Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Ofiice fédéral de l'énergie OFEN

Rapport final (Présentations) 15. Nov. 2011

Journée romande de la géothermie 2011

La géothermie en ébullition. Projets et réalisations d'importance, tant en géothermie profonde que superficielle

Mandant:
Office fédéral de l'énergie OFEN
Programme de recherche Géothermie
CH-3003 Berne
www.bfe.admin.ch

Mandataire:
Antenne romande de GEOTHERMIE.CH
c/o PAC'info Sàrl
Rue du Four 11
1400 Yverdon-les-Bains
www.geothermie.ch

Auteurs:
voir programme

Organisation :
André Freymond, andre.freymond@geothermie.ch
Natascha Vetroff natascha.vetroff@geothermie.ch

Responsable de domaine de l'OFEN: Gunter Siddiqi
Chef de programme de l'OFEN: Rudolf Minder
Numéro du contrat de l'OFEN: 500'681-01

Le ou les auteurs sont seuls responsables du contenu et des conclusions de ce rapport.

GÉOTHERMIE.CH
Rue Saint-Roch 36
CH-1400 Yverdon
T 024 425 22 83
F 024 426 02 12
andre.freymond@geothermie.ch
www.geothermie.ch
Antenne Romande de la Société suisse pour la géothermie SSG

Journée romande de la géothermie 2011

La géothermie en ébullition.
Projets et réalisations d'importance, tant en géothermie profonde que superficielle.

Mardi 15 novembre 2011

Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud - heig-vd
Route de Cheseau 1 – 1400 Yverdon-les-Bains

Programme détaillé avec liens vers les présentations
Présentations des conférenciers

Partenaires

La Côte Géothermie
sol-E suisse
seic
SEFA
VILLE DE NYON
canton de vaud – SEVEN Service de l'environnement et de l'énergie
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Office fédéral de l'énergie OFEN
heig-vd
Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud
SI-REN Les énergies renouvelables de Lausanne
SIG
axpo new energies
Geoimpulse

Organisation
SSG-SVG-geothermie.ch – Antenne romande de la Société suisse pour la géothermie
André Freymond et Stéphane Cattin – Rue St-Roch 36, 1400 Yverdon-les-Bains
Tél. 024 425 22 83, fax : 024 426 02 12
andre.freymond@geothermie.ch et stephane.cattin@geothermie.ch

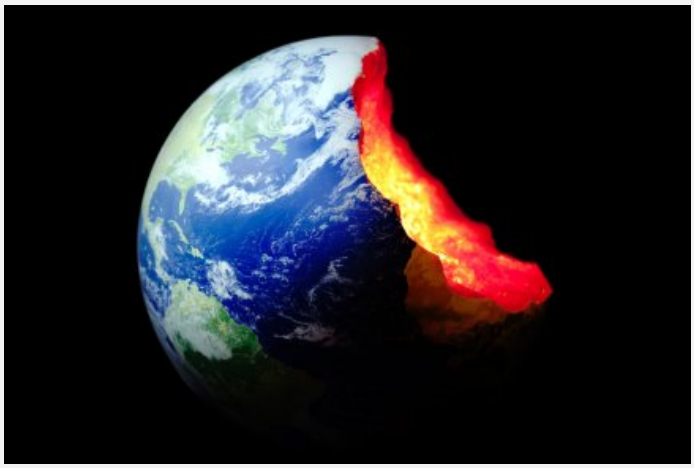
GÉOTHERMIE.CH
Rue Saint-Roch 36
CH-1400 Yverdon
T 024 425 22 83
F 024 426 02 12
andre.freymond@geothermie.ch
www.geothermie.ch
Antenne Romande de la Société suisse pour la géothermie SSG

Programme détaillé

	Thématique traitée	Timing	Intervenant	Horaire
	Accueil des participants – Café, croissants	45'		08:45-09:30
PDF PDF	1. **Ouverture de la manifestation** par le Responsable de l'Antenne romande de la SSG et **Message de bienvenue** du Chef du Département technologies industrielles de la heig-vd	10'	A. Freymond et M. Etique	09:30-09:40
PDF	2. **Carte neuchâteloise des profondeurs pour la géothermie superficielle** Objectifs, explications et démonstration de l'utilisation de cet outil disponible sur Internet (SITN) Jusqu'à quel profondeur puis-je forer sur mon bien-fonds et mettre en place une ou plusieurs sondes géothermiques ?	20'	I. Butty et N. Rognon-Jeandroz	09:40-10:00
PDF	3. **Projet et réalisation de champs de sondes géothermiques en Suisse romande**	30'	R. Marcelpoix et E. Peguiron	10:00-10:30
PDF	4. **Cadastre géothermique du canton de Vaud** Modèle géologique du canton de Vaud & cartes indicatives de performance géothermique et d'admissibilité. Un outil d'aide à la décision pour les maîtres d'ouvrage.	20'	D. Giorgis	10:30-10:50
	Pause café			10:50-11:10
PDF	5. **GP La Côte – projections d'avenir à l'aube d'un premier forage d'exploration**	30'	F. Calame et G. Bianchetti	11:10-11:40
PDF	6. **La sismique réflexion et la géothermie profonde: Principes et exemples**	20'	J. Jenny	11:40-12:00
	Lunch			12:00-13:30
PDF	7. **Dimensionnement d'installations industrielles en nappes phréatiques** Exemples réalisés dans la vallée du Rhin (SG), de la Suhr (AG) et de la Reuss (LU)	30'	J.-M. Lavanchy	13:30-14:00
PDF	8. **Conditions-cadre à un projet de géothermie profonde en Suisse, à l'exemple de AGEPP** Introduction sur les différentes législations et procédures en Suisse et lessons learnt	25'	P. Vinard	14:00-14:25
PDF	9. **Optimisation de l'exploration géologique en amont d'un forage géothermique profond** Etapes importantes, méthodologies, cas de figure et rôle de la modélisation	25'	P. Vinard et G. Bianchetti	14:25-14:50
	Pause café			14:50-15:10
PDF	10. **Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève – PGG** Sondes géothermiques verticales, géostructures énergétiques, exploitation de nappes phréatiques peu profondes, stockage saisonnier et ressources géothermiques profondes	30'	G. Cervera	15:10-15:40
PDF	11. **Programme de prospection pour un développement de la géothermie à grande profondeur dans le canton de Genève**	30'	M. Meyer	15:40-16:10
PDF	12. **Exploration de la géothermie profonde dans le canton de Neuchâtel: du terrain à la modélisation 3D**	20'	G. Mauri et P. Altwegg	16:10-16:30
	Brève synthèse, informations diverses et clôture de la manifestation – Apéritif			16:30-17:45

GÉOTHERMIE.CH

Journée romande de la géothermie 2011



GÉOTHERMIE.CH

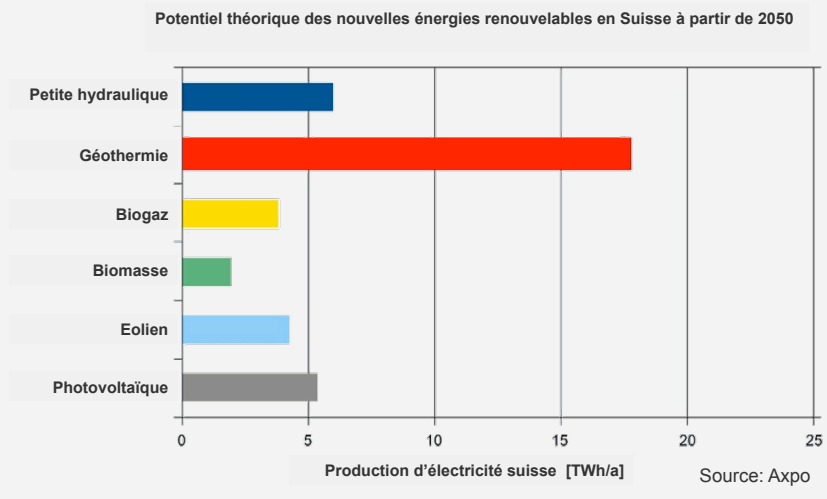
Potentiel géothermique en suisse

> PSI, 2005:
- Potentiel théorique
- 3–7 km de profondeur → 15'900'000 TWh_{th}

- Facteur de gain réalisable: 4 %
- Rendement: 10 % → 63'700 TWh_e
  (Consommation suisse d'électricité en 2010: 59,785 Twh_e par année)
- Prix de revient de l'électricité: 7–15 Rp./kWh

GÉOTHERMIE.CH

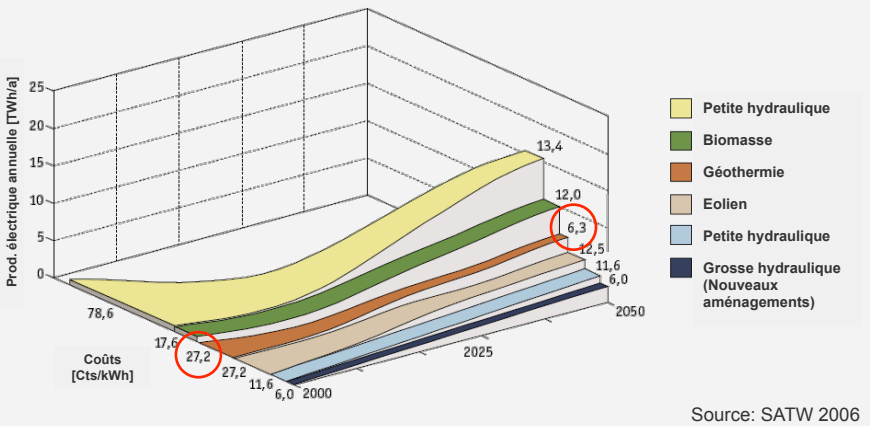
Potentiel géothermique à partir de 2050



Source: Axpo

GÉOTHERMIE.CH

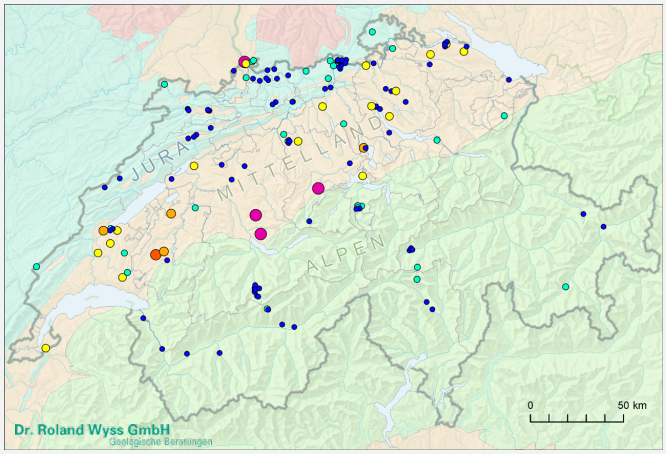
Comparaison des coûts de l'électricité aujourd'hui et en 2050



Source: SATW 2006

GÉOTHERMIE.CH

Forages en Suisse (>400 m)

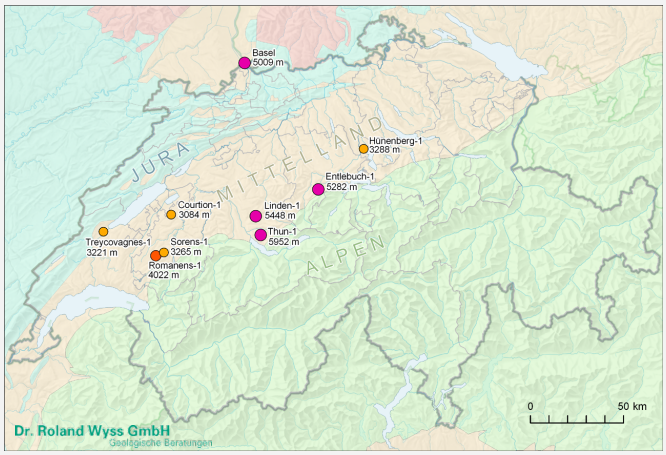


Profondeur de forage

- 400–1000 m
- 1000–2000 m
- 2000–3000 m
- 3000–4000 m
- 4000–5000 m
- 5000–6000 m

GÉOTHERMIE.CH

Forages en Suisse (>3000 m)



Profondeur de forage

- 3000–4000 m
- 4000–5000 m
- 5000–6000 m

GÉOTHERMIE.CH

Conclusion

- **Le potentiel existe, soit mais :**

- Il reste à mettre en place des conditions cadres favorables.
- Il faut des moyens financiers supplémentaires pour établir un certain nombre de projets pilotes afin de mieux connaître notre sous-sol.
- Il faudra se montrer patient.

- **Cette journée est consacrée à faire le point de la situation dans tous les domaines de la géothermie.**

GÉOTHERMIE.CH

Excellente et instructive journée



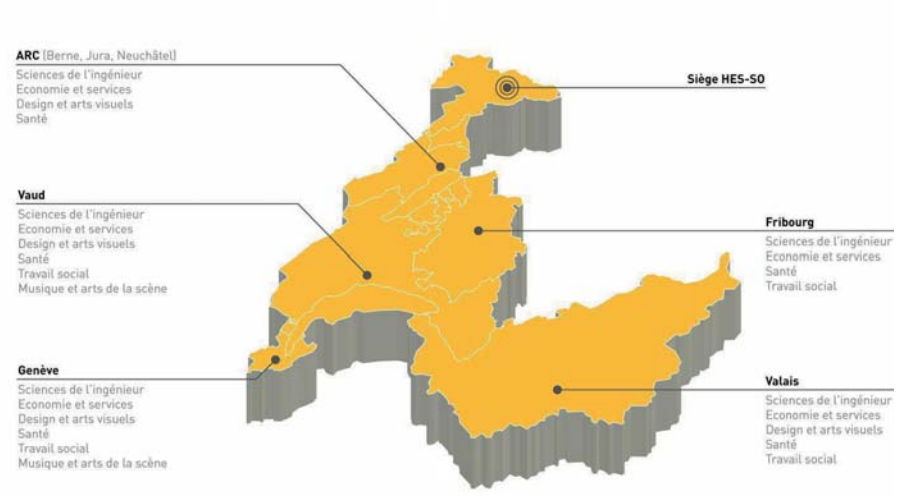
Journée romande de la géothermie, le 15.11.2011 à Yverdon-les-Bains
suisse énergie

Présentation de la Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du canton de Vaud (HEIG-VD)

Prof. Michel ETIQUE
michel.etique@heig-vd.ch
Chef du Département des Technologies Industrielles (TIN)
http://www.heig-vd.ch

15 novembre 2011

La Haute Ecole Spécialisée de Suisse Occidentale (HESSO)



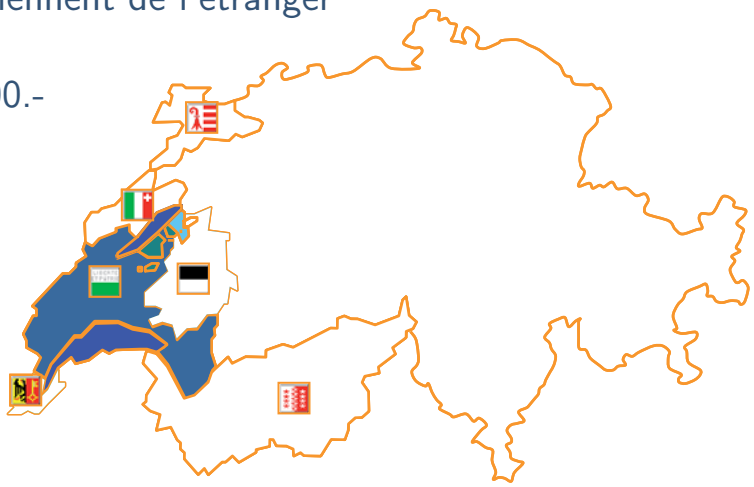
Diplômes :

- Bachelor et Master of Arts HESSO (design, arts visuels, musique, etc)
- Bachelor et Master of Science HESSO (ingénierie, architecture, économie, santé, etc)

≈15'500 étudiant-e-s

Quelques données chiffrées

- ≈1600 étudiant-e-s
- 1 campus
- 3 sites à Yverdon-les-Bains
- 375 employé-e-s (EPT)
- 66% des étudiant-e-s proviennent du canton de Vaud
- 13% des étudiant-e-s proviennent de l'étranger
- 15 nationalités
- Budget : ≈CHF 70'000'000.-



La Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du canton de Vaud (HEIG-VD)
www.heig-vd.ch

Filières bachelor HEIG-VD (PT=plein temps, EE=en emploi)

Ingénierie

Télécommunications	PT
Informatique	PT+EE
Ingénierie des médias	PT
Génie électrique	PT+EE
Microtechniques	PT+EE
Systèmes industriels	PT+EE
Géomatique	PT+EE
Ingénierie de Gestion	PT

Gestion

Economie d'entreprise	PT+EE

La Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du canton de Vaud (HEIG-VD)

www.heig-vd.ch

Filières bachelor HEIG-VD

Notre vision *From knowledge to business !*

- Permettre aux étudiant-e-s d'acquérir des connaisances de haut niveau ainsi que des compétences orientées vers la pratique
- Viser l'excellence en Recherche appliquée et Développement afin d'être un partenaire efficace pour l'écononomie

Les instituts de Ra&D de la HEIG-VD

www.heig-vd.ch

- Materials Design, Materials and Packaging Technology (COMATEC) http://comatec.heig-vd.ch
- Institute for Industrial Automation (iAi) http://www.iai.heig-vd.ch
- **Energy & Electrical Systems** (IESE) http://iese.heig-vd.ch
- **Thermal Engineering** (IGT) http://igt.heig-vd.ch
- eMbedded Information Systems (SIM) http://www.mis.heig-vd.ch
- Micro & Nano Techniques (MNT) http://www.cett.ch/fr/institut_mnt.php
- Reconfigurable & Embedded Digital Systems (REDS) http://www.reds.ch/
- Institute for Information and Communication Technology (IICT) http://www.iict.ch/
- Swiss Welding Institute (SWI) http://www.swi.ch
- Biomedical Engineering Group (BEG) http://www.biomed.heig-vd.ch/
- Civil Engineering and Geomatics Center (G2C) http ://g2c.heig-vd.ch/
- Management & Entrepreneurship Institute (IGE) http://www.ige-heig-vd.ch

Chiffre d'affaire Ra&D 2010 ≈CHF 17'000'000.-

http ://www.cett.ch

La Haute Ecole Spécialisée de Suisse Occidentale (HESSO)
La Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du canton de Vaud (HEIG-VD)
Les instituts de Ra&D de la HEIG-VD
La HEIG-VD: une haute école pleine d'énergie !
Formation de base (bachelor & master)
Ra&D
Postformation
Références (web)

La HEIG-VD : une haute école pleine d'énergie !

BSc en Systèmes industriels (SI) *orientation Génie thermique (SIG)* :

- Energies renouvelables
- Chauffage-Climatisation-Ventilation
- Techniques du froid
- Physique du bâtiment
- etc

BSc en Génie électrique (GE) *orientation Systèmes énergétiques (EN)* :

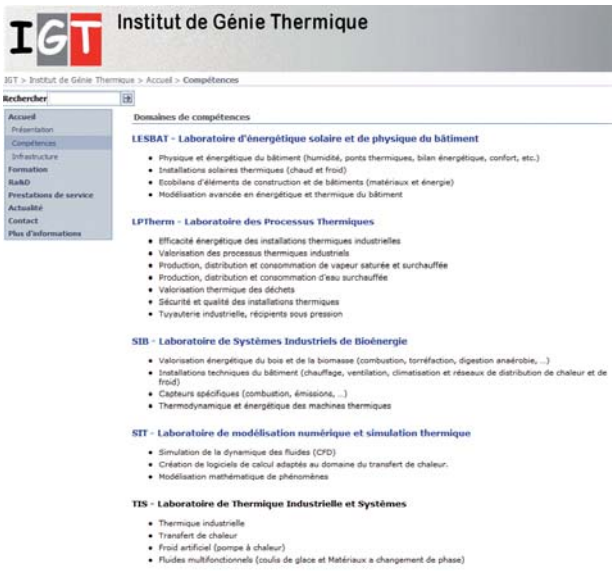
- Energies renouvelables
- Electronique de puissance
- Machines électriques
- etc

MSc-Master Science in Engineering (MSE)

- **Systèmes énergétiques hybrides: piles à combustibles et énergies renouvelables (SEH)**
- **Bâtiments à très hautes performances énergétiques et environnementales (BATEE)**
- **Ecobilan de produits et de services par l'expérience (ECOBI)**
- **Chaos and Turbulence in Fluid Dynamics and Heat Transfer (CTFH)**
- **Valorisation Energétique de la Biomasse: procédés durables et biocombustibles (VERB)**
- **Efficacité Energétique et Exergétique de systèmes industriels (EEE)**

Recherche appliquée et Développement (Ra&D)

www.heig-vd.ch



http://igt.heig-vd.ch



http://iese.heig-vd.ch

pompe à chaleur - pile à combustible - éolien - solaires thermique et photovoltaïque - bois - biomasse - valorisation des déchets

Postformation : CAS-DAS-MAS

http ://www.postformation.ch

www.heig-vd.ch



http ://www.erta.ch

CAS ERTA "Certificate of Advanced Studies" HESSO en Energies Renouvelables



http ://www.edd-bat.ch

MAS EDD-BAT "Master of Advanced Studies" HESSO en Energie et Développement durable dans l'environnement bâti

Géothermie

Responsable du module:	François-David Vuataz
Nb de jours de formation	4
Code du module:	XXX

Objectifs du module

- Connaître le potentiel et les différentes technologies de la géothermie
- Reconnaître les composants et pouvoir dimensionner une installation
- Savoir estimer les performances des installations (méthodes simples et numériques)
- Connaître les aspects liés à l'environnement, à la législation, à la sécurité et au financement
- Intégrer les équipements souterains avec les installations de surface
- Montage et gestion de projets de géothermie.

http ://www.erta.ch

CAS ERTA "Certificate of Advanced Studies" HESSO en Energies Renouvelables



Master of Advanced Studies HES-SO en
Energie et développement durable dans l'environnement bâti 2011–2014

http ://www.edd-bat.ch

MAS EDD-BAT "Master of Advanced Studies" HESSO en Energie et Développement durable dans l'environnement bâti

1/2

Séminaire "Sortir du nucléaire" :



2/2

Projet de nouvelle filière bachelor :

"Energie et Techniques Environnementales"

avec orientations

- *Thermique industrielle*
- *Bâtiment*
- *Thermotronique*

Ouverture visée : septembre 2012 !

Références (web)

Offre de prestations la HEIG-VD dans le domaine de l'énergie
http ://www.energies-durables.ch

Formations bachelor Filières Génie électrique (GE), orientation Systèmes énergétiques (EN) et Systèmes industriels (SI), orientation Génie thermique (SIG)
http ://go.heig-vd.ch/sig

Formation master Master of Science in Engineering (MSE)
http ://www.heig-vd.ch/Default.aspx ?tabid=659

Institut d'Energie et de Systèmes électriques (IESE)
http ://www.iese.heig-vd.ch

Institut de Génie thermique (IGT) http ://www.igt.heig-vd.ch

CAS ERTA Postformation "Certificate of Advanced Studies" HESSO Energies Renouvelables
http ://www.erta.ch

MAS EDD-BAT Postformation "Master of Advanced Studies" HESSO Energie et Développement durable dans l'environnement bâti
http ://www.edd-bat.ch

Carte neuchâteloise des profondeurs pour la géothermie de faible profondeur

SERVICE DE l'ENERGIE ET DE L'ENVIRONNEMENT (SENE)

Isabelle Butty

Hydrogéologue au service de l'énergie et de l'environnement du canton de Neuchâtel

Nadia Rognon Jeandroz

Ingénieure en Géomatique au **SITN** - **S**ystème d'**I**nformation du **T**erritoire **N**euchâtelois
du Service de la Géomatique et du registre foncier

ne.ch RÉPUBLIQUE ET CANTON DE NEUCHÂTEL

Loi fédérale sur la protection des eaux, du 24 janvier 1991 (LEaux)

SERVICE DE l'ENERGIE ET DE L'ENVIRONNEMENT (SENE)

Art. 43 Protection des nappes d'eaux souterraines

[3] La création de communications permanentes entre des nappes souterraines est interdite si une telle intervention peut diminuer les réserves en eaux souterraines ou altérer leur qualité.

Recherche d'un outil pour appliquer la loi, et répondre aux demandes des projeteurs

Etape 1 : Réalisation d'une carte et d'une notice fixant les **limites imposées par la géologie** quant à la profondeur maximale à ne pas dépasser lors de forages sur l'ensemble du canton. : *Étude effectuée par le bureau* ***Bernard Matthey Ingénieurs-Conseils*** *à Montezillon*



ne.ch RÉPUBLIQUE ET CANTON DE NEUCHÂTEL

Nappes phréatiques du Quaternaire

Profondeur de l'aquiclude

Bassins sédimentaires à remplissage molassique

La Molasse d'eau douce inférieure (Stampien-Aquitanien),

L'Oehningien (Tortonien –Samartien) de la vallée du Locle

Imperméables séparant les aquifères calcaires jurassiens

L'imperméable de l'"**Argovien"-Oxfordien**, constituant une séparation entre le Dogger et le Malm.

Les marnes du "**Purbeckien"**, fonctionnant souvent comme une barrière imperméable entre les calcaires du Malm et les calcaires du Valanginien.

Les marnes de l'**Hauterivien inférieur**, considérées comme une barrière étanche entre les calcaires du Valanginien et l'Hauterivien supérieur.

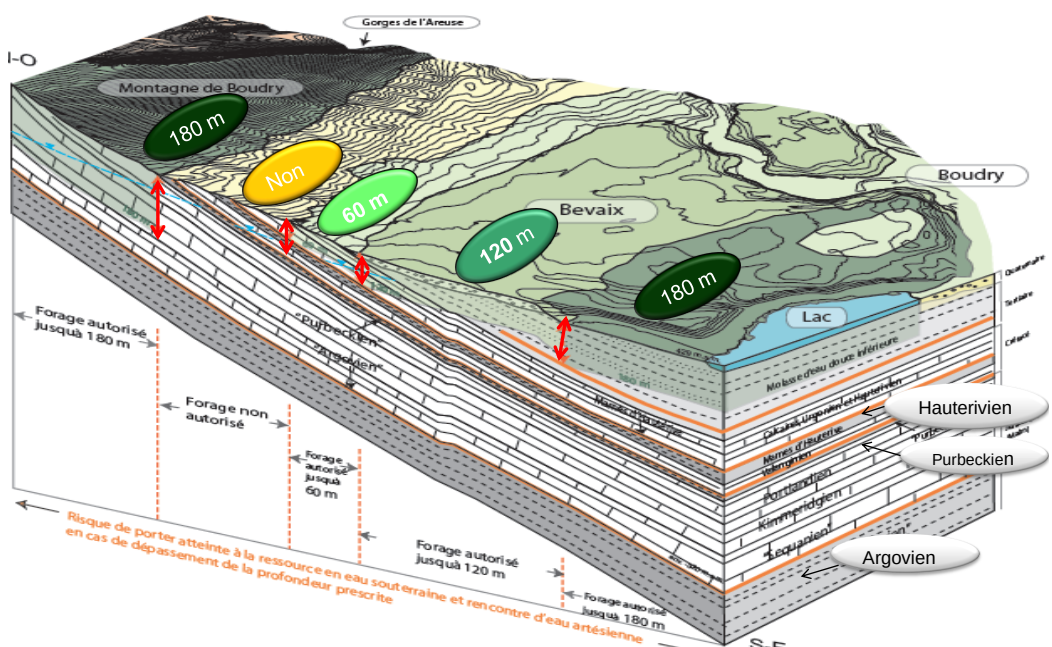


Figure modifiée de *Bernard Matthey Ingénieurs-Conseils à Montezillon*

Extrait de la carte des profondeurs maximales des forages en fonction de la géologie

SERVICE DE L'ENERGIE ET DE L'ENVIRONNEMENT (SENE)



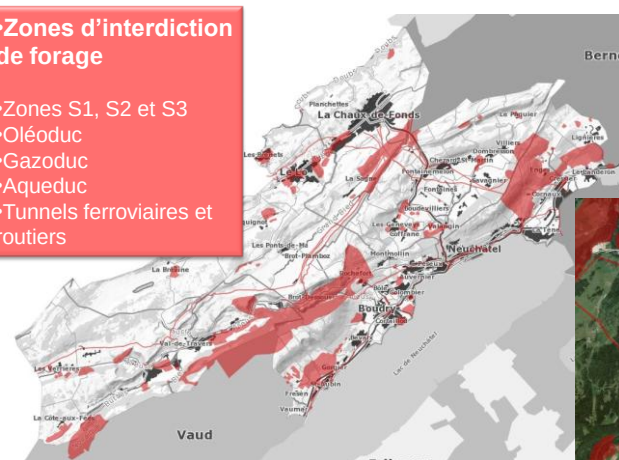
ne.ch RÉPUBLIQUE ET CANTON DE NEUCHÂTEL

Etape 2: les contraintes autres que la géologie

SERVICE DE L'ENERGIE ET DE L'ENVIRONNEMENT (SENE)

•Zones d'interdiction de forage

•Zones S1, S2 et S3
•Oléoduc
•Gazoduc
•Aqueduc
•Tunnels ferroviaires et routiers

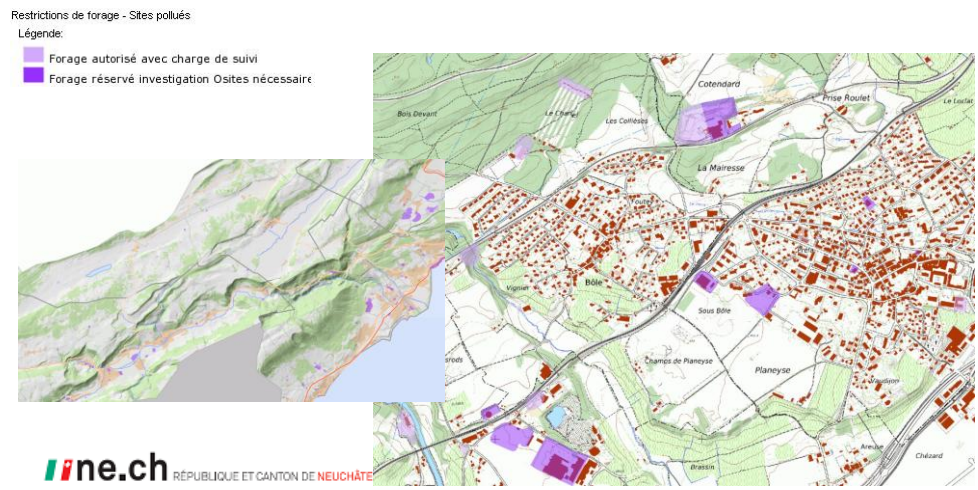




ne.ch RÉPUBLIQUE ET CANTON DE NEUCHÂTEL

Zones avec restrictions de forages – Sites Pollués

SERVICE DE L'ENERGIE ET DE L'ENVIRONNEMENT (SENE)



ne.ch RÉPUBLIQUE ET CANTON DE NEUCHÂTEL

Zones avec restrictions de forages – Sites Pollués

SERVICE DE L'ENERGIE ET DE L'ENVIRONNEMENT (SENE)

Données du cadastre des sites pollués - CANEPO

- Décharges
- Accidents
- Entreprises

Représentation géographique dans la base de données CANEPO

- Points – étendue géographique non connue
- Surfaces

Etat du diagnostic CANEPO

- Certains sites déjà investigués, d'autres pas

→ Simplification de la nomenclature CANEPO pour avoir seulement 2 types de contrainte pour les forages

ne.ch RÉPUBLIQUE ET CANTON DE NEUCHÂTEL

Merci pour votre attention



Journée romande de la géothermie 2011

Projets et réalisations de champs de sondes géothermiques en Suisse Romande

Esther Peguiron & Renaud Marcelpoix

www.csd.ch

novembre 2011

CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

Sommaire

- **Déroulement d'un projet**
- **Exemple de dimensionnement**
- **Quelques problèmes géologiques et hydrogéologiques rencontrés**
- **Conclusions**

CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

Sommaire

- **Déroulement d'un projet**
- **Exemple de dimensionnement**
- **Quelques problèmes géologiques et hydrogéologiques rencontrés**
- **Conclusions**

CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

Déroulement d'un projet

Déroulement d'un projet de champ de sondes géothermiques

1. Etude de faisabilité
2. Dimensionnement du champ de sondes
3. Forage test et test de réponse thermique
4. Réalisation du champ de sondes

CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

1. Etude de faisabilité - Définition du contexte géologique et hydrogéologique

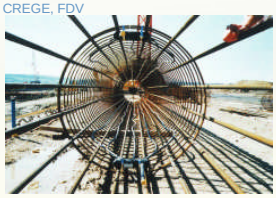
- Stratigraphie :
  - Cartes géologiques, forages ou sondages à proximité
- Qualité géotechnique des terrains
  - Cartes géotechniques (si existantes)
  - Projet de construction, bâtiments à proximité
- Hydrogéologie :
  - Cartes hydrogéologiques, forages ou sondages à proximité
- Zones de risques ou d'interdiction
  - Protection des eaux, glissements de terrain, artésianisme, terrains gonflants, sites pollués, gaz du sol (radon, méthane,...)

CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

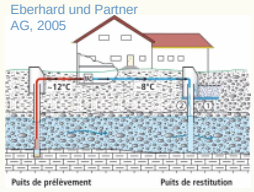
1. Etude de faisabilité - Etude de variantes

- Quelle est le moyen le plus approprié d'exploiter la chaleur du sous-sol?
  - Sondes géothermiques verticales
  - Pompage d'eau d'une nappe phréatique
  - Géostructures énergétiques
- Dépend du contexte et des besoins thermiques du bâtiment

CREGE, FDV



Eberhard und Partner AG, 2005





CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

2. Dimensionnement d'un champ de sondes

- Paramètres à prendre en compte :
  - Situation géographique et géologique de l'installation (température annuelle moyenne, caractéristiques thermiques du sous-sol) ;
  - Demande thermique du bâtiment (chauffage, refroidissement) ;
  - Données techniques de l'installation (pompe à chaleur) ;
  - Données techniques des sondes (nombre, espacement, profondeur, diamètre, type de sonde, type de fluide caloporteur,...)

CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

2. Dimensionnement d'un champ de sondes

- Modélisation
  - Earth Energy Designer 3.16 (EED) : besoins thermiques mensuels
  - Pilesim 2.0 : besoins thermiques horaires, données techniques précises
- Détermination de la longueur de sonde nécessaire
  - Optimisation du champ de sondes et des coûts de réalisation
  - Respect des contraintes techniques de température (échangeurs de chaleur, geocooling, refroidissement actif)
  - Eviter le gel du fluide (eau) ou du terrain
  - Garantir la stabilité de l'installation au cours du temps

CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

3. Forage test, test de réponse thermique

- Mise en place d'une sonde test, sur la base du dimensionnement
- Permet de déterminer :
  - Température moyenne initiale de la couche de terrain ;
  - Conductibilité thermique moyenne de la couche de terrain ;
  - Résistance thermique effective de la sonde test ;
  - Présence d'eau souterraine
- Contrôle du dimensionnement

CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

4. Réalisation du champ de sonde

- Appel d'offres aux entreprises
  - 65 à 130.- par mètre de sonde
- Suivi de la réalisation (qualité de la réalisation, géologie, hydrogéologie, sources, eaux de surface,...)

CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

Sommaire

- **Déroulement d'un projet**
- **Exemple de dimensionnement**
- **Quelques problèmes géologiques et hydrogéologiques rencontrés**
- **Conclusion**

CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

Exemple de dimensionnement

Contexte – données de base

- Halle de stockage et de logistique dans le canton de Genève
- Besoins thermiques :
  - 294'727 kwh/an chauffage + eau chaude sanitaire
  - Demande en froid équivalente, refroidissement actif (pompe à chaleur réversible)
  - Puissances thermiques et COP de la pompe à chaleur en chaud et en froid
- Caractéristiques géologiques : moraine et alluvions, puis molasse marneuse
- Test de réponse thermique : λ = 2.4 W/mK, R_b = 0.1 K/Wm

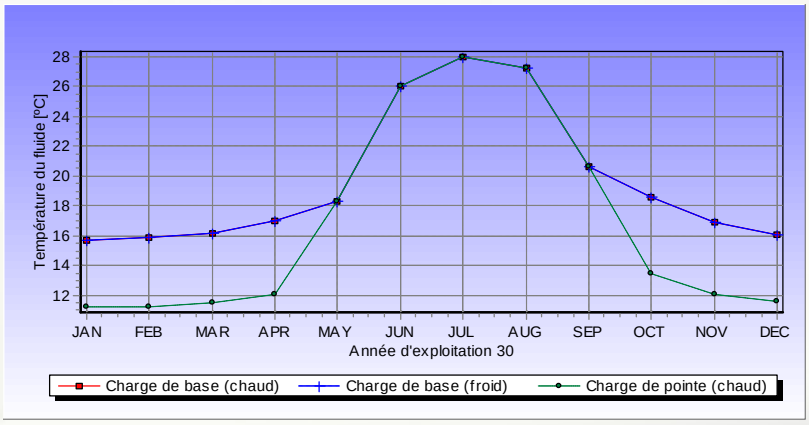
CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

Modélisation avec EED

- Répartition des besoins thermiques annuels par mois (degrés-jour)
- Contraintes de température : minimale 3°C (sortie), maximale 35°C (entrée)
- Champ de 20 sondes de 300 m

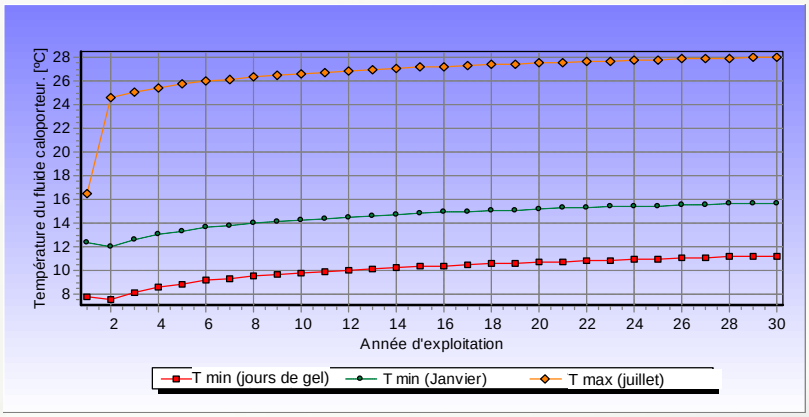
CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

Résultats



CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

Résultats



CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

- **Déroulement d'un projet**
- **Exemple de dimensionnement**
- **Quelques problèmes géologiques et hydrogéologiques rencontrés**
- **Conclusions**

CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

Perturbation de sources publiques ou privées lors de l'exécution

- Perte de débit ou tarissement
- Apparition de turbidité aux sources

Aquifères fracturés/fissurés
Modification des écoulements lors des forages
Modification souvent temporaire (quelques heures à quelques jours)

→Peut être anticipé dans l'étude de faisabilité en définissant le fonctionnement hydrogéologique du site



Tarissement d'une galerie de captage dans les grès burdigaliens du Plateau

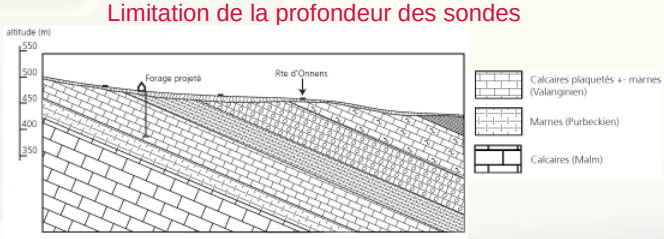
CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

Mise en communication d'aquifères régionaux

- Modification des pressions au sein de l'aquifère inférieur
- Modification du débit des exsurgences (yc. à grande distance)

→ Peut être anticipé dans l'étude de faisabilité en définissant le modèle hydrogéologique conceptuel

Limitation de la profondeur des sondes



Coupe géologique prévisionnelle à Bonvillars: aquifère du Malm en charge sous les marnes du Purbeckien



CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

Artésianisme

- Rencontre d'aquifère en charge
- Modification des pressions dans l'aquifère
- Modification du débit des sources

→Peut être anticipé dans l'étude de faisabilité

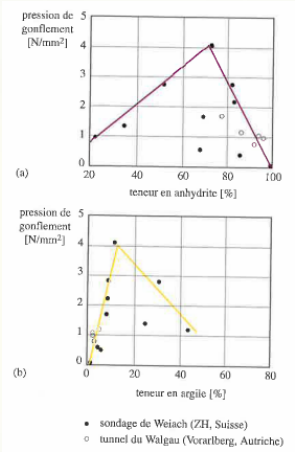


Rencontre d'un aquifère fluvioglaciaire en charge à Trélex (VD)

CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

Potentiel de gonflement des anhydrites

- L'anhydrite se transforme en gypse par hydratation
- Rapprochement fait entre la réalisation de forages géothermiques et les fissurations de bâtiments (percement d'un aquifère confiné, Staufen, Allemagne)
- Phénomène maximal en présence de lits argileux



Parriaux A., 2006

CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

Risques géologiques et hydrogéologiques

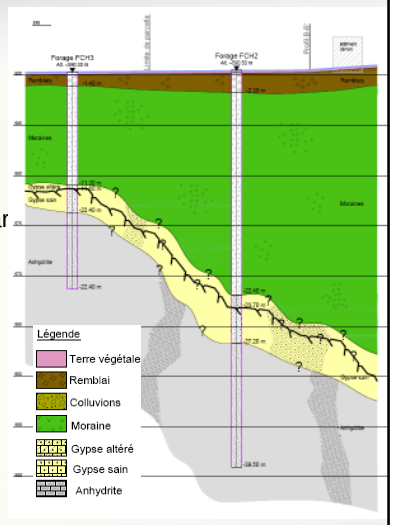
Potentiel de gonflement des anhydrites

- Champ de sondes à proximité de Bex
- Anhydrite saine et massive (RQD 95 à 100% en dessous de 35 mètres)
- Pas de nappe avérée, massif exploité par les mines de sel (réseau de galerie drainant le massif)
- Forage à l'air
- Système de détection des pertes de fluide caloporteur

→Pas d'augmentation du contact de la roche avec l'eau (pas de modification de l'état d'hydratation des anhydrites)

→ Probabilité très faible de gonflement

→Autorisation délivrée par les autorités



CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

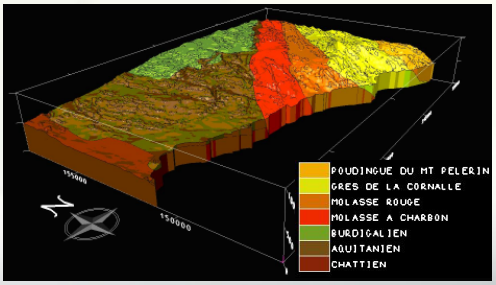
Sommaire

- **Déroulement d'un projet**
- **Exemple de dimensionnement**
- **Quelques problèmes géologiques et hydrogéologiques rencontrés**
- **Conclusions**

CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

Conclusions

- Le développement des sondes géothermiques et des champs de sondes a sollicité et sollicite le concours des professionnels et des autorités. Il participe à l'amélioration de la connaissance géologique du territoire
- Les projets de champs de sondes nécessitent des dimensionnements pour améliorer leur efficience
- Il convient d'anticiper les risques géologiques ou hydrogéologiques en passant par des modèles géologiques pour contrôler l'admissibilité, anticiper les risques et fournir de meilleurs cahiers des charges pour la réalisation
- De la géologie en 2D à la troisième dimension: le cadastre géothermique du canton de Vaud – un outil d'aide à la décision



Modélisation du rocher de la feuille 1:25'000 de Lausanne

CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

Intervenants

Peguiron Esther
Géologue dipl. UNINE, Hydrogéologue CHYN
Chef de projet

Marcelpoix Renaud
Hydrogéologue dipl. UJF
Responsable « Géologie et ressources en eau »

CSD INGENIEURS SA

La Chaumont 13
2900 Porrentruy
t 032 465 50 30
f 032 465 50 31
e e.peguiron@csd.ch

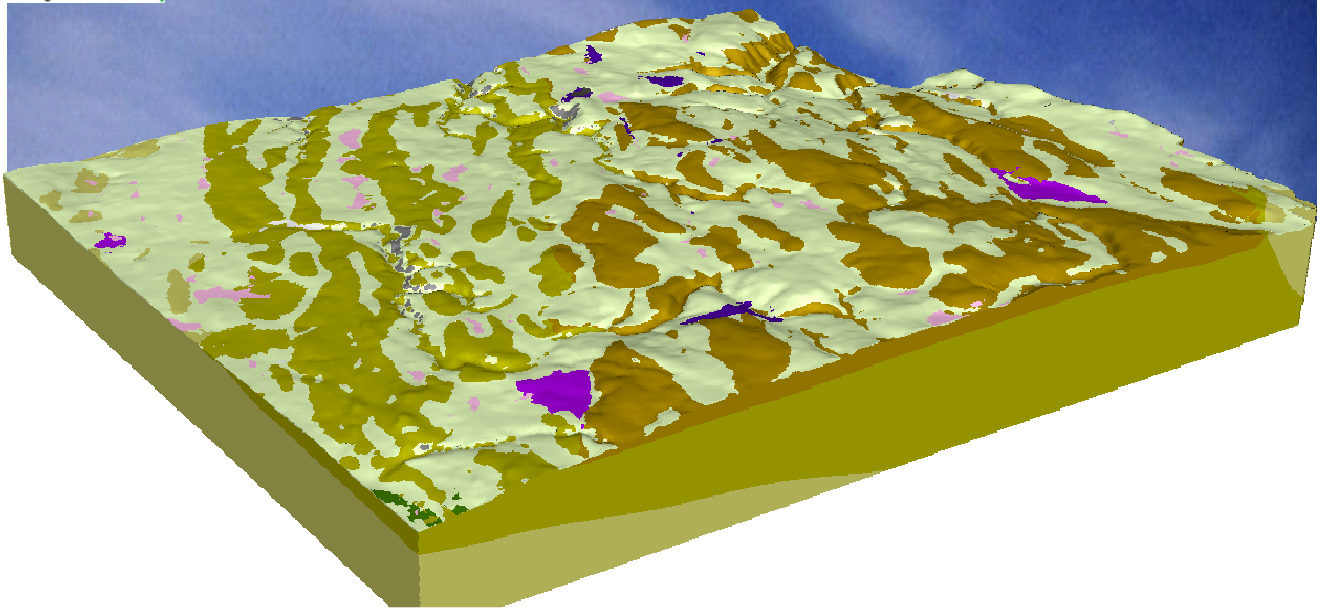
CSD INGENIEURS SA

Chemin de Montelly 78
1000 Lausanne
t 021 620 70 00
f 021 620 70 01
e r.marcelpoix@csd.ch

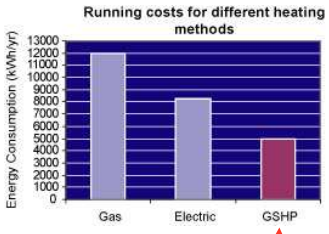
CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

Cadastre géothermique du canton de Vaud

(un projet commun à 3 différents services de l'Etat de Vaud)

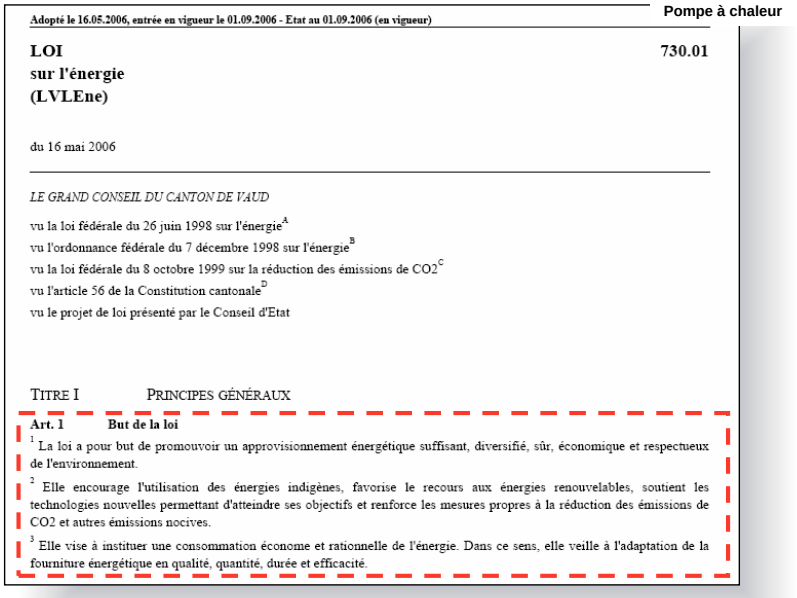


Point de départ



Pompe à chaleur

- Le canton doit se donner les moyens de mettre en œuvre la nouvelle loi cantonale sur l'énergie (sept. 2006).
La création d'un cadastre géothermique (visant à faciliter les décisions d'implantation / utilisation de pompes à chaleur ou géostructures) va dans ce sens.



Adopté le 16.05.2006, entrée en vigueur le 01.09.2006 - Etat au 01.09.2006 (en vigueur)

LOI **730.01**
sur l'énergie
(LVLEne)

du 16 mai 2006

LE GRAND CONSEIL DU CANTON DE VAUD

vu la loi fédérale du 26 juin 1998 sur l'énergie[A]
vu l'ordonnance fédérale du 7 décembre 1998 sur l'énergie[B]
vu la loi fédérale du 8 octobre 1999 sur la réduction des émissions de CO_2[C]
vu l'article 56 de la Constitution cantonale[D]
vu le projet de loi présenté par le Conseil d'Etat

TITRE I PRINCIPES GÉNÉRAUX

Art. 1 But de la loi

[1] La loi a pour but de promouvoir un approvisionnement énergétique suffisant, diversifié, sûr, économique et respectueux de l'environnement.

[2] Elle encourage l'utilisation des énergies indigènes, favorise le recours aux énergies renouvelables, soutient les technologies nouvelles permettant d'atteindre ses objectifs et renforce les mesures propres à la réduction des émissions de CO_2 et autres émissions nocives.

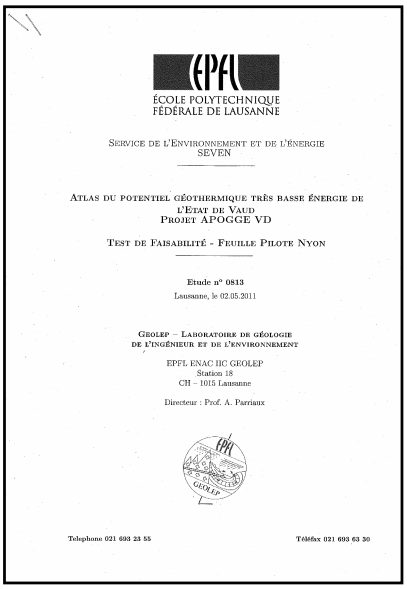
[3] Elle vise à instituer une consommation économe et rationnelle de l'énergie. Dans ce sens, elle veille à l'adaptation de la fourniture énergétique en qualité, quantité, durée et efficacité.

Point de départ

Naissance du projet APOGEE (Atlas du POtentiel GEothermique très basse Energie)

Buts:
- Aide à la conception (planification) de projets
- Faciliter les procédures d'autorisation
- Promotion des énergies renouvelables

Domaines considérés:
- Sondes géothermique
- Gésostructure énergétqiues
- Doublets géothermique



EPFL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'ÉNERGIE
SEVEN

ATLAS DU POTENTIEL GÉOTHERMIQUE TRÈS BASSE ÉNERGIE DE L'ÉTAT DE VAUD
PROJET APOGGE VD

TEST DE FAISABILITÉ - FEUILLE PILOTE NYON

Etude n° 0813
Lausanne, le 02.05.2011

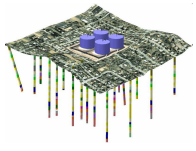
GEOLEP – LABORATOIRE DE GÉOLOGIE DE L'INGÉNIEUR ET DE L'ENVIRONNEMENT

EPFL ENAC IIC GEOLEP
Station 18
CH – 1015 Lausanne

Directeur : Prof. A. Parriaux

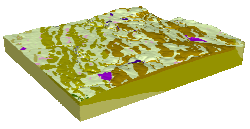
Telephone 021 693 23 55 Téléfax 021 693 63 30

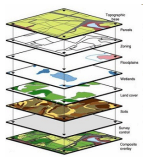
Méthodes et résultats attendus



Recherche et synthèse de données

Construction du modèle 3D





Utilisation de cartes « contraignantes »

SIG

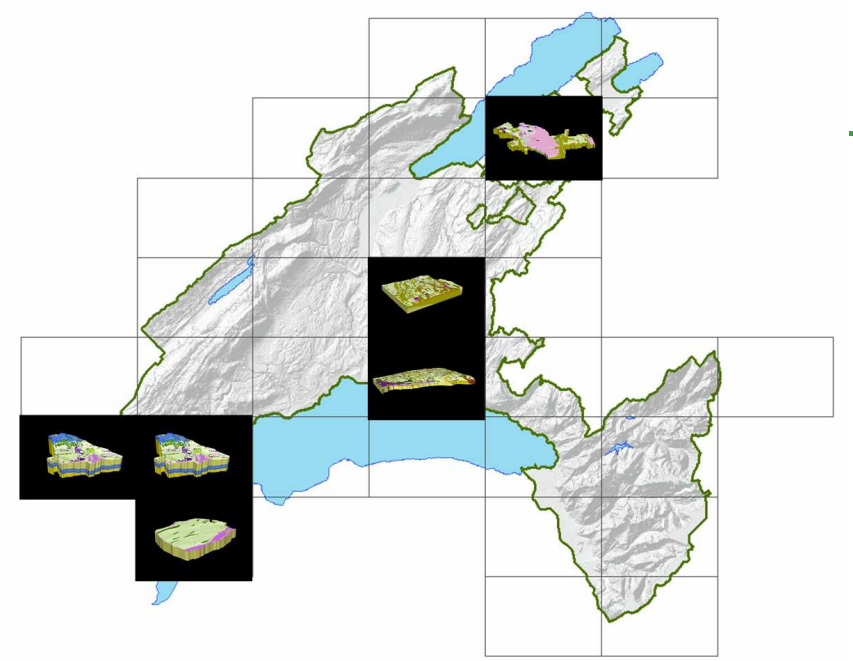




Cartes et documents du cadastre géothermique

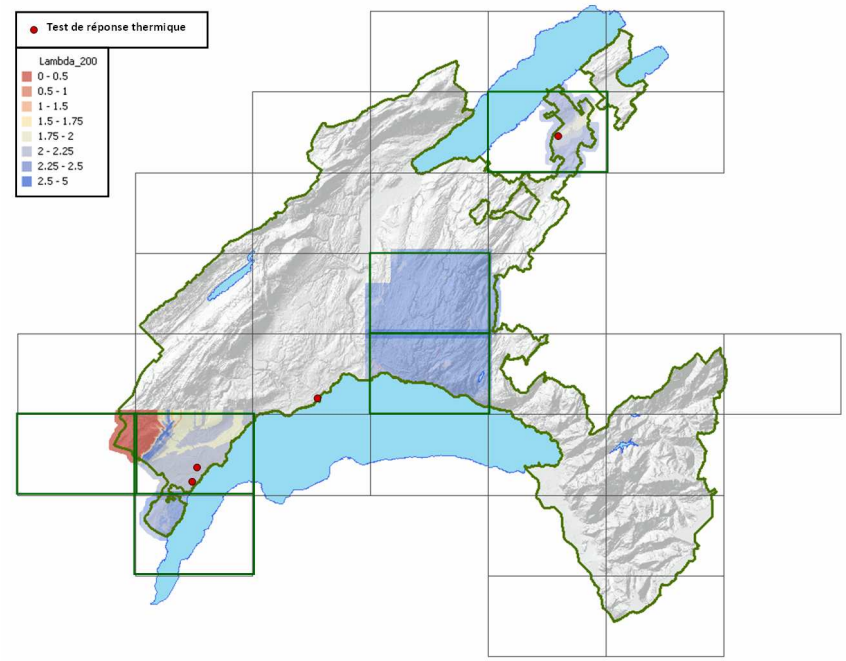
Résultats attendus:
- Un modèle géologique tridimentionnelle
- Des cartes d'admissibilités (avec causes et explication des restrictions ou interdictions)
- Des cartes de performances (conductivités thermiques moyennes et longueurs indicatives de sondes pour une puissance donnée)

Modèlisation géologique 3D



Modèle 3D réalisé

Cartes de performances



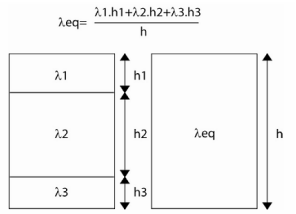
Cartes de performance « disponibles » (conductibilité thermique moyenne pour différentes épaisseurs de terrain, longueurs indicatives de sondes pour différentes puissances nécessaires)

Commentaires ou précisions concernant l'établissement des cartes de performances:

- Utilisation de valeurs (compilations issues de la littérature) de conductibilités thermiques pour chaque lithologie (géotypes).

(D'après Blunier 2009)

Calcul



Compilation

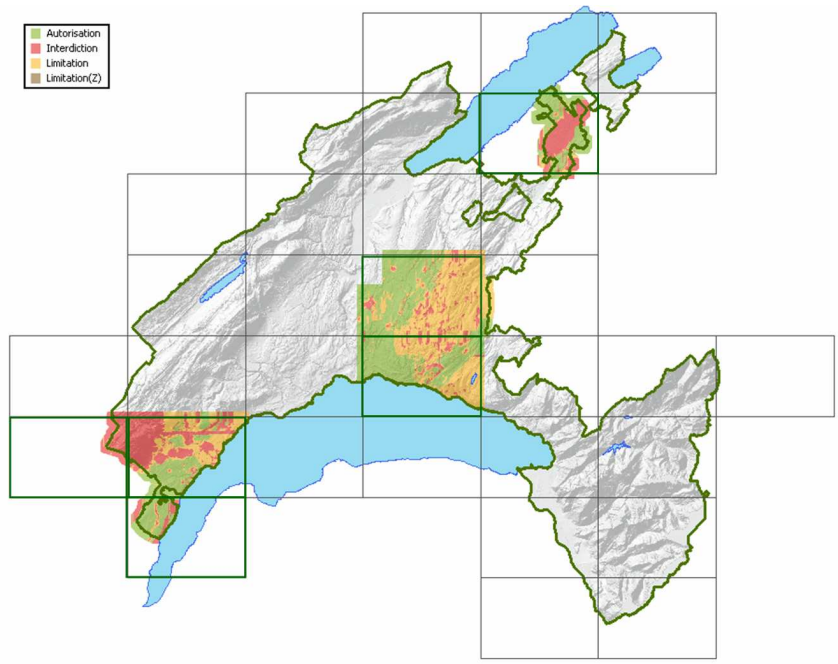
geotype	Lambda_sat	Lambda_sec
R	0.8	0.3
CE	1	0.4
E	1.7	0.4
GT	1	0.4
T	1	0.4
APA	2	0.4
APT	2	0.4
ACA	2	0.4
ACT	2	0.4
LD	2	0.4

Etc …

- « Appréciation » de la saturation des terrains

- Calcul des longueurs de sondes sur la base d'un cas type correspondant à l'exemple de la norme SIA 364/6 (une seule sonde, pas de production d'eau chaude sanitaire, etc.)

Situation actuelle du pojet



Cartes d'admissibilité « disponibles» (avec causes de limitation ou d'interdiction)

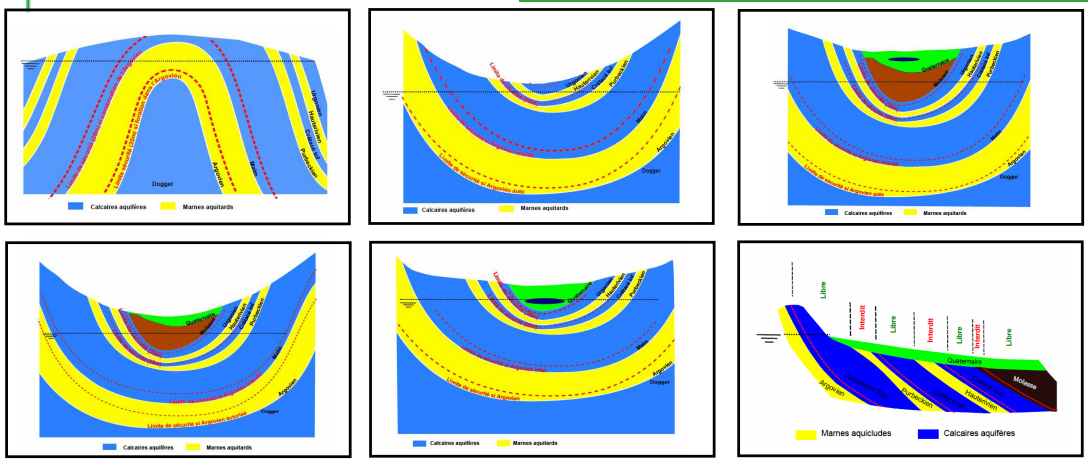
Critères fixant l'admissibilité des sondes géothermique:

- Prise en compte des glissements de terrain
- Prise en compte des secteurs de protection des eaux
- Prise en compte de l'artésianisme
- Prise en compte de l'existence d'aquifères profonds grace au modèle géologique 3D (règles fixées selon la nature des formations géologiques, leurs épaisseurs et leur position par rapport à la surface).
- Etc.

- Ne sont pas pris en compte dans la carte d'admissibilité: les sites potentiellement pollués et les sources privées.

- La dernière étape de la réalisation de la carte d'admissibilité consiste en une analyse critique des résultats et à une « pesée des intérêts »

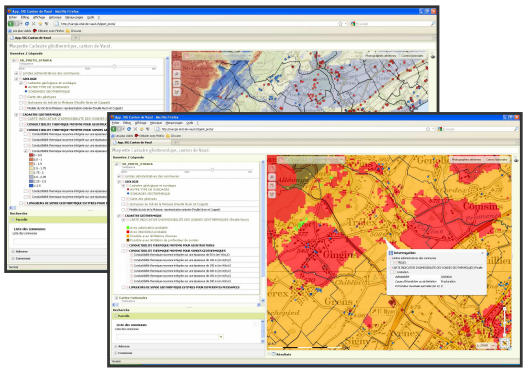
Typologie et règle de gestion pour la région jurassienne (Mésozoique)



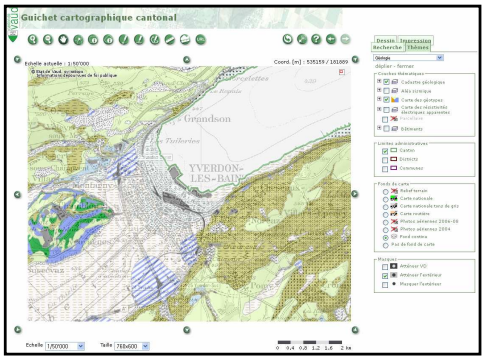
Une typologie des différents cas de figure possibles a été élaborée, permettant de fixer des règles de gestion des sondes géothermiques verticales en millieu calcaire.

Présentation des résultats et consultation

Un site Internet spécifique

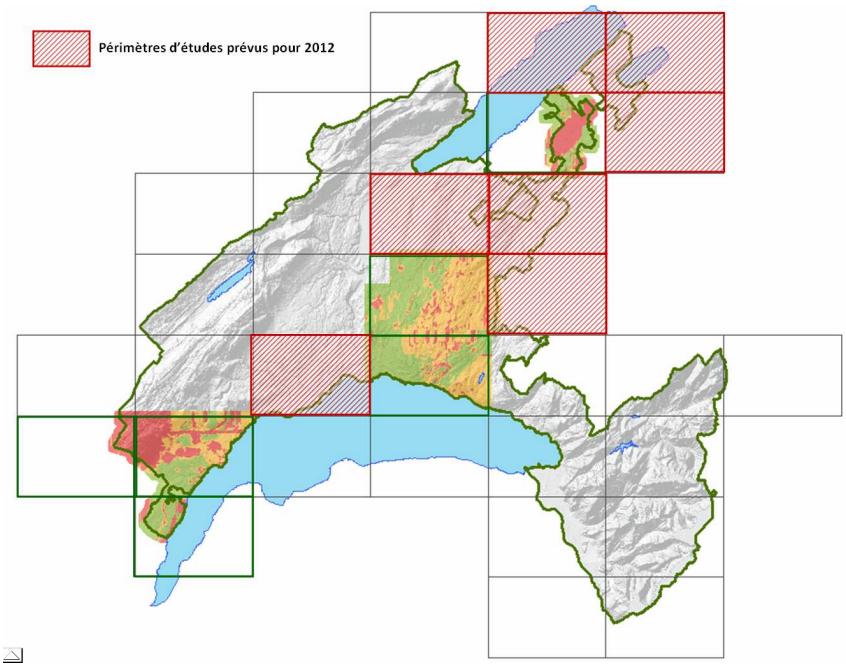


Le guichet cartographique cantonal



Un site Internet spécifique (guichet cartographique) sera disponible pour le public afin de consulter les cartes et documents produits.

Poursuite et planing envisagé

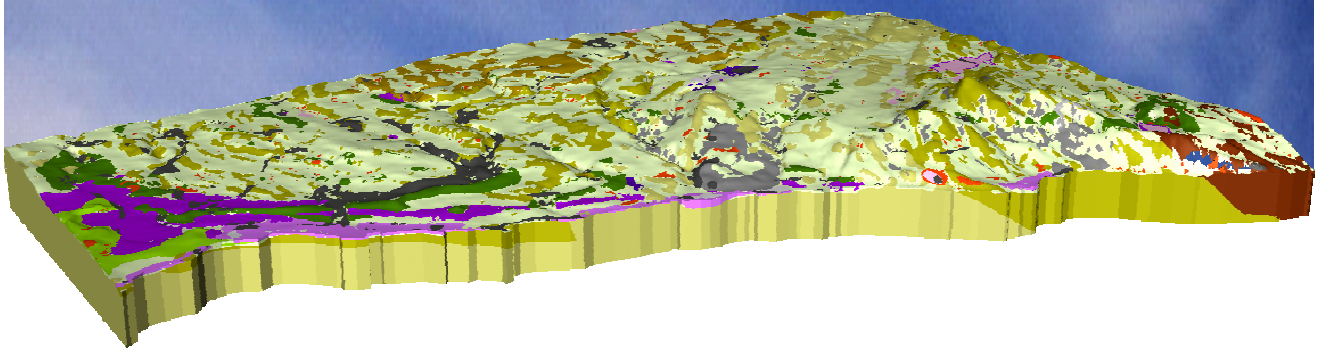


« Programme » 2012

canton de vaud

LIBERTÉ ET PATRIE

Merci de votre attention …



Projections d'avenir à l'aube d'un premier forage d'exploration



François Calame, *chef de projets - sol-E / Consortium GP La Côte*
Gabriele Bianchetti, *BAMO - ALPGEO Sàrl - Sierre*

Objectifs du projet, stade de l'étude et financement

Géothermie
GP La Côte

Objectifs

Exploiter des aquifères profonds entre le pied du Jura et le Léman, dans des zones à perméabilité élevée (fractures régionales), pour produire de l'électricité (ORC) et valoriser en cascade la chaleur résiduelle avec des réseaux CAD, existants ou futurs (quartiers d'habitations, centres commerciaux, bains thermaux, serres, pisciculture, etc.)

Partenaires

BFE OFEN UFE SFOE
canton de vaud
Gland
Aubonne
Etoy

Stade de l'étude

Etude de faisabilité

Phase Business Plan avant planification du premier doublet

Financement

sol-E suisse
seic
SEFA
VILLE DE NYON

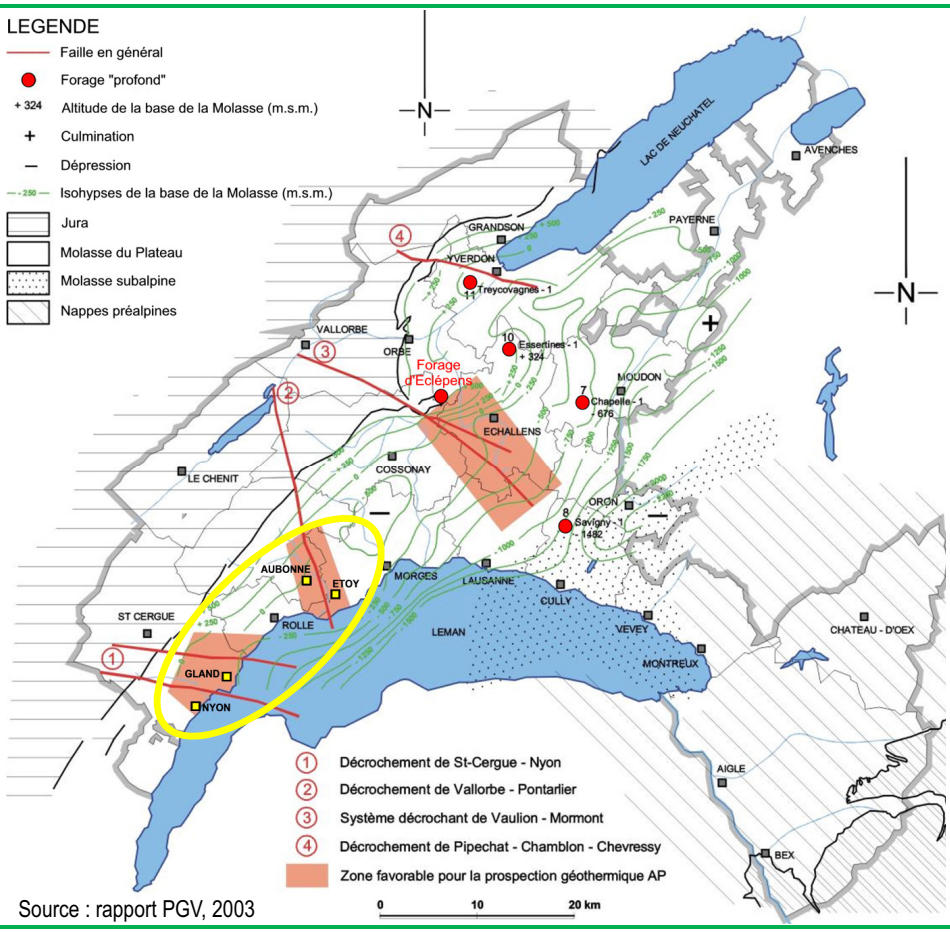
Projet multi-sites

1 projet

2 zones géographiques

4 localités

4 sites de forage



Source : rapport PGV, 2003

Avantages du projet GP La Cote

Atouts du projet :

- *Plusieurs sites potentiels dans une même région*
- *Situation géologique très favorable (accidents tectoniques régionaux, plusieurs aquifères importants suffisamment profonds)*
- *Une fois le concept validé sur un premier site (phase exploratoire du projet), on peut réaliser, avec peu de risques, d'autres doublets sur les autres sites (phase industrielle du projet)*
- *Know-how, concept reproductible ailleurs en Suisse (régions au pied du Jura)*

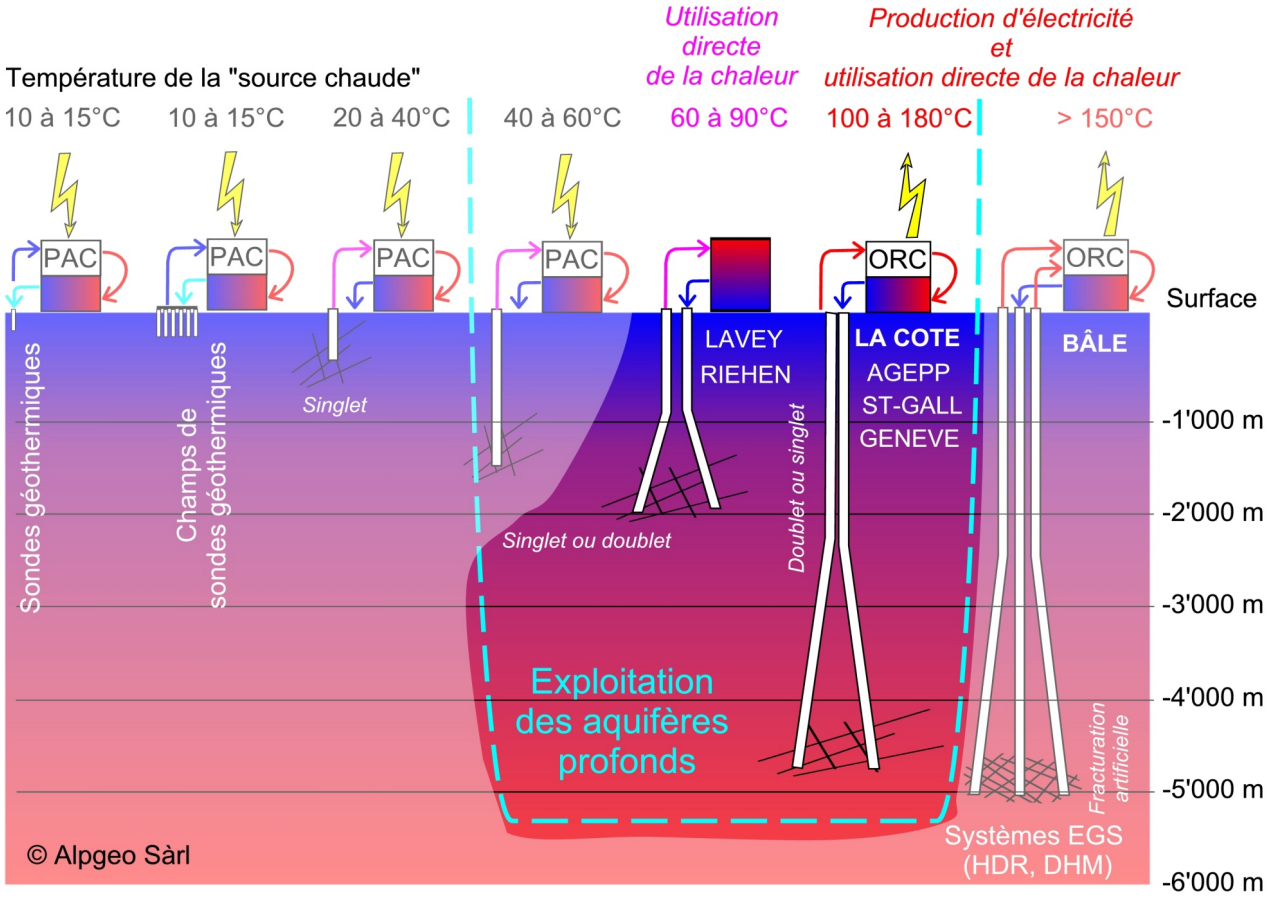
Facteurs de risque

- *Température de l'eau ⇨ Incertitude faible*
- *Débit ⇨ Incertitude élevée*



Projet de type "hydrothermal" (aquifères profonds)

Géothermie
GP La Côte



Planification du projet

Géothermie
GP La Côte

PHASE A 07.08 - 06.09	PHASE B 09.09 - 12.11	PHASE C 2012 - 2013	PHASE D 2013 -2014
Etudes préliminaires et évaluation de sites	Etude de faisabilité et choix d'un site pilote	Planification et réalisation d'un forage d'exploration Tests de production	Planification et réalisation des installations de surface pour valoriser la chaleur

Phase A 07.08 - 06.09	*Étude préliminaire*
Phase B1 09.09 – 12.10	*Étude de faisabilité (géophysique et géologique) ► choix d'un ou deux sites prioritaires*
Phase B2 2011	*Etude de valorisation de la chaleur et Business Plan Montage du financement pour le forage profond*
Phase C 2012-2013	*Autorisation de construire, planification forages Réalisation d'un doublet pilote*, tests de production*
Phase D 2013-2014	*Mise en place de l'ORC, tests, mise en service * Mise en place de réseaux de chauffage à distance (CAD) **
Phase E 2015 - …	*Industrialisation du projet (doublets sur les autres sites)*

** Sous toute réserve (autorisations, étude d'impact, financement, etc…)*

Phase A

- ✓ *Evaluation des réservoirs géothermiques (profondeur et épaisseur des aquifères, estimation des températures et des débits exploitables)*
- ✓ *Evaluation économique de la ressource*
- ✓ *Comparaison des sites*

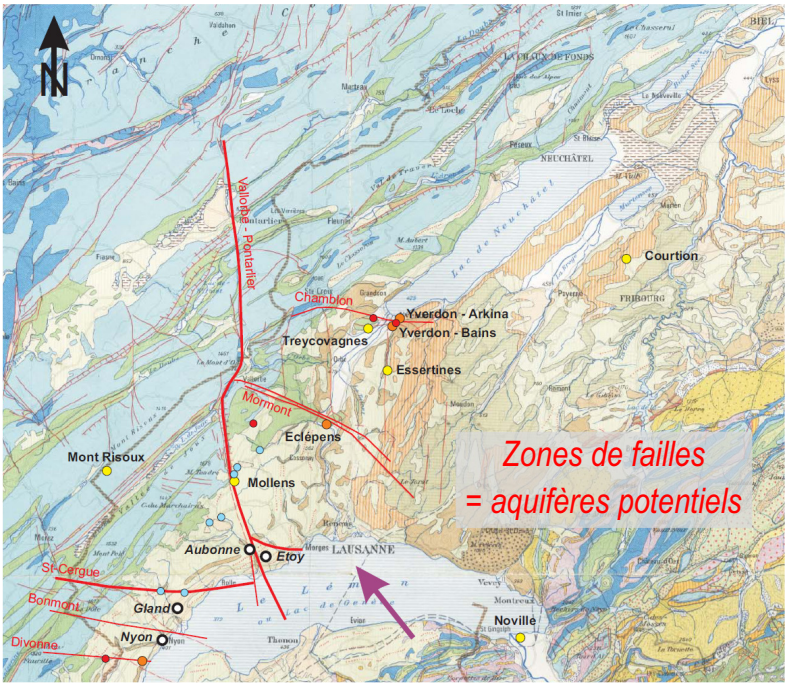
Phase B1

- ✓ *Ré-interprétation des profils sismiques non disponibles en phase A*
- ✓ *Acquisition de nouvelles lignes sismiques terrestres*
- ✓ *Investigations géophysiques sous-lacustres*
- ✓ *Carte synthétique avec zones de failles + coupes géologiques*
- ✓ *Implantation de forages profonds*

Phase B2

- ✓ *Etude du potentiel de valorisation de la chaleur pour le projet GP La Côte (secteurs de Aubonne-Etoy, Gland et Nyon)*
- ✓ *Choix du premier site*
- ✓ *Business Plan*

Tectonique

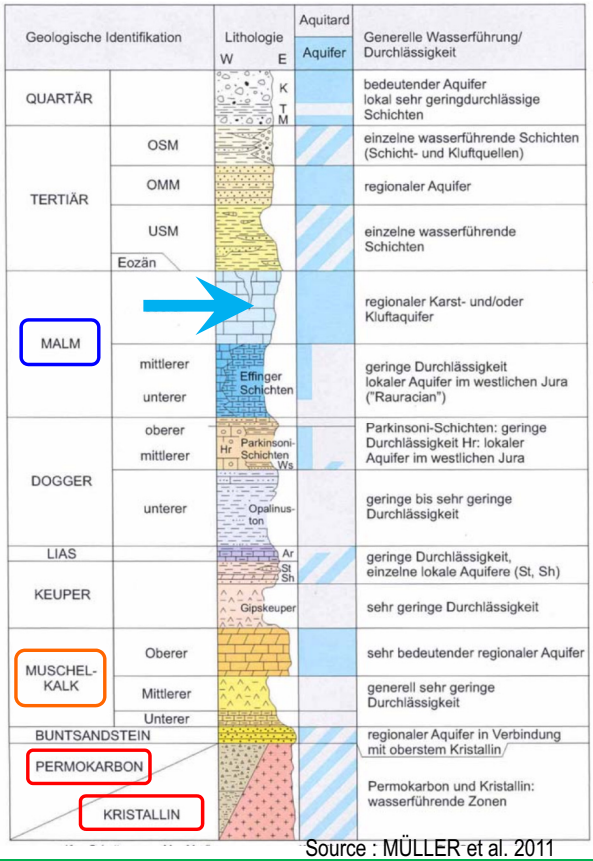


Aquifères visés :

Trias moyen : 10–40 l/s 120-140°C

Permo-carbon. : 30–120 l/s 170-190°C

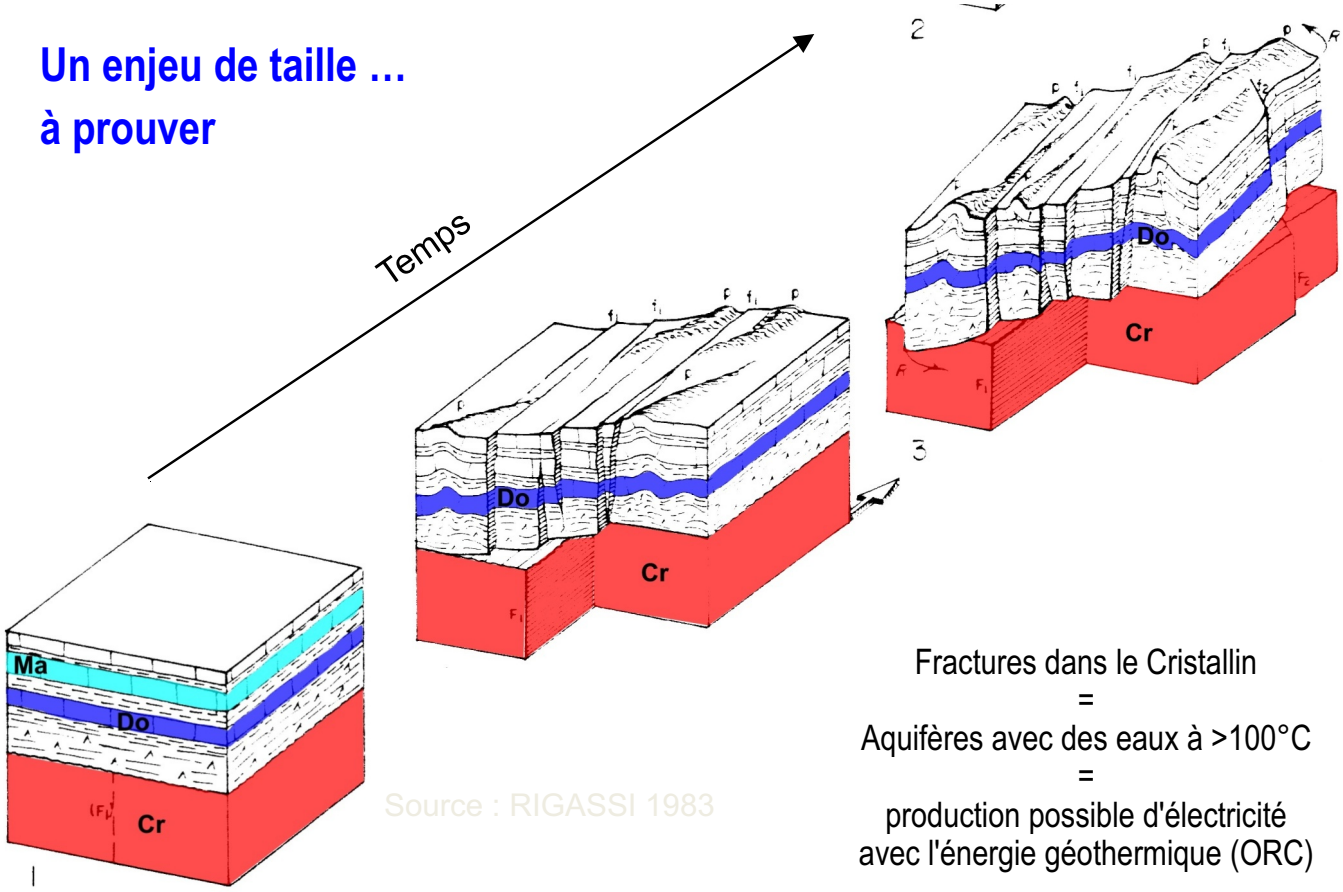
Aquifères potentiels



Source : MÜLLER et al. 2011

Décrochements régionaux et profondeur de pénétration

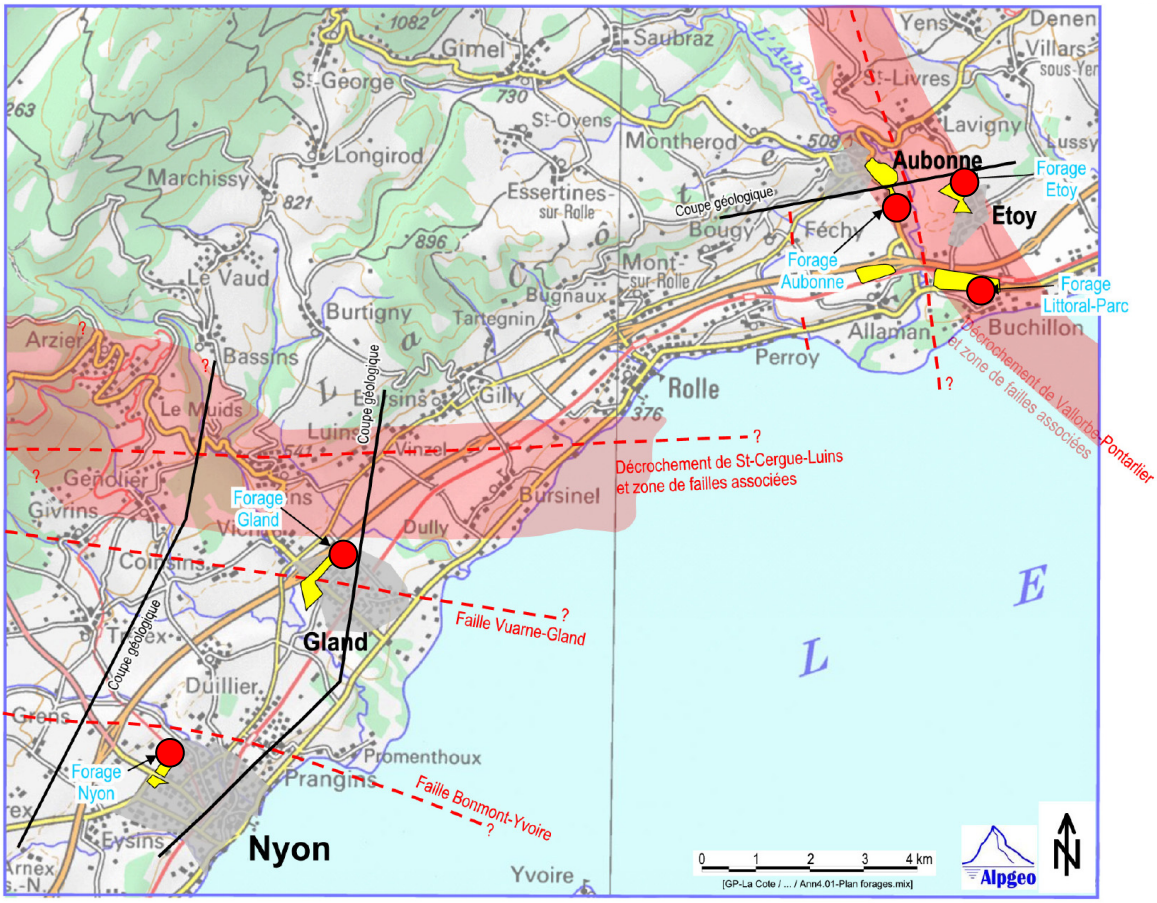
Un enjeu de taille …
à prouver



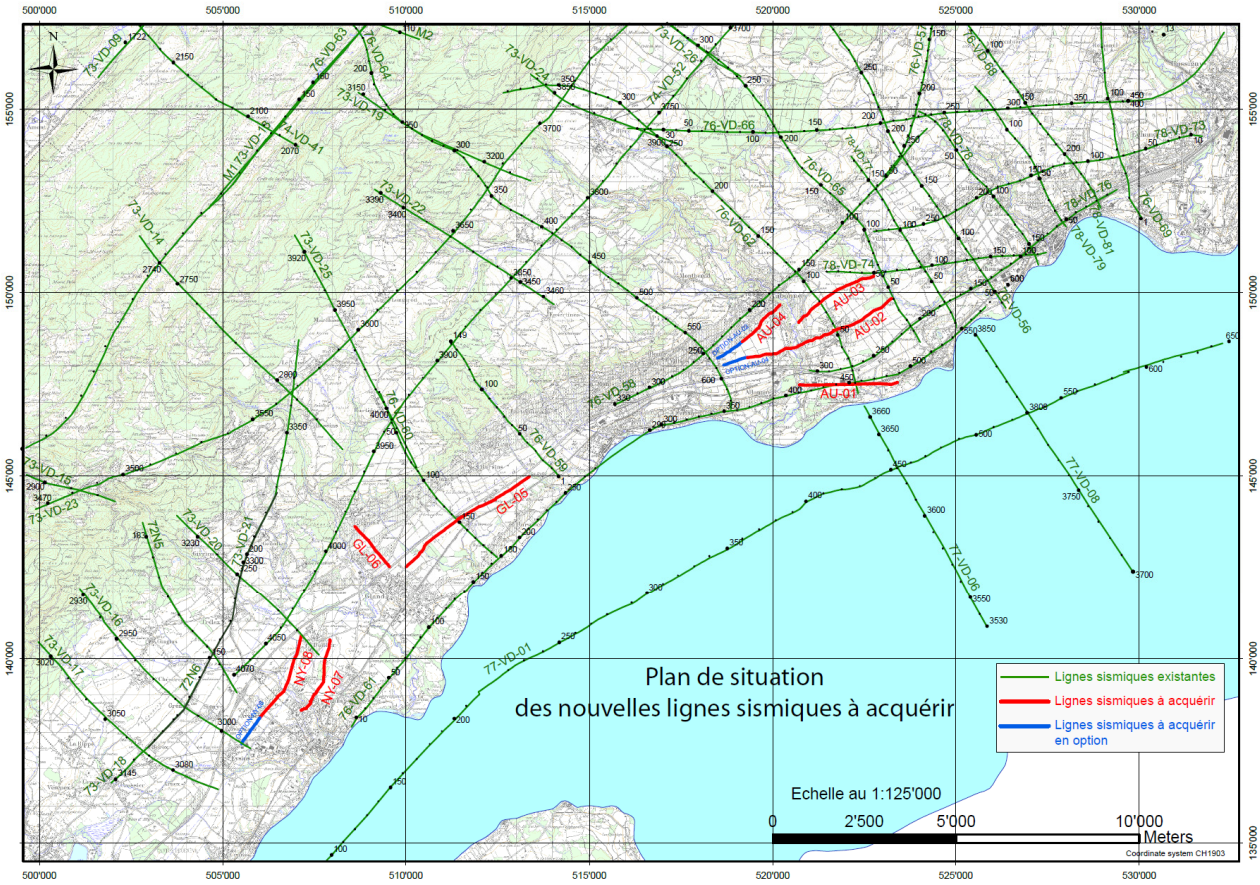
Source : RIGASSI 1983

Fractures dans le Cristallin
=
Aquifères avec des eaux à >100°C
=
production possible d'électricité
avec l'énergie géothermique (ORC)

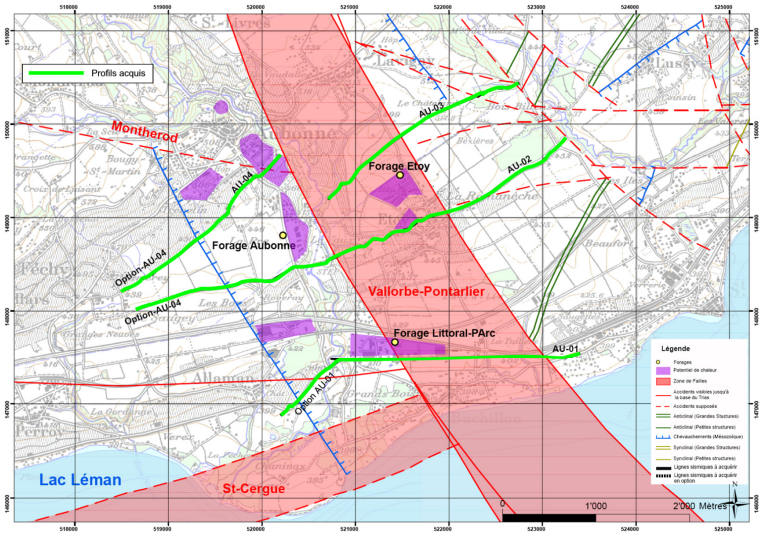
Phase A: Résultats de l'étude préliminaire



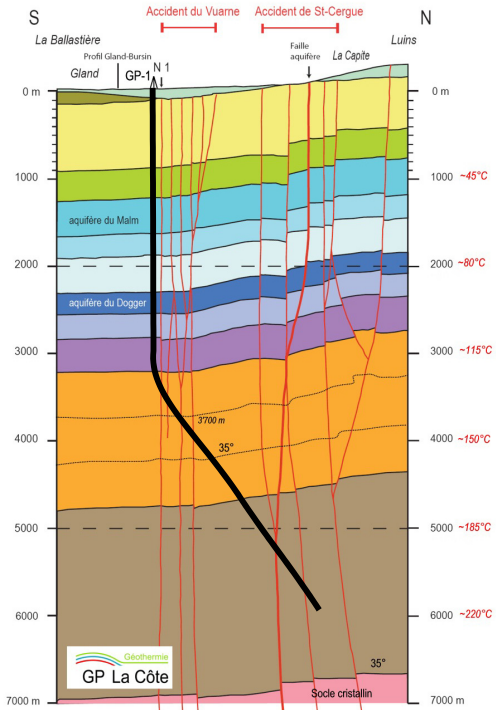
Phase B : campagne de sismique réflexion



Phase B: Interprétation des nouvelle lignes sismiques



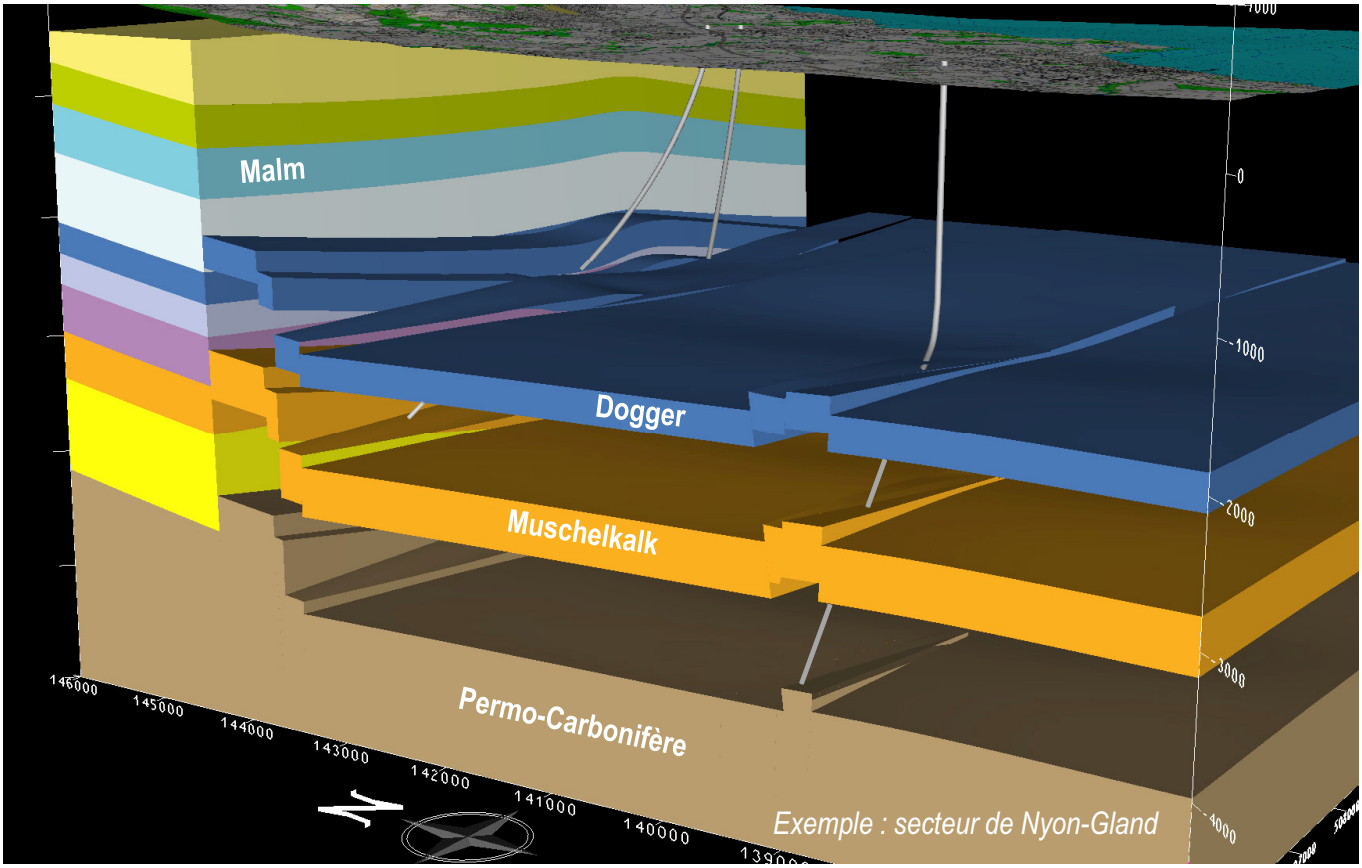
secteur d'Aubonne- Etoy



secteur de Nyon-Gland

Phase B: Modèle géologique 3D

Géothermie
GP La Côte

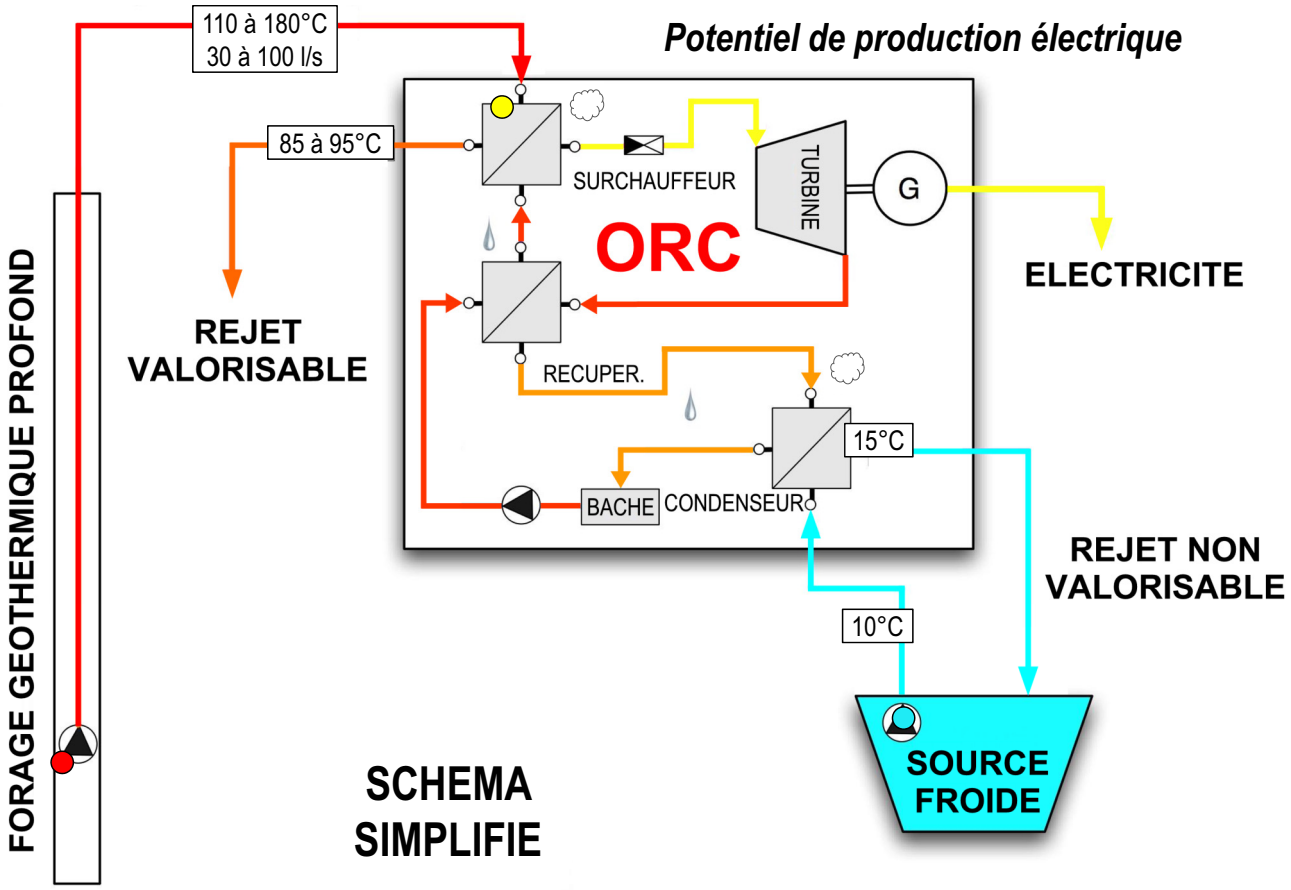


Production d'électricité : potentiel de valorisation

Géothermie
GP La Côte

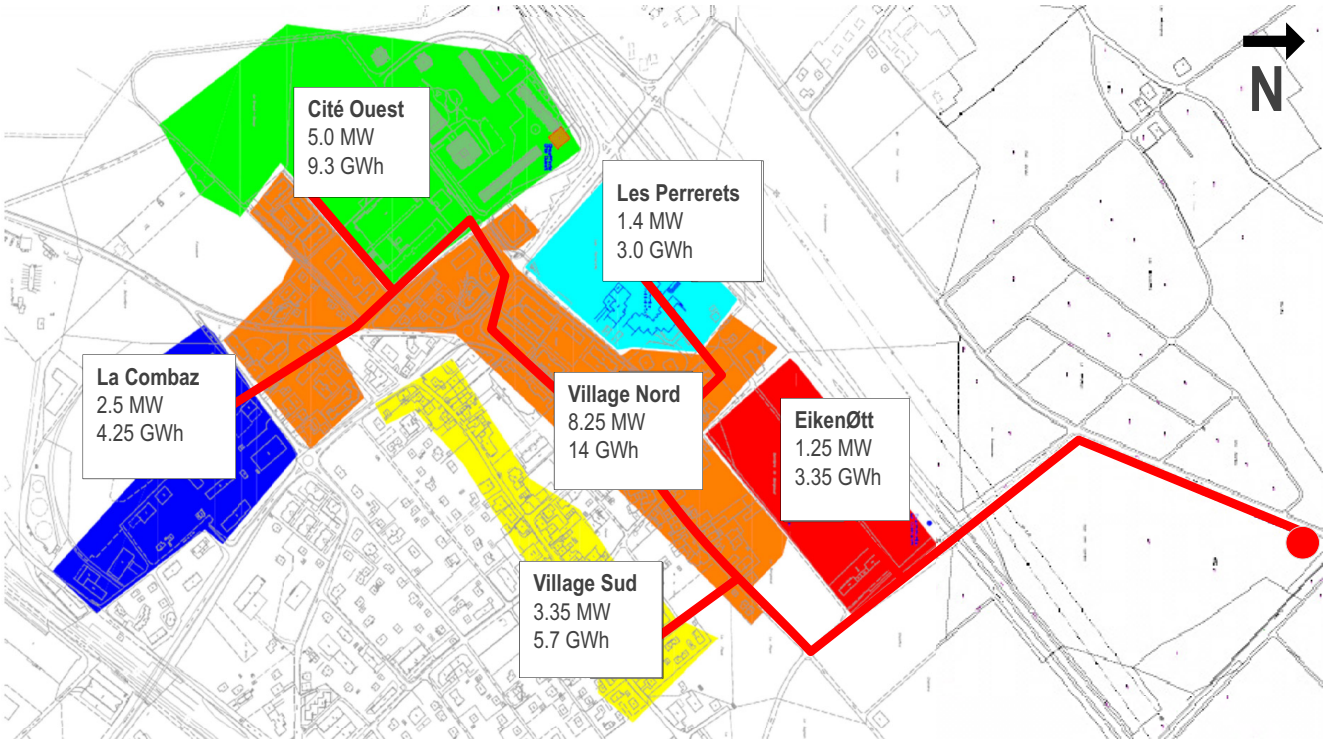
Exemple à Gland	MUSCHELKALK	PERMO-CARBONIFERE
Débit	**30.4 l/s**	**90.4 l/s**
Températ. entrée ORC	**138 °C**	**184 °C**
Température sortie ORC	93 °C	93 °C
Puissance thermique ORC	5.7 $MW_{él}$	34.4 $MW_{él}$
Rendement électrique net	9 %	11 %
Puissance électrique nette	510 $kW_{él}$	3'780 $kW_{él}$
Energie électrique nette	**4.1 GWh/an**	**30.5 GWh/an**
Equivalent logements	**1'200 ménages**	**9'100 ménages**

Production d'électricité : fonctionnement de l'ORC



Valorisation de la chaleur sur un réseau de chauffage à distance

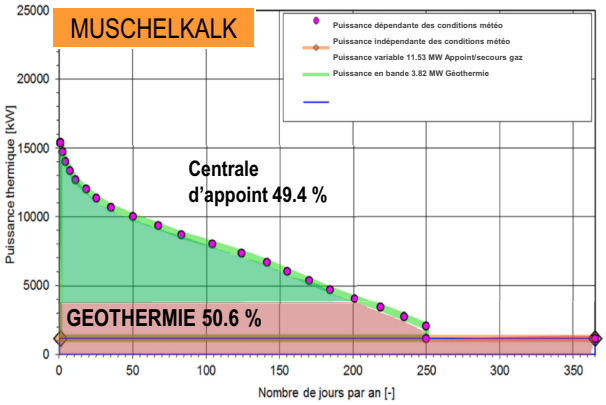
Energie du Permo-Carbonifère, exemple de Gland

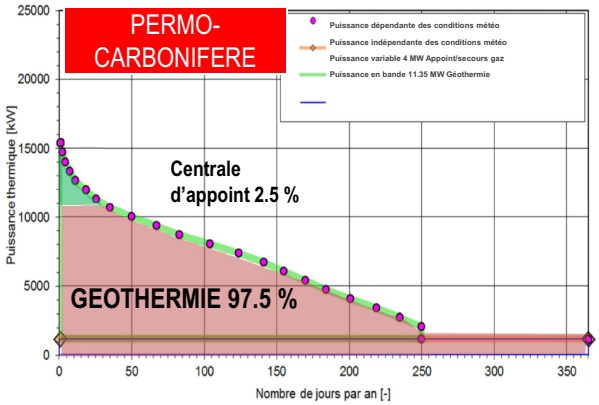


Potentiel de valorisation de la chaleur

Exemple à Gland	MUSCHELKALK	PERMO-CARBONIFERE
Débit	**30.4 l/s**	**90.4 l/s**
Température tête forage (T0)	**138 °C**	**184 °C**
Température départ CAD (T1)	90 °C	90 °C
Température retour CAD (T2)	60 °C	60 °C
ΔT	30 °C	30 °C
Energie valorisée dans CAD	**19.9 GWh/an**	**38.4 GWh/an**
Equivalent logements	**1'500 ménages**	**2'800 ménages**

Part géothermie / énergie d'appoint dans le chauffage à distance





GP La Côte en chiffres



- *Aquifères ciblés : MK + PC + toit CR (?)*
- *Forage dévié, exploitation en doublet*
- *Profondeur du Permo-Carbonifère : 4.0 à 5.5 km*
- *Longueur forage de production : 4'500 – 6'000 m*
- *Température de l'eau (PC) : 170 à 190 °C*
- *Débits attendus (PC+CR) : 30 à 120 l/s*
- *Coût estimé du doublet (PC) : 90 à 110 Mio de Fr.*
- *Investissement à risque : 20 à 25 Mio de Fr. pour le 1er forage d'exploration (avec couverture du risque)*

La sismique réflexion appliquée dans des projets de géothermie profonde (Exposé Yverdon 2011)

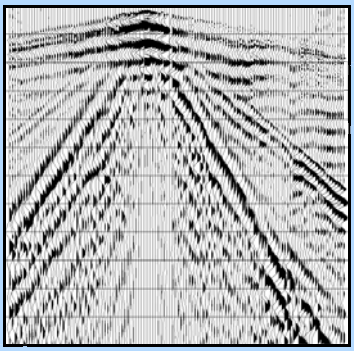


- La sismique réflexion permet d'imager la structure du sous-sol à grande profondeur.
- La sismique ne permet pas de déceler l'eau dans un aquifère mais augmente sensiblement les chances de succès d'un forage géothermique avec une implantation optimale.
- Cette méthode doit être couplée aux autres outils disponibles comme la géologie ou l'hydrogéologie.

Plan

- Présentation de Geo2X SA
- Principes de la sismique réflexion
- Matériel utilisé
- Déroulement d'une campagne sismique
- Sismique réflexion 2D versus 3D
- Apport de la simsique réflexion
- Aspect financier

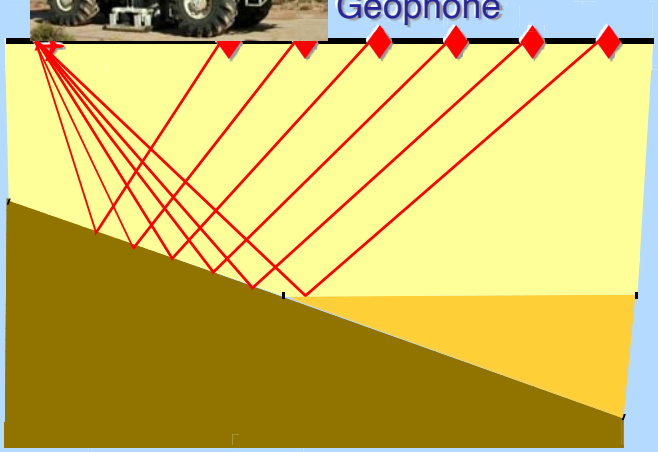
Principes de la sismique réflexion



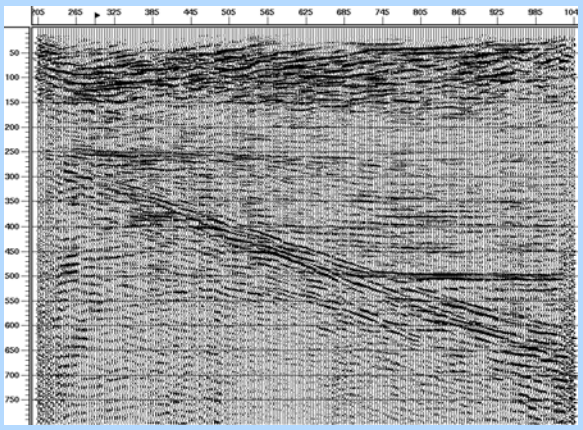
Données brutes



Geophone

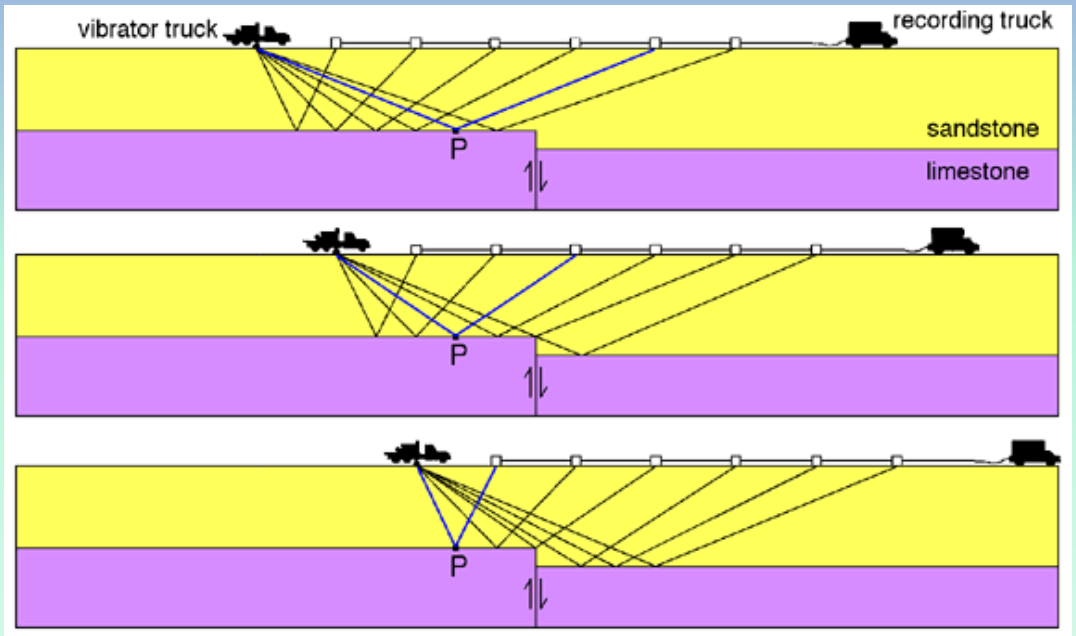


Geologie

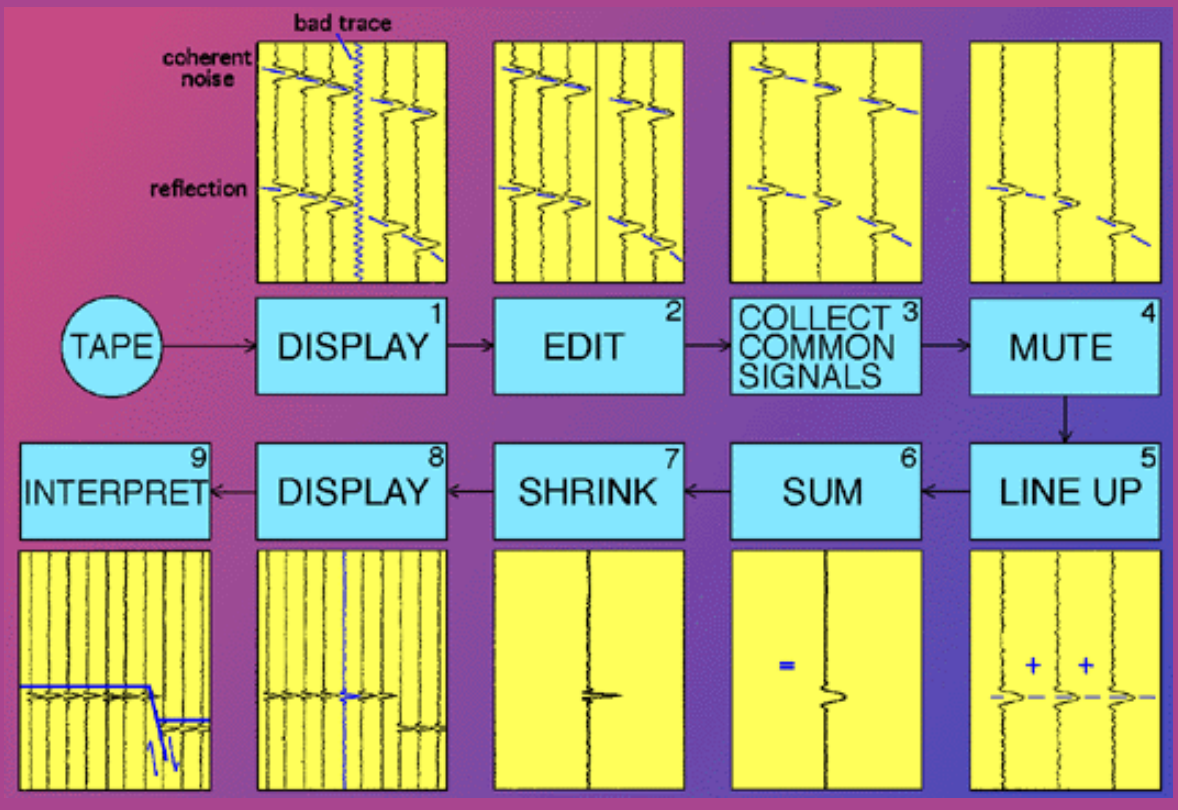


Time section

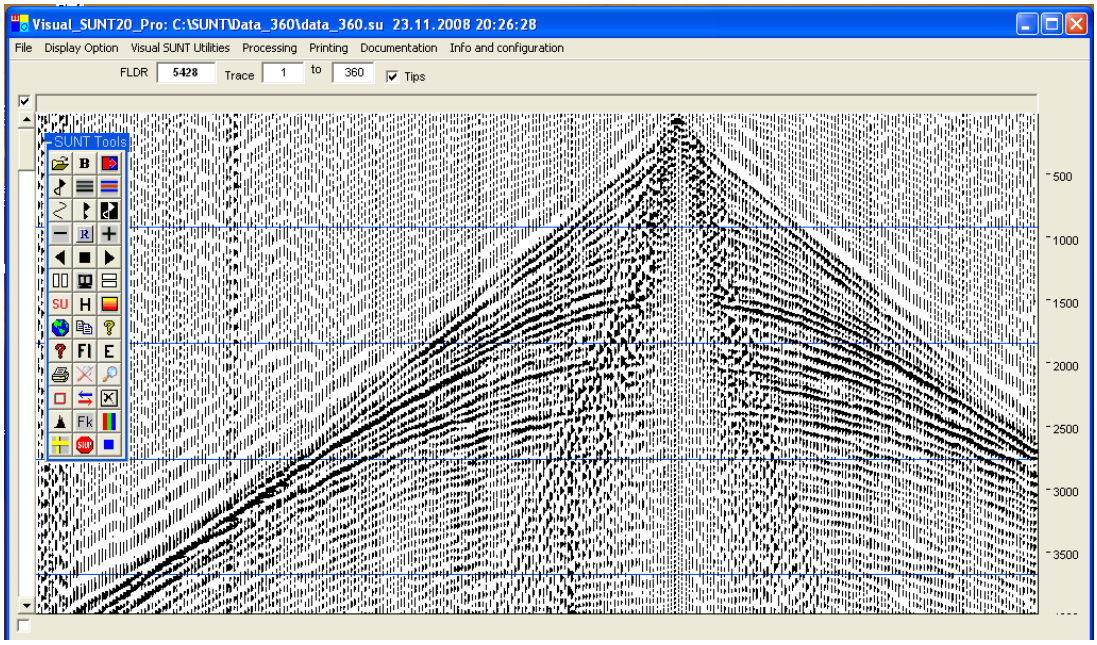
Principes de la sismique réflexion 2



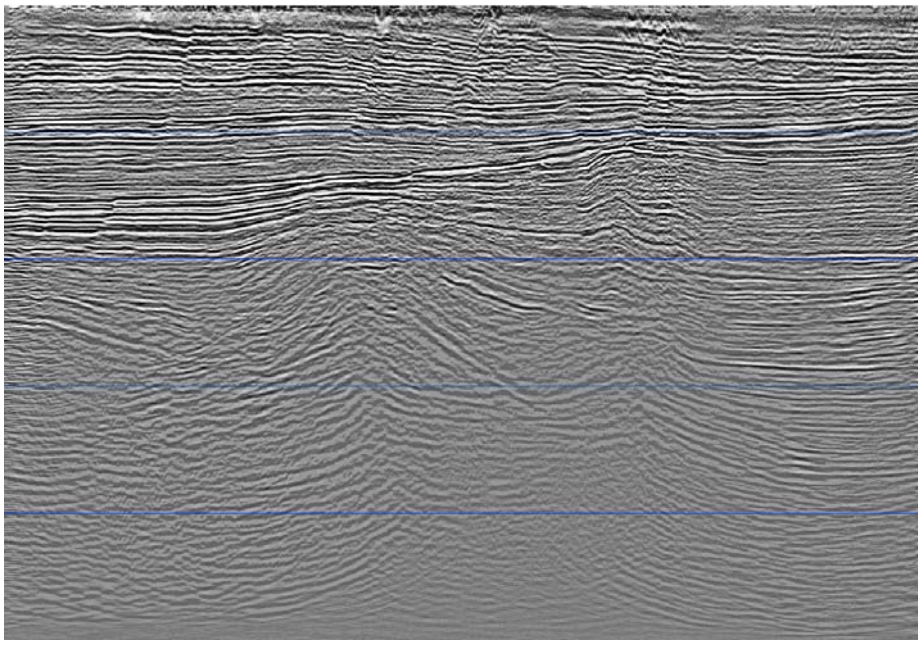
Principe du traitement de la sismique réflexion



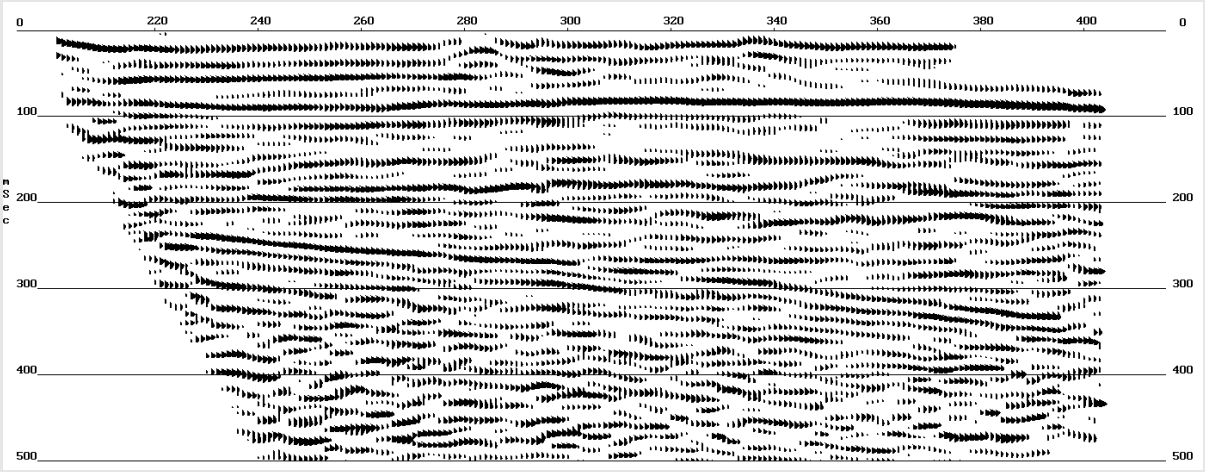
Exemple d’enregistrement 360 canaux



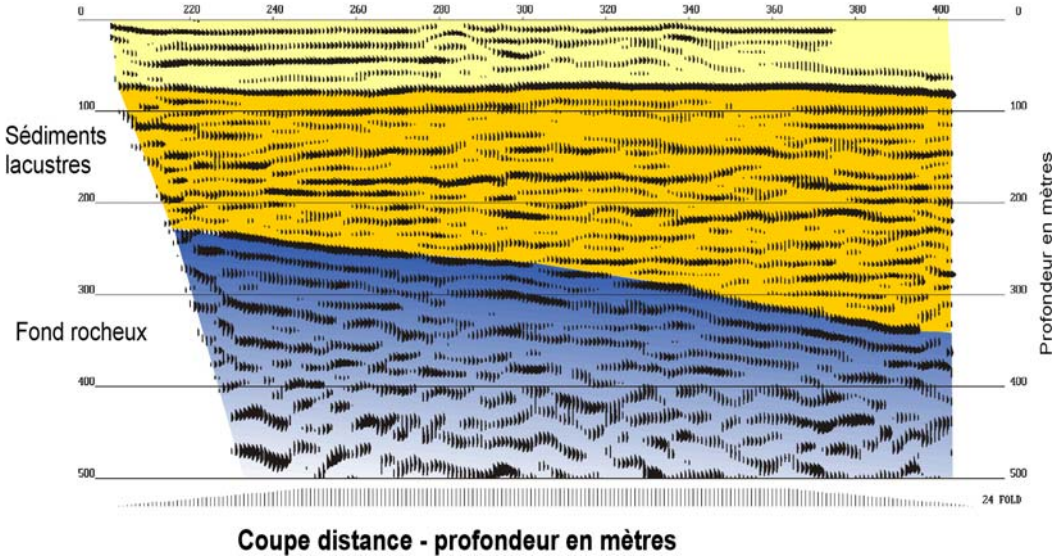
Exemple de profil sismique



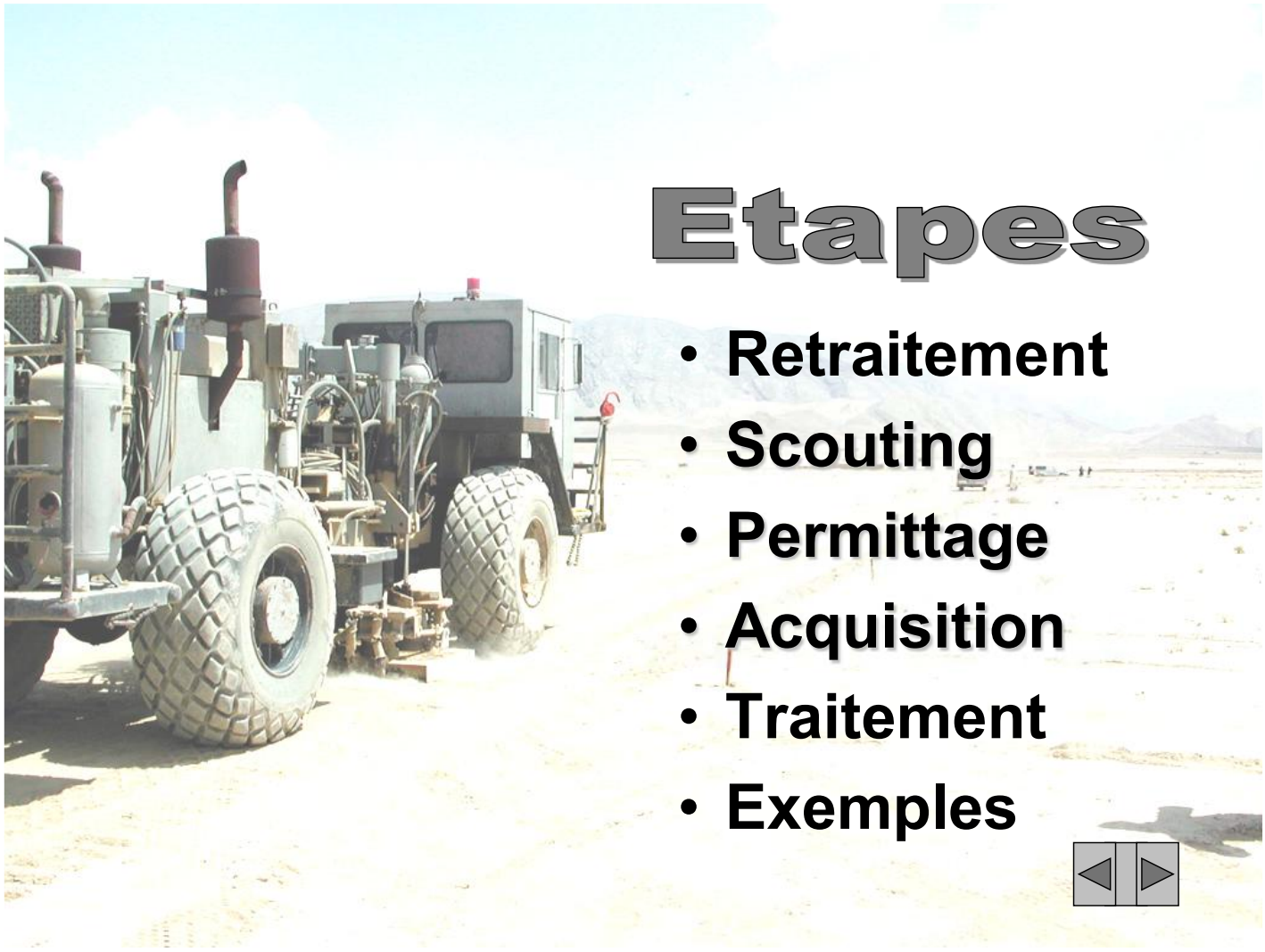
Coupe sismique temps doubles



Coupe sismique profondeur



Coupe distance - profondeur en mètres



Etapes

- Retraitement
- Scouting
- Permittage
- Acquisition
- Traitement
- Exemples

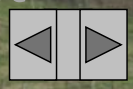
Retraitement

- Si d'anciennes lignes sismiques sont disponibles, les retraiter, avec des logiciels modernes apporte souvent des informations intéressantes pour un prix raisonnable

- Il est également possible de digitaliser et vectoriser des sections disponibles seulement sur papier.

Scouting (Reconnaissance)

- **Les clients fournissent une carte avec la position des profils demandés.**
- **Les ingénieurs de Geo2X doivent vérifier la viabilité du tracé, le cas échéant proposer des variantes. Le tracé peut-être encore modifié selon la réaction du propriétaire**
- **Les géophones peuvent être implantés sur un tracé plus ou moins rectiligne alors que vibrateurs peuvent être déportés et rester sur des chemins.**



Scouting (Reconnaissance)

- **Les clients fournissent une carte avec la position des profils demandés.**
- **Les ingénieurs de Geo2X doivent vérifier la viabilité du tracé, le cas échéant proposer des variantes. Le tracé peut-être encore modifié selon la réaction du propriétaire**
- **Les géophones peuvent être implantés sur un tracé plus ou moins rectiligne alors que vibrateurs peuvent être déportés et rester sur des chemins.**



Scouting (Reconnaissance)

- **Les clients fournissent une carte avec la position des profils demandés.**
- **Les ingénieurs de Geo2X doivent vérifier la viabilité du tracé, le cas échéant proposer des variantes. Le tracé peut-être encore modifié selon la réaction du propriétaire**
- **Les géophones peuvent être implantés sur un tracé plus ou moins rectiligne alors que vibrateurs peuvent être déportés et rester sur des chemins.**

Permittage

- Cette opération est très importante. Cela consiste à **contacter tous les propriétaires** que la ligne sismique traverse et d'obtenir leur approbation.
- Le soutien des **autorités locales** est indispensable tout comme l'information du public (flyer, presse)
- Le tracé des profils doit répondre à des critères géologiques compatibles avec des **contraintes pratiques** (Accessibilité, environnement)
- Les dégâts aux cultures doivent être minimisés et indemnisés

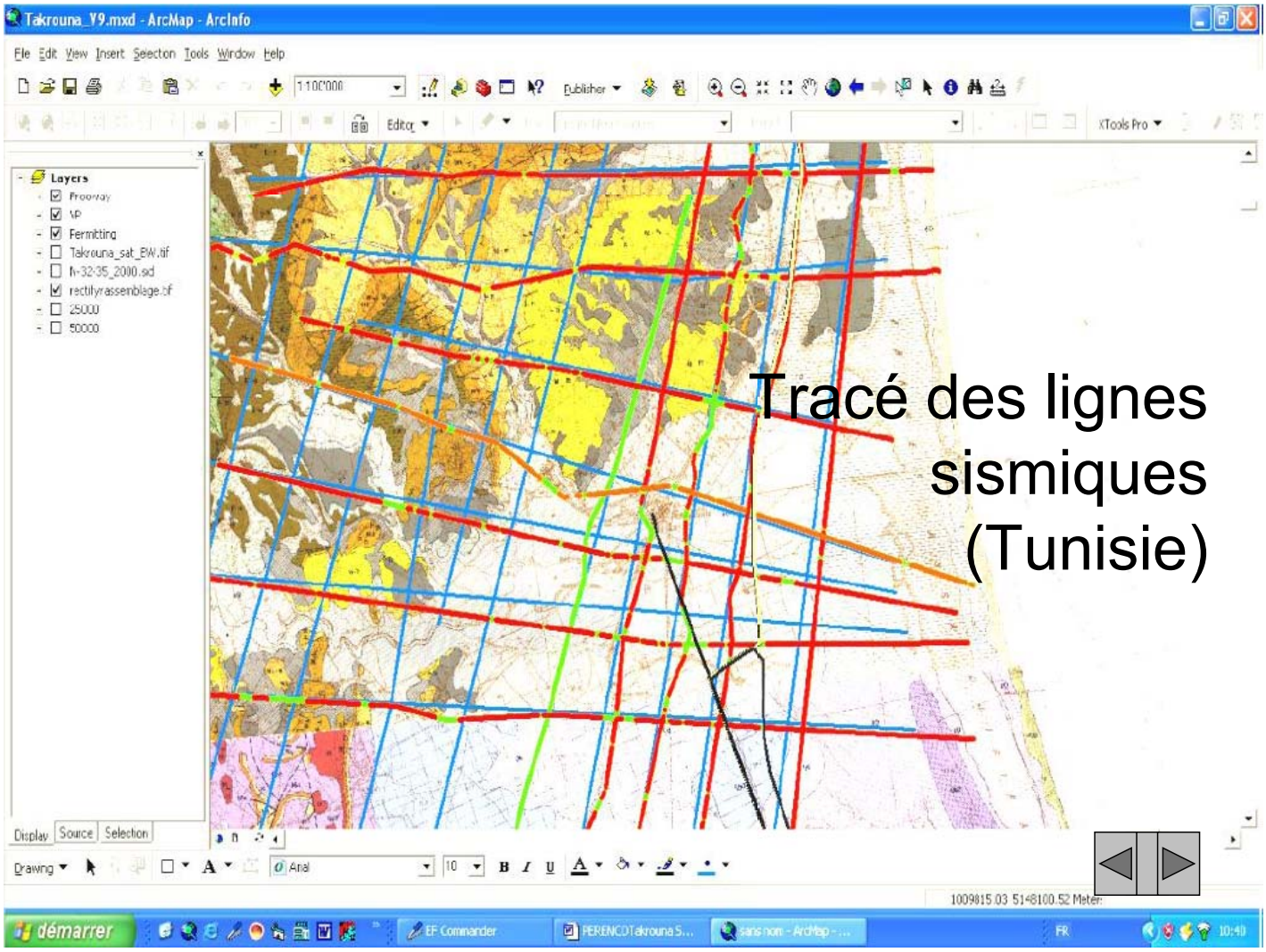


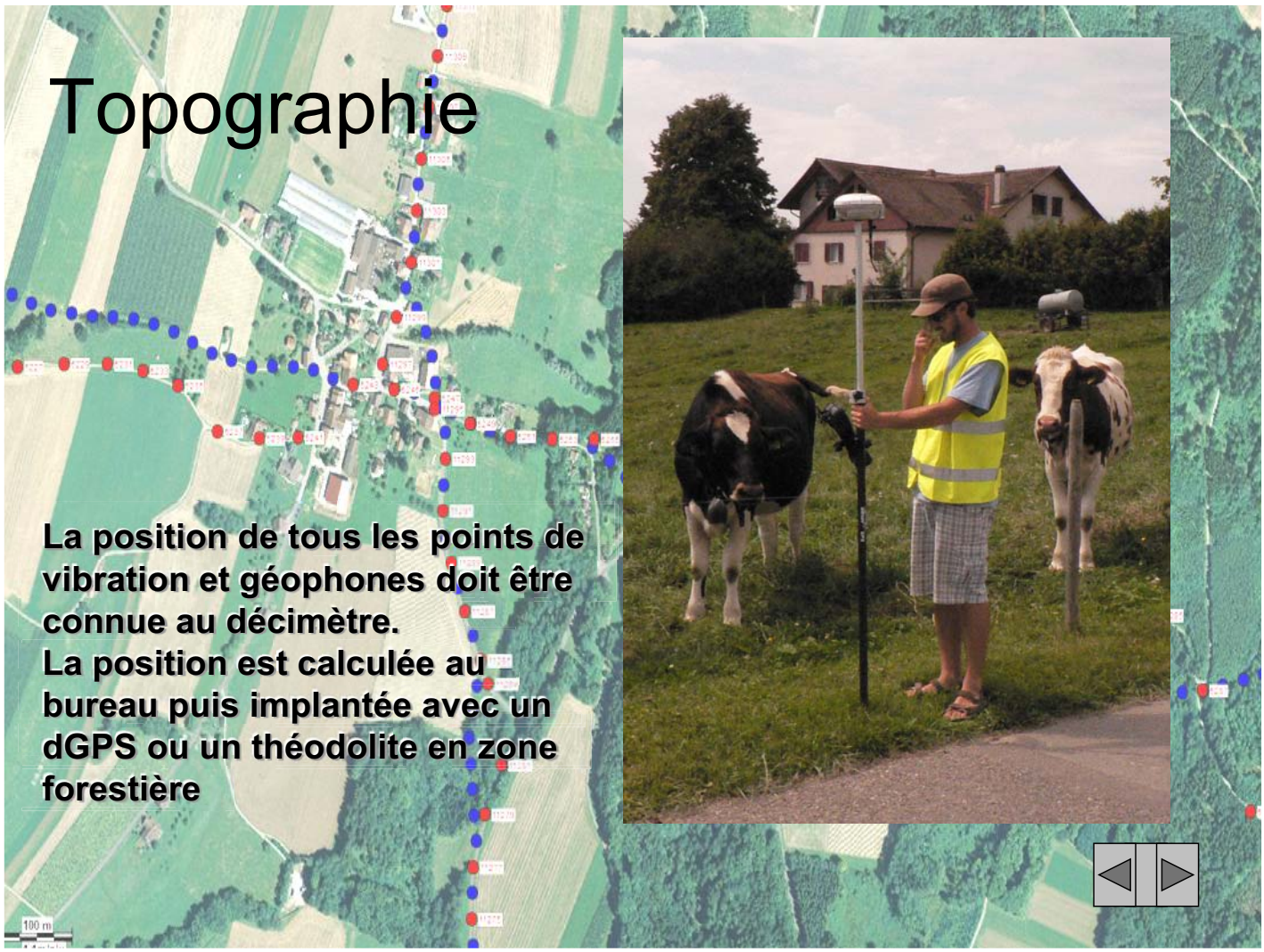
Il est possible de travailler même en zone urbaine avec les vibrateurs

(Aix-les-Bains 2001)

Contraintes pratiques

- Droit d'accès au terrains traversés.
- Espace disponible (>5 km).
- Coûts fixes importants: mobilisation de l'équipement.
- Tracé des lignes "rectilignes".
- Lignes perpendiculaires aux structures
- Eviter les zones bruitées en permanences.
- Accès routier nécessaire, sinon usage d'explosifs.


Takrouna_V9.mxd - ArcMap - ArcInfo
File Edit View Insert Selection Tools Window Help
Layers
Fermitting
Takrouna_sat_BW.tif
rectifyrassemblage.tif
25000
50000
Display Source Selection
Drawing
démarrer
Tracé des lignes sismiques (Tunisie)


Topographie
La position de tous les points de vibration et géophones doit être connue au décimètre.
La position est calculée au bureau puis implantée avec un dGPS ou un théodolite en zone forestière



Pose des câbles et géophones

Equipement

- **Sismographe (120 à 700 canaux)**
- **Camion vibrateurs (1 à 5 unités)**
- **Grappes de géophones**
- **Câbles sismiques**

Enregistreur 60 canaux



Câbles & géophones





Enregistreur SN388 (>700 canaux)



Véhicule laboratoire 4x4

Sources sismiques

- Explosif
- Vibrateurs
- Chute de poids
- Buffalo gun



Vibration (Sweep) Fréquence 10 et 100 Hz



Vibrateur Mertz M22/601

- Poids de la plaque (daN) : 1200
- Plate size(cm) : 122x230x12.7
- Frequences possibles (Hz) : 8 – 180
- Peak force 13360 daN (29000 lbs)
- Masse weight (daN) : 2050
- Poids du camion: 24 tonnes



Le **traitement des données** sismiques requière des logiciels spécifiques.

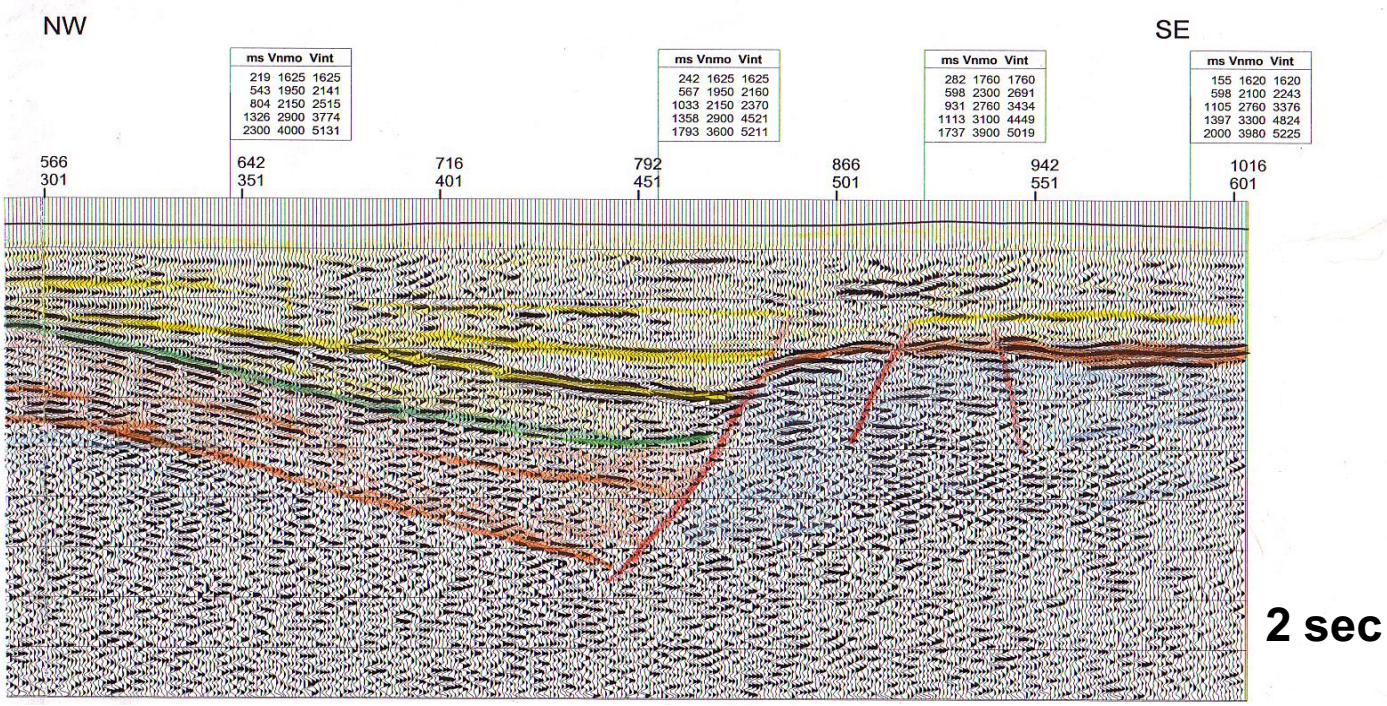
Nous utilisons:

Visual SUNT de Geo2X

ProMax de Halliburton



Exemple de traitement sur site

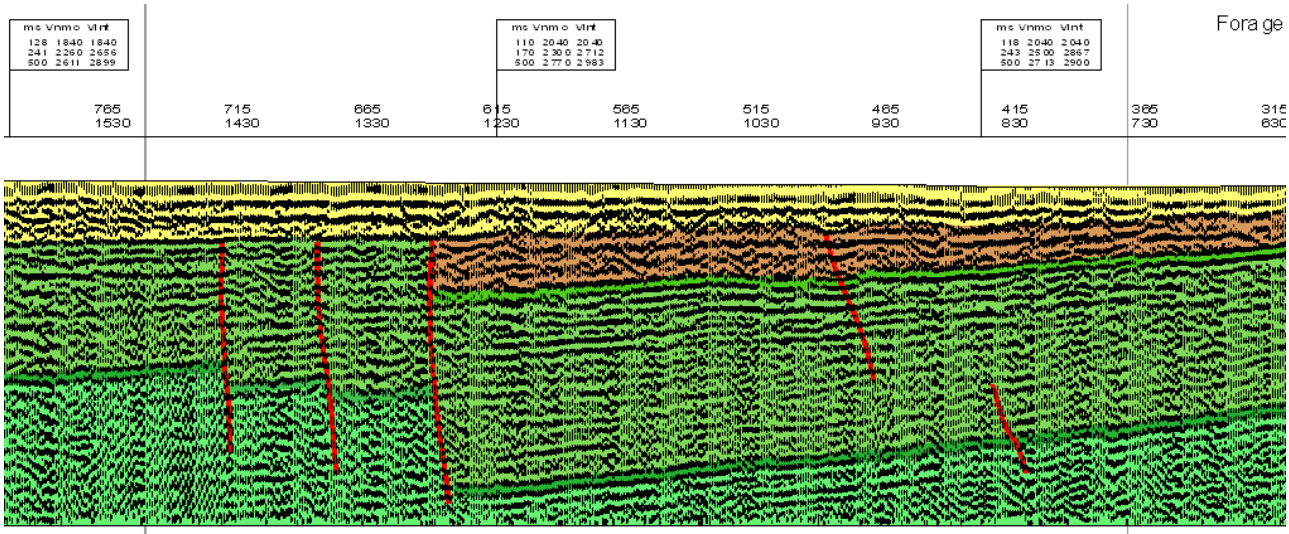


Geo2X

Exemple d'acquisition en Tunisie

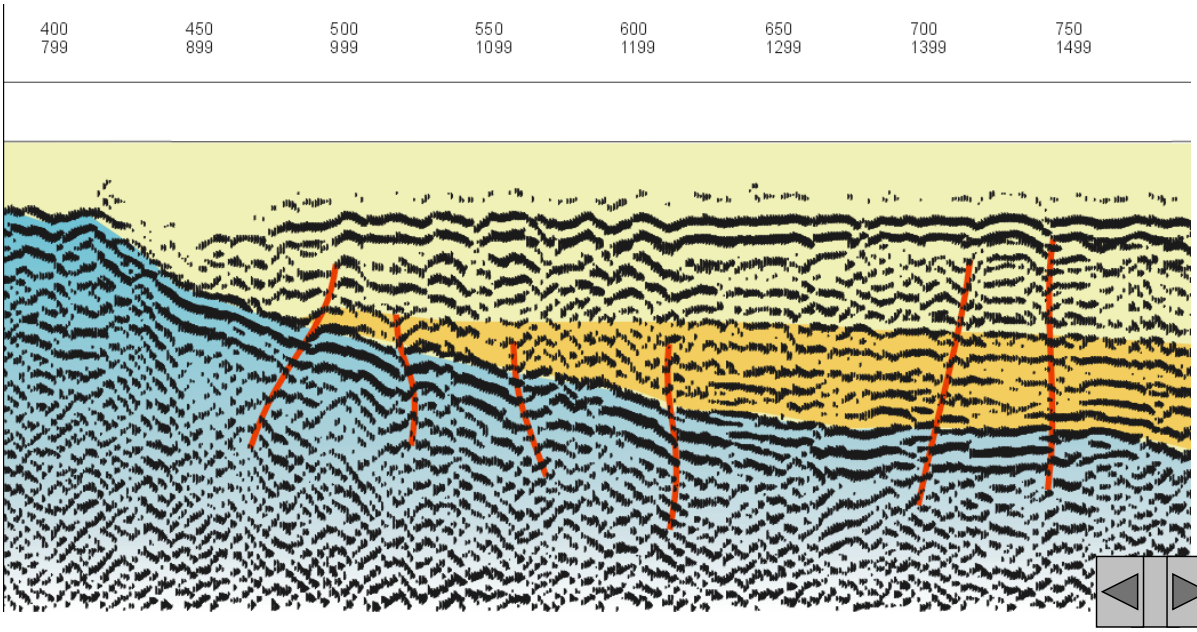
Espacement des VP et géophones 5 m

Source Vibrateur M22, 48 canaux actifs

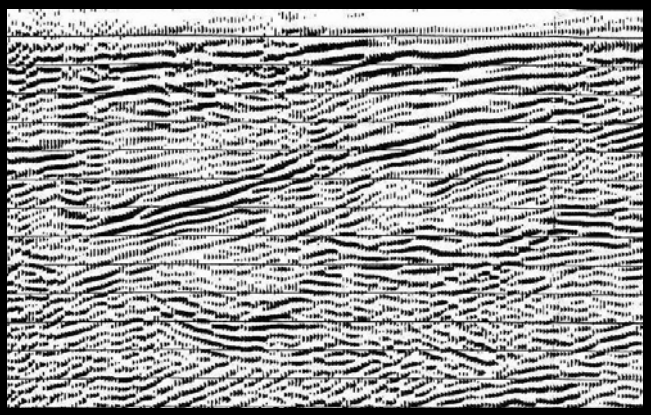


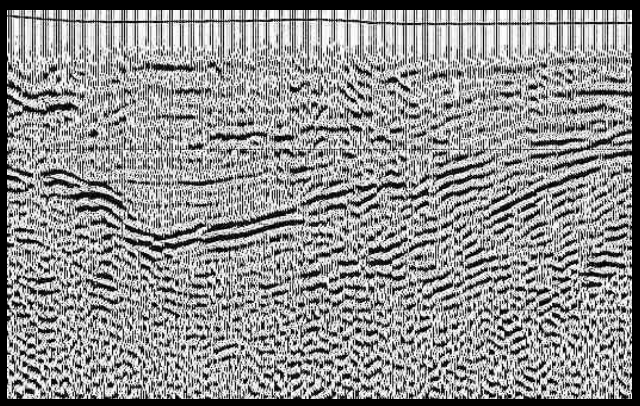
Geo2X

Recherche eau profonde au Pakistan
Espacement tirs et géophones 10 m,
Energie 1 vibrateur, 60 canaux actifs



La réalisation d'un nouveau profil haute résolution peut améliorer la définition





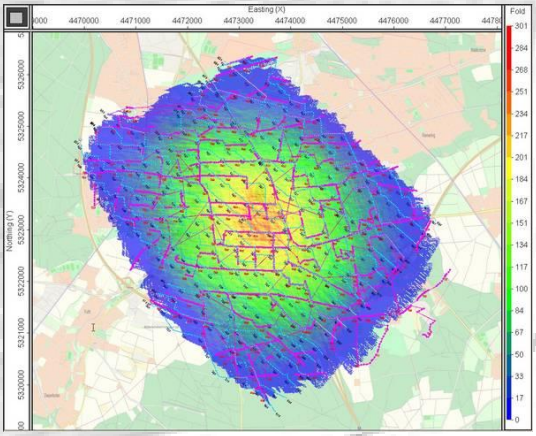
Sismique 3D

Depuis une dizaine d'années il est possible d'enregistrer le signal simultanément sur plusieurs lignes sismiques parallèles afin d'obtenir une vision 3D du sous-sol.

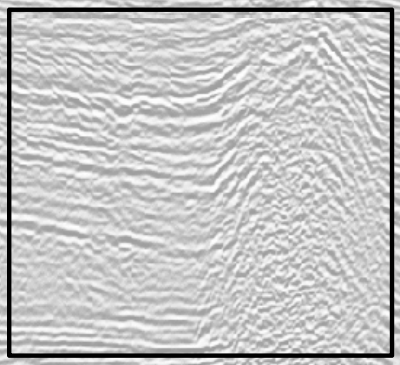
Typiquement l'enregistrement se fait sur plusieurs milliers de géophones.

Il faut tenir compte du fait que la résolution décroit en bordure du bloc.

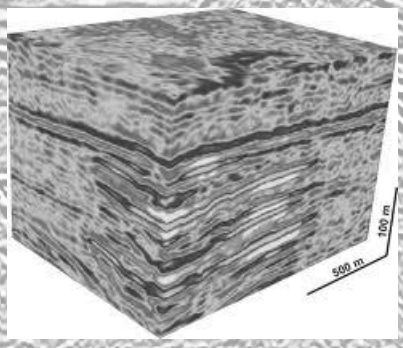
D'autre part on admet que la profondeur d'investigation doit être au moins égale à la longueur de ligne.



Sismique 2D versus 3D



- **Sismique 2D** pour localisation des failles et structures linéaires (Anticlinal, synclinal) Problèmes possibles d'effets 3D. Coût limité



- **Sismique 3D** Image 3D très précise d'un secteur limité, pas d'effet 3D, corrélation stratigraphique plus délicates. Coût important

Qu'apporte la sismique réflexion à la prospection géothermique:

- **Géométrie des terrains en profondeur**
- **Localisation des failles**
- **Estimation des profondeurs**
- **Estimation de la fracturation**



C'est la seule méthode qui permet d'imager les couches à grande profondeur.

Programme possible:

- Compilation données existantes (Forage, lignes sismiques, gravimétrie)
- Reconnaissance au moyen de ligne 2D
- Sismique 3D sur objectifs potentiels
- Forage de reconnaissance

Qu'apporte la sismique réflexion à la prospection géothermique, aspect financier:

- Coûts d'un forage géothermique >10 millions de CHF

- Vibrosismique 2D profonde y.c mobilisation, traitement et interprétation ~20'000 CHF / km
- 1 forage = 500 km de sismique 2D….

- Sismique 3D terrestre: 40 à 100'000 CHF / km^2
- 1 forage = 10x10 à 15x15 km de sismique 3D….

Geo2X sa
6 Rue du Centre
CH-1377-Oulens

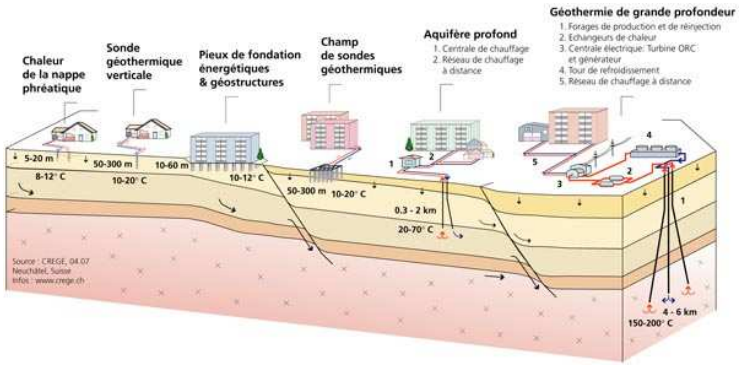


Phone +41 021 881 48 00
info@geo2x.com

Dimensionnement d'installations industrielles en nappes phréatiques

Exemples de réalisations à SG, AG et LU

J.-M. Lavanchy & J. Poppei



Dimensionnement d'installations industrielles en nappes phréatiques

Thèmes:

- Types d'exploitation de nappes phréatiques
- Spécificités hydrauliques et thermiques
- Dimensionnements/réalisations de stockages saisonniers
- Dimensionnements/réalisations pour chauffage et rafraîchissement
- Outils de dimensionnement / gestion d'aquifère

Exploitation thermique des nappes phréatiques

faible température (< 100°C) **haute température (>100°C)**

superficiel/ peu profond **profond (géothermie hydrothermale)**

système fermé
(sans pompage d'eau souterraine)
- sonde géothermique
- pieux

SIA 384/6 (sondes géothermique)

système ouvert
(avec pompage d'eau souterraine)
- pompage + chauffage (avec PAC)
- pompage + geocooling (sans PAC)
- stockage de chaleur saisonnier

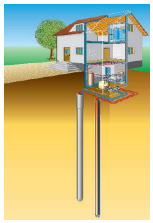
SIA 384/7 (en préparation)

Exploitation thermique des nappes phréatiques (2)

intérêt énergétique et économique:

sonde géothermique
< 50 W/m

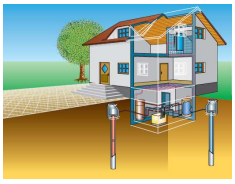
Pompage avec ΔT=3°C



Quelle: BWP

Longueur de sonde: ~ 200 m

Maison individuelle
Puissance: 10 KW

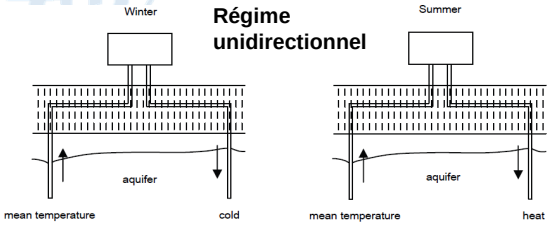


Débit : ~ 100 l/min

Mais:
⇒ Forages peu profonds (risques liés aux aquifères superposés)
⇒ Portée thermique de l'impact plus grande que la parcelle
⇒ Protection des eaux souterraines utilisées comme eau de boisson

Types d'exploitation thermique des aquifères

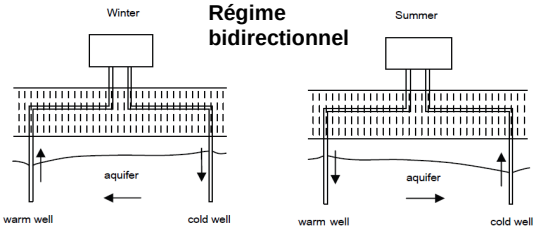
Régime unidirectionnel



Utilisation instantanée:

- **Chauffage**
- **Eau chaude**
- **Rafraîchissement (besoins industriels, climatisation, etc.)**

Régime bidirectionnel



Stockage thermique saisonier (chaud et/ou froid):

- **Shanghai,1965 ->**
- **EPFL/SPEOS, 1978-1989**
- **Berlin/Parlement, 1999 ->**
- **Suède: > 13 sites, 1984 ->**
- **Hollande: > 500 sites, 1987 ->**
- **Allemagne: > 4 sites, 2000->**
- **Belgique: 1 site, 1996 ->**
- **Canada: > 4 sites, 1984 ->**

d'après Nielson 2003

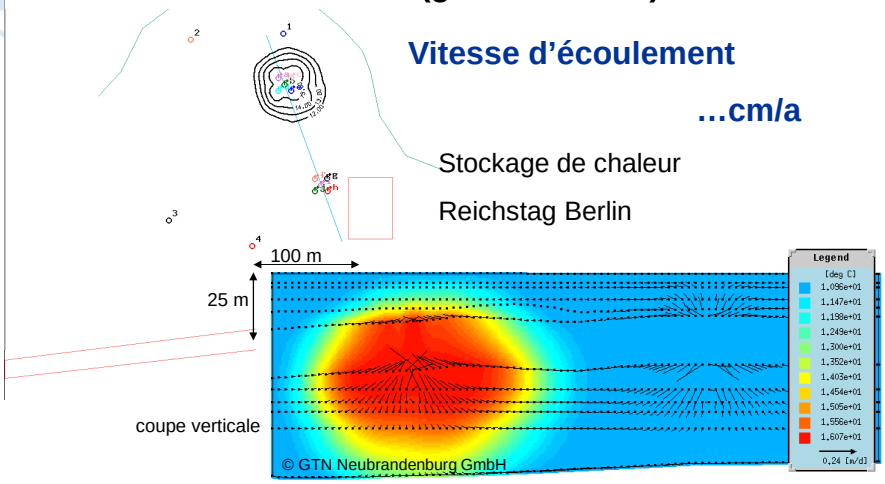
Spécificités et Processus (1)

pompage → modification thermique - - ▸ injection / infiltration

- Bilan hydraulique neutre (Re-injection)
- Impact hydraulique rapidement stationnaire (K élevée)
- Impact thermique transitoire lent (mois/années):
  - ➢ Processus de transport advectif (plus lent que traceur idéal)
  - ➢ Facteurs de rééquilibrage thermique (échange de chaleur avec eau de nappe et matrice par conduction et dispersion)
- Processus chimiques (oxydation)

Spécificités et Processus (2)

Contexte hydrogéologique avec faible vitesse d'écoulement (gradient faible)



Vitesse d'écoulement

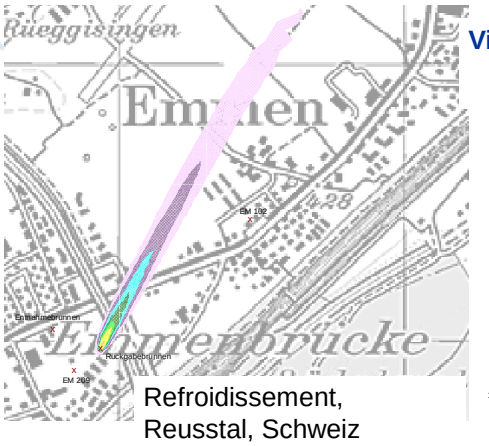
…cm/a

Stockage de chaleur

Reichstag Berlin

Spécificités et Processus (3)

Contexte hydrogéologique avec forte vitesse d'écoulement (gradient élevé)



Vitesse d'écoulement

> 300 m/a

Refroidissement, Reusstal, Schweiz

9

Spécificités de l'utilisation des eaux souterraines

Questions liées à la planification:

- Présence de nappe phréatique, propriétés hydrodynamiques
- Dimensionnement : Ecartement du doublet, extension de la parcelle, conditions externes (autres installations, conditions hydrauliques, etc.)
- Pour le stockage: pertes de chaleur / taux de récupération
- Facteurs économiques (Coûts, rentabilité)
- Optimisations techniques et financières (mixte de sources d'énergie)

Questions liées à l'obtention d'autorisations:

- Impacts hydrauliques et thermiques (3°C à 100 m)
- Atteinte à l'efficacité d'exploitation pré-existantes (interférences)

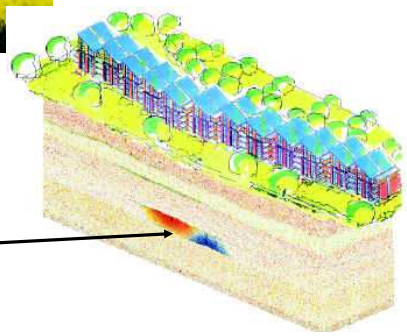
Le besoin en énergie et les spécificités hydrogéologiques sont spécifiques à l'ouvrage et au site



10

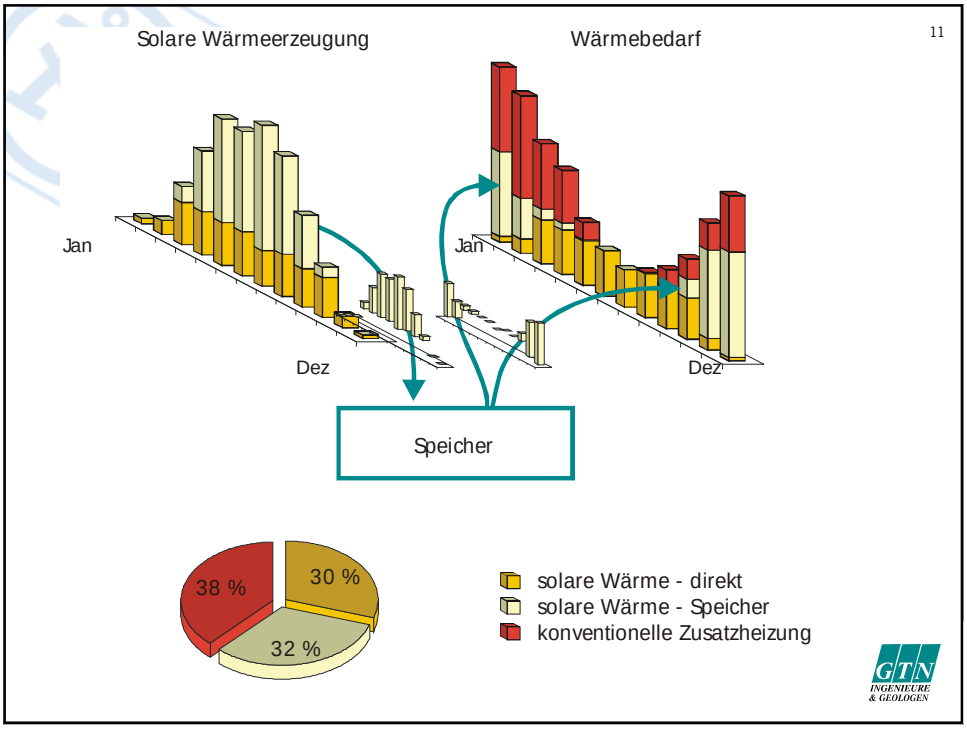
108 Appartements

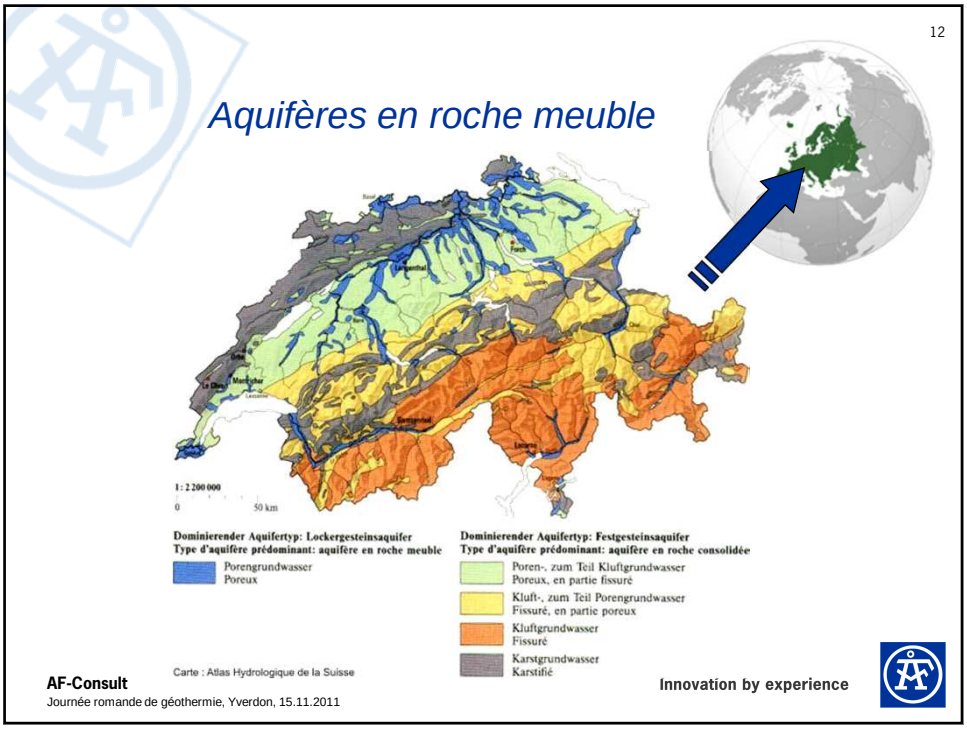
1'000 m^2 de panneaux solaires



Stockage saisonnier en aquifère Projet „Helios Rostock" (D)

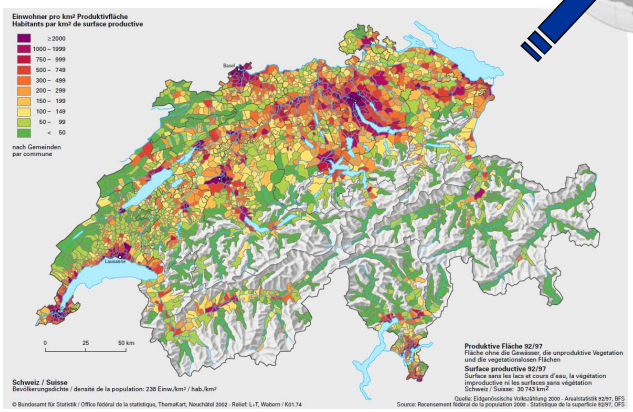
- Projet immobilier, 2000
- Aquifère: 15 – 25 m/sol
- Couverture argileuse
- Doublet, écartement 55 m
- Débits max. 250 l/min


Solare Wärmeerzeugung
Wärmebedarf
Jan
Dez
Jan
Dez
Speicher
38 %
30 %
32 %
solare Wärme - direkt
solare Wärme - Speicher
konventionelle Zusatzheizung
GTN
INGENIEURE & GEOLOGEN


Aquifères en roche meuble
1: 2 200 000
0
50 km
Dominierender Aquifertyp: Lockergesteinsaquifer
Type d'aquifère prédominant: aquifère en roche meuble
Porengrundwasser
Poreux
Dominierender Aquifertyp: Festgesteinsaquifer
Type d'aquifère prédominant: aquifère en roche consolidée
Poren-, zum Teil Kluftgrundwasser
Poreux, en partie fissuré
Kluft-, zum Teil Porengrundwasser
Fissuré, en partie poreux
Kluftgrundwasser
Fissuré
Karstgrundwasser
Karstifié
Carte : Atlas Hydrologique de la Suisse
AF-Consult
Journée romande de géothermie, Yverdon, 15.11.2011
Innovation by experience

Répartition de la population





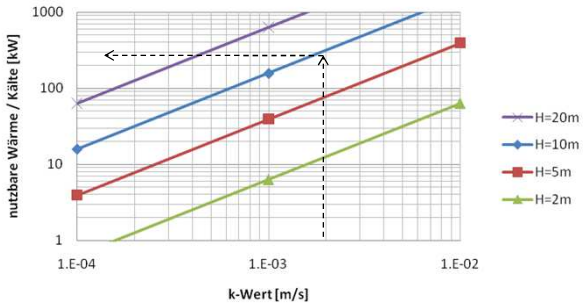
Conditions hydrogéologiques hétérogènes et complexes

- Perméabilité des aquifères: sables/graviers (K > 1E-4 m/s)
- Gradients hydrauliques: faibles en plaines alluviales
- Limites latérales (flancs de vallée)
- Variabilités verticales (alternances aquifères-aquitards)
- Nappes libre / nappes captives
- Apports latéraux et échanges rivière-nappe

Potentiel d'exploitation thermique des nappes

Exemple de dimensionnement: puissance thermique

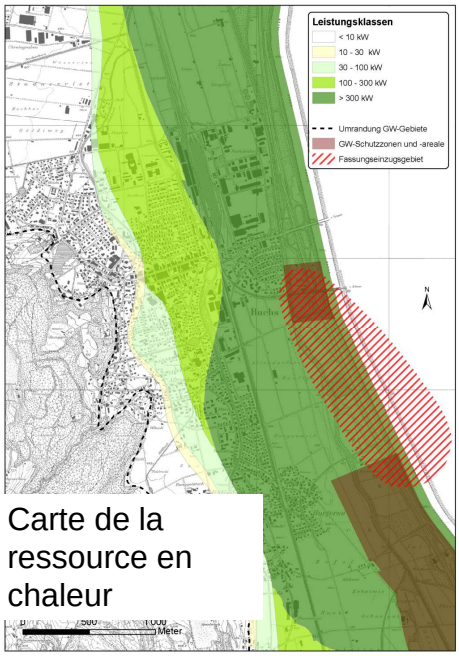
- Perméabilités > 1E-4 m/s
- Epaisseurs d'aquifères > 2 m
- Différence thermique : 3° C
- Rabattement :10%



Potentiel d'exploitation dans le Rheintal, Buchs (AfU SG)

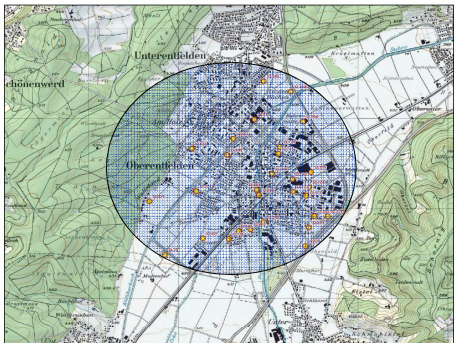


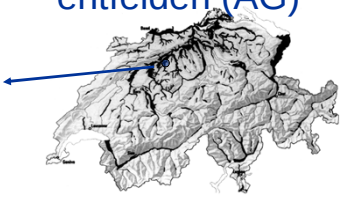
- Amt für Umwelt & Energie, canton SG
- 2011
- Objectif: Plan sectoriel
- Zonation selon le potentiel énergétique : de <10 kW à > 300 kW (inst. industrielles)



Carte de la ressource en chaleur

Suhretal, Ober-entfelden (AG)





Exploitat. déjà intensive, sur 4 km^2:

- 1 x eau boisson: 4‘000 l/min
- 1 x eau industrielle: 300 l/min
- 27 x pompes à chaleur sur eau de nappe:
  - Chauffage et refroidissement: 10‘000 l/min (50 … 2‘000)
  - Extraction de chaleur: 2.75 MW



- Abt. Umwelt, canton AG
- 2011 (en cours)
- Objectif = outil de gestion:
  - Critères d’autorisation
  - Optimisation des ressources
  - Risques d’interférences/conflits

Impact thermique de l’installation

dépend principalement de:

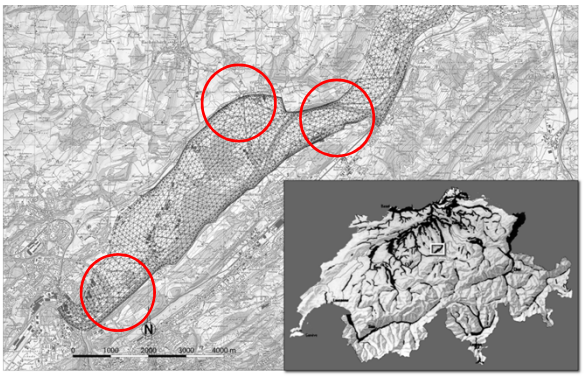
- Changement de température et du débit
- Paramètres hydrogéologiques de l‘aquifère
- Paramètres thermiques (aquifère et encaissants)
- Distance entre les puits d‘extraction et d‘injection
- Gradient hydraulique
- Superposition d’installations voisines (interférences)

Complexe et local -> besoin de dimensionnement

Reusstal (LU) – 3 sites d'exploitation

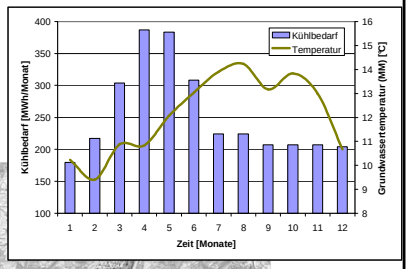
Modèle numérique pour la gestion globale hydraulique & thermique de l'aquifère

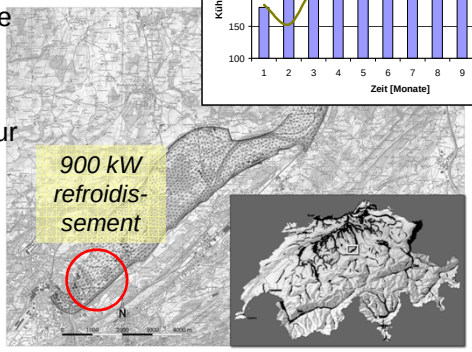
outil de dimensionnement /décision



Reusstal (LU) / Site N°1

- Centre commercial Emmen
- 2004
- Evaluation de la plume thermique (utilisation continue)
- Dimensionnement pour procédure d'autorisation (charge thermique maximale)
- Projet réalisé (en exploitation)

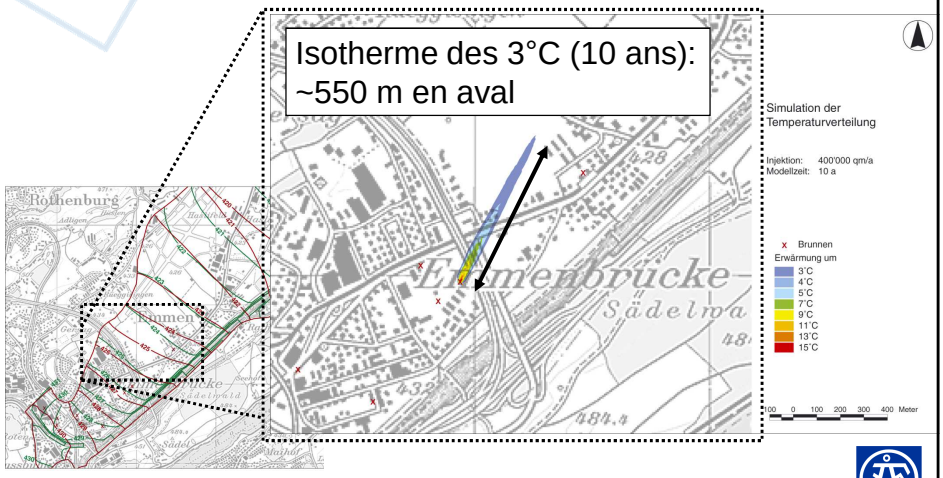




21

Reusstal (LU) / Site N°1

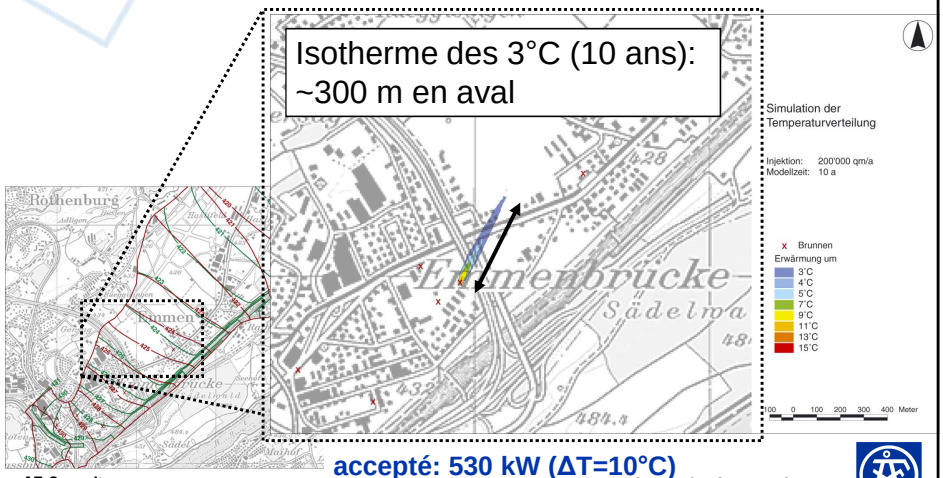
Hypothèse N°1:
Q = 400'000 m³/a (~750 l/min)
T (inject.) = 27 °C (ca. 900 kW)



22

Reusstal (LU) / Site N°1

Hypothèse N°2:
Q = 200'000 m³/a
T (injection) = 27 °C (ca. 450 kW)

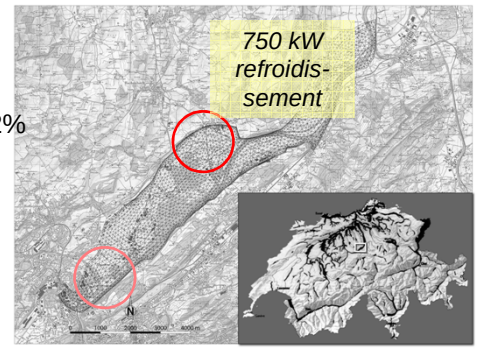


accepté: 530 kW (ΔT=10°C)

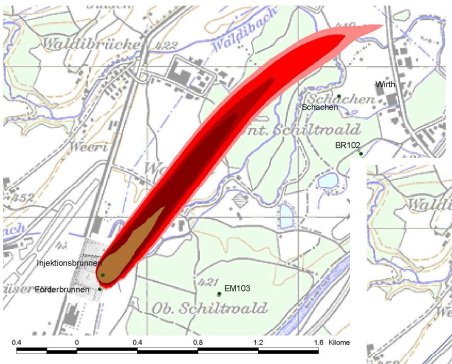
Reusstal (LU) / Site N°2

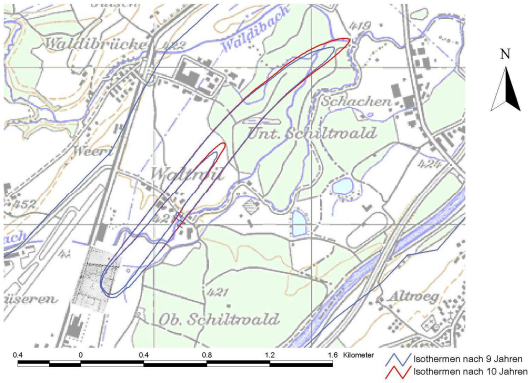
Reusstal – centre industriel: chauffage & rafraîchissement

- 2008
- ΔT=3K (permanent)
- Chauffage: seulement 2%
- Débit: 1.9 Mio. m^3/a
- En phase de réalisation



Reusstal (LU) / Site N°2



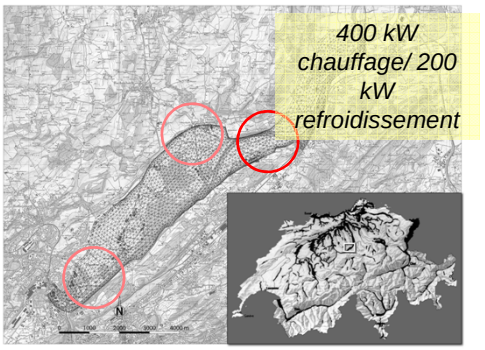


- Isothermes +1° et +3° C
- Evolution de la plume thermique entre 9 et 10 ans d'exploitation

Reusstal (LU) / Site N°3

Reusstal – centre commercial: Chauffage et refroidissement

- 2008 - 2010
- Chauffage de novembre à avril: ΔT=4°C
- Refroidissement de mai à octobre ΔT=4°C
- En construction

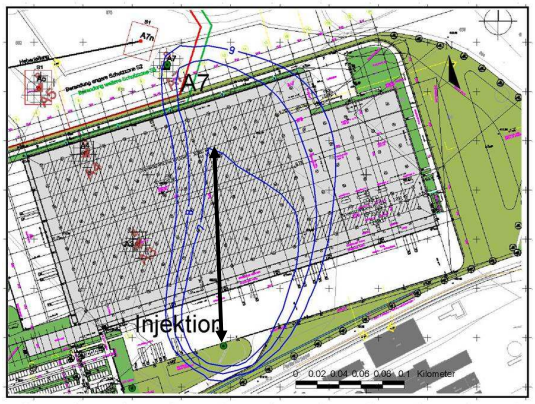


Reusstal (LU) / Site N°3

Etat “stationnaire saisonnier” après environ 10 ans

Fin de la période de chauffage:

- Isothermes
- Influence d’un puits latéral sur les écoulements
- +3°C à ~150 m
- Accepté car limite de 3°C encore sur parcelle

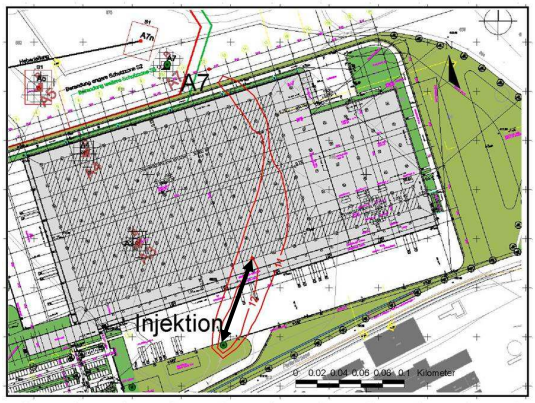


Reusstal (LU) / Site N°3

Etat “stationnaire saisonnier” après environ 10 ans

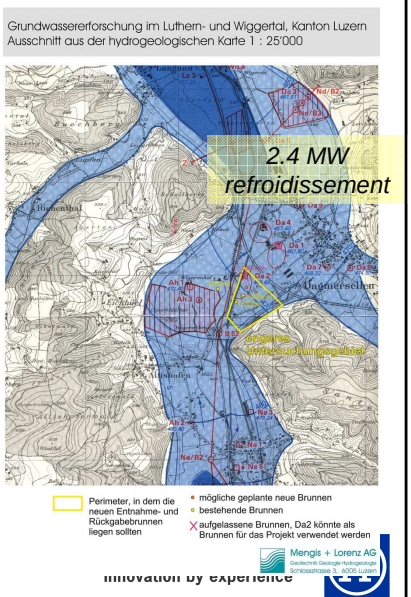
Fin de la période de refroidissement:

- + 2 °C ~100 m
- Lignes d’écoulement différentes (superposition de 3 composantes d’écoulement)

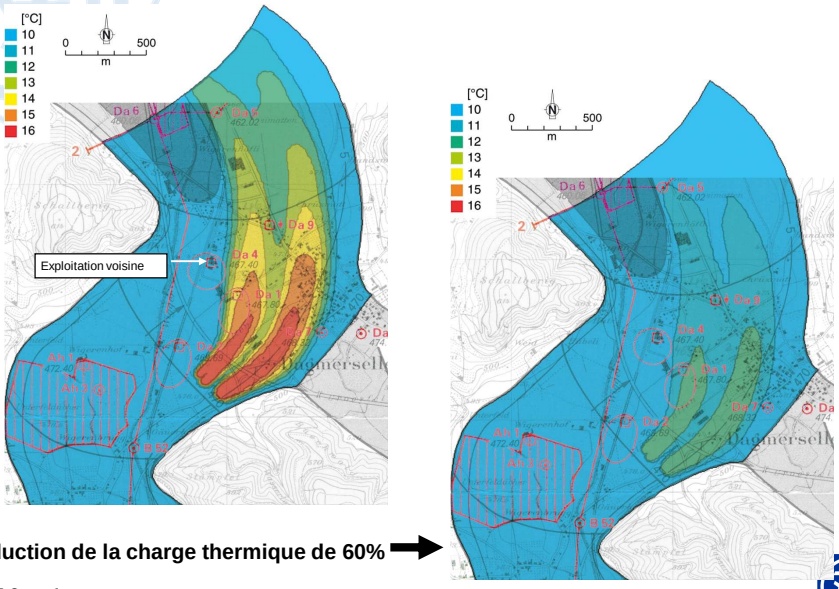


Wiggertal (LU) - site N°1

- Installation industrielle
- 2002-2003
- Besoins en rafraîchissement
- Risque d’interférence avec exploitation voisine
- Prévu initialement: 5‘000 l/min
- ΔT=7°C



Wiggertal (LU) / Site N°1



Reduction de la charge thermique de 60%

Logiciels de dimensionnement

1) Approximation / faisabilité (ouvrages de petites dimensions)

- **Logiciel GED (Groundwater Energy Designer)**
- **Logiciel de simulation «tout public»**

Groundwater Energy Designer
Computer-based tool for the dimensioning of groundwater utilisation for thermal energy use
GED

- http://www.colenco.ch/eng/depts/ge/ged_order.html

2) Evaluation plus précise – dimensionnement

- **Logiciel de modélisation numérique (écoulement et transport)**

Conclusions

- **L'exploitation thermique des nappes phréatiques est attractive (économique & écologique)**
- **Conditions minimales approximatives: K> 1E-4 m/s, Q> 1 l/s**
- **Chaque site a ses charactéristiques hydrogéologiques spécifiques**
- **Evaluation préliminaire possible à faibles coûts (GED)**
- **Augmentation de la demande exige une planification globale de la nappe (permet également de réduire les coûts de modélisation)**
- **Planification de l'installation exige de solides connaissances du planificateur et de l'hydrogéologue (optimisation/itérations)**

Conditions-cadre à un projet de géothermie profonde en Suisse, à l'exemple d'AGEPP



Dr. Pascal Vinard
Directeur SI-REN SA, Ville de Lausanne
Chef de projet AGEPP
+41-21-315 83 10 *+41-79-444 82 62*
pascal.vinard@si-ren.ch *www.si-ren.ch*

Gabriele Bianchetti
Directeur ALPGEO Sàrl, Sierre
Responsable du module "Exploration géothermique"
+41-27-456 94 56 *+41-79-639 06 23*
bianchetti@alpgeo.ch *www.alpgeo.ch*

Objectifs du projet pilote AGEPP

- *Démonstration d'une production simultanée d'électricité et de chaleur à partir d'une ressource hydrothermale profonde et de biomasse (centrale de chauffe hydride géothermie / bois)*
  *➥ Objectifs : **40 l/s et 110° C***
- *Utilisation de la géothermie pour chauffage à distance : communes de Lavey (VD) et de St. Maurice (VS) + établissement thermal de Lavey-les-Bains (VD)*
- *Mise en place d'un puits d'appoint/secours pour l'approvisionnement en eau thermale des Bains de Lavey*
- *Démonstration d'une valorisation en cascade de la chaleur*
  électricité ➥ chauffage à distance ➥ serre tropicale et/ou pisciculture

Historique et naissance d'AGEPP



- *1831 : découverte de la source thermale*
- *1836-1928 : puits de 28 m, 60 l/mn à 35-50°C*
- *1928-1971 : reprise de l'exploitation par l'Etat de Vaud*
- *1972 : puits P201 (200 m), 440 l/mn à 62°C*
- *1978-1998 : centre thermal cantonal, 200'000 entrées par an*
- *1997 : puits P600 (594 m), 1'340 l/mn à 67°C*
- *Dès 2000 : exploitation par Bains de Lavey SA, 550'000 entrées par an*
- *Approvisionnement des Bains : pompage simultané dans les puits P201 + P600, eau thermale fournie par CESLA SA (100% VD), 550'000 m^3 par an*

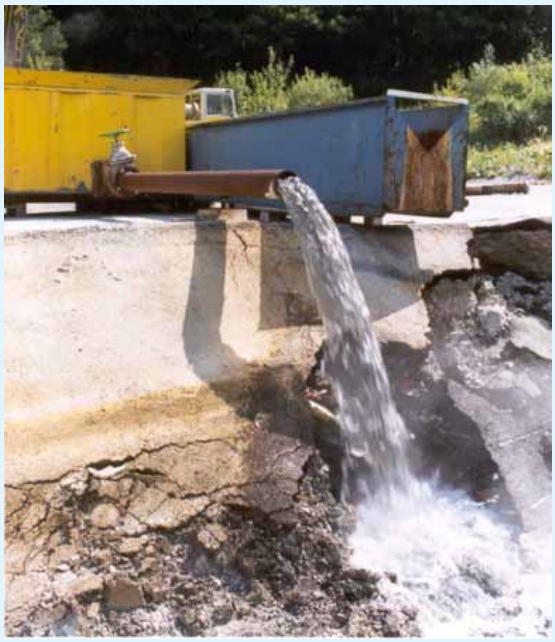
- *Situation actuelle : P600 avec eau à 65°C et 1340 l/mn ; P201 avec 55°C et 560 l/mn*
- *Risques en hiver si panne du puits P600, baisse continue de la température du P201*
- *Nécessité d'un puits de secours d'environ 1'000 m (P1000, 30 l/s à 70°C)*

Vu les conditions géothermiques favorables, idée de faire un forage plus profond permettant d'alimenter un CAD et de produire de l'électricité : naissance du projet AGEPP (2005)

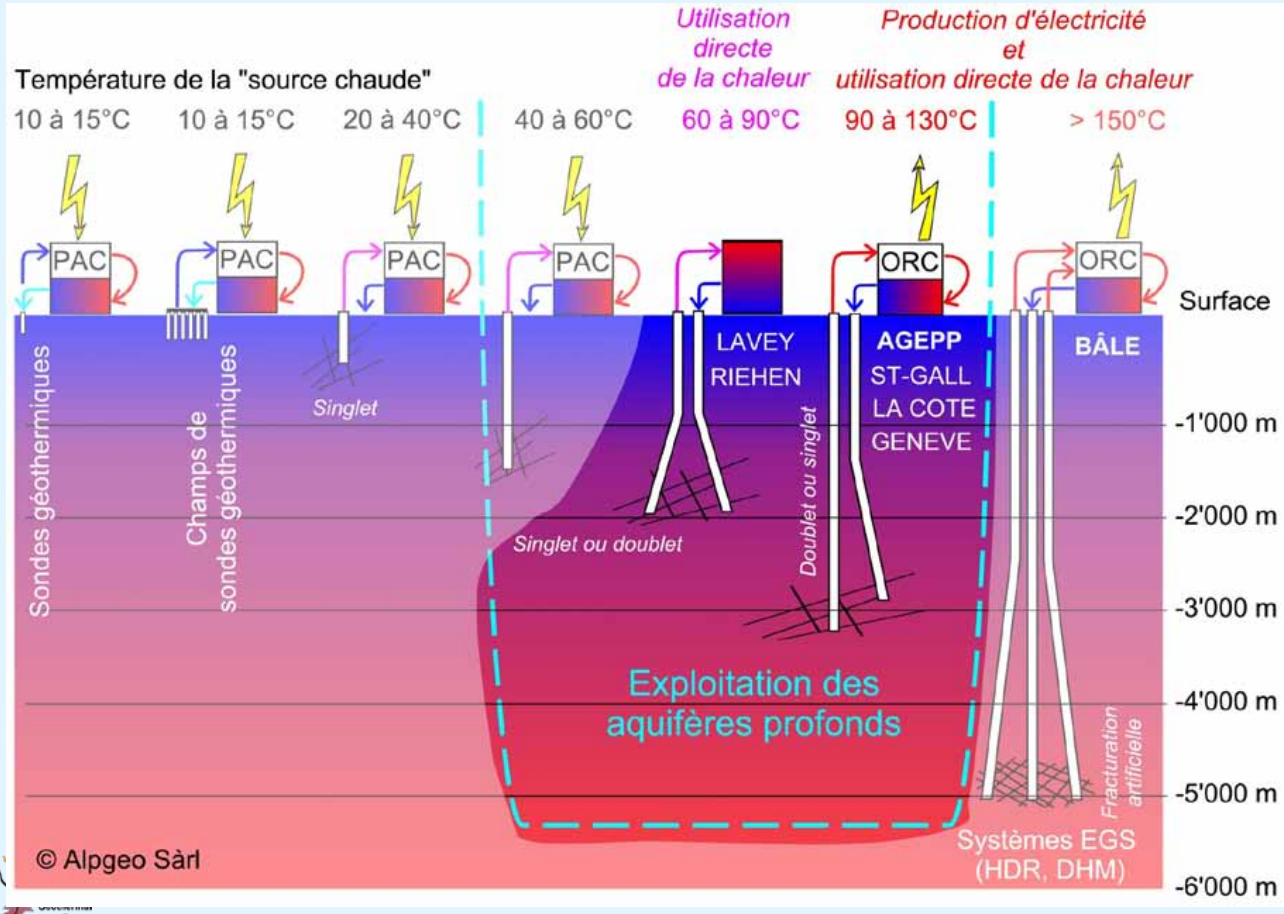
Indices de thermalisme à Lavey-les-Bains

Eaux thermales avec des températures de 55 à 65°C captées par des puits de 200 à 600 m

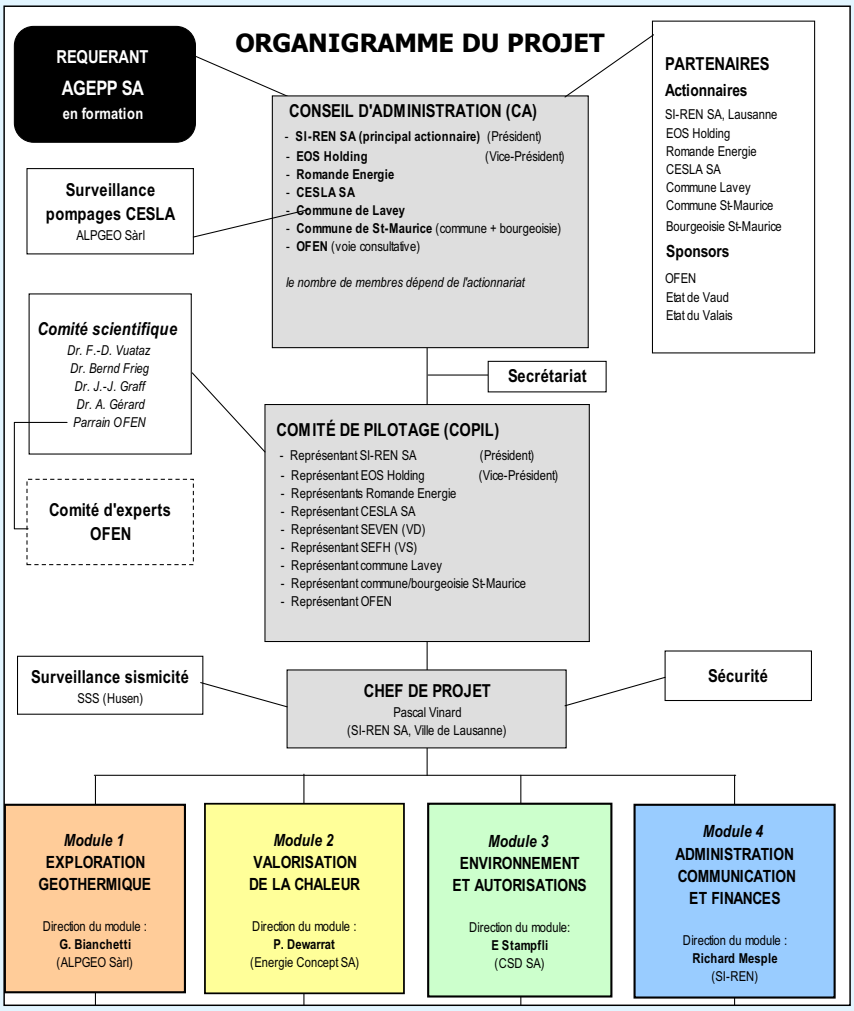
Plusieurs géothermomètres qui indiquent des températures du réservoir profond de l'ordre de 100 à 110°C



Projet de type "hydrothermal" (aquifères profonds)



Organisation et structure de la future société



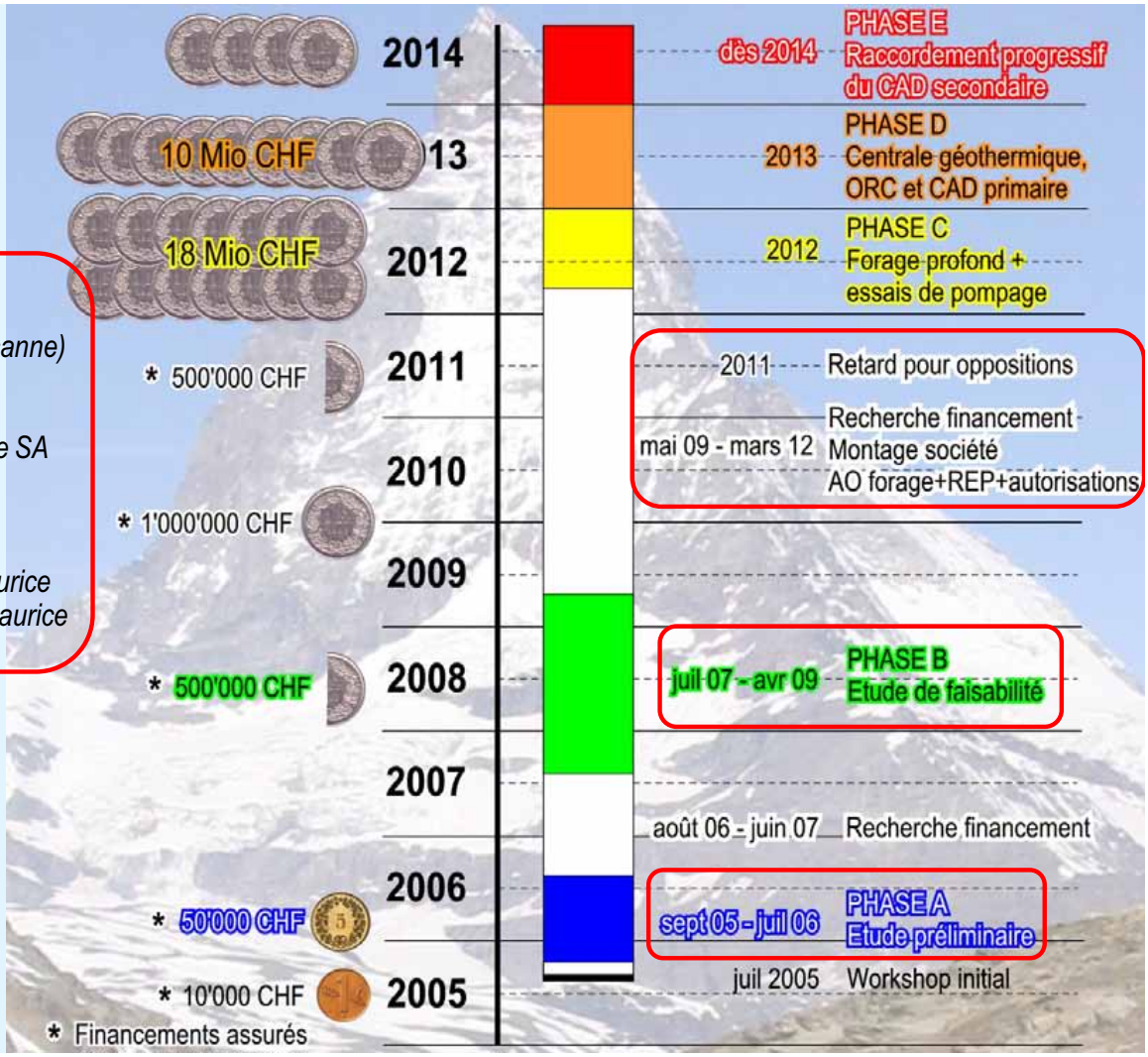
Étapes et budget

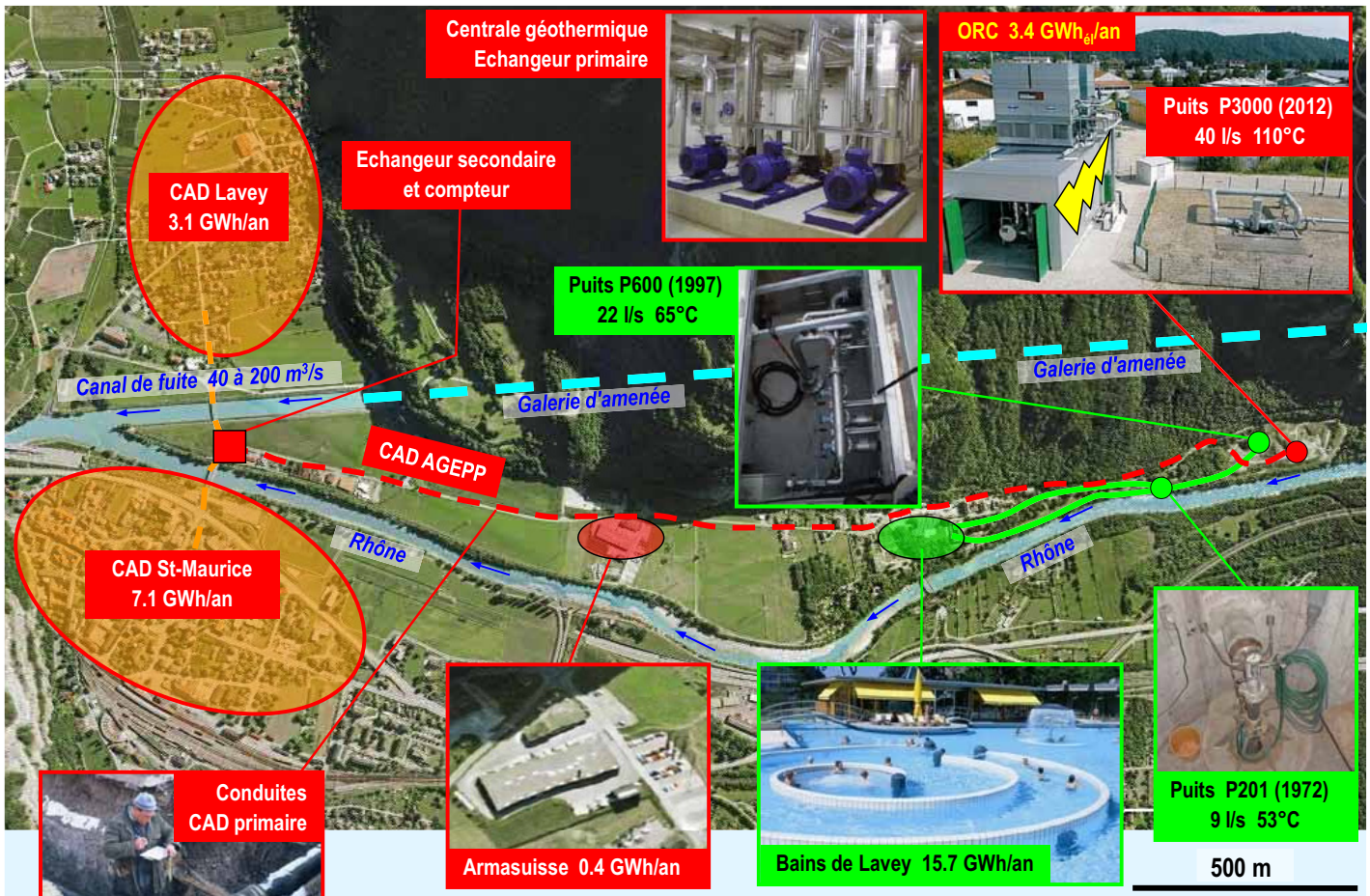
Partenaires

- *SI-REN SA (Lausanne)*
- *EOS Holding*
- *CESLA SA*
- *Romande Energie SA*
- *Etat de Vaud*
- *Etat du Valais*
- *Commune Lavey*
- *Commune St-Maurice*
- *Bourgeoisie St-Maurice*

Sponsors

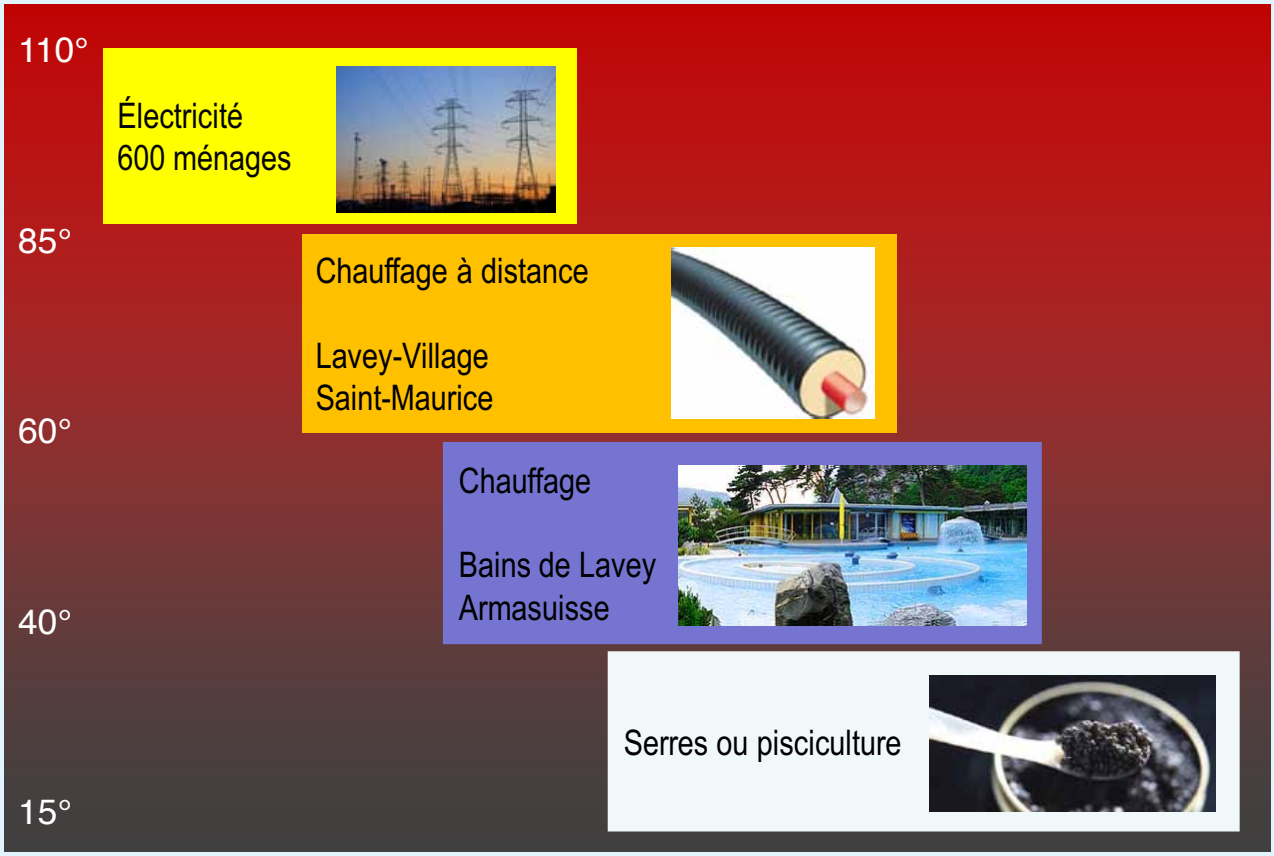
- *OFEN*





Projet AGEPP : situation actuelle et future

A chaque niveau de température son utilisation



Consommateurs d'énergie thermique



ORC électricité *3.4 GWh él*

CAD Lavey *3.1 GWh th*

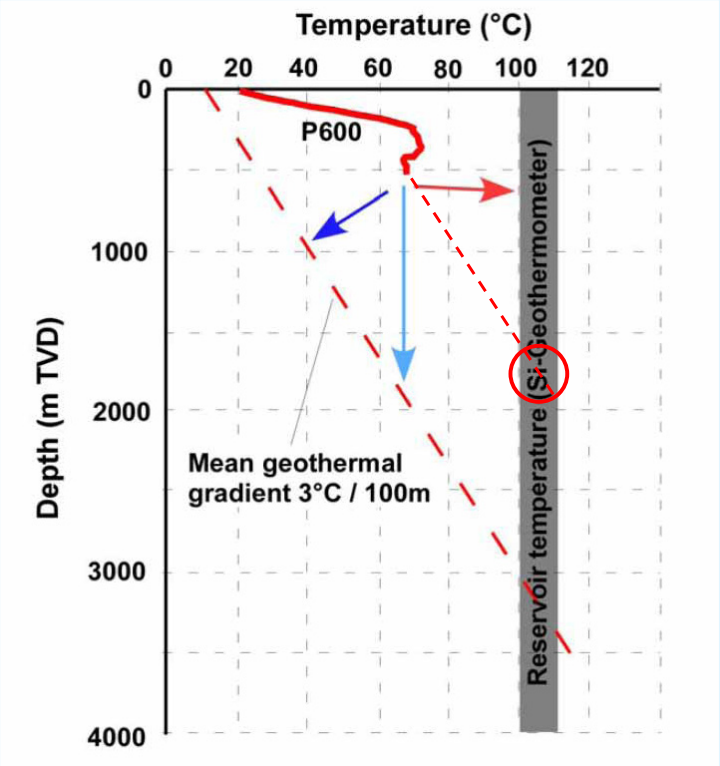
CAD St-Maurice *7.1 GWh th*

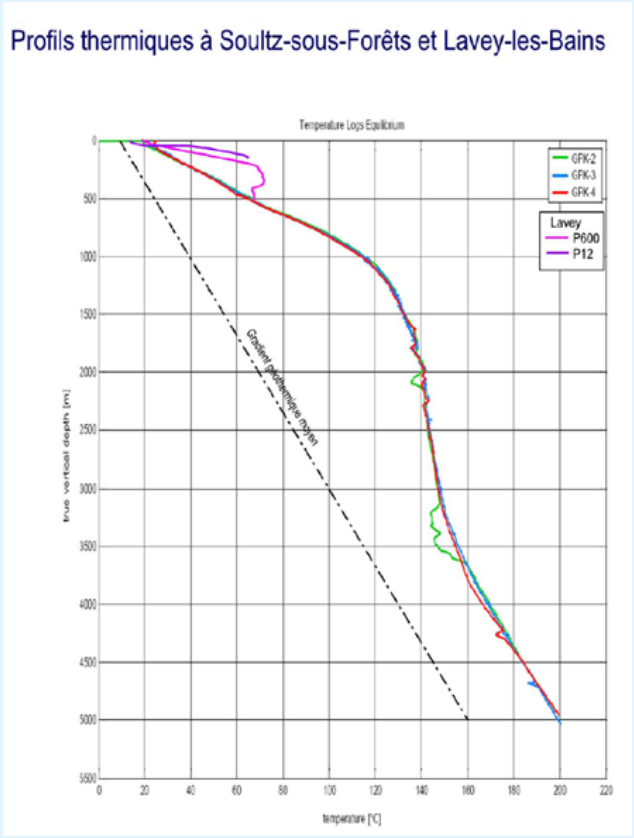
CAD Armasuisse *0.4 GWh th*



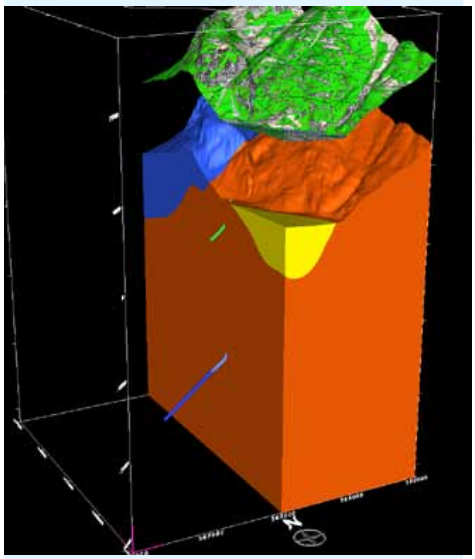
Bains de Lavey *15.7 GWh th*

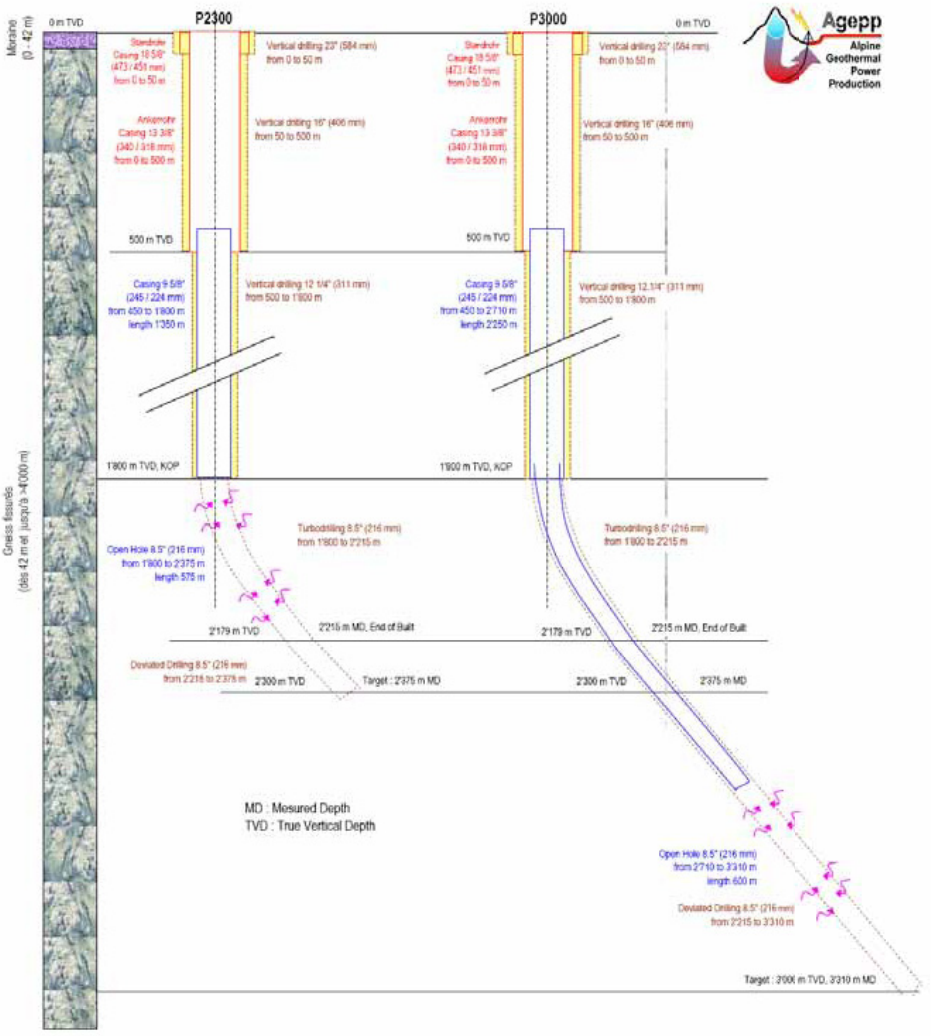
Gradient géothermique: faits et hypothèses



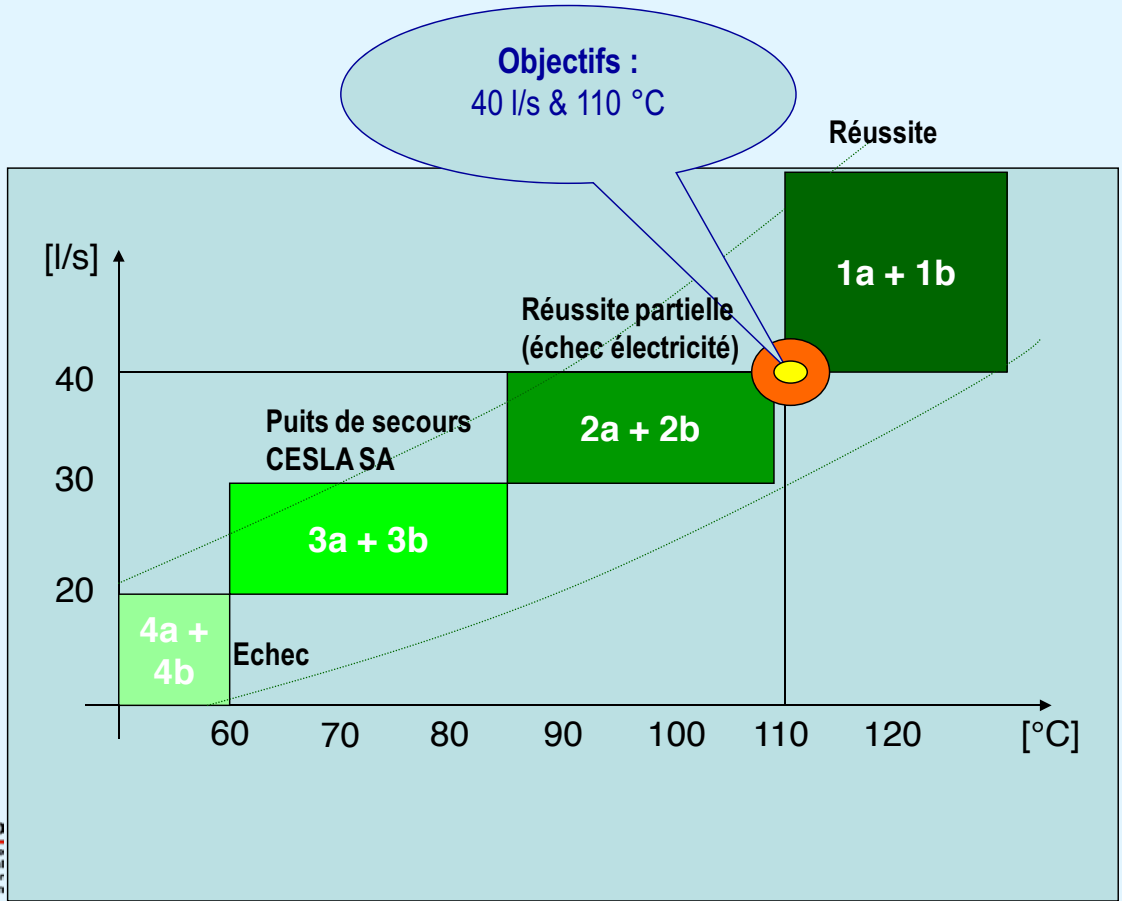


Implantation du forage, design et stratégie

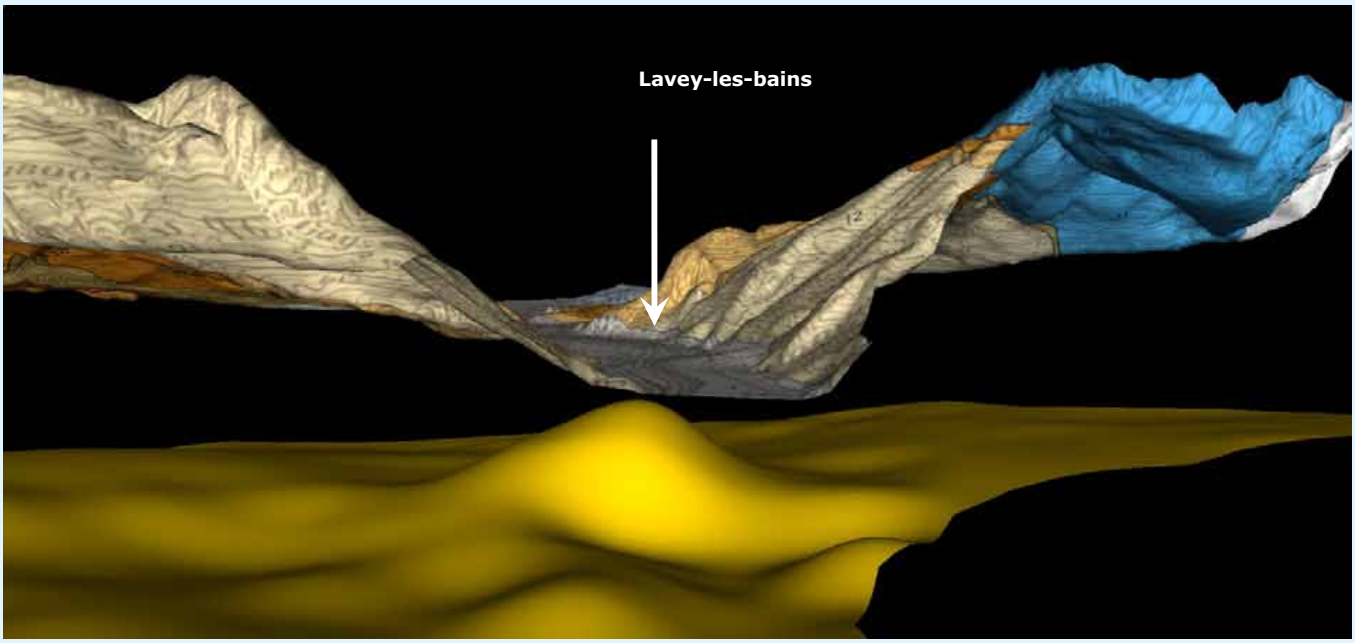




Les 4 scénarios d'AGEPP



Un élément décisif de l'attribution – en 1ère suisse – de la couverture de risque géothermique: Le modèle du réservoir!



Modèle conceptuel et hypothèses de travail

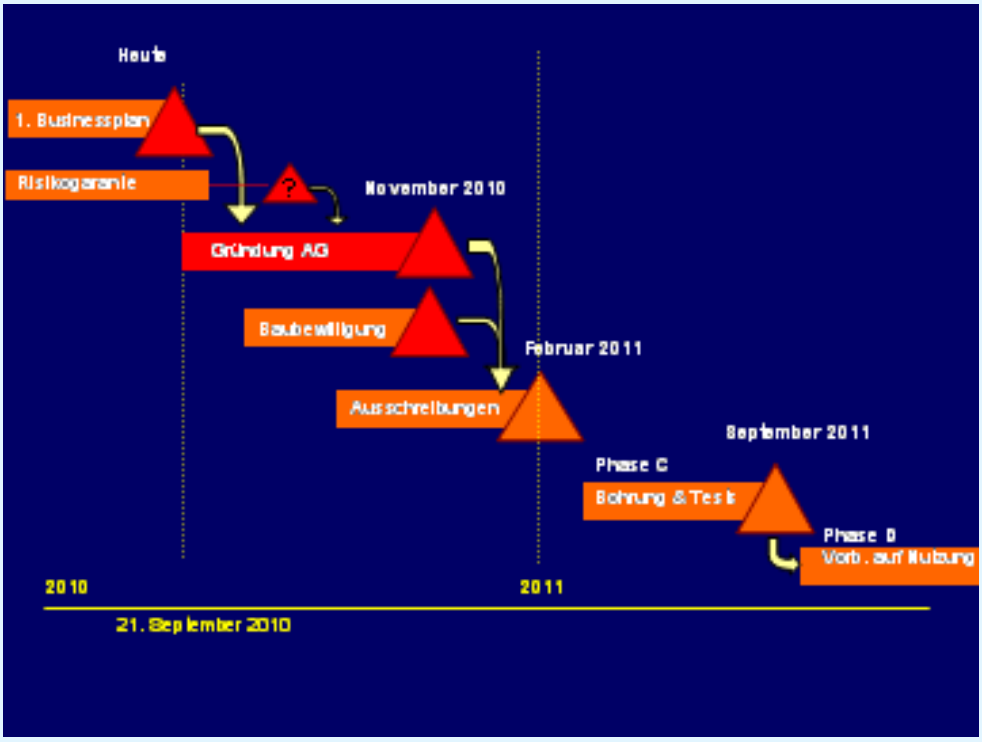
1. La zone d'exfiltration en rive droite du Rhône peut être expliquee de manière rationnelle.
2. L'exploitation des puits actuels et du futur puits AGEPP-1 n'impactera guère le reservoir (dont la plus grande partie se deverse naturellement dans les alluvions du Rhône).
3. Le gneiss fracture est le siège de circulations profondes. Sans cet element, il n'y aurait pas d'anomalie thermique aussi evidente en surface et à faible profondeur.
4. La conductivite hydraulique diminue avec la profondeur. Cependant, le debit nominal de 40 l/s est atteignable par la geometrie du forage visant à intercepter le plus grand nombre possible de discontinuites aquifères.

Les objectifs strategiques du projet sont realistes!

Etapes franchies & à franchir dans le proche futur

1. Juillet 2010: Depôt de la requête de couverture de risque auprès de Swissgrid
2. Octobre 2010: Depôt du permis de construire (permis de forer pour la phase exploratoire) auprès de la commune de Lavey-Morcles
3. Novembre 2010: Obtention de conditions RPC positives (40 c/kWh & definition d'energie nette)
4. Decembre 2010: 2 Oppositions au permis de construire
5. Septembre 2011: Octroi de la couverture de risque
6. Novembre 2011: Convention quadripartite VD, VS, Lavey-Morcles, St. Maurice & levee de l'opposition VS
7. 2010-2011: Preparation aux appels d'offre publics (plateforme, rig, services) et à la structure de management pour la realisation
8. Modèle energetique et pre-contrats de fourniture CAD St. Maurice et Lavey
9. Fin 2011: Business plan pour partenaires finalise
10. Fin 2011 – Janvier 2012: Conventions entre partenaires et entre CESLA SA et Bains-de-Lavey assurant les revenus necessaires et la levee de la dernière opposition
11. Fevrier-mars 2012: Creation de AGEPP SA – lancement des appels d'offre ou …

Planification automne 2010



Planification automne 2011: déjà dépassée!



Que remarquez vous?

- Plus de 1 an de retard!
- Des surcoûts de l'ordre de 500 KCHF
- Des progrès signicatifs dont une première suisse en matière de RPC et couverture de risque, mais …

toujours pas de lumière à la fin du tunnel et des partenaires risquant de se retirer si les derniers obstacles ne sont pas leves prochainement!

Impacts

Niveau projet:

- Travail additionnel important pour negociations, lobbying, etablissement et revue d'accords, conventions, etc.
- Nombre incalculable d'iterations du business plan autant pour la garantie que pour les partenaires sans valeur ajoutee significative
- Risques accrus (disponibilite de foreuses, supervisor, etc.)
- Credibilite reduite envers les futurs clients, autorites et partenaires
- Coûts supplementaires importants hors budget initial

Niveau partenaires:

- Nervosite croissante dans un climat d'incertitude accru et de marges deficitaires
- Interêt diminue (en plus des risques connus de la geothermie viennent les risques calendaires)
- Retrait pur et simple et concentration sur d'autres formes d'energie renouvelable

Pour notre branche, pour la Suisse:

- Perte d'une decennie au moins
- Relegation dans la classe des technologies futuristes et donc dans la recherche pure
- Credibilite fortement reduite

AGEPP – Messages principaux de l'an dernier: ils restent actuels

- Pragmatisme : mieux vaut rester simple et réaliste que trop ambitieux et cher!
- Garantie du risque de forage géothermiques: importante et urgente!
- Bonne équipe de projet = spécialistes éprouvés & bonne «chimie»
- Nécessité de pouvoir se baser sur un réseau d'experts compétents et engagés
- Nécessité d'un partenariat fort et prêt à assumer un certain nombre de risques calculés
- Nécessité d'un soutien local actif
- Nécessité de partager l'expérience entre les divers projets (en amont et en aval) = pooling des compétences au service des différents projets (par exemple: communauté d'intérêt de projets (inter-)communaux
- Nécessité de renforcer la recherche fondamentale et appliquée dans les domaines-clé de la géothermie profonde
- La géothermie profonde à un potentiel élevé, MAIS …. il nous faut un succès
- Les conditions hydrogéologiques sont déterminantes
- Quoi qu'il en soit, la Nature aura le dernière mot!

… et les messages après une année supplémentaire

La structure de financement actuelle necessite des partenariats (trop) larges, complexes et heterogènes

- Prises de decision lentes
- Organes de conduite de milice
- Motivations heterogènes
- Priorites très differentes

→ **Solutions**: Financement public „upfront" + important, couverture de risque etendue aux phases d'etude et faisabilite + prêts à taux preferentiel + conditions cadre positives pour assurances de risque complementaires

Conditions cadre

- Legislations cantonales heterogènes en matière d'utilisation du sous-sol (au contraire des gaziers et petroliers) ouvrant la voie à tous les abus (recours, obstructions, applications tatillonnes)
- Position gouvernementale difficile, lenteurs d'adaptation legislatives et budgetaires au niveau federal
- SSG encore trop faible, trop d'acteurs disparates, trop d'initiatives impromptues (Tiefenschacht, societes cantonales, exageration du risque sismique)

→ **Solutions**: Implementer le plan d'action „geothermie profonde" + associer les milieux industriels, de la recherche + approfondir le dialogue avec l'OFEN, le parlement et les administrations cantonales de l'energie et de l'environnement, transferer le savoir-faire de l'etranger en Suisse et creer des capacites et … surtout

persévérer, convaincre, enthousiasmer le public et les décideurs!!!

AGEPP - Lavey en chiffres



Forage long de 2'375 m (profondeur : 2'300 m), si nécessaire approfondi jusqu'à 3'310 m (3'000 m)

Investissement : **~26 à 28 Mio CHF** (y.c. CAD primaire)

Puissance géothermale : 10’000 kW

Puissance électrique nette : 500 kW

Puissance chauffage à distance : 7 MW

Énergie électrique produite : 3.4 GWh/an

Énergie de chauffage fournie : 26.3 GWh/an

Électricité pour 600 foyers

Chauffage pour 1’200 foyers

Potentiel de réduction CO_2 : **6’500 t/an**



Lavey, juin 2012
Futur forage profond P3200

Merci de votre attention!

Nous nous tenons à votre disposition pour toute question, renseignement ou conseil

Agepp
Alpine Geothermal Power Production

Optimisation de l'exploration géologique en amont d'un forage géothermique profond, à l'exemple d'AGEPP



Gabriele Bianchetti
Directeur ALPGEO Sàrl, Sierre
Responsable du module "Exploration géothermique"
+41-27-456 94 56 *+41-79-639 06 23*
bianchetti@alpgeo.ch *www.alpgeo.ch*

Pascal Vinard
Directeur SI-REN SA, Ville de Lausanne
Chef de projet AGEPP
+41-21-315 83 10 *+41-79-444 82 62*
pascal.vinard@si-ren.ch *www.si-ren.ch*



Penser et agir POSITIF !

Alors, vraiment un forage sur dix ?

Faire taire des bruits infondés

Se tenir au faits

Casser des fantasmes chers à des personnages foncièrement négatifs et pessimistes

- *Think positive !*
- *Yes, we can !*

Bases pour le succès d'un projet de géothermie profonde

Le succès d'un projet de géothermie profonde est déterminé par deux paramètres :

- ***Température de l'eau** : dépend du gradient géothermique. Sauf exceptions locales, en Suisse ce gradient varie entre 30 et 35°C par km. Des températures de 100 à 115°C sont attendues à 3'000 m de profondeur (160 à 185°C à 5'000 m).*

  *Incertitude sur les prévisions : **assez faible**, d'au maximum 5 à 10 %*

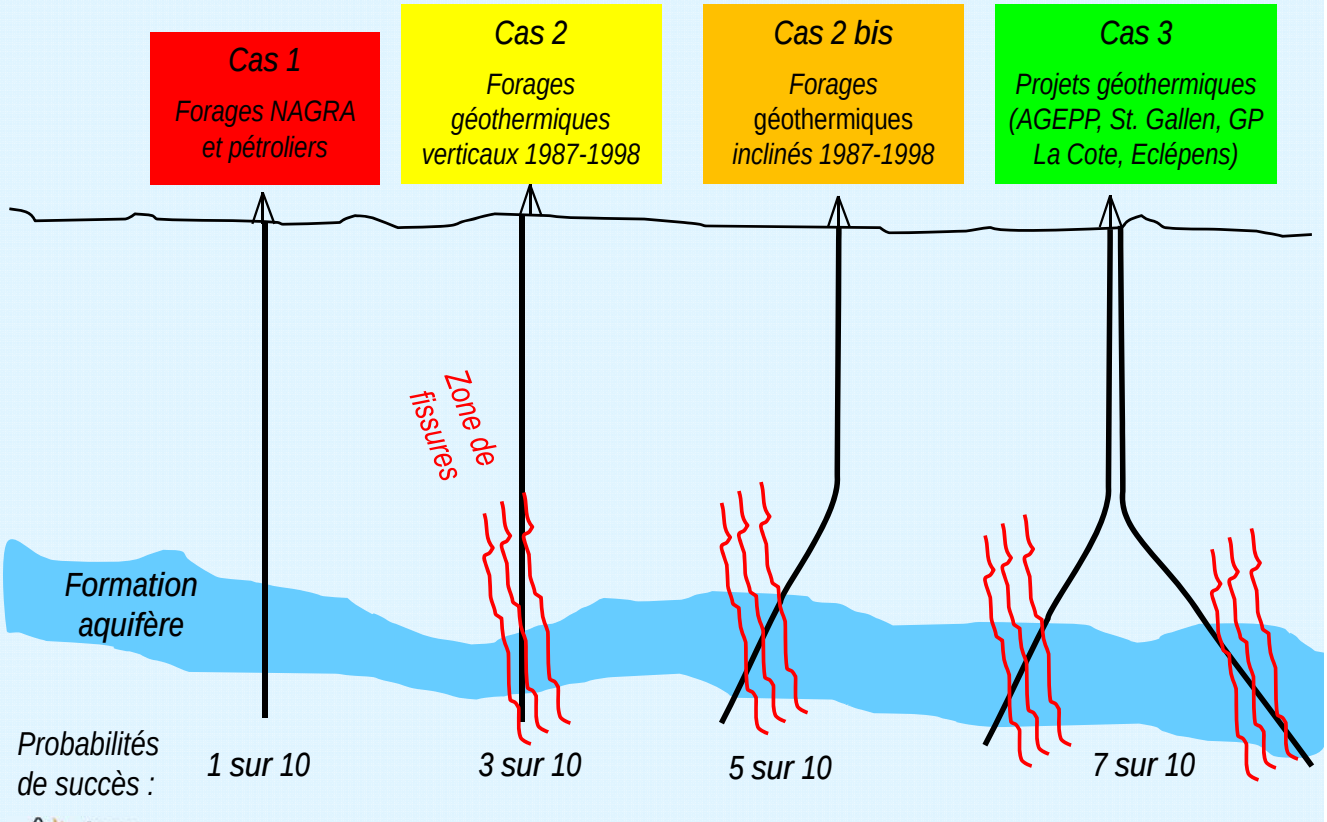
- ***Débit de production** : dépend de la productivité de l'aquifère (perméabilité). La productivité d'un forage est fonction du nombre de fissures recoupées. Les fissures étant subverticales, on dévie le forage pour en recouper un nombre maximal.*

  *Incertitude sur les prévisions : **élevée**, peut varier d'un facteur 10*

  Solutions pour augmenter la productivité d'un forage : acidification (roches carbonatées), fracturation hydraulique modérée

***En conclusion** : pour réussir un projet de géothermie profonde, il faut obtenir un bon débit, c.à.d. recouper un nombre maximal de fissures aquifères!*

Configurations de forages profonds et résultats attendus

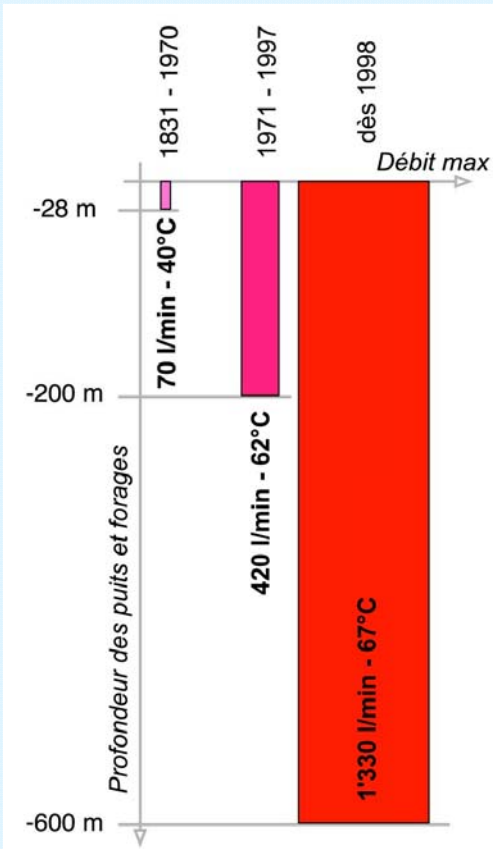


Les enseignements du passé : approfondissement des captages

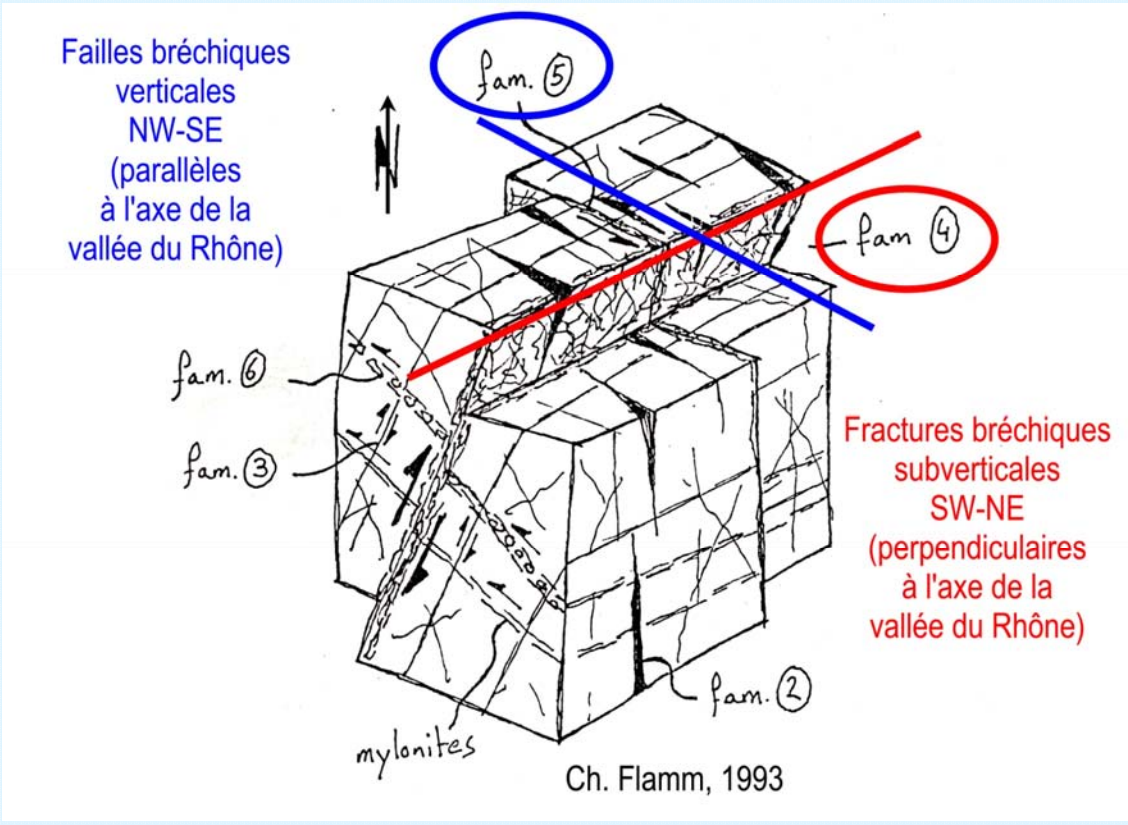
- *Objectifs du futur puits AGEPP :*
  40 l/s et 110° C
- *Débit actuel du puits P600*
  (1997, 594 m de longueur) :
  22 l/s et 65°C
- *Débit du puits P201*
  (1972, 201 m de profondeur) :
  7 l/s et 62°C

A Lavey, l'approfondissement progressif des captages a permis d'augmenter considérablement le débit et la température de la source thermale

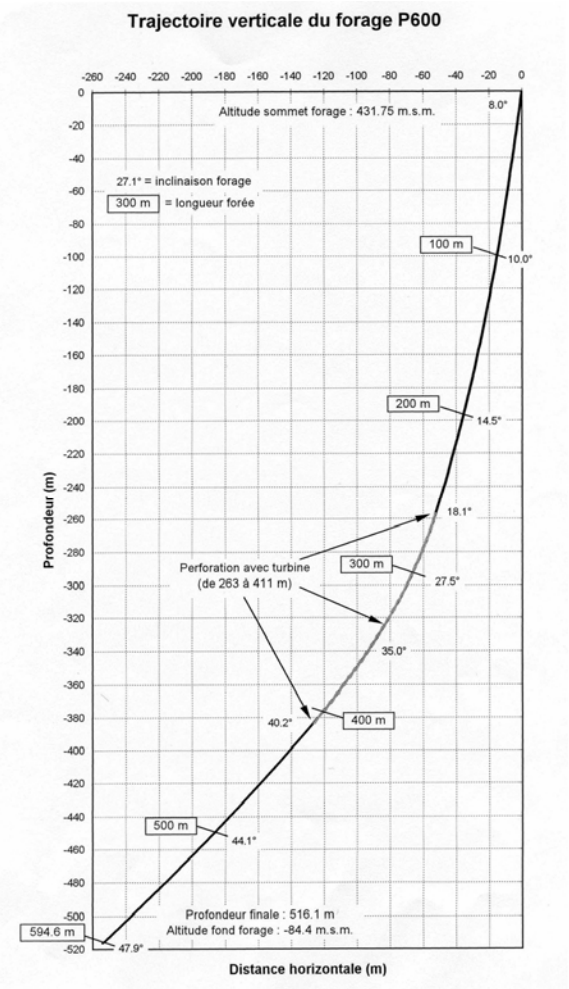
En 1970 : 1 l/s à 40°C
Dès 2000 : 30 l/s à 63°C
(mélange des eaux du P201 et du P600)



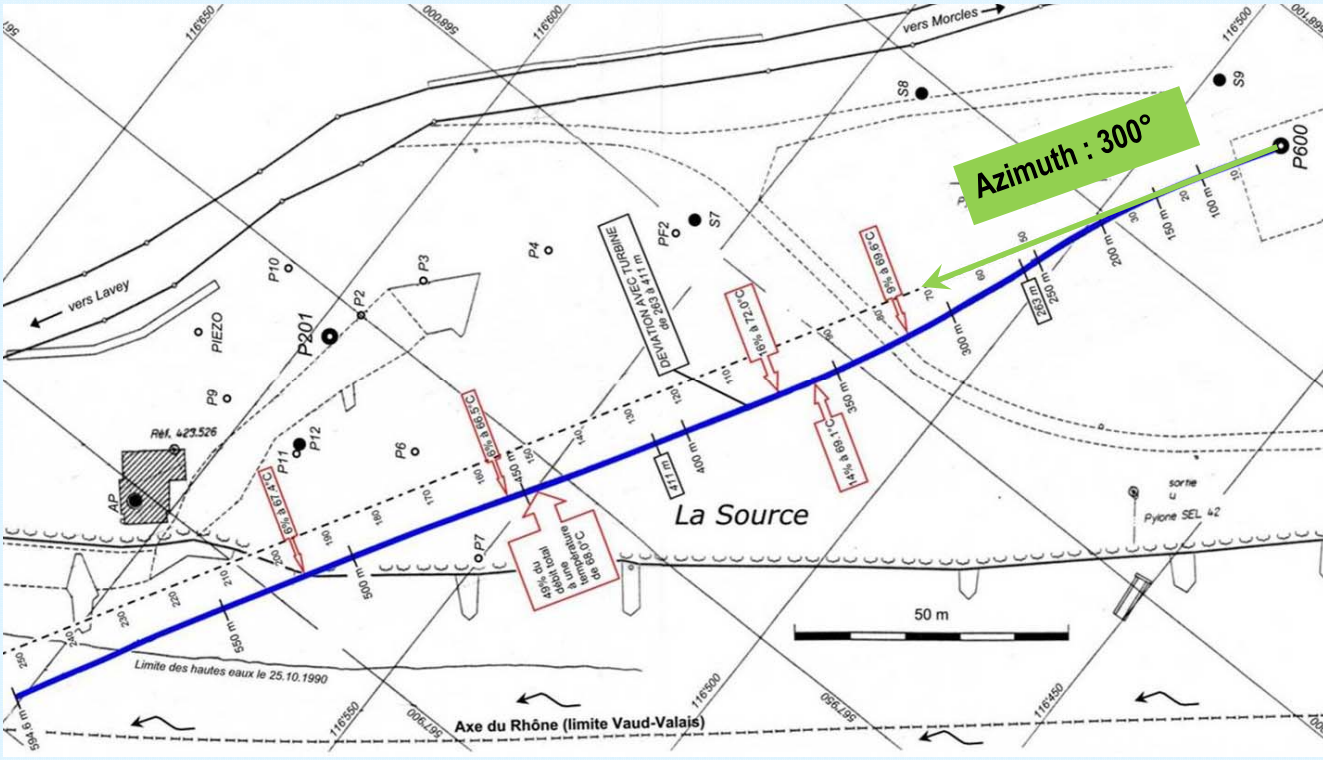
Caractérisation de la fracturation du massif rocheux



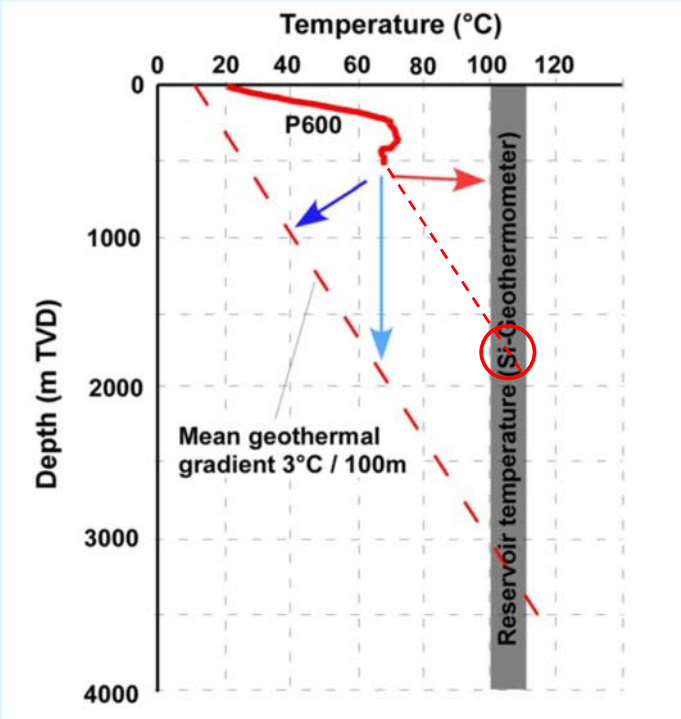
Le puits P600 : un forage dévié et incliné!

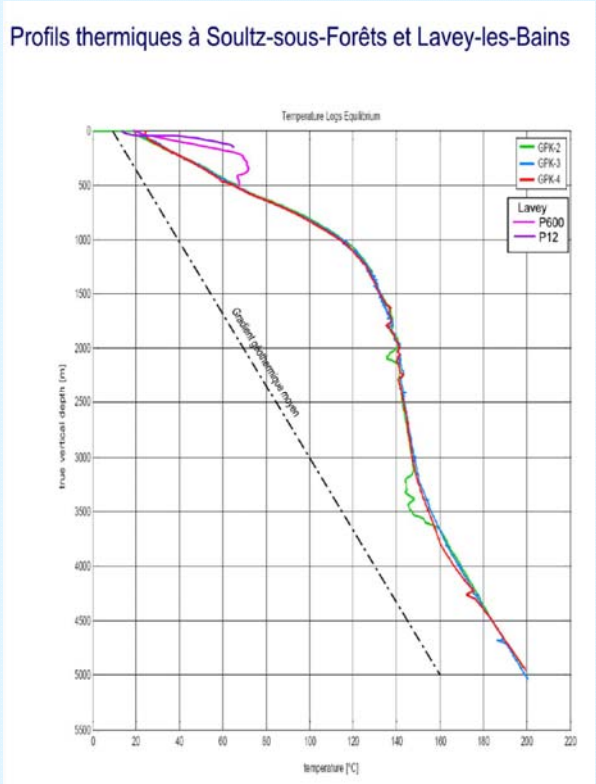


Le puits P600 : un forage judicieusement orienté!

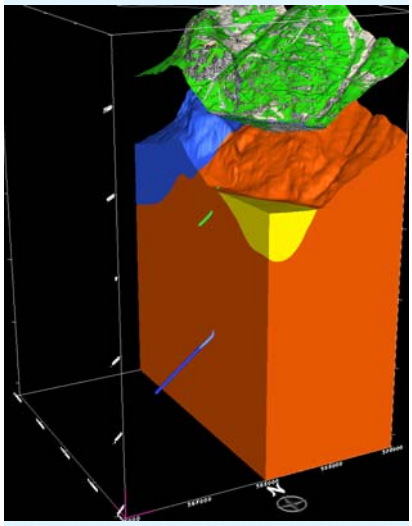


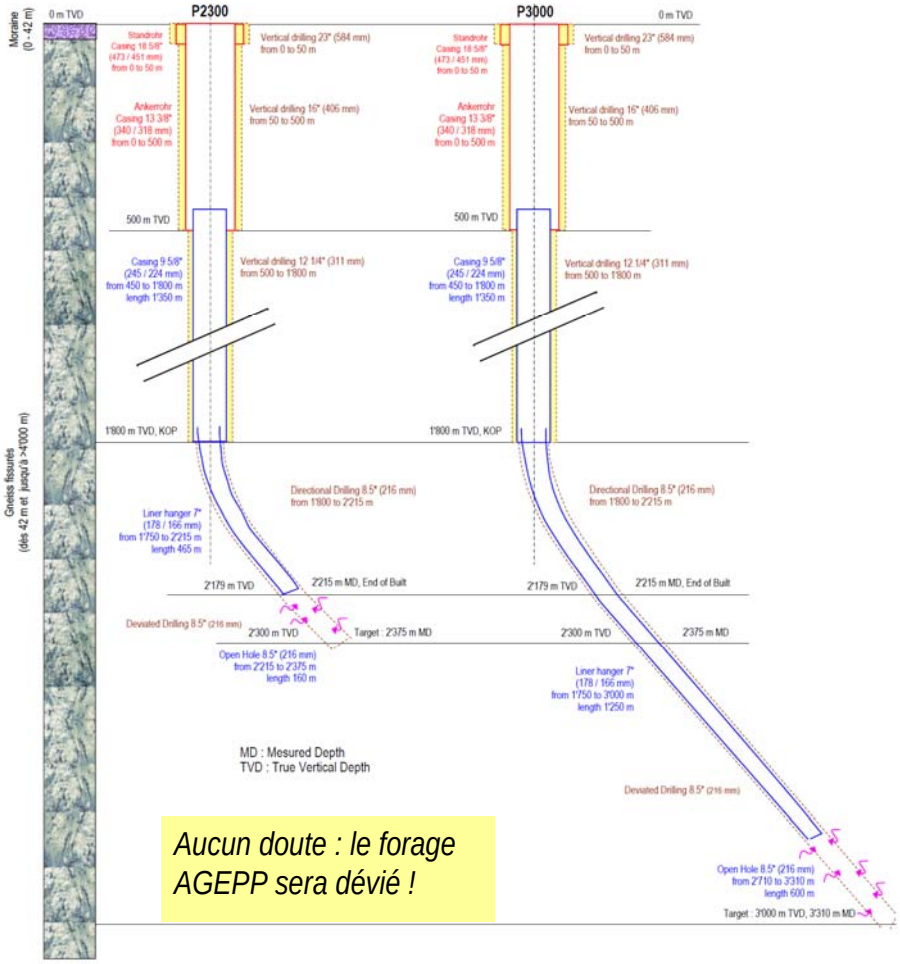
Gradient géothermique: faits et hypothèses



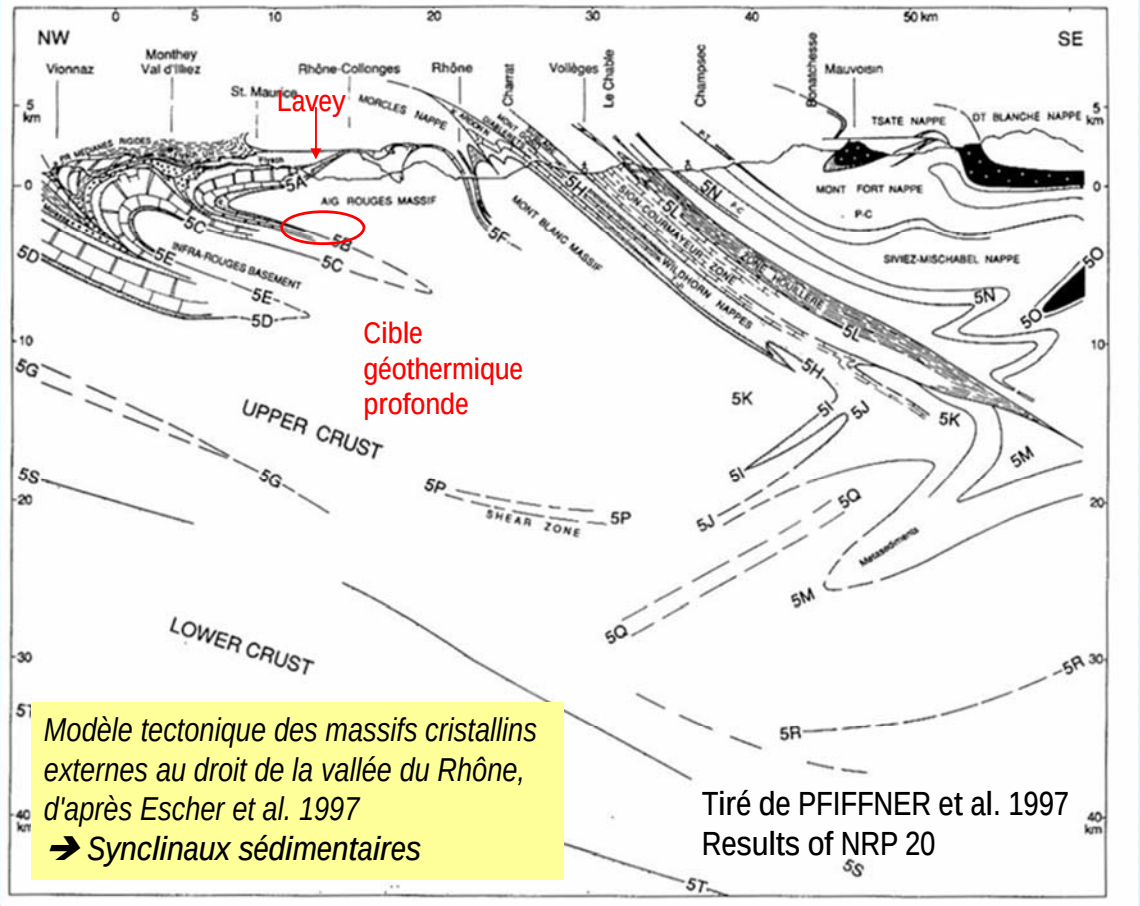


Implantation du forage, design et stratégie





Aucun doute : le forage AGEPP sera dévié !

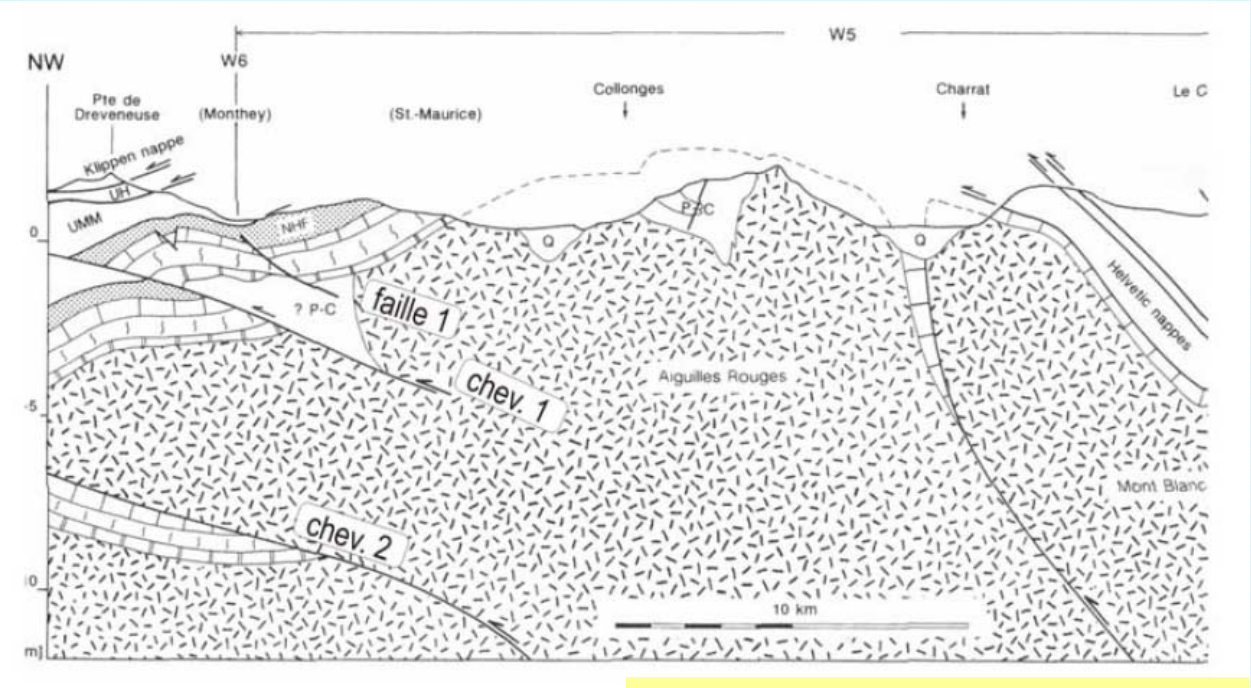


Modèle tectonique des massifs cristallins externes au droit de la vallée du Rhône, d'après Escher et al. 1997
➔ *Synclinaux sédimentaires*

Tiré de PFIFFNER et al. 1997
Results of NRP 20

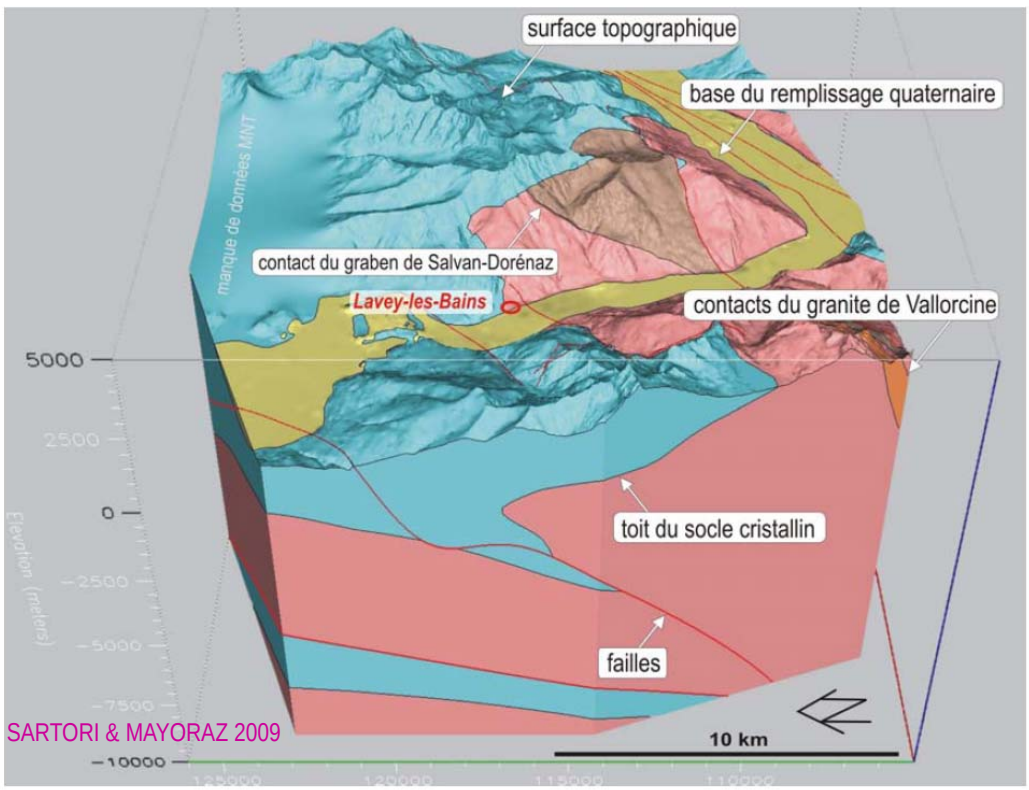
Sismique réflexion à Lavey

Interprétation de la sismique réflexion à Lavey

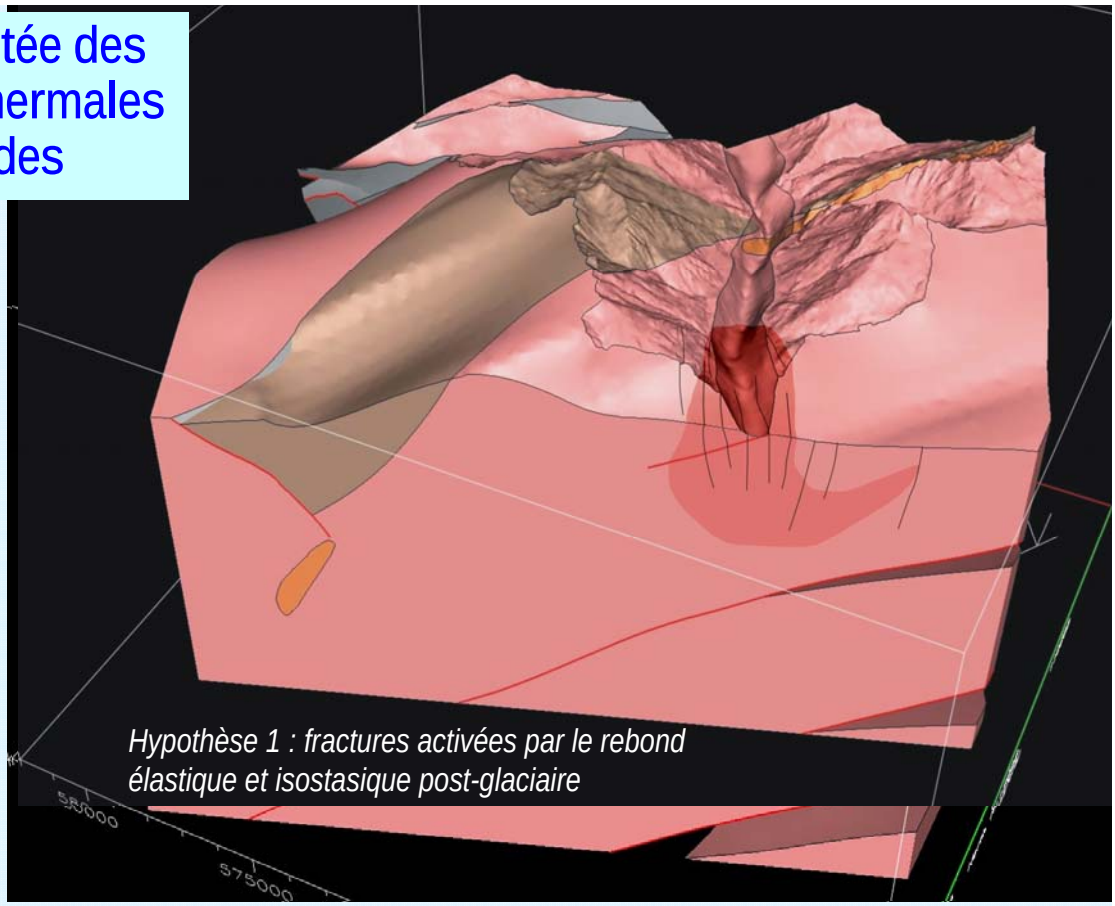


Modèle tectonique des massifs cristallins au droit de la vallée du Rhône, d'après Pfiffner et al. 1997
➔ *Chevauchements infracristallins*

Modèle géologique 3D



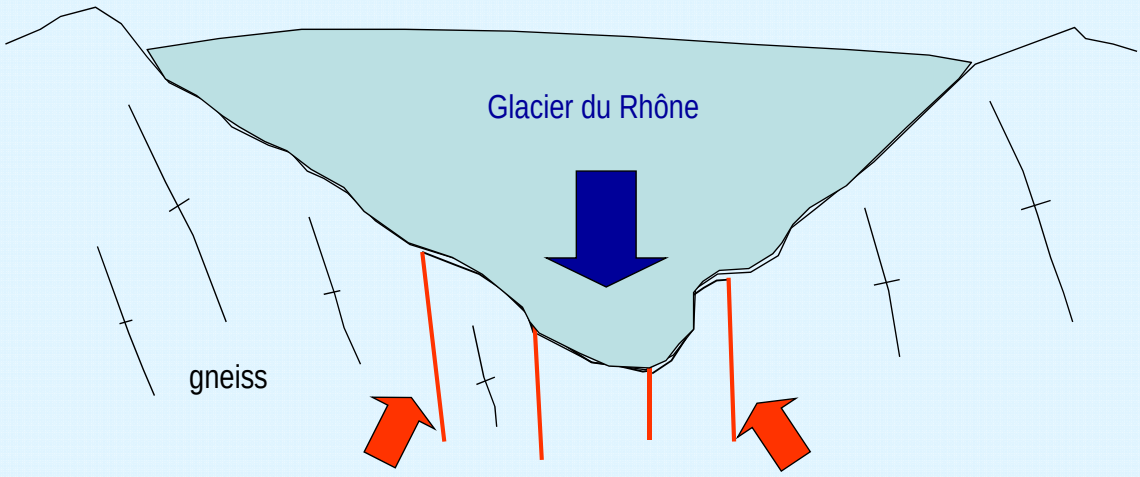
Remontée des eaux thermales profondes



SARTORI & MAYORAZ 2009

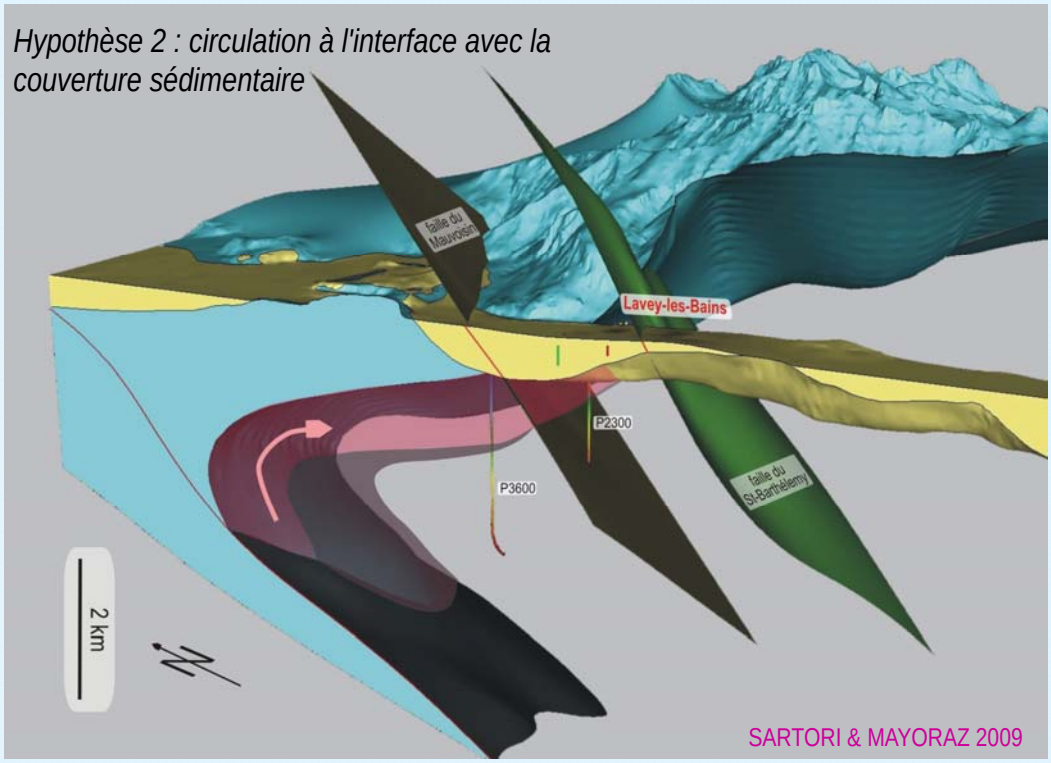
Remontée des eaux thermales profondes à Lavey

Hypothèse 1 : fractures activées par le rebond élastique et isostasique post-glaciaire

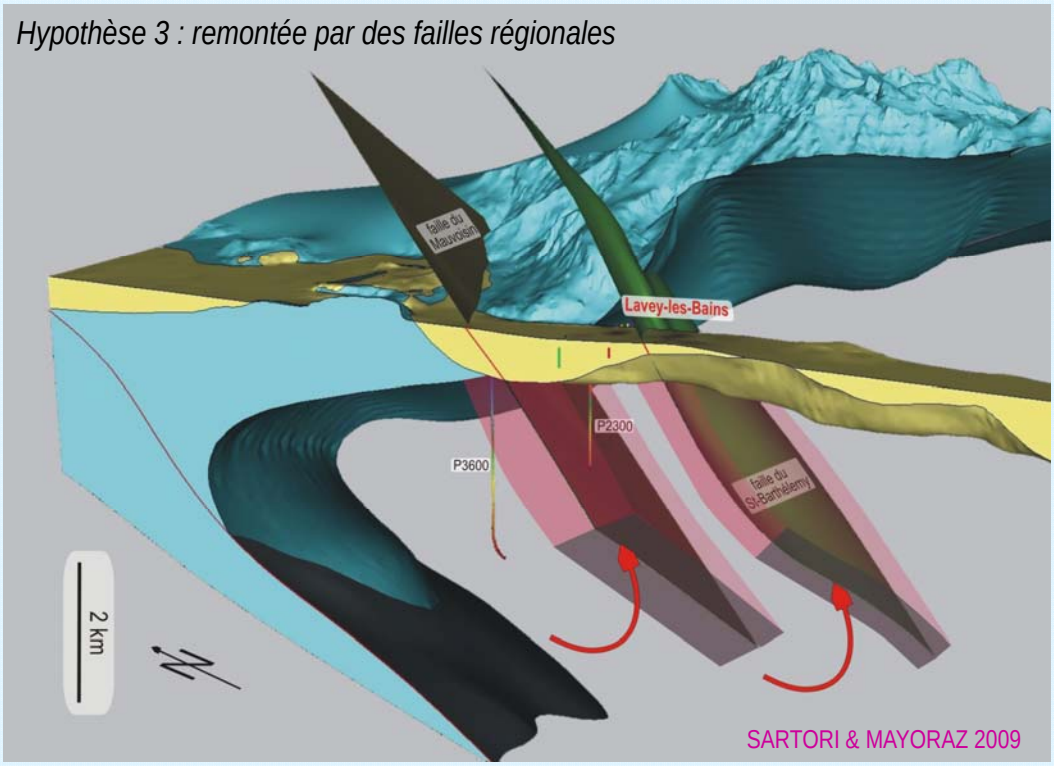


Ouvertures, perméabilités grandes ?

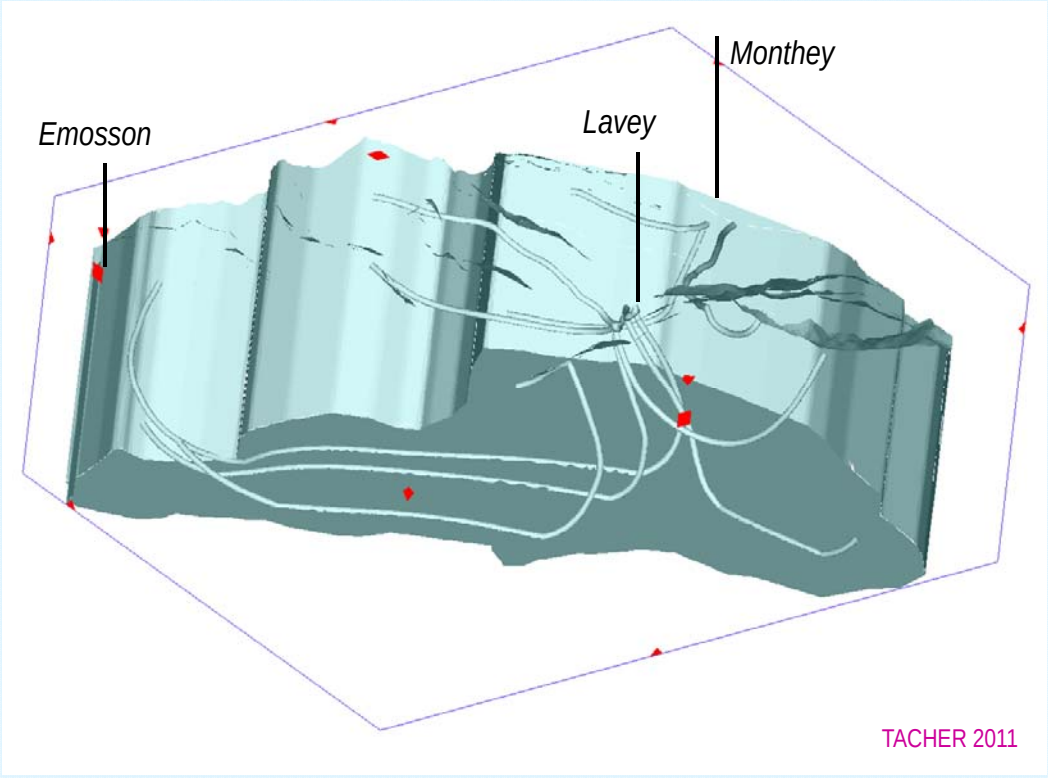
Remontée des eaux thermales profondes à Lavey



Remontée des eaux thermales profondes à Lavey

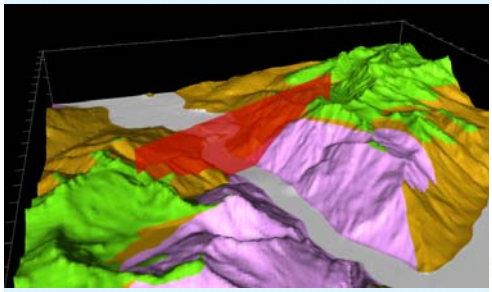


Modèle numérique : lignes de courant

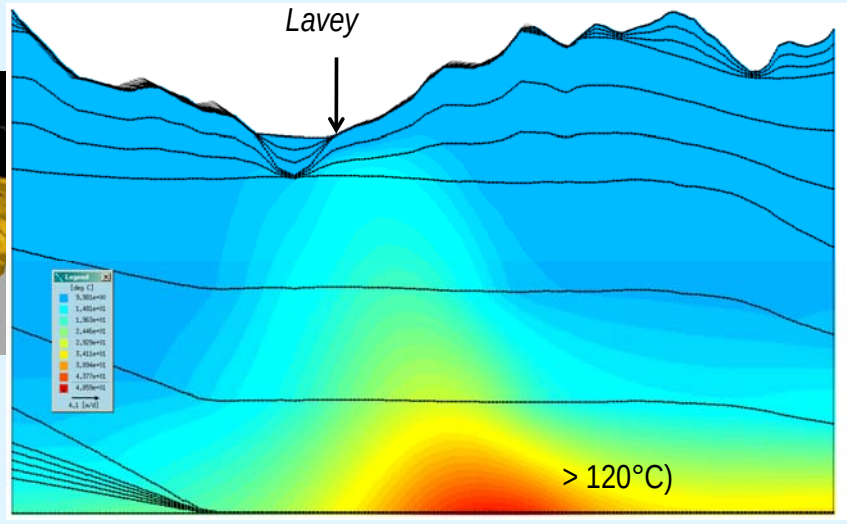


TACHER 2011

Modèle hydrodynamique-thermique : températures calculées



Situation de la coupe



Variante à perméabilité hétérogène et isotrope (sans discontinuités discrétisées)

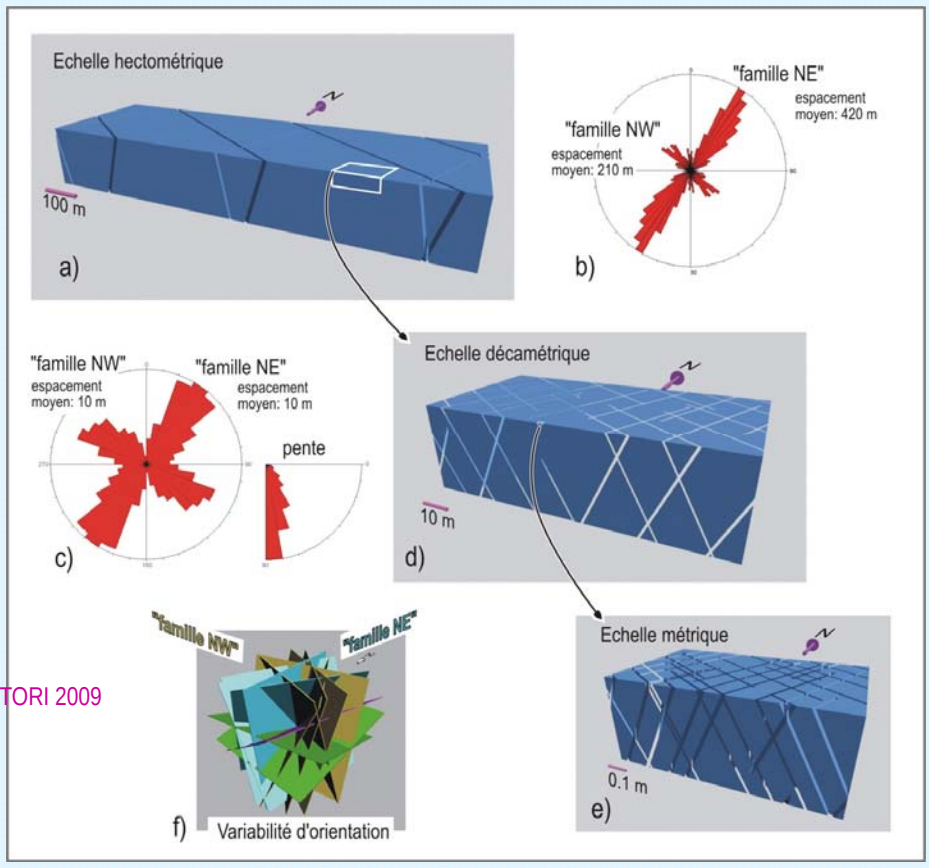
TACHER 2011

Résultats de la modélisation hydrodynamique-thermique

1. *La zone d'exfiltration préférentielle de l'aquifère thermal profond se situe bien en rive droite du Rhône à Lavey;*
2. *Il faut une bonne interconnexion hydraulique entre les discontinuités observées en surface et dans les forages de Lavey-les-Bains pour expliquer les températures très élevées mesurées actuellement jusqu'à environ 500 m de profondeur (forage P600).*

⇨ *Il faut un réseau de fissures ouvertes à l'échelle régionale et locale pour drainer les eaux profondes situées à plus de 3 km jusqu'à la zone d'exutoire à Lavey-les-Bains*

Étude de la fracturation : échelles d'observation



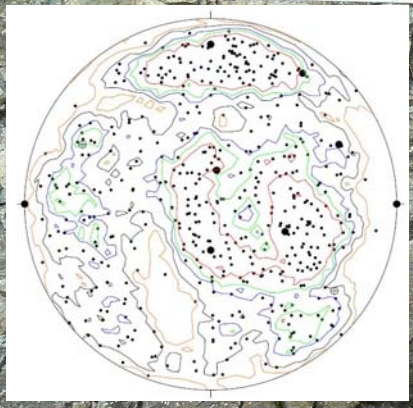
BAILLIFARD & SARTORI 2009

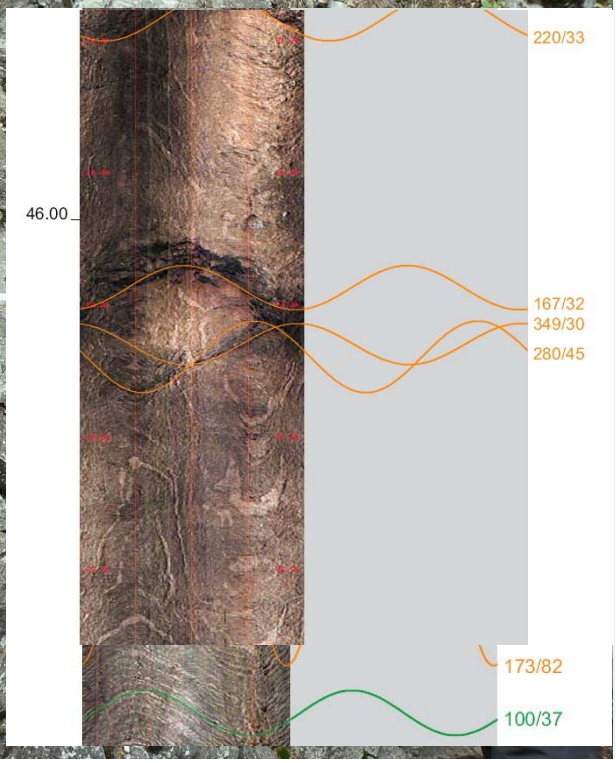
Etude statistique de la fracturation à l'échelle métrique (forages)

Venue d'eau S7/ 46m / 26°

Scanner optique Kellerhals+ Haefeli 2008

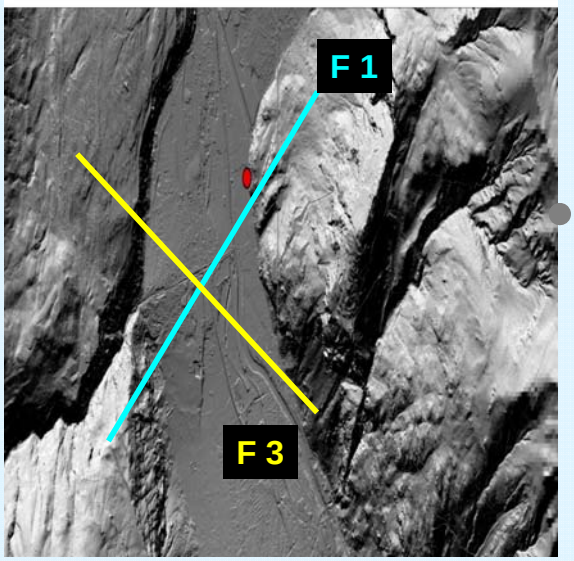
Toutes les fractures

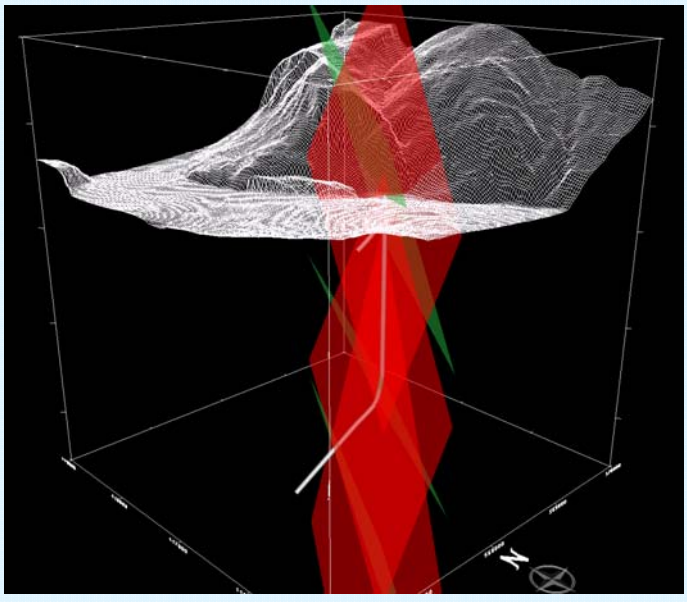




BAILLIFARD & SARTORI 2009

Principales familles de discontinuités



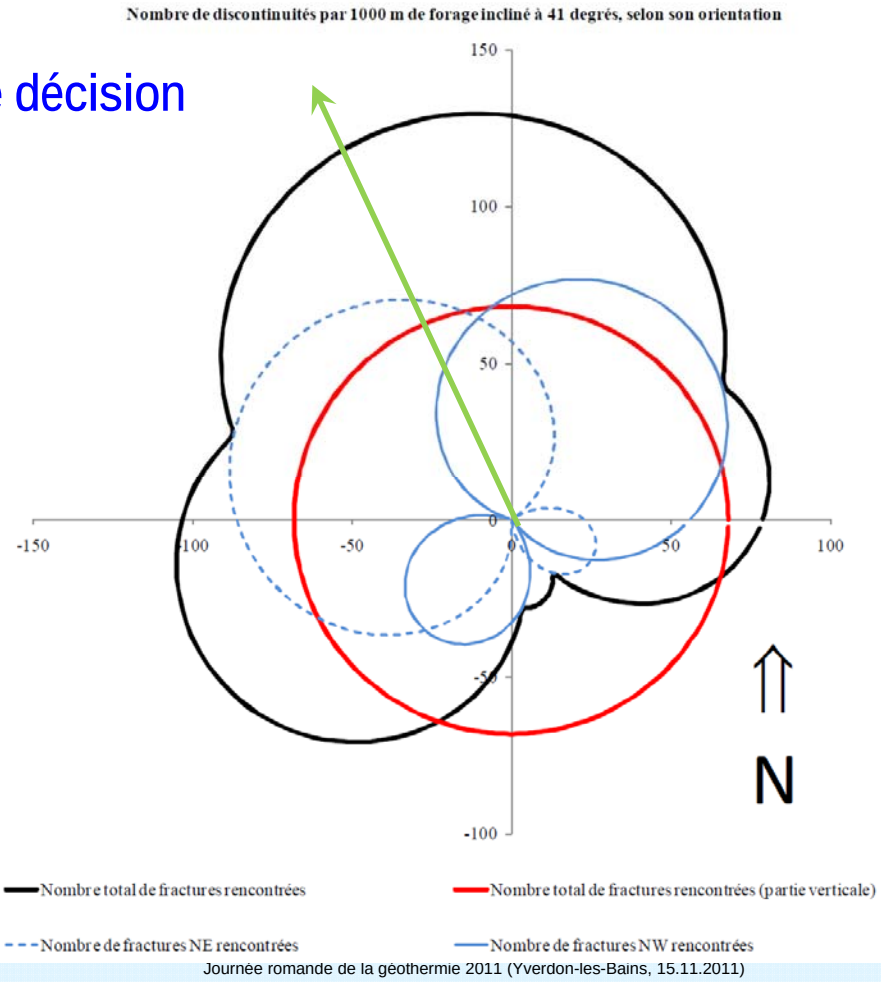


BAILLIFARD & SARTORI 2009

Etude de la fracturation: conclusions

- *2 directions de fractures principales: NW-SE / NE-SW*
- *Pendages 65-75°*
- *Grande variabilité*
- *Semblable à toutes échelles*
- *Fractures plus prometteuses pour le projet: échelle décamétrique + hectométrique (?)*
- *Espacements moyens: 10m*

Outil de décision



AGEPP : les vrais risques ...

... ne sont pas forcément géologiques

La dernière opposition risque de tuer le projet !

... mais

- *Think positive !*
- *Yes, we can !*



Lavey, juin 2011
Futur forage profond P3200

Merci de votre attention!



Analyse du cas 1

Cas 1 : Forages de la NAGRA et forages pétroliers

Objectif des forages : formations rocheuses peu fissurées (stockage de déchets radioactifs ou piège pour les hydrocarbures)

Type de forages : verticaux, profondeurs jusqu'à 5'000 m

Résultats recherchés : formations rocheuses peu perméables et peu aquifères

Investigations : assez poussées (analyse tectonique, sismique réflexion)

Chances de recouper des aquifères productifs : très faibles, **1 sur 10**

Remarques : La grande majorité des forages profonds en Suisse sont de ce type

Analyse du cas 2

Cas 2 : forages géothermiques verticaux 1987-1988

Objectif des forages : formations rocheuses fissurées (captage d'eaux thermales pour chauffage et Bains thermaux)

Type de forages : verticaux (exception : Lavey-les-Bains), profondeurs jusqu'à 2'650 m

Résultats recherchés : formations rocheuses fissurées et aquifères

Investigations préalables : lacunaires (très peu de sismique réflexion)

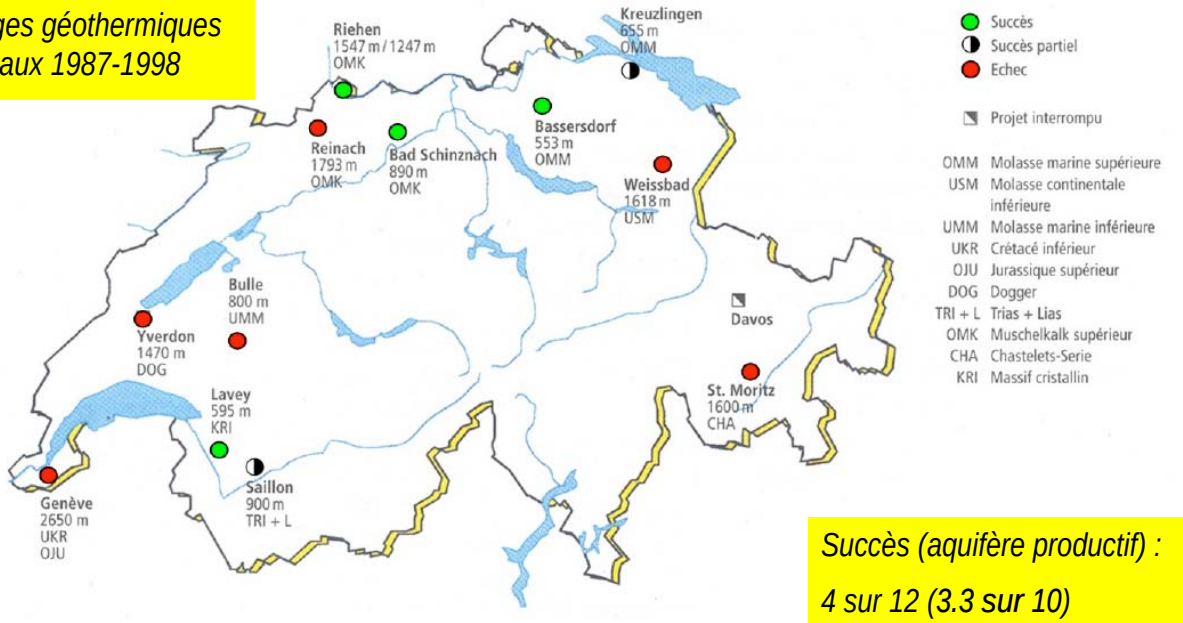
Chances de recouper des aquifères productifs : relativement faibles, 3 sur 10

Remarques : la réalisation de forages inclinées (cas 2 bis) aurait permis d'augmenter la productivité de certains puits (augmentation du débit en raison d'un plus grand nombre de fissures recoupées). Chances de succès : 5 sur 10

Forages géothermiques réalisés de 1987 à 1998 en Suisse

Cas 2

Forages géothermiques verticaux 1987-1998



Succès (aquifère productif) :

4 sur 12 (3.3 sur 10)

Figure 3.4.2 : Situation, profondeur et état des projets de forages géothermiques profonds en Suiss effectués entre 1987 et 1998 avec l'aide de la Confédération (modifiée d'après OFEN 1998).

Analyse du cas 3

Cas 3 : projets de géothermie profonde actuels (AGEPP, St. Gallen, GP La Côte, Eclépens)

Objectif des forages : formations rocheuses fissurées (captage d'eaux chaudes pour production d'électricité et valorisation en cascade de la chaleur)

Type de forages : doublet, forages déviés, profondeurs jusqu'à 5-6'000 m

Résultats recherchés : formations rocheuses fissurées et aquifères

Investigations préalables : assez poussées (analyse tectonique, sismique réflexion)

Chances de recouper des aquifères productifs : élevées, *7 sur 10*

Remarques : pour le projet GP La Côte, les accidents tectoniques visées par les forages profonds ont une largeur exceptionnelle (jusqu'à 2-3 km). Les chances de recouper des aquifères productifs sont encore plus élevées

Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève PGG

Journée romande de la géothermie
15 novembre 2011
Yverdon

Guillaume Cervera – Géotechnique appliquée Dériaz SA

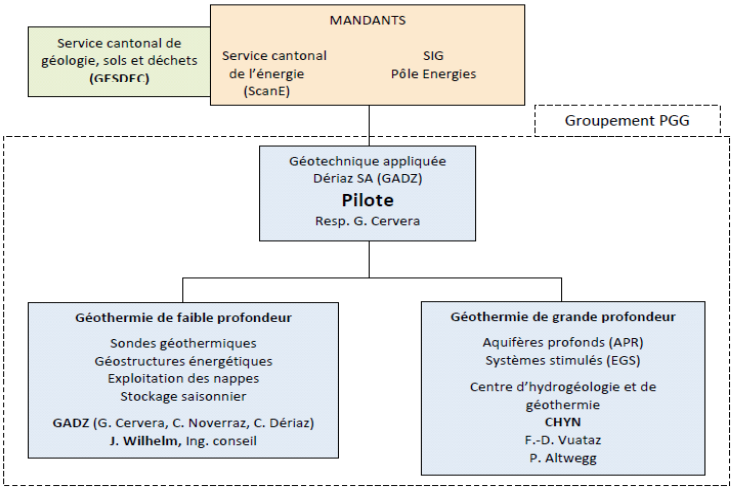
Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

PLAN DE LA PRESENTATION

- Cadre de l'étude
- Genève: contexte général
- Géologie de la région genevoise
- Géothermie de faible profondeur
- Géothermie de grande profondeur
- Bilan et perspectives

Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Cadre de l'étude PGG



Géotechnique appliquée Dériaz SA *Journée romande de la géothermie - Yverdon 15.11.2011* 3

Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Contexte général (1)



Canton de Genève

- 282 km^2
- 465'000 habitants
- 1650 hab/km^2
- 100 km de frontière avec la France
- 4.5 km de frontière avec la Suisse (Vaud)

- alt. max. : 516 m
- alt. min. : 332 m
- Les reliefs montagneux de la région (Jura, Salève, Voirons, Vuache) sont tous situés en France)

Coupe géologique

Géotechnique appliquée Dériaz SA *Journée romande de la géothermie - Yverdon 15.11.2011* 4

Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Contexte général (2)

Orientation de la politique énergétique cantonale

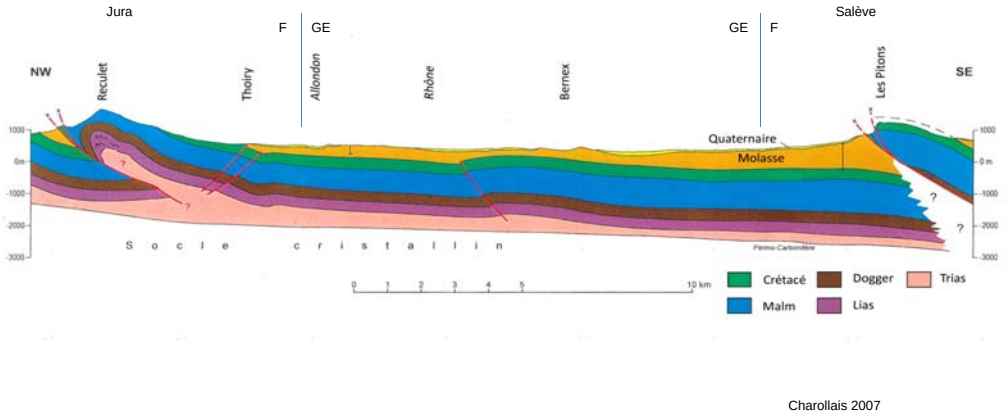
- Adoption officielle du principe de la société à 2'000 W sans nucléaire
- 2'000 W = 1'500 W-ER + 500 W-Fossile
- Une des priorités: développement de l'utilisation des énergies renouvelables (dont la géothermie)

- Important: à Genève, un fournisseur principal d'énergie: SIG

Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géologie (1)

Coupe géologique du Bassin genevois entre Jura et Salève



Charollais 2007

Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géologie (2)

Quelle géologie pour quelle géothermie ?

Catégorie de géothermie	Géologie
Faible profondeur (→ 400 m)	Quaternaire et Molasse
Grande profondeur (plusieurs kilomètres)	Crétacé, Jurassique, Trias Socle

Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

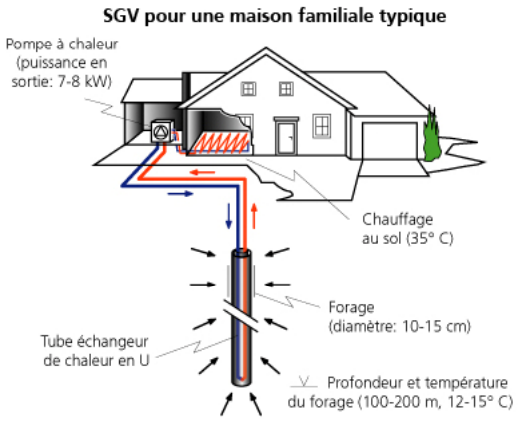
Géologie (3)

Grande densité d'information géologique à Genève

- Cadastre géologique cantonal (environ 15'000 forages répertoriés)
- Classification unifiée des sols depuis 50 ans
- Traitement des données par le GESDEC (Service de géologie, sols et déchets)
  - Cartes de synthèse (par ex. toit de la Molasse)
  - Carte hydrogéologique du canton
- Base de données avec plusieurs milliers de résultats d'essais géotechniques (GADZ)

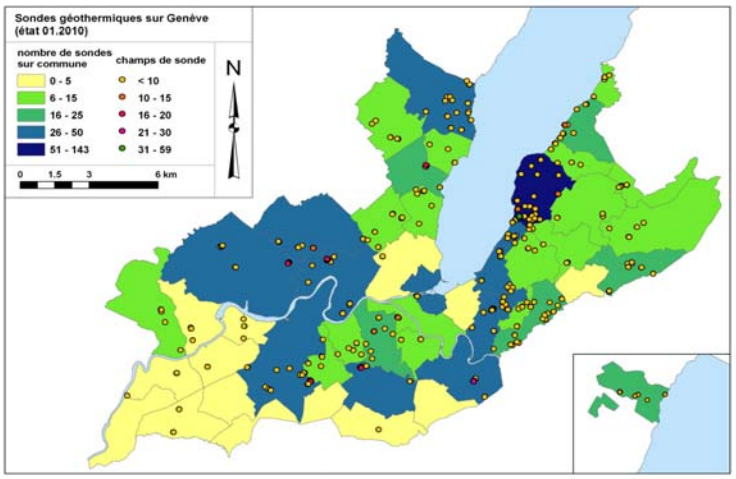
Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géothermie de faible profondeur
Sondes géothermiques verticales (1)



Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géothermie de faible profondeur
Sondes géothermiques verticales (2)



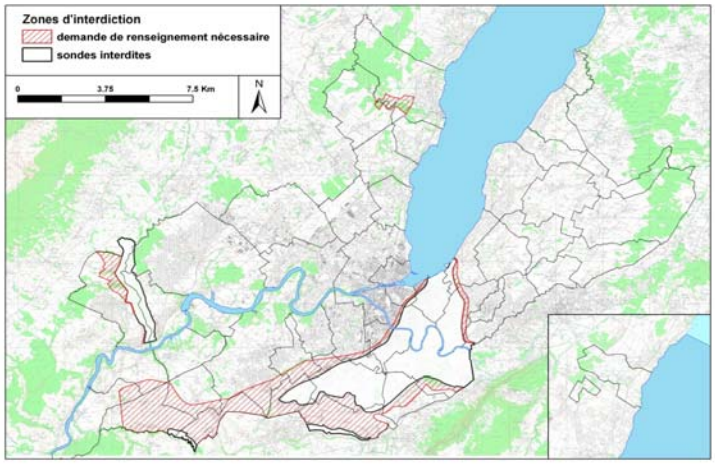
Au 1er janvier 2010:
+ de 1'000 sondes

Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géothermie de faible profondeur

Sondes géothermiques verticales (3)

Zones d'interdiction liées à la protection des nappes souterraines
(partout ailleurs, autorisé)

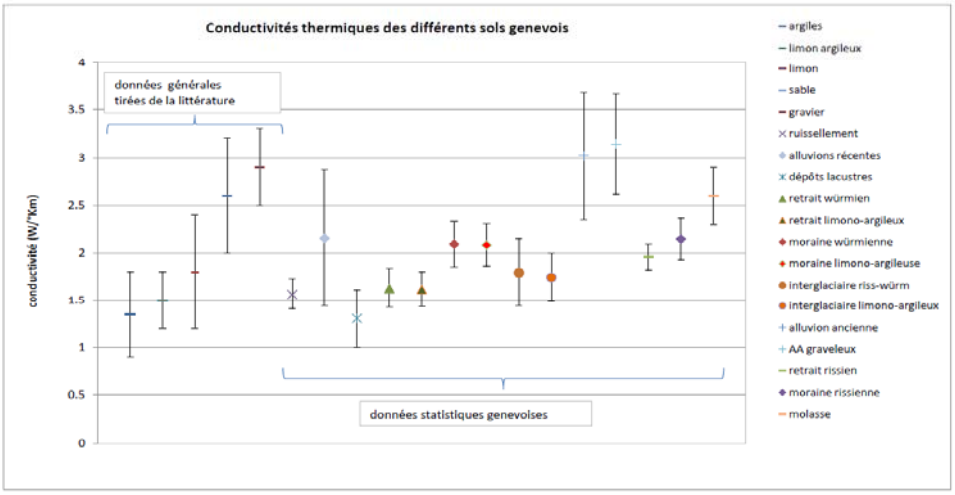


Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géothermie de faible profondeur

Sondes géothermiques verticales (4)

Etude statistique des paramètres géothermiques des sols genevois

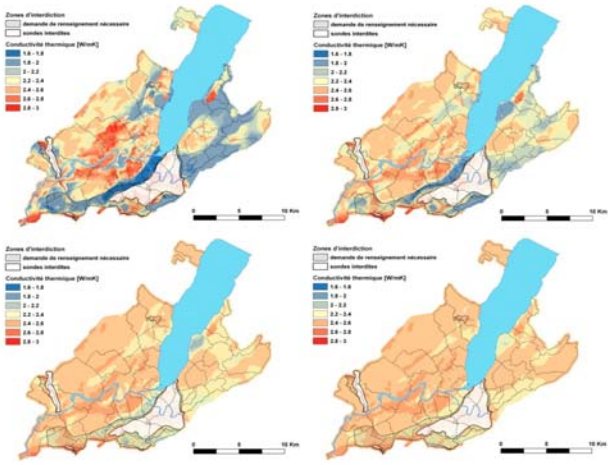


Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géothermie de faible profondeur
Sondes géothermiques verticales (5)

50 m

100 m



200 m

300 m

Conductivités thermiques équivalentes pour différentes longueurs de sondes

Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géothermie de faible profondeur
Sondes géothermiques verticales (6)

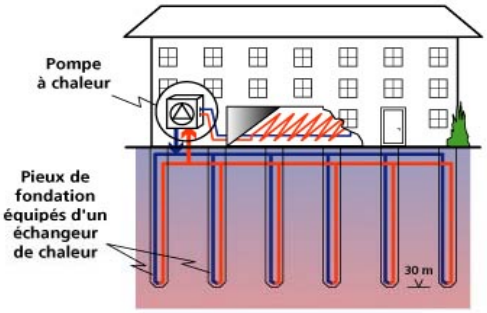
Estimation du potentiel cantonal des SGV

- Simulation avec programme Pilesim
- Paramètres géothermiques tirés des cartes synthétiques
- Plusieurs scénarios tenant compte de différents mode d'exploitation (avec ou sans recharge)
- Prise en compte des données de l'aménagement du territoire (surfaces construites, surfaces de développement, zones non constructibles)
- Estimation « réaliste »:
  - ❖ chauffage: 1'200 GWh/an (demande cantonale actuelle: 6'000 GWh/an)
  - ❖ rafraichissement: 1'000 GWh/an

Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géothermie de faible profondeur
Géostructures énergétiques (1)

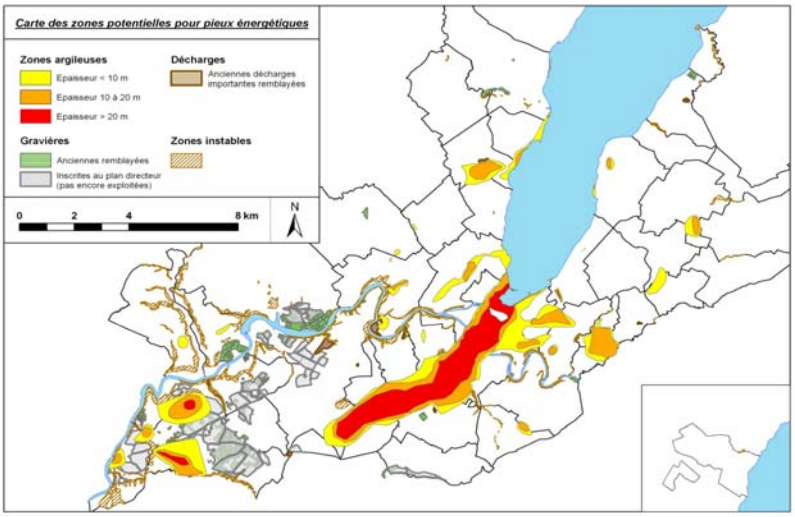
Plusieurs techniques existent mais principalement:
Pieux énergétiques



Encore peu utilisé à Genève
(1 seule installation)

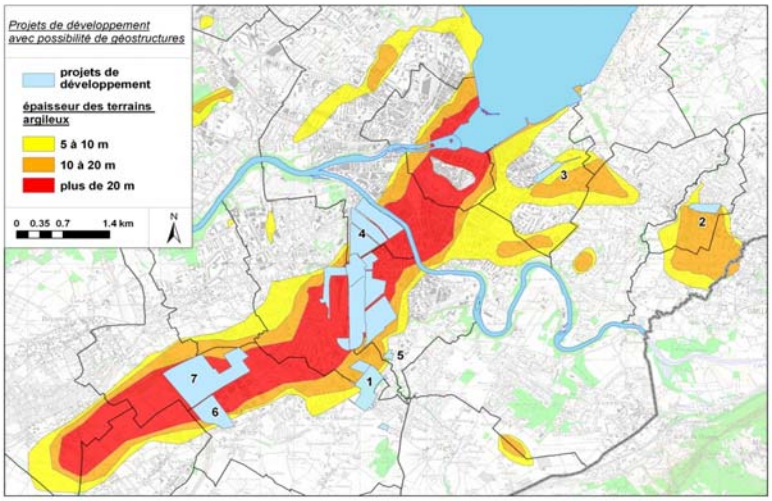
Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géothermie de faible profondeur
Géostructures énergétiques (2)



Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géothermie de faible profondeur
Géostructures énergétiques (3)



1: La Chapelle – Les Sciez
2: Gare de Chêne-Bourg
3: Gare des Eaux-vives
4: Praille-Acacias-Vernets (PAV)
5: Grange-Collomb
6: Extension ZIPLO
7: Les Cherpines

Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

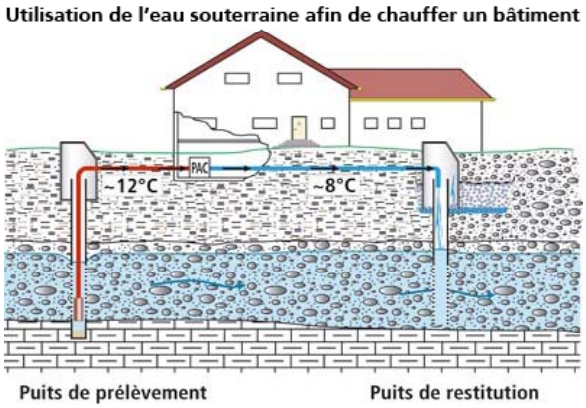
Géothermie de faible profondeur
Géostructures énergétiques (4)

Estimation du potentiel cantonal des GEN

- Recoupement des zones potentielles avec zones de développement
- Hypothèses pour indices de développement à l'horizon 2030 (pourcentage de constructions, gabarits, proportion de bâtiments équipés en pieux énergétiques)
- Paramètres géothermiques tirés des cartes synthétiques
- Estimation réaliste à l'horizon 2030:
  - ❖ chauffage: 30 GWh/an (demande cantonale actuelle: 6'000 GWh/an)
  - ❖ rafraichissement: entre 9 et 30 GWh/an
- Valorisation géothermique de certains tronçons du CEVA à l'étude (parois moulées)

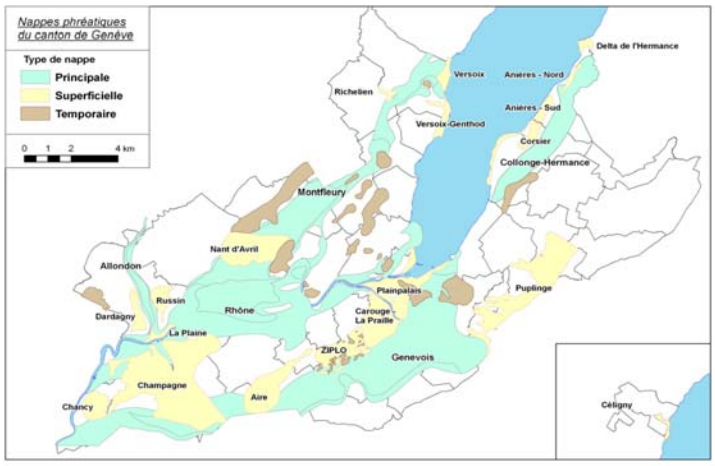
Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géothermie de faible profondeur
Exploitation des nappes phréatiques peu profondes (1)



Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géothermie de faible profondeur
Exploitation des nappes phréatiques peu profondes (2)



- **4 nappes principales**
  - ❖ 2 exploitables
  - ❖ 2 non exploitables (eau potable)
- **Env. 20 nappes superficielles**
  - ❖ + ou - exploitables
- **Env. 20 nappes temporaires**
  - ❖ non exploitables

Encore peu utilisé à Genève (quelques installations)

Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géothermie de faible profondeur

Exploitation des nappes phréatiques peu profondes (3)

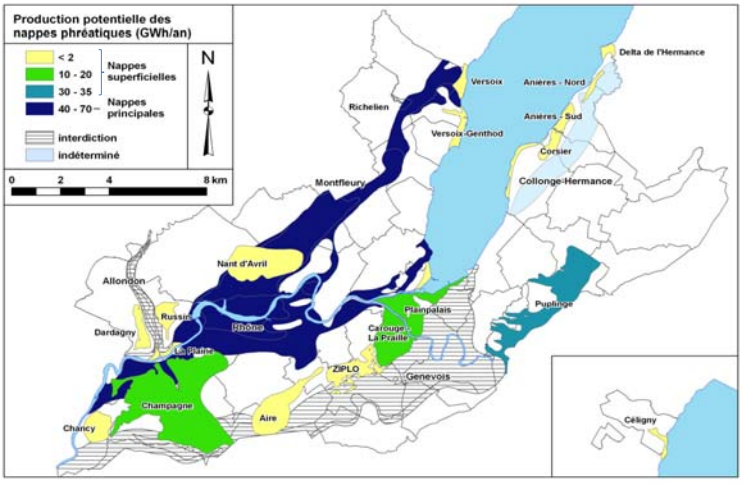
Estimation du potentiel cantonal des NAP

- Compilation des données hydrogéologiques existantes (nappes relativement bien connues à Genève)
- Simulation différenciée pour nappes principales et nappes superficielles
- Prise en compte des zones constructibles et de développement
- Estimation réaliste:
  - ❖ chauffage: 110 GWh/an (demande cantonale actuelle: 6'000 GWh/an)
  - ❖ rafraichissement: 80 GWh/an
- *Rappel: étude hydrogéologique préalable détaillée nécessaire, sans garantie de succès (principalement pour nappes superficielles très hétérogènes)*
  - ➢ ***Risque financier initial***

Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géothermie de faible profondeur

Exploitation des nappes phréatiques peu profondes (4)

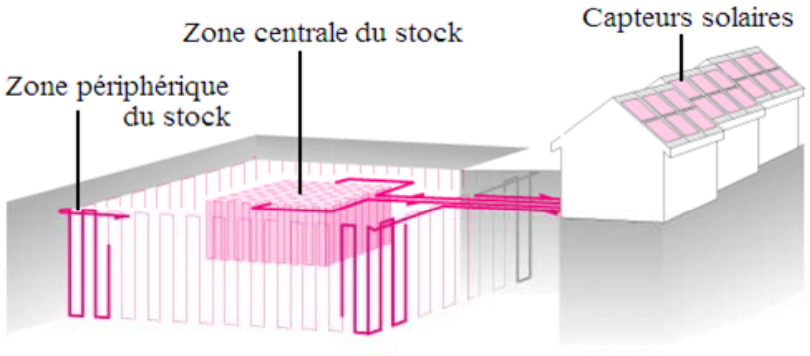


Calcul à partir des surfaces correspondant aux zones constructibles et de développement

Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géothermie de faible profondeur
Stockage saisonnier (1)

Nombreux systèmes possibles.
Le plus classique: utilisation d'un champ de sondes géothermiques



Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

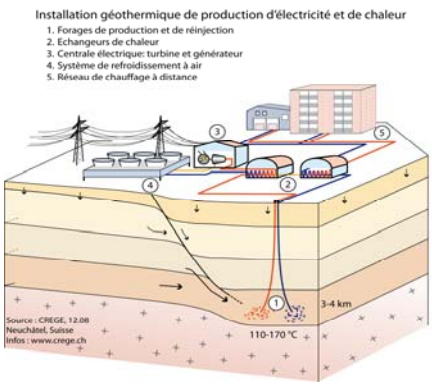
Géothermie de faible profondeur
Stockage saisonnier (2)

Synthèse stockage saisonnier pour Genève

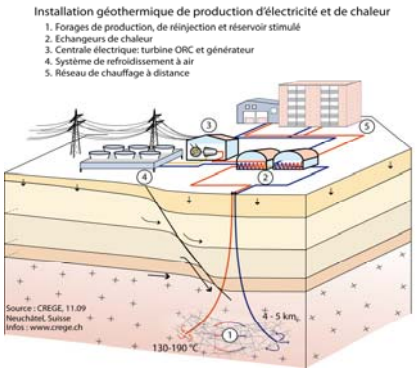
- Terrains favorables pour du stockage dans le sol, notamment par l'intermédiaire de sondes géothermiques verticales
- 2 gros projets actuellement à l'étude à Genève
  - Florence – Champendal (récupération d'énergie solaire pour immeubles)
  - Les Cherpines (récupération de rejets thermiques d'entreprises et utilisation pour quartier d'habitation)
- Potentiel: difficile à estimer car dépend de la réalisation de projets. Probablement quelques GWh/an à quelques dizaines de GWh/an.

Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géothermie de grande profondeur (1)



Aquifères profonds (APR)



Systèmes stimulés (EGS)

Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géothermie de grande profondeur (2)

Historique des projets de géothermie profonde dans le Bassin genevois Suisse:

Aquifères profonds (APR)

- Forage de Thônex (1993)
- Profondeur verticale: 2'530 m
- Résultats décevants (débit faible)
- Projet interrompu

Systèmes stimulés (EGS)

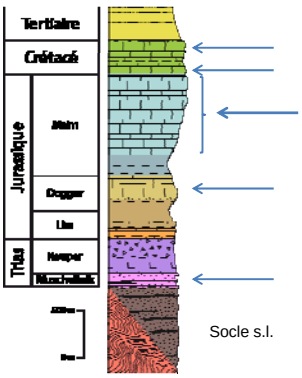
- Projet GGP Genève dès 1998
- Projet suspendu en 2007 au stade des études suite à l'arrêt du projet de Bâle

France (Ain, Haute-Savoie): aucun projet

Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géothermie de grande profondeur (3)

Aquifères profonds



Stratigraphie synthétique des formations géologiques du Bassin genevois

Formations aquifères

Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géothermie de grande profondeur (4)

Sources de données

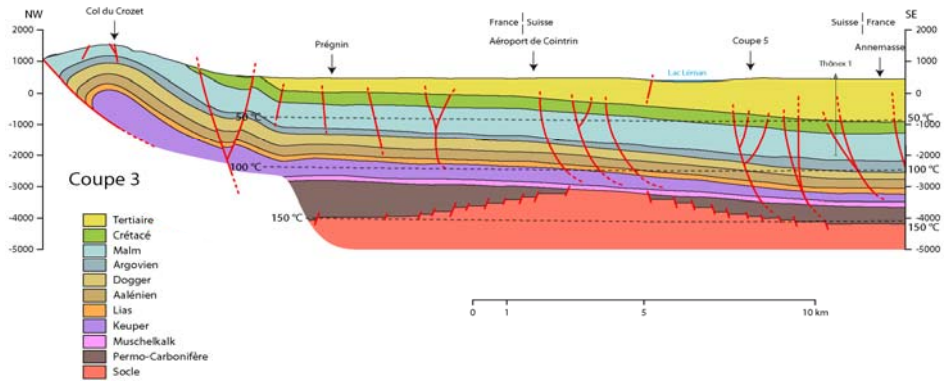
- Géologie
  - Cartes géologiques (Suisse et France)
  - Articles, thèses
  - Forages profonds (Thônex, forages pétroliers français)
- Géophysique (sismique)
  - Campagnes 1987 et 1990 (interprétation G. Gorin – Uni GE)
  - Thèse S. Paolacci (Uni GE)

Résultats

- 5 coupes géologiques
- 4 cartes de potentiel géothermique (Crétacé, Malm, Dogger, Muschelkalk)

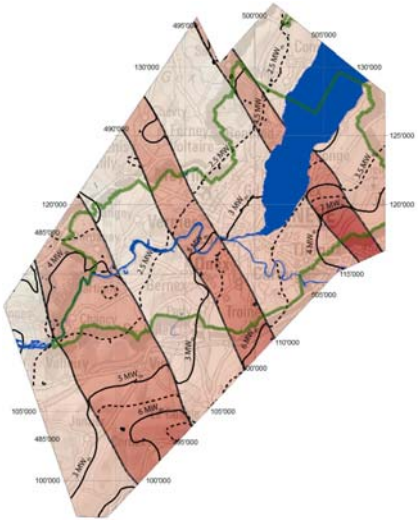
Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géothermie de grande profondeur (5)



Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géothermie de grande profondeur (6)



Aquifères profonds:

Puissance théorique pour un doublet dans le Dogger

	Température (°C)	Débit ($l \cdot s^{-1}$)	Puissance (Mw_{th})
Roche massive	63 – 112	10 – 15	1.4 – 5.1
Roche tectonisée		15 – 30	2.1 – 10.3

Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Géothermie de grande profondeur (7)

Synthèse

- Aquifères de grande profondeur
  - ❖ Contexte géologique général défini: potentialités avérées
  - ❖ Mais dans le détail, les connaissances restent encore lacunaires, notamment pour la tectonique
  - ❖ Puissances envisageables: de 1 à 10 MWth par doublet
  - ❖ Potentiel à l'horizon 2030: si tout va bien, 10 doublets, 200 GWh thermiques/an
- Systèmes stimulés
  - ❖ Socle vers 3.5 - 4 km de profondeur
  - ❖ Ressource importante (chaleur + électricité)
  - ❖ Puissances envisageables: 30 MWth + 3 Mwe par centrale
  - ❖ Potentiel à l'horizon 2030: probablement rien (amélioration des technologies).
  - ❖ Potentiel à l'horizon 2050 ? …..Si tout va bien…2'400 GWh thermiques…240 GWh électriques/an.

Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

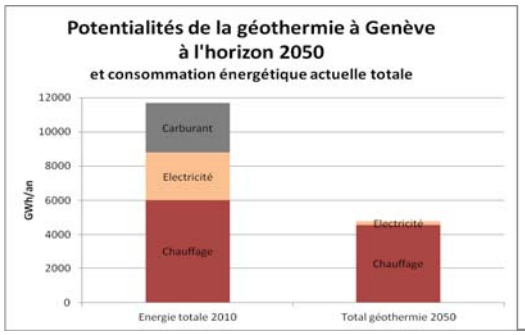
Bilan et perspectives (1)

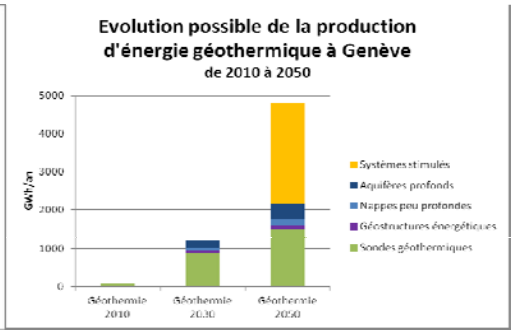
- Géothermie de faible profondeur
  - ❖ Potentiel important (surtout sondes géothermiques) directement exploitable.
  - ❖ Techniques maîtrisées
  - ❖ Cadre géologique bien défini
  - ❖ Améliorer le cadre réglementaire d'utilisation (normes techniques, règlements cantonaux)
- Géothermie de grande profondeur
  - ❖ Potentiel important
  - ❖ Aquifères profonds - APR: 1ère priorité
    - ➢ Techniques d'exploration et d'exploitation maîtrisées
    - ➢ Connaissance de la géologie profonde encore lacunaire

    } Mettre en place rapidement programmes de prospection
  - ❖ Systèmes géothermiques stimulés – EGS: 2ème priorité
    - ➢ En attente de l'amélioration des techniques
    - ➢ D'ici là, mettre à profit les reconnaissances APR pour récupérer toutes les informations géologiques sur le socle

Evaluation du potentiel géothermique du canton de Genève

Bilan et perspectives (2)





Géotechnique appliquée Dériaz SA *Journée romande de la géothermie - Yverdon 15.11.2011* 33

Programme de prospection pour un développement de la géothermie à grande profondeur dans le canton de Genève

GEOPROSPECT

Journée romande de géothermie- Yverdon 15 novembre 2011

Michel Meyer

SIG

Une énergie propre à chacun

Plan de présentation

- La géothermie profonde à Genève : réalisations précédentes
- Le concept de programme de prospection et d'exploration du sous-sol genevois
- Contexte géologique
- Description du programme genevois
- Les premières études à lancer
- Conclusions - perspectives

1 La géothermie profonde à Genève : réalisations précédentes

Réalisations précédentes

Forage de Thônex (1993)

2690 m forés



Réalisations précédentes



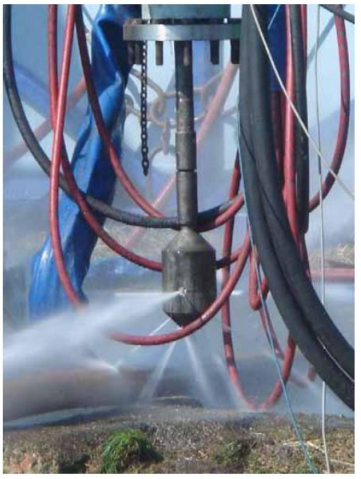
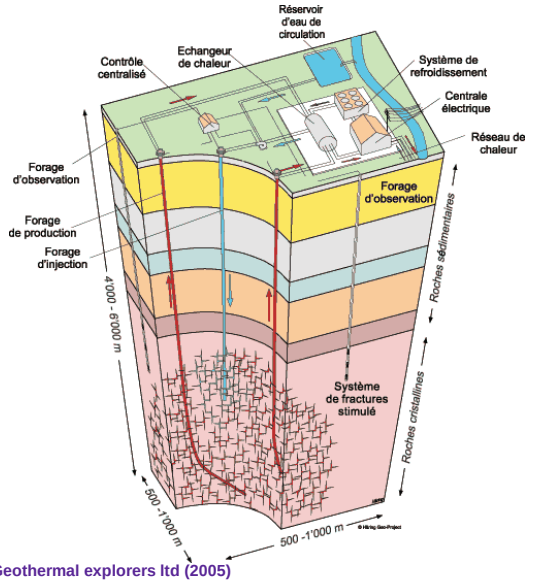


Fig. 5 et 6 Unité de Coiled tubing : injection d'eau sous pression dans un tube métallique

SIG, 2011

Réalisations précédentes



Geothermal explorers ltd (2005)



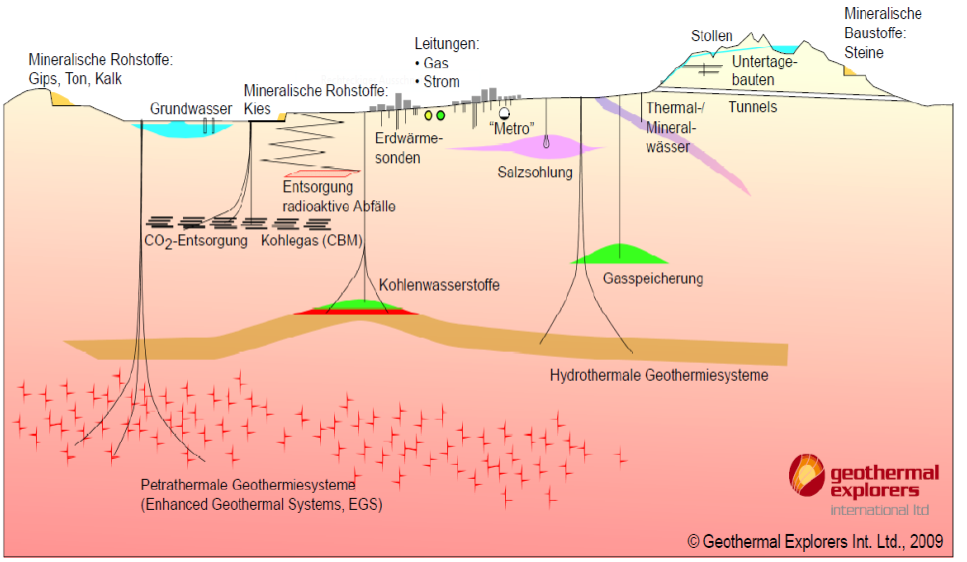
Georgios Kefalas / AP

2

Le concept de programme de prospection et d'exploration du sous-sol genevois

Passer d'une dynamique de projet à une dynamique de programme

Concept de programme de prospection



Concept de programme de prospection

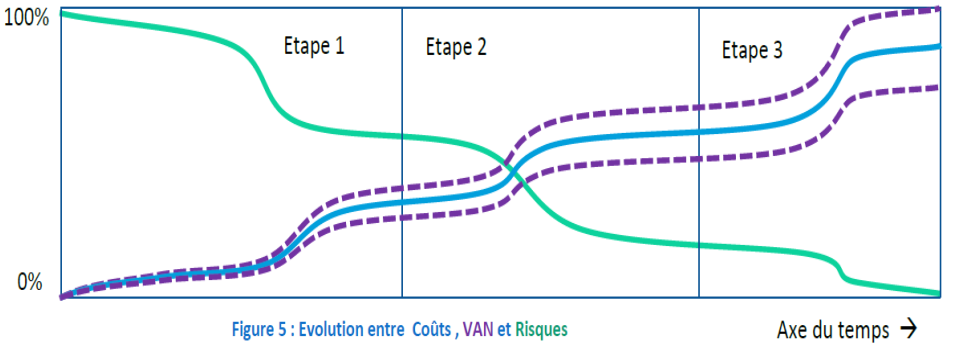
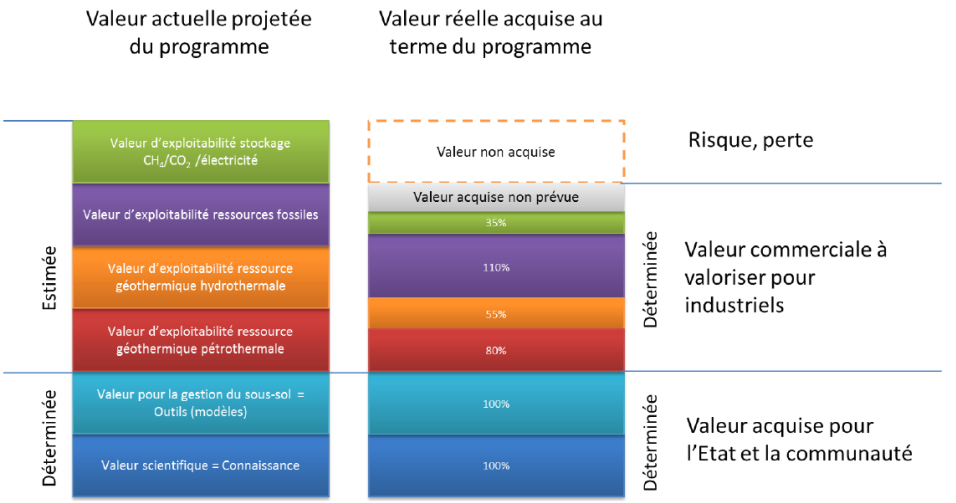


Figure 5 : Evolution entre Coûts , VAN et Risques

Coréalis sàrl et Geo2x (2011)

Concept de programme de prospection



Coréalis sàrl et Geo2x (2011)

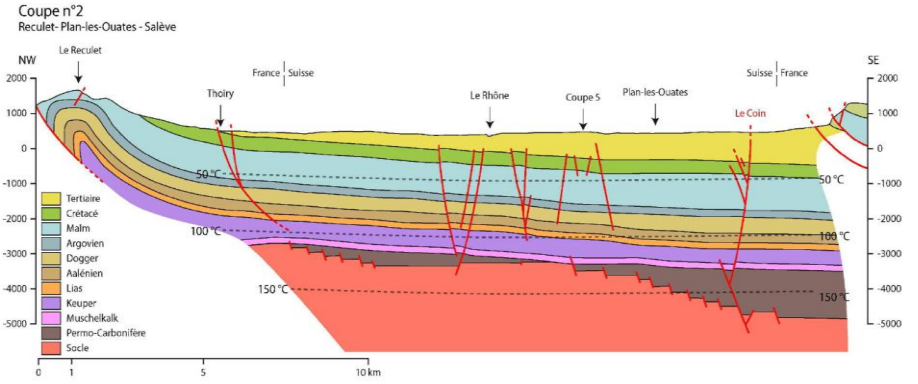
3 Le contexte géologique



Contexte géologique

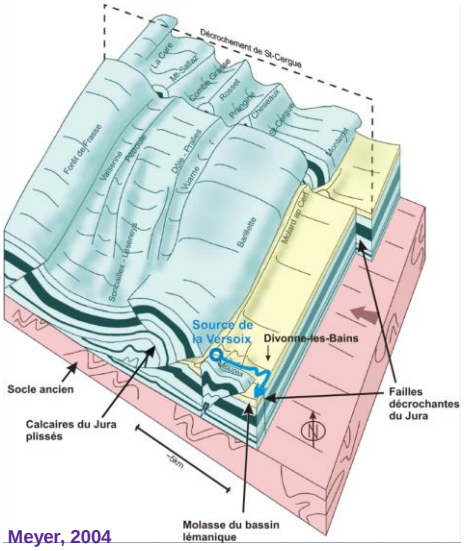


Contexte géologique

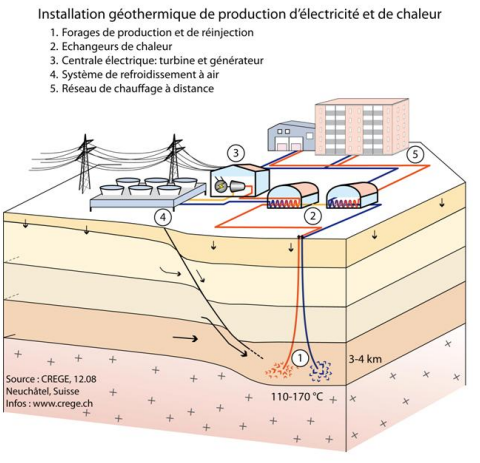


PGG, 2011

Contexte géologique



Meyer, 2004



CREGE, 2008

Contexte géologique



La Haute-Savoie en tremble encore

■ Le 15 juillet dernier, un séisme a provoqué d'importants dégâts à Annecy. On a enregistré, depuis, plus de 200 répliques. Les Alpes doivent-elles redouter prochainement un tremblement de terre de grande ampleur?

PAR ISABELLE BOURDIAL

A Annecy, la terre n'en finit pas de trembler. Dans la nuit du 14 au 15 juillet dernier, quelques heures après l'extinction des derniers feux d'artifice, une première secousse est ressentie, exactement à 2 h 13 du matin : des vibrations au sol accompagnées d'un grondement sourd réveillent la plupart des habitants de Haute-Savoie. Le séisme a atteint la magnitude de 5,3 sur l'échelle de Richter (1). C'est le tremblement de terre le plus important survenu dans cette région depuis le séisme de Corrençon-en-

Lac Léman
Genève
Rhône
Les Usses
Arve
N
PRESSION DE LA MICROPLAQUE ADRIATIQUE
ZONE DE COULISSEMENT
ÉPICENTRE DU SÉISME DU 15/07/96
Montagne d'Age
Annecy
Le Fier
FAILLE DU VUACHE

La faille qui a cédé

Orientée nord-ouest sud-est, elle relie Annecy à Bellegarde-sur-Valserine et mesure 40 km. Mais cette faille, dite du Vuache, n'a joué que sur un tronçon de 3 km, au nord-ouest d'Annecy. A cet endroit, ses bords ont coulissé de 10 cm. C'est là que se situe le foyer du séisme.

56 Science & Vie · n° 948 · septembre 1996

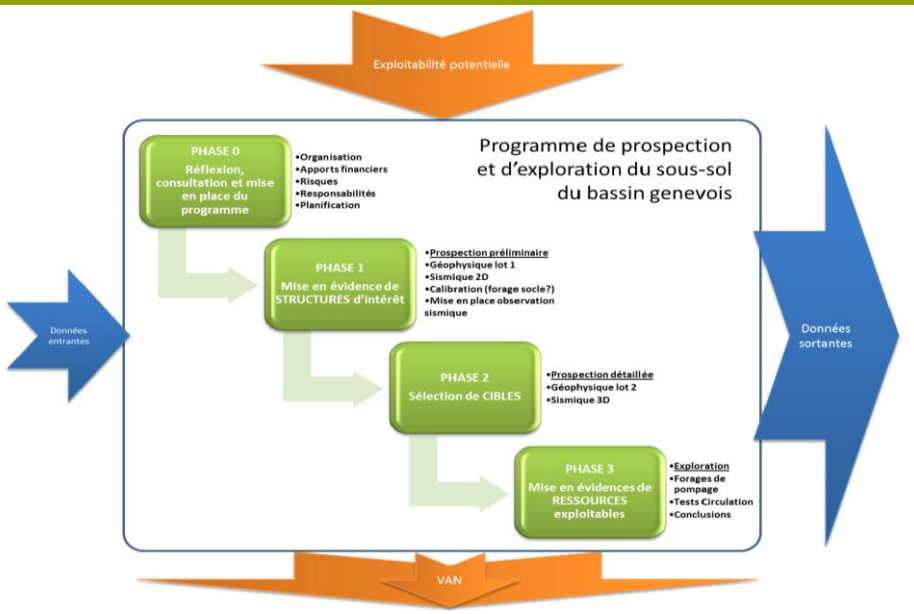
Sciences et vie, 1996

4 Le programme de prospection et d'exploration du sous-sol genevois

Le programme genevois

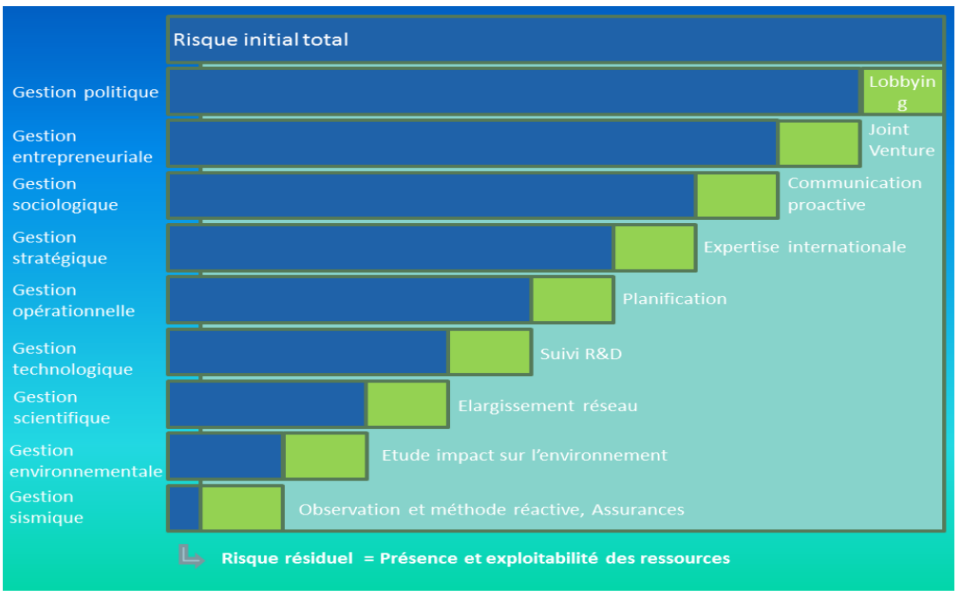
- Mise en évidence des ressources du sous-sol et de leur exploitabilité
- Développement de projets énergétiques, plan d'affaire, réalisation
- Production et distribution de l'énergie

Le programme genevois

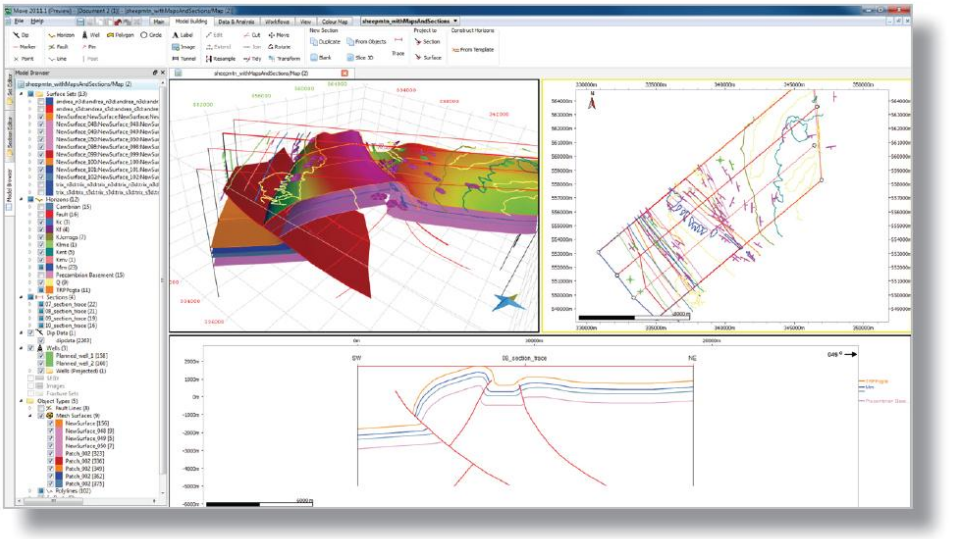


5 Les premières études à lancer

Organiser / structurer le programme pour réduire les risques initiaux

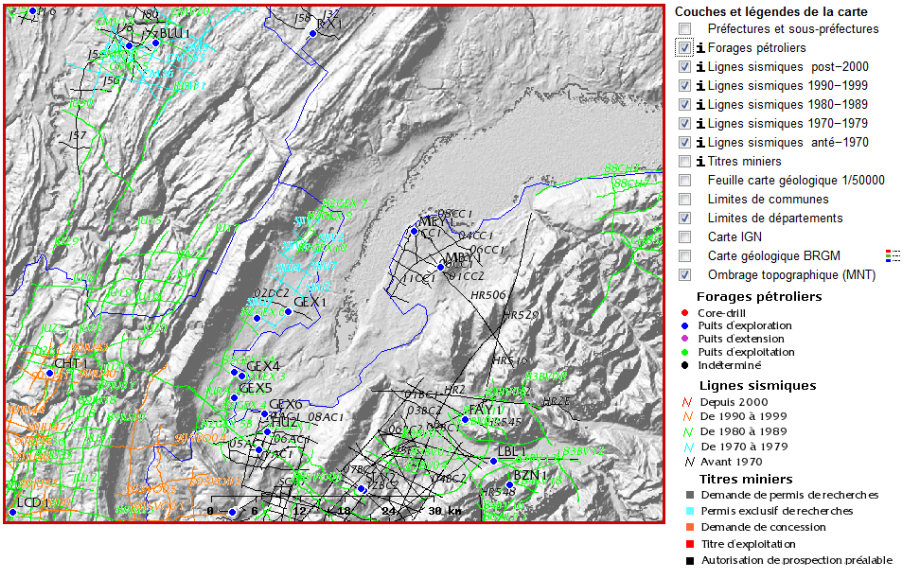


Etudes à lancer
Constitution d'un bloc géologique 3D initial

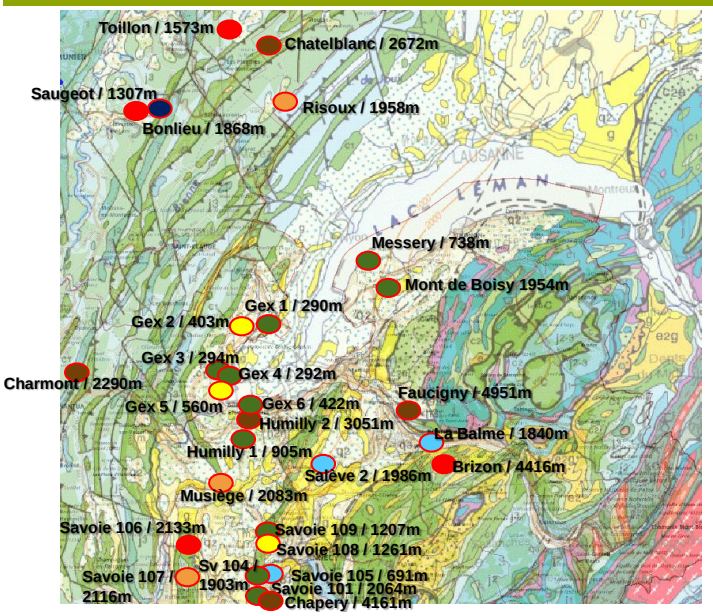


Midland Valley (2011)

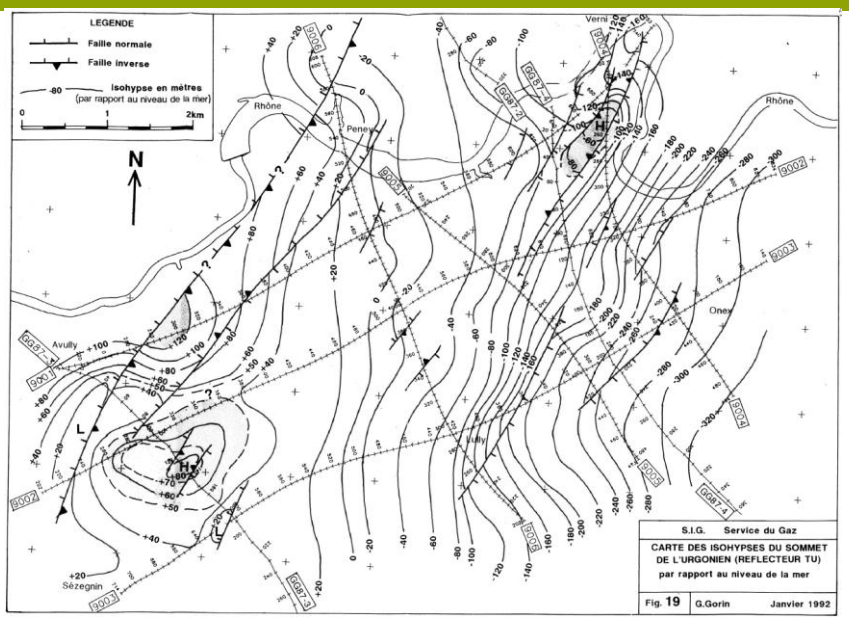
Etudes à lancer
Compiler les lignes sismiques existantes



Etudes à lancer
Compiler les forages existants



Etudes à lancer
Synthétiser les études existantes



Etudes à lancer
Synthétiser les études existantes

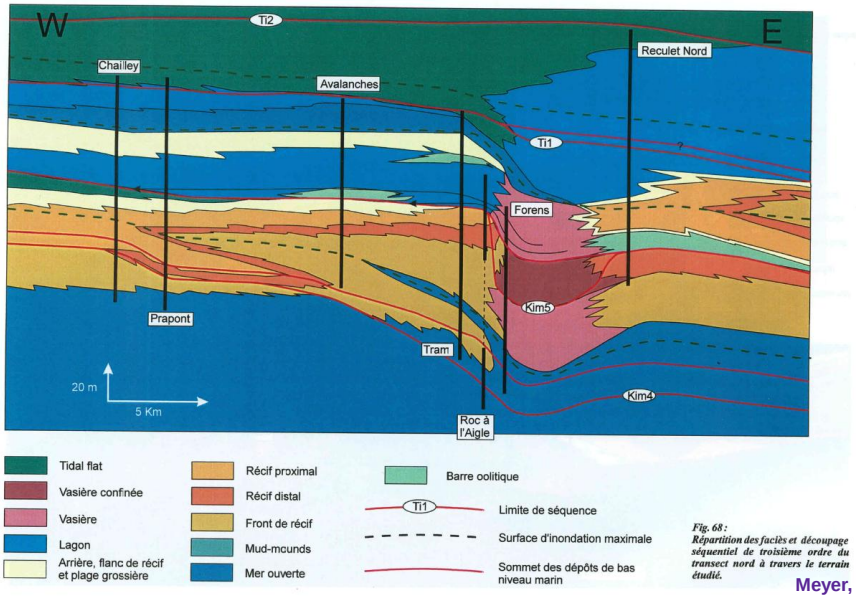


Fig. 68 : Répartition des faciès et découpage séquentiel de troisième ordre du transect nord à travers le terrain étudié.

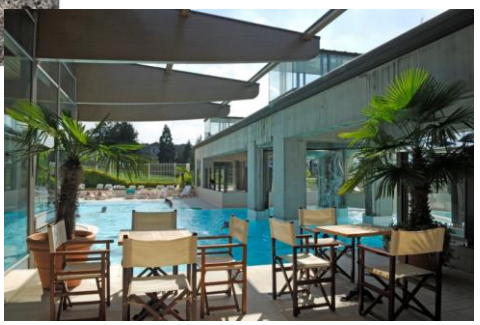
Meyer, 2000

Etudes à lancer
Synthétiser les études existantes



Anciens Bains de la Caille

Aix-les-Bains
Bains Chevalley



Etudes à lancer
Synthétiser les études existantes

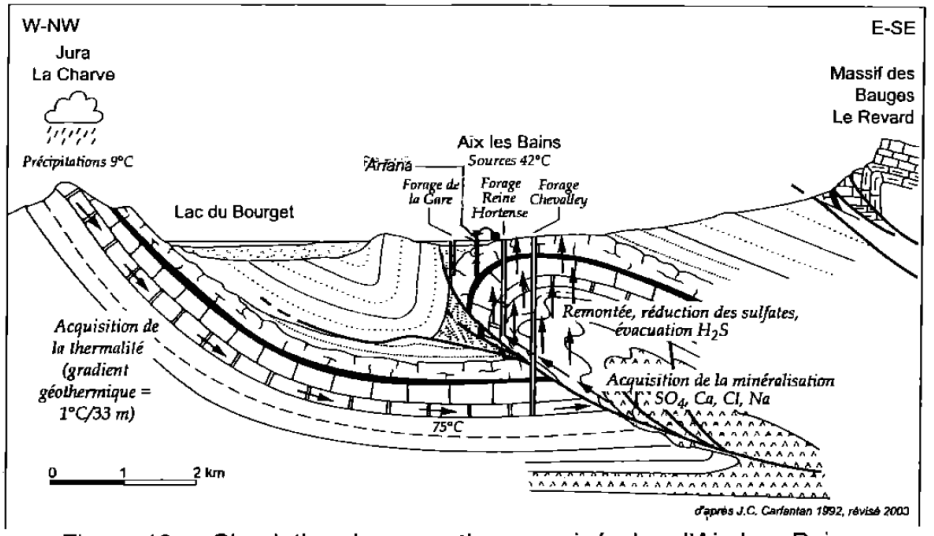
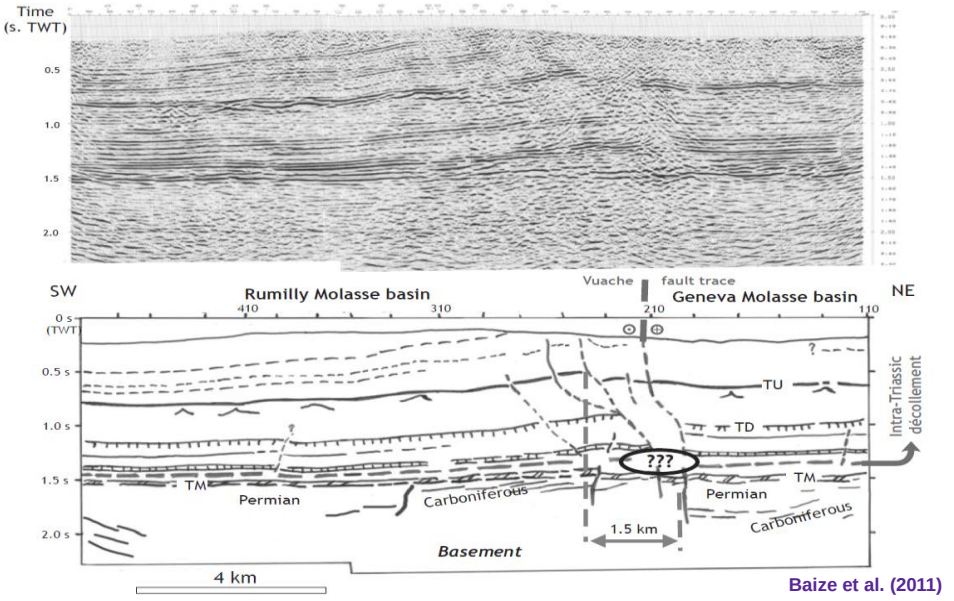


Figure 13a - Circulation des eaux thermo-minérales d'Aix-Les-Bains

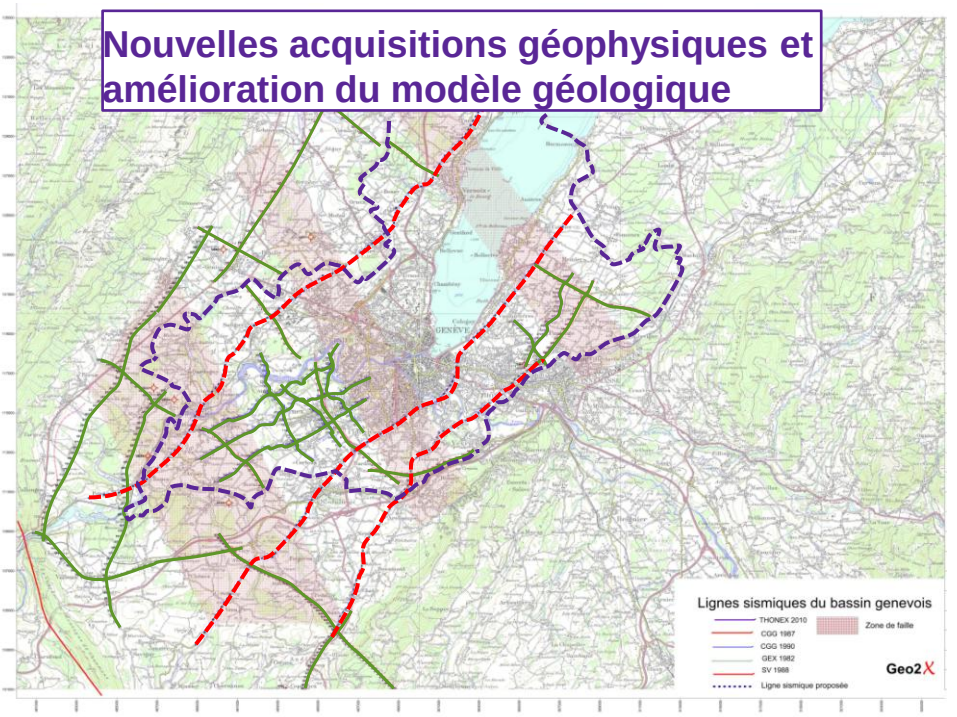
BRGM (2004)

Etudes à lancer
Synthétiser les études existantes

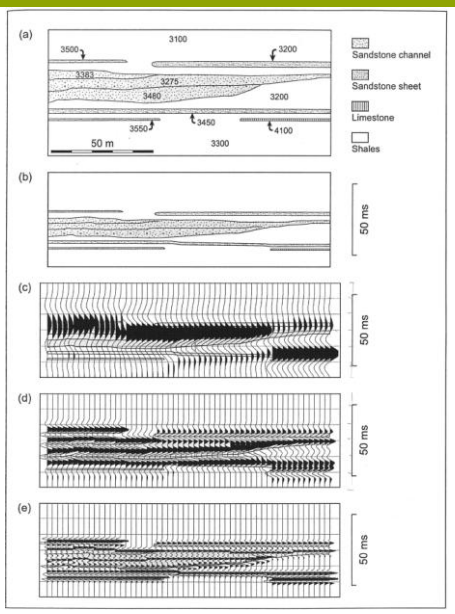


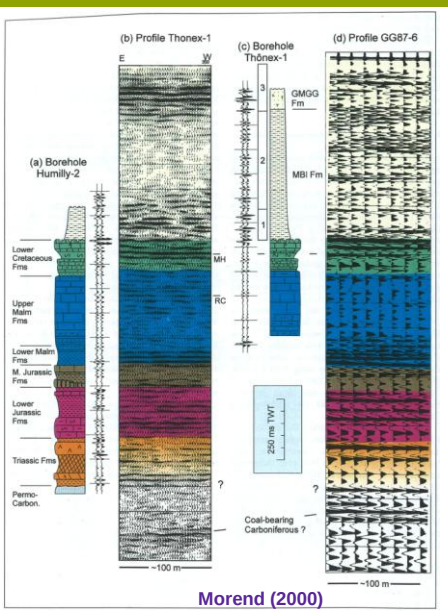
Baize et al. (2011)

Nouvelles acquisitions géophysiques et amélioration du modèle géologique



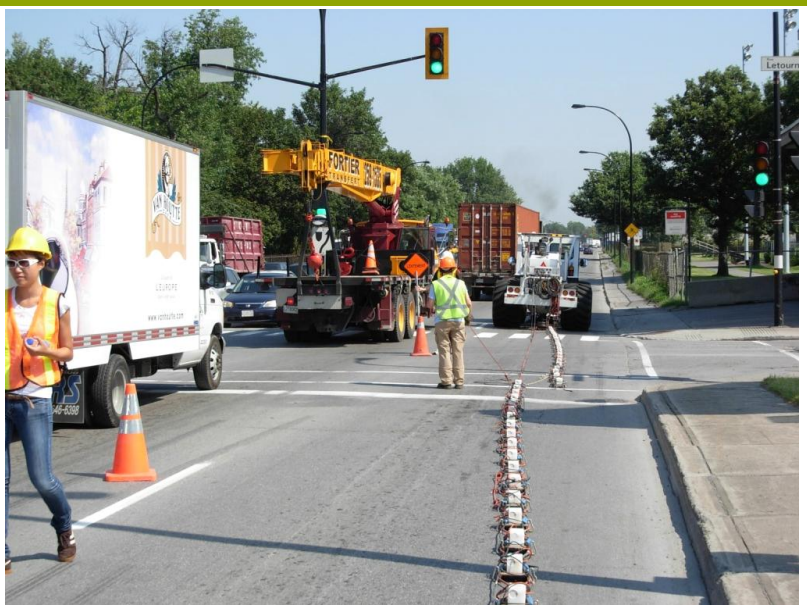
Nouvelles acquisitions géophysiques et amélioration du modèle géologique



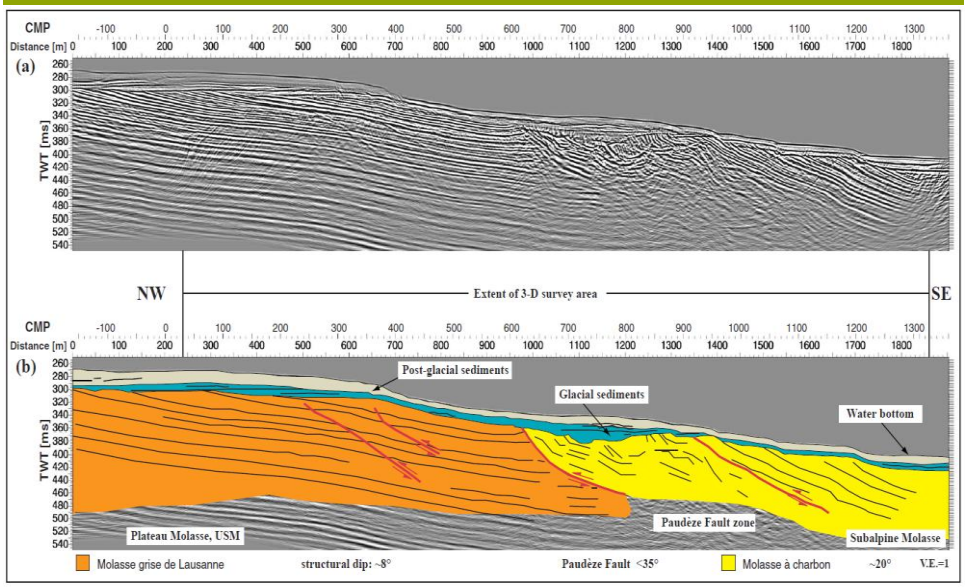


Morend (2000)

Nouvelles acquisitions géophysiques et amélioration du modèle géologique

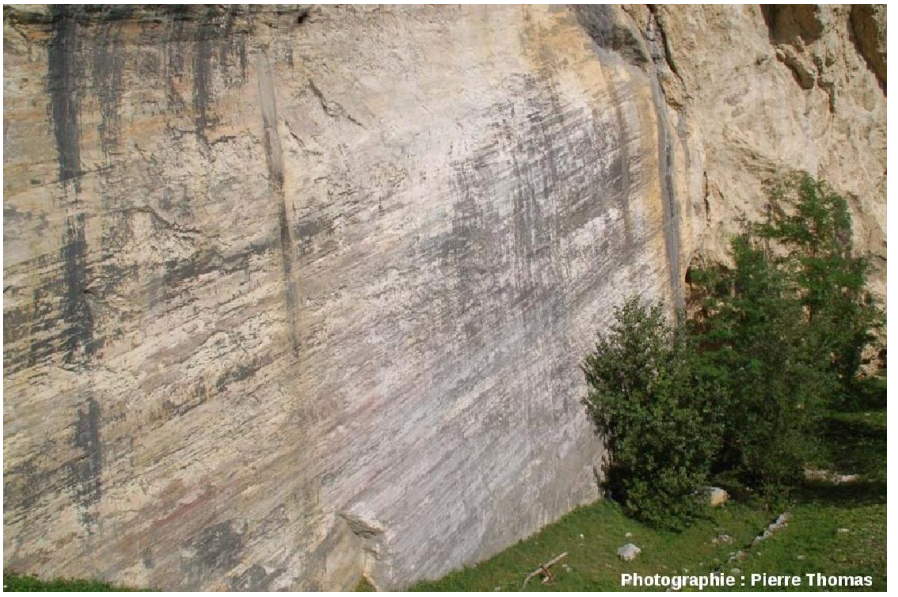


Nouvelles acquisitions géophysiques et amélioration du modèle géologique

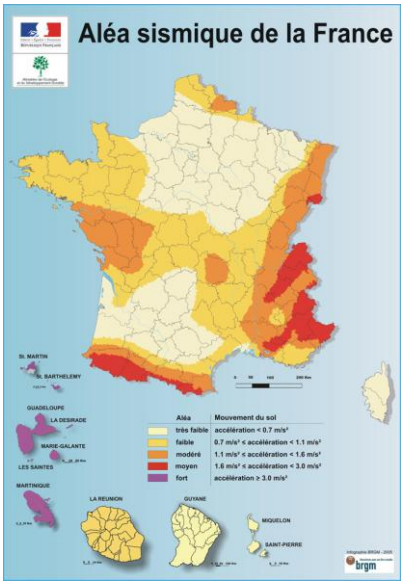


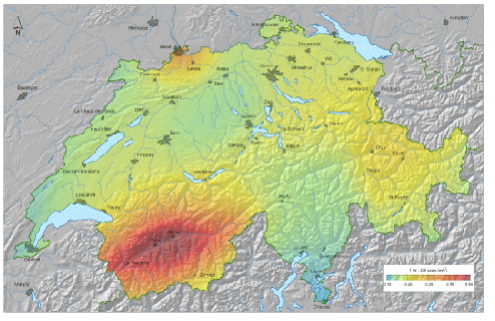
Scheidhauer (2003)

Utiliser les indices de surface

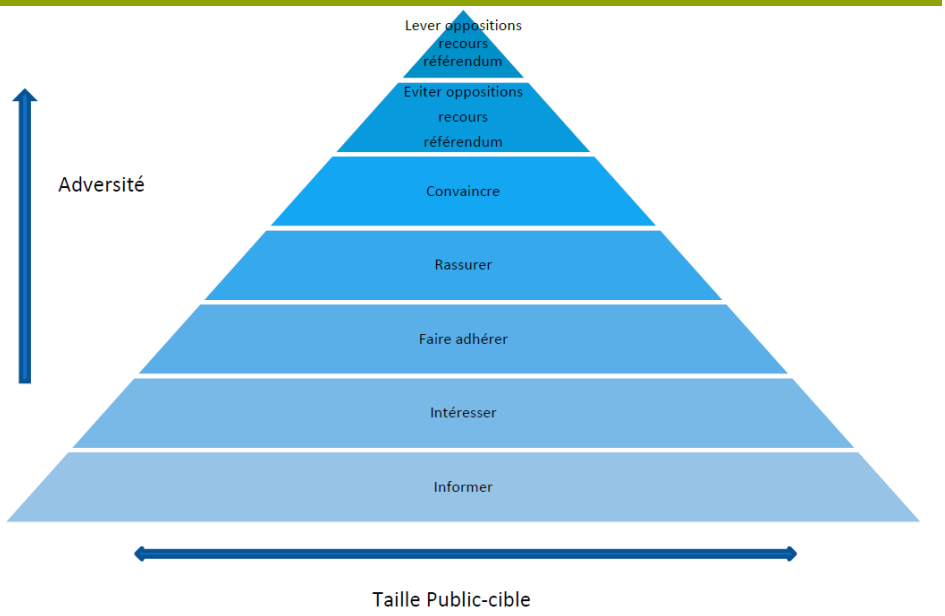


Mettre en place un réseau d'observation sismique



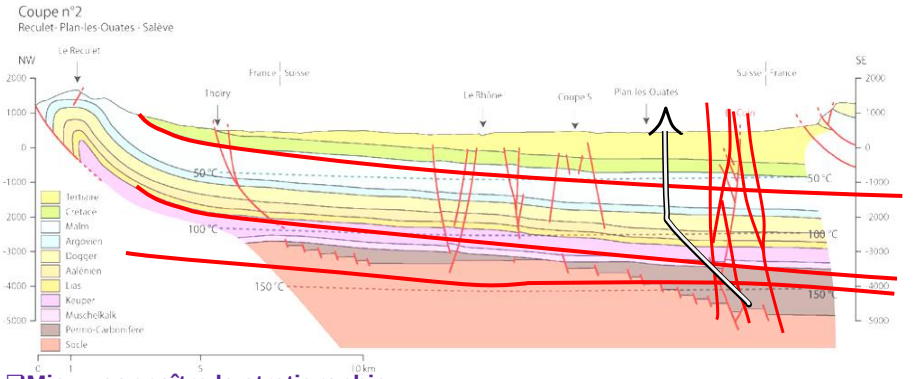


Communiquer



6 Conclusions - perspectives

Que vise le programme dans un premier temps ?



- ❑Mieux connaître la stratigraphie
- ❑Mieux connaître les caractéristiques des couches en profondeur
- ❑Mieux connaître les réseaux de fractures naturelles
- ❑Mieux connaître les modalité de circulation de l'eau dans les couches
- ❑Mieux connaître les modalité de circulation de l'eau dans les failles

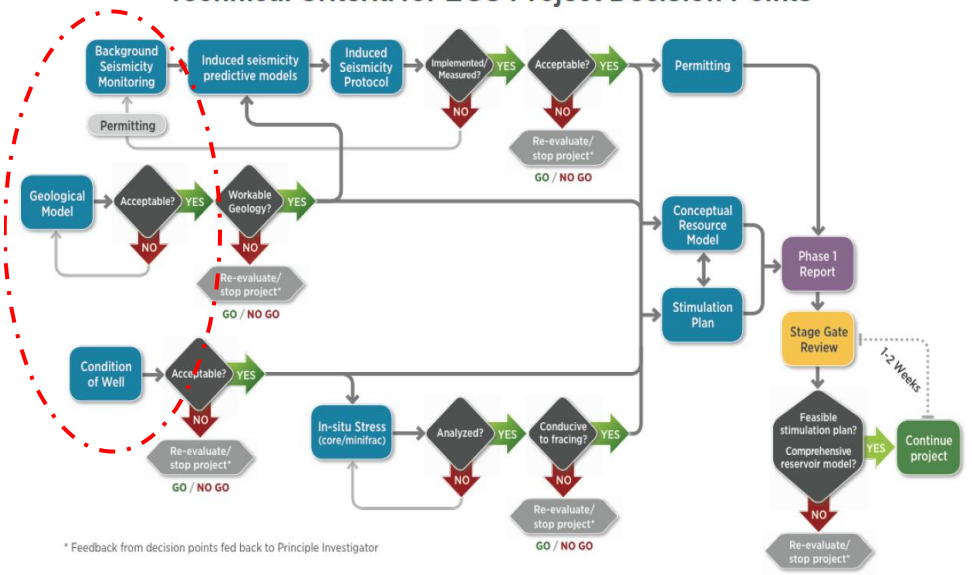
(Eventuellement) produire électricité et/ou chaleur



EGS Management

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY | Energy Efficiency & Renewable Energy

Technical Criteria for EGS Project Decision Points



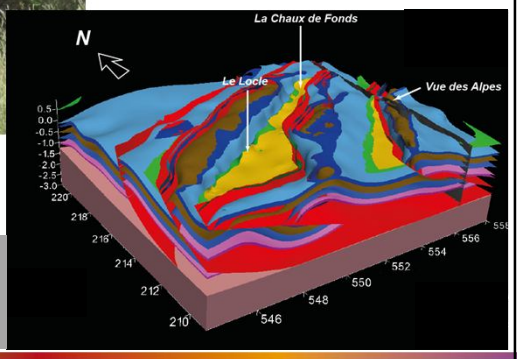
Merci !



EXPLORATION DE LA GÉOTHERMIE PROFONDE DANS LE CANTON DE NEUCHÂTEL



DU TERRAIN…



… À LA MODÉLISATION 3D

Guillaume Mauri - Pierrick Altwegg
CHYN – Centre d'hydrogéologie et de géothermie
Université de Neuchâtel

INTRODUCTION

Les projets de géothermie profonde se déroulent par phases dont le but est de diminuer l'incertitude à mesure que croît l'investissement financier.

- **Concept:**

Évaluation des données existantes sur les consommateurs et sur le potentiel géothermique régional.

- **Préfaisabilité:**

Synthèse des données ,évaluation quantitative du potentiel, estimation des consommateurs potentiels, des risques naturels et financiers, sélection des sites potentiels de forage, choix de la profondeur et de la cible.

- **Faisabilité:**

Campagne de prospection géophysique, étude d'impact, relations publique, études technico-économiques, etc.

Dans le cadre de GeoNE, il a été décidé d'effectuer une première prospection afin de tester des méthodes peu onéreuses pendant la phase de préfaisabilité.

CONCEPT

Vérifier et améliorer le modèle géologique 3D à l'aide de trois méthodes différentes:

- **Mesures des propriétés pétrophysiques des roches (IGS-NE)**

But: permettre d'améliorer le modèle thermique, de faciliter les campagnes géophysiques et fournir des informations pour d'autres utilisations (p. ex. géothermie faible profondeur).

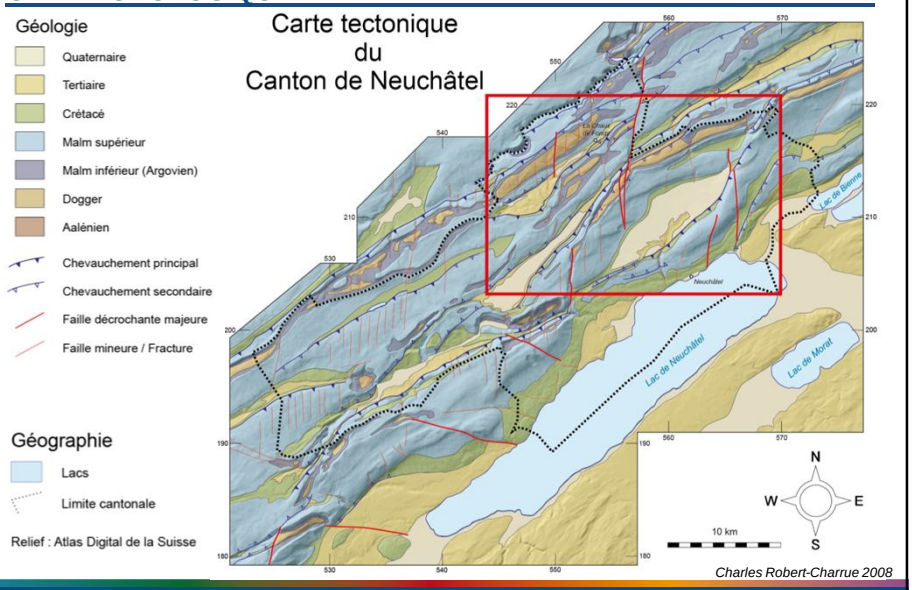
- **Utilisation de la photogrammétrie (IGS-NE)**

But: permettre d'améliorer le modèle structural et de déterminer l'orientation des familles de failles les plus favorables pour le projet.

- **Campagne de gravimétrie haute précision (GeoNE)**

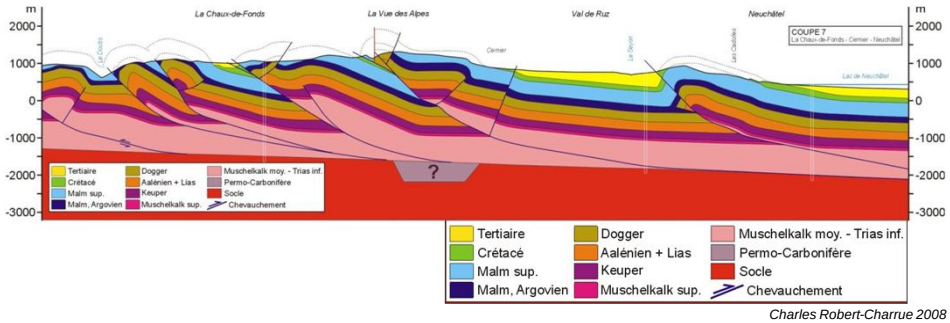
But: permettre d'améliorer et de valider le modèle 3D ainsi que de mettre en évidence les zones de faible densité qui pourraient traduire une plus forte perméabilité.

CADRE GÉOLOGIQUE



Charles Robert-Charrue 2008

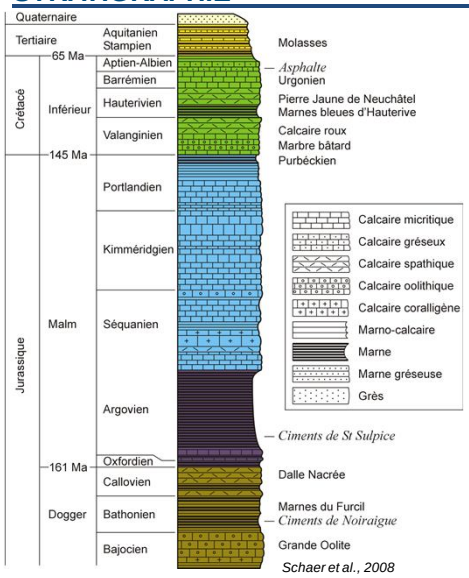
CADRE GÉOLOGIQUE



Charles Robert-Charrue 2008

- **Chaîne plissé d'avant pays**
- **Structure de plis sur rampes**
- **Vallées : synclinaux / Sommets : anticlinaux**
- **Nombreuses failles décrochantes**

STRATIGRAPHIE



Schaer et al., 2008

Principales formations étudiées:

Formations calcaires, fracturées du Crétacé, Jurassique et Dogger supérieur.

Formations non affleurantes mais présentant un intérêt:

Dogger inférieur, Lias, Trias et formations marneuses en général.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUE ET THERMIQUES DES ROCHES

La conductivité thermique :

Capacité d'une roche à transmettre de l'énergie thermique par conduction ($W \cdot m^{-1} \cdot °K^{-1}$)

La capacité thermique :

Capacité de la roche à emmagasiner et à restituer de l'énergie thermique ($W \cdot m^{-1} \cdot °K^{-1}$)

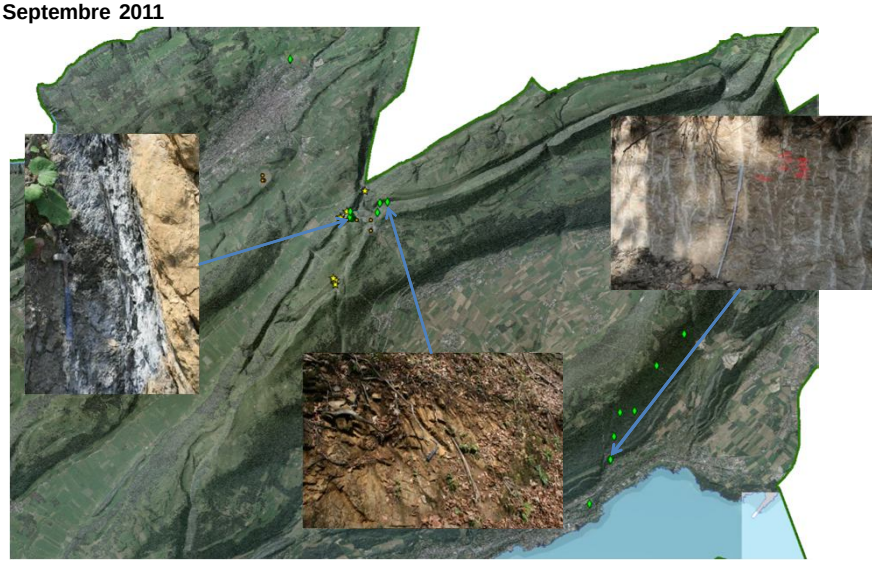
La production de chaleur :

Production de chaleur de la roche par désintégration naturelle des radio-isotopes naturellement présent dans cette dernière

Le flux de chaleur, la perméabilité, le degré de fracturation ainsi que l'orientation préférentielle de ces fractures. i1

ETAT DES TRAVAUX

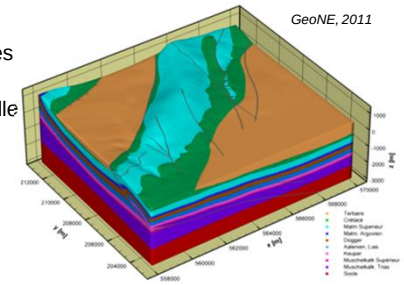
Septembre 2011



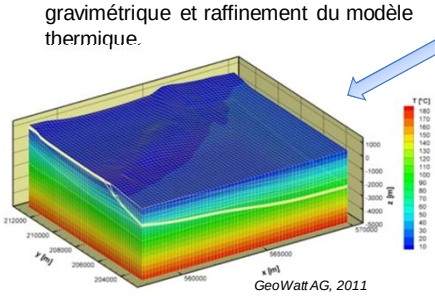
CONTINUATION

Paramètres pétrophysiques:

- Étude de sensibilité sur les différents paramètres (en cours)
- Campagne d'échantillonnage à plus large échelle
- Intégration des données dans le modèle 3D et par conséquent amélioration de la réponse gravimétrique et raffinement du modèle thermique.



GeoNE, 2011



GeoWatt AG, 2011

Photogrammétrie:

- Test de la méthode sur un petit nombre d'affleurements
- Application de la méthodes à plus large échelle
- Inventaire des différentes familles de failles à l'aide de MNT haute précision

Création et mise à disposition de l'ensemble des données sous forme d'une base de donnée géographique

PRÉSENTATION GeoNE

- **Financé par le Canton de Neuchâtel**
- **Réalisé par le Centre d'Hydrogéologie et de Géothermie (CHYN) - UNINE**

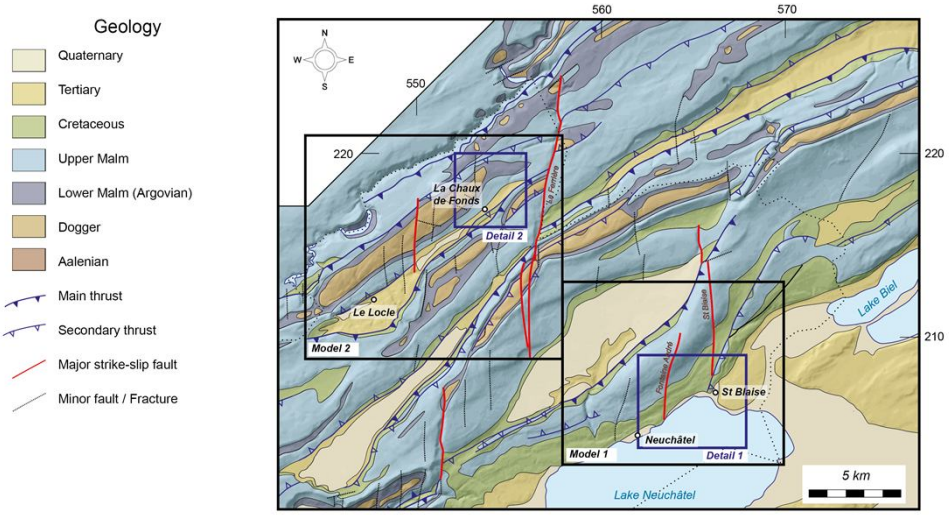
Eva Schill, François-D. Vuataz, Nicolas Clerc, Guillaume Mauri, Pierrick Altwegg, François Negro

- **Objectifs:**

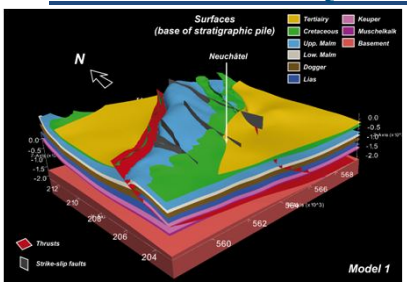
Localiser, caractériser, promouvoir & développer les outils pour exploiter les **réservoir géothermaux** dans le canton de Neuchâtel pour le chauffage d'habitation et d'industrie.

Prospection géologique et géophysique → **Etude de faisabilité** → **Fixer des sites de forage en adéquation avec les consommateurs de chaleur et l'aménagement du territoire**

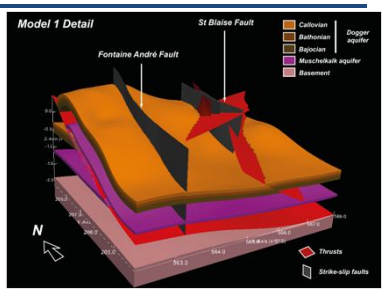
GÉOLOGIE DE NEUCHÂTEL

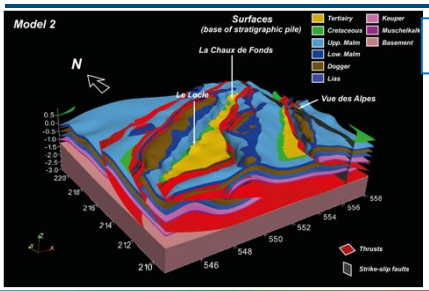


MODÈLES GÉOLOGIQUES 3D

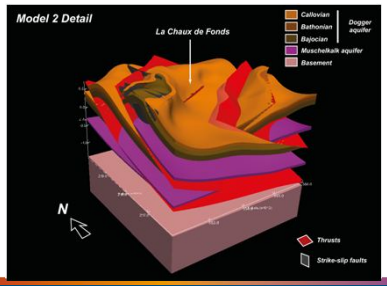


Neuchâtel

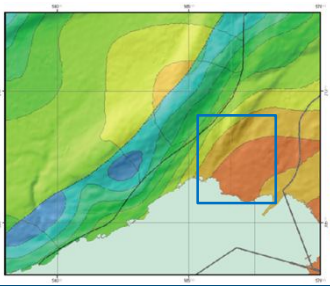




La Chaux-de-Fonds

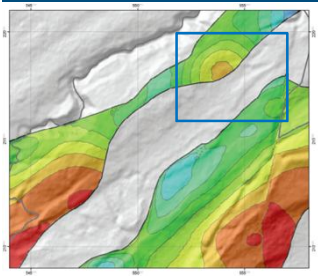


MODÈLE 3D: MODÉLISATION THERMIQUE



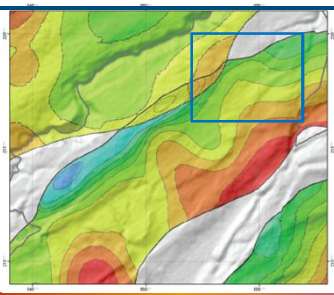
Neuchâtel

T. max. estimée:
~75-80 C

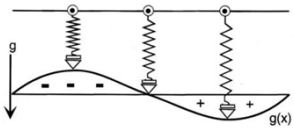


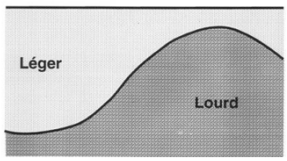
La Chaux-de-Fonds

T. max. estimée:
~50-55 C



PRINCIPE DE GRAVIMÉTRIE







Gravimètre Scintrex CG 5

Source de variation gravimétrique
En suisse:

- Eloignement au centre de la Terre
- Masse de la Terre
- Variation géologique régionale
- Variation géologique locale
- Fracturation locales des roches
- Karstification
- Présence de grandes étendues d'eau (Lac, mer, océan)
- Marée terrestre
- Activités humaines

PRINCIPE DE GRAVIMÉTRIE

Correction & incertitude:

$9.81\ m.s^{-2} = 9.81\ 10^{5}$ mGal $= 9.81\ 10^{8}$ µGal

Anomalies dans le sous-sol = de 100 à 4000 µGal

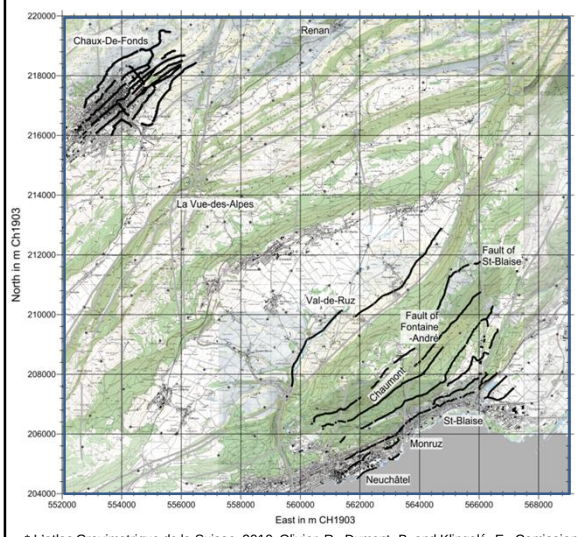
Incertitude Totale sur G Bouguer = 24 µGal





Gravimètre Scintrex CG 5

CARTE GRAVIMÉTRIQUE DU CANTON DE NEUCHÂTEL



- Données préexistantes
  - Atlas Suisse de Gravimétrie

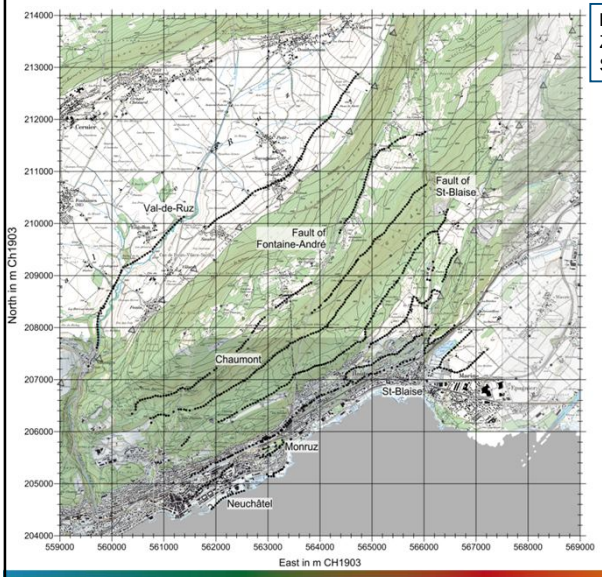
(~1 point par kilomètre dans le canton de Neuchatel)

- Données effectuées dans le cadre de GeoNE:
  - Littoral de Neuchatel
  - La Chaux-de-Fonds

(profile fait avec 1 point chaque 50m)

* L'atlas Gravimetrique de la Suisse, 2010, Olivier, R., Dumont, B. and Klingelé, E., Comission Suisse de Géophysique, Geophysique, 43

CARTE GRAVIMÉTRIQUE – NEUCHÂTEL



Neuchâtel & ses environs
Zones: 10 km x 10 km
Stations gravimétriques GeoNE: 911

Traces of both:
- Faults (main strike direction N-S)
- Thrust faults (main strike direction NE-SW)

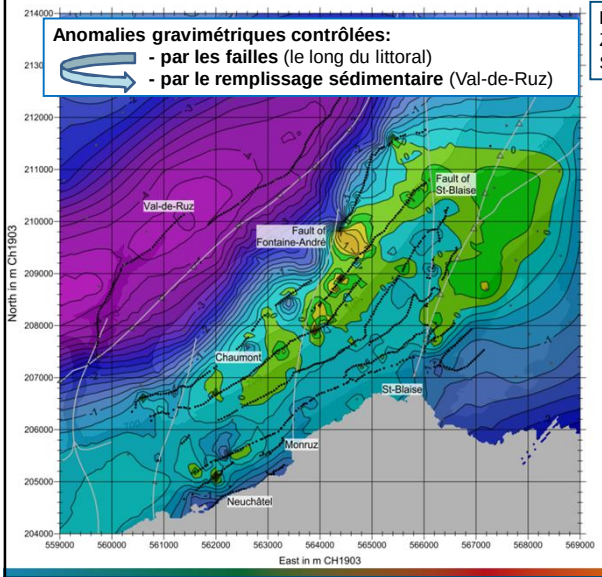
Gravity data from both:
- Swiss Atlas of gravity
- GeoNE

Gravity contour line

Lake

CARTE DE L'ANOMALIE RÉSIDUELLE - NEUCHÂTEL

Anomalies gravimétriques contrôlées:
- **par les failles** (le long du littoral)
- **par le remplissage sédimentaire** (Val-de-Ruz)



Neuchâtel & ses environs
Zones: 10 km x 10 km
Stations gravimétriques GeoNE: 911

Traces of both:
- Faults (main strike direction N-S)
- Thrust faults (main strike direction NE-SW)

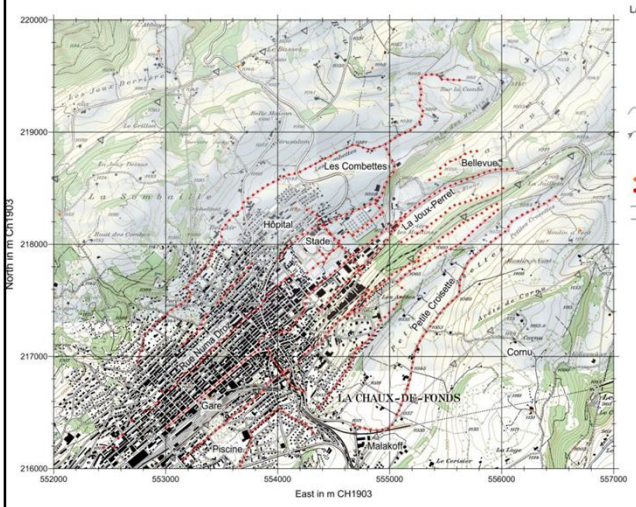
Gravity data from both:
- Swiss Atlas of gravity
- GeoNE

Gravity contour line

Lake

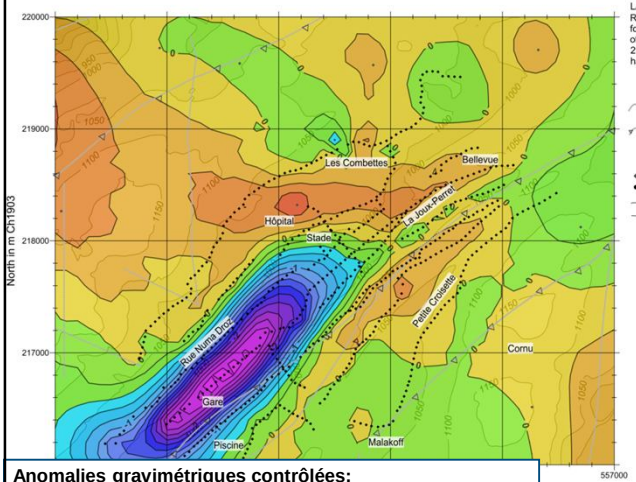
- **Val-de-Ruz (~4.5 mGal):** remplissage tertiare & quaternaire
- **Colline de Chaumont (0.5 à 0.75 mGal):** Structure anticlinal fracturée le long de failles (N-S)
- **St-Blaise (0.5 à 0.75 mGal):** Le long de la faille de St-Blaise, fracturation importante des niveaux rocheux.

CARTE GRAVIMÉTRIQUE – CHAUX-DE-FONDS



La Chaux-de-Fonds
Zones: 5 km x 4 km
Stations gravimétriques
GeoNE: 578

CARTE GRAVIMÉTRIQUE – CHAUX-DE-FONDS



La Chaux-de-Fonds
Zones: 5 km x 4 km
Stations gravimétriques
GeoNE: 578

- **Vallée de la Chaux-de-Fonds (~ -3 mGal):** remplissage tertiaire & quaternaire
- **Petite croisette (0.5 mGal):** Front du chevauchement non ou peu fracturé.
- **Hôpital-La Joux-Perret (0.5 à 0.8 mGal):** zone peux ou pas fracturée

Anomalies gravimétriques contrôlées:
- **structure géologique superficielle pas ou peu fracturée** (crête)
- **par le remplissage sédimentaire** (valley)

CONCLUSIONS

Différentes sources de variations de gravité entre Neuchâtel & La Chaux-de-Fonds.

- Neuchâtel: Existence de zone de fracturation dans l'anticlinal de Chaumont et principalement le long de la faille de St-Blaise.
- La Chaux-de-Fonds: Pas ou très peu de fracturation.

Modèles thermiques permettent d'estimer une température dans le Muschelkalk:

- St-Blaise: ~75 - 80 C , profondeur ~2000 m.
- La Chaux-de-Fonds: ~50 - 55 C ~ 1400 à 1600 m.

Ces deux études devraient permettre:

- une réduction de l'incertitude sur les modèles
- de diminuer les risques du projet sans engendrer des coûts très important.

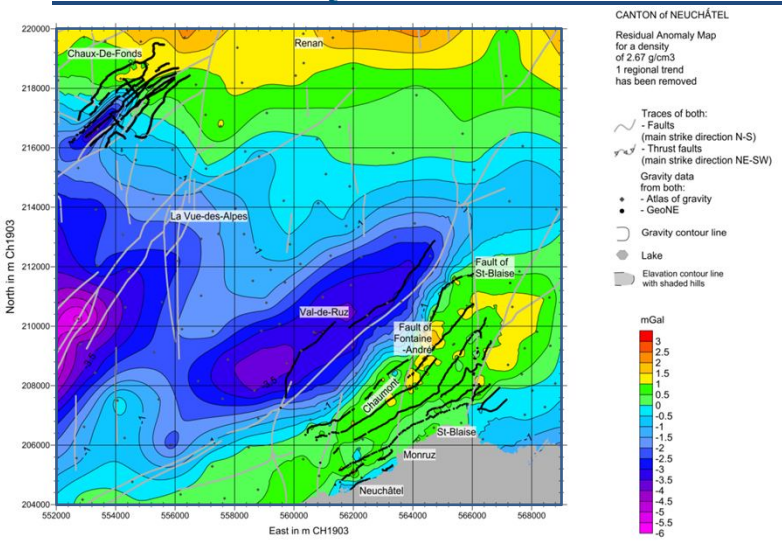
Base de donnée géoréférencée:

- Réutilisation des données possible pour d'autre projets, pas forcément en lien avec la géothermie

MERCI ….



CARTE GRAVIMÉTRIQUE DU CANTON DE NEUCHÂTEL



PRINCIPE DE GRAVIMÉTRIE





Gravimètre Scintrex CG 5

Correction & incertitude:

- Déviation standard sur les mesures: (5 µGal)
- Correction Marée Terrestre (4 µGal)
- Correction Dérive instrumental(4 µGal)
- Positionnement GPS différentiel (10 µGal)

- Correction de Topographie & plateau (20 µGal)
  + proximal zone (<150 m): 0.5m pixel MNT*
  + medium zone (< 25 km): 25m pixel MNT**
  + distal zone (< 110km): Par interpolation à partir du 25m grid DEM **
- Correction des effets du Lac de Neuchâtel (1 µGal)
  + 25m grid bathymetrie*
  + modèle 3D du lac fait avec GeoModeller
- G Théorétique basé sur World Geodetic system 1984

Incertitude Totale sur G Bouguer = 24 µGal

*Cartographic data from SITN ©2011/ Service de la Géomatique et du Registre Foncier
**MNT, V25 – Swisstopo/2011
2 L'atlas Gravimetrique de la Suisse, 2010, Olivier, R., Dumont, B. and Klingelé, E., Comission Suisse de Géophysique, Geophysique, 43