

Rôle et potentiel du sous-sol pour stocker et déphaser la consommation d'énergie dans les réseaux thermiques

Intégration de stockage thermique dans les réseaux

Atelier Réseaux thermiques zéro net
SIL, Lausanne, 15 juin 2023



Jérôme Faessler
Co-directeur Géothermie-Suisse

Valoriser la
chaleur
sous nos pieds

Une énergie de ruban régionale et renouvelable, aux multiples facettes

Valorisation **locale**
365 jours par an
disponible par **tous les temps**

Chauffer



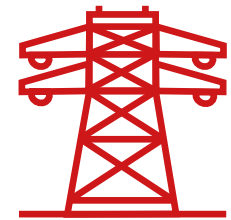
Rafrâichir



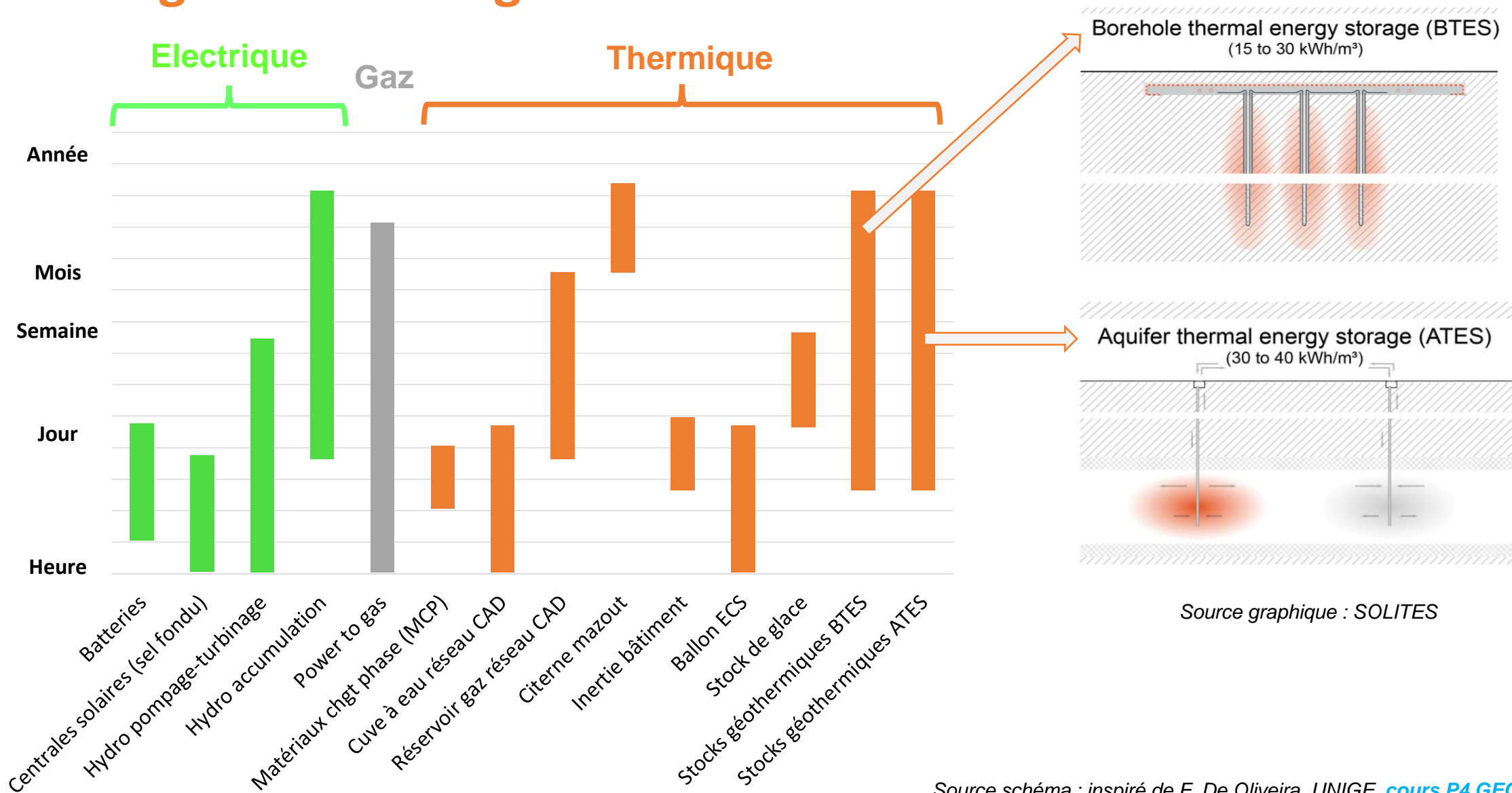
Stocker l'énergie



Produire de l'électricité



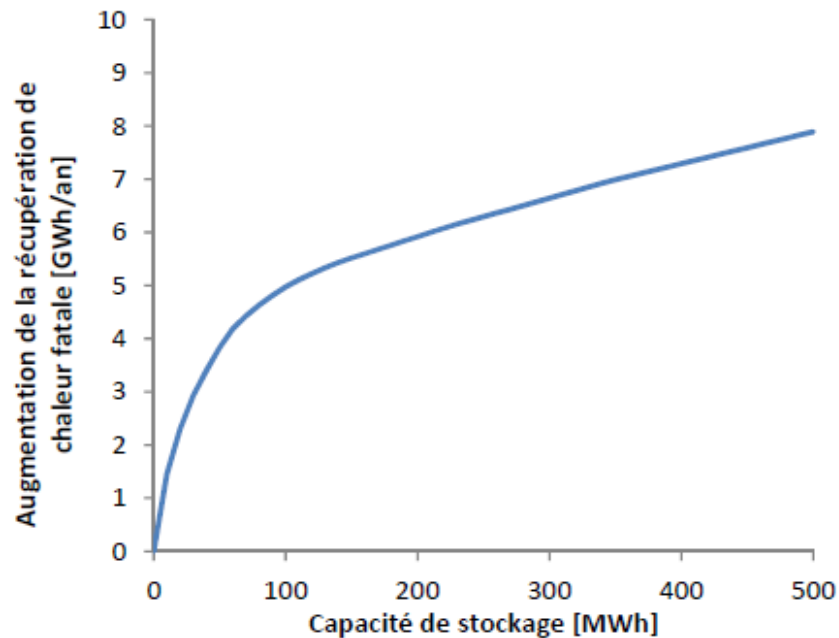
Technologies de stockage



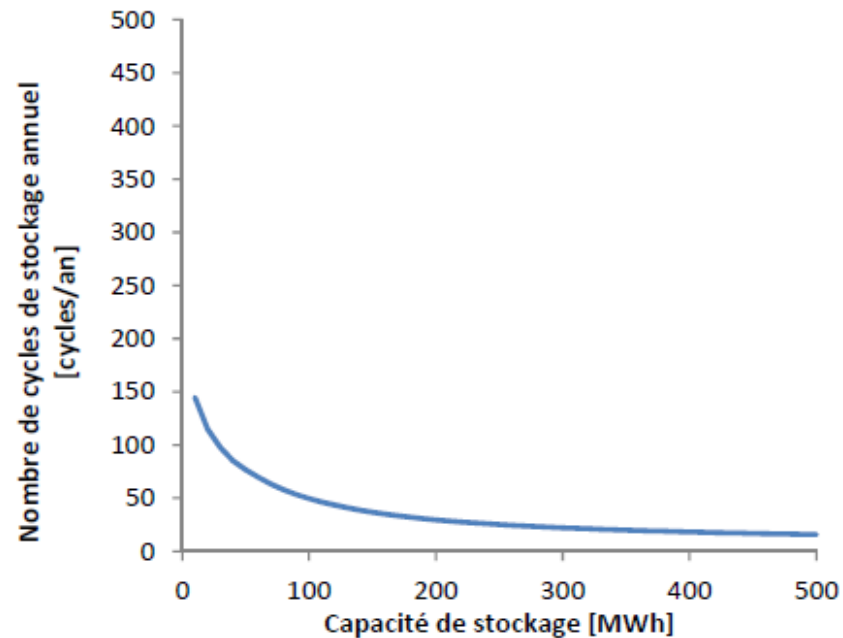
Source schéma : inspiré de F. De Oliveira, UNIGE, [cours P4 GEOTH](#)

Enjeux de l'intégration dans le «système thermique»

- Prix d'achat de l'énergie à stocker ET Prix de vente de l'énergie stockée
- Pertes et température du stock ET nombre de cycle de stockage annuel



(a) Chaleur fatale récupérée



(b) Cycles de stockage

1 cycle/an =
34'000 MWh de
capacité de
stockage !

Source : Quiquerez L. et al. (2015) UNIGE <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:77547>

Stockage énergétique géothermique



4-6 TWh/a avec des technologies existantes, utilisables de suite

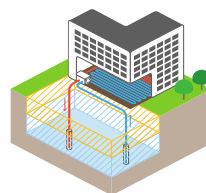
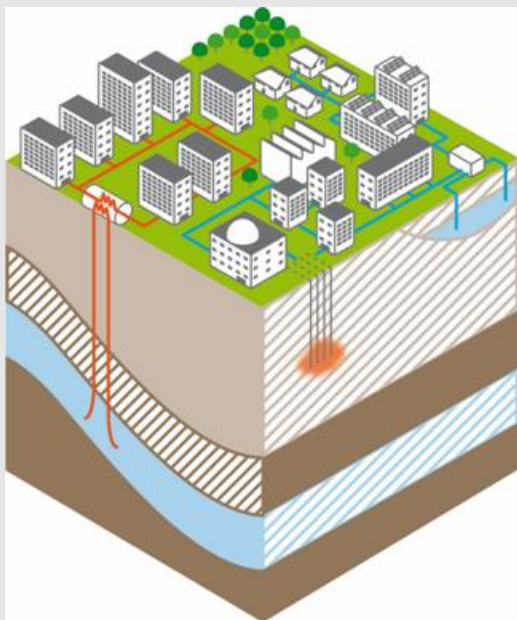
Stockage saisonnier -> de l'énergie quand on en a besoin.

Utilisation directe ou avec PAC

Faible et moyenne profondeur

Puissance: 100kW - 12 MW

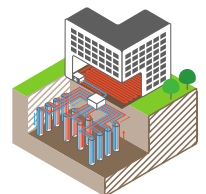
10 - 1'000 ménages



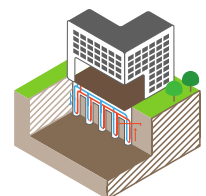
Eau souterraine (ATES: Aquifere thermal energy storage)



LT-ATES < 25 ° (règle du $\Delta T3K$ à 100m)
HT-ATES > 25 ° («haute» température)

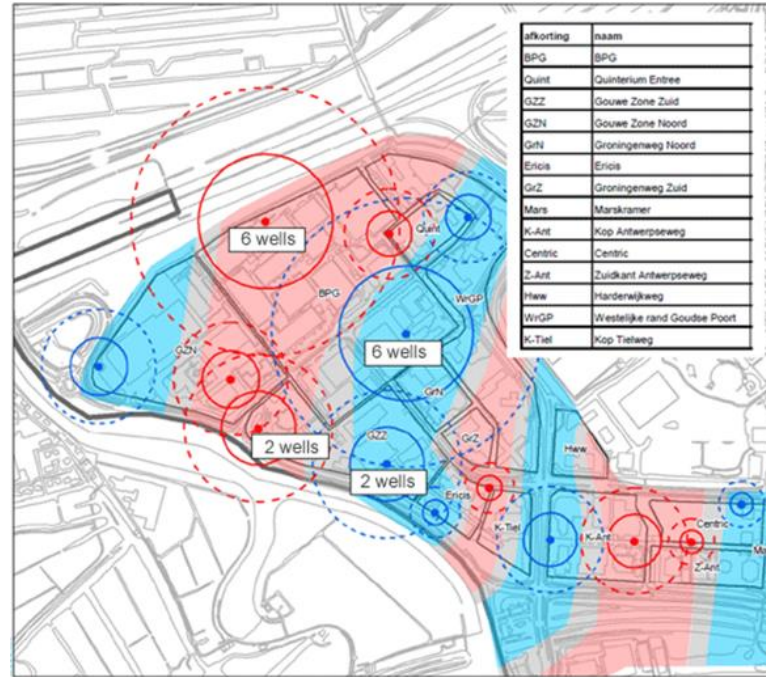
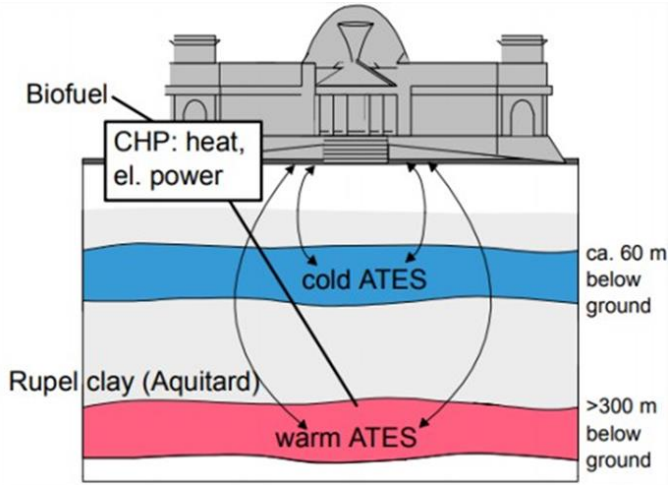


Sondes géothermiques (BTES: Borehole thermal energy storage)



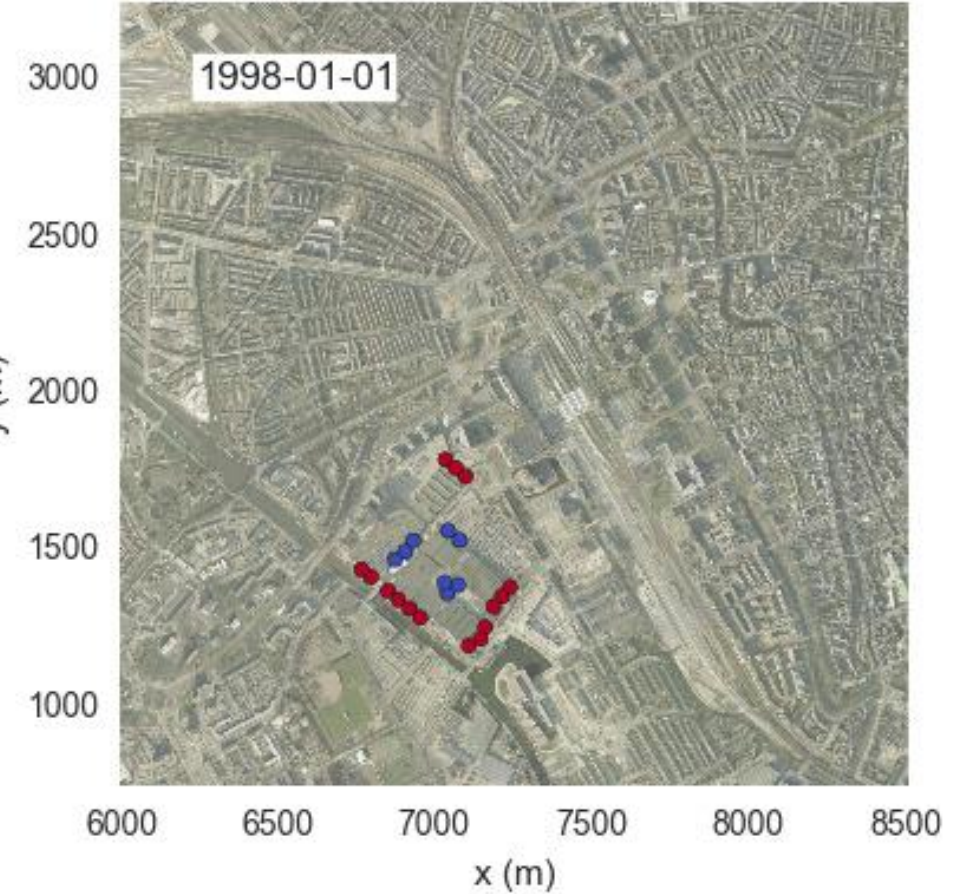
Géostructures (BTES: Borehole thermal energy storage)

Exemple LT ATEs en Allemagne ou Hollande



Bonte, 2014

Utrecht city center - Subsurface temperature



Siège de Swatch Group à Bienne (BE)



Winter



Sommer



Fiche technique

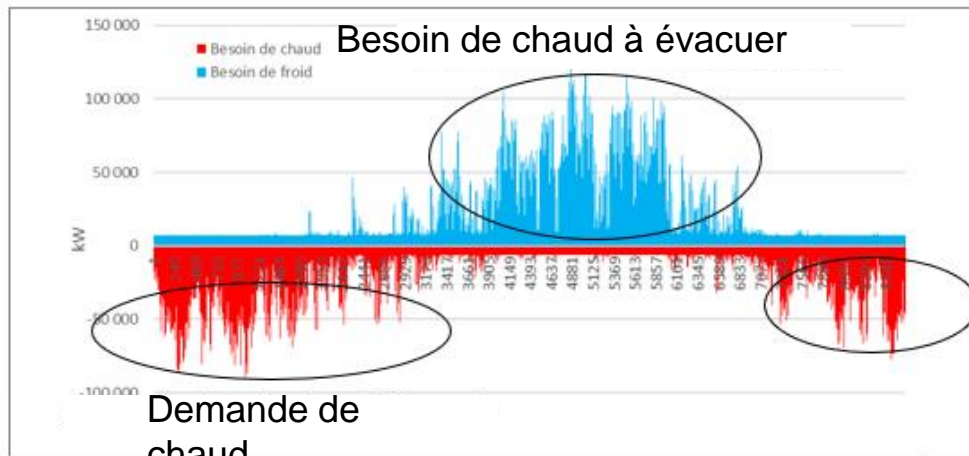
Acteur: Swatch Group

Système géothermique: eaux souterraines

Nombre de puits: 9 (3 d'extraction, 4 d'extraction et de retour combinés et 2 de retour pur)

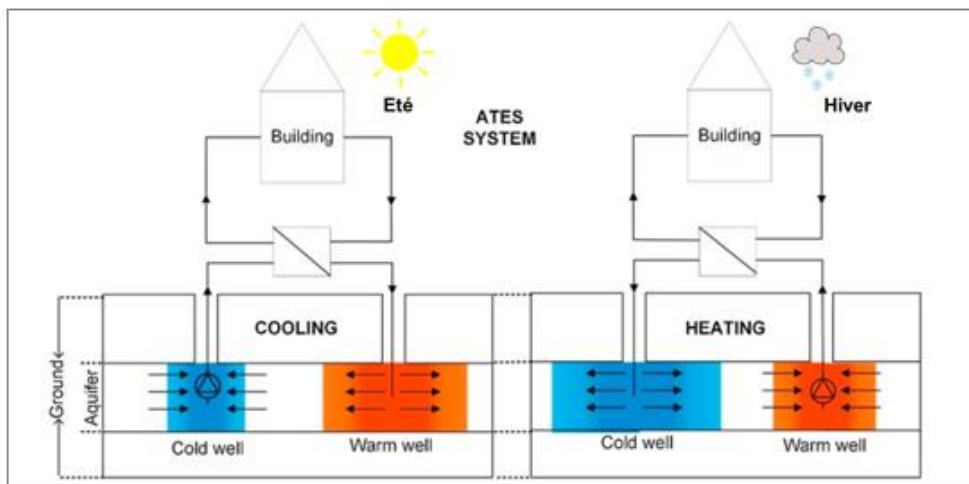
Synergies entre GeniLac et la géothermie à Genève

Besoins en chaud et en froid

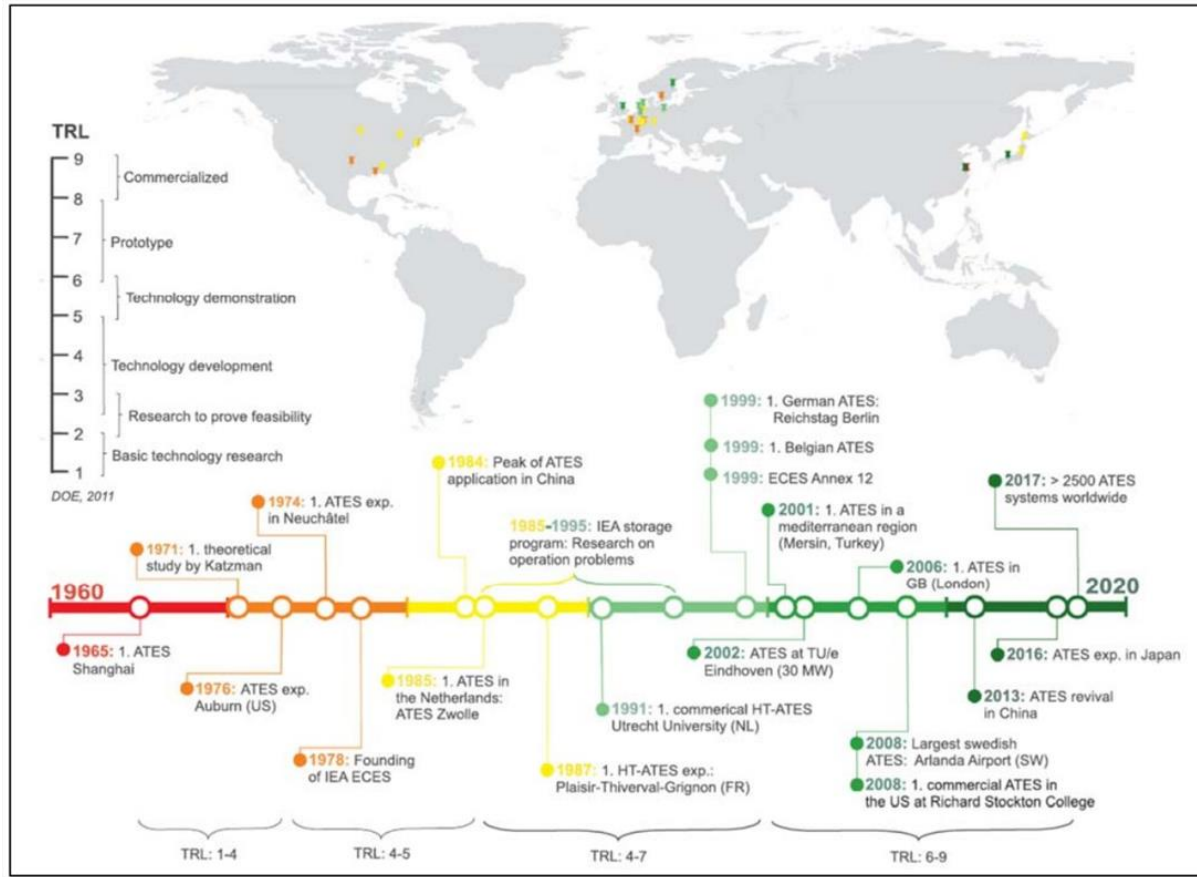


Utilisation des aquifères pour déphaser et stocker

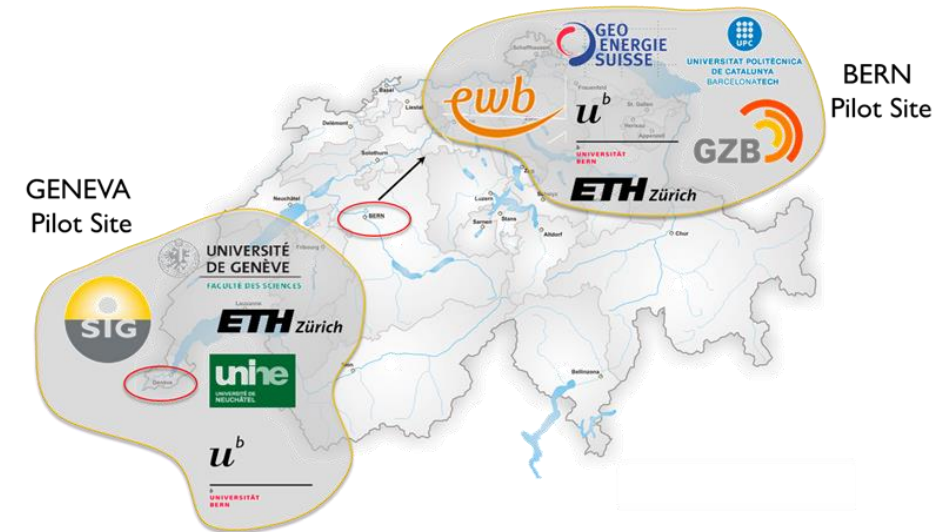
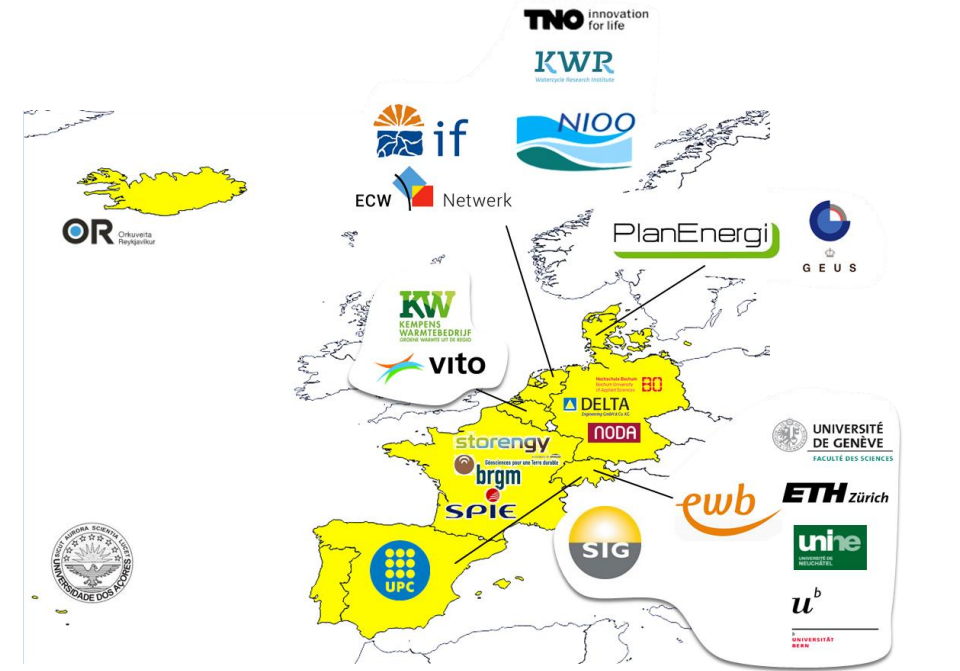
Géothermie sur aquifère



ATES à «haute» température (HT-ATES)



heatstore
High Temperature
Underground Thermal Energy
Storage



www.heatstore.eu

Le potentiel des aquifères à haute température (HT-ATES)

- Il existe quelques exemples en Europe (Berlin, Neubrandenburg, ...)
 - Il s'agit encore de projets pilote
 - Avantage -> stocker de l'énergie saisonnière à un niveau de température correspondant à la demande ($> 70^{\circ}\text{C}$) et limitant les besoins électriques hivernaux
 - Problématique de la chimie des eaux, durée de vie matériaux, coûts forages plus élevés
 - Exemple à Berne -> couplage à l'usine d'incinération Forsthaus
- **Potentiel théorique de plusieurs TWh/an pour le stockage en HT-ATES**



Source : EWB

L'exemple de Forsthaus à Berne

Faits et chiffres

Nom Geospeicher Forsthaus Bern

Exploitation géothermique Stockage

Propriétaire Energie Wasser Bern ewb

Nutzung der Geothermie Tiefe Grundwassernutzung

Système géothermique Stockage géologique

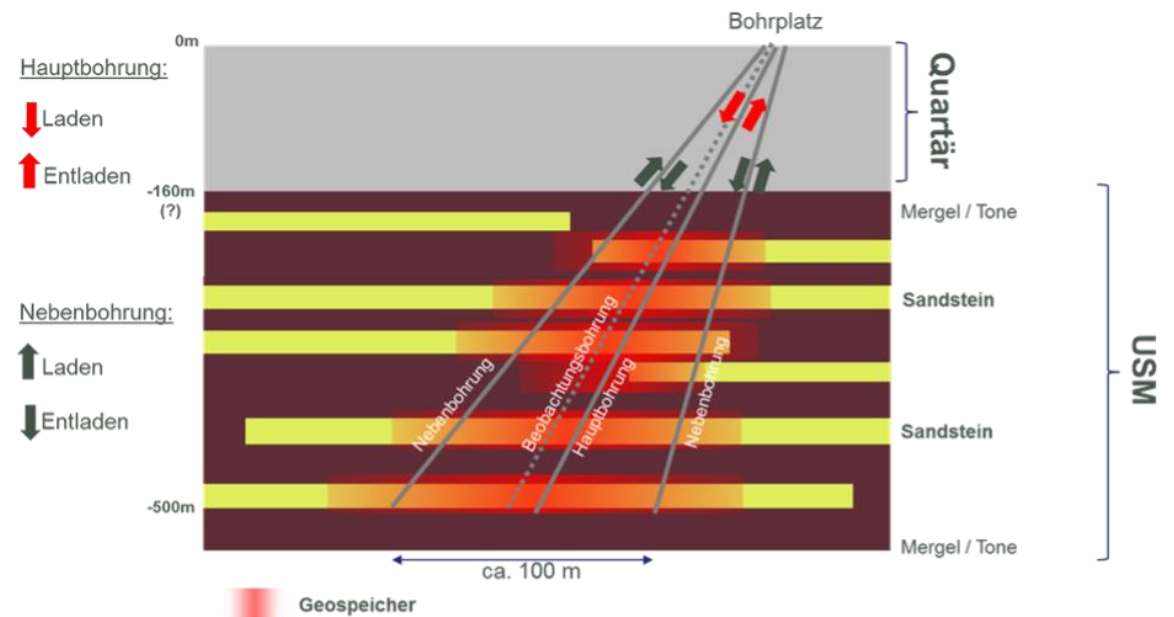
Profondeur de forage 200-500 m

Température maximale Valeur planifiée d'env. 60°C comme température de stockage

Puissance 3-12 MW



- 3^{ème} forage achevé en mai 2023 : couches de grès atteintes comme prévu
- Démobilisation de la foreuse
- Analyse des mesures et données en cours
- Préparation de la phase de test qui durera plusieurs mois
- Selon les résultats, une seconde campagne de forage avec trois nouveaux puits aura lieu dans 1 an



Source : EWB

Messages clés

- Les systèmes BTES et LT-ATES sont **matures et rentables**
- Le potentiel du stockage géothermique est de l'ordre de **4 à 6 TWh/an**
- Le stockage géothermique permet de **décarboner le système énergétique** et de **stocker de l'énergie de manière saisonnière**
- Il a l'avantage de mobiliser de **grands volumes à faible coût** avec une **faible empreinte au sol**
- Le stockage pour le froid permet de rafraichir les bâtiments tout en **régénérant activement le sous-sol** -> meilleure durabilité de l'exploitation du sous-sol
- Le stockage et la vente de chaud ET de froid permet **d'améliorer le business plan**
- Suite à la **Motion 22.3702**, des discussions ont lieu avec l'OFEV pour faire évoluer la règle du $\Delta T_{\max} = 3K$ à 100m, notamment pour le stockage.

Jérôme Faessler

Co-Directeur Géothermie-Schweiz

jerome.faessler@geothermie-suisse.ch

077 432 55 04

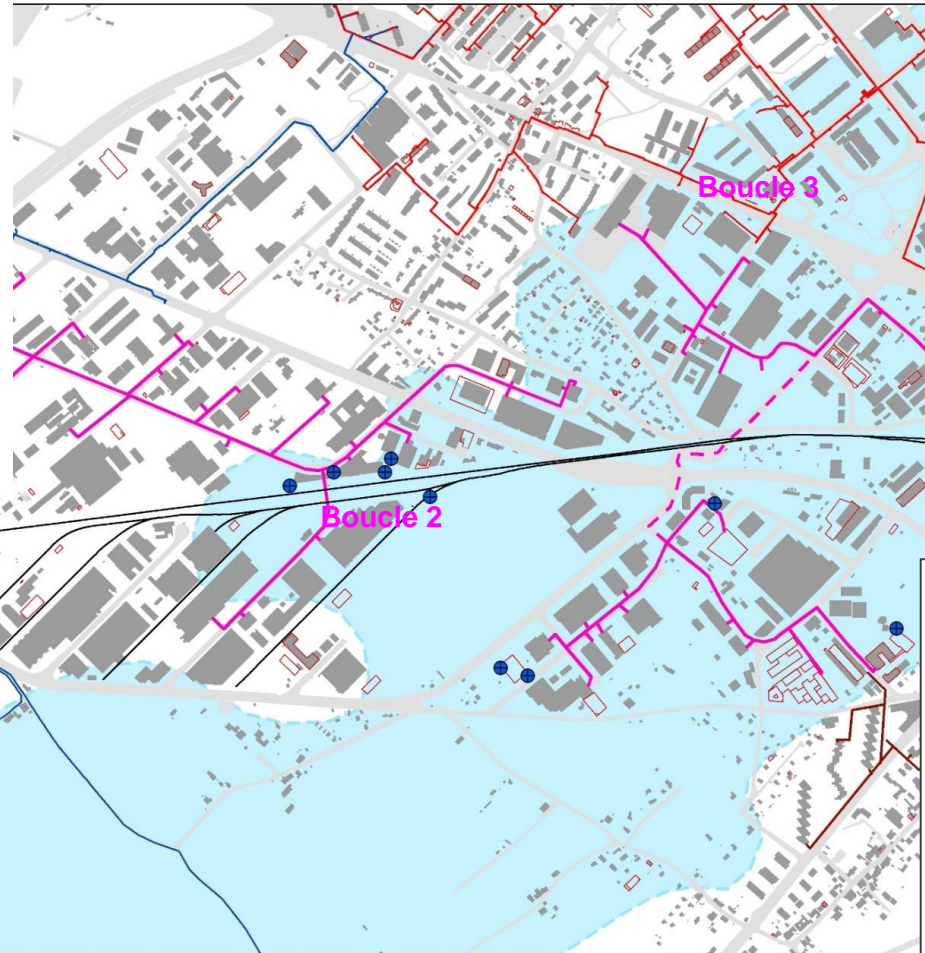
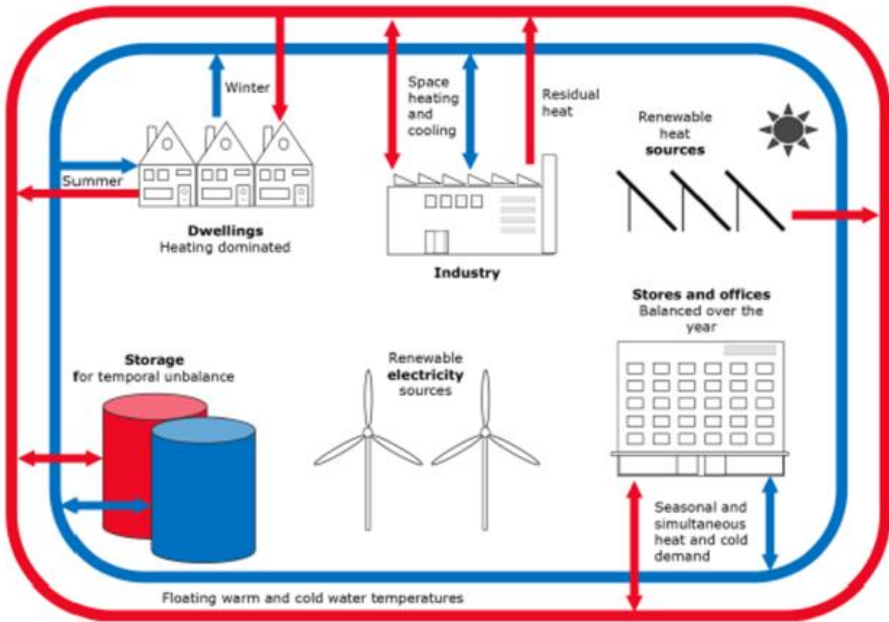
Merci
pour votre
attention

COMPLEMENTS

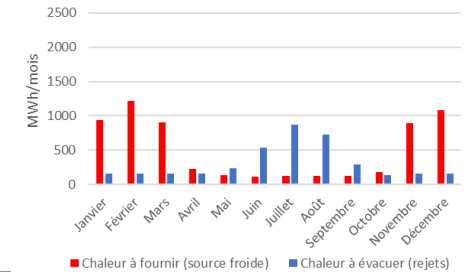
Quelques constats

- ❑ Besoin d'aquifères à bonnes transmissivité (mais pas trop !!) et gradient hydraulique pas trop élevé. L'aquifère idéal n'est pas encore localisé à Genève (hormis à faible profondeur pour les ATEs à basse température <25 ° C)
- ❑ La profondeur du stock doit être adaptée aux températures de distribution requises (pour un usage direct si possible), mais ne doit pas être trop élevée pour rester économique (< 800 m?)
- ❑ La qualité de l'eau peut être déterminante (précipitations, corrosions, saturation en CO₂, etc). Les aspects environnementaux sont à considérer aussi
- ❑ La concurrence avec les autres solutions renouvelable peut être grande. Attention à ne pas dégrader les modèles d'affaire de ces derniers. Réfléchir au «merit order» à court, moyen et long terme.
- ❑ Seules les grandes installations pourraient présenter une économie intéressante. Attention car la chaleur «fatale» n'est pas toujours gratuite et le système a besoin de réseaux et parfois de PAC.
- ❑ Un monitoring fin des installations sera requis et besoin d'un cadre réglementaire adapté

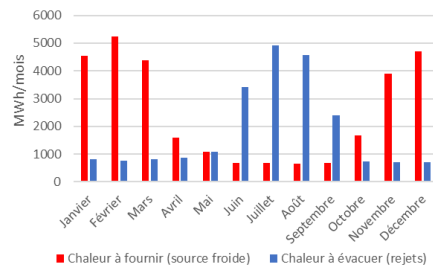
Exemple LT-ATES sur une zone industrielle à Genève



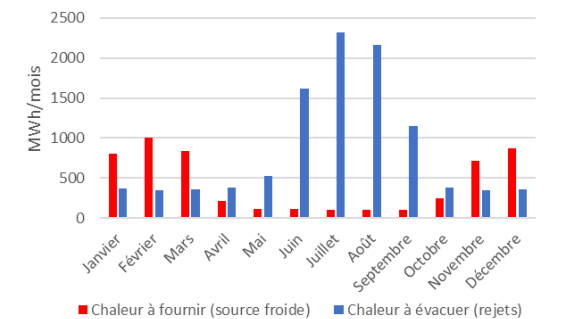
Loop 3 (17 nehmer)
 Wärme zu liefern : 6.0 GWs/jahr
 abzuführende Wärme : 3.7 GWh/an



Loop 1 (91 nehmer)
 Wärme zu liefern : 29.8 GWs/jahr
 abzuführende Wärme : 21.7 GWs/jahr



Loop 2 (19 nehmer)
 Wärme zu liefern : 5.2 GWs/jahr ; 2.1 MW
 abzuführende Wärme : 10.3 GWs/jahr



Source : M. Meyer, SIG

Prise de position Géothermie-Suisse sur le stockage en sous-sol



Réduit les émissions de CO₂



Arrête le gaspillage d'énergie



Répond à la demande de froid



Faible emprise au sol



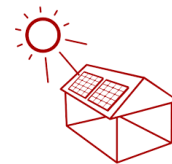
Assure la durabilité



Réduit les besoins électriques en hiver



Réduit les coûts d'investissements



Plus grande indépendance énergétique

Tech Cluster Zoug (ZG)

en cours

Couvrir l'ensemble des besoins en chaleur et froid efficacement et durablement



2

réseaux de chaleur prévus: un à moyenne température et l'autre à basse température

Le contexte

Renouvellement du site de la société V-Zug en site technologique durable.

La solution

Utilisation des eaux souterraines profondes pour chauffer, refroidir et stocker au sein d'un réseau thermique et électrique fonctionnant comme un «Multi Energy Hub».



Fiche technique

Acteur: Tech Cluster Zug AG, WWZ AG

Système géothermique: eaux souterraines

Profondeur maximale: 150 m

Température maximale: 12 °C

Puissance (globale) projetée:

- Chaleur: 4MW (état initial) 6MW (état final)

- Froid: 2MW (état initial) 5MW (état final)

Siège de Swatch Group à Bienne (BE) en service (2020)

Utilisation optimale des conditions géologiques dans un complexe ultramoderne



9

puits et des réservoirs de stockage



Le défi

Swatch Group a fait construire un nouveau siège ultramoderne et durable. Il s'agissait de proposer un système énergétique qui le soit tout autant.

La solution

Utilisation intelligente des eaux souterraines pour chauffer et refroidir les trois bâtiments Swatch grâce à 9 puits souterrains.



Fiche technique

Acteur: Swatch Group

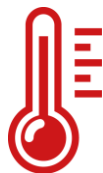
Système géothermique: eaux souterraines

Température maximale: 12 °C

Nombre de puits: 9 (3 d'extraction, 4 d'extraction et de retour combinés et 2 de retour pur)

Immeuble résidentiel à Lugano (TI) en service (2020)

Du rafraîchissement
à bas coût



Le défi

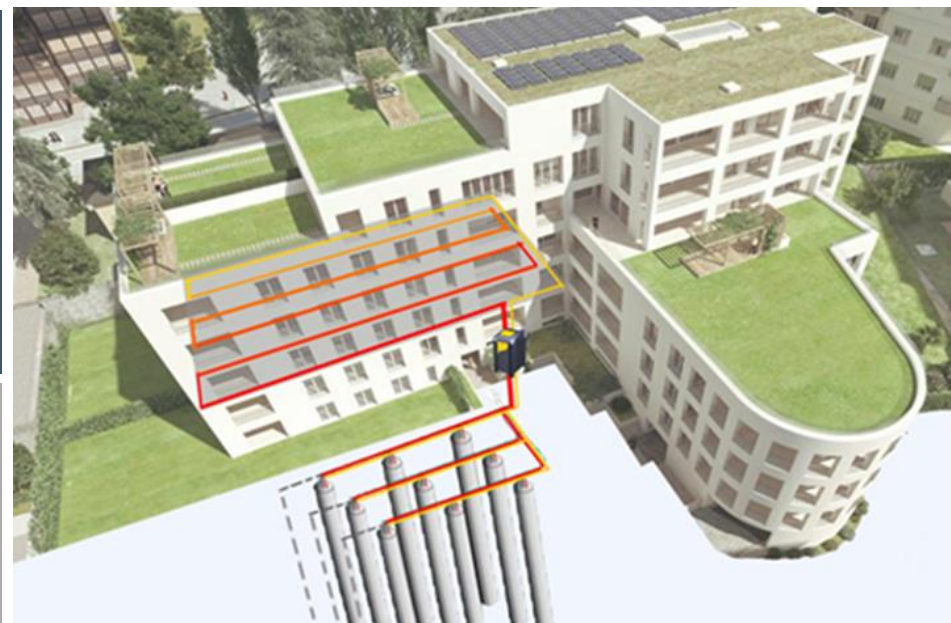
Mettre en place un système de chauffage, mais aussi de refroidissement estival qui soit durable et économique.

La solution

Système de geocooling basé sur un champ de sondes, utilisant la fraîcheur du sol pour rafraîchir les bâtiments, sans machines frigorifiques. Extraction de la chaleur l'hiver et injection l'été (régénération thermique du terrain). Faible surcoût pour ajouter le geocooling au chauffage.

13

sondes géothermiques
de 200 m chacune



Fiche technique

Acteur: Minder Energy Consulting

Système géothermique: champ de sondes, stockage saisonnier

Profondeur maximale du forage: 200 m

Température maximale: 15 °C

Aéroport de Zurich (ZH) en service (2003/2020)

L'une des plus puissantes installations
de pieux énergétiques en Europe



Le défi

Un des plus grands consommateurs
d'énergie en Suisse.

La solution

Avec un faible surcoût, 306 pieux
énergétiques, nécessaires à la construction
des nouveaux bâtiments, permettent
d'utiliser le sous-sol comme une
installation de stockage saisonnier.
40% de la chaleur résiduelle est restockée
dans le sous-sol (geocooling), permettant
de couvrir 70% des besoins en chaleur en
hiver et 50% des besoins en
refroidissement en été.

1'000

pieux énergétiques
supplémentaires dans le
cadre du nouveau complexe
«The Circle» depuis 2020



Fiche technique

Acteur: Aéroport de Zurich «Flughafen Zürich AG»

Système géothermique: pieux énergétiques
(géostrucures)

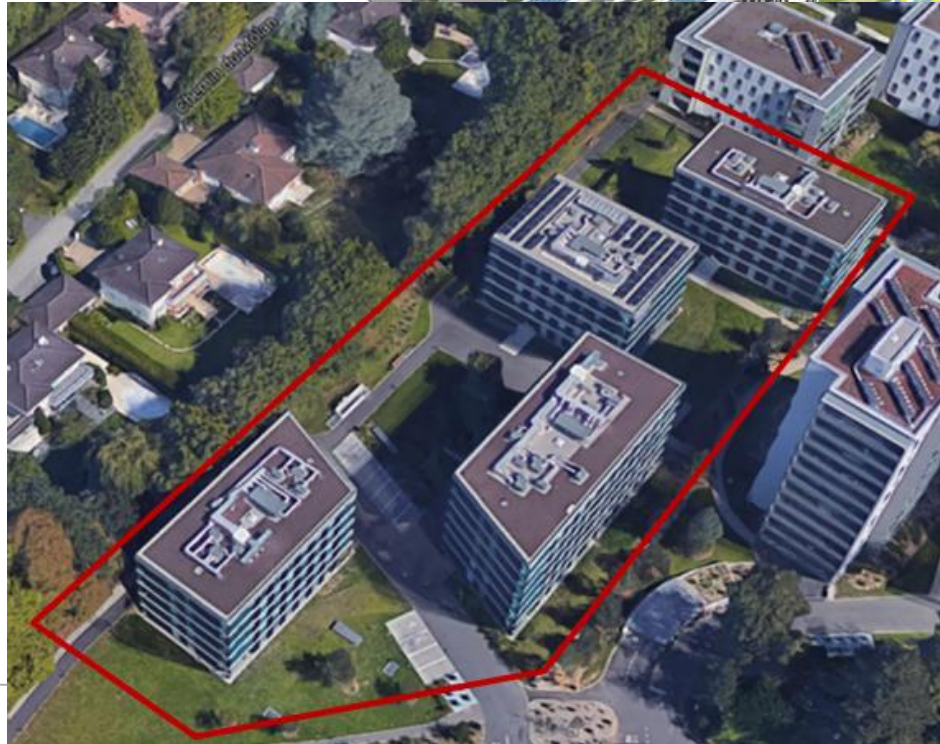
Production de chaleur par an:

- 1'500 MWh (chaud)
- 580 MWh (froid)

Mazout économisé par an: 150'000 litres

Emissions de CO₂ économisées par an: 400 tonnes

Exemple BTES - Suurstoffi Rotkreuz (LU)

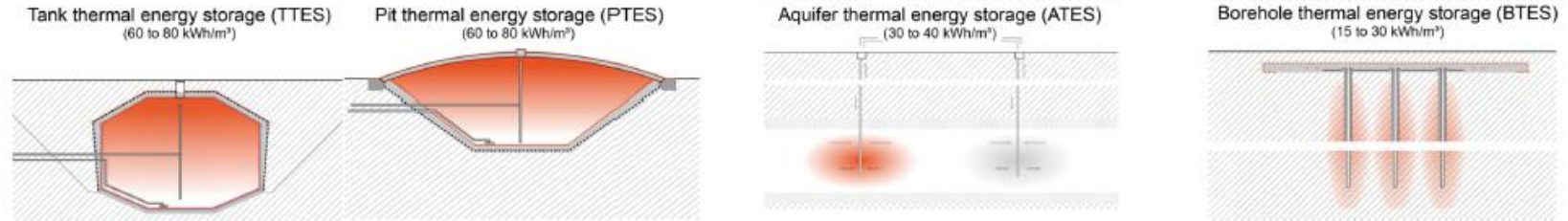


- Energy reference area: 172,400 m²
- Area of solar collectors (PV & PVT): 12,200 m²
- Number of geothermal probes: 215 x 150 m
deep + 180 x 300 m deep
- Heat requirement: 7,653 MWh / a
- Hot water requirement: 2,966 MWh / a
- Cooling requirement: 2,364 MWh / a

Nadège Vetterli, Matthias Sulzer, Dynamic analysis of the lowtemperature district network Suurstoffi through monitoring, EngineeringPublished 2015

Source : M. Meyer, SIG

Les stocks géothermiques



Solites

Storage concept	Water tank	Gravel-water pit	Aquifer	Borehole
Storage medium	water	gravel-water	sand/water-gravel	soil/rock
Heat capacity, kWh/m ³	60-80	30-50	30-40	15-30
Storage volume for 1 m ³ water equivalent	1 m ³	1.3-2 m ³	2-3 m ³	3-5 m ³
Geological requirements	<ul style="list-style-type: none"> - Stable ground conditions - Preferably no ground water - 5-15 m deep 	<ul style="list-style-type: none"> - Stable ground conditions - Preferably no ground water - 5-15 m deep 	<ul style="list-style-type: none"> - Natural aquifer layer, high hydraulic conductivity - Confining layers on top and below - No or low natural ground water flow - Suitable water chemistry at high temperatures 	<ul style="list-style-type: none"> - Drillable ground - High heat capacity - High thermal conductivity - Low hydraulic conductivity - Natural ground water flow less than 1 m/a - 30-200 m deep

Source : Fleury De Oliveira, Cours P4 [GEOETH](#)

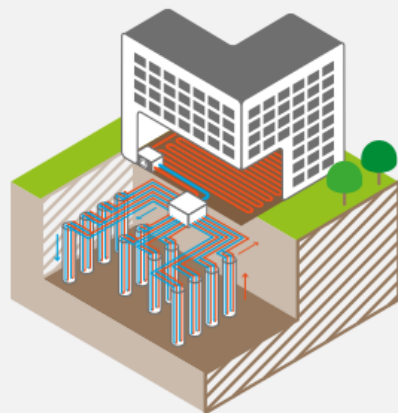
Pavlov and Olesen, 2010

Potentiel Stockage selon Géothermie-Suisse

Deux solutions de stockage géothermique différentes

Deux types de stockage géothermique ont été étudiés en termes de potentiel: le stockage d'énergie thermique par sondes géothermiques (BTES) et le stockage d'énergie thermique par aquifère (ATES).

Champs de sondes (BTES)

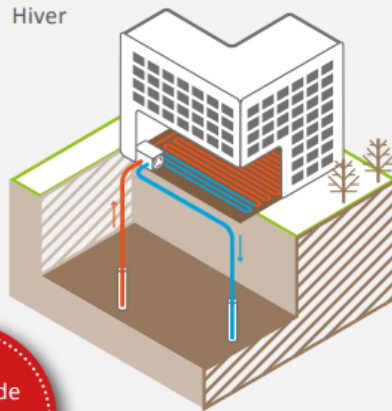


Le stockage géothermique grâce aux champs de sonde sont déjà largement utilisés en Suisse avec de nombreux exemples.

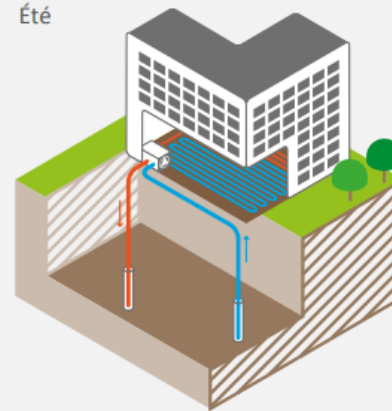
Géothermie-Suisse estime le potentiel de stockage par champs de sondes à **2-3 TWh/an**. Cela correspond à plusieurs milliers de champs de sondes géothermiques de 20 x 250 m.

Aquifères (ATES)

Hiver



Été



Potentiel de
4-6 TWh
par année

Les aquifères (réservoirs d'eau souterrains) sont situés dans différentes couches géologique et séparés entre basse température et haute température. La limite est fixée à 25° Celsius. Des systèmes à basse température existent déjà aujourd'hui et sont économiquement rentables. Les systèmes à haute température reste pour le moment des projets pilotes, comme par exemple le [stockage géothermique Forsthaus à Berne](#).

Géothermie-Suisse estime le potentiel de stockage par aquifères à basse température à **2-3 TWh/an**. Cela correspond à plusieurs centaines de doublets géothermiques à construire.

<https://geothermie-schweiz.ch/potentiel/?lang=fr#tab2>

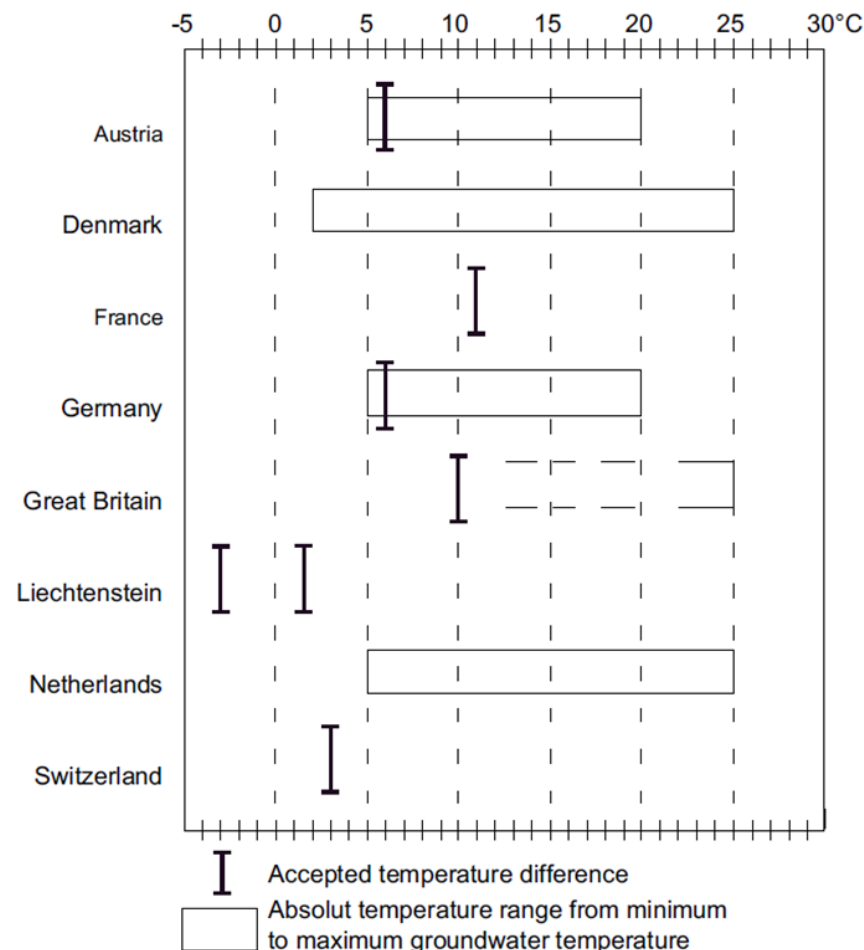
Nécessité de faire évoluer le cadre légal fédéral sur les eaux souterraines

Différentes règles suivant les pays

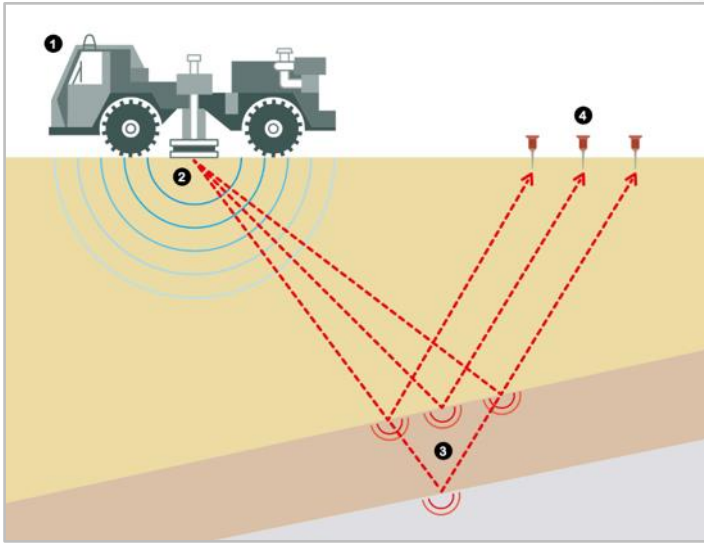
En Suisse il existe une limite d'un delta T de 3°C

Cela limite excessivement les possibilité de valoriser le potentiel de stockage géothermique alors que des solutions environnementalement acceptables existent

Une motion parlementaire a été déposée



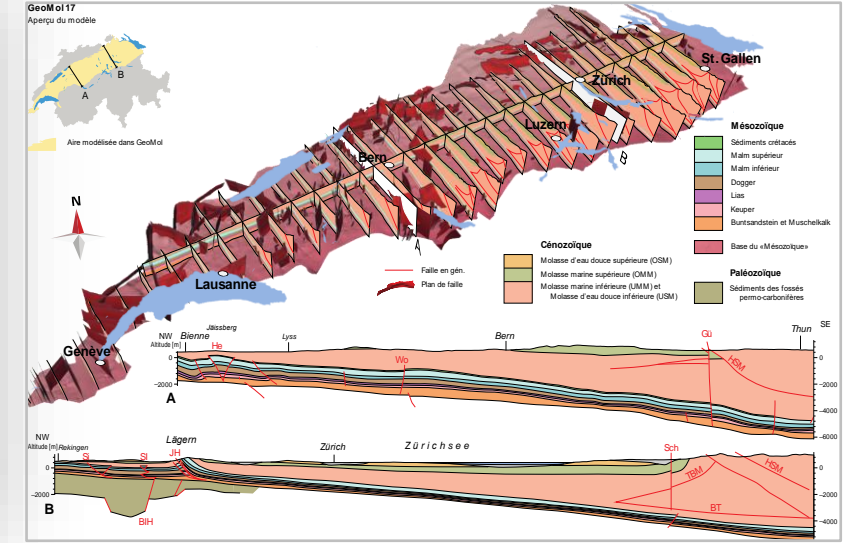
Exploration du sous-sol



Mesures géophysiques



Forages exploratoires



Modèles géologiques 3D (p. ex. GeoMol)

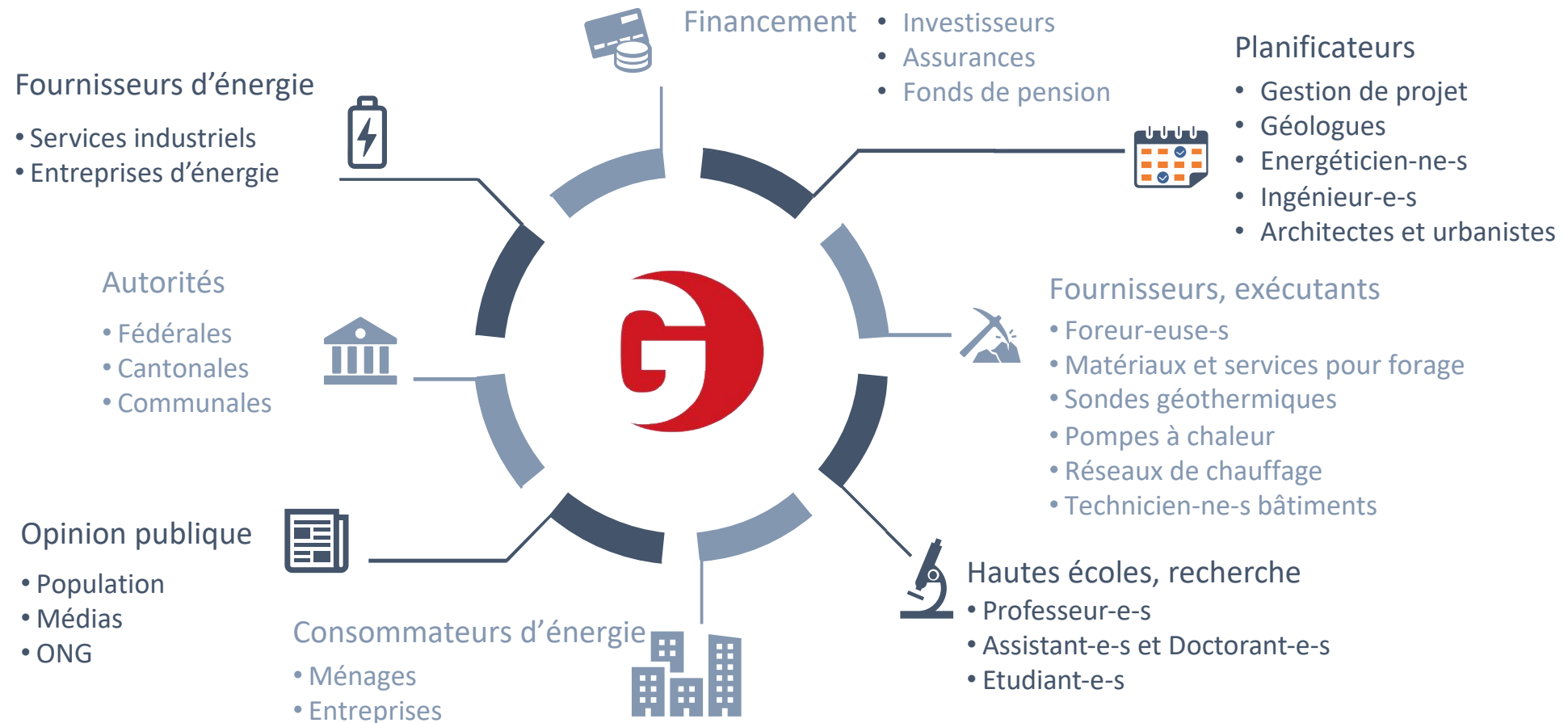
- Pas de tradition d'exploration petro-gazière en Suisse
- Peu de connaissances du sous-sol
- L'exploration est essentielle

L'exploration est d'intérêt publique
=> **Co-financement des pouvoirs publics**

Géothermie-Suisse: connecter les parties prenantes

Sauf pour la géothermie de faible profondeur, la filière de la géothermie en Suisse est au début de la collaboration. Tous les acteurs sont dans un processus d'apprentissage.

Géothermie-Suisse facilite la collaboration.



Services de Géothermie-Suisse



Formation



Informations marché



Centre de compétences



Conditions-cadres et politique



Évènements



Communication

Partage d'expérience et accroissement des connaissances avec Géothermie-Suisse

