

# 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 diagraphie)

Wireline = câble de descente d'équipement dans le puits

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

Liner hanger = Equipement permettant l'ancrage du liner

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

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

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

# 1. 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: 50km<sup>2</sup>

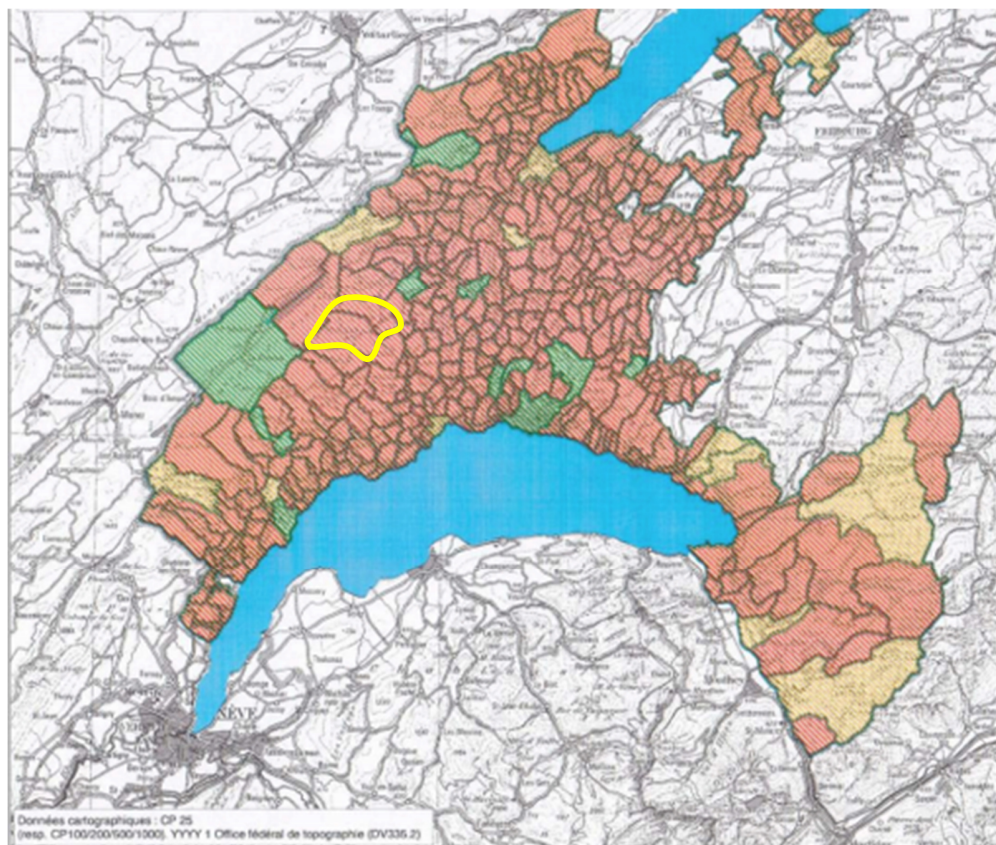
Début et fin de la concession: 01.02.2018 - 01.01.2023

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 m<sup>3</sup>/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.*

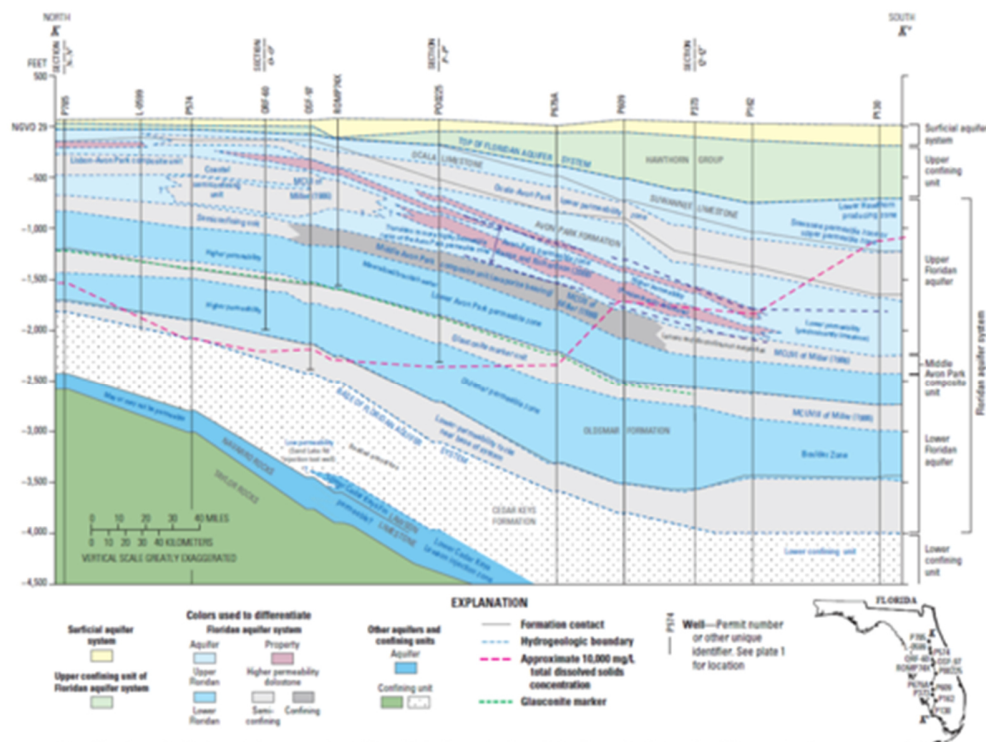


Figure 39. Generalized hydrogeologic cross section K-K' from Marion County, Florida, to Collier County, Florida (see plate 17 for more detail).

Source: wikipedia.org

### Volume du réservoir:

Le volume du réservoir est évalué à 20 millions de m<sup>3</sup>. 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 :

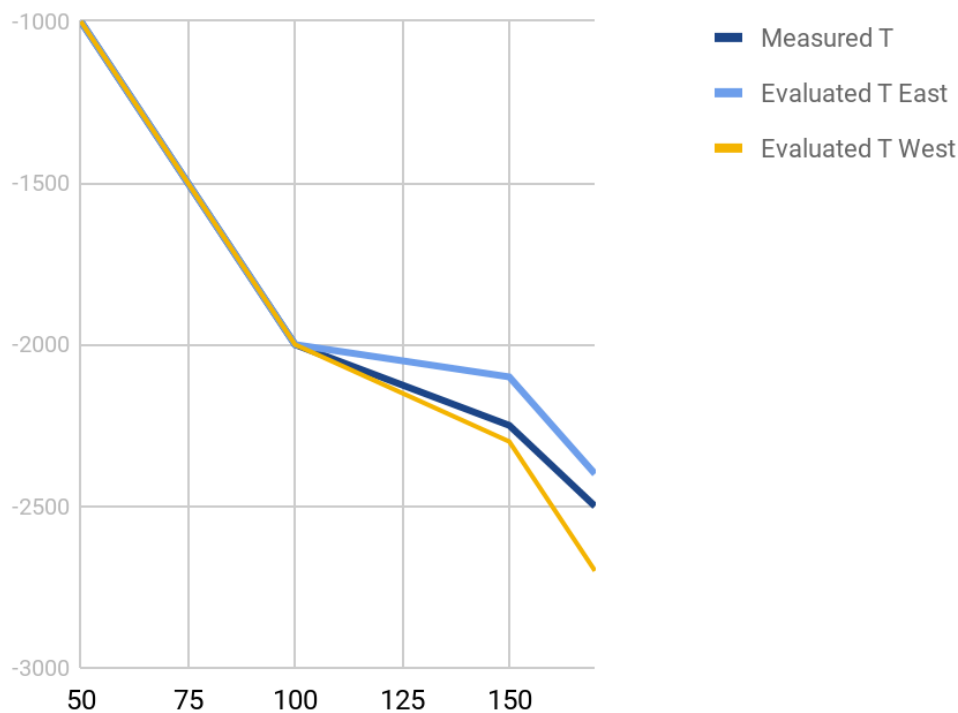
- Des incertitudes persistent sur le ratio de perméabilité verticale / horizontale. Les tests de production sur différentes parties du puits n'ont par permis de conclure sur les changements de perméabilité verticale.
- Des incertitudes persistent sur la présence de fractures conductrices ou isolantes 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 =  $3,17 \cdot 10^{12} \text{ kJ}$  ( $8,8 \cdot 10^8 \text{ kW/h}$ )*

*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:

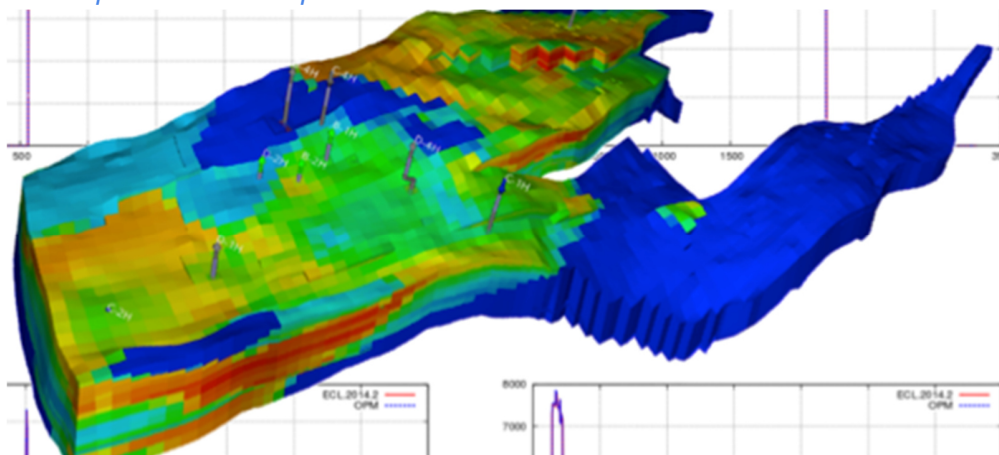
- L'énergie totale contenue / son coefficient de récupération
- La ressource en chaleur de base / la ressource en chaleur effective
- La méthode utilisée pour évaluer le potentiel énergétique (flux de chaleur, méthode volumétrique, simulation numérique...)

## 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
    - Fractures 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.

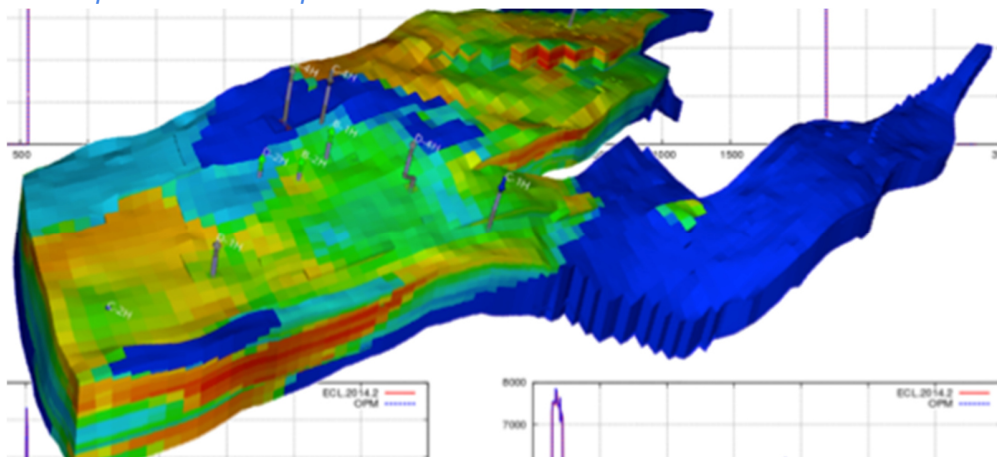


Source: opm-project.org (free licence)

- 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
  - Fractures 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 réchauffé par la roche à sa température initiale. Ainsi l'exploitation peut être utilisée indéfiniment.*
- *L'existence d'une exploitation durable : le fluide ne sera pas réchauffé à sa température initiale, 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 connectivité 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 :*

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

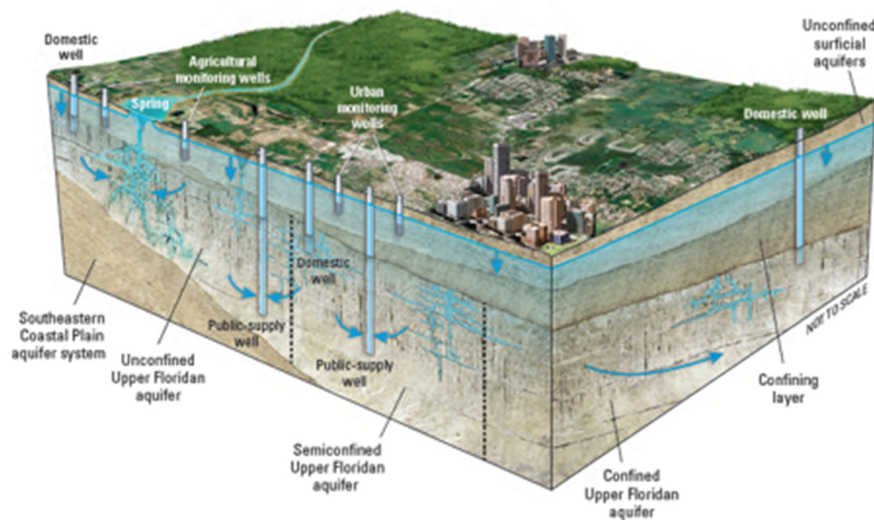
*Description des puits :*

*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 m<sup>3</sup>/jour
- Sous-pression maximale dans le réservoir (rabattement) : 60 bars
- Les simulations montrent une sous-pression de 53 bars à 6000 m<sup>3</sup>/jour
- Les simulations montrent une température de surface de 139 degrés C.

*Le puits d'injection Ittigen-01 sera exploité :*

- *Débit objectif: 3000m<sup>3</sup>/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: 3500m<sup>3</sup>/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 diagraphies 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 diagrapie 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.*

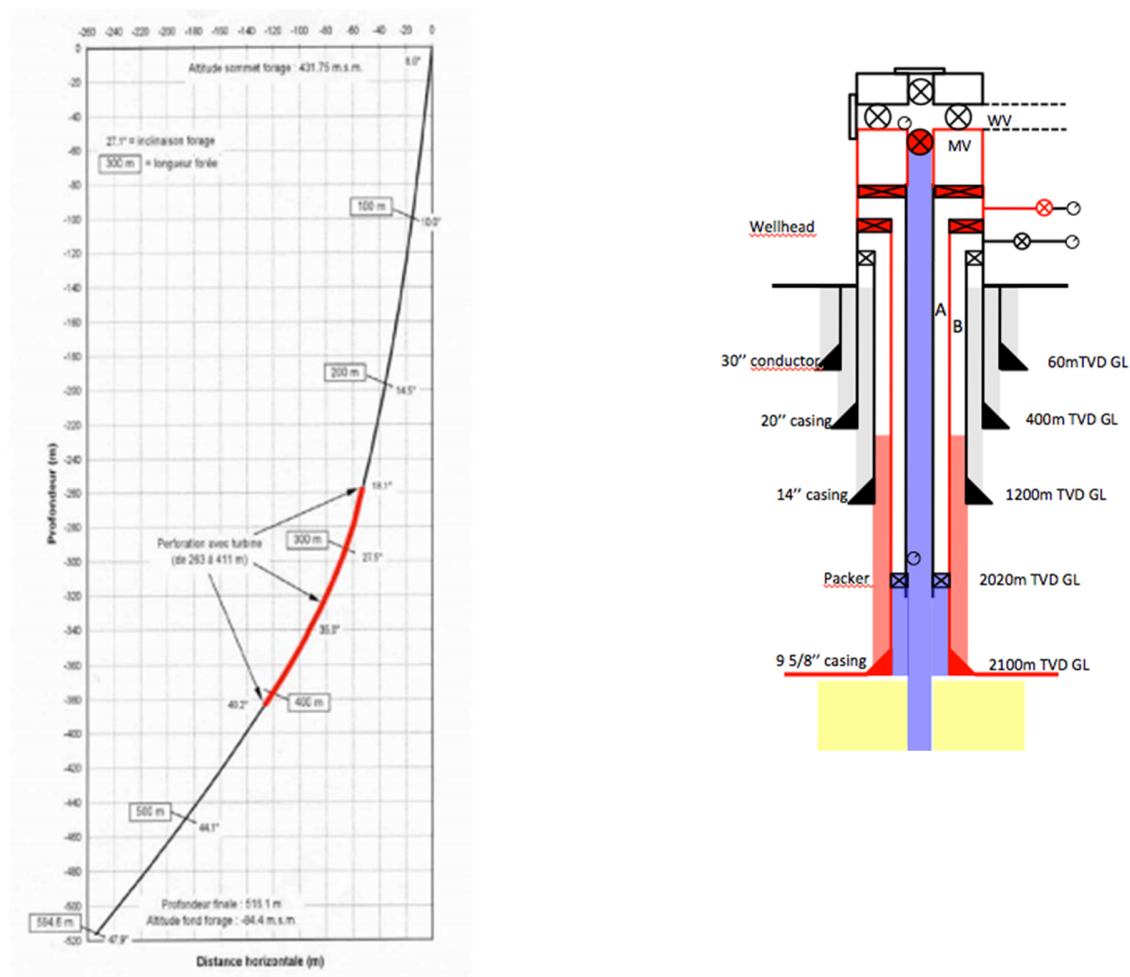
## 5. Puits

*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:*

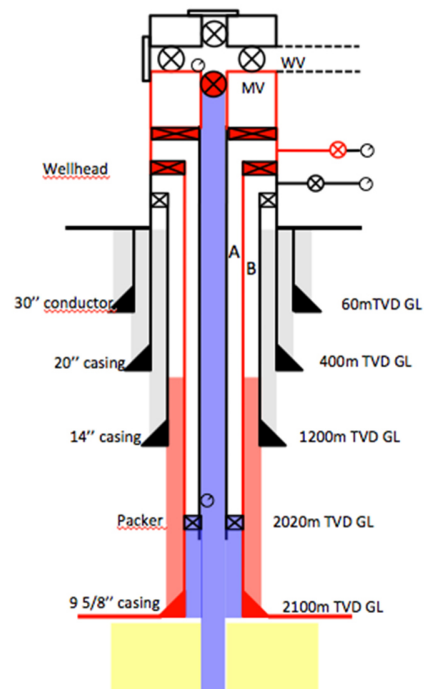
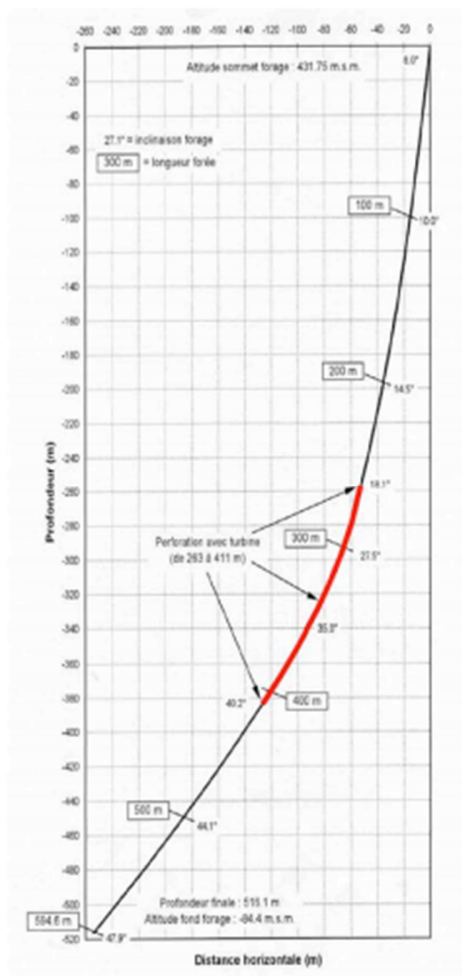
- le besoin de deux barrières en cas de puits artésien.
- etc...

## 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...*