



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et
de la communication, DETEC

Office fédéral de l'énergie, OFEN
Sektion Energieforschung und Cleantech

Rapport final Juillet 2018

Guide de régulation des activités de géothermie profonde

Forage, puits et activités souterraines



Date: Juillet 2018

Lieu: Berne

Prestataire de subventions:

Office fédéral de l'énergie OFEN
Section Recherche énergétique et cleantech
CH-3003 Berne
www.ofen.admin.ch

Bénéficiaires de la subvention :

Bureau V S GEYL
Rue de Langallerie 6
1003 Lausanne

Auteur(s):

Vincent Geyl, Bureau V S Geyl, vincent@wellcontrolandintegrity.com

Suivi du projet à l'OFEN:

Gunter Siddiqi, gunter.siddiqi@bfe.admin.ch

Numéro du contrat de l'OFEN: SI/501604-01

Les auteurs sont seuls responsables du contenu et des conclusions du présent rapport.



Guide de régulation des activités de géothermie profonde Forage, puits et activités souterraines OFEN – 07/2018 version 1.0

Domaine d'applicabilité: tête de puits et parties souterraines du puits

Pour les projets de géothermie profonde, les documents présentés dans ce dossier visent à informer les cantons suisses dans leur travail d'autorisation et de régulation. Ces documents sont une série d'exemples ("Template") de ce qui pourrait être présenté par un maître d'ouvrage pour demander une autorisation de forage exploratoire, d'exploitation de puits, d'intervention ou abandon de puits.

Ces documents visent à démontrer et garantir la sûreté des forages, des puits et des activités souterraines.

Ces documents sont des exemples. Leur contenu est purement fictif. Ils servent ainsi à guider le lecteur sur le contenu et le niveau de détails qui pourraient être attendu. Ces exemples ne sont pas figés. Leur structure peut être combinée, remaniée et modifiée afin de représenter au mieux les activités prévues. De plus, le niveau de détails doit être ajusté en fonction du niveau de risque associé à chaque projet de géothermie.

Ces documents ne visent pas à peser et à contraindre le maître d'ouvrage dans la préparation et l'exécution de ses travaux.

→ Retour et amélioration:

Ces documents sont destinés à être améliorés de façon continue. Merci de faire parvenir tous vos retours à Vincent Geyl (vincent@wellcontrolandintegrity.com) ou Gunter Siddiqi (gunter.siddiqi@bfe.admin.ch).

Cycle de vie de puits – Projet de géothermie profonde – documents pour autorisation

Organisation générale Documents: 0.1 / 0.2 / 0.3				
Forage exploratoire		Exploitation Forages, production, injection	Intervention	Abandon
Preliminaire	Finale			
Documents 1.1 / 1.2 / 1.3 / 1.4	Documents 2.1 / 2.2 / 2.3 / 2.4 / 2.5	Documents: 3.1 / 3.2 / 3.3 / 3.4	Documents: 4.1 / 4.2 / 4.3	Documents: 5.1 / 5.2 / 5.3

Remarque:

Ces documents visent à être complémentaires d'une étude d'impact sur l'environnement (manuel EIE - OFEV) sur les aspects spécifiques de sûreté de forage, de puits et d'activités souterraines, si pertinent. Une étude d'impacts sur l'environnement, mise à jour, peut être présentée pour chacun des niveaux (2 à 5) ci-dessus, si pertinente.



Niveau 0 – Organisation général

Les documents 0.X sont des exemples d'organisation générale qu'un maître d'ouvrage pourrait utiliser pour assurer la sûreté des puits durant tout le cycle de vie d'un projet géothermal.

- 0.1 *Stratégie de gestion de risques*
- 0.2 *Stratégie d'information et de notification*
- 0.3 *Stratégie de sûreté de puits*

Niveau 1 – Autorisation de forage exploratoire préliminaire

Les documents 1.X sont des exemples d'études et d'analyses qu'un maître d'ouvrage pourrait présenter pour demander une autorisation préliminaire de forage.

- 1.1 *Evaluation géologique préliminaire*
- 1.2 *Programme de forage préliminaire*
- 1.3 *Analyse de risque*
- 1.4 *Informations clés de puits*

Niveau 2 – Autorisation de forage exploratoire finales

Les documents 2.X sont des exemples d'études et d'analyses qu'un maître d'ouvrage pourrait présenter pour demander une autorisation de forage finale.

- 2.1 *Evaluation géologique*
- 2.2 *Programme de forage*
- 2.3 *Analyse de risque (mis à jour)*
- 2.4 *Informations clés de puits (mis à jour)*
- 2.5 *Plan de réponse d'urgence*

Niveau 3 – Autorisation d'exploitation (forage, production et injection)

Les documents 3.X sont des exemples d'études et d'analyses qu'un maître d'ouvrage pourrait présenter pour demander une autorisation d'exploitation d'un projet géothermale / concession.

- 3.1 *Stratégie d'exploitation et de maintenance des puits*
- 3.2 *Analyse de risque (mis à jour)*
- 3.3 *Information clés de puits (mis à jour)*
- 3.4 *Plan de réponse d'urgence (mis à jour)*
- 3.5 *Programme de forage (si prévu)*

Niveau 4 – Autorisation d'intervention

Les documents 4.X sont des exemples d'études et d'analyses qu'un maître d'ouvrage pourrait présenter pour demander une autorisation d'intervention sur un puits.

- 4.1 *Programme d'intervention*
- 4.2 *Analyse de risque (mis à jour)*
- 4.3 *Information clés de puits (mis à jour)*

Niveau 5 – Autorisation d'abandon

Les documents 5.X sont des exemples d'études et d'analyses qu'un maître d'ouvrage pourrait présenter pour demander une autorisation d'abandon de puits.

- 5.1 *Programme d'abandon (avec restauration du site)*
- 5.2 *Analyse de risque (mis à jour)*
- 5.3 *Information clés de puits (mis à jour)*

Stratégie de gestion des risques

Géothermie Ittigen AG

Maître d'ouvrage: Nom

12-03-2018

Chef de projet: Nom

Responsable SSE: Nom

Diffusion: interne

Ce document est un exemple, qui est destiné à servir comme modèle de "stratégie de gestion des risques" 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 stratégie de gestion des risques pour les activités 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.
- Ce document vise à démontrer la capacité d'un maître d'ouvrage à cartographier, évaluer et gérer tout type de risques, et spécialement ceux dont les conséquences affectent la santé des personnes, les installations et l'environnement.
- 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.
- Le contenu de ce document est fictif et doit être remplacé avec des informations réelles.

1. Objectif de la gestion des risques	2
2. Mise en place de la gestion des risques	3
2.1. Politique de gestion des risques	3
2.2. Engagement	4
2.3. Intégration au sein des opérations	4
2.4. Ressources et compétences	4
2.5. Audits	5
3. Responsabilité dans la gestion des risques	7
3.1. Responsable de risque	8
4. Processus de gestion des risques	8
4.1. Approche	8
4.2. Evaluation des risques / Matrice de risques	9
4.3. Communication des risques	10
4.4. Surveillance / amélioration continue	10
5. Sous-traitant	11
5.1. Transfert de risques	11
5.2. “bridging document”	11
5.3. Signalement des risques	12

Accident = Un événement, non souhaité, aléatoire et fortuit, qui apparaît à la suite d'une ou plusieurs causes, et qui entraîne des dommages vis-à-vis des personnes, des biens ou de l'environnement.

Incident = Événement inattendu ayant une faible influence (à la différence de l'accident qui en a une forte) ou événement peu important en lui-même, mais susceptible d'entraîner de graves conséquences

1. Objectif de la gestion des risques

L'objectif de cette stratégie de gestion des risques est de présenter la méthode choisie par Ittigen Géothermie AG pour gérer les risques opérationnels associés aux activités de géothermie profondes.

Les activités suivantes sont gérées par ce document:

- *L'exploration et l'évaluation de ressources géothermales*
- *Le forage et les activités de puits (intervention, modification)*
- *L'exploitation de puits*
- *L'abandon de puits*

Cette stratégie a été demandée par le conseil d'administration de Ittigen Géothermie AG. Il a été considéré essentiel de mettre en place une telle stratégie pour pouvoir contrôler les risques et les dangers associés à l'exploration et l'exploitation de ressources géothermales profondes. La stratégie de gestion des risques de Ittigen Géothermie AG peut se résumer à: identifier les risques, les réduire et informer toutes les parties de l'existence de ces mêmes risques.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *Référence à la norme ISO 31000 - Risk management*
-

2. Mise en place de la gestion des risques

2.1. Politique de gestion des risques

La politique de Ittigen Géothermie AG est qu'aucune opération qui pourrait affecter les personnes, les structures ou l'environnement à un niveau de risque inacceptable ne soit entrepris.

Toutes les activités de l'entreprise qui peuvent contenir un risque pour les personnes, les structures ou l'environnement:

- *Doivent être soumise à une identification et une évaluation des risques*
- *Doivent avoir leurs risques réduits à un niveau acceptable*
- *Doivent être exécutées selon les précautions identifiées*
- *Peuvent être arrêtées à n'importe quel moment, par n'importe quelle personne, s'il est perçu que le niveau de risque est inacceptable.*

L'objectif de Ittigen Géothermie AG est de mener des activités de géothermie à un niveau de risque acceptable pour la population Suisse, celui-ci étant aussi faible que dans l'industrie ferroviaire Suisse.

Autre exemple de politique:

Ittigen Géothermie AG s'engage à empêcher tous les accidents, toute perte de ressources, toute perte d'équipement, et tout effet négatif sur la santé.

En suivant cette engagement de protection des personnes et des biens, le management met à disposition et maintient une situation de travail sûre, qui suit les meilleurs standards de l'industrie et en accord avec les lois et les règlements. Le management de Ittigen Géothermie AG s'engage aussi à éliminer tout danger qui peut être anticipé.

Il est important de souligner que la responsabilité d'assurer la sécurité et la santé est partagée par tous. Tous les employés de Ittigen Géothermie AG sont mis sur un pied d'égalité quand il s'agit de s'assurer qu'aucun accident n'a lieu sur le lieu de travail.

Les pertes dues aux accidents peuvent être limitées grâce à un corps managérial compétent, et avec une participation des employés. La sûreté est la responsabilité directe de tous les managers, les superviseurs, les employés et les sous-traitants.

2.2. Engagement

Le président de Ittigen Géothermie AG et ses vice-présidents sont engagés sur cette stratégie de gestion des risques. Ils démontreront cet engagement en allouant les ressources suffisantes à sa mise en œuvre, et en établissant cet "stratégie" comme l'une des priorités de leurs objectifs, ensemble avec les objectifs des employés et sous-traitants de l'entreprise.

2.3. Intégration au sein des opérations

Cette gestion des risques sera incluse dans tous les travaux associés aux opérations d'exploration et d'exploitation géothermique.

Ceci signifie que des analyses de risques seront conduites pour les activités suivantes:

- *Évaluation géologique*
- *Évaluation géophysique*
- *Construction du site de forage*
- *Forage et opérations de puits*
- *Opération du sous-sol (intervention, stimulation hydraulique...)*
- *Exploitation et surveillance du réservoir*
- *Abandon de puits*
- *Business plan*

Et mises en avant dans leurs documents respectifs.

De plus, toutes les décisions opérationnelles seront prises avec l'appui d'un document d'analyse de risque: pour pouvoir garder une trace des risques identifiés et des décisions techniques prises.

2.4. Ressources et compétences

Ittigen Géothermie AG s'assure que les ressources nécessaires sont disponibles pour mettre en place sa stratégie de gestion des risques en:

- *Considérant des horaires de travail spécifiques pour la gestion des risques (planification et exécution)*

- Permettant à tous de participer aux sessions d'analyse de risque (employés ou sous-traitants)
- Ayant dans chaque équipe d'ingénierie, et équipe opérationnelle, au moins une personne responsable pour la gestion des risques (personnes ayant suivi une formation adéquate)
- Interdisant toute action disciplinaire contre un employé ou sous-traitant pour des actions associés à la gestion des risques (mettre en lumière des risques, suspicion de risques, arrêt d'opération en cas de risque inconnu, demande d'évaluation des risques supplémentaires...)
- Ayant des employés responsable pour la gestion des risques: "coordinateur de risques" (SSE)

Pour les compétences, Ittigen Géothermie AG adopte la stratégie suivante:

- *Tout le personnel travaillant avec des activités impliquant des risques, doit avoir les qualifications minimales:*
 - *Employé sur site de forage/puits: 3 ans d'expérience minimum (ou être sous la supervision directe d'un travailleur expérimenté)*
 - *Employé coordonnant les activités de plusieurs personnes: 6 ans d'expérience minimum*
 - *Employé responsable pour l'ensemble des activités d'un site de forage/puits: 9 ans d'expérience minimum*
- *Les expériences spécifiques nécessaires sont aussi définies, tout particulièrement lorsque des risques identifiés sont associés à la compétence des personnes.*
- *Tout le personnel travaillant avec les opérations de puits (forage, intervention, exploitation, abandon) sur un site de puits doit avoir une connaissance des risques majeurs associés aux puits. Tel qu'une formation en contrôle de puits (IWCF ou IADC ou similaire)*

2.5. Audits

Les audits de gestion des risques seront effectués comme suit:

- *Audit pré-opérationnel*
 - *Avant le commencement du forage d'un nouveau puits ou d'une nouvelle intervention de puits, un audit sera conduit pour s'assurer que la stratégie de gestion des risques a été réalisée et que les mesures de réductions des risques ont été mises en place. Si l'indépendance du personnel peut être garantie, l'audit sera réalisé en interne. Si ce n'est pas le cas, il sera fait appel à du personnel extérieur.*
- *Audit annuel interne*
 - *Tous les ans, un audit interne complet de l'application de la stratégie de gestion des risques sera effectué. Cette audit sera utilisé comme outil par le corps managérial de Ittigen Géothermie AG pour évaluer si les ressources suffisantes*

sont allouées à la gestion des risques, et si l'organisation de l'entreprise est compatible avec une gestion efficace des risques.

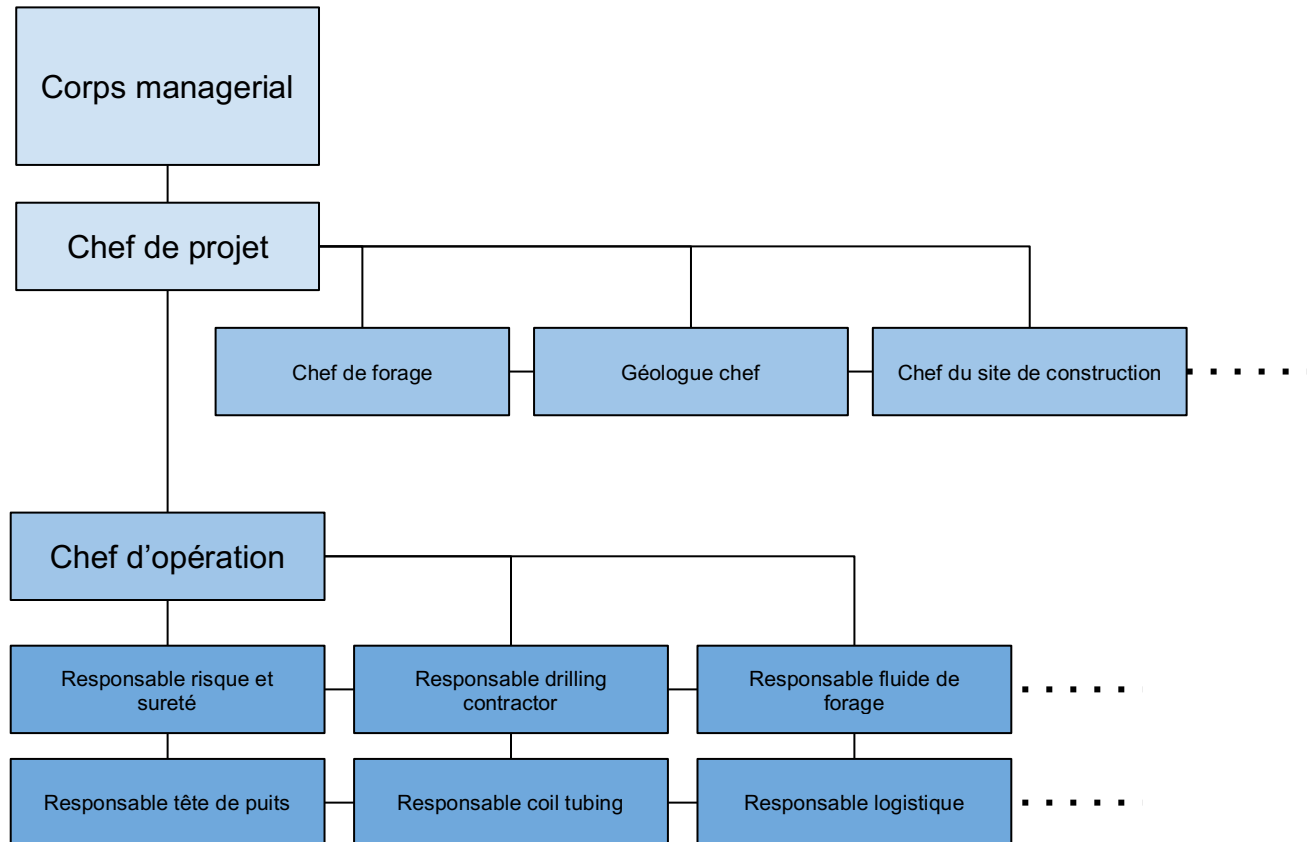
- *Audit externe tous les 3 ans*
 - *Tous les 3 ans, un audit externe sera effectué, avec pour objectif de capturer la perception du personnel sur la stratégie de gestion des risques. Cet audit sera soutenu par de nombreux entretiens. Toutes ses recommandations devront être mis en place par le corps managérial, indépendamment de l'opinion du management.*

Exigence pour l'équipe d'audit:

- *Indépendance: toute équipe d'audit doit avoir un niveau d'indépendance fort. Tel qu'aucune des personnes impliquées dans la préparation / exécutions des activités ne fasse partie de l'équipe réalisant l'audit.*
- *Compétence: toute équipe d'audit doit avoir au moins 50% de ses membres ayant une connaissance forte des activités étant auditées.*
- *Hétérogénéité: le "background" de l'équipe d'audit doit être diversifié, en termes de position hiérarchique et de connaissance.*

3. Responsabilité dans la gestion des risques

Pour les opérations de forage, de puits ou activités en sous-sol, l'organisation de gestion des risques suivante doit être adoptée:



Une attention toute particulière sera faite lors des transitions entre les phases de planification et les phases d'opération (et vice versa); pour s'assurer que toutes les évaluations et réductions de risques soient transféré d'une équipe à l'autre.

Les mesures suivantes seront mises en place:

- *Atelier pré-opérationnel avec tout le personnel de planification et d'opération*
- *Réunion de transfert d'opération, le jour même du transfert*
- *Réunion de compréhension des risques majeurs entre les chefs de planification et d'opération*
- *Présence sur le site de forage/exploitation du personnel de planification (ingénieur forage, géologue...) pour donner du support durant les opérations critiques.*

3.1. Responsable de risque

Pour chaque plan, programme ou procédure, une personne sera désignée comme responsable des risques. Cette fonction peut être exercée par plusieurs personnes, et différentes personnes au cours du temps.

Cependant, la quantité de personne partageant cette responsabilité doit être maintenue à un minimum pour éviter toute perte d'information.

Le responsable de risque doit s'assurer que les toutes les mesures de réductions des risques ont été mise en place, et sont maintenues en place.

Au début d'activités opérationnelles, la responsabilité de risque sera transférée au chef d'opération. Ainsi, ce chef est responsable, avec son équipe, de s'assurer que toutes les mesures de réduction de risques ont été mise en place avant le début des activités.

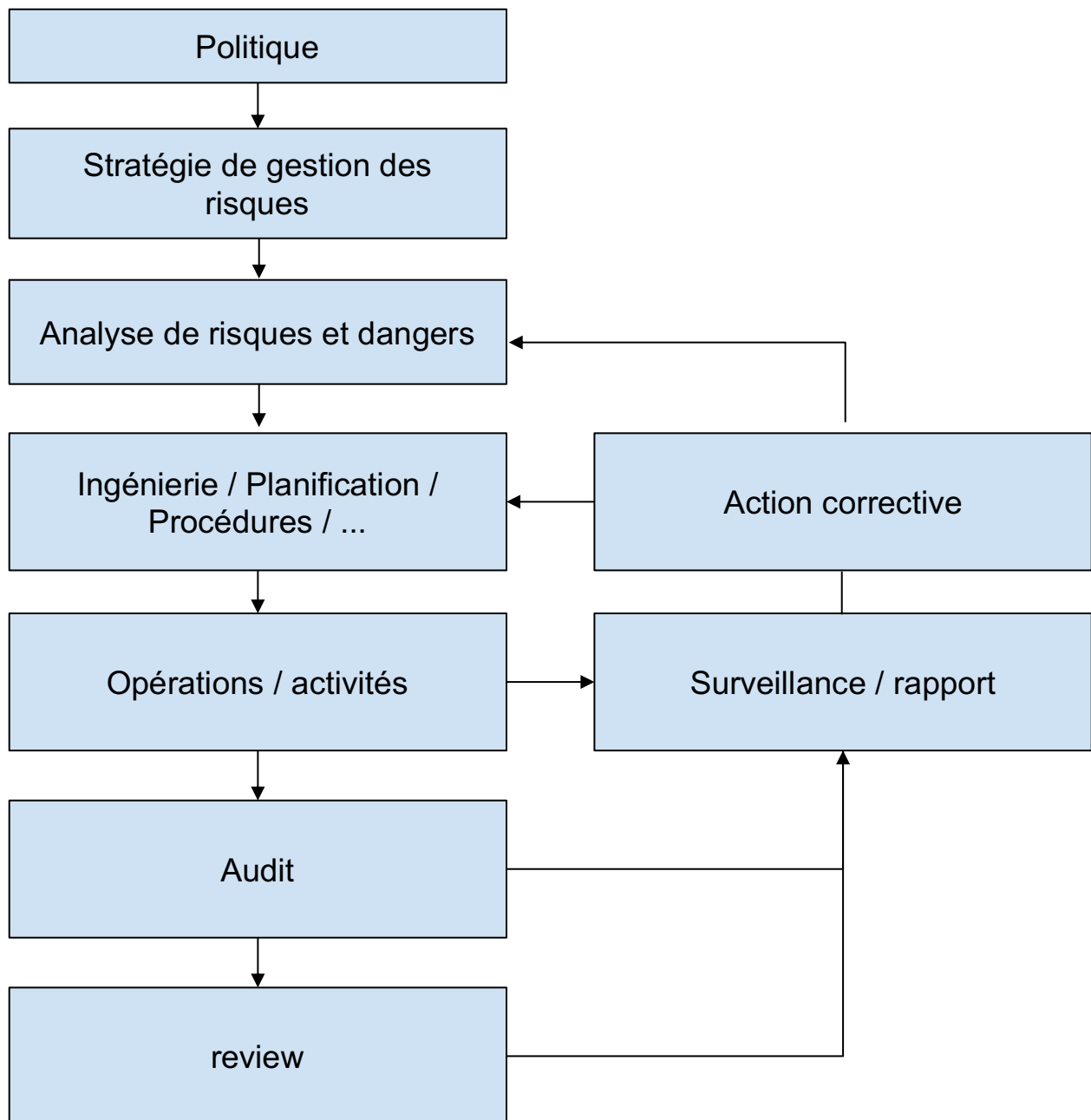
4. Processus de gestion des risques

4.1. Approche

Le modèle d'approche au risque choisi est présenté ci-dessous.

Pour ce modèle, le risque effectif durant les activités est géré grâce au travail de planification / aux procédures / à l'ingénierie, qui utilisent des "analyses de risques". Celles-ci sont construites à partir de la stratégie de gestion des risques, qui découlent de la politique de Ittigen Géothermie AG.

Durant les activités, la surveillance et le système de rapport sont utilisés pour améliorer la planification / les procédures / les études d'ingénierie. Les audits sont aussi utilisés pour ajuster la façon dont les risques sont gérés.



4.2. Evaluation des risques / Matrice de risques

Pour toutes les activités qui contiennent des risques, l'objectif de l'évaluation des risques est de prouver, et de documenter, que tous les dangers potentiels qui pourraient affecter les opérations ont été identifiés. Chaque danger potentiel est analysé pour en évaluer la cause, ainsi que ses conséquences.

Le risque associé à chaque danger est estimé en appliquant une matrice de risque, présentée ci dessous, avec une catégorisation de la fréquence et des conséquences, basé sur des

connaissances historiques et des jugements d'ingénierie. Ce procédé permet d'identifier et de filtrer les principaux dangers.

Tous les risques doivent être réduit à un niveau acceptable avec précaution (aussi faible que raisonnablement réalisable, ALARP), grâce a l'application de mesure de réduction du risque:

- Évaluation plus détaillée
- Ajustement des procédures
- Ajustement des activités planifiées
- Mobilisation de ressources supplémentaire (personnel, équipement...)
- ...

Niveau de risque								
non-acceptable		acceptable avec précaution	acceptable					
Conséquence				Probabilité				
				1 fois / 1000 ans très peu probable	1 fois / 100 ans peu probable	1 fois / 10 ans Moyennement probable	1 fois / an Probable	quelques fois / an très probable
				1	2	3	4	5
Santé du personnel	Pollution	Sûreté	Réputation / Coût					
5	Mort Maladie sévère; réduction de l'espérance de vie	Fluide contaminant > 1000m3	Fuite de fluide dangereux >100 kg/sec Ou de source pressurisée >100bars Exposition négative - média internationaux - autorités Pertes > 10.000.000 CHF					
4	Blessure sérieuse, nécessitant une absence prolongée ou ayant un effet prolongé sur la santé	Fluide contaminant > 100m3	Fuite de fluide dangereux 1-100 kg/sec Ou de source pressurisée 10-100bars Exposition négative - média nationaux - autorités Pertes > 1.000.000 CHF					
3	Blessure nécessitant un traitement médical de longue durée	Fluide contaminant > 1m3	Fuite de fluide dangereux 0,1 -10 kg/sec Ou de source pressurisée <50 bars Exposition négative - média régionaux Pertes > 100.000CHF					
2	Blessure nécessitant des premiers secours, avec un impact mineur sur la santé	Fluide contaminant 10 - 1000	Fuite de fluide dangereux <0,1 kg/sec Ou de source pressurisée < 10 bars Exposition négative - média locaux - conséquence limitée Pertes > 10.000CHF					
1	Blessure mineure	Fluide contaminant < 10	Fuite de fluide dangereux <<0,1 kg/sec Ou de source de pression négligeable Exposition négligeable Coût négligeable					

4.3. Communication des risques

Avant le début d'activités, tout le personnel impliqué dans les opérations à venir doit être informé des risques qui ont été identifiés, et des mesures de réduction du risque choisies.

Pour éviter une surcharge d'information pour le personnel qui entreprendra les activités, la quantité de risques qui affectera chaque employé doit être limité à 5-10 risques par opération.

Lorsque des opérations apportent une quantité beaucoup plus élevée de risques, la responsabilité de risque peut être réparti entre plusieurs personnes, et les superviseurs / chefs d'opération seront responsable pour maintenir une vue d'ensemble des risques (non pas la compréhension détaillée de chaque risque).

4.4. Surveillance / amélioration continue

Durant les activités, le rapport des incidents et des événements non planifiés sera utilisé pour ajuster l'évaluation des risques.

Lorsqu'un événement imprévu survient:

- *L'analyse de risque sera mise à jour*
- *Les nouvelles mesures de réduction des risques seront mises en place*
- *Les changements de risques seront communiqués à toutes les parties prenantes*
- *Les leçons de ce changement seront capturées*

Lorsque qu'un presque-accident ou accident survient:

- *L'analyse de risque sera revisitée et comparée avec les événements actuels*
- *Les leçons de ce presque-accident ou accident seront capturées*
 - *Incluant aussi ceux des sous-traitants*

Des indicateurs de gestion des risques seront mise en place. Le suivi de ces indicateurs sera fait tous les semestres.

L'amélioration continue sera aussi suivie via les audits (réf 2.5)

5. Sous-traitant

5.1. Transfert de risques

Bien que Ittigen Géothermie AG fasse appel à de nombreux sous-traitants pour réaliser des opérations de puits, le risque impliqué par ces opérations restera sous la responsabilité de Ittigen Géothermie AG.

Les risques associés aux opérations resteront sous la responsabilité de Ittigen Géothermie AG vis à vis des autorités et du public.

Pour s'assurer que le niveau de risque reste cohérent, tous les sous-traitants doivent suivre une stratégie de gestion du risque assurant le même niveau de sûreté que Ittigen Géothermie AG. Dans le cas où le sous-traitant n'aurait pas de stratégie de gestion des risques (à cause de taille, etc...), il suivra la même stratégie que celle de Ittigen Géothermie AG (utilisant ses procédures et processus).

Dans le cadre du travail associé à la gestion des risques (ex: session d'analyse de risque), aucune différence ne sera faite entre les employés de Ittigen Géothermie AG et les employés des sous-traitants de Ittigen Géothermie AG, car ceci est absolument nécessaire à une gestion des risques non-biaisée.

5.2. "bridging document"

Pour permettre de maintenir un niveau de risque cohérent entre Ittigen Géothermie AG et ses sous-traitants, un "bridging document" sera établi avec chaque sous-traitant pour garantir que les stratégies de gestion des risques sont compatibles et permettent d'atteindre le même niveau de risque pour les travailleurs, le public, les structures et l'environnement.

5.3. Signalement des risques

Stop opération:

Dans le cas ou une situation risquée ou dangereuse serait identifiée, toute personne (employé de Ittigen Géothermie AG ou autre) a l'obligation de faire un "stop opération". Un temps mort sera pris et la situation sera évaluée avant de décider de continuer les opérations.

Ces "stop opération" seront aussi utilisés pour l'amélioration continue.

Mise à jour des risques:

Dans le cas ou un situation atteindrait un niveau de risque plus élevé que planifié (situation inattendue, presque-accident, incident, accident):

- *Tout le personnel impliqué dans cette activité sera immédiatement notifié de la situation et du plan d'action (quelques heures au maximum)*
- *Le corps managérial de Ittigen Géothermie AG sera informé de la situation dans les 12h.*
- *Les autorités seront notifiées dans les 24h, dans le cas ou le niveau de risque aurait dépassé un seuil "inacceptable" (tel que les presque-accidents).*

Stratégie d'information et de notification

Géothermie Ittigen AG

Maître d'ouvrage: Nom

12-03-2018

Chef de projet: Nom

Responsable SSE: Nom

Diffusion: interne / externe

Ce document est un exemple, qui est destiné à servir comme modèle de "Stratégie d'information et de notification" 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'oeuvre comme stratégie d'information et de notification. Durant les opérations de forage/puits, ce document peut servir de support pour la surveillance des activités.
- Ce document vise à démontrer la capacité et la préparations d'un maître d'ouvrage à conserver les informations de ses et à notifier les différentes parties de ses activités, en particulier les autorités cantonales.
- 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.
- Le contenu de ce document est fictif et doit être remplacé avec des informations réelles.

1. Objectif	2
2. Stratégie d'information	3
2.1. Préparation et planning d'activités	3
2.2. Exécution d'activités	3
2.3. Paramètres durant les activités	4
2.4. Données du sous-sol	4
2.5. Personnel et organisation	4
2.6. Audits	4
3. Stratégie de notification	4
3.1. Aux autorités cantonales / communales	4
3.2. A la population locale	6
3.3. Aux employés et sous-traitants	6
3.4. A l'industrie	6

Accident = Un événement, non souhaité, aléatoire et fortuit, qui apparaît à la suite d'une ou plusieurs causes, et qui entraîne des dommages vis-à-vis des personnes, des biens ou de l'environnement.

Incident = Événement inattendu ayant une faible influence (à la différence de l'accident qui en a une forte) ou événement peu important en lui-même, mais susceptible d'entraîner de graves conséquences

1. Objectif

L'objectif de cette stratégie est de cartographier les informations qui sont gardées par Ittigen géothermie AG, et les informations qui sont communiqués à des tiers.

De façon générale:

- *Tous les documents, travaux et études nécessaires à la préparation des activités seront conservés.*
- *Tous les paramètres opérationnels (capteurs) seront conservés à un niveau de résolution qui permet un stockage à un coût raisonnable (paramètres de forage, production, intervention...).*
- *Tous les documents opérationnels seront conservés (procédures, rapports d'opération, rapport de forage, rapport de production, rapport de maintenance...).*

De façon générale:

- Tous les documents de planification et d'exécution d'opération seront partagés avec tout le personnel (interne ou de sous-traitant).
- Tout événement d'importance significative sera communiqué aux autorités cantonales et communales.
- Tout événement qui pourrait affecter la population sera communiqué à la population locale, via les autorités compétentes (police, service communaux...).

Remarque: Toute information qui sera "conservée" signifie qu'elle sera gardée au minimum en format électronique et sera accessible jusqu'à la fin de l'exploitation / abandon final et restauration du site.

2. Stratégie d'information

2.1. Préparation et planning d'activités

Tous les documents créés pour la planification des activités seront conservés par Ittigen Géothermie AG.

Ceci comprend:

- Les études et les évaluations géologiques
- Les études et les évaluations géophysiques
- Les programmes de forage / de puits et les études associées.
- Les analyses de risques, leur mesures de réduction des risques et leurs suivis.
- Les études d'impact sur l'environnement
- Les programmes d'exploitation des puits
- La stratégie d'exploitation du réservoir

...

2.2. Exécution d'activités

Tous les documents utilisés pour l'exécution des activités seront conservés par Ittigen Géothermie AG.

Ceci comprend:

- Les procédures opérationnelles (forage, complétion, test de puits, intervention...)
- Les test et vérification (test de pression, test de fonctionnement); les tests de barrière de puits
- Les rapports de réparation
- Les procédures d'exploitation et de maintenance
- Les retours d'expérience
- Les rapports d'incidents
- ...

2.3. Paramètres durant les activités

Durant les opérations sur le site des puits, tous les paramètres associés aux conditions du puits seront conservés par Ittigen Géothermie AG.

- *Durant le forage*
 - *Profondeur, poids de levage, rotation, pompage, densité de boue, poids sur la tête de forage, volume des réservoirs de boue, déblai de forage...*
- *Durant les interventions*
 - *Pression de tête de puits, pompage, profondeur des équipements...*
- *Durant les tests de puits*
 - *Pression, température et débit en surface et en profondeur, composition chimique....*
 - *Tous les graphiques de tests de pression / test de fonctionnement / tests de barrière de puits.*
- *Durant l'exploitation*
 - *Pression, température, position des vannes, débit, pression hydraulique...*
 - *Information de maintenance et suivi*

Etc...

2.4. Données du sous-sol

Toutes les données de diagraphies et leur interprétation seront conservées (indépendamment du mode d'acquisition).

2.5. Personnel et organisation

Pour toutes les activités, l'organisation, les responsabilités et la liste du personnel sur le site de puits seront conservées.

2.6. Audits

Tous les audits, et les suivis d'audits seront conservés.

3. Stratégie de notification

3.1. Aux autorités cantonales / communales

Planification des activités:

Pour chaque activité de puits, un programme d'activité sera communiqué aux autorités cantonales et communale (programme de forage, programme de test de puits, programme d'intervention, programme d'abandon...). Ces documents présenteront:

- *Les objectifs*
- *L'ingénierie déployée*
- *La séquence des opérations*
- *Les risques*

Ces documents sont communiqués par email, au plus tard 90 jours avant le début des opérations.

Rapport après-activités:

Pour chaque activité de puits, un rapport d'activité sera communiqué aux autorités cantonales et communal après les opérations (rapport de fin forage, rapport de test de puits, rapport d'intervention, rapport d'abandon...). Ces rapports présenteront:

- *Les opérations exécutés*
- *Le statut du puits / sous-sol a la fin des opérations*
- *Les différences entre les opérations planifiées et exécutées*
- *Les leçons tirées de cette activité*

Ces documents sont communiqués par email, au plus tard 30 jours après la fin des opérations.

Exécution des opérations:

Durant l'exécution des opérations, un rapport journalier sera transmis aux autorités cantonales et communales (rapport journalier de forage, rapport journalier de test de puits, rapport journalier d'intervention, rapport journalier d'abandon de puits...). Ces rapports présenteront:

- *Les opérations exécutées durant les dernières 24h*
- *Les opérations planifiées pour les prochaines 24h*
- *Les incidents observés et leur suivi*
- *Les paramètres clés des activités (profondeur, densité de boue, débit de test de production...)*
- *Les situations de risque qui serait plus élevées que prévu*
- *Les équipements utilisés (colonne de forage, colonne de production, colonne de diagraphie...)*
- *Les personnes responsables*

Ces informations seront communiquées tous les jours par email.

*Durant l'**exploitation** des puits, un rapport annuel sera transmis aux autorités cantonales et communales, présentant:*

- *Les données de production et injection*
- *Un résumé de la maintenance*
- *La condition de puits*
- *L'exploitation prévu pour l'année suivante.*

Ce rapport sera communiqué par email, 60 jours après la fin de l'année.

Incident / événements imprévu:

Dans le cas d'incident sérieux / événement imprévu impliquant un niveau de risque élevé, les autorités cantonales et communales seront notifiées par téléphone et par email.

Cette notification présentera:

- *Une description de l'incident (les personnes, les structures et l'environnement affectés)*
- *Les actions planifiées pour y remédier*
- *Le besoin de coordination / support avec les autorités cantonales et communales*

Un rapport d'investigation sera aussi communiqué aux autorités cantonales et communales, aussi vite de possible à la suite d'un incident.

Pour plus de détails sur l'organisation avec la police, les pompiers et les services locaux en cas d'accident, référence est faite au "Plan de réponse d'urgence".

3.2. A la population locale

Dans le cas d'incident sérieux / événement imprévu impliquant un niveau de risque élevé vis à vis de la population locale, les structures locales ou l'environnement, la population sera informée de la situation.

Dépendant de la situation, cette information sera distribuée par courrier, téléphone, rencontre à leur domicile ou réunion publique. Cette communication sera faite en coopération avec les autorités cantonale, communale et les services locaux (police, pompier...).

3.3. Aux employés et sous-traitants

En cas d'événement imprévu impliquant un niveau de risque élevé, tout le personnel impliqué dans les opérations et tout le personnel présent sur le site du puits sera immédiatement informé des changements (réunion, email, téléphone...).

Si nécessaire, les opérations seront arrêtées pour pouvoir réaliser cette communication auprès de tous les employés et les employés des sous-traitants de Ittigen Géothermie AG.

3.4. A l'industrie

Les leçons tirées des incidents / accidents / presque-accidents, seront partagées avec l'industrie de la géothermie, localement et internationalement; De telle façon que tout le monde puissent bénéficier de ces expériences.

Stratégie de sûreté de puits Ittigen Géothermie AG

Maître d'ouvrage: Nom

12-03-2018

Responsable sûreté: Nom

Chef de projet: Nom

Diffusion: interne / externe

Ce document est un exemple, qui est destiné à servir comme modèle de "stratégie de sûreté de puits" 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 stratégie de sûreté de puits d'un projet de géothermie profonde. Durant les opérations de forage/puits, ce document peut servir de support pour la surveillance des activités.
- Ce document vise à démontrer la capacité et la préparation d'un maître d'ouvrage pour s'assurer qu'aucun incident de puits ne puisse avoir lieu.
- 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.
- Le contenu de ce document est fictif et doit être remplacé avec des informations réelles.

1. Objectif	2
2. Principes de sûreté de puits	3
2.1. Barrière de puits	3
2.2. Principes de design	3
2.3. Schéma de barrière de puits	3
2.4. Quantité de barrière de puits	3
2.5. Vérification des éléments de barrière de puits	4
2.6. Contrôle de puits	4

Accident = Un événement, non souhaité, aléatoire et fortuit, qui apparaît à la suite d'une ou plusieurs causes, et qui entraîne des dommages vis-à-vis des personnes, des biens ou de l'environnement.

Incident = Événement inattendu ayant une faible influence (à la différence de l'accident qui en a une forte) ou événement peu important en lui-même, mais susceptible d'entraîner de graves conséquences

1. Objectif

L'industrie du forage et d'opération de puits a montré durant les dernières dizaines d'années qu'une attention toute particulière à la sûreté technique de puits était nécessaire, pour maintenir le risque de fuite et de perte de contrôle à un niveau acceptable.

L'objectif étant que les équipes soient aussi focalisées sur la sûreté de puits, et non pas uniquement sur une stratégie de SSE générale (santé, sécurité, environnement).

Cette approche peut être comparée à ce qui a été développé dans l'aviation pour assurer la sûreté durant un vol, ou dans l'industrie nucléaire pour assurer la sûreté nucléaire d'une installation.

De plus l'industrie du forage et d'opérations de puits contient une variable spécifique, qui est l'incertitude associée à la connaissance du sous-sol. Cette incertitude est l'une des principales raisons pour choisir un concept de "barrière de sûreté", qui ne dépend aussi peu que possible, de la géologie et des conditions du sous-sol.

Ce document présente les principes généraux qui permettent d'assurer une sûreté de puits durant tout le cycle de vie d'un puits.

Référence est faite aux normes ISO 16530-1, NORSOK D-010 et WEG Bohrungsintegritat.

2. Principes de sûreté de puits

2.1. Barrière de puits

Une barrière de puits est un ensemble d'éléments qui peuvent empêcher un flux incontrôlé ou involontaire de fluide du sous-sol.

Une barrière de puits est faite de plusieurs éléments (tubage, ciment, vannes, roche...), qui sont construits, installés, testés et surveillés pour remplir leur fonction.

2.2. Principes de design

- *Les barrières de puits doivent être positionnées aussi proche que possible de la source de fluide du sous-sol.*
- *Les barrières de puits doivent être indépendantes*
- *Les barrières de puits doivent être capable de résister aux pires scénarios de pression et température auxquels elles peuvent être exposées. Leur design doit être pour les pires scénarios, et non pas pour les scénarios les plus probables.*
- *Les barrières de puits doivent être construites de telle sorte qu'une simple défaillance ne puisse pas engendrer un flux incontrôlé de fluide du sous-sol.*
- *Les barrières de puits doivent être vérifiées, testées et surveillées autant que possible.*
- *En cas de perte d'une barrière, toutes les activités conduites le seront dans l'objectif de ré-établir une nouvelle barrière.*
- ...

2.3. Schéma de barrière de puits

Pour les activités critiques, des schémas de barrières de puits seront construits en accord avec les principes des normes WEG Bohrungsintegrität ou NORSOK D-010 rev.4.

2.4. Quantité de barrière de puits

La stratégie suivante sera suivie:

L'utilisation d'une seule barrière en cas de:

- *Puits exposé à des pressions hydrostatiques uniquement*
- *Puits exposé à des pressions anormales, mais dans des formations géologiques sans potentiel d'écoulement*
- *Isolation entre différentes formations géologiques*

L'utilisation de deux barrières en cas de:

- *Puits exposé à des pressions anormales, avec potentiel d'écoulement*

- Puits exposé à des fluides dangereux avec potentiel d'écoulement (eau contaminante, H₂S, hydrocarbures...)

Un élément de barrière de puits peut être partagé entre deux barrières pour une durée limitée à condition que:

- *Aucune autre solution technique ne puisse être raisonnablement mise en place*
- *Une analyse de risque spécifique soit conduite pour minimiser le risque associé à cette situation.*

En cas de dégradation d'une barrière, la modification du niveau de risque sera réévaluée avant de continuer les opérations.

2.5. Vérification des éléments de barrière de puits

Un test de pression doit être effectué à l'installation de tout nouvel élément de barrière de puits, et avant d'être exposé à une pression différentielle, des fluides dangereux ou une température élevée.

Pour ce test de pression, les critères suivant doivent être suivis:

- *Le test doit être effectué dans la direction de l'écoulement, si possible.*
- *Le test doit durer au moins 20 min, après un test initial à faible pression.*
- *Le critère d'acceptation est une fuite nulle, cependant une faible variation (5% avec une tendance asymptotique) pour les effets de température et de compressibilité est tolérée.*

Roche:

La roche ou formation géologique à une profondeur donnée est considérée comme un élément de barrière. Celui-ci sera testé via FIT, LOT ou XLOT (Formation integrity test, leak off test, extended leak off test). Sa capacité de résistance sera extrapolée à partir de données ponctuelles, et les incertitudes associées à cette extrapolation seront incorporées.

2.6. Contrôle de puits

Les procédures spécifiques de contrôle de puits seront préparés par les sous-traitants (drilling contractor, sous-traitant d'intervention, sous-traitant de test de puits...) et vérifié par Ittigen Géothermie AG. Ainsi en cas de situation de control de puits, la situation pourra être normalisés de façon sûre, et adaptée aux spécificités des puits.

Des simulations de contrôle de puits seront effectuées sur le site, en accord avec les procédures des sous-traitants, et sous la supervision de Ittigen Géothermie AG.

Exploration - Évaluation géologique préliminaire

Puits Ittigen-01

Maître d'ouvrage: Nom

12-03-2018

Géologue: Nom

Chef de projet: Nom

Ce document est un exemple, qui est destiné à servir comme modèle d' "Évaluation géologique préliminaire" pour les projets et les opérations de forage/puits de géothermie profonde en phase d'exploration.

- 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 analyse géologique préliminaire 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. Ce document réunit aussi les informations géologiques nécessaires à la préparation du programme de forage.
- 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 une gestion du risque différente d'un puits d'eau non-artésien)
- Le contenu de ce document est fictif et doit être remplacé avec des informations actuelles.
- Ce document constitue un socle pour la préparation du programme de forage.

Abréviation / Terminologie.....	3
1. Information générale.....	4
1.1. Information clés.....	4
1.2. Stratégie.....	5
1.3. Objectifs	5
2. Description de la zone d'intérêt et des objectifs	6
2.1. Géologie régionale.....	6
2.2. Description de la zone d'intérêt géologique	7
3. Évaluation géologique / Géophysique / réservoir	9
3.1. Modèle géologique et géophysique	9
3.2. Incertitudes géologique et géophysiques.....	10
3.3. Etudes de terrain.....	11
3.4. Modèle de réservoir et incertitudes (si existant)	Erreur ! Signet non défini.
3.5. Pronostic géologique	11
3.6. Pression de pore	11
3.7. Objectif géologique et critère d'arrêt de forage (TD).....	12
3.8. Puits de références et qualité des données	12
4. Stratégie d'acquisition de données.....	13
4.1. Objectifs	13
4.2. Obligations	13
4.3. Evaluation du réservoir	14
5. Evaluation économique	Erreur ! Signet non défini.

Abréviation / Terminologie

MD = measured depth = profondeur mesurée

TVD = True vertical depth = profondeur verticale réelle

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

GL = ground level = 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 sous-sol ; 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

1. Information générale

1.1. Information clés

Numéro de permis de recherche/exploration: [4738901872-MN-GEO-2017](#)

Zone du permis: [50 km²](#)

Date de fin du permis: [01.01.2023](#)

Maître d'ouvrage: [Ittigen Géothermie AG](#)

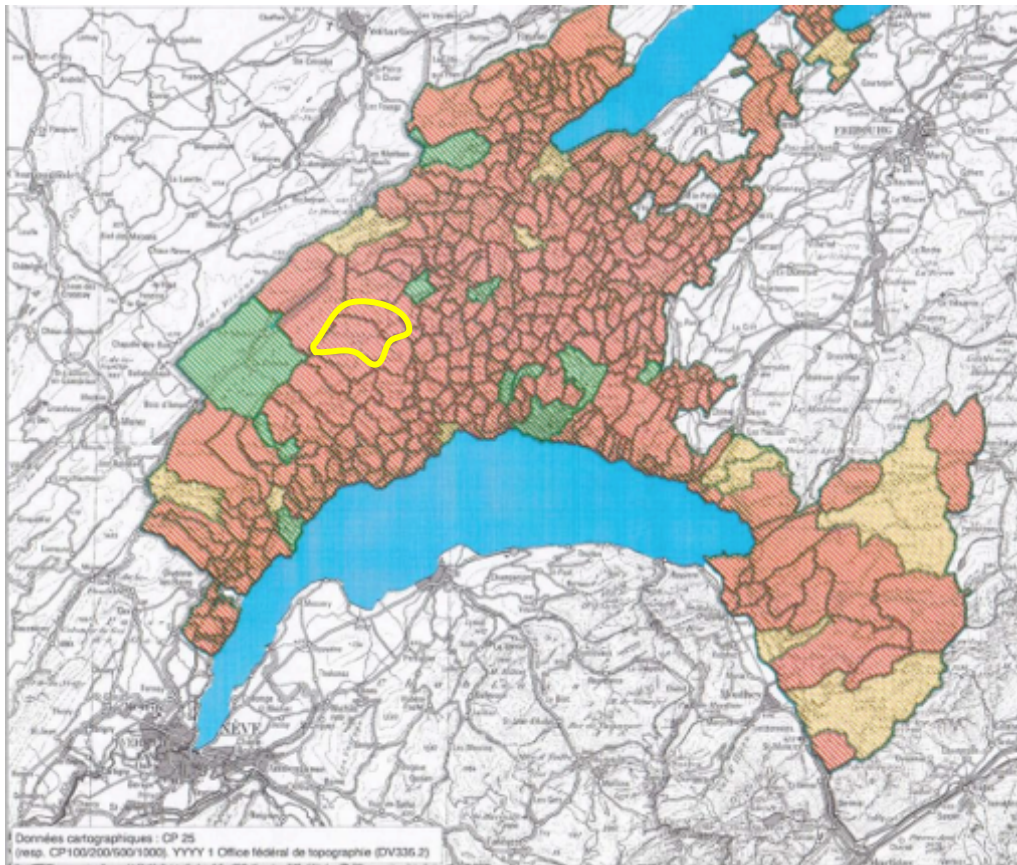
Structure géologique: [Massif d'Ittigen – Bassin Molassique / Préalpes](#)

Nom des puits: [Ittigen-01 / Ittigen-02](#)

Type de puits: [exploration](#)

Altitude à la vertical de l'objectif: [948 m au dessus du niveau de la mer](#)

Carte du permis: [en jaune sur la carte ci-dessous.](#)



Source: Canton de Vaud

1.2. Stratégie

La stratégie globale pour le permis BE-99877-ITTG-2019 est de prouver l'existence d'une anomalie géothermique significative générée par une circulation profonde dans le bassin molassique et au travers d'un réseau secondaire de fractures. Deuxièmement, la stratégie consiste à prouver la faisabilité d'une installation géothermique de 12 MW avec production d'électricité et chauffage urbain pour la ville de Ittigen.

Dans le Massif de Ittigen, sont connus des sources d'eau chaude (25 degrés) qui sont déjà exploitées pour du chauffage urbain dans le cadre du projet de développement de la ville. Sur la base de ce modèle de circulation d'eau, le Massif de Ittigen constitue un candidat à la réalisation d'un puits l'exploration. Le forage du puits est prévu pour Mai 2020.

Les résultats des forages géothermiques du Canton voisin de Thurgovie de 2019 constitueront une réduction du risque économique associé à l'exploration du Massif de Ittigen, en apportant des informations géologiques supplémentaires. Cette analyse sera alors mise à jours avec ces informations.

Le Massif de Ittigen se situe dans le Canton de Bern, dans les Préalpes. L'objectif géologique se situe à environ 4km au Nord du centre de la zone du permis.

Le Massif d'Ittigen et le puits Ittigen-01 sont considérés de risque "intermédiaire", grâce à l'existence de circulation d'eau dans la région. Cependant, les incertitudes associées au réservoir en profondeur ne permettent pas de réduire ce risque à un niveau inférieur.

Les données sismiques montrent que la structure géologique, ou cette circulation a lieu, s'étend jusqu'à l'objectif du puits Ittigen-01, et à une profondeur où la température devrait atteindre les 152 degrés. Cependant ces données sismiques n'ont pas permis d'évaluer l'impact des fractures naturelles dans cette zone.

L'exploration du Massif de Ittigen avec le puits Ittigen-01 constitue un compromis entre "profondeur du réservoir", "température" et "risques de forage". Plus à l'Est, la structure est plus profonde et pourrait contenir de l'eau plus chaude. Cependant, cet objectif demanderait de forer des formations connues pour être très résistantes, et donc de rencontrer des difficultés de forage importantes.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- Carte détaillée de la zone de permis, avec emplacement des objectifs des puits.
- Différentes coupes géologiques de l'objectif

1.3. Objectifs

Les objectifs pour l'exploration du Massif de Ittigen sont:

- *Vérifier la circulation profonde de l'eau géothermique*
- *Prouver la faisabilité de production et injection jusqu'à un débit de 6.000m³/jour, et d'une température d'eau en surface au dessus de 150 degrés.*
- *Tester le potentiel du Massif avant la fin du permis de recherche*
- *Collecter des informations géologiques pour les futurs projets d'exploration dans les Préalpes.*

Commentaire: la définition de ces objectifs est clé, car elle dirige la stratégie d'exploration globale, ainsi que tous les ajustements futurs qui y seront portés.

2. Description de la zone d'intérêt et des objectifs

Ce chapitre vise à prouver une connaissance géologique et géophysique robuste, présenter le travail réalisé, et documenter les conditions du sous-sol et leurs incertitudes.

2.1. Géologie régionale

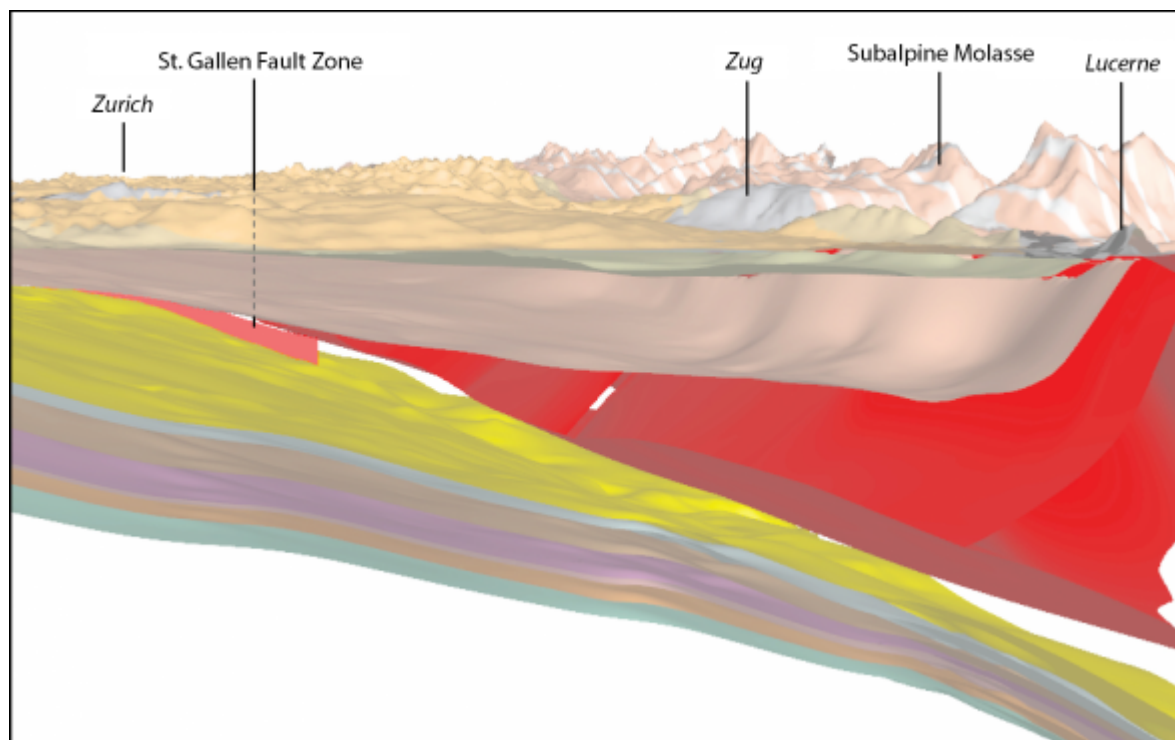
La géologie régionale du Canton de Bern et de Fribourg consiste en...

...

Dans cette région, la zone d'intérêt se situe...

...

Celle-ci est présentée dans les coupes suivantes de...



Source: swisstopo

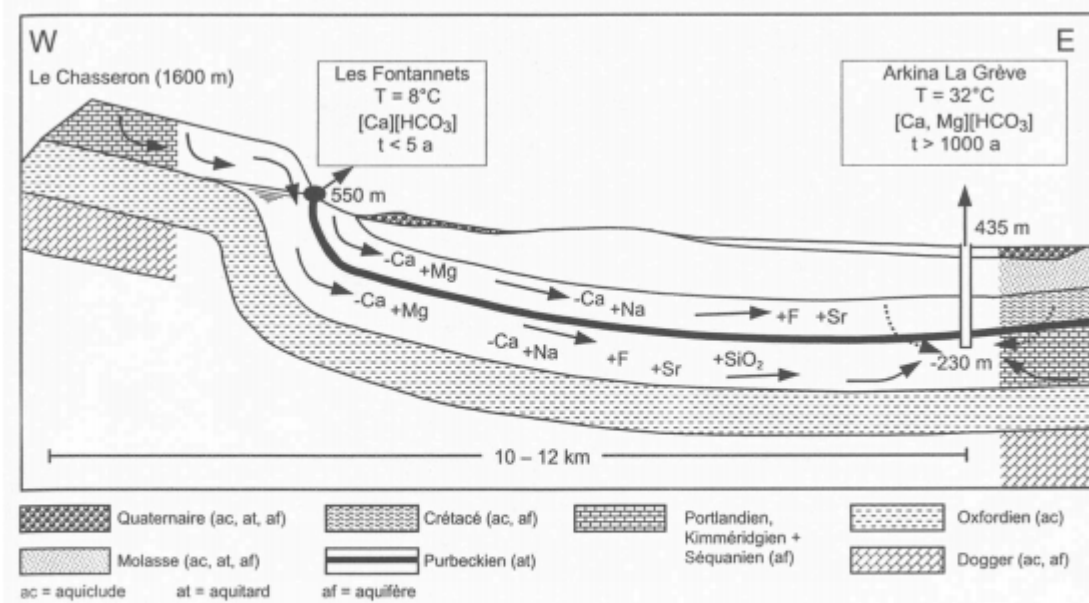
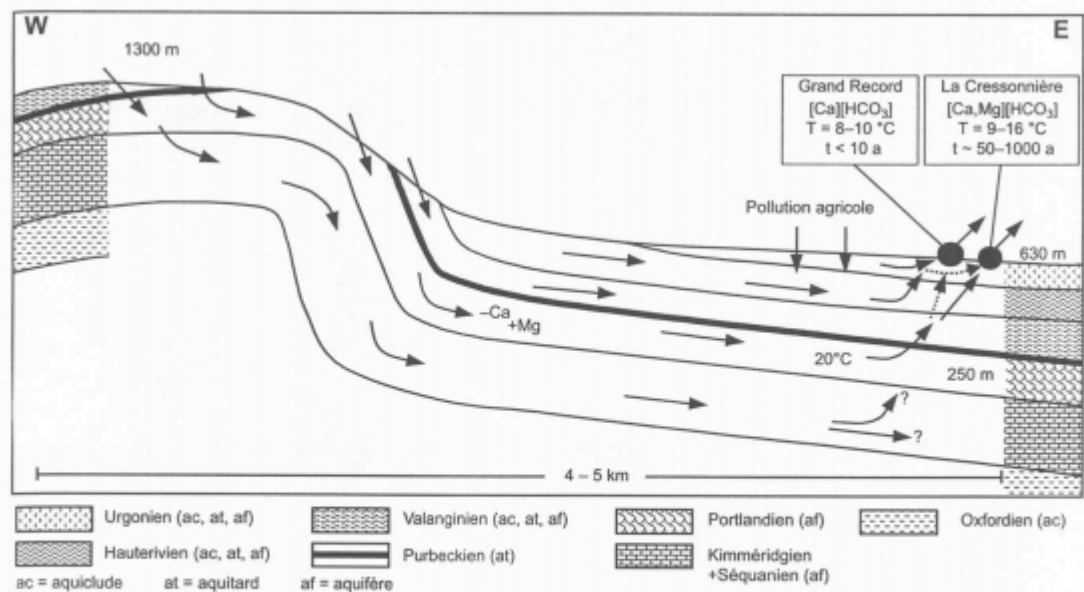
Etc...

2.2. Description de la zone d'intérêt géologique

Le massif de Ittigen est représenté par une large structure plongeante dans une direction Nord, à environ 50 km des Préalpes. La structure est fortement plissée dans la partie Sud et Est, qui en marque la limite.

Pour les deux modèles conceptuels principaux, le chargement en eau de la structure a lieu dans les Alpes et les Préalpes dans la région de Napf.

Les deux "modèles conceptuels" principaux sont représentés par les schémas ci-dessous:

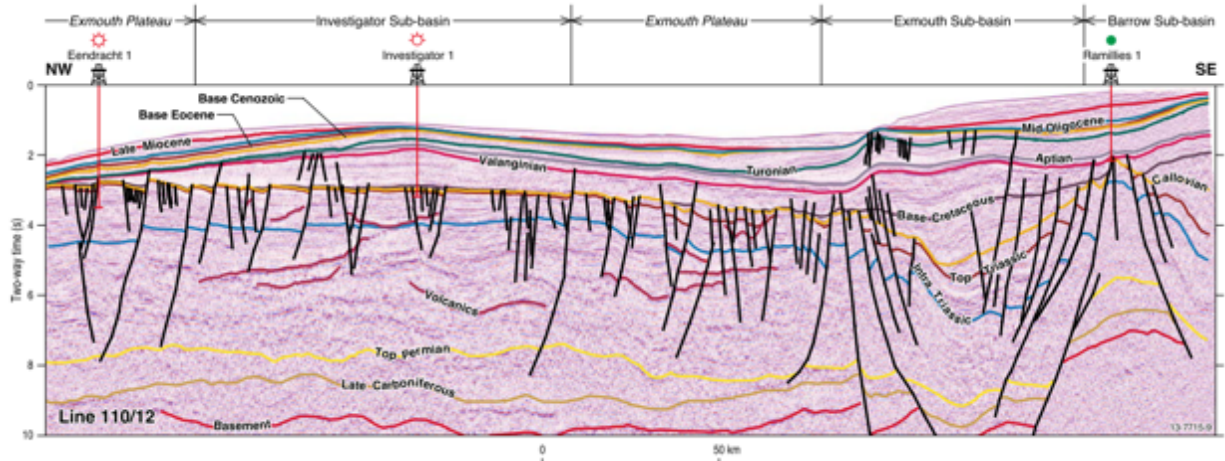


Source: Potentiel géothermique du Canton de Vaud; Muralt 1999

Données sismiques:

Les données sismiques interprétées sont présentées ci-dessous. Celles-ci montrent une faille majeure à l'endroit même où une forte conductivité est attendue...

Une trajectoire de puits est présentée sur cette coupe.



Source: wikipedia

Le choix de l'objectif du puits permettra de tester les circulations d'eau provenant des zones de Napf, Stockhorn et Eider. Il n'a pas été possible de trouver un objectif permettant de tester les 4 scénarios de circulation avec un même puits.

Le scénario de circulation de la zone de Schrattenfluh a été évalué avec une probabilité moyenne/faible de fournir une conductivité suffisante pour l'exploitation géothermique. Ainsi le test des trois autres scénarios est l'option qui présente la plus grande chance de succès d'exploration.

etc....

3. Évaluation géologique / Géophysique

3.1. Modèle géologique et géophysique

Avant la réalisation du forage du puits Ittigen-01 ou Ittigen-02, et que les propriétés du réservoir soient prouvées, le modèle décrit ici se base principalement sur les analyses géologiques, les données sismiques, et sur des systèmes de circulation similaires au sein des Alpes.

L'origine de la circulation d'eau du massif de Ittigen a été principalement dé-risquée avec l'analyse de recharge sur les sites de ... et...

Les trajets de circulation ont été partiellement confirmés avec les données sismiques, cependant l'impact des failles majeures sur ces trajets est inconnu et pourrait affecter considérablement les circulations et le transfert de chaleur...

...

...
...
...

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *Les données géologiques et géophysiques réunies, et leurs interprétations*
- *Etudes de terrain*
- *Photos aériennes et satellite*
- *L'analyse de sources d'eau locales*
- *Analyses de minéraux*
- *etc...*

3.2. Incertitudes géologique et géophysiques

Le risque principal du massif de Ittigen réside dans la présence de fractures verticales significatives, à la fois conductrice et isolante (dépendant de la profondeur), qui pourraient être la raison de transfert d'eau rapide entre réservoirs très profonds et peu profonds.

Ces failles pourraient en fait imposer des trajets de circulation complexes, qui pourraient fortement impacter la compositions des eaux et la conductivité d'unités géologiques.

Celles-ci pourraient générer des fronts d'eau froide une fois la production du réservoir initiée. Etc...

...
...

Probabilité de succès:

La probabilité de rencontrer les paramètres du réservoir nécessaires pour parvenir à des débits de production/injection de 6.000m³ / jour, et une température en tête de puits de 133 degrés a été calculé à 19%. Les détails de cette probabilité sont présentés ci-dessous:

- *Présence de l'aquifère à 2800m TVD - probabilité: 0,75*
- *Température du réservoir de 142 degrés - probabilité: 0,7*
- *Perméabilité permettant une production de 6.000m³/jour - probabilité: 0,4*
 - *Perméabilité permettant une injection sûre au même débit - probabilité: 0,9*

etc...

3.3. Etudes de terrain

Une étude de terrain a été conduite et a identifié des failles majeures sur un axe NE-SW, avec des inclinaisons entre 20 et 45 degrés. Ces fractures devraient être rencontrées à 500 m TVD, 1.250 m TVD et 1.750m TVD, à la verticale de l'axe géologique.

Ainsi à 500 m TVD, des pertes sévères de fluide pourraient affecter le forage...

...
...

Les failles plus profondes pourraient générer des connections avec des aquifères moins et plus profonds. Ainsi, celles-ci pourraient être l'origine de surpressions ou sous-pressions localisées. L'impact sur le forage devrait être tel que...

...
...

La stabilité du sol en surface a été évaluée comme étant suffisante pour pouvoir mener les opérations de forage de façon sûre (installation de l'unité de forage).

3.4. Pronostic géologique

Le pronostic géologique a été évalué ci-dessous:

Toits des formations géologiques	profondeur (m TVD)	incertitude (m)
Sol	0	0
Formation xx	100	+/- 2
Formation yy	430	+/- 10
Molasse	1330	+/- 20
Faïlle de Thun	1800	+/- 100
Formation zz	2650	+/- 50
Massif de Ittigen	3320	+/- 60

La référence de ces profondeurs est l'altitude à la verticale de l'objectif géologique

3.5. Pression de pore

La éléments préliminaires d'évaluation de la pression de pores montrent une pression hydrostatique, avec un potentiel de variation de + 0,3 s.g. (densité) lors de forage au travers de

failles, qui pourrait mettre le puits en communication avec des formations sur-pressurisées distantes.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *Un graphique d'estimation de la pression de pores peut être inclus.*

3.6. Objectif géologique et critère d'arrêt de forage (TD)

Emplacement de l'objectif géologique:

Coordonnées géographiques: Latitude: *42 degré 12' 02" N (+ référence, ex WGS84)*

Longitude: *7 degré 01' 31" E*

Coordonnées UTM:

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

Est: *347 647 m*

Profondeur: *3380m TVD GL*

Élévation à la surface de cet emplacement: *660 m au dessus du niveau de la mer.*

Les critères d'arrêts de forage sont:

- *Profondeur de 3.500 m TVD GL atteinte.*
- *Identification de paramètres du réservoir suffisant pour l'exploitation du réservoir (débit et température)*

Les considérations initiales pour le choix d'un emplacement de forage en surface ont montré un certain niveau de complexité. Un travail plus approfondi est nécessaire et sera présenté dans le programme de forage.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *Plusieurs objectifs géologiques peuvent être présenté (générant différentes options de forage)*

3.7. Puits de références et qualité des données

Les puits de références présentés ci-dessous ont été utilisés pour cette évaluation géologique:

- *Puits d'exploration pétrolier situé à 4km au Sud Est (1960) - puits VD-4243534-DERT-3*
- *6 puits d'exploration situé dans les Alpes et les Préalpes (Autriche et Suisse)*
 - *Puits AF-334235-GH (1992)*
 - *Puits 4526334-GH Autriche (1984)*
 - *Etc.*

Un puits VS-23262493-DHS a été foré à plus de 3.000 m TVD GL en 2003, situé à 13 km au Nord-Ouest. Cependant l'accès au données de ce puits n'a pas été autorisé.

Qualité des données:

La qualité des données sismiques est bonne jusqu'à 2.000 m TVD. Cependant, au dessous de 3.000 m TVD, la qualité est considérée comme limitée, et l'interprétation est jugée difficile. De ce fait, pour les formations géologiques à la base du réservoir, leurs profondeurs et leur extension horizontales sont incertaines. Etc...

Il y a un contrôle limité sur la stratigraphie exacte dans les Préalpes à l'emplacement de l'objectif géologique. Ceci est dû à l'absence de continuité sismique avec les puits de référence. De plus, les observations et les analyses de terrain ont montré une stratigraphie complexe changeant rapidement sur une échelle de 100 m. etc.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *Qualité des données des puits de référence*
- *Qualité des données des études de surface*
- *Qualité des données photos satellites*

...

4. Stratégie d'acquisition de données

4.1. Objectifs

La stratégie consiste à collecter autant de données que possibles durant le forage (LWD, logging while drilling) pour réduire le coût d'acquisition de ces données en évitant des opérations de "wireline".

Durant le forage de la section de 12 ¼" et de 8 ½", l'évaluation des données de LWD sera faite en temps réel pour décider de réaliser un test de production. Il n'est donc pas possible de présenter une profondeur-objectif pour la réalisation des tests de production.

Les critères pour cette décision seront présentés dans le programme de forage.

Dans le cas où un test de production montrera un résultat positif, des opérations de diagrapie (sur câble) seront réalisées pour obtenir des données de haute résolution.

4.2. Obligations

La prise de carotte dans le réservoir est une obligation associée au permis de recherche du Canton de Ittigen, dans le cas de puits d'exploration ayant atteint leurs objectifs. C'est pourquoi, des carottes latérales seront collectées dans le réservoir en cas de succès.

L'acquisition de diagraphie de base sur l'ensemble du puits, autant de possible (GR, DENS/NEUT, caliper) est une obligation associée au permis de recherche du Canton de Ittigen. Ainsi, ces données seront collectées en LWD (logging while drilling) à partir de la section de 17 ½". Les équipements permettant de collecter ces données sur les sections moins profondes n'ont pas été trouvés sur le marché.

4.3. Evaluation du réservoir

Les propriétés du réservoir seront évaluées de façon préliminaire (avant le test de production) grâce aux informations de:

- *LWD et MWD - interprétation directe des paramètres du réservoir (porosité, perméabilité, fluide...)*
- *Surveillance des pertes de boue de forage (indication potentielle de conductivité du réservoir)*
- *Suppression du réservoir (indication potentielle de connectivité du réservoir)*
- *Paramètres de forage et stabilité du trou nu (indication potentielle du champ des contraintes et du potentiel de débits proche du puits)*

Le test de production préliminaire de 12h permettra d'évaluer:

- *Les propriétés du réservoir (perméabilité / porosité)*
- *L'étendue du réservoir*
- *Le volume du réservoir*
- *Les limites du réservoir*
- *Le débit de production attendu*
- *Le support en pression*
- *...*

Les tests de production supplémentaires permettront de:

- *Évaluer en détails l'étendue et les limites du réservoir*
- *Évaluer la capacité de recharge du réservoir*
- *Évaluer en détails les débits de production de d'injection*
- *...*

Les options de stimulation du réservoir seront présentées plus en détails dans le programme de forage.

Exploration - Programme de forage préliminaire

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 préliminaire" 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	3
1. Résumé.....	4
1.1. Informations clés de puits	4
1.2. Champ d'application des travaux	5
1.3. Critères de design - Normes	6
2. Géologie	6
2.1. Objectifs du puits	6
2.2. Eau du sous-sol (eau potable et eau exploitable)	7
2.3. Pronostic géologique	8
2.3.1. Lithologie	8
2.3.2. Coordonnées de l'objectif	8
2.3.3. Critère d'arrêt de forage (TD criteria)	9
2.3.4. Hydrocarbure, H ₂ S et CO ₂	9
2.4. Pronostic de pression et température.....	10
3. Forage.....	12
3.1. Site de forage.....	12
3.2. Unité de forage (foreuse)	12
3.3. Séquence des opérations	13
3.4. Design du puits	13
3.4.1. Général	13
3.4.2. Design du puits - cas de base.....	14
3.4.3. Tubage en cas d'imprévu	15
3.4.4. Analyse du design de tubage	15
3.4.5. Tolérance de "kick"	16
3.4.6. Emplacement du puits et de l'objectif du puits.....	17
3.4.7. Fluide de forage / simulation hydraulique	17
3.4.8. Cimentation	18
3.4.9. Trajectoire de forage	18
3.4.10. Durée des opérations	19
3.4.11. Abandon du puits (P&A)	21
3.5. Acquisition de données - diagraphies	21
3.5.1. MWD / LWD et diagraphie.....	21
3.5.2. Test de production	22
4. Gestions des risques et des dangers	23
4.1. Stratégie	23
4.2. Barrière de puits	23
5. Organisation.....	24

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 diagraphe)

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 degrés (N-NE)*

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

Profondeur finale prévue: *3.500 m TVD RKB*

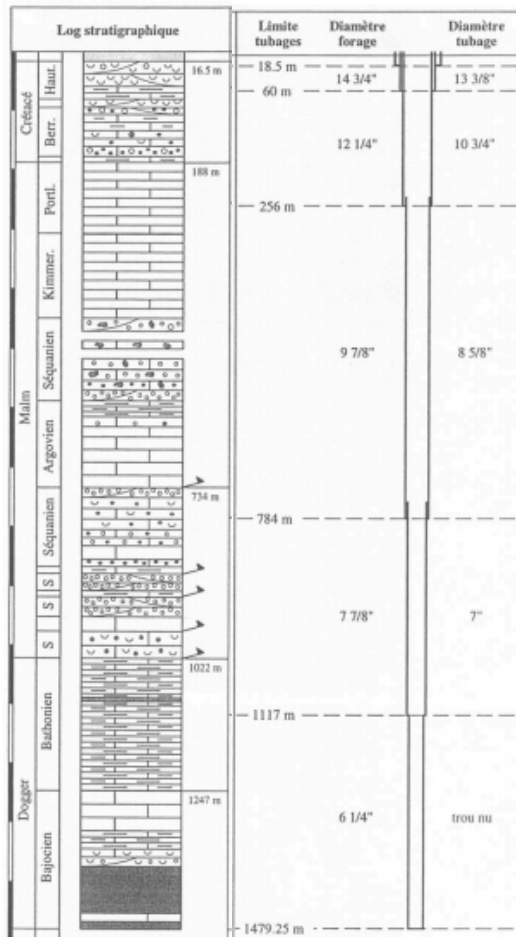
Formation géologique à la profondeur finale: *Massif de Ittigen/ inconnue*

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.

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.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).*

2.3.Pronostic géologique

2.3.1.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

...

...

...

...

...

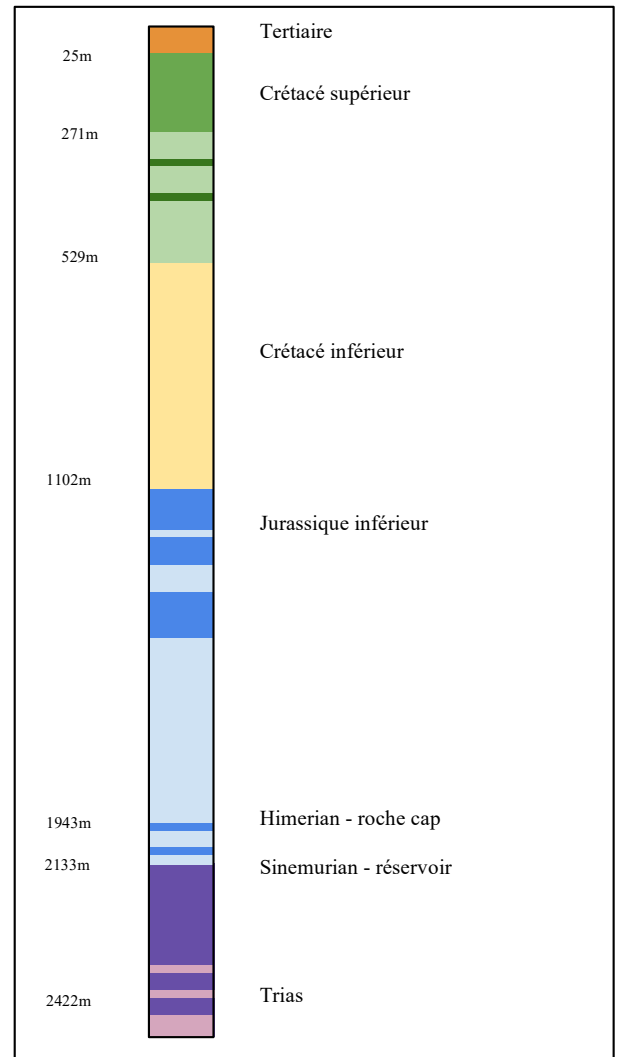
...

...

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.*



2.3.2.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.*

2.3.3.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.*

2.3.4.Hydrocarbure, H₂S et CO₂

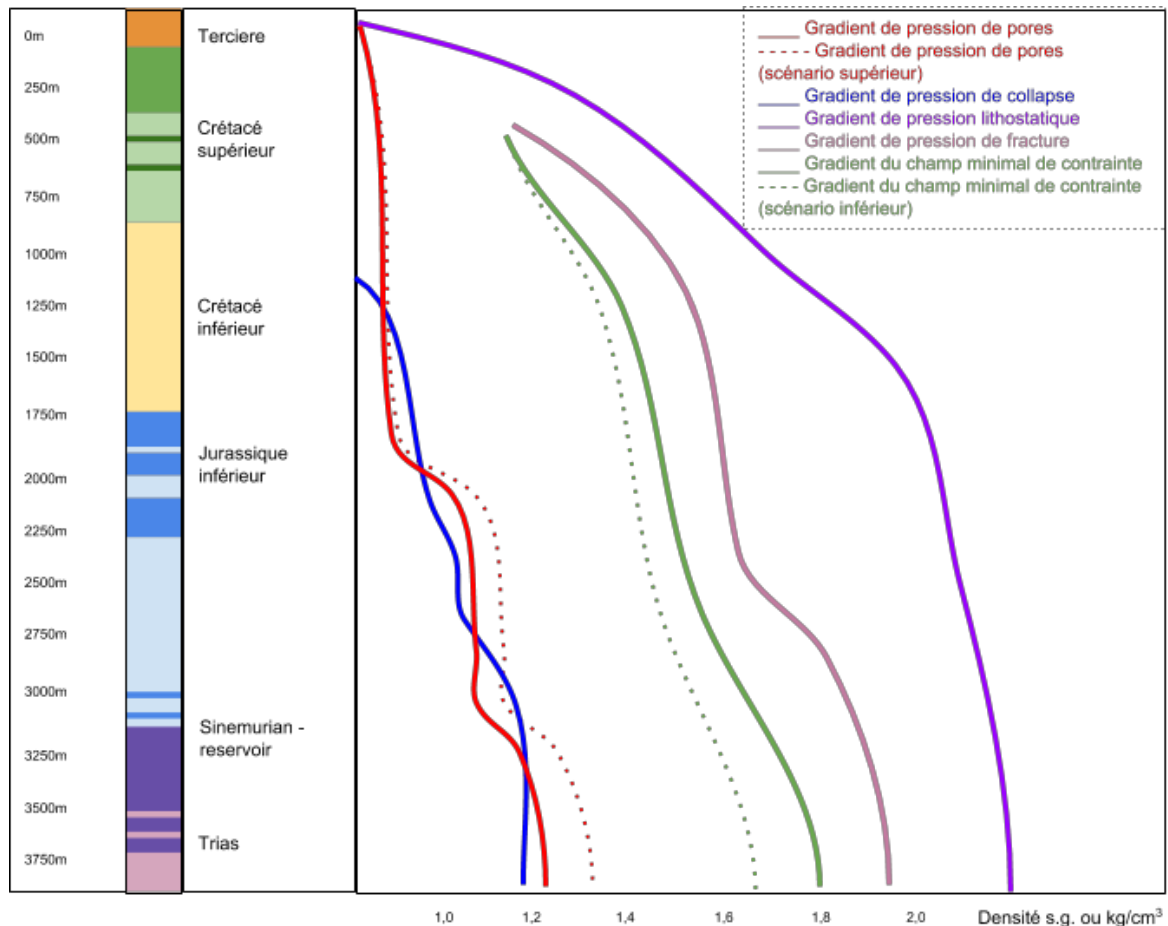
Il y a un risque de présence de H₂S à faible concentration au sein de la formation du Mont Cervin à 2.100m TVD RKB.

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.

2.4. Pronostic de pression et température

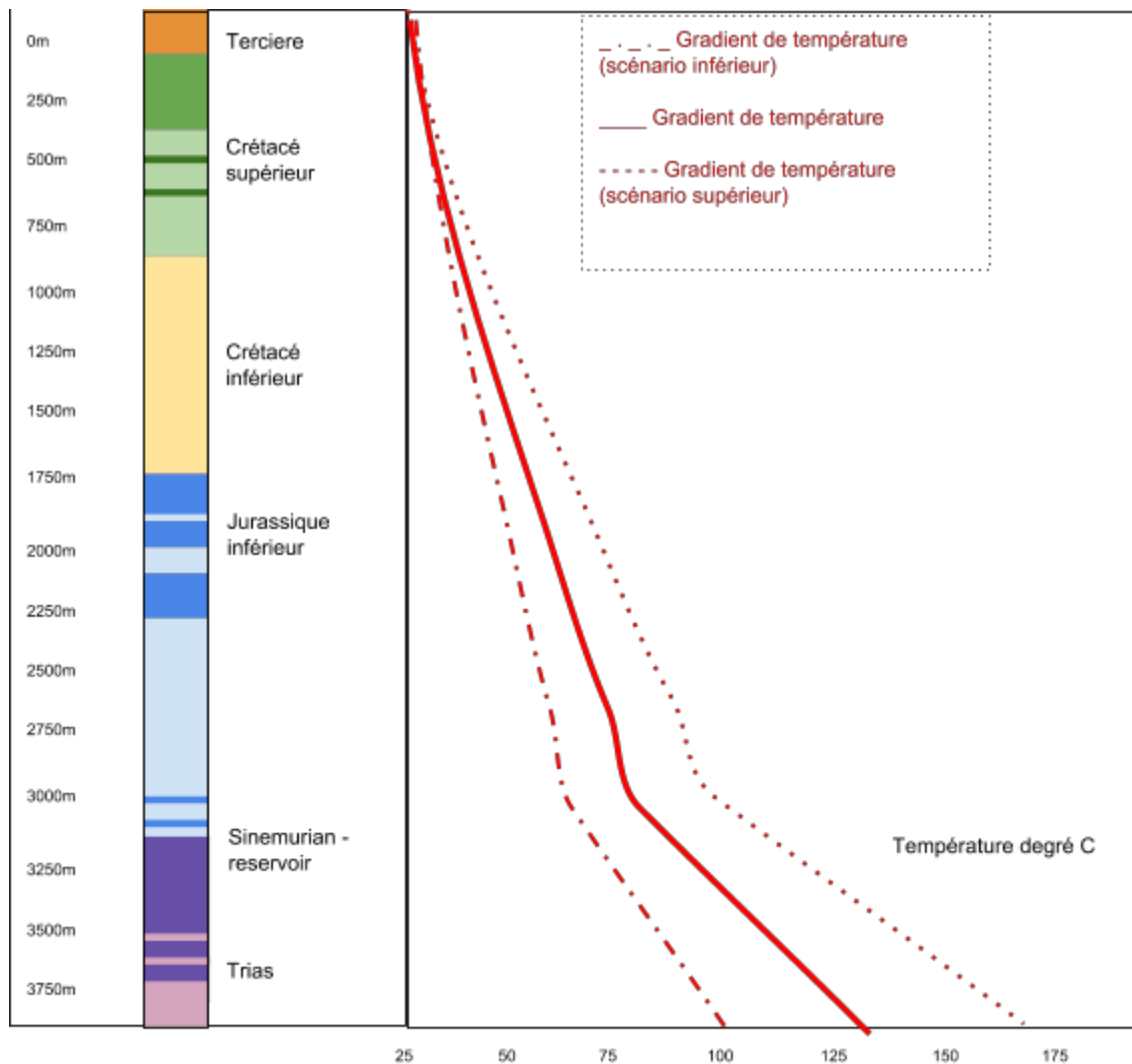
Le pronostic de pression est présenté ci dessous:



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*

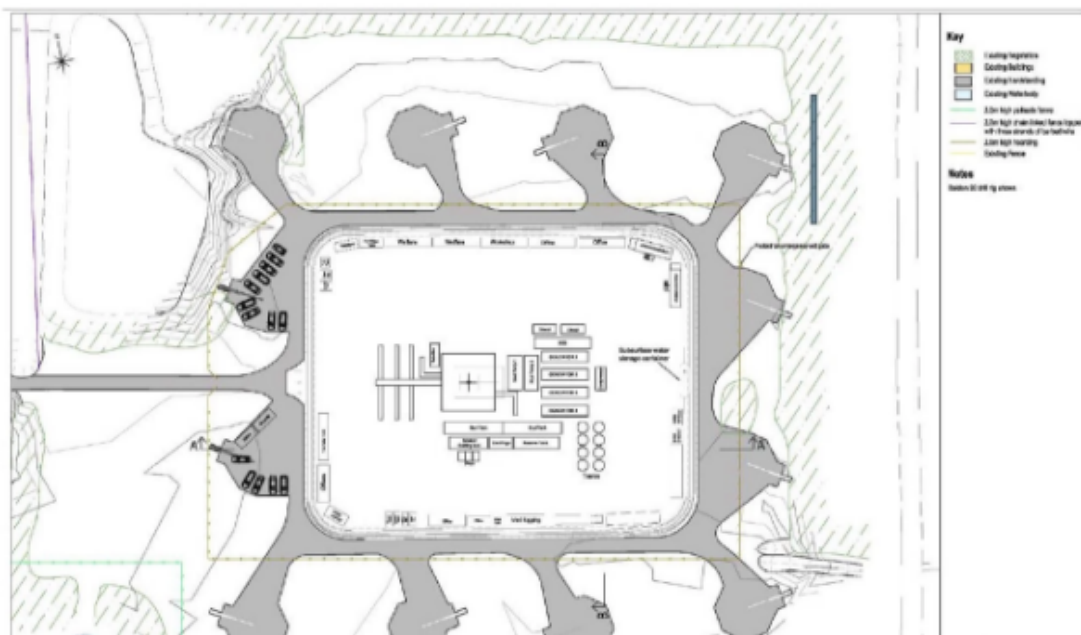
3. Forage

3.1.Site de forage

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

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.

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

3.2.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.Séquence des opérations

- Installation du tubage d'ancrage à 35m TVD RKB
 - Martelage
- Forage de la section de 26" et installation du tubage de 22" à 450m TVD RKB
 - Isolation des aquifères de surface
- Forage de la section de 16" et installation du tubage de 14" à 900m TVD RKB
 - Forage dévié
- Forage de la section de 12 ¼" et installation du tubage de 9 5/8" à 1600m TVD RKB
 - Forage incliné
- Forage de la section de 8 ½" et installation jusqu'à 2900m TVD RKB / objectif : aquifère réservoir du massif de Ittigen
 - Réalisation des diagraphies
 - Installation du liner de 7" : option de liner à fente / option de liner cimenté
- Test de production du réservoir
 - Test court / option de test long en cas de résultat positif
- Abandon du puits
 - Abandon définitif en cas de réservoir non-exploitable
 - Abandon temporaire en cas de réservoir exploitable

3.4.Design du puits

3.4.1.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 a 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.
-

Calcul de vérification

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

3.4.2.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:

Trou nu	Diamètre nominal Tubage inch	Grade	Poids (lbs/ft)	Type de connexion	Intervalle MD RKB	"Float shoe"	"Shoe track"
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 ¼"	14"	Q-125	114	Vam SLJII	6 - 1720m	oui	200m
12 ¼"	9 5/8"	P-110	62,8	Vam Top	6 - 2480m	oui	200m
8 ½"	7"	P-110		Vam Top	2420 - 2800m	oui	200m

3.4.3. Tubage en cas d'imprévu

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

- 16" liner
- 11 ¾" 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.

3.4.4. 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.

<i>Tubage</i>	<i>Poids et grade</i>	<i>connexion</i>	<i>Profondeur</i>	<i>Coefficient de sécurité - explosion</i>	<i>Coefficient de sécurité - effondrement</i>	<i>Coefficient de sécurité - axial</i>	<i>Coefficient de sécurité - triaxial</i>
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.*

3.4.5.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.

<i>Taille du trou nu</i>	<i>intervalle</i>	<i>Densité de la boue de forage</i>	<i>Champ des contraintes FIT / LOT</i>	<i>Pression max de pore / attendue</i>	<i>Pression de fracture max / attendue</i>	<i>Tolérance de kick</i>
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...*

3.4.6.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*

3.4.7.Fluide de forage / simulation hydraulique

Les fluides qui seront prévu pour le forage sont présentés ci-dessous :

Section 26": *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*

Section 17" ½: *Eau claire + polymères et particules contre pertes; densité 1,03 - 1,05 sg*

Section de 12 ¼": *Boue à base d'eau, densité de 1,22 s.g.*

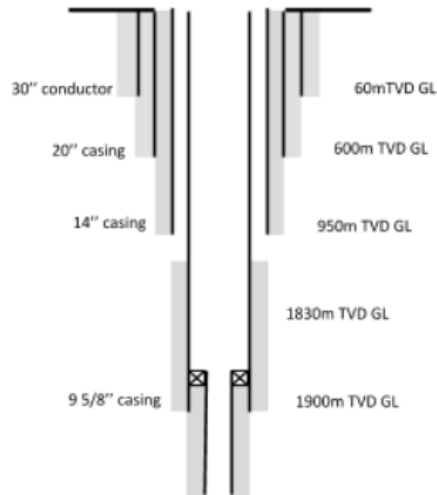
Section de 8 ½": *Boue à base d'eau, densité de 1,22 s.g.*

Les paramètres suivants pourront aussi être considérés:

- *Stratégie de fluide / risques spécifiques (pertes importante, composant de fluide spécial)*

3.4.8.Cimentation

Le programme de cimentation est présenté dans le schéma ci-dessous :

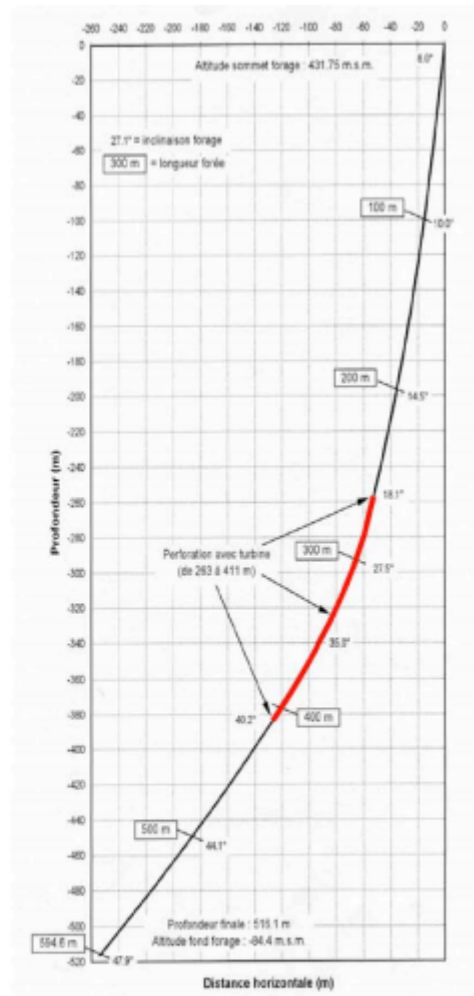


Les paramètres suivants pourront aussi être considérés:

- *Stratégie de cimentation / risques spécifiques (ciment spécial, cimentation étagée...)*

3.4.9.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:

- Risques spécifiques associés au forage directionnel

3.4.10. 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.

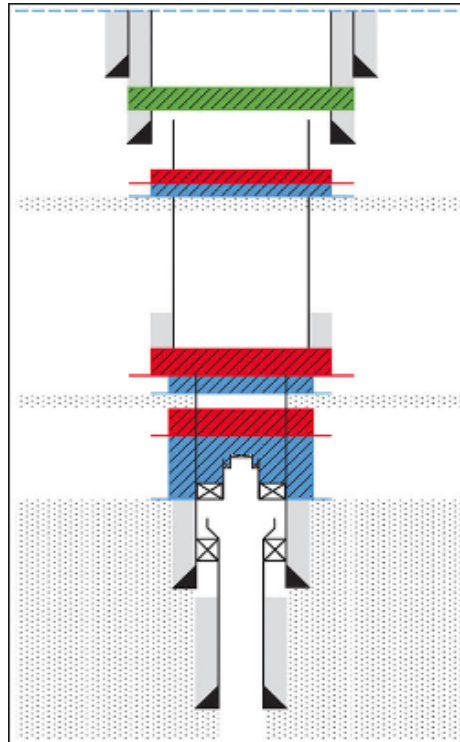
Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

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

3.4.11.Abandon du puits (P&A)

Plan d'abandon permanent

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.*

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.

4. Gestions des risques et des dangers

4.1.Stratégie

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.

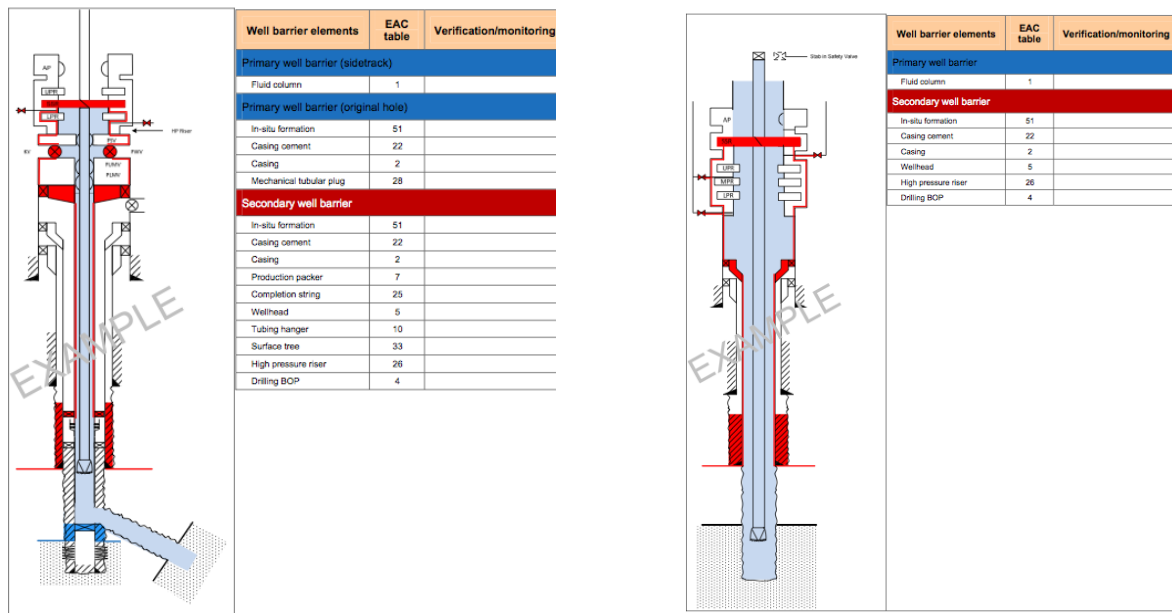
Les risques les plus important identifiés pour les opérations de ce puits sont:

- *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*

4.2.Barrière de puits

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

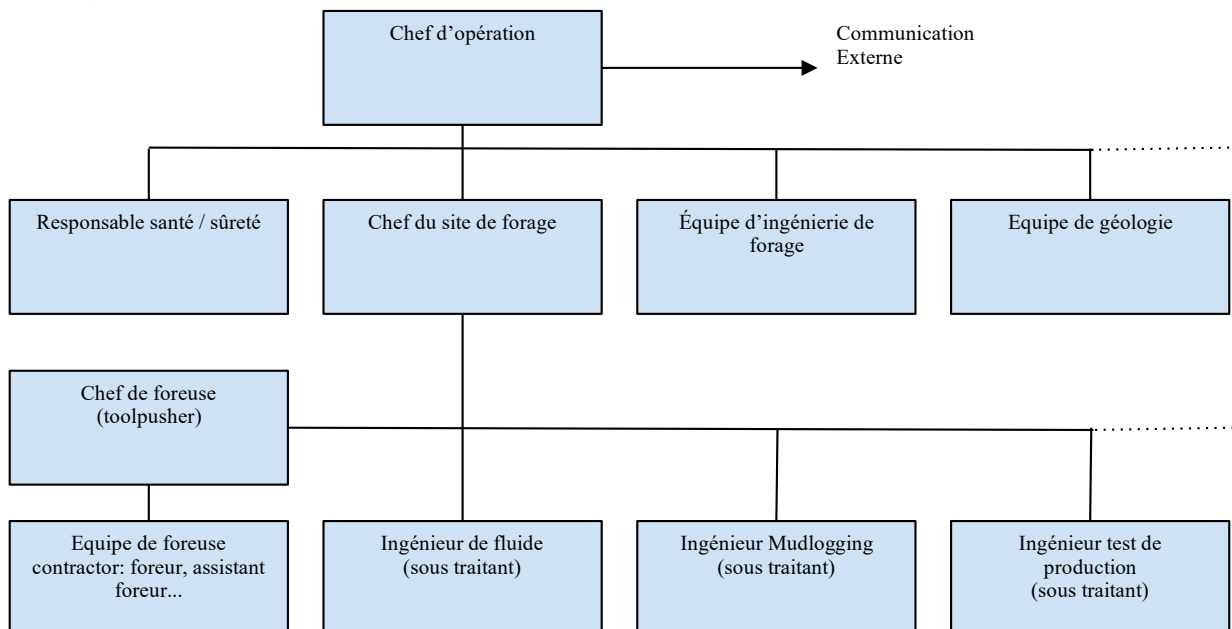
- *Forage de l'aquifère réservoir - section de 8 ½"*
- *Puits complété- en exploitation*
- *Puits abandonné*



Source: NORSOK D-010 rev.3

5. Organisation

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



Exploration - Évaluation géologique - Puits Ittigen-01

Maître d'ouvrage: Nom

12-03-2018

Géologue: Nom

Chef de projet: Nom

Ce document est un exemple, qui est destiné à servir comme modèle d' "Évaluation géologique" pour les projets et les opérations de forage/puits de géothermie profonde en phase d'exploration.

- 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 analyse géologique 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. Ce document réunit aussi les informations géologiques nécessaires à la préparation du programme de forage.
- 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 une gestion du risque différente d'un puits d'eau non-artésien)
- Le contenu de ce document est fictif et doit être remplacé avec des informations actuelles.
- Ce document constitue un socle pour la préparation du programme de forage.

Abréviation / Terminologie.....	3
1. Information générale.....	4
1.1. Information clés.....	4
1.2. Stratégie.....	5
1.3. Objectifs	6
2. Description de la zone d'intérêt et des objectifs	6
2.1. Géologie régionale.....	6
2.2. Description de la zone d'intérêt géologique	7
3. Évaluation géologique / Géophysique / réservoir	11
3.1. Modèle géologique et géophysique	11
3.2. Incertitudes géologique et géophysiques.....	12
3.3. Etudes de terrain.....	12
3.4. Modèle de réservoir et incertitudes (si existant)	13
3.5. Pronostic géologique	14
3.6. Pression de pore	14
3.7. Objectif géologique et critère d'arrêt de forage (TD).....	15
3.8. Puits de références et qualité des données.....	15
4. Stratégie d'acquisition de données.....	16
4.1. Objectifs	16
4.2. Obligations	17
4.3. Evaluation du réservoir	17
5. Evaluation économique	18

Abréviation / Terminologie

MD = measured depth = profondeur mesurée

TVD = True vertical depth = profondeur verticale réelle

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

GL = ground level = 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 sous-sol ; 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

1. Information générale

1.1. Information clés

Numéro de permis de recherche/exploration: [4738901872-MN-GEO-2017](#)

Zone du permis: [50 km²](#)

Date de fin du permis: [01.01.2023](#)

Maître d'ouvrage: [Ittigen Géothermie AG](#)

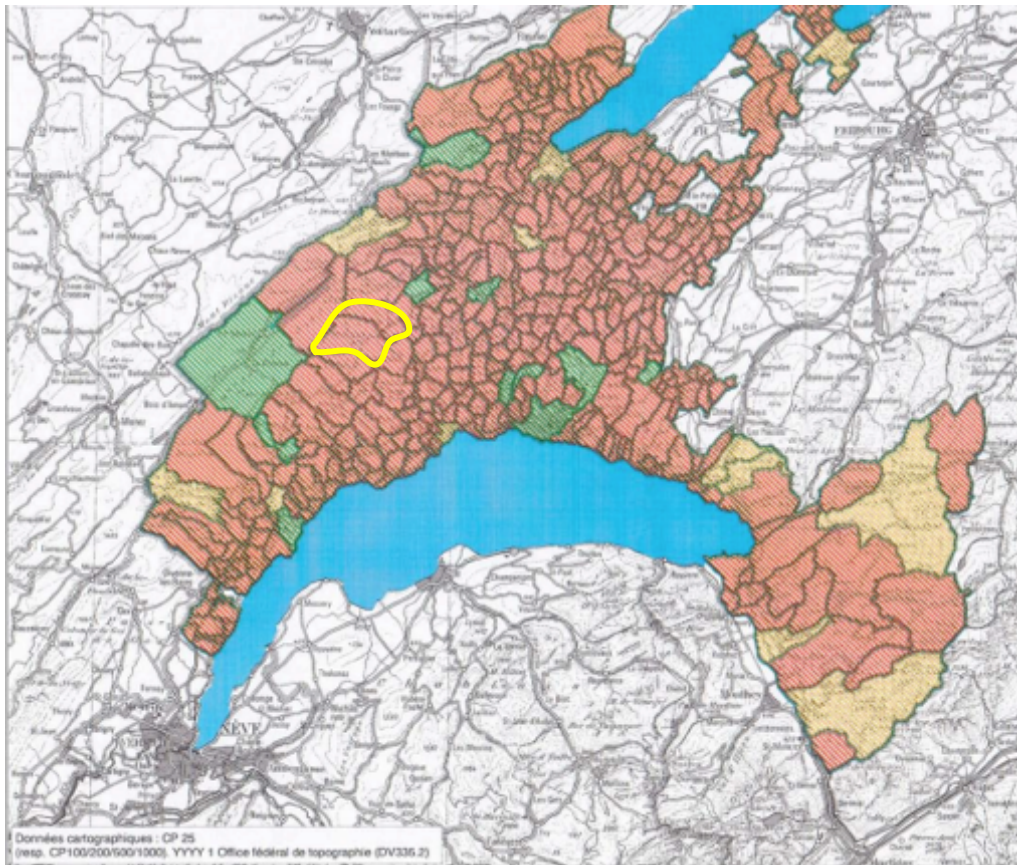
Structure géologique: [Massif d'Ittigen – Bassin Molassique / Préalpes](#)

Nom des puits: [Ittigen-01 / Ittigen-02](#)

Type de puits: [exploration](#)

Altitude à la vertical de l'objectif: [948 m au dessus du niveau de la mer](#)

Carte du permis: [en jaune sur la carte ci-dessous.](#)



Source: Canton de Vaud

1.2. Stratégie

La stratégie globale pour le permis BE-99877-ITTG-2019 est de prouver l'existence d'une anomalie géothermique significative générée par une circulation profonde dans le bassin molassique et au travers d'un réseau secondaire de fractures. Deuxièmement, la stratégie consiste à prouver la faisabilité d'une installation géothermique de 12 MW avec production d'électricité et chauffage urbain pour la ville de Ittigen.

Dans le Massif de Ittigen, sont connus des sources d'eau chaude (25 degrés) qui sont déjà exploitées pour du chauffage urbain dans le cadre du projet de développement de la ville. Sur la base de ce modèle de circulation d'eau, le Massif de Ittigen constitue un candidat à la réalisation d'un puits l'exploration. Le forage du puits est prévu pour Mai 2020.

Les résultats des forages géothermiques du Canton voisin de Thurgovie de 2019 constitueront une réduction du risque économique associé à l'exploration du Massif de Ittigen, en apportant des informations géologiques supplémentaires. Cette analyse sera alors mise à jours avec ces informations.

Le Massif de Ittigen se situe dans le Canton de Bern, dans les Préalpes. L'objectif géologique se situe à environ 4km au Nord du centre de la zone du permis.

Le Massif d'Ittigen et le puits Ittigen-01 sont considérés de risque "intermédiaire", grâce à l'existence de circulation d'eau dans la région. Cependant, les incertitudes associées au réservoir en profondeur ne permettent pas de réduire ce risque à un niveau inférieur.

Les données sismiques montrent que la structure géologique, ou cette circulation a lieu, s'étend jusqu'à l'objectif du puits Ittigen-01, et à une profondeur où la température devrait atteindre les 152 degrés. Cependant ces données sismiques n'ont pas permis d'évaluer l'impact des fractures naturelles dans cette zone.

L'exploration du Massif de Ittigen avec le puits Ittigen-01 constitue un compromis entre "profondeur du réservoir", "température" et "risques de forage". Plus à l'Est, la structure est plus profonde et pourrait contenir de l'eau plus chaude. Cependant, cet objectif demanderait de forer des formations connues pour être très résistantes, et donc de rencontrer des difficultés de forage importantes.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- Carte détaillée de la zone de permis, avec emplacement des objectifs des puits.
- Différentes coupes géologiques de l'objectif

1.3. Objectifs

Les objectifs pour l'exploration du Massif de Ittigen sont:

- *Vérifier la circulation profonde de l'eau géothermique*
- *Prouver la faisabilité de production et injection jusqu'à un débit de 6.000m³/jour, et d'une température d'eau en surface au dessus de 150 degrés.*
- *Tester le potentiel du Massif avant la fin du permis de recherche*
- *Collecter des informations géologiques pour les futurs projets d'exploration dans les Préalpes.*

Commentaire: la définition de ces objectifs est clé, car elle dirige la stratégie d'exploration globale, ainsi que tous les ajustements futurs qui y seront portés.

2. Description de la zone d'intérêt et des objectifs

Ce chapitre vise à prouver une connaissance géologique et géophysique robuste, présenter le travail réalisé, et documenter les conditions du sous-sol et leurs incertitudes.

2.1. Géologie régionale

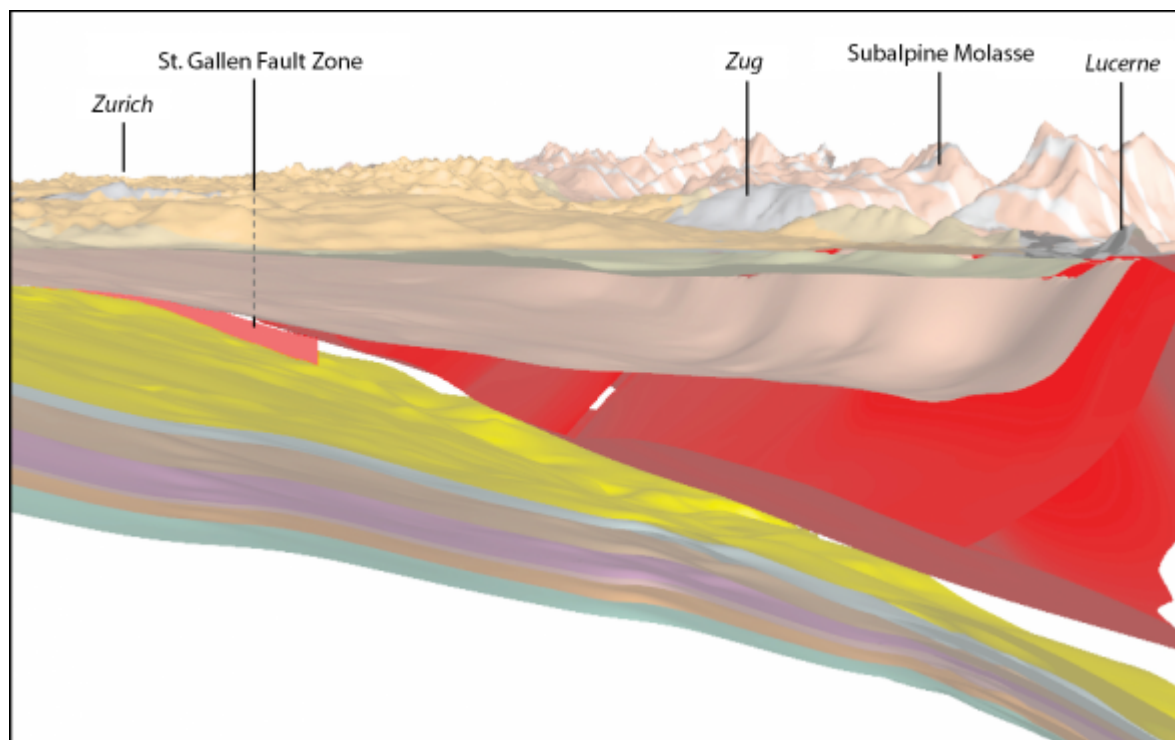
La géologie régionale du Canton de Bern et de Fribourg consiste en...

...

Dans cette région, la zone d'intérêt se situe...

...

Celle-ci est présentée dans les coupes suivantes de...



Source: swisstopo

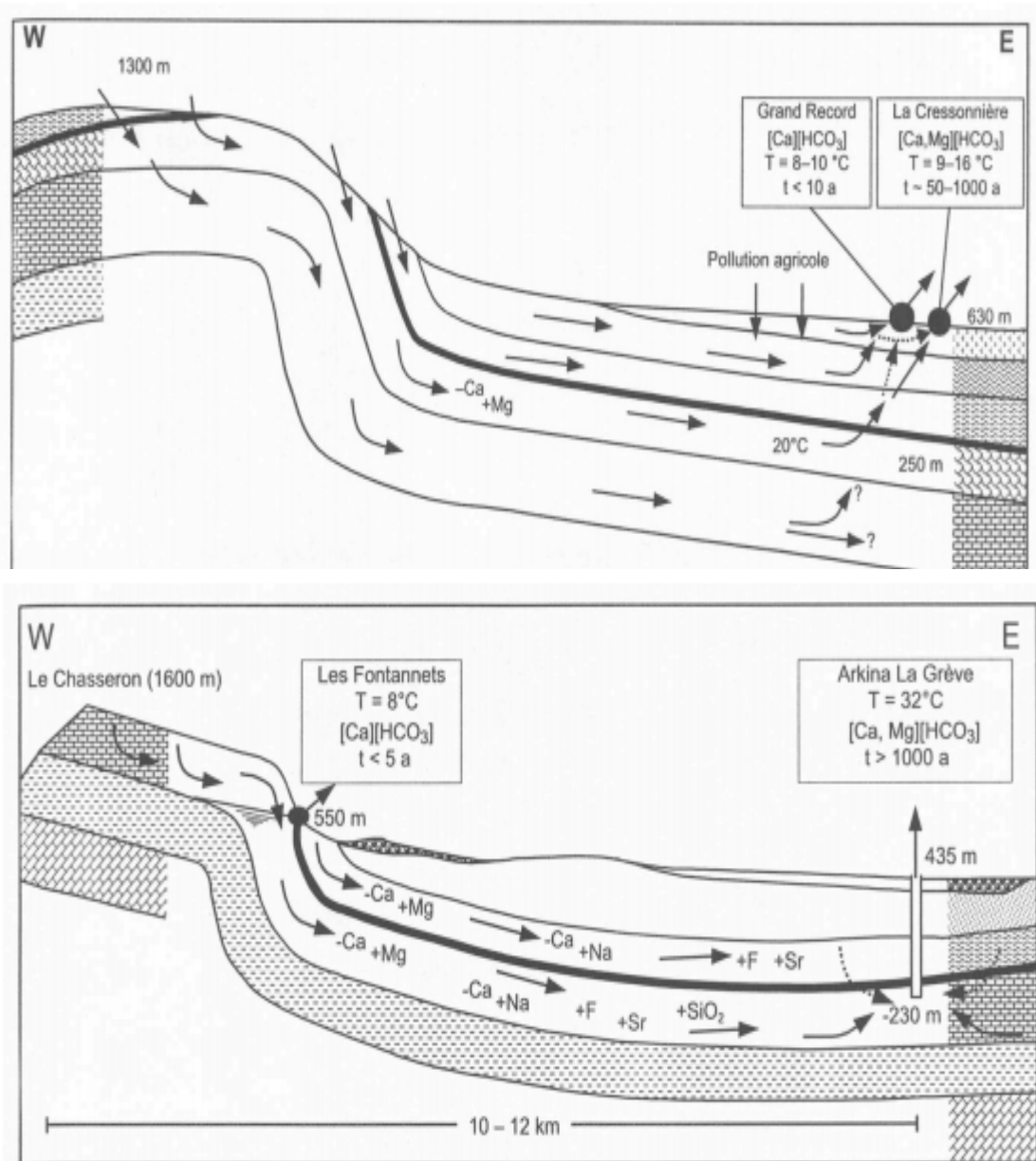
Etc...

2.2. Description de la zone d'intérêt géologique

Le massif de Ittigen est représenté par une large structure plongeante dans une direction Nord, à environ 50 km des Préalpes. La structure est fortement plissée dans la partie Sud et Est, qui en marque la limite.

Pour les deux modèles conceptuels principaux, le chargement en eau de la structure a lieu dans les Alpes et les Préalpes dans la région de Napf.

Les deux "modèles conceptuels" principaux sont représentés par les schémas ci-dessous:



Source: Potentiel géothermique du Canton de Vaud; Muralt 1999

D'autres modèles conceptuels ont aussi été étudiés. Ceux-ci s'étendent vers d'autres zones géologiques avec les zones de recharge d'eau suivantes:

- Zone du Stockhorn
- Zone du Eiger
- Zone de Schratteflu

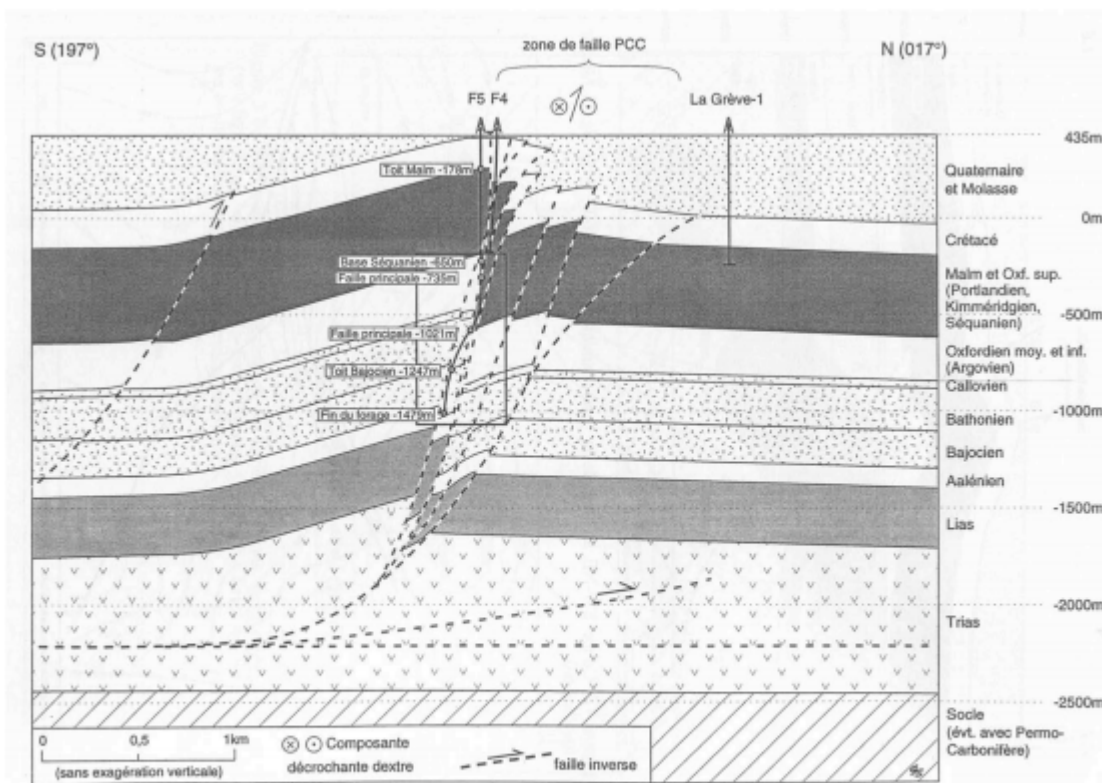
(Autre exemple de modèle conceptuel disponible à <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114003578>)

...

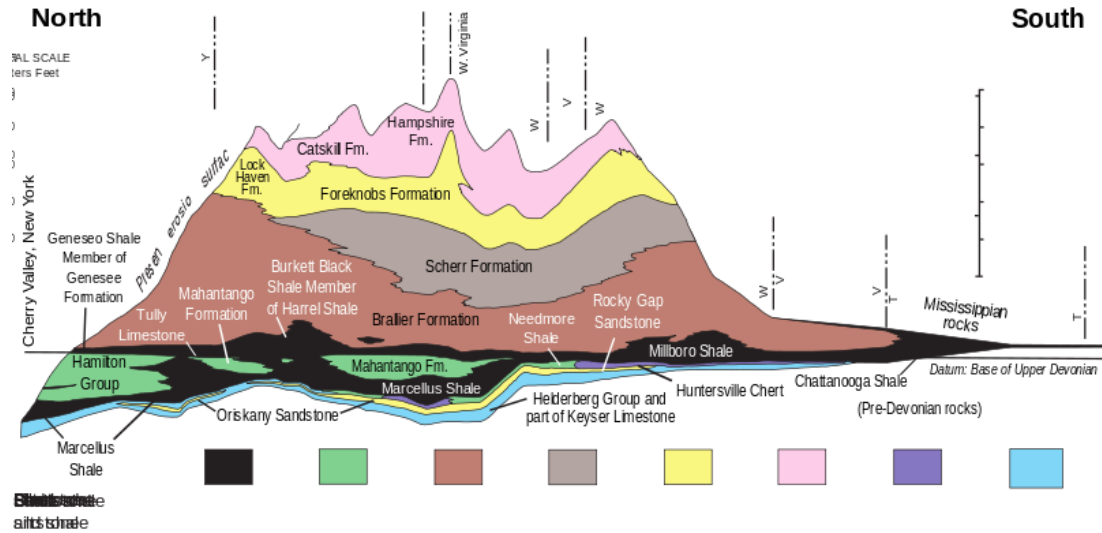
...

Dans le cas du modèle conceptuel de Napf, il a été évalué que les roches exposées ont une vitesse de chargement rapide, estimée à 2.000.000m³ par an. Pour le cas du Stockhorn, la vitesse de recharge a été évaluée à...
etc...

Ci-dessous, sont présentées les coupes géologiques pour les 3 scénarios alternatifs de circulation d'eau:



Source: Potentiel géothermique du Canton de Vaud; Vuataz et al. 1999



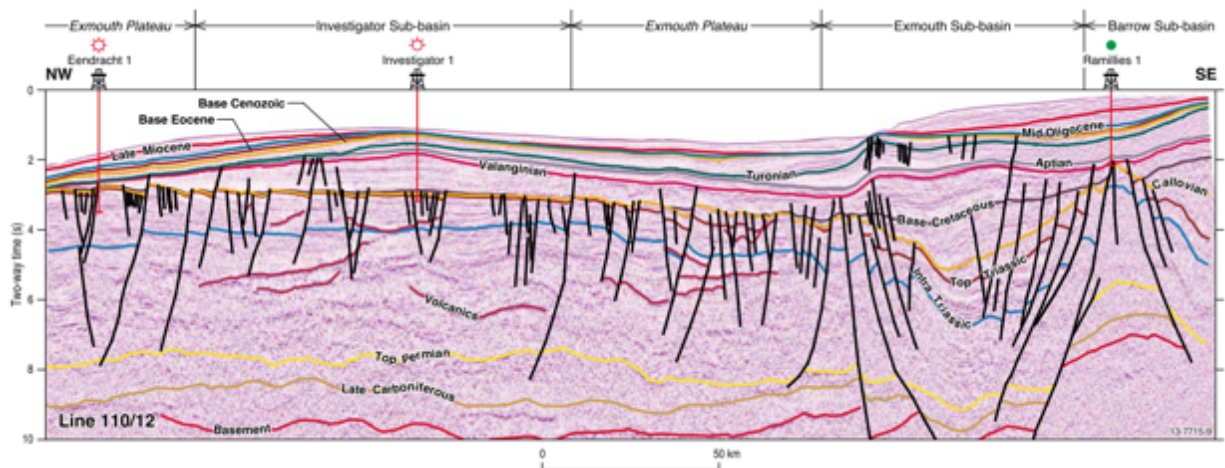
Source: wikipedia

Ces alternatives sont considérées comme ayant une connectivité réduite de l'aquifère profond, et ainsi moins probable de générer une circulation profonde suffisante pour une exploitation. De plus, une isolation géologique plus forte est attendue pour les formations exposées dans la zone du Eiger...

Données sismiques:

Les données sismiques interprétées sont présentées ci-dessous. Celles-ci montrent une faille majeure à l'endroit même où une forte conductivité est attendue...

Une trajectoire de puits est présentée sur cette coupe.



Source: wikipedia

Le choix de l'objectif du puits permettra de tester les circulations d'eau provenant des zones de Napf, Stockhorn et Eider. Il n'a pas été possible de trouver un objectif permettant de tester les 4 scénarios de circulation avec un même puits.

Le scénario de circulation de la zone de Schrattenfluh a été évalué avec une probabilité moyenne/faible de fournir une conductivité suffisante pour l'exploitation géothermique. Ainsi le test des trois autres scénarios est l'option qui présente la plus grande chance de succès d'exploration.

etc....

3. Évaluation géologique / Géophysique / réservoir

3.1. Modèle géologique et géophysique

Avant la réalisation du forage du puits Ittigen-01 ou Ittigen-02, et que les propriétés du réservoir soient prouvées, le modèle décrit ici se base principalement sur les analyses géologiques, les données sismiques, et sur des systèmes de circulation similaires au sein des Alpes.

L'origine de la circulation d'eau du massif de Ittigen a été principalement dé-risquée avec l'analyse de recharge sur les sites de ... et...

Les trajets de circulation ont été partiellement confirmés avec les données sismiques, cependant l'impact des failles majeures sur ces trajets est inconnu et pourrait affecter considérablement les circulations et le transfert de chaleur...

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

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- Les données géologiques et géophysiques réunies, et leurs interprétations*
- Etudes de terrain*
- Photos aériennes et satellite*
- L'analyse de sources d'eau locales*
- Analyses de minéraux*
- etc...*

3.2. Incertitudes géologique et géophysiques

Le risque principal du massif de Ittigen réside dans la présence de fractures verticales significatives, à la fois conductrice et isolante (dépendant de la profondeur), qui pourraient être la raison de transfert d'eau rapide entre réservoirs très profonds et peu profonds.

Ces failles pourraient en fait imposer des trajets de circulation complexes, qui pourraient fortement impacter la compositions des eaux et la conductivité d'unités géologiques.

Celles-ci pourraient générer des fronts d'eau froide une fois la production du réservoir initiée.

Etc...

...

...

Probabilité de succès:

La probabilité de rencontrer les paramètres du réservoir nécessaires pour parvenir à des débits de production/injection de 6.000m³ / jour, et une température en tête de puits de 133 degrés a été calculé à 19%. Les détails de cette probabilité sont présentés ci-dessous:

- Présence de l'aquifère à 2800m TVD - probabilité: 0,75*
- Température du réservoir de 142 degrés - probabilité: 0,7*
- Perméabilité permettant une production de 6.000m³/jour - probabilité: 0,4*
 - Perméabilité permettant une injection sûre au même débit - probabilité: 0,9*

etc...

3.3. Etudes de terrain

Une étude de terrain a été conduite et a identifié des failles majeures sur un axe NE-SW, avec des inclinaisons entre 20 et 45 degrés. Ces fractures devraient être rencontrées à 500 m TVD, 1.250 m TVD et 1.750m TVD, à la verticale de l'axe géologique.

Ainsi à 500 m TVD, des pertes sévères de fluide pourraient affecter le forage...

...

...

Les failles plus profondes pourraient générer des connections avec des aquifères moins et plus profonds. Ainsi, celles-ci pourraient être l'origine de surpressions ou sous-pressions localisées. L'impact sur le forage devrait être tel que...

...

...

La stabilité du sol en surface a été évaluée comme étant suffisante pour pouvoir mener les opérations de forage de façon sûre (installation de l'unité de forage).

3.4. Modèle de réservoir et incertitudes (si existant)

Le modèle de réservoir considère un volume de 20 millions de m³, s'étendant sur 140 km dans l'axe Nord-Sud et sur 7 km dans l'axe Est-Ouest.

L'épaisseur du modèle varie de 20 m à 550 m au niveau de l'objectif géologique.

Les formations géologiques représentées sont:

- *Le dogger supérieur*
- *Le dogger inférieur*
- *....*

La perméabilité attendue varie entre:

- *12mD - scénario pessimiste*
- *120mD - scénario optimiste*

Cet intervalle de perméabilité est basé sur...

Les conditions limites du modèle choisies sont:

- *Faïlle isolante au Sud...*
- *Connexion au support d'un aquifère profond au Nord, à pression quasi-constante.*

La résolution du modèle est de 10x10x1 mètre, avec une résolution affinée dans un rayon de 100m autour du puits de production et du puits d'injection...

Les simulations réalisées ont permis d'identifier que:

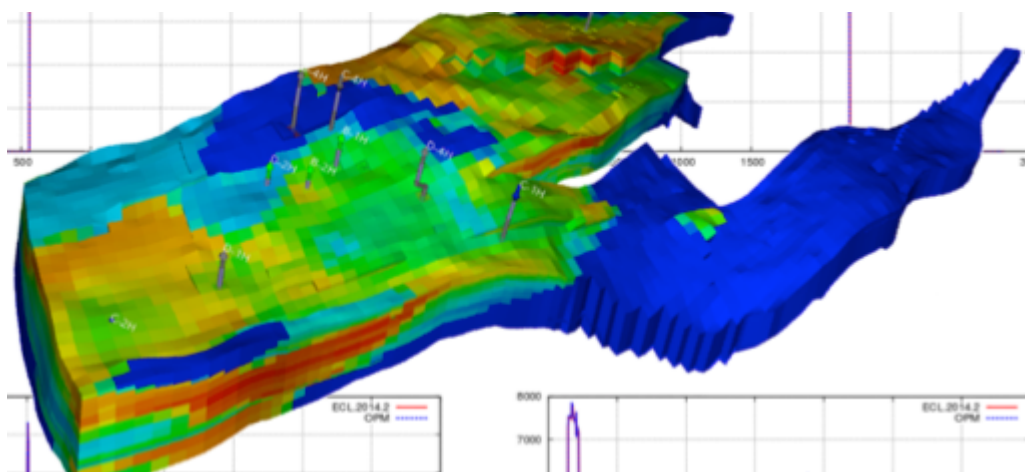
- *Un volume de réservoir de 23 millions de m³ serait le volume minimal nécessaire à une exploitation durable sur 30 ans.*
- *Une conductivité minimum de xxx est nécessaire pour limiter le rabattement du puits de production à 250 m.*
-

Les incertitudes du modèle de réservoir sont:

- *Perméabilité verticale...*

...

Ci dessous est représenté une capture d'écran du modèle de réservoir.



Source: opm-project.org (free licence)

3.5. Pronostic géologique

Le pronostic géologique a été évalué ci-dessous:

Toits des formations géologiques	profondeur (m TVD)	incertitude (m)
Sol	0	0
Formation xx	100	+/- 2
Formation yy	430	+/- 10
Molasse	1330	+/- 20
Faille de Thun	1800	+/- 100
Formation zz	2650	+/- 50
Massif de Ittigen	3320	+/- 60

La référence de ces profondeurs est l'altitude à la verticale de l'objectif géologique

3.6. Pression de pore

La éléments préliminaires d'évaluation de la pression de pores montrent une pression hydrostatique, avec un potentiel de variation de + 0,3 s.g. (densité) lors de forage au travers de failles, qui pourrait mettre le puits en communication avec des formations sur-pressurisées distantes.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *Un graphique d'estimation de la pression de pores peut être inclus.*

3.7. Objectif géologique et critère d'arrêt de forage (TD)

Emplacement de l'objectif géologique:

Coordonnées géographiques: Latitude: 42 degré 12' 02" N (+ référence, ex WGS84)

Longitude: 7 degré 01' 31" E

Coordonnées UTM:

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

Est: 347 647 m

Profondeur: 3380m TVD GL

Élévation à la surface de cet emplacement: 660 m au dessus du niveau de la mer.

Les critères d'arrêts de forage sont:

- Profondeur de 3.500 m TVD GL atteinte.
- Identification de paramètres du réservoir suffisant pour l'exploitation du réservoir (débit et température)

Les considérations initiales pour le choix d'un emplacement de forage en surface ont montré un certain niveau de complexité. Un travail plus approfondi est nécessaire et sera présenté dans le programme de forage.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- Plusieurs objectifs géologiques peuvent être présentés (générant différentes options de forage)

3.8. Puits de références et qualité des données

Les puits de références présentés ci-dessous ont été utilisés pour cette évaluation géologique:

- Puits d'exploration pétrolier situé à 4km au Sud Est (1960) - puits VD-4243534-DERT-3
- 6 puits d'exploration situé dans les Alpes et les Préalpes (Autriche et Suisse)
 - Puits AF-334235-GH (1992)
 - Puits 4526334-GH Autriche (1984)
 - Etc.

Un puits VS-23262493-DHS a été foré à plus de 3.000 m TVD GL en 2003, situé à 13 km au Nord-Ouest. Cependant l'accès au données de ce puits n'a pas été autorisé.

Qualité des données:

La qualité des données sismiques est bonne jusqu'à 2.000 m TVD. Cependant, au dessous de 3.000 m TVD, la qualité est considérés comme limité, et l'interprétation est jugée difficile. De ce

fait, pour les formations géologiques à la base du réservoir, leurs profondeurs et leur extension horizontales sont incertaines. Etc...

Il y a un control limité sur la stratigraphie exacte dans les Préalpes à l'emplacement de l'objectif géologique. Ceci est dû à l'absence de continuité sismique avec les puits de référence. De plus, les observations et les analyses de terrain ont montré une stratigraphie complexe changeant rapidement sur une échelle de 100 m. etc.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *Qualité des données des puits de référence*
- *Qualité des données des études de surface*
- *Qualité des données photos satellites*

...

4. Stratégie d'acquisition de données

4.1. Objectifs

La stratégie consiste à collecter autant de données que possibles durant le forage (LWD, logging while drilling) pour réduire le coût d'acquisition de ces données en évitant des opérations de "wireline".

Durant le forage de la section de 12 ¼" et de 8 ½", l'évaluation des données de LWD sera faite en temps réel pour décider de réaliser un test de production. Il n'est donc pas possible de présenter une profondeur-objectif pour la réalisation des tests de production.

Les critères pour cette décision seront présentés dans le programme de forage.

Dans le cas ou un test de production montrera un résultat positif, des opérations de diagaphie (sur câble) seront réalisées pour obtenir des données de haute résolution.

1) Durant le forage, les équipements de MWD (measurement while drilling) et LWD (logging while drilling) seront, au minimum:

- *GR (gamma ray) - DENS/NEUT (density/neutron) - RES (resistivity) - Borehole Image*
- *Pression et température: PWD & TWD (Pressure and temperature while drilling)*

Ces données sont nécessaires pour pouvoir identifier les formations durant le forage, et pour mesurer leur paramètres (porosité, fluides présents...)

Les équipements suivant pourront être potentiellement utilisés:

- *FPWD (Formation pressure while drilling)*

2) Dans les cas où les équipements de LWD et MWD montreront des indications positives:

- Un test de production de 12h sera réalisé

3) Dans le cas où le test de production montrera un résultat positif:

- Les diagraphies de haute résolution suivantes seront réalisées:
 - GR (gamma ray) - DENS/NEUT (density/neutron) - SONIC - RES (resistivity)
 - Magnetic resonance - Sonic scanner - Ultrasonic borehole image - multifinger caliper
 - Carottes latérales dans le réservoir
- Un test de production long sera réalisé.
 - Un test de production de 36h
 - Un arrêt et observation de 36h
 - Un test de production de 36h à différents débits
 - Un test d'injection de 36h

Etc...

4.2. Obligations

La prise de carotte dans le réservoir est une obligation associée au permis de recherche du Canton de Ittigen, dans le cas de puits d'exploration ayant atteint leurs objectifs. C'est pourquoi, des carottes latérales seront collectées dans le réservoir en cas de succès.

L'acquisition de diagraphie de base sur l'ensemble du puits, autant de possible (GR, DENS/NEUT, caliper) est une obligation associée au permis de recherche du Canton de Ittigen. Ainsi, ces données seront collectées en LWD (logging while drilling) à partir de la section de 17 ½". Les équipements permettant de collecter ces données sur les sections moins profondes n'ont pas été trouvés sur le marché.

4.3. Evaluation du réservoir

Les propriétés du réservoir seront évaluées de façon préliminaire (avant le test de production) grâce aux informations de:

- LWD et MWD - interprétation directe des paramètres du réservoir (porosité, perméabilité, fluide...)
- Surveillance des pertes de boue de forage (indication potentielle de conductivité du réservoir)
- Suppression du réservoir (indication potentielle de connectivité du réservoir)
- Paramètres de forage et stabilité du trou nu (indication potentielle du champ des contraintes et du potentiel de débits proche du puits)

Le test de production préliminaire de 12h permettra d'évaluer:

- *Les propriétés du réservoir (perméabilité / porosité)*
- *L'étendue du réservoir*
- *Le volume du réservoir*
- *Les limites du réservoir*
- *Le débit de production attendue*
- *Le support en pression*
- *...*

Les tests de production supplémentaires permettront de:

- *Évaluer en détails l'étendue et les limites du réservoir*
- *Évaluer la capacité de recharge du réservoir*
- *Évaluer en détails les débits de production de d'injection*
- *...*

Les options de stimulation du réservoir seront présentées plus en détails dans le programme de forage.

5. Evaluation économique

Un exercice économique a été réalisé pour le projet:

Paramètres	unité	P10	P50	P90
Etendue du réservoir	Km ²	11	22	46
Volume du réservoir	10 ⁶ m ³	110	440	1.610
Perméabilité du réservoir	md	9	14	23
Débit de production rate	m ³ /jour	5.500	8.200	13.1000
Limite d'injection (sismicité induite)	coefficient (0-1)	0,7	0,82	0,95
Température de l'eau en surface	degrés	98	124	131
etc...	...	...	...	...
Puissance de l'installation	MW	4,9	6,4	9,1

- Les valeurs estimées sont présentées avec une évaluation probabiliste (P10, P50, P90), pour capturer un niveau d'incertitude.
 - P10 signifie que 10% des cas sont sous cette valeur (ceci ne signifie pas que cette valeur a 10% de chance de se réaliser)
 - P50 signifie que 50% des cas sont sous cette valeur (ceci ne signifie pas que cette valeur a 50% de chance de se réaliser)
 - P90 signifie que 90% des cas sont sous cette valeur (ceci ne signifie pas que cette valeur a 90% de chance de se réaliser)

Bien que les incertitudes du sous-sol soient toujours forte, cet exercice vise à démontrer que le risque économique pris par le projet est acceptable, et que le projet d'exploitation géothermique est raisonnable.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

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

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 5/8"	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 diagrapie)

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 degrés (N-NE)*

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

Profondeur finale prévue: *3.500 m TVD RKB*

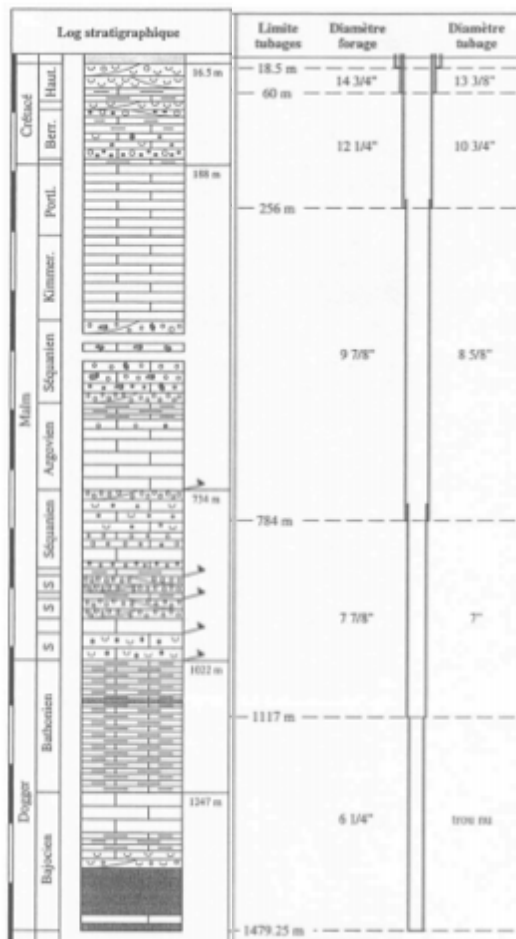
Formation géologique à la profondeur finale: *Massif de Ittigen/ inconnue*

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...

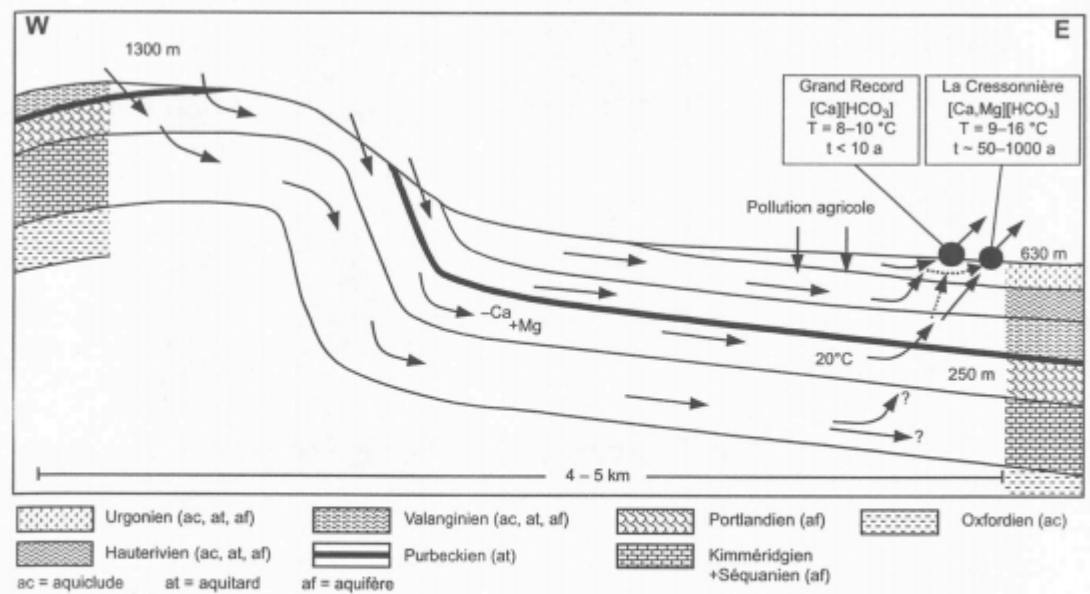
Il est attendu que le réservoir soit très fracturé dus aux événements géologiques de...

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:

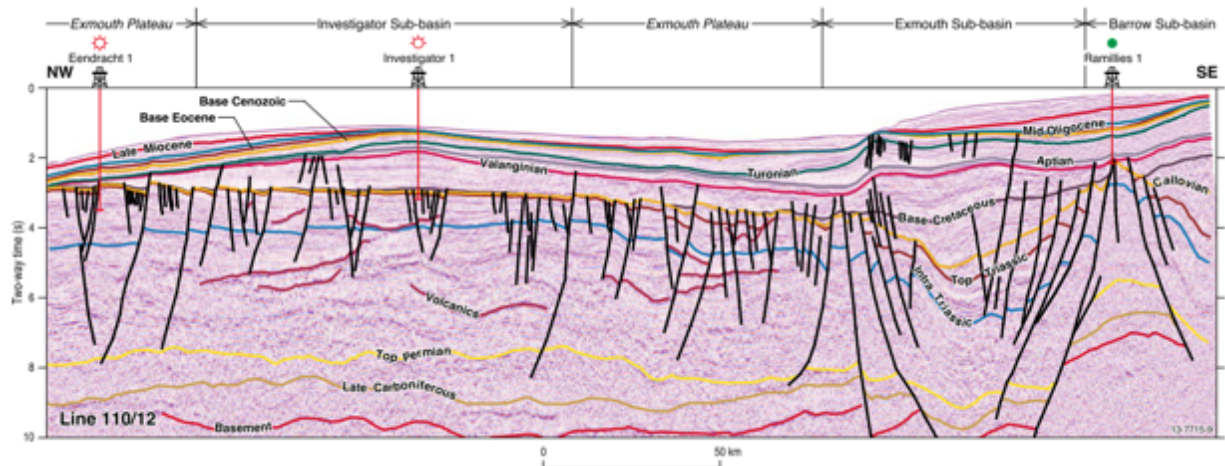
- *Une illustration du "modèle conceptuel" ("play concept")*



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

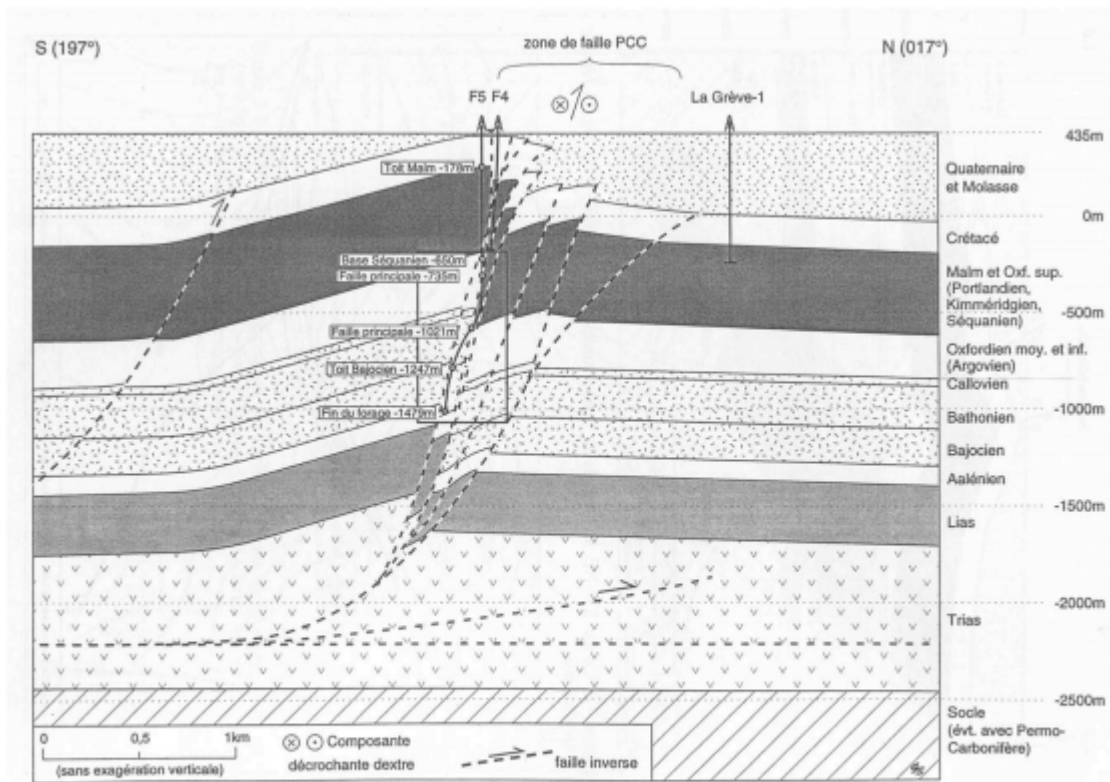
(Autre exemple disponible à <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114003578>)

- 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

...

...

...

...

...

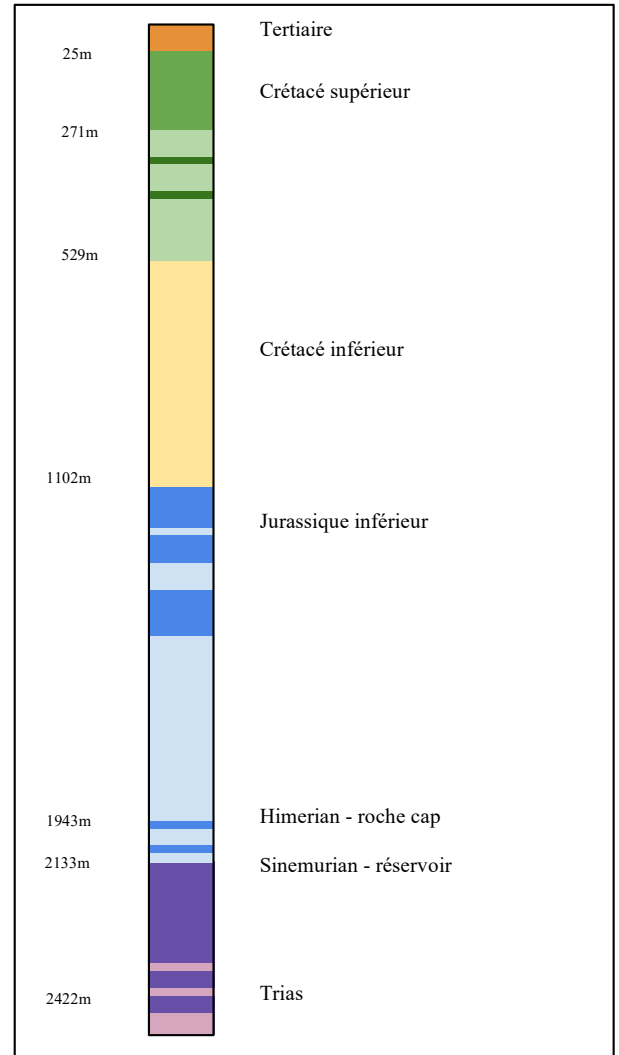
...

...

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

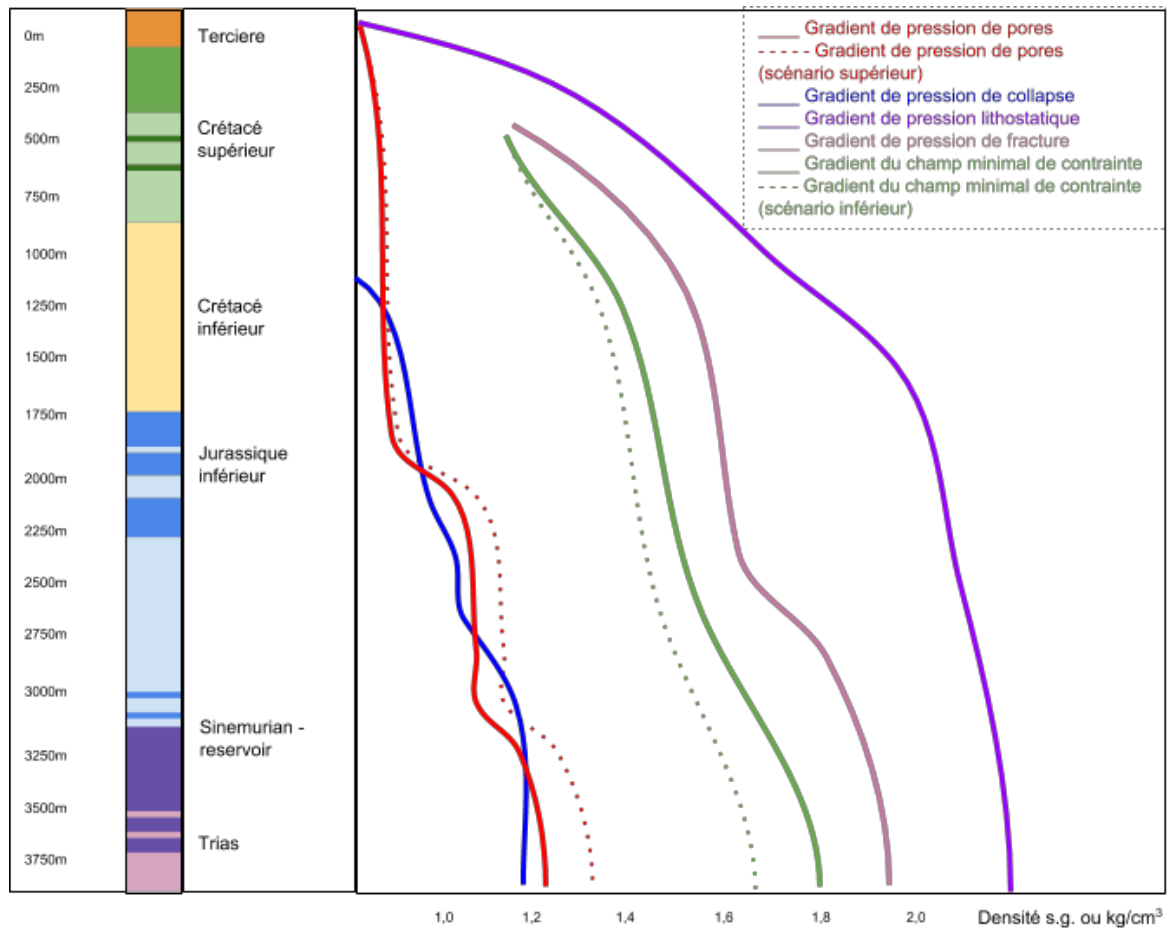
Il y a un risque de présence de H₂S à faible concentration au sein de la formation du Mont Cervin à 2.100m TVD RKB.

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

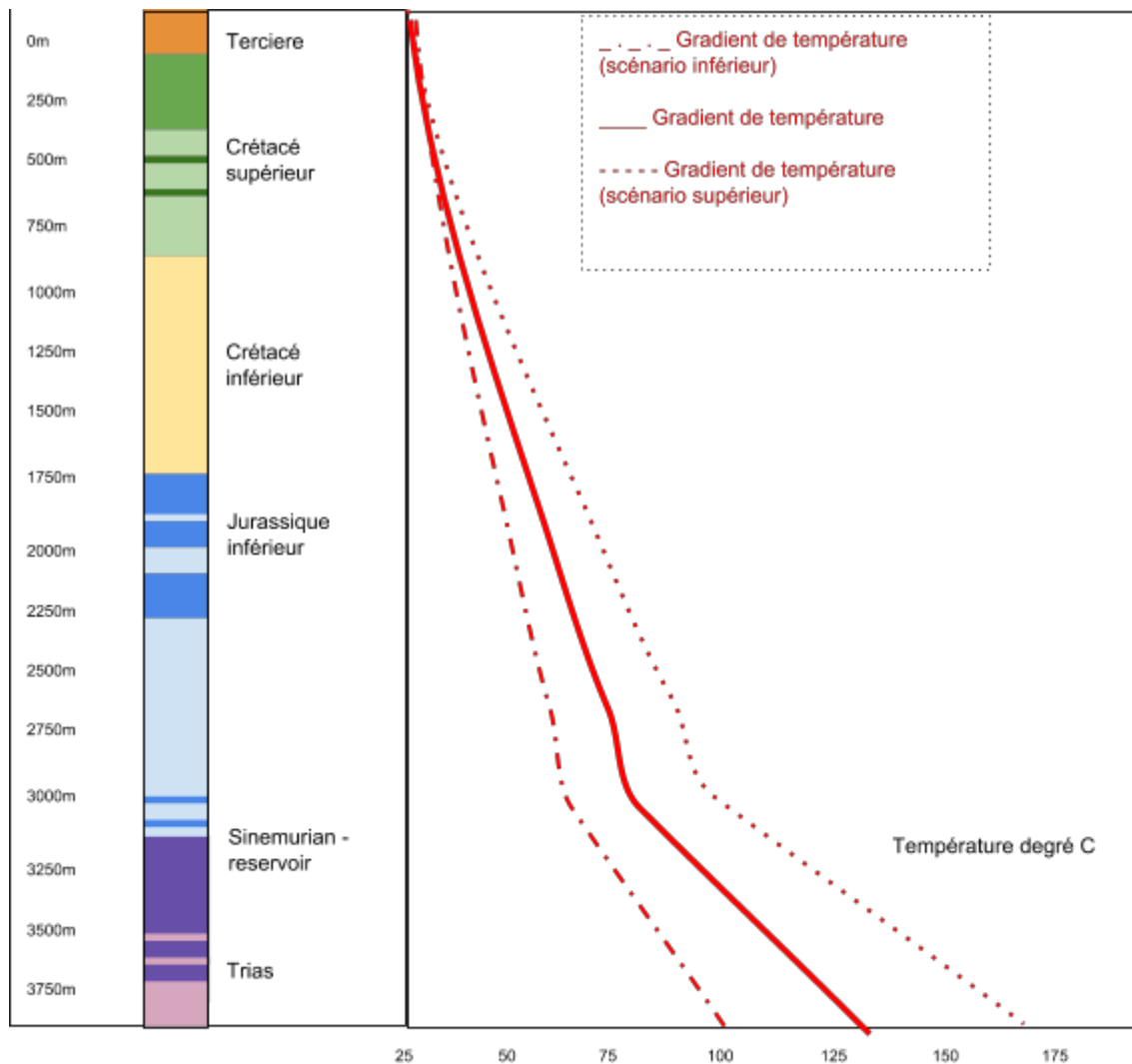
Le pronostic de pression est présenté ci dessous:



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.*

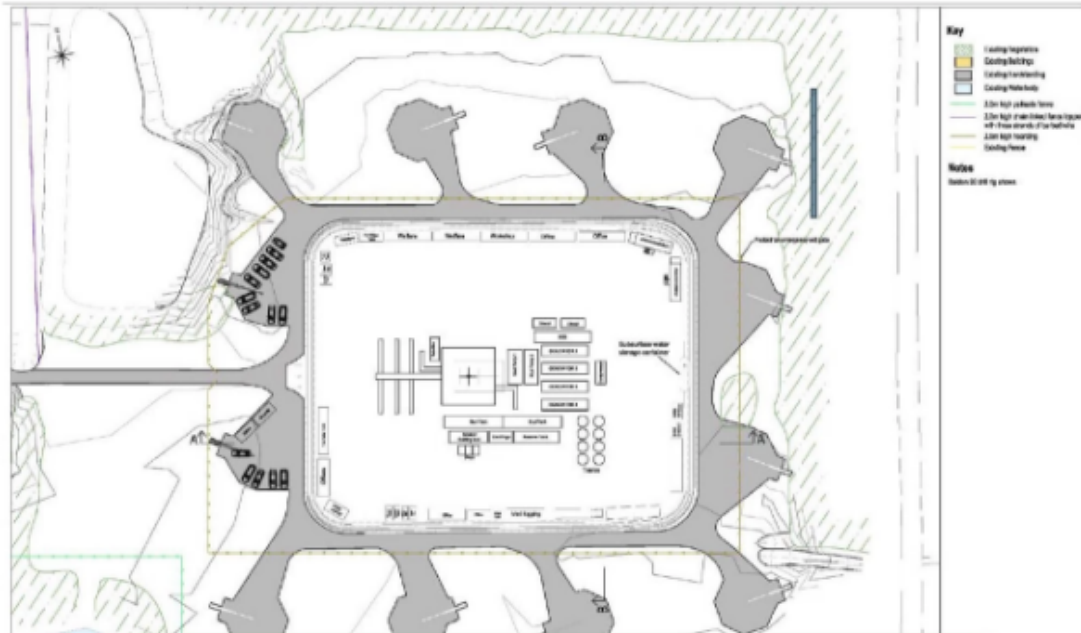
Les limitations du site sont:

- *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



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 décrite 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:

Trou nu	Diamètre nominal Tubage inch	Grade	Poids (lbs/ft)	Type de connexion	Intervalle MD RKB	"Float shoe"	"Shoe track"
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

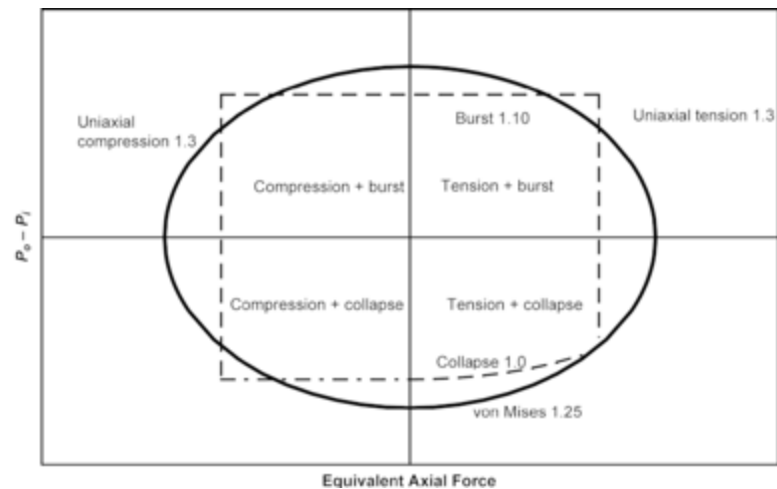
Le tableau ci-dessous présente les tubages et leurs coefficients de sécurité calculés.

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.Puis 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...).

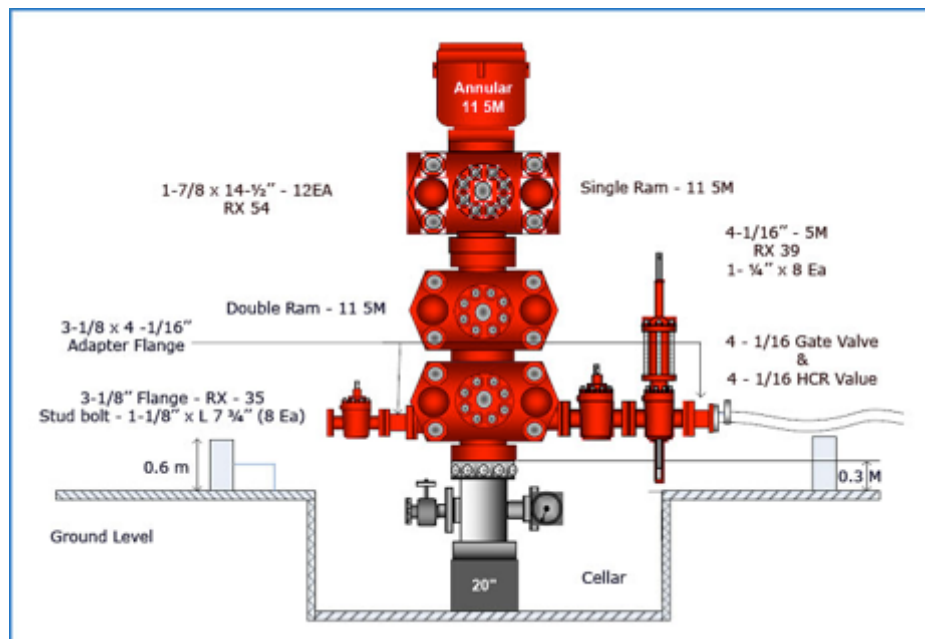
3.3.9. BOP: Bloc d'obturation du puits (s'il y a lieu)

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...



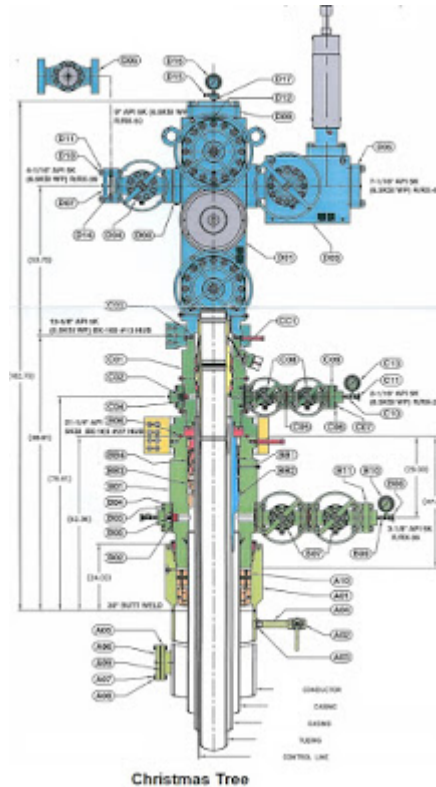
Source: asiadrilling.net

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/gt	3rpm	API ml	pH					Tubage	48	Bentonite	244000
1600	1,30	>100	>15	<10	8-9,5					Trou nu	135	Barite	557000
2091										Mix de nettoyage	160	Soda Ash	345
										V de déplacement	202	Caustic Soda	345
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.										Total	3420	Eau	1,09 10 ⁶
Section 12 1/4"										Volume	m3	matériaux	kg
profondeur	densité	PV sP	YP	3rpm	Gels 10min Pa	E stab	CI (WP) g/hr	LGS %	O/W	Surface	80	Barite	133000
2091	1,08	ALAP	20-30	8-14	<20		<5	>700	>160	Tubage	96	CaI Chloride	31000
3300										Trou nu	47	Duraton	200
										Dilution	52	EZroul	300
Commentaire: Cette section sera forée avec un boue Alkam SOB M 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.										Reserve	20	Gelltone	1230
										Total	792	Lime	452
												ALKane	502
												Eau	1,8 10 ⁶

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.

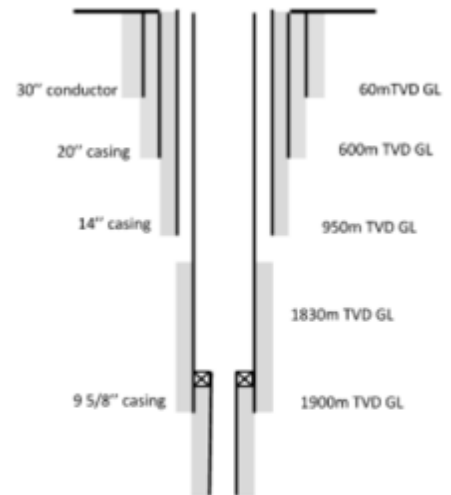
Les paramètres suivants pourront aussi être considérés:

- 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...	

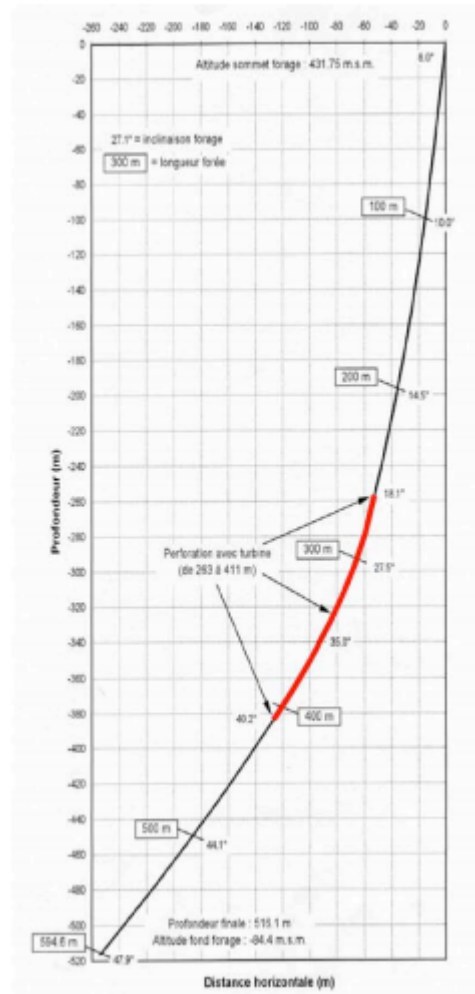


Les paramètres suivants pourront aussi être considérés:

- 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.

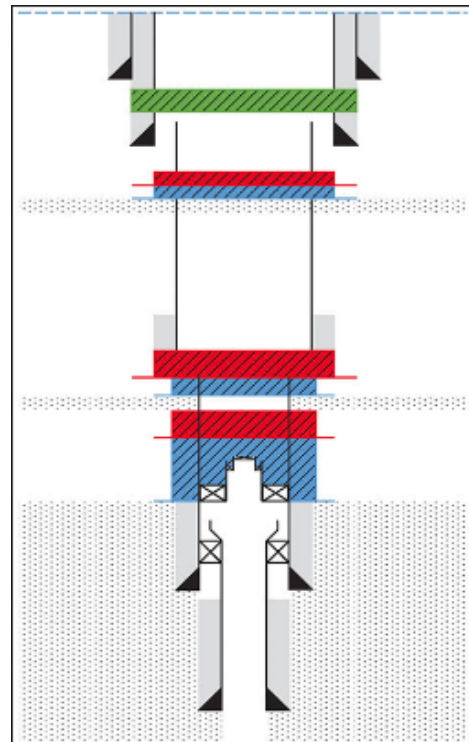
Fluide: Boue à base d'eau 1,22 sg ; Eau claire au dessus de 500 m.

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.

Déviat     2 | Limites des routes d'évacuation

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

D  viat     3 | Limitation du bruit durant l'installation du tubage d'ancrage

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

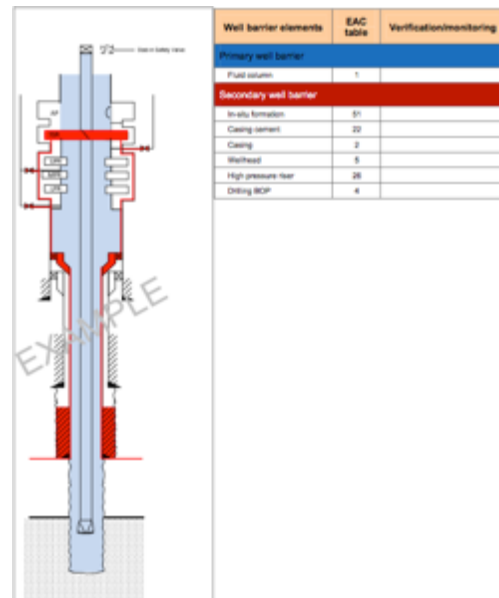
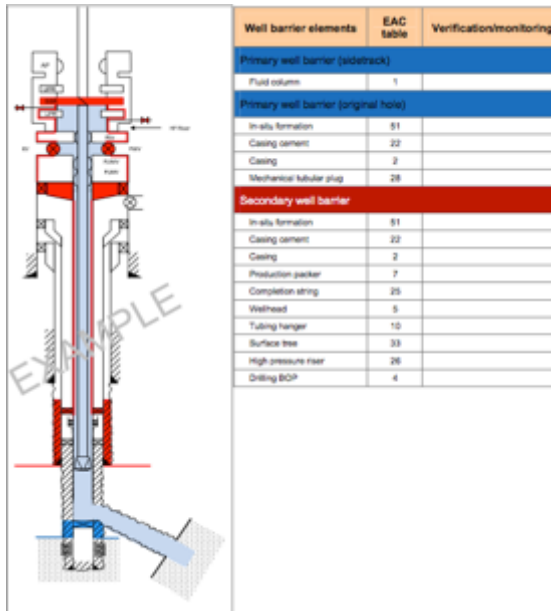
D  viat     4 | Utilisation de polymères contaminants en cas de pertes de fluide fortes

L'utilisation de polymères faiblement contaminants a été accept    e 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 utilisés seulement si toutes les autres solutions auront déjà été d  ploy    es sans succ    s.

4.4.Barrière de puits

Les barrières de puits, repr  sent    e selon la norme NORSOK D-010, sont pr  sent    e ci dessous pour les phases clés du forage:

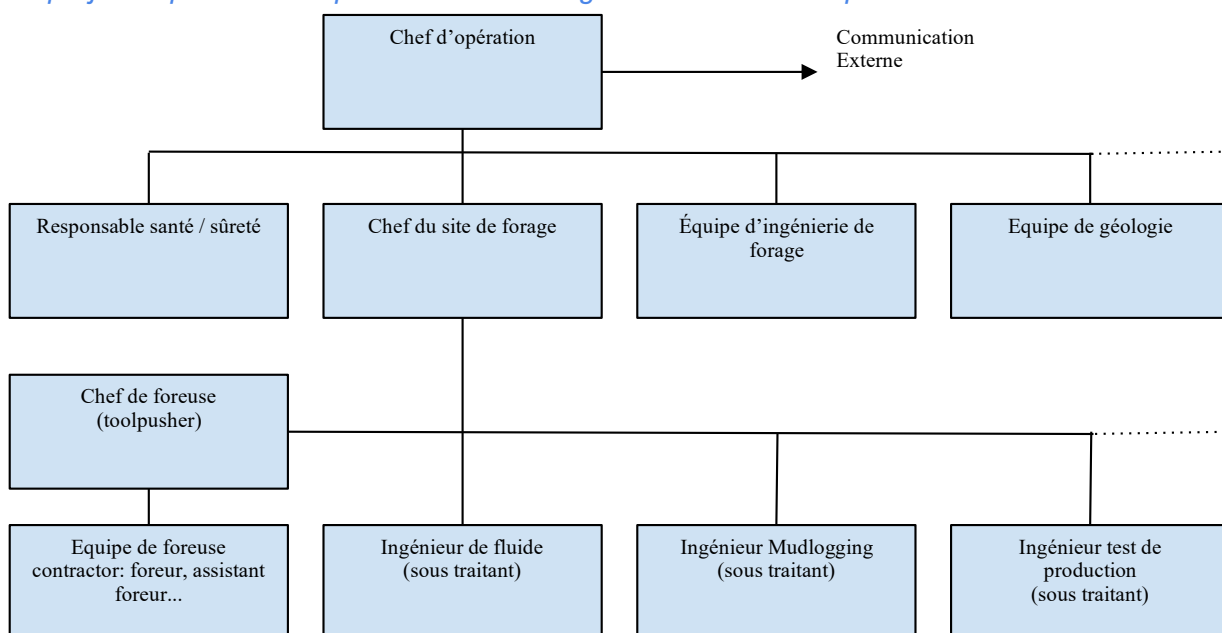
- Forage de l'aquifère réservoir - section de 8 1/2"
- Puits complété- en exploitation
- Puits abandonné



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>	xxxxxxx	<i>Ittigen geothermal AG</i>	xxxxxx@xxxxx.ch	+41 xxx x x xxxx
<i>Chef du site de forage</i>	xxxxxxx	<i>Ittigen geothermal AG</i>	xxxxxx@xxxxx.ch	+41 xxx x x xxxx
<i>Chef de foreuse (toolpusher)</i>	xxxxxxx	<i>IttigenDrill AS</i>	xxxxx@xxxxx.com	+41 xxx x x xxxx
<i>Ingénieur fluide</i>	xxxxxxx	<i>FluidIttigen AG</i>	xxxxxx@xxxxx.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.

Plan de réponse d'urgence

Projet des puits Ittigen-01, Ittigen-02 et Ittigen-03

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 "Plan de réponse d'urgence" 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'oeuvre comme Plan de réponse d'urgence pour les puits. Durant les opérations de forage/puits, ce document peut servir de support pour la surveillance des activités.
- Ce document vise à démontrer la capacité et la préparations d'un maître d'ouvrage à faire face à une situation d'urgence de puits, à la contrôler et à en limiter les conséquences sur la santé des personnes, l'environnement et les installations.
- 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 profile de risque et un plan différent d'un puit d'eau non-artésien)
- Le contenu de ce document est fictif et doit être remplacé avec des informations réelles.

Ce plan a été mis à jour le 12/02/2018. A cette date, les puits sont en phase de planification et les paramètres utilisés pour ce documents sont des hypothèses.

Il est souligné que les scénarios présentés dans ce document sont très rares et d'une probabilité extrêmement faibles. Ces scénarios sont évalués comme mesure de précaution, pour identifier qu'aucun risque déraisonnable ne sera entrepris par le projet, et qu'une préparation minimale est présente.

Pour le lecteur non-expérimenté, ces scénarios doivent être perçus de la même façon que les accidents de rupture de barrage sont évalués, ou que les accidents de train sont évalués.

Abréviation	2
1. Résumé	3
1.1. Informations clés de puits	3
1.2. Champ d'application	3
1.3. Scénarios d'accident considérés	3
1.4. Organisation en cas de situation d'urgence	4
1.5. Alternative (réponse de type Tiers 3)	5
2. Scénarios et préparations associées	6
2.1. Scénario 1 - Flux incontrôlé d'eau de l'aquifère	6
2.2. Scénario 2 - Activité sismique induite de forte intensité	7
2.3. Scénario 3 - Fracturation souterraine non-contrôlée	8
2.4. Scénario 4 - Flux d'hydrocarbure incontrôlé	8

Abréviation

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 = Blowout 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 = Équipement permettant l'ancrage du liner

Packer = Équipement 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

Accident = Un événement, non souhaité, aléatoire et fortuit, qui apparaît à la suite d'une ou plusieurs causes, et qui entraîne des dommages vis-à-vis des personnes, des biens ou de l'environnement.

Incident = Événement inattendu ayant une faible influence (à la différence de l'accident qui en a une forte) ou événement peu important en lui-même, mais susceptible d'entraîner de graves conséquences

1. Résumé

1.1. Informations clés de puits

Nom du puits: *Ittigen-01 (exploration), Ittigen-02 (injection), Ittigen-03 (production)*

Profil du puits: *verticale / dévié / horizontale...*

Profil de risque du puits: *élevé*

Canton: *Bern*

Commune: *Ittigen*

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

Maître d'ouvrage et/ou Maître d'oeuvre: *Géothermie Ittigen AG*

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

Lieu: *Geothermiestrasse 34, Ittigen, 3063, Bern Kanton.*

Profondeur totale prévues: *3.500 m TVD RKB*

Formation géologique à la profondeur totale: *Massif de Ittigen à 3450m TVD GL.*

1.2. Champ d'application

Ce document ne couvre que les accidents associés aux opérations de forage et aux opérations de puits. Tout accident qui pourrait avoir lieu sur le site de forage, mais non associés au opération de puits (ex: transport de matériel dangereux) ne fait pas parti du champ d'application de ce document.

La population locale considérée dans ce documents est les habitants de la commune de Ittigen et de Bolligen (le site de forage étant proche de la frontière Ittigen - Bolligen).

1.3. Scénarios d'accident considérés

Les forages des puits Ittigen-01 (exploratoire), Ittigen-02 (injection) et Ittigen-03 (production) sont tous couverts par les mêmes scénarios d'accident de puits, car ils traversent les mêmes formations géologiques et ont pour objectif le même aquifère géothermal.

Après le forage du puits Ittigen-01, ce "Plan de réponse d'urgence" sera mis à jour avec les données du sous-sol mesurées (géologie, pression, température...).

Les scénarios d'accidents associés au forage et à l'exploitation des puits sont présentés ci-dessous:

- **Flux incontrôlé d'eau de l'aquifère géothermal**

Le scénario de flux d'eau incontrôlé, qui ne serait pas contenu par les barrières et les précautions existantes, est considéré; avec un flux maximal de 2.000 m³/jour durant 10 jours. Ce scénario affecterait sérieusement la faune et flore locale.

- **Activité sismique induite de forte intensité**

Le scénario d'activité sismique induite jusqu'à 5 sur l'échelle de Richter est considéré, bien qu'étant très conservateur. Ce scénario affecterait sérieusement la habitants et les structures voisines au site de forage.

- **Fracturation souterraine non-controlée**

Le scénario d'une facture souterraine non-controlée générant une communication entre un aquifère potable et non-potable est considéré.
Ce scénario affecterait l'environnement et les ressources en eau pour la population locale.

- **Flux d'hydrocarbure incontrôlé**

Le scénario d'un flux de gaz naturel incontrôlé, qui ne serait pas contenu par les barrières et les précautions existantes, est considéré; avec une flux de 1.000 m³/jour durant 3 jours, réduisant au court du temps. Ceci affecterait sérieusement le personnel sur le site de forage et les installations sur le site de forage.

1.4. Organisation en cas de situation d'urgence

Notification:

En cas de situation d'urgence, les organisations suivantes seront informé immédiatement:

- Police de Ittigen / Police cantonale
- Pompier de Ittigen
- Services communaux de Ittigen (sécurité, environnement, bureaux du "syndic")
- Autorité cantonales; protection de de la population, protection de l'environnement, services des sous-sol...

Accès:

L'accès au site de forage sera limité, et si nécessaire un périmètre de sécurité sera établi aux alentours du site. Ce périmètre sera établi en fonction du scénario d'accident, et en coopération avec les autorités locales.

Information:

Les informations sur l'accident seront communiqué à la population en coopération avec les polices et les services communaux.

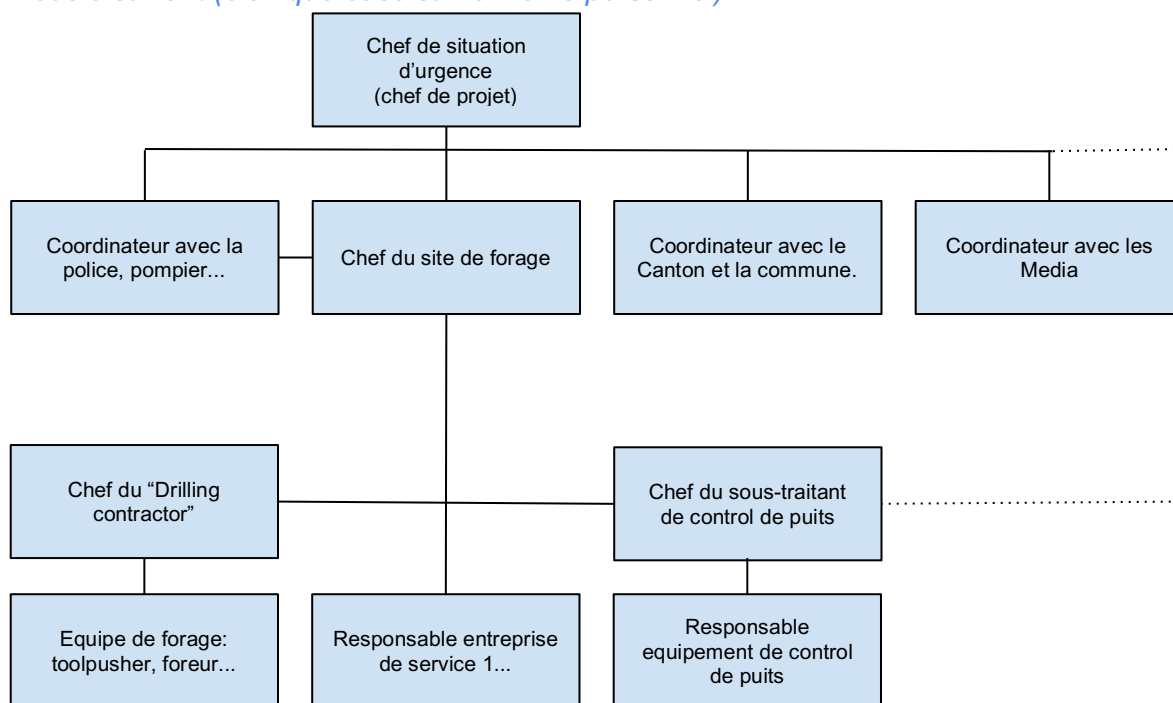
Une réunion journalière sera établie avec toutes les autorités et services impliqués.

Le plan d'action sera partagé avec les autorités et services impliqués, sauf dans le cas où le danger impose une réaction immédiate.

Toute communication au média sera faite en coopération avec les autorités.

Organisation:

En cas de situation d'urgence, l'organisation de Géothermie Ittigen AG sera modifiée pour le modèle suivant (bien que basé sur le même personnel):



Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *Clarification des rôles et des responsabilités*
- *Obligation du chef de situation d'urgence: mettre en place un organisation adéquate et suffisante*
- *Les formations aux situations d'urgence (avec toutes les parties prenantes)*
- *Une liste de notification avec les contacts réels de la police, des pompier, des services communaux, des autorités cantonales, des autorités fédérales...*

1.5. Alternative (réponse de type Tiers 3)

Dans le cas de situation d'urgence d'opération de puits (ex: situation de perte de control de puits), une organisation de type Tiers 3 sera immédiatement mise en place:

- Tiers 1 - Site de forage / chef du site de forage*

Le Tiers 1 sera directement sous la responsabilité du chef de site de forage. Il sera responsable pour gérer la préparation, la coordination et l'exécution des activités opérationnelles sur le site de forage et de regagner le control de la situation (control du puits).

- Tiers 2 - Bureau du maître d'ouvrage*

Le Tiers 2 sera sous la responsabilité du chef de projet. Il sera responsable pour planifier les activités permettant reprendre le contrôle de la situation (le contrôle du puits) en terme d'ingénierie, logistique et autres... et de coordonner le support apporté par les tierce parties: entreprises, pompiers, police, services municipaux...

- Tiers 3 - Bureau du Canton / Bureau du maître d'ouvrage*

Le Tiers 3 sera sous la responsabilité du président de Ittigen Géothermie AG. Il sera responsable pour coordonner les activités du Tiers 2 avec les services cantonaux, les services publics nationaux, les supports étrangers, les médias...

2. Scénarios et préparations associées

2.1. Scénario 1 - Flux incontrôlé d'eau de l'aquifère

Scénario

A cause des incertitude sur les pressions qui seront rencontrées dans l'aquifère géothermale et sur les formations adjacentes, le scénario d'un flux incontrôlé d'eau, qui ne serait pas contenu par les précautions existantes (équipements et procédures), a été considéré.

Dans ce scénario, un flux de 2.000 m³/jour durant 10 jours est considéré. Ce flux remplirait la plateforme de forage et pourrait s'étendre dans l'environnement. A cause de la température et de la chimie de l'eau de l'aquifère, il est supposé que la faune et la flore environnante serait affectée. Un flux continue pourrait atteindre la rivière située au Sud du site (Rivière de Ittigen) et pourrait affecter les espèces aquatiques.

Dégats

A cause de la température et la chimie de l'eau, des dommages forts seraient attendus pour la faune et la flore dans un rayon de 500m autour du site. Pour les espèces aquatiques dans la rivière de Ittigen, des dommages forts seraient attendues sur quelques kilomètres.

A l'exception des travailleurs du plancher de forage, qui pourraient être exposés à des fluides sous pression, le danger pour le reste du personnel du site de forage est considéré comme faible.

Peu ou aucun effets n'est attendu pour les populations locales (grâce à une information sur les risques liés aux eaux).

Aucun dégâts n'est attendus pour les structures.

Réponse

Immédiatement, une notification et une coordination seraient faites avec les autorités locales (police, pompier, commune affectée et canton).

Des informations sur le risque de l'eau seraient distribuées à la population locale.

Toutes les activités seront focalisées sur la sécurisation du puits et du site de forage.

L'accès au site de forage et au alentour (rayon de 2km) seraient limités. L'accès à la rivière de Ittigen serait aussi limité (pêche, baignade...).

Des équipements de contrôle de puits seraient transportés par camion depuis l'Allemagne (dans un délai de 2 jours). Il a été évalué qu'avec ces équipements le contrôle de puits serait repris en moins de 8 jours.

Une fois le contrôle du puits repris, le puits serait abandonné temporairement ou de façon permanente.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- Carte des zones affectées
- Équipements et sous-traitant de contrôle de puits.
-

2.2. Scénario 2 - Activité sismique induite de forte intensité

Scénario

A cause de la possibilité d'une sismicité induite générée par le contact de fluide de forage avec la roche, tel que la réactivation de failles existantes, le scénario d'activité sismique induite a été considéré. Le niveau d'activité a été fixé à 5 sur l'échelle de Richter, qui est la valeur la plus pessimiste qu'il a été possible de considérer.

Dans ce scénario, l'épicentre considéré se situe dans l'aquifère, à 3.000 m TVD GL et sur la trajectoire du puits.

Au vu de la faible densité de population dans la zone affectée, il y a 14 structures qui pourraient être touchées.

Dégâts

Des conséquences moyennes sont attendues pour le personnel sur le site de forage, principalement à cause de la chute d'objets et d'équipements.

Des dégâts sérieux sont attendus sur les habitations, principalement pour la ferme située à 1,2km du site de forage (structure la plus proche) et pour le pont ancien situé à 3km du site de forage.

Au niveau 5 de l'échelle de Richter, les conséquences attendues pour la santé de la population sont faibles. Les conséquences attendues pour la faune et la flore sont très faibles.

Réponse

Immédiatement, une notification et une coordination seraient faite avec la autorités locales (police, pompier, commune affectées et le Canton).

L'accès serait limité dans un rayon de 10km autour du site de forage.

Le trafic ferroviaire et automobile (sauf urgence) serait suspendus dans cette même zone.

L'utilisation du pont situé a 3km du site serait stoppé, jusqu'à une évaluation soit faite.

Le forage ou les activités de puits seraient stoppé et le puits serait maintenu stable.

Une fois que l'activité sismiques aurait réduit à un niveau acceptable, le puits sera temporairement abandonné. La pression de surface sera surveillé jusqu'à ce qu'un risque acceptable soit démontré.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *Carte des zones et structures affectées*

2.3. Scénario 3 - Fracturation souterraine non-contrôlée

...

2.4. Scénario 4 - Flux d'hydrocarbure incontrôlé

Scénario

A cause des incertitudes géologiques et du risque de rencontre de roche contenant des hydrocarbures, le scénario d'un flux incontrôlé de gaz naturel, qui ne serait pas contenu par les précautions existantes (équipements et procédures), a été considéré.

Dans ce scénario, un flux maximum de 1.000 m³/jour de gaz naturel a été considéré, qui réduirait au cours du temps. Bien que la présence d'hydrocarbure n'a pas pu être éliminé, l'analyse géologique a montré que toute roche contenant des hydrocarbures serait de taille très restreinte. Ainsi, le flux maximal de gaz provenant d'une formation géologique mineure serait limité et ne durerait pas plus de 3 jours avant son épuisement.

Dégats

Ce gaz pourrait blesser fortement les travailleurs sur le site.

En cas de feu et d'explosion, des dégâts sévères seraient attendu sur tout le site de forage et la vie des travailleurs seraient en danger.

Les effets pour la population locale seraient très limités.

*Les effets pour la la faune et la flore seraient limités.
Aucun dégâts n'est attendu sur les structures voisines existantes.*

Réponse

Immédiatement, une notification et une coordination seraient faite avec la autorités locales (police, pompier, commune affectées, le Canton et les autorités fédérales).

*Toutes les activités seront dédiés à la sécurisation du puits et du site de forage.
L'accès au site de forage et ses alentours sera limité.
L'autorité fédéral de l'aviation sera contactée pour éviter tout vol dans la zone (haute concentration de gaz naturel dans l'air, présence de fumée).*

Les équipements de contrôle de puits seront transporté depuis la France et l'Autriche (2 jours de transport). Il a été évalué que le control de puits et l'arrêt de la fuite de gaz serait fait en 4 jours (etant donné le flux limité considéré).

Une fois le contrôle du puits repris, le puits sera abandonné de façon permanente.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- Carte des zones et structures affectées*
- Equipements et sous-traitant de contrôle de puits.*

Stratégie d'exploitation et maintenance des puits Ittigen-A géothermal installation

Maître d'ouvrage: Nom

12-03-2018

Ingénieur forage: Nom

Ingénieur réservoir: Nom

Superviseur d'exploitation: Nom

Chef de projet: Nom

Ce document est un exemple, qui est destiné à servir comme modèle de "stratégie d'exploitation et de maintenance de puits" 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 comme stratégie d'exploitation et de maintenance de puits. Durant les opérations de production/injection, ce document peut servir de support pour la surveillance des activités.
- Ce document vise à démontrer la capacité et la préparation d'un maître d'ouvrage à gérer les activités d'exploitation et de maintenance.
- 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 d'exposition au gaz naturel aura un profil de risque et un plan différent d'un puits d'eau non-artésien)
- Le contenu de ce document est fictif et doit être remplacé avec des informations réelles.

Abréviation	2
1. Système de puits	3
1.1. Description des puits	3
1.1.1. Détails des puits - Ittigen-01 production	4
1.1.2. Détails des puits - Ittigen-02 injection	7
1.2. Interface des équipements de surface	8
2. Opération des puits	9
2.1. Démarrage / arrêt	9
2.2. Limites opérationnelles	10
2.3. Arrêt d'urgence	10
2.4. Surveillance	11
2.5. Situation anormale	12
3. Maintenance des puits	12
4. Equipe d'exploitation	13
5. Transfer d'opération	14
6. Annexe	14

Abréviation

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 = Blowout 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 = Équipement permettant l'ancrage du liner

Packer = Équipement 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

Master valve = vanne maitresse

Wing valve = vanne de production

Kill valve = vanne d'accès latérale (pour pouvoir tuer le puits)

Swab valve = vanne d'accès supérieur

Accident = Un événement, non souhaité, aléatoire et fortuit, qui apparaît à la suite d'une ou plusieurs causes, et qui entraîne des dommages vis-à-vis des personnes, des biens ou de l'environnement.

Incident = Événement inattendu ayant une faible influence (à la différence de l'accident qui en a une forte) ou événement peu important en lui-même, mais susceptible d'entraîner de graves conséquences.

1. Système de puits

Concession: [BE-99877-ITTG-2019](#)

Installation: [Ittigen-A](#), geothermiestrasse 23, 3063 Ittigen, Bern

Maître d'ouvrage: [Ittigen Géothermie AS](#)

Puits d'exploitation:

- [Ittigen-01](#) (injection)
- [Ittigen-02](#) (production)
- [Ittigen-03](#) (puits de surveillance)

1.1. Description des puits

Les puits [Ittigen-01](#) et [Ittigen-02](#) fonctionne comme doublet. Ainsi, l'eau extraite du puits [Ittigen-02](#) est intégralement réinjectée dans le puits [Ittigen-01](#) (boucle fermée).

Le puits [Ittigen-03](#) est un puits d'exploration reconverti en puits de surveillance.

Ci-dessous sont présentées les photos des puits au sein de l'installation géothermale:



Source :

<http://www.bine.info/en/publications/publikation/geothermische-stromerzeugung-in-soultz-sous-forets/> and www.20minutes.fr

A cause de la présence de faible quantité de gaz naturel dans l'eau géothermale, un système de séparation a été installé en surface pour pouvoir capter ce gaz et limiter les risques de corrosion. Le volume associé de gaz est estimé à quelques litres par jours et sera traité par la raffinerie de Ittigen.

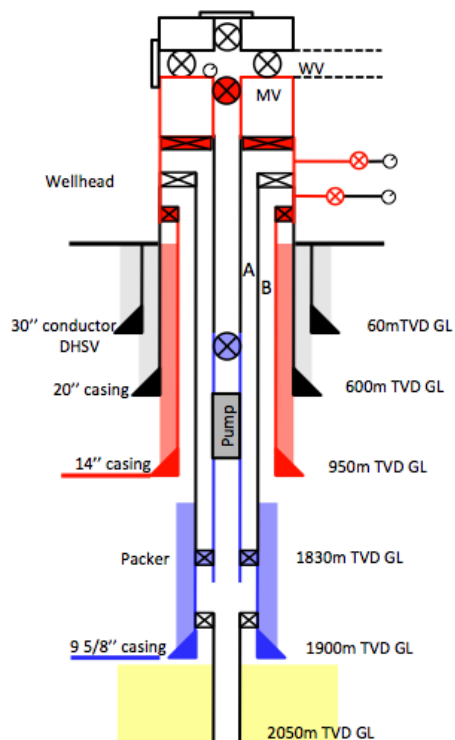
Les puits ont été construits avec deux barrières de puits, à cause de la pression artésienne naturelle ; 32 bars en surface.

1.1.1. Détails des puits - Ittigen-01 production

Le puits a été construit pour pouvoir résister à:

- *Une pression de surface de 50 bars*
- *Une température de surface de 175 degrés C*

Ce puits contient une pompe submergée, qui permet d'augmenter le débit de production. Une colonne de production a été installée entre la tête de puits et jusqu'à 1830 m MD GL pour protéger le tubage de production de la corrosion. Un schéma des barrières de puits est présenté ci dessous:

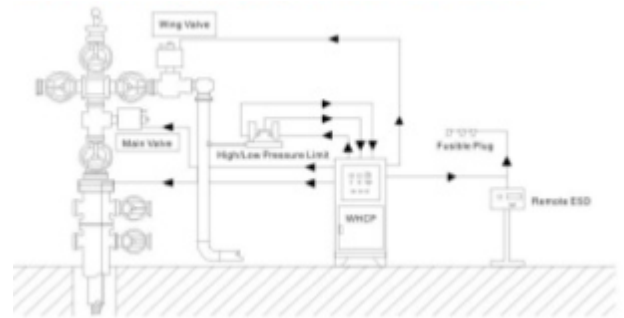


L'enveloppe bleue représente la barrière primaire, avec un élément actionnable (DHSV: Downhole safety valve = vanne de sûreté souterraine)

L'enveloppe rouge représente la barrière secondaire, avec 3 éléments actionnables (Vanne maitresse, Vanne de l'annulaire A, vanne de l'annulaire B).

Référence est faite à la stratégie de sûreté de puits pour plus d'information sur les barrières de puits.

Le schéma de tête de puits est présenté ci dessous:



Le dessin technique de la tête de puits est présenté ci-dessous:



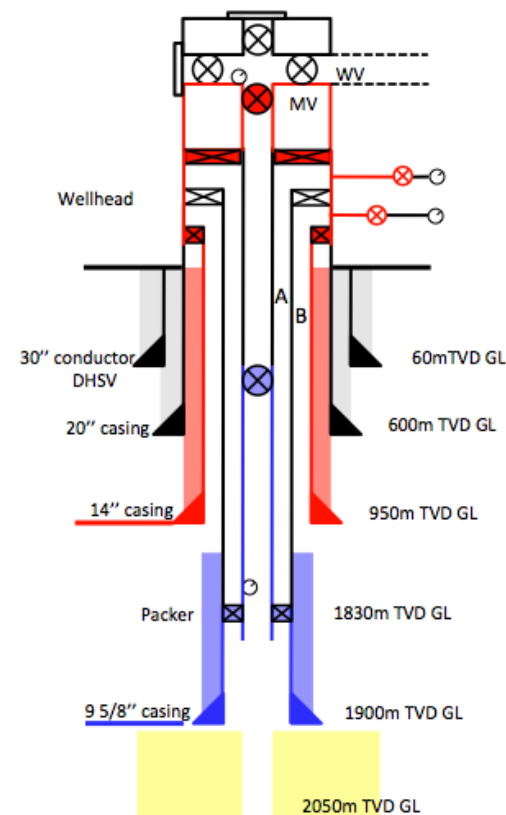
- Détails de la complétion du puits
- Détails de la pompe souterraine

1.1.2. Détails des puits - Ittigen-02 injection

Le puits a été construit pour pouvoir résister à:

- Pression de surface de 150 bars
- Température de surface de 175 degrés C

Une colonne de production a été installée entre la tête de puits et jusqu'à 1830 m MD GL pour protéger le tubage de production de la corrosion. Un schéma des barrières de puits est présenté ci dessous:



L'enveloppe bleue représente la barrière primaire, avec un élément actionnable (DHSV: Downhole safety valve = vanne de sûreté souterraine)

L'enveloppe rouge représente la barrière secondaire, avec 3 éléments actionnables (Vanne maitresse, Vanne de l'annulaire A, vanne de l'annulaire B).

Référence est faite à la stratégie de sûreté de puits pour plus d'information sur les barrières de puits.

Référence est faite aux détails de la tête de puits de Ittigen-01, qui est le même modèle que pour le puits Ittigen-02.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *Détails de la complétion du puits*

1.2. Interface des équipements de surface

Le puits est connecté aux installations de surface par:

Conduites:

- *Conduite de production - connecté à l'échangeur de chaleur*
- *Conduite de "kill" - connecté à une pompe hydraulique utilisé pour égaliser la pression de part et d'autre des vannes et pouvoir les opérer de façon sûre.*
- *La conduite de l'annulaire-A, utilisé pour pouvoir évacuer l'excès de pression dans l'annulaire A (effet de température).*

Lignes hydrauliques:

- *La vanne de production et la vanne maitresse sont toutes les deux opérées par des pistons hydrauliques. Les lignes de contrôle hydrauliques associées sont connectées à la tête de puits.*
- *La vanne souterraine (DHSV: Downhole safety valve = vanne de sûreté souterraine) est opérée par un système hydraulique connecté à la tête de puits.*

Câble électrique:

- *Pour apporter l'énergie à la pompe souterraine, un câble électrique est connecté à la tête de puits et descend le long de la colonne de production.*

Capteurs:

- *Des capteurs de pression et température sont connectés à la tête de puits (cavité centrale et aux annulaires).*
- *Des manomètres sont connectés au niveau de la vanne de "kill" et de la vanne de "swab"*
- *Un débitmètre est installé sur la conduite de production*

Limite du "système des puits":

Le "système des puits" englobe tous les équipements en souterrain, et tous les équipements de surface jusqu'à la bride de la vanne de production.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *La présentation d'un schéma de type P&ID*
- *Les cas de production de gaz associé (CO₂, gaz naturel...) et leur gestion en surface.*

2. Opération des puits

2.1. Démarrage / arrêt

Procédure de démarrage:

Pour chaque “mise en marche” de l’installation, les puits Ittigen-01 et Ittigen-02 seront mis en route selon la séquence suivante:

- *Ouverture de la vanne de production, puis de la DHSV de Ittigen-02 (injection)*
- *Ouverture de la vanne de production, puis de la DHSV de Ittigen-01 (production)*
- *Fermeture de la vanne “de production de Ittigen-01 (producteur)*
- *Démarrage de la pompe souterraine de Ittigen-01 (débit minimum); confirmation du fonctionnement*
- *Ouverture de la vanne de production de Ittigen-01 (production)*
- *Confirmation de la circulation*
- *Démarrage de la pompe d’injection de surface (débit faible); confirmation du fonctionnement*
- *Augmentation lente et séquentielle des pompes souterraine et d’injection; vérification des paramètres*
- *Après stabilisation de l’injection, démarrage du circuit secondaire de l’installation géothermique.*
- *etc....*

Durant la procédure de démarrage, à cause de l’augmentation de la température, la pression dans les annulaires augmentera au dessus de la limite acceptable. La pression dans ces mêmes annulaires sera purgée périodiquement.

Procédure d'arrêt:

- *Ralentissement lent et séquentiel des pompes souterraines et d’injection.*
- *Arrêt de la pompe d’injection*
- *Arrêt de la pompe souterraine*
- *Fermeture de la vanne de production de Ittigen-01 et réalisation du test d’étanchéité*
- *Fermeture de la DHSV de Ittigen-01 et réalisation du test d’étanchéité*
- *Fermeture de la vanne de production de Ittigen-02 et réalisation du test d’étanchéité*
- *Fermeture de la DHSV de Ittigen-02 et réalisation du test d’étanchéité*

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *La présentation des procédures de démarrage et d’arrêt en annexe*
- *Calcul de pression annulaire maximale*
- *Référence à la procédure de mise en route de l’ensemble de l’installation géothermique.*
- *Référence à la procédure de test des vannes*
- *Procédure de nettoyage des puits (et les équipements spécifiques)*

- Possibilité d'injection de nitrogène dans les annulaires pour limiter les variations de pression.

2.2. Limites opérationnelles

Pression maximale de tête de puits:

Ittigen-01 (production): 50 bars

Ittigen-02 (injection): 150 bars

Pression maximale et minimale des annulaires:

Ittigen-01 et Ittigen-02: 5 / 30 bars

Température maximale en tête de puits:

Ittigen-01 et Ittigen-02: 175 degrés C

Débit maximal:

Ittigen-01 et Ittigen-02: 4.000 m³/jour

Pression d'injection maximale de Ittigen-02:

- 82 bars (surface) / 294 bars (à la profondeur de l'aquifère)
- Avec une surveillance des paramètres dynamiques d'injection

Composition de l'eau:

- Gaz associés maximum: 50 l / min (capacité maximale de l'installation)
- CO₂ dissous maximum: 30.000 ppm (risque de corrosion élevé)
- H₂S dissous maximum: 30.000 ppm (risque de corrosion élevé)
- Turbidité maximale: 500 NTU
- pH min/max: 4,8 / 9,2
- Activité microbienne: ...
- etc...

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- Limites associées aux risques identifiés pour les puits (référence à l'analyse de risque)

2.3. Arrêt d'urgence

Le système d'arrêt d'urgence peut être activé indépendamment par:

- Un opérateur de la salle de contrôle (à distance)
- Un opérateur sur site (boutons d'arrêt d'urgence)
- Le système de détection de fuite du circuit primaire et secondaire
- etc...

La séquence du système d'arrêt d'urgence est:

- *L'arrêt de la pompe souterraine et de la pompe d'injection*
- *La fermeture des vannes DHSV des deux puits (Arrêt +10s)*
- *La fermeture des vannes de production des deux puits (Arrêt +20s)*
- *La fermeture des vannes maitresses des deux puits (Arrêt +40s)*
- *La surveillance des paramètres des puits pendant 30 min / jusqu'à une stabilisation des pressions et températures.*
- *Un diagnostic de la situation*

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *Valeur des alarmes et paramètres reliés a une alarme.*
- *Le captage de fuite de fluide dangereux / polluant.*

2.4. Surveillance

Durant l'exploitation, les paramètres suivant seront surveillés:

Surveillance en continue:

- *Pression et température aux têtes de puits Ittigen-01 et Ittigen-02*
- *Pression et température en profondeur du puits Ittigen-02*
- *Débit en surface (mesuré au puits Ittigen-01)*
- *Paramètres de la pompe souterraine du puits Ittigen-01*
- *...*

Surveillance journalière:

- *Composition du fluide: pH, minéralité, conductivité...*
- *Pression des annulaires des puits Ittigen-01 et Ittigen-02*
- *...*

Surveillance hebdomadaire:

- *Indicateur de la sonde de corrosion*
- *Indicateur de la sonde de dépôt*
- *Pression de tête de puits Ittigen-03 (puits de surveillance)*

Surveillance mensuelle:

- *Composition détaillée du fluide (échantillon et analyse en laboratoire)*

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *Surveillance à distance de l'exploitation et ses limitations*

2.5. Situation anormale

En cas de situation anormale, la procédure suivante sera suivie:

- *Paramètre opérationnel anormal (pression, température, activité sismique...)*
- *Réalisation d'un diagnostic initial*
 - *Situation comprise → évaluation du niveau de risque → actions correctives (arrêt, inspection...)*
 - *Situation non-comprise → évaluation du niveau de risque*
 - *Risque négligeable → Continuation du diagnostic*
 - *Risque non-négligeable → Arrêt des opérations et continuation du diagnostic*

En cas de risque non-négligeable, une notification de situation anormale sera envoyée aux autorités locales:

- *Risque "acceptable": email à la commune / Canton*
- *Risque "acceptable avec précaution": email + réunion d'information à la commune / Canton*
- *Risque "non-acceptable": téléphone + email + réunion d'information à la commune / Canton*

L'évaluation du risque sera faite selon la matrice de risque, présenté dans la stratégie de gestion des risques.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *Présentation d'un processus pour la gestion des situations anormales*

3. Maintenance des puits

La maintenance suivante sera planifiée et exécutée:

Inspection visuelle des têtes de puits - Hebdomadaire

- *Inspection visuelle*
- *Vérification des pressions et températures durant la semaine passée*

Test des vannes - mensuel

- *Test fonctionnel de toutes les vannes (vérification du temps de réponse)*

- Cette maintenance sera étendue à tous les 3 mois après 3 tests consécutifs positifs
- Test avec pression différentielle des vannes de production et maitresse.
 - Cette maintenance sera étendue à tous les 3 mois après 3 tests consécutifs positifs

*Inspection de la tête de puits et tests des joints - **Annuel***

- Inspection visuelle détaillée (sous-traitant spécialisé)
- Graissage des vannes
- Test de pression des joints
- Test avec pression différentielle de toutes les vannes
- Test de pression de l'annulaire-A

*Inspection de la corrosion de la colonne de production - **Biannuel***

- Diagraphie de l'épaisseur de la colonne de production ("multi-finger caliper" et "USIT")
 - Cette maintenance sera étendue à tous les 4 ans si la tendance de corrosion se révèle très faible.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- Maintenance préventive / corrective / prédictive

4. Equipe d'exploitation

L'équipe d'exploitation est constituée de:

- 1 ingénieur d'exploitation (sur site)
- 3 opérateurs (sous-traitant: Ittigen inspection AG)
- 1 ingénieur maintenance
- 1 laborantin (sous-traitant: Ittigen laboratoire AG)
- 1 chef d'exploitation

+ Equipe de garde 24/24 (sous-traitant: Ittigen maintenance AG)

L'équipe de garde surveille les paramètres d'exploitation à distance, et réagit en cas de problème.

Le chef d'exploitation assure la coordination du travail avec le reste de l'entreprise.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- Un schéma d'organisation de l'équipe peut être présenté.

5. Transfer d'opération

Un processus de “transfert d'opération” / “transfert de responsabilité” sera fait a chaque fois qu'un puits sera opéré par une autre équipe que celle d'exploitation (intervention sur câble, injection dans le puits, changement de colonne de production....)

Ce processus capturera le statut du puits au moment où la responsabilité du puits se transférée entre l'équipe d'exploitation vers une autre équipe.

Ce “transfert d'opération” capturera:

- La complétion du puits*
- La connexion du puits avec les équipements de surface*
- La connexion du puits avec l'aquifère*
- La position de toutes les vannes du puits*
- La dégradation du puits*
- Le niveau de risque associé au puits*

Toutes ces informations seront incluses dans le documents “d'information clés de puits”, qui sera mis a jours avec les informations exactes du puits au moment même du transfert d'opération.

6. Annexe

Les procédures opérationnelles clés peuvent être ajoutée en annexe.

Stratégie d'exploitation de réservoir

Installation de géothermie Ittigen-A

Maître d'ouvrage: Nom

12-03-2018

Ingénieur réservoir: Nom

Géologue: Nom

Chef de projet: Nom

Ce document est un exemple, qui est peut être utilisé comme modèle de "stratégie d'exploitation de réservoir" pour l'exploitation de projets de géothermie profonde.

- Ce document est informatif pour les cantons suisses dans leur travail de régulation des activités de géothermie profonde.
- Le niveau de détails présenté dans un tel document doit être ajusté en fonction des dangers et des risques associés à l'exploitation des puits.
- Le contenu de ce document est fictif et doit être remplacé avec des informations réelles.

Abréviations	2
1. Information générale	4
1.1. Information clé du réservoir	4
1.2. Stratégie générale	4
2. Evaluation et description du réservoir aquifère	5
2.1. Etendue et limites du réservoir	5
2.2. Réservoir et propriété du fluide (eau)	7
2.3. Température and énergie	9
2.4. Modèle du réservoir	10
3. Gestion du réservoir	12
3.1. Etat initial	12
3.2. Stratégie et conditions d'exploitation	13
3.3. Limites d'exploitation	14
3.4. Surveillance du réservoir	16
3.5. Processus de gestion du réservoir	16
4. Equipe de gestion du réservoir	17
5. Puits	18
5.1. Puits de production	18
5.2. Puits d'injection	19

Abréviations

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 diagrapie)

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. Information générale

1.1. Information clé du réservoir

Concession numéro: [BE-99877-ITTG-2019](#)

Installation: [Ittigen-A](#), geothermiestrasse 23, 3063 Ittigen, Bern

Zone de la concession: [50km²](#)

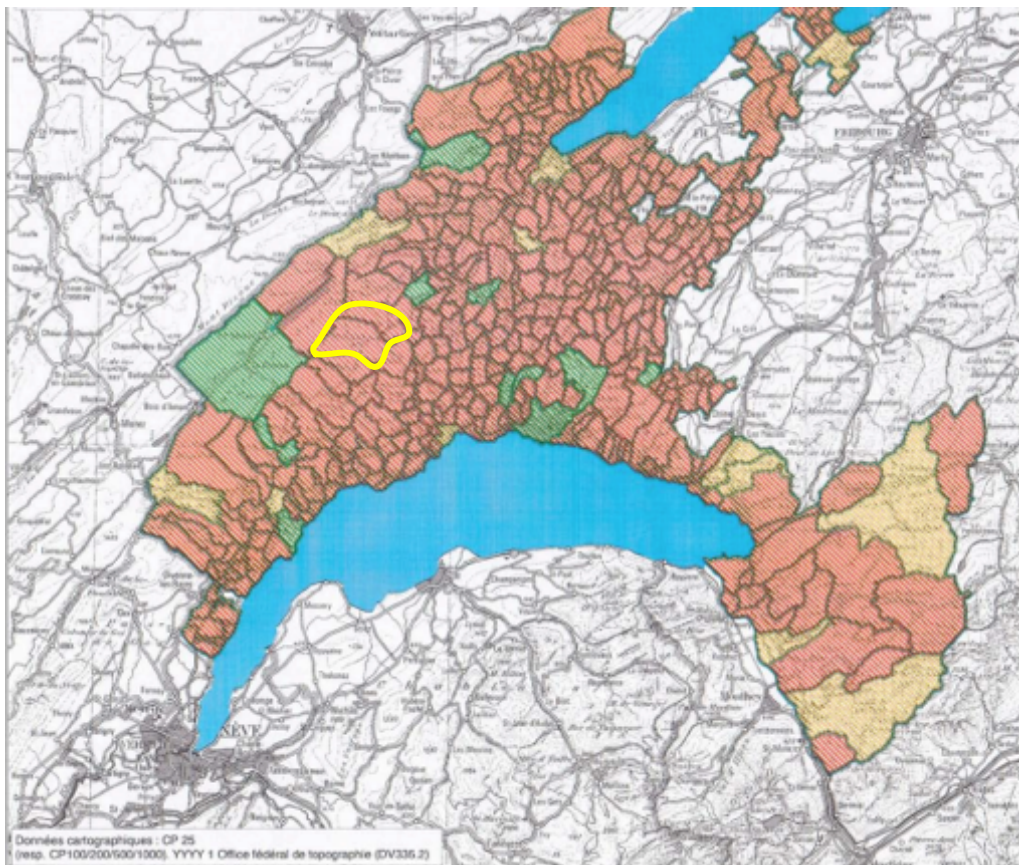
Début et fin de la concession: [01.02.2018 - 01.01.2023](#)

Maitre d'ouvrage: [Ittigen Géothermie AS](#)

Structure géologique: [Massif d'Ittigen – Bassin Molassique / Préalpes](#)

Puits d'exploitation: [Ittigen-01](#) (injection), [Ittigen-02](#) (production), [Ittigen-03](#) (injection)

Carte de la concession: [ci-dessous](#)



Source: Potentiel géothermique du canton de Vaud

1.2. Stratégie générale

La stratégie générale d'exploitation de la concession numéro BE-99877-ITTG-2019 est de produire de l'eau géothermale via le puits Ittigen-02 jusqu' à 7.000 m³/jour, en extraire la chaleur de 140 degrés jusqu' à 72 degré et de réinjecter l'eau via les puits Ittigen-01 et Ittigen-03.

Le choix de réinjecter l'eau avec deux puits est nécessaire pour:

- *Garantir une exploitation longue durée du réservoir (planifiée pour 40 ans) ou le risque de front froid est minimisé.*
- *Limiter la pression d'injection dans le réservoir, ainsi que le risque de réactivation de fractures existantes.*

L'installation en surface produira 9 MW d'électricité et de la chaleur pour la ville d'Ittigen.

Les paramètres de l'aquifère réservoir ont été évalués durant le test de production long, réalisé pendant le forage du puits Ittigen-01.

2. Evaluation et description du réservoir aquifère

2.1. Etendue et limites du réservoir

Le réservoir se situe au sein du Massif d'Ittigen. La formation géologique du réservoir s'étend sur approximativement 24km dans un axe Nord-Sud, et 130km dans un axe East-Ouest.

Son épaisseur varie de quelques mètres jusqu'à 40m à l'Ouest, et à l'Est s'agrandie jusqu'à 200-300m au niveau de son plongeon sous les Alpes. Au niveau du site de l'installation géothermale, l'épaisseur du réservoir est d'environ 130-160m.

L'inclinaison générale est de 4 degré, dans une direction Nord-Est. Proche de la limite Est du réservoir, cette inclinaison augmente progressivement jusqu'à 24 degrés.

Le réservoir est de dimension régionale, et est évalué comme beaucoup plus grand que la zone d'exploitation prévue.

Coupe géologique :

Les coupes géologiques suivantes présentent le réservoir et son extension en détails : sur une coupe Nord-Sud, une coupe Est-Ouest et une vue 3D.

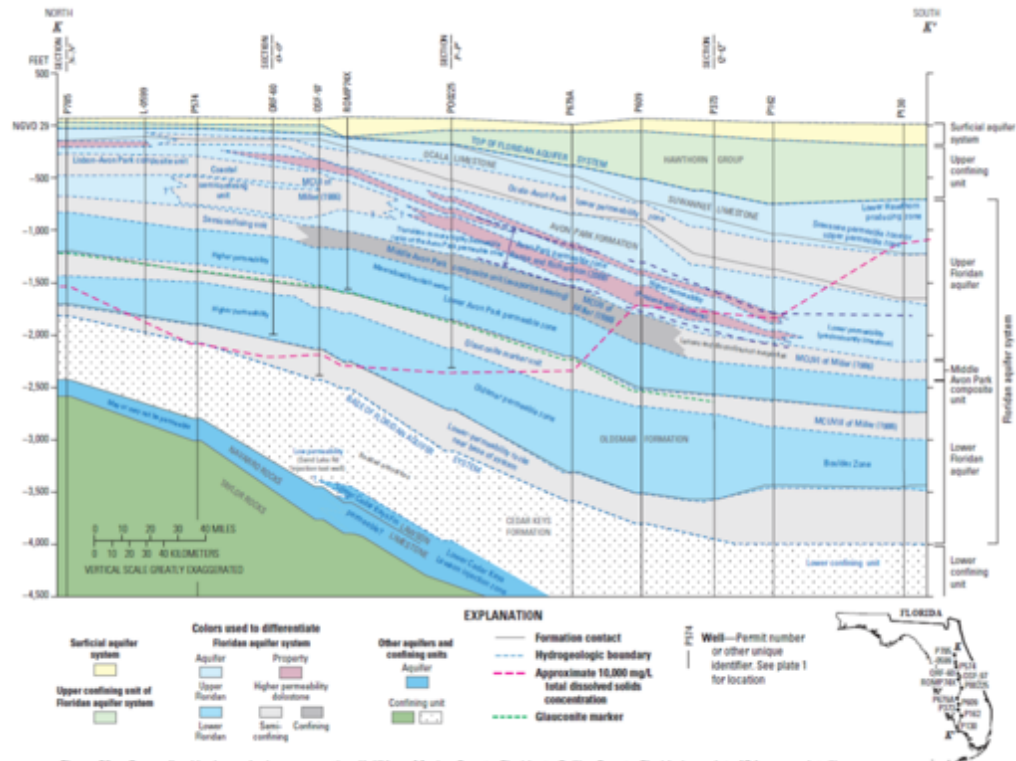


Figure 29. Generalized hydrogeologic cross section K-K' from Marion County, Florida, to Collier County, Florida (see plate 17 for more detail).

Source: wikipedia.org

Volume du réservoir:

Le volume du réservoir est évalué à 20 millions de m³. La majorité de cette capacité se situe dans sa partie Est, où l'épaisseur du réservoir est supérieure à 150m, et la porosité supérieure à 15%.

Pression du réservoir :

La pression naturelle de l'aquifère réservoir est légèrement au dessus de la pression hydrostatique : à 1,08 s.g. à 2240m TVD GL = 237 bars (emplacement de l'installation géothermale).

Transit naturel :

Il y a un transit naturel de l'eau au travers du réservoir : avec un rechargement dans les Préalpes, l'eau transite dans des aquifères profonds et pénètre dans le massif d'Ittigen sur sa frontière Est. Ensuite l'eau transite dans une direction Sud - Sud-Est. La vitesse de transit, bien qu'incertaine, a été évaluée entre 12-24 m par an.

Connectivité régionale :

Il a été évalué que l'aquifère réservoir est en communication avec l'aquifère profond du Matterhorn à sa frontière Est. Au sud, une connectivité limitée à l'aquifère de Bern, peu profond, est attendue.

Les détails de ces connectivités sont présentés dans le chapitre 3.3, limites d'exploitation.

Données :

Cette description est basée sur l'évaluation géologique étendue faite depuis 1960 par le Canton de Bern, par xx et al, par xx et al, ...

De plus, le forage récent du puits Ittigen-01 (2018), et les tests de production réalisés ont permis d'affiner les volumes, pressions, propriétés et connectivité de l'aquifère réservoir.

Incertitudes:

- Bien que le volume du réservoir ait été évalué avec précision, des incertitudes sont toujours présentes sur la répartition exacte de ce volume au sein de la formation géologique.*
- Des incertitudes sont encore présentes vis à vis de l'intensité de la connectivité du réservoir avec l'aquifère du Matterhorn.*
- Des incertitudes persistent sur la présence de fines couches de schiste imperméables au sein du réservoir, qui pourraient impacter l'exploitation à long terme. Celles-ci pourraient limiter les écoulements verticaux et intensifier ceux horizontaux. etc...*

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- Utilisation de données sismiques pour cartographier le réservoir*

2.2. Réservoir et propriété du fluide (eau)

Porosité:

La porosité dans le réservoir varie entre 8% et 22%.

La partie Est a été évaluée comme ayant les meilleures propriétés, avec une porosité entre 19% et 22%. La partie Ouest a été évaluée avec une porosité inférieure, entre 14% et 17%.

Sur une échelle verticale, peu de changements de porosité ont été considérés, et aucun changement significatif a été observé dans le puits Ittigen-01 et Ittigen-02.

Perméabilité:

La perméabilité a été évaluée entre :

- 150 mD*
- 600 mD*

La perméabilité a été observée comme dépendante de la profondeur. Telle que la partie supérieur du réservoir aquifère est d'environ 500mD. A la limite Est, la formation plonge jusqu'à une inclinaison de 24 degrés et s'élargie considérablement, avec une perméabilité plus faible, due principalement au poids litho-statique des Préalpes.

Sans cette réduction, il a été évalué que le transit de fluide dans l'aquifère serait beaucoup plus fort, créant ainsi une anomalie géothermale avec des températures encore plus élevées.

Fractures:

Au nord, une fracture de dimension kilométrique est considérée comme isolante, à la vue des observations de surface. Situé proche de la limite du massif, son influence sur le volume du réservoir est considérée comme très faible.

Etc...

Propriété du fluide:

Les propriétés de l'eau du réservoir sont considérées comme homogènes sur l'ensemble du réservoir, grâce à la bonne perméabilité générale.

Durant les tests de production, les propriétés moyennes suivantes ont été mesurées :

Densité	1,05 sg
pH	6,6
Sodium	220 mg/l
Magnésium	220 mg/l
Cadmium	220 mg/l
Potassium	220 mg/l
Bicarbonate	220 mg/l
Sulfate	22 0mg/l
CO2	1.210 ppm
etc...	

De part sa composition, l'eau du réservoir génère un risque de corrosion et de dépôts pour les puits et les installations de surface. Ces considérations sont présentées plus en détails dans la « stratégie d'exploitation des puits »

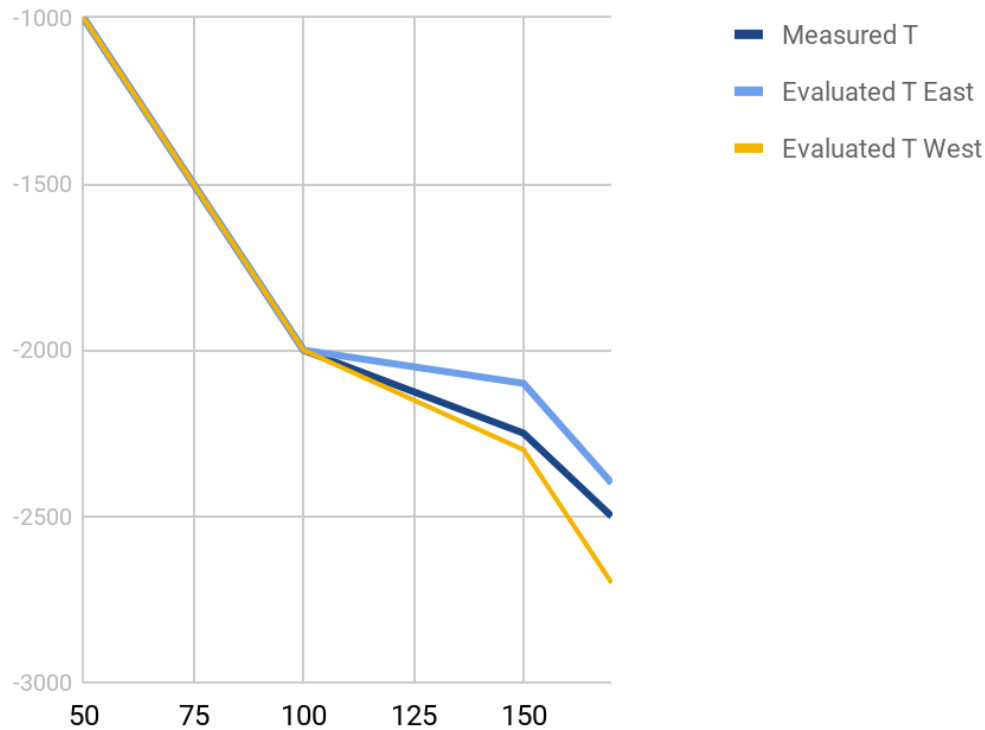
Incertitudes :

- Des incertitudes persistent sur le ratio de perméabilité verticale / horizontale. Les tests de production sur différentes parties du puits n'ont par permis de conclure sur les changements de perméabilité verticale.
- Des incertitudes persistent sur la présence de fractures conductrices ou isolantes au sein du réservoir. Bien que les observations de surface suggèrent la présence de fractures, les tests de production ont conclu que seul de petite fractures, avec un impact limité sur les écoulements, sont présentes dans le réservoir.
- etc...

2.3. Température and énergie

Le gradient de température mesuré et son évaluation dans les autres parties du réservoir sont présentés ci-dessous :

Geothermal gradient



Les incertitudes sur les gradients évalués sont considérées comme inférieures à 10%.

Potentiel énergétique:

L'énergie associée à la chaleur de l'eau récupérable est estimée à :

Volume du réservoir : $6 \cdot 10^9 \text{ m}^3$

→ Porosité moyenne (20%): $1,2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$

→ Zone de drainage du puits de production (2%): $2,4 \cdot 10^7 \text{ m}^3$

Chaleur récupérable associée à l'eau = $3,17 \cdot 10^{12} \text{ kJ}$ ($8,8 \cdot 10^8 \text{ kW/h}$)

Considérant l'écoulement d'eau réinjectée (froide), le transfert de chaleur entre la roche et l'eau aura lieu et l'énergie, qui y est associée, est estimée à :

Volume du réservoir: $6 \cdot 10^9 \text{ m}^3$

→ Volume de roche moyen (80%): $4,8 \cdot 10^9 \text{ m}^3$

→ Volume de roche affecté (0,5%): $2,4 \cdot 10^7 \text{ m}^3$

Chaleur récupérable associée à la roche = $3,17 \cdot 10^{12}$ kJ ($8,8 \cdot 10^8$ kW/h)
etc...

Le flux naturel de chaleur du sous-sol au niveau du réservoir est évalué à : $0,12 \text{ Wm}^{-2}$.
La chaleur récupérable associée à ce flux est estimée à:

- ...

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

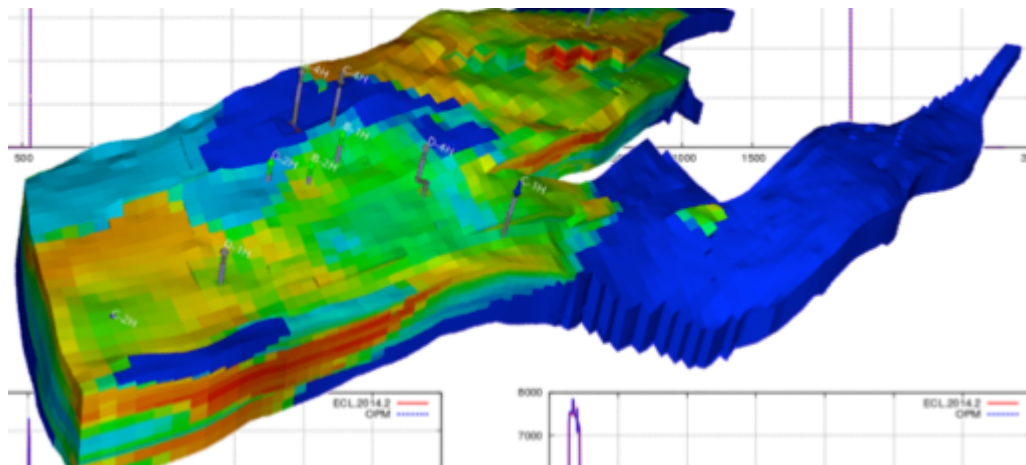
- L'énergie totale contenue / son coefficient de récupération
- La ressource en chaleur de base / la ressource en chaleur effective
- La méthode utilisée pour évaluer le potentiel énergétique (flux de chaleur, méthode volumétrique, simulation numérique...)

2.4. Modèle du réservoir

Pour les simulations d'écoulement, deux modèles ont été utilisés. Le software utilisé pour ces simulations est xxxx.

- Petit modèle: 8km x 8km x 300m.
 - Ce modèle est fait de blocs horizontaux rectangulaires. La taille des blocs est affinée à la proximité des puits.
 - Le modèle est utilisé pour calibrer les propriétés du réservoir, avec les valeurs mesurées (débit, pression, température) et pour améliorer la compréhension du réservoir.
 - Détails du modèle:
 - Quantité de blocs: xxxx millions
 - Factures considérées sont ... (isolantes) et (conductrice)
 - Les frontières considérées sont...
 - Les formations géologiques représentées sont...
 - etc...

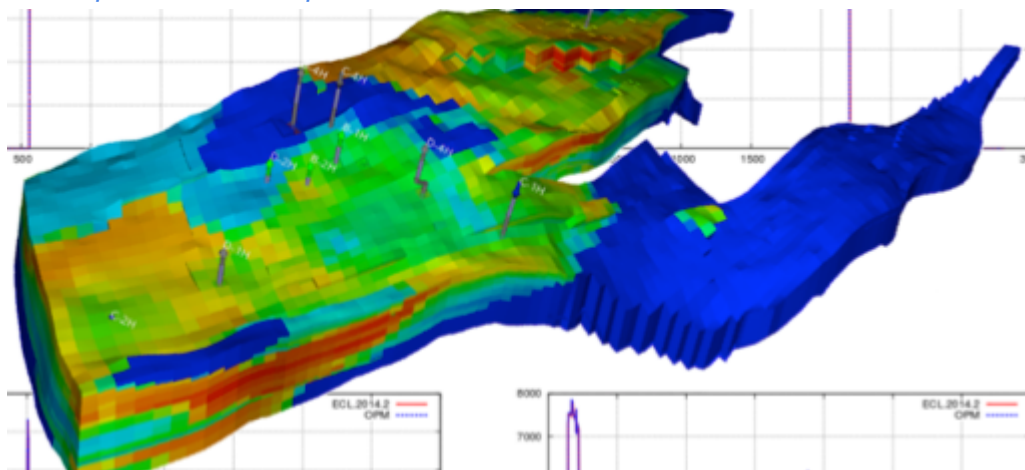
Ci-dessous est présenté une capture d'écran du modèle.



Source: opm-project.org (free licence)

- Modèle régional: 50km x 20 km x 600m
 - Ce modèle est basé sur les formations géologiques. Les blocs suivent la géométrie des formations géologiques.
 - Ce modèle est utilisé pour comprendre l'impact de la production et de l'injection de l'installation géothermale sur les aquifères voisins, et s'assurer qu'aucun effet négatif n'est généré.
 - Détails du modèle:
 - Quantité de blocs: xxxx millions
 - Factures considérées sont ... (isolantes) et (conductrice)
 - Les frontières considérées sont...
 - Les formations géologiques représentées sont...
 - etc...

Ci-dessous est présenté une capture d'écran du modèle.



Source: opm-project.org (free licence)

Incertitudes:

- Au début de l'exploitation, la connaissance du réservoir est déduite des données collectées durant le forage, et des données de test de production. Alors que les propriétés proches des puits sont relativement bien connues, les propriétés du reste du réservoir sont associées à des macro-valeurs ayant un plus fort niveau d'incertitude.
- Il a été évalué qu'après quelques années d'exploitation, l'amélioration du modèle de réservoir sera assez robuste pour pouvoir calculer précisément la limite d'exploitation du réservoir (arrivée des fronts froids au puits de production).
- La connectivité aux aquifères voisins contient un certain degré d'incertitude, qui pourra être réduit avec des données de production sur le long terme. Celle-ci permettant de mesurer la réponse des ces aquifères avec plus de précision. Dépendant des résultats, la surveillance d'aquifères voisins pourrait s'avérer nécessaire.
- Etc...

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *Présentation des études utilisées pour la connectivité entre aquifères régionaux*
- ...

3. Gestion du réservoir

Les considérations suivantes pourront être incluses:

- *Conditions initiales et aux frontières du réservoir*
- *L'existence d'une exploitation renouvelable : le fluide injecté est réchauffer par la roche à sa température initiale. Ainsi l'exploitation peut est utilisée indéfiniment.*
- *L'existence d'une exploitation durable : le fluide ne sera pas réchauffé à sa température initial, cependant l'exploitation du réservoir est faisable sur plusieurs décennies et sans affecter les développements futurs dans la région.*
- *Dans le cas de non-réinjection du fluide, les considérations spécifiques pour s'assurer que la captage d'eau n'aura pas de conséquences négatives sur les transits naturels, le niveau piézométrique, la connectivités aux autres aquifères, pourront être présentées ; dans le court comme dans le long terme.*

3.1. Etat initial

La température géothermale de l'eau au toit du réservoir est estimée à:

- $T_{\text{géothermal}} = 138,4 \text{ degré C à } 2240\text{m TVD GL}$

La pression géothermale de l'eau à l'entrée du réservoir est estimée à:

- $P_{\text{géothermal}} = \text{hydrostatique} + 22 \text{ bars} = 237 \text{ bars à } 2240\text{m TVD GL}$

Le transit naturel dans le réservoir est estimé à :

- $V_{\text{naturel}} = 2\text{cm} / \text{jour dans une direction Ouest Nord-Ouest}$

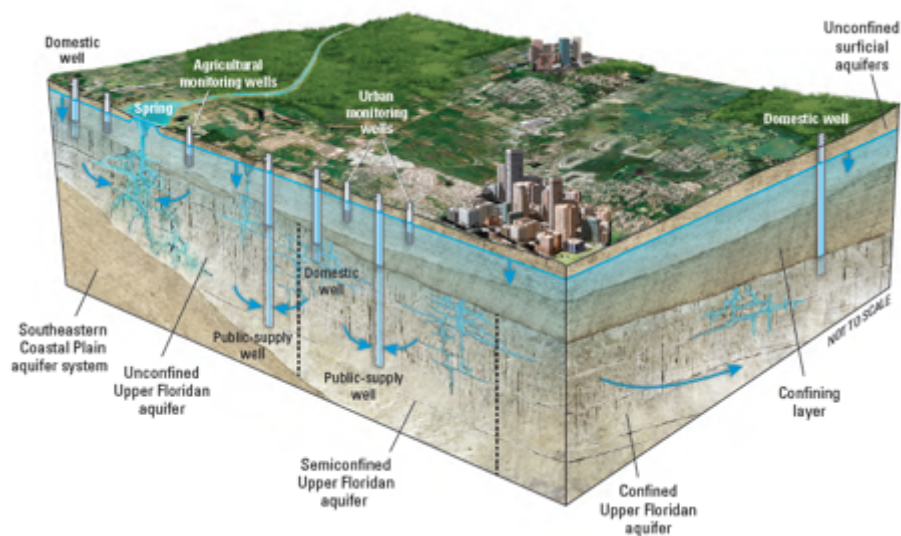
Description des puits :

Puits de production Ittigen-02 foré à 2400m TVD GL, et dévié vers l'Est (azimut 130 degré) jusqu'à 620m de la tête de puits.

Puits d'injection Ittigen-01 foré à 2800m TVD GL, et dévié vers l'Ouest (azimut 260 degré) jusqu'à 700m de la tête de puits.

Puits de d'injection Ittigen-03 foré à 2850m TVD GL, et dévié vers le Sud-Ouest (azimut 215 degré) jusqu'à 750m de la tête de puits.

Le réservoir, les puits et l'installation sont représentés sur le schéma suivant :



Source: wikipedia

La référence de surface pour l'installation est l'emplacement de la tête du puits de production Ittigen-02:

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.

3.2. Stratégie et conditions d'exploitation

La stratégie d'exploitation du réservoir est de réinjecter toute l'eau produite, une fois l'échange de chaleur effectué, pour maintenir l'équilibre de masse de fluide dans l'aquifère réservoir.

La sous-pression aux alentours du puits de production et la surpression aux alentours des puits d'injection seront contrôlées.

La stratégie d'injection consiste à placer le fluide froid aussi loin que possible du puits de production, tout en utilisant les fractures isolantes naturelles présentes dans le réservoir. Pour ainsi augmenter le trajet entre les puits d'injections et le puits de production au maximum ; tout en utilisant les capacités raisonnables des équipements de forage.

Objectif d'exploitation:

Le puits de production Ittigen-02 sera exploité:

- Débit objectif: 6000 m³/jour
- Sous-pression maximale dans le réservoir (rabattement) : 60 bars
- Les simulations montrent une sous-pression de 53 bars à 6000 m³/jour
- Les simulations montrent une température de surface de 139 degrés C.

Le puits d'injection Ittigen-01 sera exploité :

- *Débit objectif: 3000m³/jour*
- *Surpression maximale dans le réservoir : 41 bars*
- *Les simulations montrent une température d'injection en surface de 76 degrés C*

Le puits d'injection Ittigen-03 sera exploité :

- *Débit objectif: 3500m³/jour*
- *Surpression maximale dans le réservoir : 45 bars*
- *Les simulations montrent une température d'injection en surface de 76 degrés C*

Il a été évalué nécessaire d'opérer les deux injecteurs à des pressions et débits différents, pour être capable d'observer la réponse de l'aquifère dans différentes conditions, et pour être capable de détecter l'influence de la pression générée par chaque puits.

Arrêt annuel:

Un arrêt d'une semaine est prévu chaque année durant l'été pour effectuer la maintenance et l'inspection de l'installation de surface. Ces arrêts permettront d'observer la réponse du réservoir durant un arrêt de production/injection, et de comprendre la connectivité au sein du réservoir, et potentiellement avec les aquifères limitrophes.

Zone d'impacte:

Le réservoir aquifère est de taille régionale et a des dimensions largement supérieures à la zone d'exploitation prévue. Il a été évalué que la partie de l'aquifère réservoir qui sera affectée par l'exploitation est de :

- *10% affectée par des écoulements*
- *35% affectée par des changements de pression (>1 bar)*

Les 65% restant de l'aquifère ont été évalué comme marginalement affectés par l'exploitation.

Les considérations suivantes pourront être incluses:

- *Effets sur les transits naturels au sein du réservoir.*

3.3. Limites d'exploitation

Limites d'injection:

Les simulations réalisées ont montré que pour garder la pression d'injection dans le réservoir sous les 45 bars (pression limite selon les critères de sismicité induite), il sera nécessaire d'injecter l'eau produite via deux puits d'injections.

Bien que ce critère soit considéré comme conservatifs, des incertitudes subsistent sur la présence de fractures, leurs orientations et le champ des contraintes auquel elles sont soumises.

Ainsi, la surveillance sismique sera couplée avec la surveillance du réservoir pour comprendre les contraintes dans le réservoir, et comment celles-ci sont affectées par la production et l'injection de fluide.

Une fois que suffisamment de données auront été collectées et analysées (plusieurs mois), les limites associées à la pression d'injection pourront être réévaluées.

Front froid - limitation:

Les simulations ont montré qu'un front froid atteindrait le puits de production après 28 ans d'exploitation.

Une fois que ce front atteint le puits de production, la température devrait diminuer au rythme de 1,8 degré par an. La limite de l'installation électrique de surface ORC (Organic rankine cycle), sera ainsi atteinte 5 ans après le contact du front froid.

La durée total d'exploitation est ainsi théoriquement estimée à 33ans.

Cependant, l'amélioration des technologies d'ORC devrait s'améliorer significativement d'ici 33 ans, à un cout marginal. De plus, la compréhension du réservoir permettra d'optimiser l'injection entre les puits Ittigen-01 et Ittigen-03 pour limiter l'avancement du front froid.

De ce fait, il y a une forte probabilité que l'installation soit exploitée plusieurs années de plus que prévu.

Compaction du réservoir:

Le refroidissement du réservoir et son effet sur la compaction ont été simulés. Son impact a été évalué comme trop faible pour générer des effets en surface.

Contamination d'eau froide:

Il existe une incertitude sur la connectivité vers un aquifère plus froid, au sud, via une faille majeure. Bien que distante des puits, durant la durée de vie de l'installation, il existe un risque que de l'eau plus froide vienne contaminer l'eau produite. Ceci pourrait compromettre l'exploitation du réservoir.

Ce risque sera minimisé par l'acquisition de données sismiques en 2020, en coopération avec le programme de recherche scientifique de Ittigen, pour cartographier avec précisions les fractures de la région, et leurs propriétés.

De plus, des tests utilisant la modification des paramètres d'injections sont prévus pour modéliser plus précisément l'aquifère voisin et sa connectivité.

Dépôt:

Il existe un risque faible (mais non négligeable) de dépôt minéral dans les puits. Ainsi, durant la première, deuxième, quatrième et huitième maintenance annuelle, des diagraphies de « caliper » seront effectuées pour détecter la présence de dépôt minéral.

De plus, les inspections des équipements de surface permettront de détecter la tendance de ces dépôts.

Les considérations suivantes pourront être incluses:

- *Risque de fracturation thermique*
- *Activation de faille majeure*
- *Sismicité induite (production et injection)*
- *Recharge thermique naturelle*
- *Pression de rabattement*
- *Temps de transit naturel de l'eau*
- *Limitation des installations de surface*
- *Corrosion*
- *Etc...*

3.4. Surveillance du réservoir

Le réservoir sera surveillé grâce à :

- *Capteurs de pression et température de surface (puits de production et d'injection).*
- *Capteur de débit de surface (puits de production et d'injection)*
- *Capteur de pression et de température au niveau du réservoir (puits de production Ittigen-02)*
- *Analyse hebdomadaire de la composition de l'eau*
- *Des diagrammes d'écoulement dans le puits d'injection Ittigen-03 durant les deux premières années, pour mieux comprendre la répartition de l'injection.*
- *Une surveillance de la pression dans 3 puits peu profonds voisins (Puits de la ville de Ittigen utilisés pour des serres agricoles, à environ 800m de profondeur), pour confirmer l'absence de connectivité avec un aquifère peu profond.*

Les considérations suivantes pourront être incluses:

- *Techniques indirectes de surveillances*

3.5. Processus de gestion du réservoir

Durant les 3 premières années d'exploitation, le processus de gestion du réservoir sera le plus intense, pour pouvoir construire une bonne compréhension du réservoir.

La charge de travail sera ensuite réduite, une fois que le comportement du réservoir sera compris. Après 5 ans, le travail de gestion du réservoir sera réduit à un niveau faible, si l'exploitation se déroule comme prévu et ne demande pas de gestion intense.

Calibration du modèle de réservoir:

Le processus d'ajustement aux conditions historiques (« history matching ») sera conduit sur les 10 premières années ou jusqu'à ce que la compréhension du réservoir soit suffisante pour pouvoir l'exploiter de façon sûre et prévisible.

Lorsque le front froid atteindra le puits de production, une deuxième phase d'ajustement aux conditions historiques sera mise en place.

En parallèle, des variations entre les deux puits d'injection seront planifiées pour pouvoir comprendre la contribution individuelle de chaque puits dans le réservoir. Comme le puits Ittigen-01 sera connecté à la partie supérieure de l'aquifère réservoir, et le puits Ittigen-03 à la partie inférieure, des données seront disponibles pour comprendre la répartition des écoulements au sein du réservoir.

Acquisition de données:

Des données sismiques additionnelles seront incluses grâce à la campagne sismique planifiée en 2032 par la ville d'Ittigen.

Des campagnes de diagraphie seront effectuées tous les deux ans, avec différents objectifs, dépendant de la problématique à résoudre. Les objectifs suivants ont déjà été identifiés :

- Optimisation d'injection*
- Réaction des formations géologiques (gonflement / compaction)*
- Dépôts et corrosion*
- ...*

Les considérations suivantes pourront être incluses:

- Un schéma du processus de gestion du réservoir*
- Acquisition de données / « processing » des données / analyses des données*
- ...*

4. Equipe de gestion du réservoir

A cause de la variation de la charge de travail au cours des années, le travail sera effectué de la façon suivante :

- Un ingénieur réservoir à temps partiel
 - Cet ingénieur travaille actuellement à temps partiel sur un doublet géothermique en Suisse.**
- Des contrats ponctuels avec des sous-traitants spécialisés seront faits pour actualiser le modèle.*
- Des contrats pour des études ponctuelles seront faits avec l'université d'Ittigen.*

L'ingénieur réservoir reportera, avec le géologue et l'ingénieur d'exploitation, au chef d'exploitation.

Les considérations suivantes pourront être incluses:

- Un schéma de l'équipe de gestion du réservoir.*

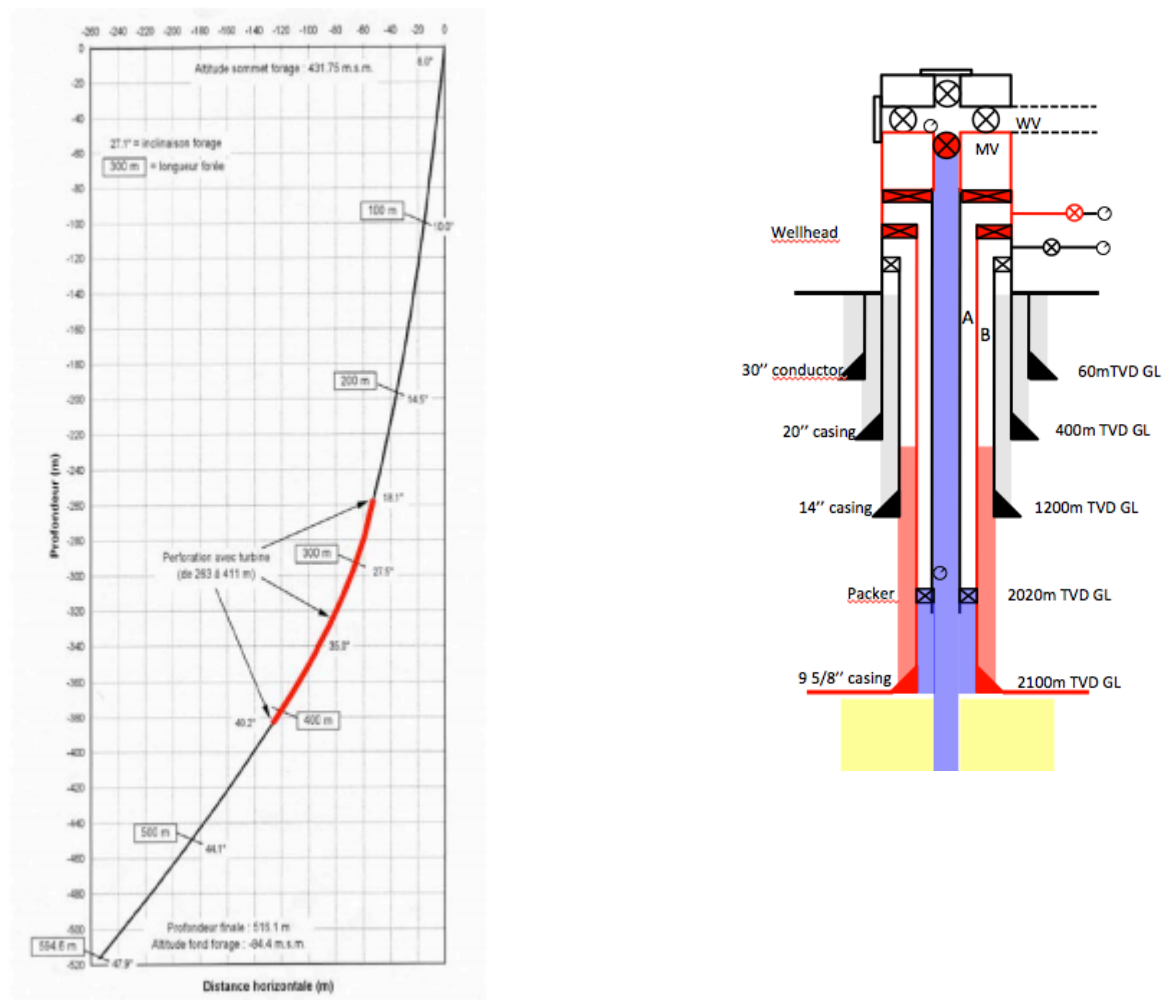
5. Puits

L'organisation générale des puits peut être présentée : Doublet / boucle fermée... etc...

5.1. Puits de production

Le puits Ittigen-02 se situe aux coordonnées présentées au paragraphe 3.1

La trajectoire du puits est présentée ci-dessous (référence est faite au programme de forage pour plus de détails).



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

L'eau du réservoir sera produite avec une pompe de surface. Au cas où les résultats des tests de production montreraient une productivité inférieure aux attentes, une pompe souterraine pourra être installée à 500m dans le puits.

Les considérations suivantes pourront être incluses:

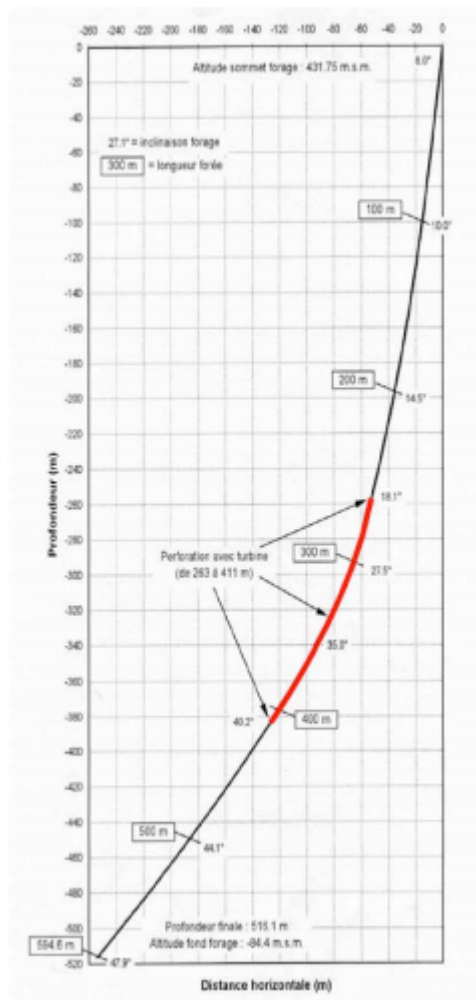
- le besoin de deux barrières en cas de puits artésien.
- etc...

5.2. Puits d'injection

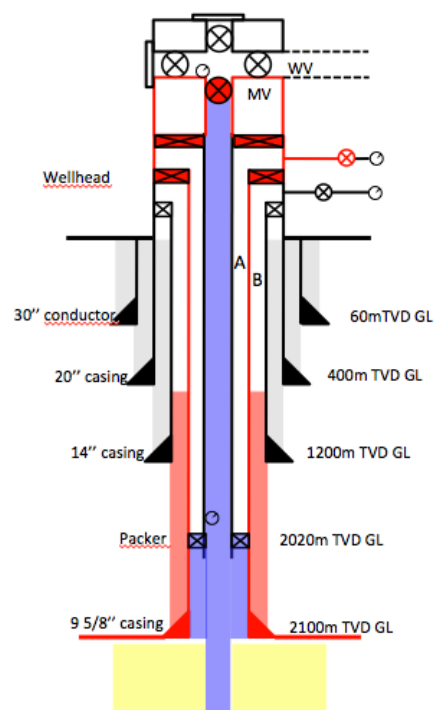
5.2.1. Puits Ittigen-01

Le puits d'injection Ittigen-01 est situé 6m à l'Est des coordonnées présentées pour le puits Ittigen-02 au paragraphe 3.1. La trajectoire prévue du puits est présentée ci-dessous (référence est faite au programme de forage pour plus de détails).

Le schéma de barrière de puits est présenté ci-dessous (référence est faite au programme de forage pour plus de détails).



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



5.2.2. Puits Ittigen-03

Le puits d'injection Ittigen-03 est situé 12 m à l'Est des coordonnées présentées pour le puits Ittigen-02 au paragraphe 3.1. etc...

Programme d'intervention - Puits Ittigen-01

Maître d'ouvrage: Nom

12-03-2018

Ingénieur puits: Nom

Géologue: Nom

Chef de projet: Nom

Ce document est un exemple, qui est destiné à servir comme modèle de "Programme d'intervention" 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 d'intervention de puits dans un projet de géothermie profonde (réparations de tête de puits, diagraphie, stimulation, suspension du puits...). Durant les opérations d'intervention, 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 l'intervention de puits.
- Le contenu de ce document est fictif et doit être remplacé avec des informations réelles.

Table des matières

Abréviations / Terminologie	3
1. Résumé.....	4
1.1. Informations clés.....	4
1.2. Champ d'application des travaux	5
1.3. Critères de design - Normes	5
2. Etat du puits	6
2.1. Statut et objectif	6
2.2. Dégradation	6
2.3. Eau du sous-sol (eau potable et eau exploitable)	7
2.4. Hydrocarbure, H ₂ S et CO ₂	7
3. Opérations d'intervention	8
3.1. Statut final du puits	8
3.2. Unité d'intervention	8
3.3. Design de l'intervention	9
3.3.1. Spécification des équipements de « wireline »	9
3.3.2. Limitation d'accès / météo (s'il y a lieu)	9
3.3.3. BOP: Bloc d'obturation du puits (s'il y a lieu)	9
3.3.4. Information de tête de puits	10
3.3.5. Test de pression:	10
3.3.6. Durée des opérations.....	10
3.4. Détails des opérations	11
3.4.1. Diagraphie du réservoir	11
3.4.2. Acidification du réservoir (option)	12
4. Gestions des risques et des dangers	13
4.1. Objectifs clefs	13
4.2. Analyse de risques	13
4.3. Déviations.....	13
4.4. Barrière de puits	13
5. Organisation.....	14

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 diagraphe)

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

Nom du puits: Ittigen-01

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

Profil de risque du puits: *moyen*

Canton: *Bern*

Commune: *Ittigen*

Numéro de concession: *4738901872-MN-GEO-2017*

Maître d'ouvrage: *Géothermie Ittigen AG*

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

Distance Sol - RKB / élévation: *9m*

Coordonnée 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.*

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

Pression de design du puits: *250 bars*

Température de design du puits: *150 degrés*

Durée prévue de l'intervention: *12 jours*

Objectif de l'intervention : *Diagraphie de production avec option de stimulation à l'acide.*

1.2.Champ d'application des travaux

L'intervention sur le puits Ittigen-01 sera la 7^{ième} intervention de l'installation géothermique Ittigen-A.

Ce document présente les activités d'intervention du puits Ittigen-01:

- Activités de diagraphies*
- Option de stimulation avec acide*

Dans le cas où les conditions du puits 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

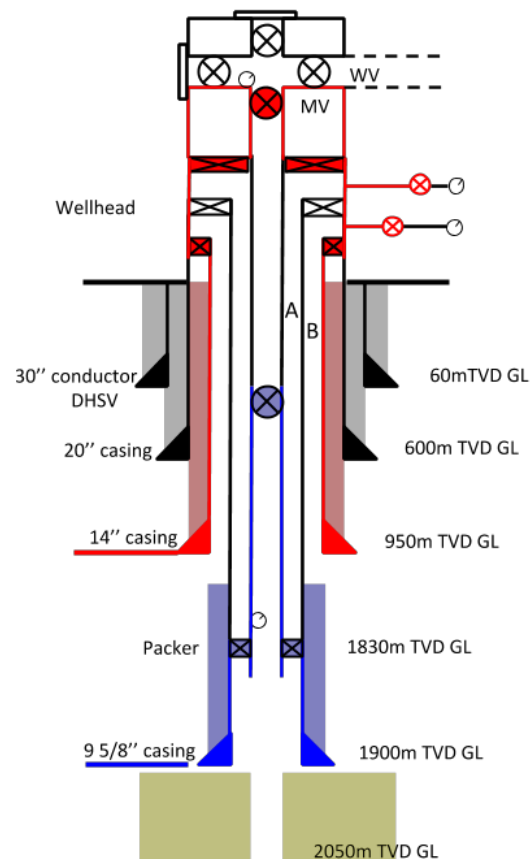
La préparation des activités de forage du puits est réalisée selon la norme NORSOK D-010 et la norme WEG-Bohrungsintegrität.

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

2. Etat du puits

2.1.Statut et objectif

L'état du puits est présenté par le schéma ci-dessous. Référence est faite au document « d'informations clés de puits »



Les objectifs de l'intervention sont de:

- *Réaliser une diagraphe de production (débitmètre) des différentes zones du réservoir pour améliorer la compréhension de la répartition des écoulements.*
- *Option : si évalué nécessaire, réaliser une stimulation avec acide du réservoir*

Commentaire: Les objectifs 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, tous les ajustements seront faits pour pouvoir atteindre ces mêmes objectifs.

2.2.Dégradation

Les dégradations suivantes ont été identifiées sur le puits Ittigen-01 :

- Corrosion de la colonne de production
 - Évaluée à 8% de l'épaisseur de la colonne
- Pression anormale dans l'annulaire B
 - Une élévation lente de la pression (4 bars par semaine) a été détectée depuis Juin 2018. Le phénomène est constant et stable.

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.

Il n'est pas prévu que cette intervention impacte ou interagisse avec les aquifères d'eaux potable et exploitable. Cependant, ce paragraphe présente tout de même les précautions existantes.

Le puits traverse les eaux potables et exploitables suivantes:

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

Ceux-ci sont protégés par les mesures suivantes:

- La collecte de tous les fluides présents sur la plateforme de béton au site de forage.
- Le stockage de tous les produits chimiques dangereux dans une zone spécifique avec enceinte de confinement.
- L'isolation faite, durant le forage, de ces aquifères par une cimentation complète des tubages. Cette cimentation a été confirmée par une diagraphie de CBL azimutale (ciment bond log) et des tests en pression.

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

- Les eaux de pluie

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.Hydrocarbure, H₂S et CO₂

Le puits n'est pas exposé à des hydrocarbures, ni du H₂S ni du CO₂.

3. Opérations d'intervention

3.1.Statut final du puits

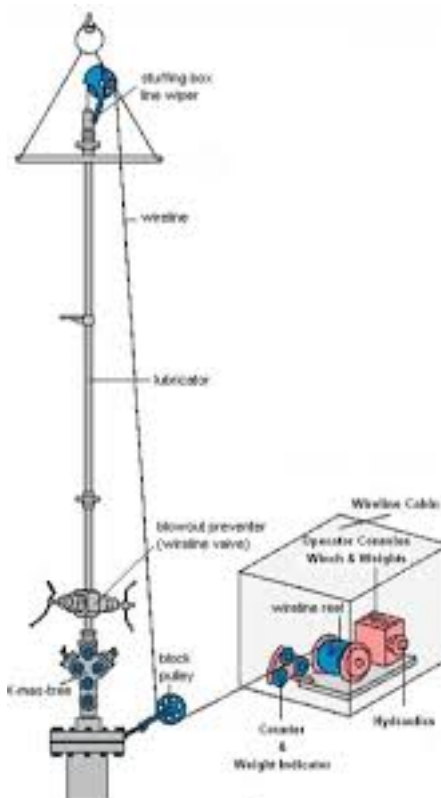
L'état final du puits sera la même que l'état initial, puisque cette intervention ne vise pas à modifier le puits (diagraphie et acidification du réservoir).

3.2.Unité d'intervention

Les critères minimaux de l'unité de d'intervention ont été identifiés:

- Câble de type électrique - hepta
- Longueur du câble : 3,5 km
- Longueur maximal de l'assemblage : 6 m
- Capacité de pompage: 5000l /min
- Pression de fonctionnement du BOP (bloc d'obturation du puits): 200 bars
- Alimentation en énergie: Moteur diesel avec back-up
- Etc...

Le schéma suivant présent l'Installation en tête de puits :



source : haltin.eu

3.3.Design de l'intervention

Diagraphie dans le réservoir

La diagraphie du réservoir consiste à mesurer le débit sur toute la longueur de production du réservoir, pour pouvoir identifier les contributions de chaque intervalle.

Cette diagraphie est prévue en 3112m et 2744m TVD RKB.

Acidification du réservoir

Suivant cette diagraphie, une injection d'acide dans la roche proche du puits est prévue pour permettre une dissolution des éléments à base de calcite. Ceci permettra de diminuer les pertes en charge d'écoulement proche du puits et d'en augmenter la productivité.

L'acide sera pompé jusqu'au réservoir, ou il sera placé à faible pression dans les pores de l'aquifère. A la fin de l'opération, l'acide restant qui n'aurait pas réagi sera produit jusqu'en surface pour s'assurer qu'aucune contamination ne pourrait avoir lieu.

3.3.1.Spécification des équipements de « wireline »

Dans cette section, une description des équipements qui seront descendus dans le puits peut être présentée.

Les efforts appliqués sur le câble de « wireline » dans chaque opération peuvent aussi être présentés.

3.3.2.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 météorologique, il a été identifié qu'aucune opération ne sera effectuée entre le mois de décembre et de février. Ainsi, la date prévue de fin des opérations, plus un mois, ne doit pas excéder le 1er décembre.

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

Pour les opérations, un BOP de « wireline » (Bloc d'obturation de puits) sera installé, due à la pression artésienne du réservoir aquifère.

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...

3.3.4.Information de tête de puits

Référence est faite au document « d'information clé de puits » qui capture les information de tête de puits.

3.3.5.Test de pression:

Le BOP sera testé selon les instructions du fabricant. La fréquence des tests est résumée ci-dessous:

- *BOP de wireline*
 - *Test de pression à l'installation / tous les 14 jours*
 - *Test à la pression de design du puits à l'installation*
 - *Test de fonctionnement tous les 7 jours*
- *Vannes de tête de puits / « Lubricator »*
 - *Test de pression à chaque descente/sortie dans le 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.

3.3.6.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 de l'abandon est présentée dans le tableau ci-dessous.

Le temps a été estimé par l'équipe opérationnelle de Ittigen géothermie AG sur la base des interventions précédentes effectuées.

Puits Ittigen-01 - Estimation de la durée de l'abandon		(jours)	
	P10	P50	P90
TOTAL	9,6	12,8	18,9
Opérations			
Installation des équipements de diagrapie	1,74	2,32	2,91
Diagrapie du réservoir	1,53	2,45	3,63

Analyse des résultats	2,67	5,49	8,26
Préparation du pompage d'acide	7,62	12,89	18,04
Pompage de l'acide	7,58	10,27	13,37
Désinstallation des équipements de diagraphie	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 à l'intervention du puits, c'est une durée de P50 qui a été retenue: 12,8 jours.

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 du puits (logistique, levage, gestion des équipements de surface, gestion des fluides...).

3.4.1.Diagraphie du réservoir

Objectif: *Obtenir des données de qualité / améliorer la compréhension du réservoir*

Séquence des opérations:

- *Installation des équipements de diagraphie.*

- Montage de la colonne de diagraphie et test de pression des équipements.
- Descente de la colonne de diagraphie.
- Démarrage du puits de production.
- Réalisation de la diagraphie.
- Arrêt du puits.
- Sortie de la colonne de diagraphie.

Risques:

- Colonne de diagraphie bloquée dans le puits
- Fuite d'équipement de surface

Fluide: Eau du puits

Commentaire: aucun pour cette section

3.4.2. Acidification du réservoir (option)

Objectif: Acidifier le réservoir pour dissoudre les obstructions dans la proximité du puits / améliorer la productivité du puits.

Séquence des opérations:

- Vérification de l'injectivité du puits. Augmentation de l'injectivité par palier de 500m³/jour jusqu'à 2000 m³ /jour.
- Pompage de 10m³ d'acide dans le puits
- Déplacement de l'acide dans le réservoir à 300l/min (78 m³ ; volume du puits), avec l'eau claire.
- Injection de l'acide dans le réservoir à faible pression: 5-10 bars pendant 2h (les paramètres seront ajusté durant l'opération)
- Pompage de 2 x 78m³ (2 x volume du puits) d'eau claire pour éliminer l'acide du puits.
- Attendre 24h avant de recommencer la production du puits

Risques:

- Placement de l'acide incorrect. Corrosion de la colonne de production

Fluide : eau claire

Commentaire: aucun pour cette section

4. Gestions des risques et des dangers

4.1.Objectifs clefs

Les objectifs clefs de la stratégie de gestion des risques et des dangers sont:

- *Une exécution des opérations sans décharges de fluide dans l'environnement*
- *Une construction de barrières robustes pour l'isolation permanente et future du puits*

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 cette phase d'intervention du puits. Toutes les leçons tirées du forage, de l'exploitation et d'intervention sur le puits seront intégrées dans cette analyse.

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

- *Dégradation du puits à cause d'un placement erroné de l'acide*
- *Perte ou blocage d'équipements de diagrapie dans le puits.*

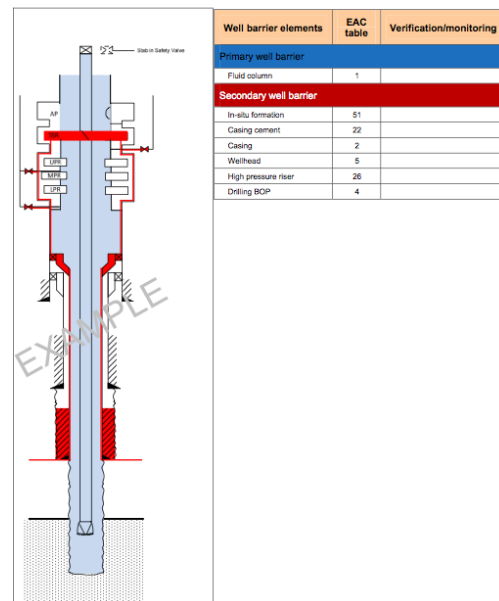
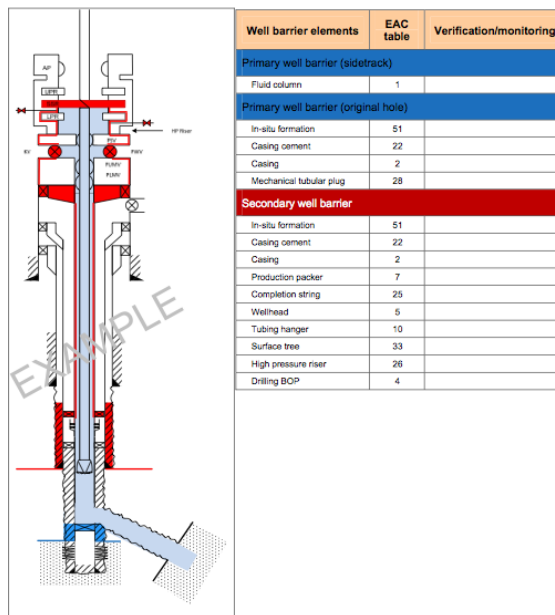
4.3.Déviations

Plusieurs normes et standards internationaux ont été suivis pour la préparation de ce programme de forage. Aucune déviation de ces normes n'a été identifiée durant cette phase de planification.

4.4.Barrière de puits

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

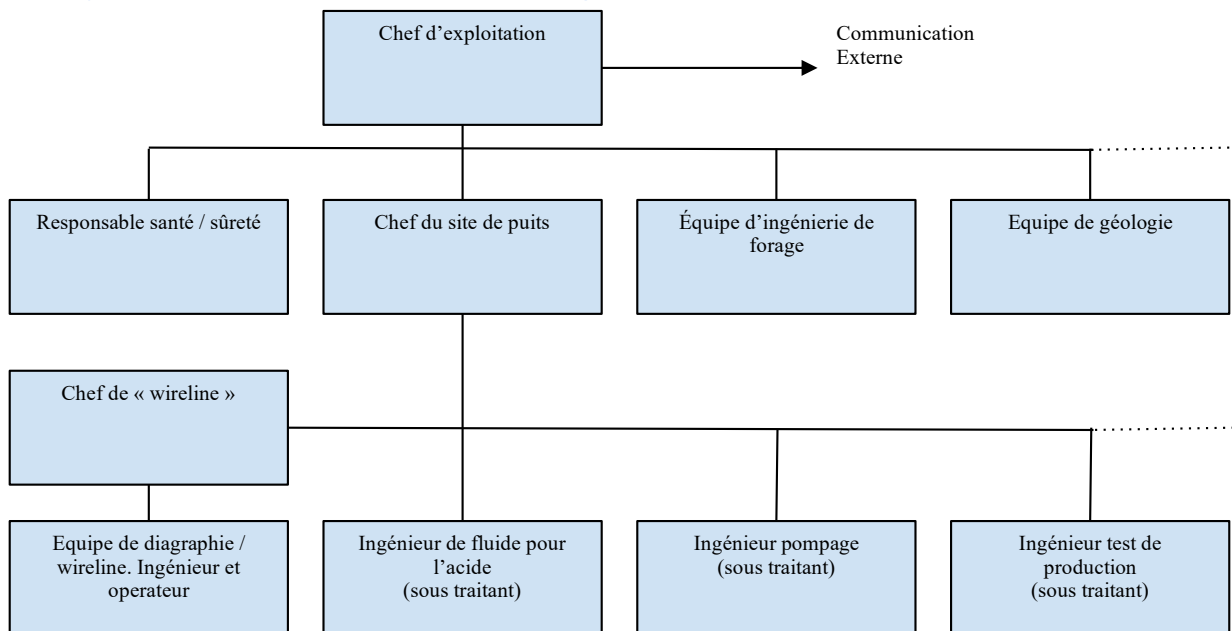
- *Diagraphie*
- *Acidification*
- *...*



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:

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

Programme d'abandon - 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 d'abandon" 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 l'abandon du puits. (par exemple un puits en contact avec une formation contenant 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	3
1. Résumé.....	4
1.1. Informations clés.....	4
1.2. Champ d'application des travaux	5
1.3. Critères de design - Normes	5
2. Etat du puits	6
2.1. Etat et objectif	6
2.2. Dégradation	7
2.3. Eau du sous-sol (eau potable et eau exploitable)	7
2.4. Hydrocarbure, H ₂ S et CO ₂	8
2.5. Gradient de pression et température	8
3. Opérations d'abandon permanent.....	9
3.1. Design de l'abandon.....	9
3.2. Unité de forage (foreuse)	10
3.3. Communication avec les autorités (s'il y a lieu)	10
3.4. Limitation d'accès / météo (s'il y a lieu)	11
3.5. Puis de secours / disponibilité d'unité de forage / logistique (s'il y a lieu)	11
3.6. Impact en cas de perte de contrôle de puits (s'il y a lieu)	11
3.7. Spécification de la tige de forage (drill pipe) et scénario d'efforts.....	12
3.8. BOP: Bloc d'obturation du puits (s'il y a lieu)	12
3.9. Information de tête de puits	12
3.10. Test de pression: bouchon et BOP	13
3.11. Fluide pour les opérations d'abandon.....	13
3.12. Cimentation.....	14
3.13. Simulation de couple et de frottement (Torque & Drag).....	14
3.14. Durée des opérations.....	14
3.15. Détails des opérations	16
3.15.1. Retrait de la colonne de production	16
3.15.2. Isolation de l'aquifère réservoir	16
3.15.3. Isolation de la formation d'Argovie.....	17
3.15.4. Isolation de la partie supérieur du puits	17
4. Restauration du site	18
5. Gestions des risques et des dangers	19
5.1. Objectifs clefs	19
5.2. Analyse de risques	19
5.3. Déviations.....	19
5.4. Barrière de puits	19
6. Organisation.....	20

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 diagrapie)

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

Nom du puits: Ittigen-01

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

Profil de risque du puits: *moyen*

Canton: *Bern*

Commune: *Ittigen*

Numéro de concession: *4738901872-MN-GEO-2017*

Maître d'ouvrage et/ou Maître d'œuvre: *Géothermie Ittigen AG*

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

Distance Sol - RKB / élévation: *9m*

Coordonnée 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.*

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

Pression de design du puits: *250 bars*

Température de design du puits: *150 degrés*

Durée prévue de l'abandon: *37 jours*

1.2.Champ d'application des travaux

Le puits Ittigen-01 sera le premier puits à être abandonné de façon permanente sur l'installation géothermale Ittigen-A.

Ce document présente les activités d'abandon du puits Ittigen-01:

- *Préparation du site (Installation de la foreuse ATLAS COPCO 1370D de Ittigen forage AS)*
- *Activités d'abandon avec foreuse*
- *Désinstallation des équipements*
- *Activités d'abandon complémentaires*
- *Désinstallation des équipements*
- *Restauration du site*

Dans le cas où les conditions du puits 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

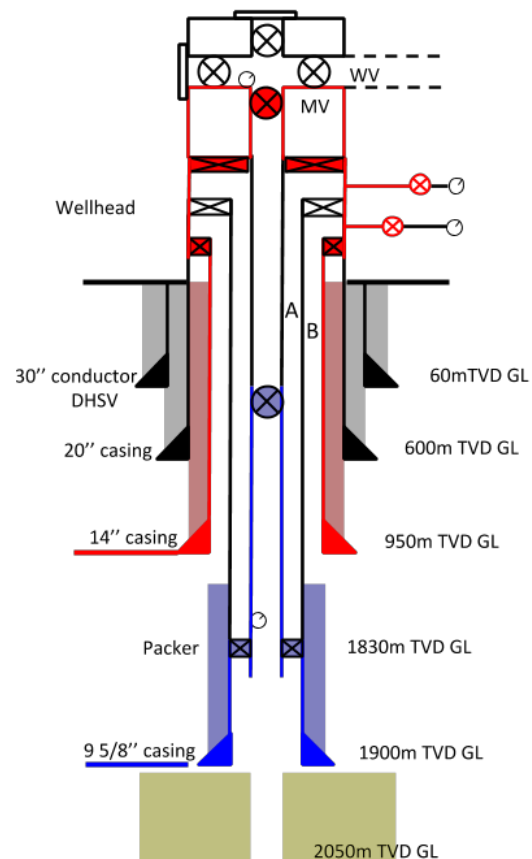
La préparation des activités de forage du puits est réalisée selon la norme NORSOK D-010 et la norme WEG-Bohrungsintegrität.

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

2. Etat du puits

2.1. Etat et objectif

L'état puits est présenté par le schéma ci-dessous. Référence est faite au document « d'informations clés de puits »



Les objectifs de l'abandon sont de:

- *Isoler l'aquifère réservoir*
- *Isoler toutes les formations adjacentes sensibles*
 - *Formation à différents régimes de pression*
 - *Formation sensible (eau potable ou exploitable)*
- *Restaurer le site et le restituer dans son état original*

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, tous les ajustements seront faits pour pouvoir atteindre ces mêmes objectifs.

2.2.Dégradation

Durant sa vie, le puits Ittigen-01 a subi les dégradations suivantes :

- *Corrosion de la colonne de production*
 - *Celle-ci sera retirée*
- *Corrosion du tubage de 9" 5/8*
 - *La partie non-cimenté de ce tubage sera retirée.*
- *Pression anormale dans l'annulaire B*
 - *Présence d'une formation faiblement pressurisée à 1600 m TVD GL qui sera isolée.*
- *Cisaillement du liner de 7" dans l'aquifère*
 - *Sans impact sur l'abandon.*

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 les opérations exposées à ces aquifères*
- *L'isolation de ces aquifères par une cimentation au travers et au dessus de ces aquifères. La vérification de ces cimentations sera faites pas test mécanique et test de pression.*

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

- *Les eaux de pluie*

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

La gestion de ces accidents sera faites 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).*

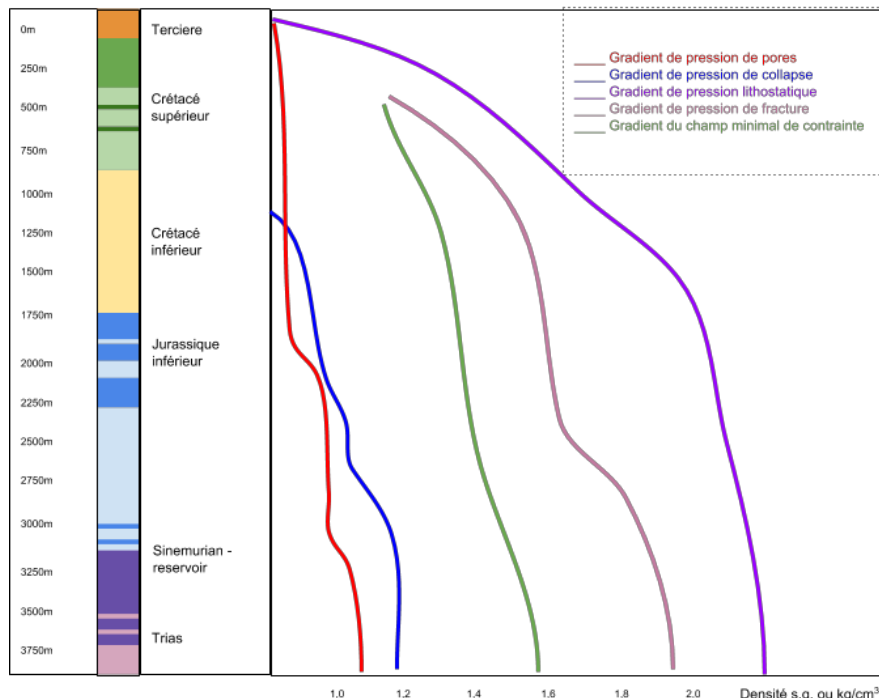
2.4. Hydrocarbure, H₂S et CO₂

Il y a du CO₂ présent à faible concentration (200ppm) au sein de la formation du Mont Cervin à 2.123m TVD RKB.

Les précautions particulières pour la présence de CO₂ seront prises pour les opérations au travers de cette formation.

2.5. Gradient de pression et température

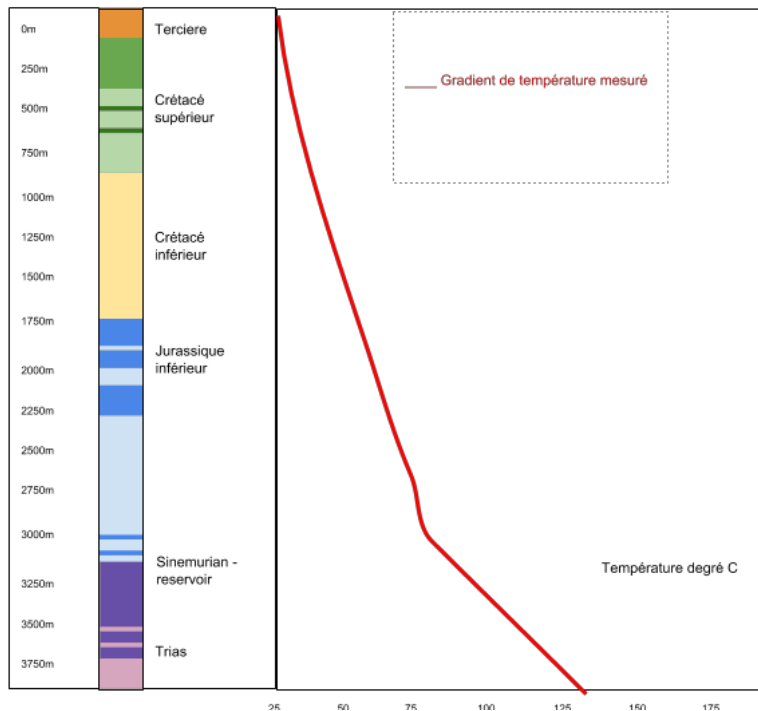
Le gradient de pression connu est présenté ci dessous:



Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

- *Le contexte et la construction du pronostic de pression*
- *Les valeurs de pression qui doivent être utilisées pour les opérations d'abandon.*

Le gradient de température statique mesuré est présenté ci dessous:



3. Opérations d'abandon permanent

3.1.Design de l'abandon

Isolation du réservoir aquifère

Le réservoir sera entièrement bouché avec du ciment. Deux barrières de ciment seront établies au dessus de l'aquifère, sur une distance minimal de 200m.

Ces barrières utiliseront le ciment du tubage de 9" 5/8, préalablement vérifié, le tubage d'acier et le ciment installé à l'intérieur du tubage. Ce dernier sera testé mécaniquement et à la pression différentielle maximale à laquelle il pourra être exposé.

Isolation de la formation géologique d'Argovie (contenant du CO2)

Le tubage de 9 5/8 sera coupé et retiré au dessus de 1300m MD GL. Un bouchon mécanique sera installé dans le trou nu et un bouchon de ciment qui s'étendra 100m au dessus de cette formation géologique sera installé.

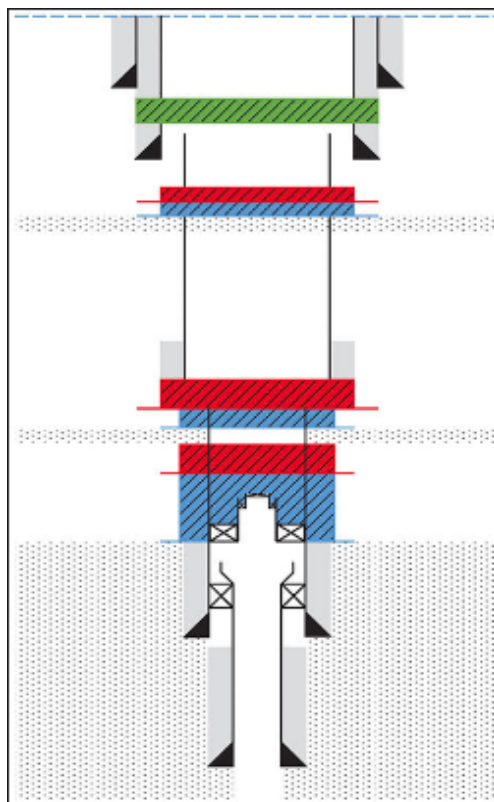
Ce bouchon se testé mécaniquement et avec un test de pression.

Isolation des aquifère portable et exploitable

Les aquifères de Bern et Ittigen seront isolés des parties plus profondes du puits, isolés entre eux, et isolés des parties supérieur du puits.

Ces barrières utiliseront le ciment du tubage de 13 3/8, préalablement vérifiées, le tubage en acier, et un bouchon de ciment installé dans le tubage. Ce dernier sera testé mécaniquement et par pression.

Ci-dessous est présenté un schéma complet des barrières d'abandon.



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): 200 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. 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 sûre seront prises.

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

Pour des raison d'accès au site de forage en toute sécurité, et du aux aléas météorologique, il a été identifié qu'aucune opération 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.

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

Référence est faite au programme de forage qui traite déjà de ces considérations.

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

Référence est faite au programme de forage qui traite déjà de ces considérations.

3.7. 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.

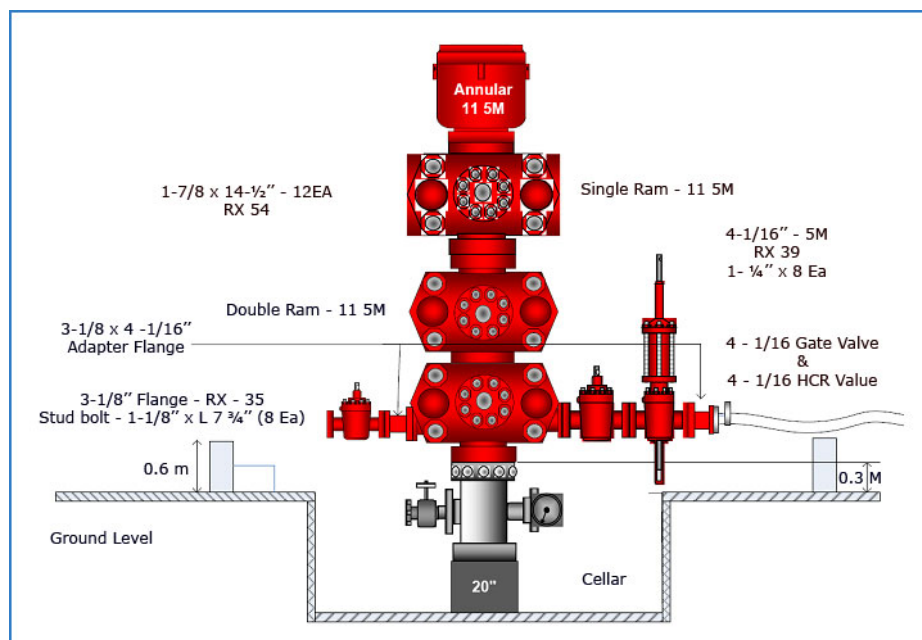
3.8. BOP: Bloc d'obturation du puits (s'il y a lieu)

Pour les opérations, un BOP (Bloc d'obturation de puits) sera installé, due à la pression artésienne du réservoir aquifère.

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 (a remplacer)

3.9. Information de tête de puits

Référence est faite au document « d'information clé de puits » qui capture les information de tête de puits.

3.10. Test de pression: bouchon et BOP

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 / tous les 14 jours
 - Test à la pression de design du puits à l'installation
 - Test de fonctionnement tous les 7 jours
- Conduites de “choke” et “kill”:
 - Test de pression à l'installation / tous les 14 jours
 - Test à la pression de design du puits à l'installation

Les bouchons de ciment seront testés aux pressions suivantes:

- Bouchon de ciment de l'aquifère réservoir
 - 50 bars
- Bouchon de ciment de la formation de d'Argovie (CO₂)
 - 70 bars
- Bouchon de des aquifères de Bern et Ittigen
 - 70 bars

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.

3.11. Fluide pour les opérations d'abandon

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

Isolation de la partie supérieure du puits										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
Commentaire: Ces opérations seront faites avec de l'eau clair et mixture de forte densité pour nettoyer les déblais.										Total	3420	Eau	1,09 10 ⁶
Isolation du réservoir										Volume	m3	matériaux	kg
profondeur	densité	PV cP	YP	3rpm	Gels 10min Pa	E stab	CI (WP) g/hr	LGS %	O/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
Commentaire: Ces opérations seront effectuée avec une boue SOBM 1,08 s.g. La boue sera traitée et conditionnée avant avant les opérations.										Reserve	20	Gellone	1230
										Total	792	Lime	452
												ALKane	502
												Eau	1,8 10 ⁶

3.12.Cimentation

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

Bouchon du réservoir	
Trou nu	1700 - 2050m
Ciment	12,5 ppg / 1,51 cuft/sk
volume	241,9 bbl
deplacement	70 bbl
Pompage ciment	50l/min
Composition du ciment	Xxxxx, CaCal xxx, xxxxx barite...
Bouchon de la formation d'Argovie	
Trou nu	1000 - 1200m
Ciment	13,5 ppg / 1,42 cuft/sk
Volume	259 bbl
deplacement	340 bbl
Pompage ciment	50l/min
Composition du ciment de tête	Xxxxx, CaCal xxx, xxxxx barite...
Bouchon des formation de Bern et Ittigen	
14"	50 - 300m

Les paramètres suivants pourront aussi être considérés:

- Risques spécifiques / ciment spécial...

3.13.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.

3.14.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 de l'abandon est présentée dans le tableau ci-dessous.

Les puits de références pour cette estimation sont:

- L'abandon des puits xxx et xxxx du bassin parisien
- L'abandon des puits de forage d'Europe de plus de 2000m de la base de donnée xxxx
- Etc...

Puits Ittigen-01 - Estimation de la durée de l'abandon		(jours)	
	P10	P50	P90
TOTAL	33,6	38,8	55,9
Opérations :			
Préparation	1,74	2,32	2,91
Retirer la colonne de production	1,53	2,45	3,63
Installation du bouchon de réservoir	2,67	5,49	8,26
Coupure et retire tubage de 9 5/8	7,62	12,89	18,04
Installation du bouchon de la formation d'Argovie	7,58	10,27	13,37
Installation du bouchon des aquifères de Bern et Ittigen	5,53	10,15	13,46
Retirer la tête de puits	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 à 10% de chance de se réaliser)*
- *P50 signifie que 50% des cas sont sous cette durée (ceci ne signifie pas que cette durée à 50% de chance de se réaliser)*
- *P90 signifie que 90% des cas sont sous cette durée (ceci ne signifie pas que cette durée à 90% de chance de se réaliser)*

Pour le budget alloué à l'abandon du puits, c'est une durée de P60 qui été retenue: 40,8 jours. Ceci permettra de faire face à des problèmes associés à la remonté du tubage de 9" 5/8.

Les considérations suivantes pourront aussi être incluses:

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

3.15.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 du puits (logistique, levage, gestion des équipements de surface, gestion des fluides...).

3.15.1.Retrait de la colonne de production

Objectif: *Stabiliser le puits et retirer la colonne de production.*

Séquence des opérations:

- *Pompage de fluide de densité 1.16 sg ; vérification de puits stable*
- *Installation d'un bouchon mécanique dans la tête de puits*
- *Déconnexion de la partie supérieure de la tête de puits*
- *Installation du BOP*
- *Retirer le bouchon mécanique*
- *Désinstallation du packer de production*
- *Circulation de fluide de densité 1.16sg ; vérification de puits stable*
- *Retrait de la colonne de production*

Risques:

- *Circulation du fluide de 1.12sg inefficace. Situation de venue d'eau.*
- *Difficulté de désinstallation du packer*

Fluide: *Fluide à base d'eau de densité 1.16 sg.*

Commentaire: *aucun pour cette section*

3.15.2.Isolation de l'aquifère réservoir

Objectif: *Isoler le réservoir de toutes les formations adjacentes.*

Séquence des opérations:

- *Pompage de ciment dans le trou nu du réservoir, et jusqu'à 200m au dessus du réservoir ; dans le tubage de 9" 5/8.*
- *Attente de la prise du ciment*

- Vérification du ciment avec 5 tons
- Vérification du ciment avec un test de pression de 50 bars

Risques:

- Cimentation incorrecte / barrière non-établies

Fluide : Fluide à base d'eau de densité 1.16 sg.

Commentaire: Le ciment derrière le tubage de 9 5/8" à déjà été vérifié durant le forage du puits.

3.15.3.Isolation de la formation d'Argovie

Objectif: Isoler le réservoir de toutes les formations adjacentes.

Séquence des opérations:

- Coupure du tubage de 9" 5/8 à 1400m MD GL et retrait du tubage
- Installation d'un bouchon mécanique à 1390m MD GL.
- Pompage de ciment dans le trou nu entre 1390 et 1190 m MD GL.
- Attente de la prise du ciment
- Vérification du ciment avec 5 tons
- Vérification du ciment avec un test de pression de 20 bars (limité par la résistance de la roche)

Risques:

- Cimentation incorrecte / barrière non-établies

Fluide : Eau claire avec particules (1.06 sg)

Commentaire: Il a été décidé d'isoler spécifiquement cette formation, à cause de la présence de CO2, et le risque dégradation qui y est associé.

3.15.4.Isolation de la partie supérieur du puits

Objectif: Isoler les aquifères potables et exploitable

Séquence des opérations:

- Préparation des équipements de « wireline »

- Vérification du ciment du tubage de 14'' avec CBL (ciment bond log) azimuthal
- Installation d'un bouchon mécanique à 480m MD GL.
- Pompage de ciment 480 et 50 m MD GL.
- Attente de la prise du ciment
- Vérification du ciment avec 5 tons
- Vérification du ciment avec un test de pression de 20 bars (limité par la résistance de la roche).

Risques:

- Retour de ciment imprévu en surface
- Vérification du ciment du tubage de 14'' négative
- Instabilité du trou nu

Fluide: Eau claire avec particules (1.06 sg)

Commentaire: En cas d'échec de la vérification du ciment du tubage de 14'', le ciment sera circulé dans l'annulaire grâce à des perforations.

4. Restauration du site

Objectif: rendre au site son état originel

Séquence des opérations:

- Désinstallation de tous les équipements du site (exploitation et activité de puits)
- Destruction et retrait de la chape de béton
- Destruction et retrait de la fosse de puits
- Après vérification d'absence de fuite (aucune bulle durant 5 jours), les tubages restant seront coupés à 2m sous le niveau du sol
- Retrait des zones de graviers
- Dépôt de terre et nivellement du site
- Destruction de route d'accès
- Plantation de flores et arbres originaires du site

Risques:

- Présence et identification de contaminant dans le sol

Commentaire: Ces opérations auront lieu une fois l'unité de forage démontée.

5. Gestions des risques et des dangers

5.1.Objectifs clefs

Les objectifs clefs de la stratégie de gestion des risques et des dangers sont:

- *Une exécution des opérations sans décharges de fluide dans l'environnement*
- *Une construction de barrières robustes pour l'isolation permanente et future du puits*

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

5.2.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 cette phase d'abandon du puits. Toutes les leçons tirées du forage, de l'exploitation et d'intervention sur le puits seront intégrées dans cette analyse.

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

- *L'installation de barrières de puits dégradées*
- *La coupure et le retrait du tubage de 9 5/8"*

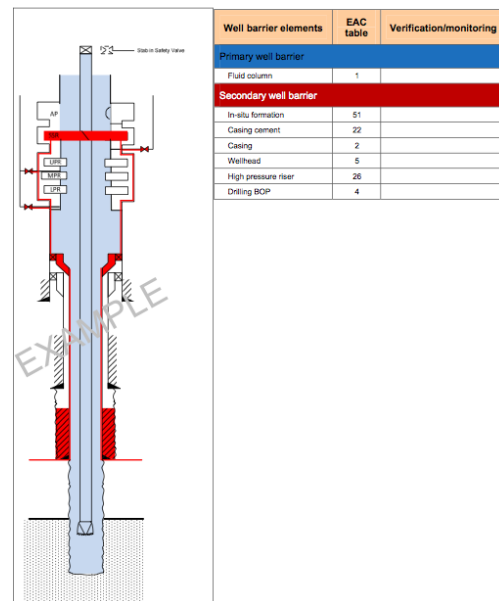
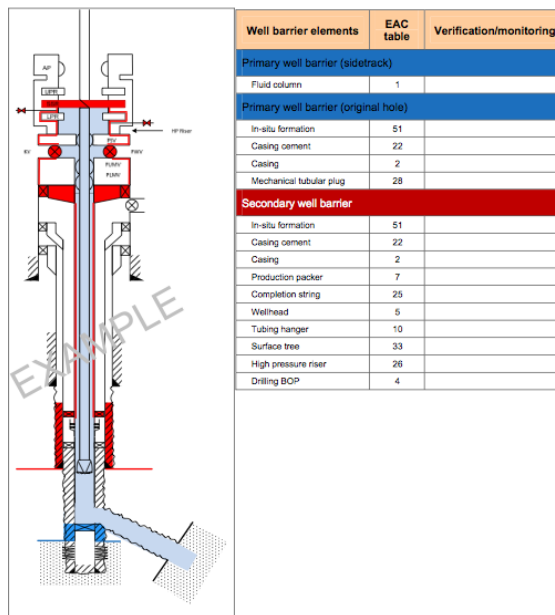
5.3.Déviations

Plusieurs normes et standards internationaux ont été suivis pour la préparation de ce programme de forage. Aucune déviation de ces normes n'a été identifiée durant cette phase de planification.

5.4.Barrière de puits

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

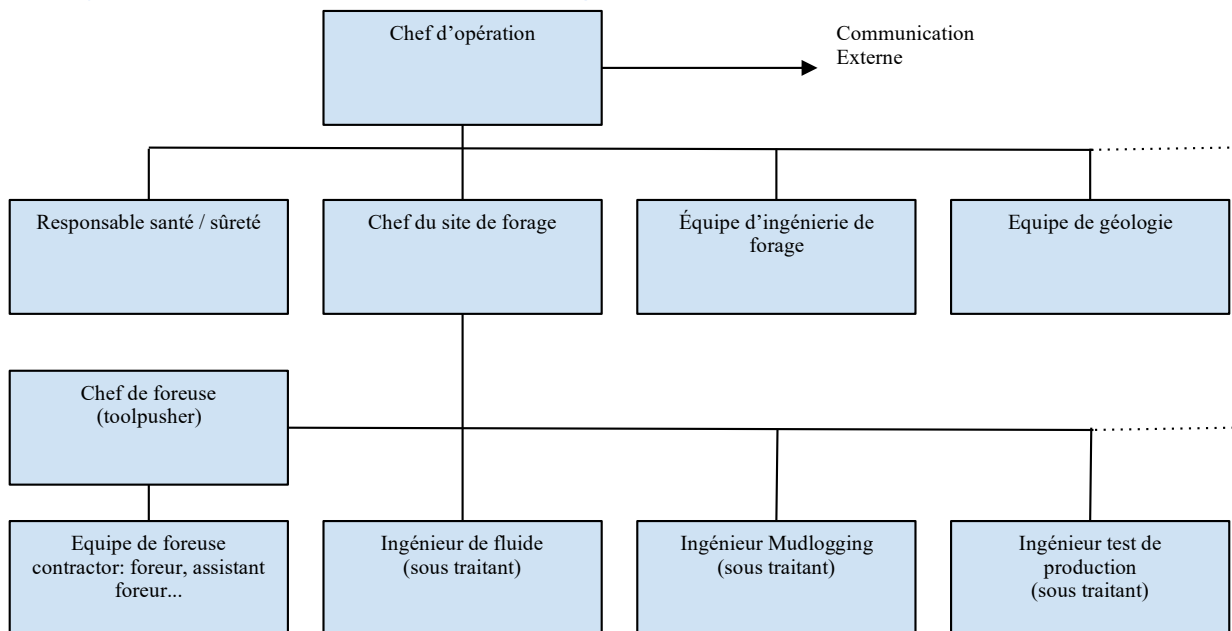
- *Cimentation du réservoir*
- *Puits abandonné de façon permanente*
- *...*



Source: NORSOK D-010 rev.3

6. 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:

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