraphe vise à spécifier les considérations de puits de secours, et à démontrer qu'un puits de secours peut être forer sans complexité additionnelle et sans risque additionnels.

Dans un rayon de 3km autour du site de forage, plusieurs emplacements ont été identifié pour pouvoir forer un puits de secours (terrain de sport / terrain en friche / site abandonné). Les emplacements sont tous la propriété de la ville d'Ittigen et possèdent des routes d'accès.

Les trajectoires de puits de secours ont été évaluées et ne présentent pas de difficulté spéciale.

La disponibilité d'unité de forage pour la réalisation de puits de secours a été vérifiée. Plus de 3 unités seraient disponible en Allemagne, avec une durée de mobilisation de 6 jours. Tous les autres sous-traitants nécessaires à la réalisation d'un puits de secours ont confirmé qu'une mobilisation en 4 jours est possible.

Les paramètres suivants pourront aussi être considérés:

- *Limitation de site de forage pour les puits de secours*
- *Faisabilité de puits de secours*

3.3.7.4. Impact en cas de perte de contrôle de puits (s'il y a lieu)

Dans le cas très peu probable et extrême de perte de contrôle totale du puits, les simulations de réservoirs ont montré un artésianisme limité, avec un débit sortant du puits de:

- *Au maximum 1 m³/min durant 3 jours*
- *Suivi de 0,5 m³/min durant 2 jours.*
- *Suivi d'un débit négligeable.*

Le volume déversé dans le pire scénario serait d'environ 5.000m³.

Un tel débit est considéré comme maîtrisable par les installations de surface (captage par le système de drainage, et par un système de pompage d'urgence), et ne devrait causer qu'une décharge limitée dans l'environnement.

La composition la plus nocive considère un niveau de CO₂ de 4.000 ppm et de sulfite de 2.000ppm. Bien que ces concentrations soient élevées, leurs impacts sur l'environnement sont considérés comme limités. Ceci pourrait affecter les sols cultivables durant 2 ans.

Les aquifères d'eau potable de la région sont profonds et ne devraient pas être affecté dans une telle situation.

Les paramètres suivants pourront aussi être considérés:

- *Débit sortant du puits en cas de risque de présence d'hydrocarbure*
- *Les solutions d'urgence disponible pour faire face à une situation de perte de contrôle de puits.*

3.3.8. Spécification de la tige de forage (drill pipe) et scénario d'efforts

Dans cette section, une description des tiges de forage qui seront utilisées peut être présentée.

Les efforts appliqués sur la tige de forage ("torque and drag") dans chaque opération peuvent aussi être présentés (forage, cimentation, complétion...).

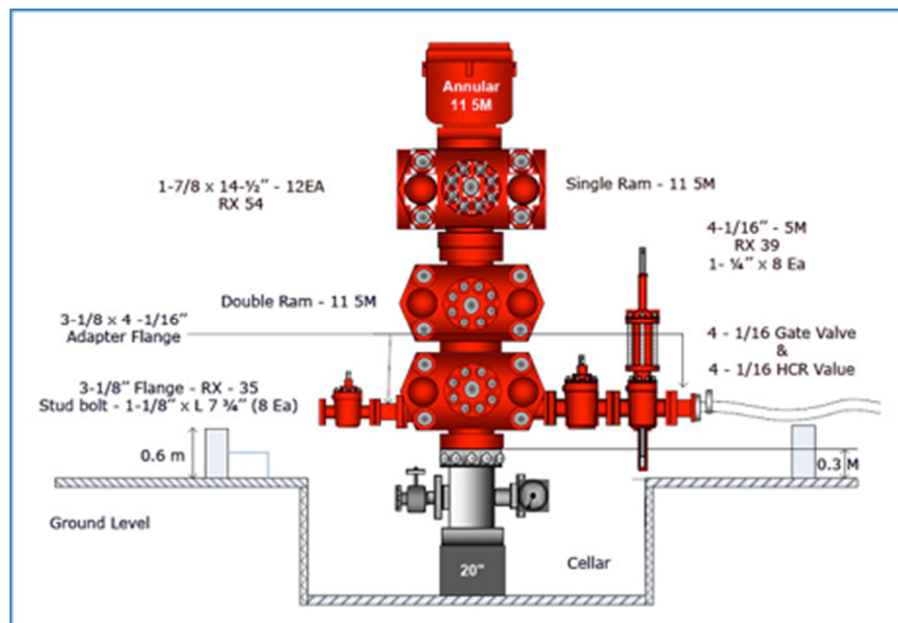
3.3.9. BOP: Bloc d'obturation du puits (s'il y a lieu)

Pour les opérations de forage qui auront lieu au dessous de 310 m TVD RKB, un BOP (Bloc d'obturation de puits) sera installé.

Le BOP qui sera utilisé est un modèle xxxxx de fabricant xxxx, conçu pour opérer jusqu'à 345 bars (5.000 psi).

Un schéma du BOP est présenté ci dessous avec

- Type de connexion
- Diamètre intérieur
- Le type de bloc (BOP rams)
- etc...



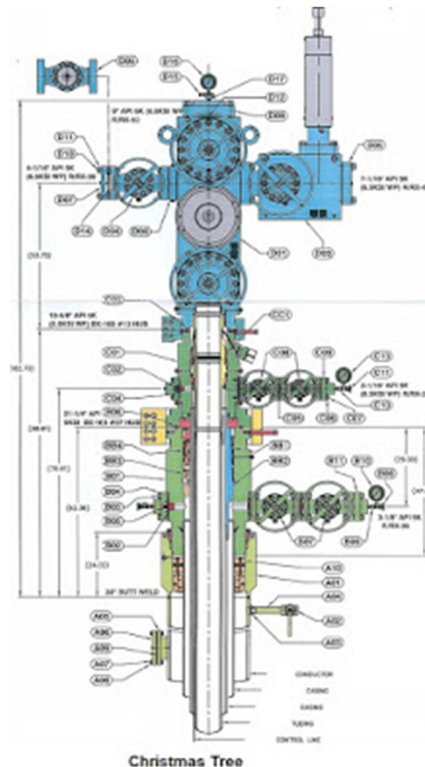
Source: asiadrilling.net

3.3.10. Information de tête de puits

Les spécifications de la tête de puits sont:

- Diamètre intérieur: 16"
- Pression maximale d'opération: 345 bars (5.000 psi)

- Type of connections: API type xxxx
- ...



Source: www.thepiping.com

3.3.11. Test de pression: BOP et tubage

Le BOP sera testé selon les instructions du fabricant. La fréquence des tests sera celle définie par le NORSOK D-010 rev.3, comme résumé ci-dessous:

- BOP (bloc annulaire / bloc de tige/ bloc de cisaillement / vanne de “choke” et “kill”)
 - Test de pression à l'installation / au début de chaque section / tous les 14 jours
 - Test à la pression de design du puits à l'installation / à la pression de design de section au début de chaque section
 - Test de fonctionnement tous les 7 jours
- Conduites de “choke” et “kill”:
 - Test de pression à l'installation / au début de chaque section / tous les 14 jours
 - Test à la pression de design du puits à l'installation / à la pression de design de section au début de chaque section

Les tubages seront testés à l'installation jusqu'à la pression de design de la section suivante:

- 36" tubage d'ancrage - 10 bars
- 22" tubage de surface - 80 bars
- 18" tubage intermédiaire - 80 bars
- 14" tubage intermédiaire - 180 bars
- 9 5/8" tubage de production - 250 bars (pression de design du puits)
- 7" liner de production - 250 bars (pression de design du puits)

Durant chaque test de 20min, une diminution de la pression de 2% est acceptable pour prendre en compte la compressibilité et l'air piégé dans les conduites. La pression doit aussi suivre une tendance asymptotique.

3.3.12.Fluide de forage / simulation hydraulique

Le détail des fluides qui seront utilisés pour le forage est présenté dans le tableau ci-dessous, préparé avec le sous-traitant xxx.

Section 16"										Volume	m3	matériaux	kg
profondeur	densité	FV sec/qt	3rpm	API ml	pH					Tubage	48	Bentonite	244000
										Trou nu	135	Barite	557000
1600	1,30	>100	>15	<10	8-9,5					Mix de nettoyage	160	Soda Ash	345
2091										V de déplacement	202	Caustic Soda	345
										Total	3420	Eau	1,09 10 ⁶
Commentaire: Cette section sera forée avec de l'eau clair et mixture de forte densité pour nettoyer les déblais. Une boue de 1,4 s.g. sera prête en parallèle en cas de surpression.													
Section 12 1/4"										Volume	m3	matériaux	kg
profondeur	densité	PV cP	YP	3rpm	Geis 10min Pa	E stab	CI (WP) g/hr	LGS %	Q/W	Surface	80	Barite	133000
										Tubage	96	Cal Chloride	31000
2091	1,08	ALAP	20-30	8-14	<20		<5	>700	>160	Trou nu	47	Duraton	200
3300										Dilution	52	EZmul	300
										Reserve	20	Gelstone	1230
										Total	792	Lime	452
												ALKane	502
												Eau	1,8 10 ⁶
Commentaire: Cette section sera forée avec un boue Alkam SOB 1,08 s.g. La boue sera traitée et conditionnée avant de forer la base du tubage précédent. En cas de besoin, des pré-mix seront pompé directement dans le système actif. Il sera éviter de pomper de large volume de "base oil" directement dans le système actif. La boue sera vérifiée périodiquement au tamis pour éviter l'accumulation de particules solides.													

Etc...

Des simulations hydrauliques ont été réalisées pour chaque section. A l'exception de la section de 8 1/2", celles-ci ont montré des marges suffisantes vis à vis des effets de pistons due au mouvement des équipements dans le puits, et vis à vis de la surpression générée par la circulation du fluide.

Pour la section de 8 1/2", les simulations ont montré une marge réduite due au mouvement des équipements dans le puits. Des restrictions sur la vitesse de déplacement des équipements seront suivis: < 0,3 m /s lorsque la colonne de forage est dans le trou nu et <0,7 m/s lorsque la colonne est dans le tubage précédent.

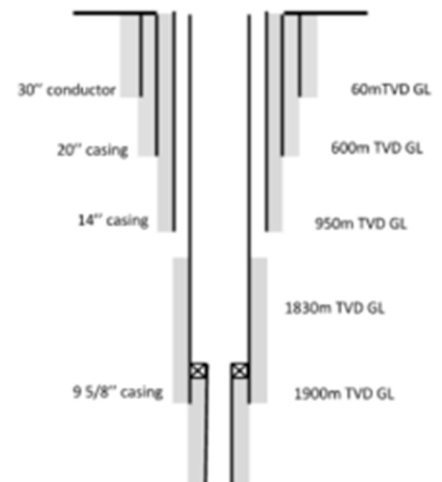
Les paramètres suivants pourront aussi être considérés:

- Stratégie de fluide / risques spécifiques (pertes importante, composant de fluide spécial)
- Les résultats détaillés des simulations hydrauliques.

3.3.13.Cimentation

Le programme de cimentation est présenté dans le tableau ci-dessous, préparer avec le sous-traitant xxx.

Tubage de surface 20"	
Tubage 20"	0 - 480m
Ciment de tête	12,5 ppg / 1,51 cuft/sk
Ciment de traine	16,2 ppg / 1,1 cuft/sk
tête avec 0% excès	241,9 bbl
50m avec 100% excès	80 bbl
déplacement	70 bbl
Pompage ciment de tête / de traine	100l/min et 70l/min
Composition du ciment de tête	Xxxxx, CaCal xxx, xxxxx barite...
Composition du ciment de traine	Xxxxx, CaCal xxx, xxxxx barite...
Tubage de surface 20"	
Tubage 20"	0 - 900m
Ciment de tête	13,5 ppg / 1,42 cuft/sk
Ciment de traine	16,2 ppg / 1,42 cuft/sk
tête avec 100% excès	259 bbl
Traine avec 50% excès	192 bbl
déplacement	530 bbl
Pompage ciment de tête / de traine	100l/min et 70l/min
Composition du ciment de tête	Xxxxx, CaCal xxx, xxxxx barite...
Composition du ciment de traine	Xxxxx, CaCal xxx, xxxxx barite...
Tubage intermédiaire de 14"	
etc...	

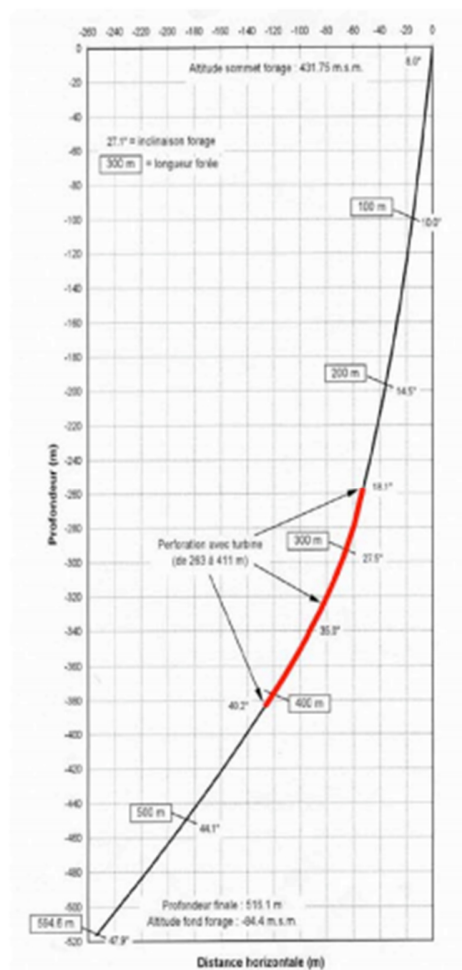


Les paramètres suivants pourront aussi être considérés:

- Stratégie de cimentation / risques spécifiques (ciment spécial, cimentation étagée...)
- Les résultats de simulations de cimentations.

3.3.14. Trajectoire de forage

La trajectoire de forage directionnel est présentée dans le graphique ci-dessous. Une trajectoire détaillée sera aussi communiquée aux autorités en format électronique.



Source: Etude du potentiel géothermique du Canton de Vaud (Berli & Pingel 1994)

Les paramètres suivants pourront aussi être considérés:

- Mesures spécifiques d'anti-collision entre puits
- Risques spécifiques associés au forage directionnel

3.3.15. Simulation de couple et de frottement (Torque & Drag)

Les résultats des simulations de couple et de frottement de la colonne dans le puits pour chaque opération peuvent être présentés dans ce paragraphe.

Les risques ou les limitations associés peuvent aussi être présentés.

3.3.16.Usure de tubage (s'il y a lieu)

Les simulations d'usure des tubages et leurs résultats peuvent être présentées dans ce paragraphe.

3.3.17.Durée des opérations

Ce paragraphe vise à démontrer l'évaluation de la durée des opérations effectuée, ses incertitudes et sa robustesse.

L'estimation de la durée des opérations est présentée dans le tableau ci-dessous.

Les puits de références pour cette estimation sont:

- *Les puits xxx et xxxx du bassin parisien*
- *Les puits de forage de calcaire d'Europe de plus de 2000m de la base de donnée xxxx*
- *Etc...*

Puits Ittigen-01 - Estimation de la durée des opérations		(jours)	
	P10	P50	P90
TOTAL	45,6	60,8	76,9
Opérations			
Préparation	1,74	2,32	2,91
Pré-forage	1,53	2,45	3,63
Section de 36"	2,67	5,49	8,26
Section de 26"	7,62	12,89	18,04
Section de 17 1/2"	7,58	10,27	13,37
Section de 12 1/4"	5,53	10,15	13,46
P&A	6,74	11,22	16,02

L'estimation de la durée des opérations a été faite utilisant une approche probabiliste pour pouvoir capturer un intervalle d'incertitude.

- *P10 signifie que 10% des cas sont sous cette durée (ceci ne signifie pas que cette durée a 10% de chance de se réaliser)*
- *P50 signifie que 50% des cas sont sous cette durée (ceci ne signifie pas que cette durée a 50% de chance de se réaliser)*
- *P90 signifie que 90% des cas sont sous cette durée (ceci ne signifie pas que cette durée a 90% de chance de se réaliser)*

Pour le budget alloué au forage du puits, c'est une durée de P70 qui été retenue: 63,8 jours. Ceci permettra de faire face à un grand nombre d'imprévus et refléter le caractère exploratoire du puits, et ses d'incertitudes.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *L'utilisation d'un autre modèle de calcul d'incertitudes (autre que probabiliste Monte Carlo)*

3.4.Détails des opérations

Cette section vise à présenter les activités planifiées. Elle vise aussi à démontrer un plan robuste et mature des activités en sous-sol.

Cependant, cette section ne vise pas à présenter les activités annexes qui prendront place sur le site de forage (logistique, levage, gestion des équipements de surface, gestion des fluides...).

3.4.1.Tubage d'ancrage

Objectif: *Marteler le tubage de 36" jusqu'à 35 m TVD RKB. Assurer le soutien structurel.*

Séquence des opérations:

- *Installation des équipements de martelage*
- *Mise en place des joints de tubage et martelage*
- *Positionnement du joint supérieur à 1,6 m MD RKB*
- *Désinstallation des équipements de martelage*
- *Installation de l'adaptateur de tête de puits*

Risques:

- *Tubage d'ancrage non vertical - Soutien structurel compromis*
- *Roche trop dure - difficulté de martelage*

Fluide: En cas de forage de la section (si le martelage est difficile), le fluide utilisé sera de l'eau claire de densité 1,02 sg

Tubage: 36" 2"wt X-80 HC-100; 6 joints

Commentaire: aucun pour cette section

3.4.2. Section de 26" - Tubage de surface 22"

Objectif: Forer jusqu'à la formation géologique Ittigen, attendue à 450 m MD RKB / Isoler les aquifères de surface / installer le tubage de 22" et la connexion avec le BOP

Séquence des opérations:

- Assemblage de la colonne de forage
- Test de pompage
- Forage jusqu'à la base du tubage d'ancrage (étalonnage des équipements)
- Forage jusqu'à 450 m TVD RKB
- Circulation du fluide jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de déblai de forage (cuttings)
- Vérification de la verticalité du puits
- Sortie de la colonne de forage
- Connexion et descente du tubage
- Installation de la tête de cimentation et circulation du fluide
- Cimentation du tubage jusqu'à la surface
- Test de pression du tubage
- Installation de la tête de puits et test des connexions
- Attente de la prise du ciment
- Assemblage de la prochaine colonne de forage
- Forage du ciment de "shoe track"

Risques:

- Perte de fluide lors du forage d'aquifères très perméables (aquifère de Bern)
- Mauvaise cimentation du tubage de 22" / isolation des aquifères
- Effet de flambement ("buckling") du tubage de 22"

Fluide: Eau claire + polymères et particules contre les pertes; densité 1,03 - 1,05 sg

Tubage: 22" Q-80 #226ppf Cr 5%

***Commentaire:** Les polymères et les particules ne seront utilisés qu'en cas de pertes fortes. Bien que ces produits ne soient pas contaminants, leurs effets sur les aquifères et les puits voisins ne sont pas complètement connus.*

3.4.3. Section de 16" - tubage intermédiaire de 14"

Etc...

3.4.4. Section de 12 ¼" - tubage de production de 9 ⅝"

Etc...

3.4.5. Section de 8 ½" - liner de production de 7"

***Objectif:** Forage du massif xxxx jusqu'à la profondeur d'objectif du puits.*

Critère d'arrêt de forage: atteinte de la base du massif xxxxx

Séquence des opérations:

- *Forer 3m de roche et réaliser un XLOT (extended leak off test)*
- *Forer avec inclinaison stable à la vitesse d'avancement maximale jusqu'à la profondeur d'arrêt du forage.*
 - *Surveiller les paramètres de MWD (measurement while drilling) et LWD (logging while drilling) et les propriétés du réservoir*
- *Circuler 3 fois le volume du puits - jusqu'à l'absence de déblais de forage (cuttings)*
- *Installation des équipements de diagraphie (wireline)*
- *Réalisation des différentes diagraphies*
 - *Option: Prise de carotte latérale en wireline (basés sur l'évaluation géologique)*
 - *Option: Prise d'échantillon de fluide du réservoir en wireline (basés sur l'évaluation géologique)*
- *En fonction de la stabilité du puits, assembler et installer un liner à fente de 7" ou installer et cimenter un liner de 7".*

Cas du liner à fente de 7"

- *Installer les équipements d'assemblage de liner; assembler le liner à fente de 7" / descendre le liner à fente à 5 m au dessus du fond du puits.*

- *Installer le "liner hanger" (40m au dessus de la base du tubage de 9 5/8"); vérifier l'installation avec un poids de 5 tonnes*
- *Installation des équipements de wireline*
- *Descendre un bouchon mécanique à 2.450 m MD RKB, 50 m au dessus du liner ; réaliser un test de pression (pression différentielle maximale)*
- *Descendre un bouchon mécanique à 100 m MD RKB; réaliser un test à la pression de design du puits.*
- *Désinstaller les équipements de wireline*
- *Préparation pour le test de production.*

Cas du liner de 7" cimenté

- *Installer les équipements d'assemblage de liner; assembler le liner de 7" / descendre le liner 10 m au dessus du fond du puits.*
- *Circuler le fluide pendant la préparation du ciment*
- *Cimenter le liner avec rotation*
- *Installer le "liner hanger" (40m au dessus de la base du tubage de 9 5/8"); vérifier l'installation avec un poids de 5 tonnes*
- *Réaliser un test de pression du liner à 120 bars.*
- *Installer des équipements de wireline*
- *Descendre un bouchon mécanique dans le profil de la tête de puits; réaliser un test à la pression de design du puits.*
- *Désinstaller les équipements de wireline*
- *Préparations pour le test de production*

Risques:

- *Défaillance des équipements de mesures de la colonne de forage (MWD et LWD)*
- *Instabilité du trou nu*
- *Surpression / venue d'eau / kick*

Fluide: Boue à base d'eau, densité de 1,22 s.g.

Liner: 7" liner #38ppf P-110 Cr 5%

Commentaire: Pour les diagraphies, faire référence au paragraphe d'acquisition de données.

3.4.6. Test de production

Objectif: Évaluer le potentiel de production du réservoir (conductivité, volume, recharge) et les propriétés de l'eau (pH, gaz dissous, minéraux...).

Option: test de production long.

Séquence d'opérations:

- Installation des équipements de test de surface
- Retirer les bouchons mécaniques (wireline)
- Assemblage et descente de la colonne de test de production
- Installation du packer à 3.220 m MD RKB
- Réalisation d'un test de production court (12h) avec injection d'air. Collecte des paramètres de surface et de fond du puits; analyse d'échantillon d'eau
- Réalisation de l'interprétation préliminaire du test

Cas: Test court positif - "réservoir exploitable "

- Réalisation d'un test de production long de 36h
- Réalisation d'une stimulation avec injection d'acide (8 m³ - 20 bars)
- Réalisation d'un nouveau test de production (12h)
- Désinstallation du packer de test de production
- Sortie du puits de la colonne de test de production
- Désinstallation des équipements de test de production
- Préparation des équipements de surface pour l'abandon temporaire (si le second test de production est positif)

Cas: Test court négatif - "réservoir non exploitable "

- Désinstallation du packer de test de production
- Sortie du puits de la colonne de test de production
- Désinstallation des équipements de test de production
- Préparation des équipements de surface pour l'abandon permanent

Risques:

- Venue inattendue dans le puits (gaz naturel, CO₂...)
- Fuite de fluide en surface
- Température élevée des équipements de surface
- Sismicité induite (référence est faite à la stratégie de surveillance de sismicité induite pour plus de détails)

Commentaire: Référence est faite au programme de test de puits pour plus de détails.

3.4.7. Abandon du puits (P&A)

Objectif: abandon permanent / temporaire du puits.

→ Cas d'abandon permanent (réservoir non exploitable)

Séquence des opérations:

- Pompage d'un bouchon de ciment dans l'intervalle du réservoir
- Installation d'un bouchon mécanique 200m au dessus du "liner hanger"
- Pompage d'un bouchon de 200m de ciment au dessus du bouchon mécanique. Vérification avec poids (5 tonnes) et test de pression (pression différentielle maximale)
- Découper et retirer le tubage de 14" à 550 m TVD RKB
- Installation d'un bouchon mécanique à 500 m TVD RKB.
- Pompage de 450m de ciment au dessus du bouchon mécanique. Vérification avec poids (5 tonnes) et test de pression (pression de design du puits)
- Découper et retirer tous les casing 3m au dessous du niveau du sol
- Désinstallation de la plateforme de forage

Risques:

- Planification des cimentations incorrecte
- Échec dans l'installation des barrières permanente du puits.

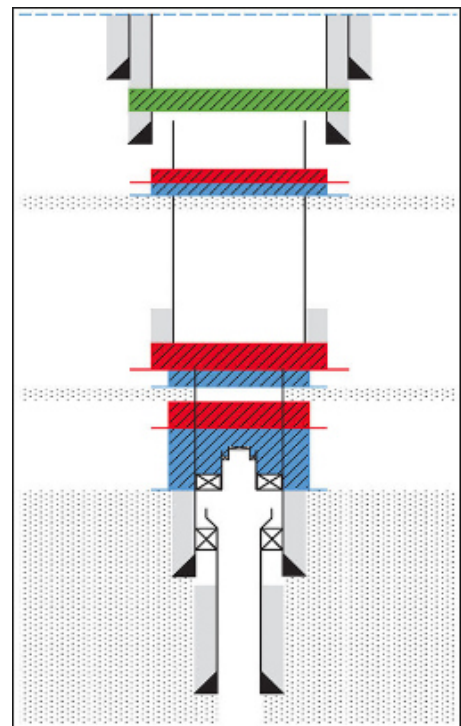
Fluide: Boue à base d'eau 1,22 sg ; Eau claire au dessus de 500 m.

Commentaire: Au dessus de 500m, des aquifères de faible profondeur sont présents. Cet intervalle sera cimenté aussi proche de la surface que possible

Pour chaque formation perméable qui sera isolée, la barrière de puits primaire est représenté en bleu, et la barrière secondaire en rouge. La barrière de surface est représentée en vert.

Les paramètres suivants pourront aussi être considérés:

- Représenter les profondeurs des roches, des barrières, les hauteurs de ciment, etc... sur le schéma d'abandon.



→ **Cas d'abandon temporaire (réservoir exploitable)**

Séquence des opérations

- Installation des équipements de wireline
- Descendre un bouchon mécanique à 2.450 m MD RKB, 50 m au dessus du liner ; réaliser un test de pression (pression différentielle maximale)
- Descendre un bouchon mécanique à 100 m MD RKB; réaliser un test à la pression de design du puits.
- Désinstaller les équipements de wireline

Commentaire: l'abandon temporaire est prévu pour une durée maximale de 8 mois.

Les paramètres suivants pourront aussi être considérés:

- Présenté l'abandon temporaire du puits avec un schéma de barrières

3.5.Acquisition de données - diagraphies

Le détail des données qui seront collectées durant les opérations de puits est présenté dans ce chapitre.

3.5.1.MWD / LWD et diagraphie

Plan d'acquisition de données de MWD (measurement while drilling) et LWD (logging while drilling):

Tubage d'ancrage

N/A

Section de 26"

GR/RES

Section de 17 ½"

GR/RES + DENS/NEUT + SONIC + FIT

Section de 12 ¼" section

GR/RES + DENS/NEUT + SONIC + FPWD + XLOT

Section de 8 ½"

GR/RES + DENS/NEUT + SONIC + FPWD + XLOT

Acquisition de donnée en wireline dans le trou nu de 8 ½" (diagraphie:

GR/RES + DENS/NEUT + SONIC + Borehole image + carotte latérale (option)

Description des données:

GR= "gamma ray"

RES= "résistivity"

DENS/NEUT= "density / neutron"

SONIC = "sonic acoustic logging"

FPWD = "formation pressure while drilling"

FIT = "Formation integrity test"

XLOT = "Extended leak off test"

3.5.2. Test de production

Durant les tests de production, la pression et la température seront surveillées en surface et en profondeur.

Le test court consiste en:

- Phase de production de 8h
- Phase d'arrêt de 4h; avec surveillance de la réponse en pression du réservoir

Le test long consiste en:

- Phase de production de 28h à différents débits de production (500 m³/jour; 1.000 m³/jour; 2.000 m³/jour; 3.000 m³/jour)
- Phase d'arrêt de 8h - avec surveillance de la réponse en pression du réservoir

Ces tests permettent d'évaluer la capacité de production du réservoir, son volume, sa connectivité et sa recharge.

3.5.3. Mudlogging

Les paramètres conventionnels de Mudlogging seront surveillés et collectés:

Poids des déblais, lithologie (analyse des déblais), surveillance de gaz...

Ainsi que les paramètres de l'unité de forage: Profondeur, poids sur la tête de forage, couple, rotation, débit de pompage, densité de boue (entrante/sortante), vitesse de forage...

3.5.4. Échantillon de déblais de forage (cuttings)

2 échantillons de déblais non lavés et deux échantillons de déblais lavés seront collectés:

- *Tous les 50m entre 0 et 2000 m MD RKB*
- *Tous les 20m entre 2000 et 3200 m MD RKB*
- *Tous les 5m dans la section du réservoir*

3.5.5. Échantillon de boue de forage

2 échantillons de boue seront collectés (1l chacun) tous les 200m.

Dans le réservoir, cette distance sera réduite à tous les 50m.

3.5.6. Carottage conventionnel

Aucun carottage conventionnel n'est prévu pour ce puits.

3.5.7.Carottage latéral

Des carottes latérales sont prévues, en tant qu'option, dans la section du réservoir pour la caractérisation du réservoir.

4. Gestions des risques et des dangers

4.1.Objectifs clefs

Référence est faite à la stratégie de gestion des risques de Ittigen Géothermie AG, pour la mise en place de cette stratégie.

4.2.Analyse de risques

Référence est faite à l'analyse de risque du puits Ittigen-01, qui capture les dangers identifiés durant les opérations de puits, leur impacts et leur mesures d'atténuations des risques.

Cette analyse de risque sera utilisée dans toutes les phases du projet de puits. Ses résultats sont intégrés dans ce programme de forage, et seront intégrés dans les procédures opérationnelles sur le site de forage.

Les risques les plus important identifiés pour les opérations de ce puits sont:

- *Transfert de connaissance entre l'équipe de planification et l'équipe opérationnelle du site de forage*
- *Contrôle de puits (risque de H₂S)*
- *Le design de l'abandon du puits en cas de présence de réservoir inattendu*

4.3.Déviations

Plusieurs normes et standards internationaux ont été suivis pour la préparation de ce programme de forage. Les déviations faites de ces normes sont présentées ci-dessous:

Déviations 1 | La réduction des tolérances de "kick" (venue de fluide) de 8m3 à 7m3 dans la section de 8 ½" a été acceptée, due à la probabilité très faible de rencontre d'hydrocarbure, et l'utilisation de système de détection de venue renforcé.

Déviatation 2 | Limites des routes d'évacuation

La disponibilité d'une seule route d'évacuation du site de forage (Nord-Est) a été acceptée due à la probabilité quasi nul que cette route soit impraticable (aucun cas d'impraticabilité depuis la création de la route depuis 1956).

Déviatation 3 | Limitation du bruit durant l'installation du tubage d'ancrage

La limite de tolérance de bruit sera excédée de 5 dB durant le martelage du tubage d'ancrage. Cet excès a été accepté car il ne durera que 1h30min durant le jour, et les équipements de protections seront portés par tout le personnel présent sur le site.

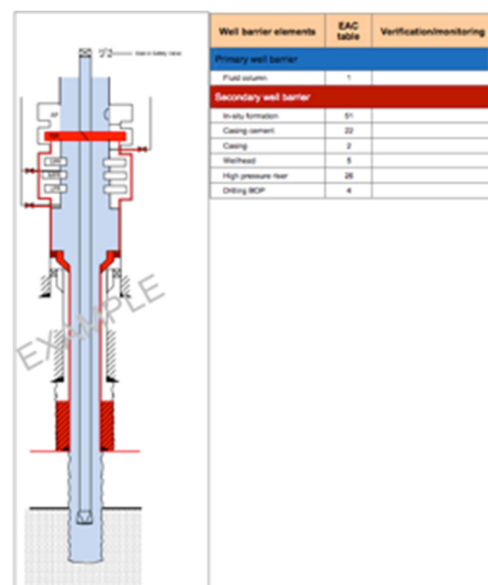
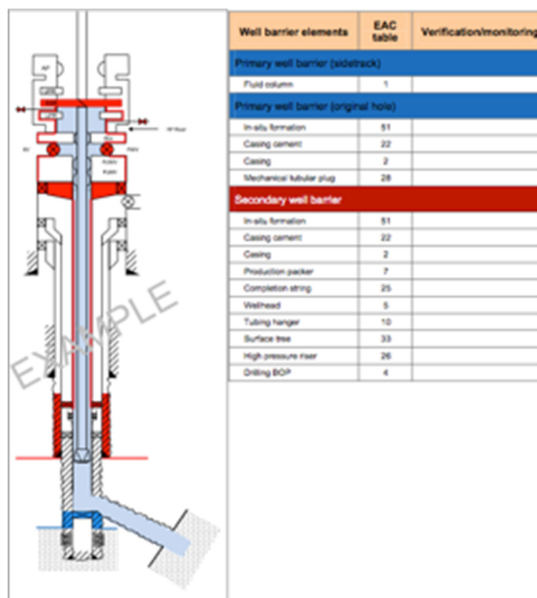
Déviatation 4 | Utilisation de polymères contaminants en cas de pertes de fluide fortes

L'utilisation de polymères faiblement contaminants a été acceptée en cas de perte totale de fluide de forage dans la section de 12 1/4", pour pouvoir stabiliser le puits et éviter de générer des situations de contrôle de puits. Aucun autre matériel n'est disponible sur le marché pour ce type de forage. Ces polymères ne seront utilisé seulement si toutes les autres solutions auront déjà été déployées sans succès.

4.4.Barrière de puits

Les barrières de puits, représentée selon la norme NORSOK D-010, sont présenté ci dessous pour les phases clés du forage:

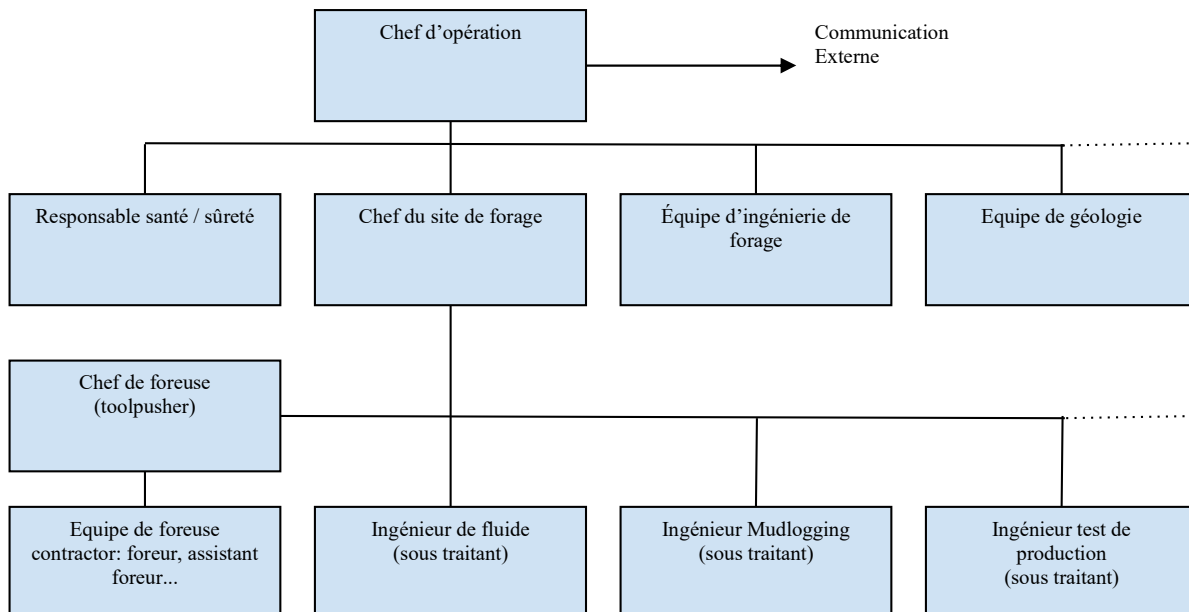
- Forage de l'aquifère réservoir - section de 8 1/2"
- Puits complété- en exploitation
- Puits abandonné



Source: NORSOK D-010 rev.3

5. Organisation

Le projet de puits et les opérations seront organisés avec les responsabilités suivantes:



Ci-dessous, est présentée la liste du personnel pour les opérations:

Rôle	Nom	Entreprise	email	Téléphone
<i>Chef d'opération</i>	xxxxxxxx	Ittigen geothermal AG	xxxxxx@xxxxxx.ch	+41 xxx x x xxxx
<i>Chef du site de forage</i>	xxxxxxxx	Ittigen geothermal AG	xxxxxx@xxxxxx.ch	+41 xxx x x xxxx
<i>Chef de foreuse toolpusher</i>	xxxxxxxx	IttigenDrill AS	xxxxx@xxxxxx.com	+41 xxx x x xxxx
<i>Ingénieur fluide</i>	xxxxxxxx	FluidIttigen AG	xxxxxx@xxxxxx.com	+41 xxx x x xxxx
...				

Commentaire: En cas de diffusion publique de ce document, la liste des contacts sera retirée pour éviter toute interférence avec la sûreté des opérations.