

Retours d'expérience sur la valorisation des géothermies : éléments-clés et enseignements

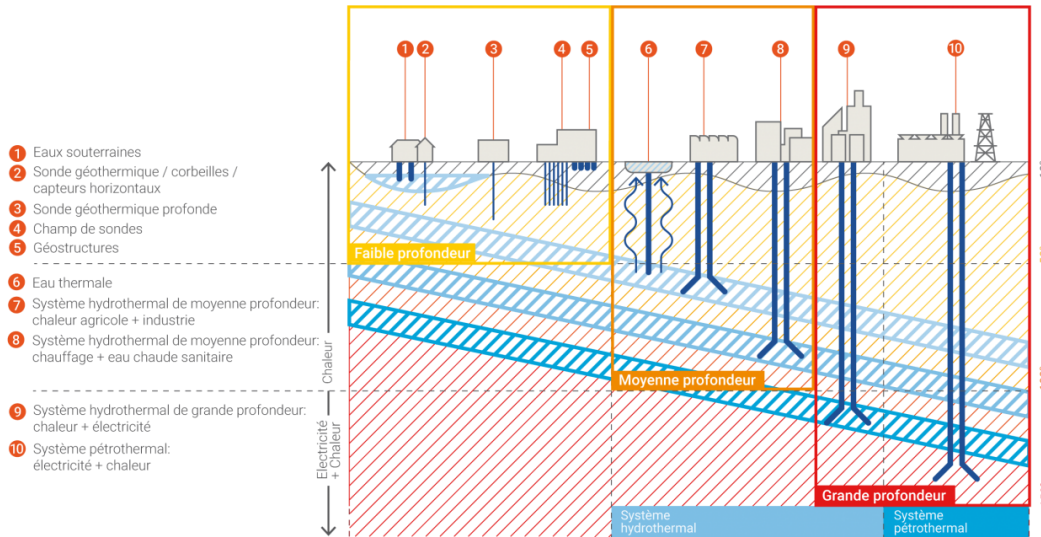
Jérôme Faessler
Université de Genève
1^{er} décembre 2016

CYCLE DE FORMATION ÉNERGIE – ENVIRONNEMENT

SÉMINAIRE 2016-2017

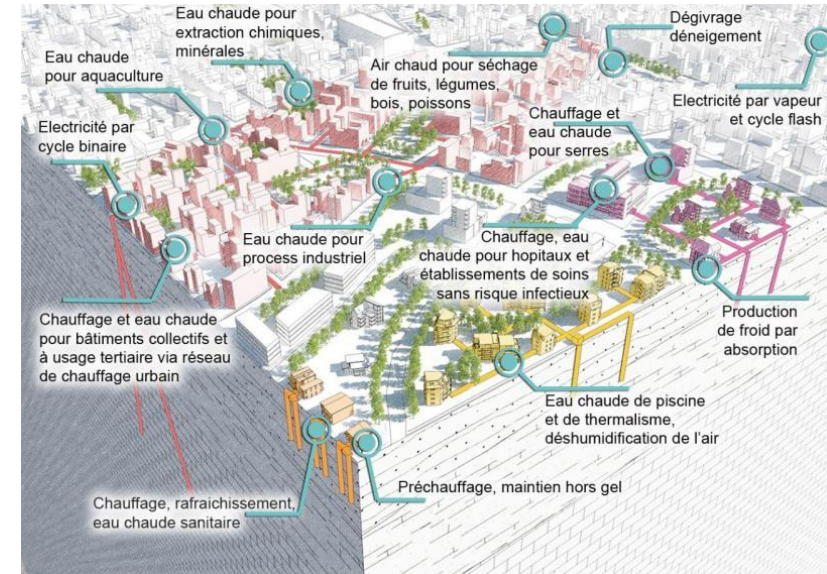
<http://www.unige.ch/energie/fr/colconf/seminaires/>

Double dimension des géothermies



Source : Géothermie-Suisse / OFEN

<http://geothermie-schweiz.ch/geothermie/geothermie-uebersicht/?lang=fr>



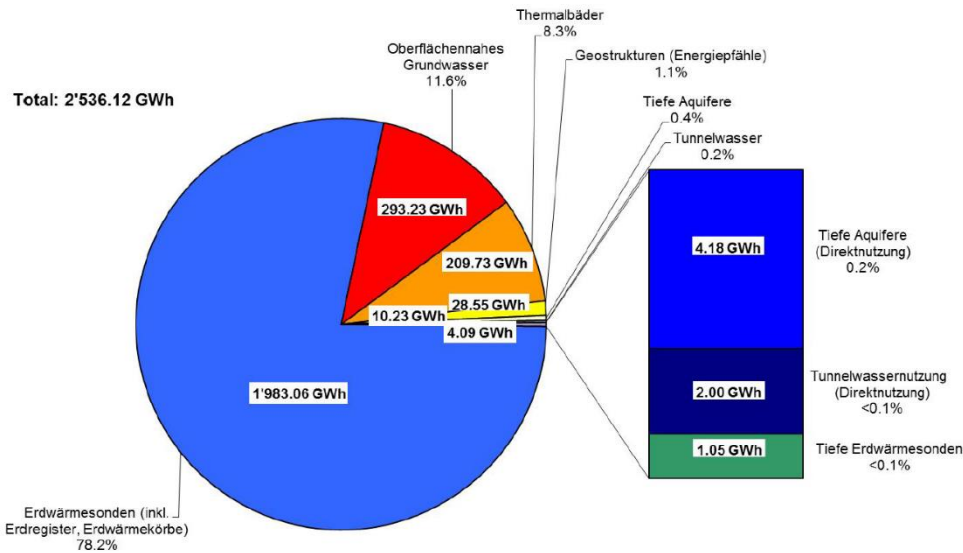
Source : Géothermie Perspectives / ADEME/BRGM

www.geothermie-perspectives.fr/article/usages-geothermie

- Dimension verticale
- Dimension horizontale
- Géo-ressource = Energie primaire (E_{prim})
- Géo-valorisation = Energie finale (E_{finale})

→ Eau chaude/vapeur : Energie = Débit * Température ($E=m*C*\Delta T$)

Géothermie (ressource)

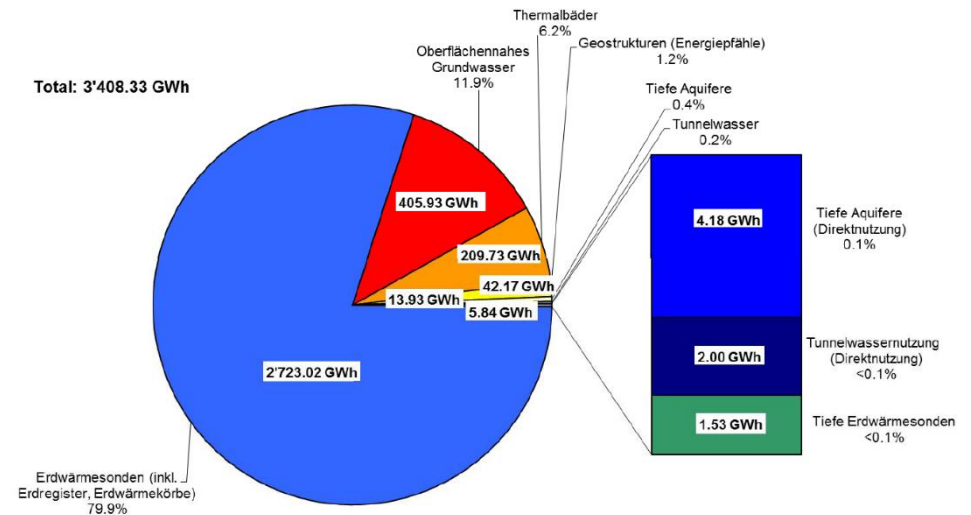


80% de sondes (2'500 km/an)

Aquifères profonds < 0.5%

«froid» non considéré actuellement

Energie thermique (valorisation, yc électricité PAC)



≈ 1.5% de l'énergie finale CH

COPA moyen de 3.7

0 GWh d'électricité produite

Etat des filières géothermiques en CH

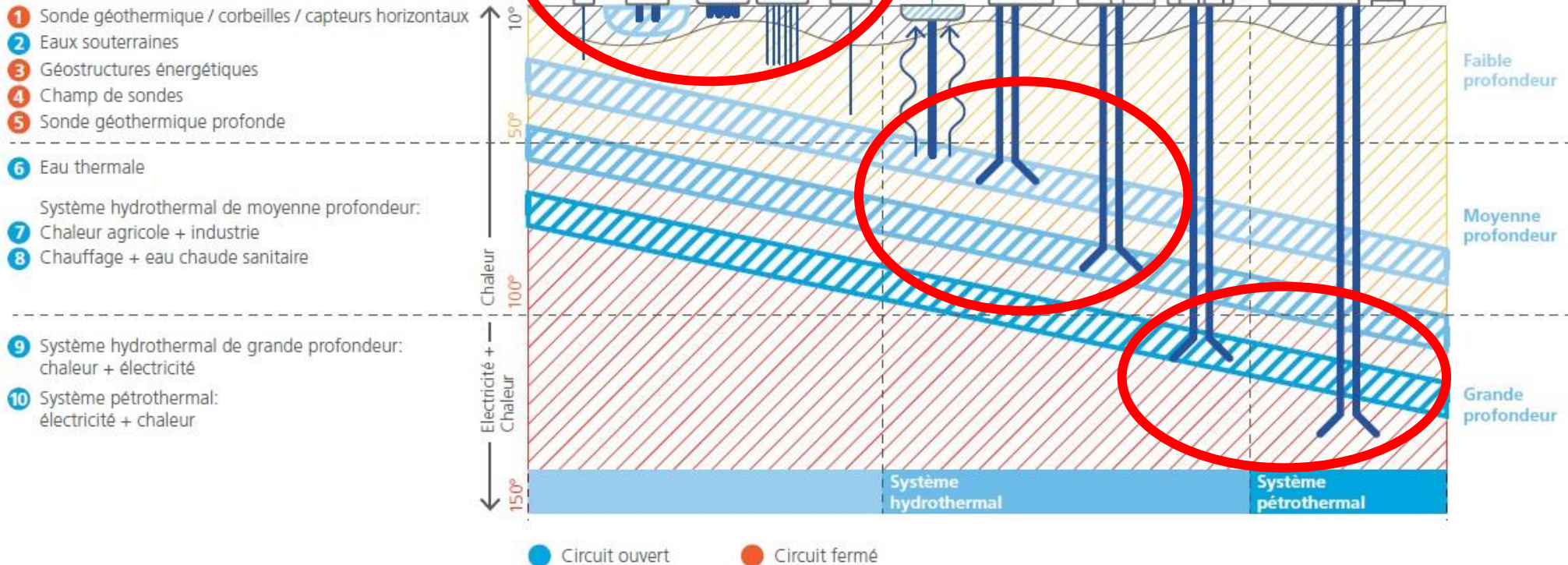
Basse profondeur bien développée

Moyenne profondeur

- Bains thermaux
- Riehen (canton de Bâle)

Grande profondeur

- St-Gall en 2013
- EGS Bâle en 2006



Retour d'expérience Géothermie moyenne profondeur

- Multiplicité des filières géothermiques → complexité
- Pourquoi viser la moyenne profondeur ?
 - Utiliser la géothermie directement via le vecteur eau → éviter une consommation d'électricité pour la PAC
 - Utilisation géothermie directe implique d'aller chercher des températures > demande ECS/chauffage (60-70°C)
 - Potentiellement de gros débits (50-100 l/s) → plusieurs MW_{th}
- En Europe, plusieurs pays exploitent la géothermie directe (France, Allemagne, Hongrie, etc...)
- Existence d'une filière européenne de réseaux principalement géothermiques (>170 GeoDH)



Carte des réseaux majoritairement géothermiques

Carte des réseaux avec géothermie



**Chevilly-Larue
(FR)**



**Aschheim
(D)**



**Riehen
(CH)**



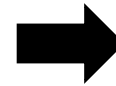
Photos Riehen: O. Collet

Un exemple du bassin parisien

Réalisations bassin parisien en 2010

Adapté de Lopez, forum ARPEA 2014,

http://arpea.ch/diapos/geothermie_2014/4_Lopez_ForumArpea2014.pdf



La Semhach à Chevilly-Larue,
L'Haÿ-les-roses et Villejuif



2 doublets à 2'000m (depuis 1986)

L'Haÿ-les-Roses = 73°C et 80 l/s

Chevilly-Larue = 75°C et 80 l/s

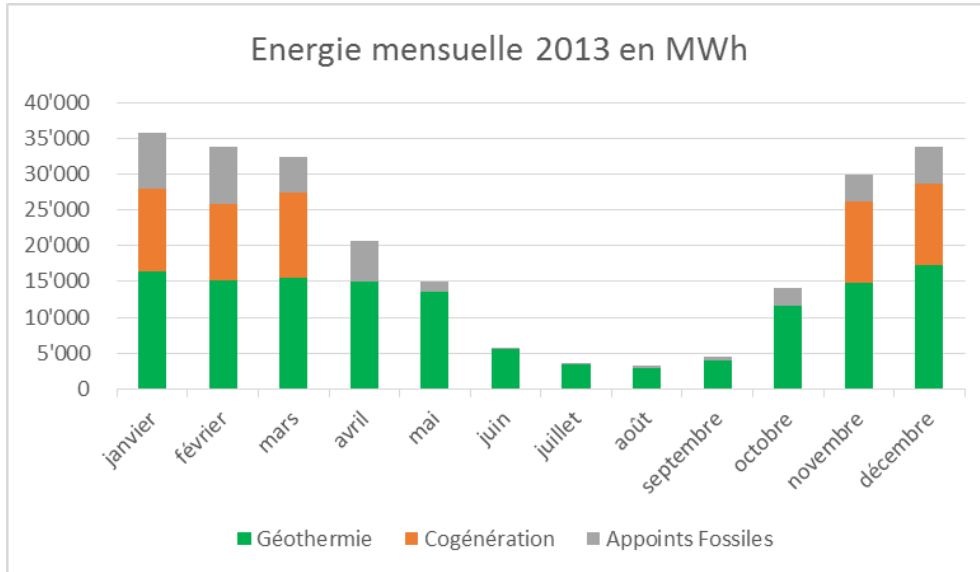
Et un 3^{ème} (Villejuif) fin 2016

→ **≈ 40 MW Géothermique (réel)**

($P_{\text{géo } 25^\circ} \approx 50 \text{ MW}$)

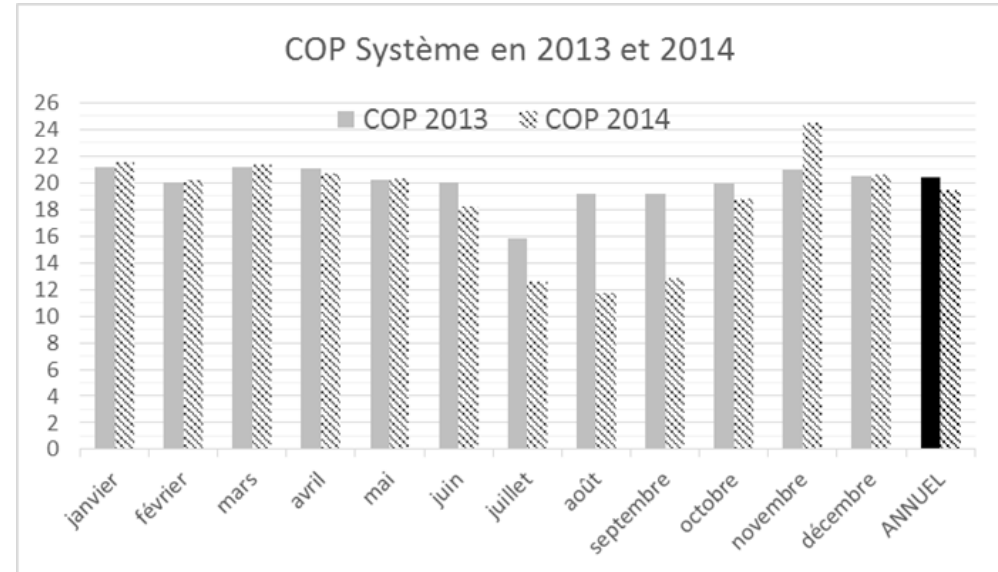
Energie et COP mensuel

Energie mensuelle



- CCF gaz : tarification EDF électrique en ruban (1^{er} novembre au 31 mars)
- 2 énergies thermiques de ruban complémentaires en hiver

Coefficient de performance (COP)



COP Système ≈ 20

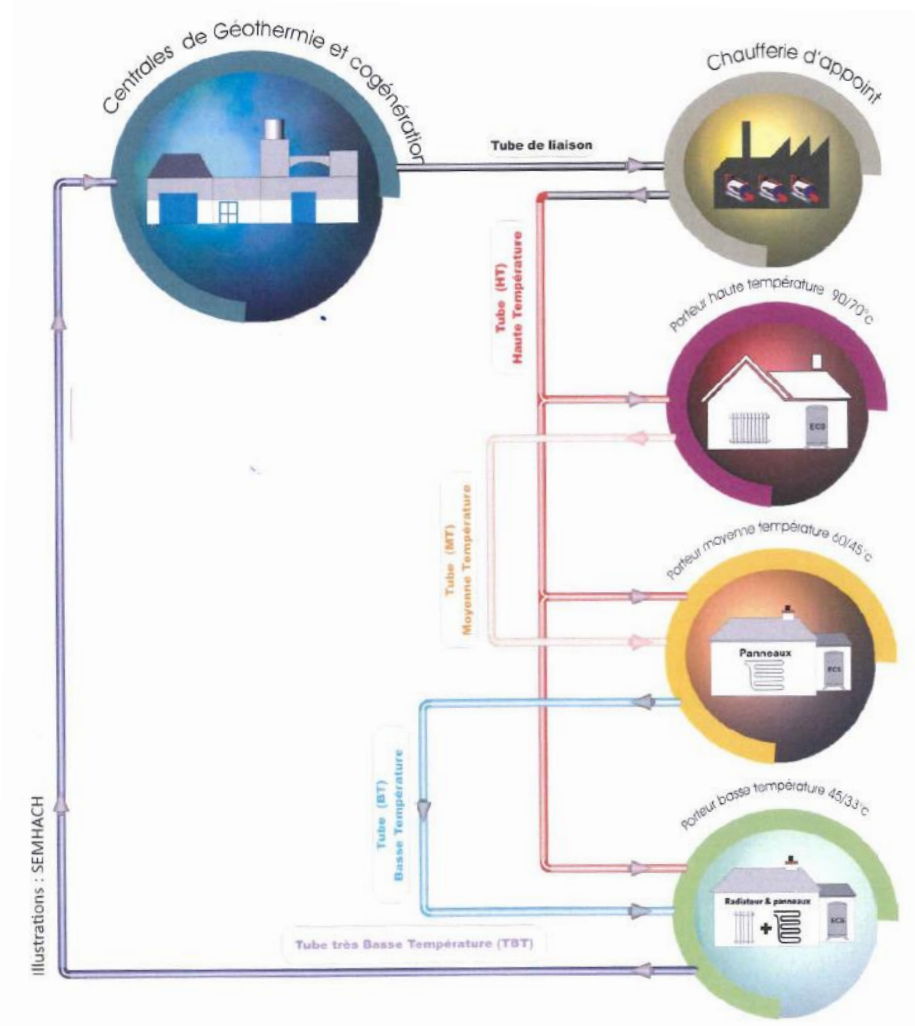
(Electricité totale \rightarrow pompes géothermique + pompes réseaux, centrales, bureaux, etc...)

COP géothermique ≈ 25

(1 kWh électricité pompe immergée \rightarrow 25 kWh de chaleur)

Températures réseau

- Réseau multi-tube (2 à 4)
 - Système en cascade (Haute Température, Moyenne T, Basse T, Très Basse T)
 - Objectif : grand Delta Température ($\Delta T = 30^\circ$ à 70°) pour augmenter ΔT fluide géothermique
 - T_{aller} réseau = 103°C (pour $T_{\text{ext}} < -3^\circ\text{C}$) à 68°C ($T_{\text{ext}} > 7^\circ\text{C}$)
 - En hiver, T_{aller} réseau $> T_{\text{GEO}}$: nécessité de l'appoint aussi pour la température
 - T_{retour} réseau moyen = $35\text{-}40^\circ\text{C}$
 - $T_{\text{retour hiver}} = 32^\circ\text{C}$ (à $T_{\text{ext}} = -7^\circ\text{C}$)
 - $T_{\text{retour été}} = 52^\circ\text{C}$
 - Gestion à distance des sous-stations (SST) par l'opérateur réseau (Semhach)
 - Pas de système de bonus/malus sur SST

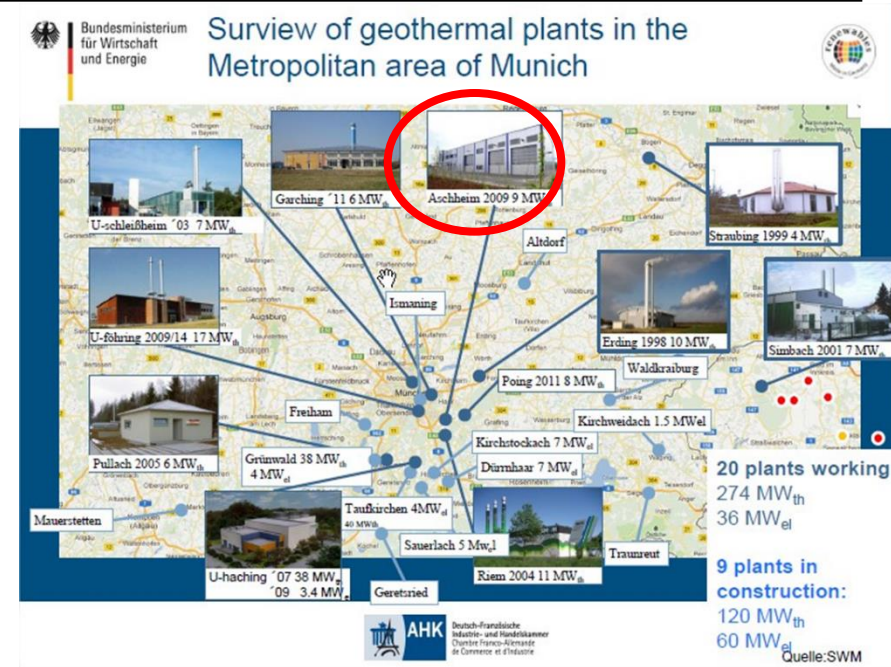
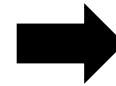


Eléments clés de la Semhach

- Forte implication des collectivités
 - Vision politique et soutien financier
- Réflexions techniques initiales poussées
 - Importance des pré-études
 - Multi-tube pour augmenter le delta T du réseau, donc la valorisation géothermique
- Une ressource abondante à plus de 70°C (80 l/s x 3)
- Economie
 - Prix pour les clients très concurrentiels (5 cts/kWh HT)
 - Garantie des risques a permis de sécuriser l'investissement
 - garantie forage (court terme) + garantie exploitation (long terme)
- Environnement
 - Impact de la corrosion maîtrisée
 - Percée thermique moins rapide qu'initialement prévue
 - Économie substantielle de CO₂ (env. 30'000 t/an)

Un exemple du bassin bavarois

Aschheim Feldkirchen Kirchheim
(AFK : <http://www.afk-geothermie.de/>)



Source SWM

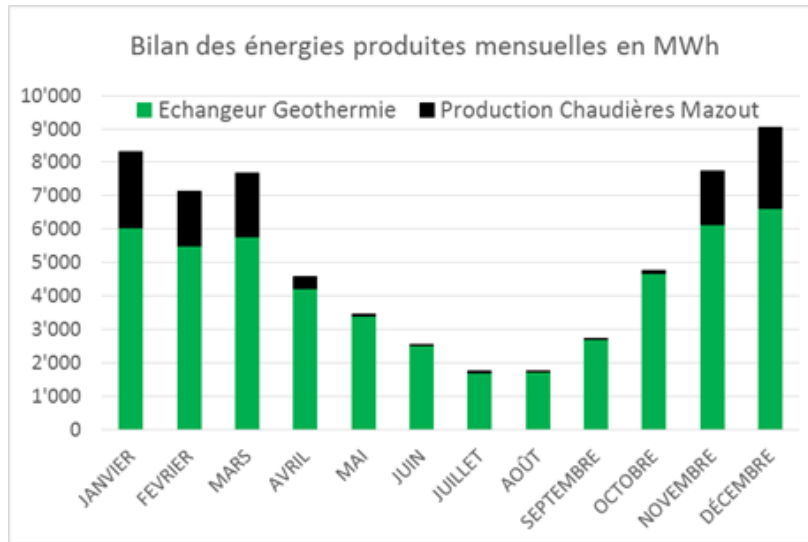
1 doublets à 2'700m

Aschheim = 86°C et 79 l/s

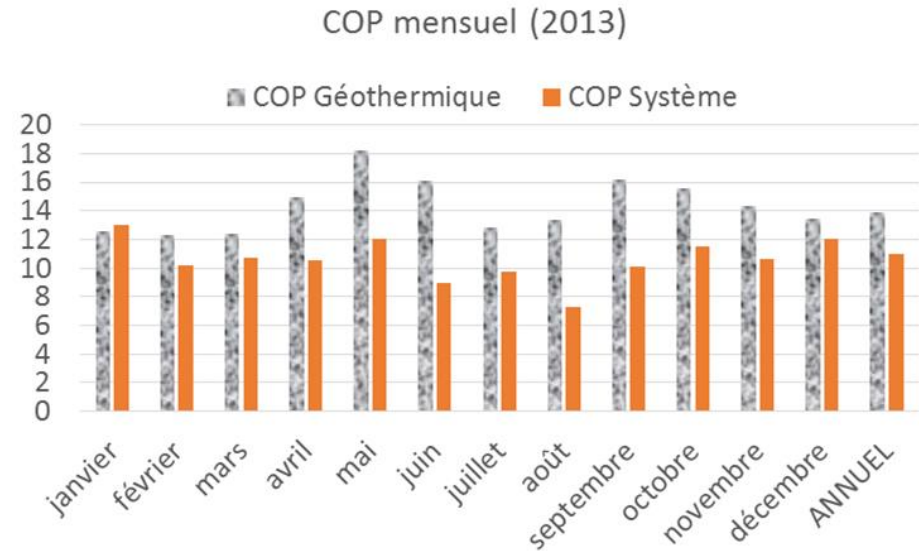
→ ≈ 10 MW Géothermique (réel)

(P_{géo 25°} ≈ 20 MW)

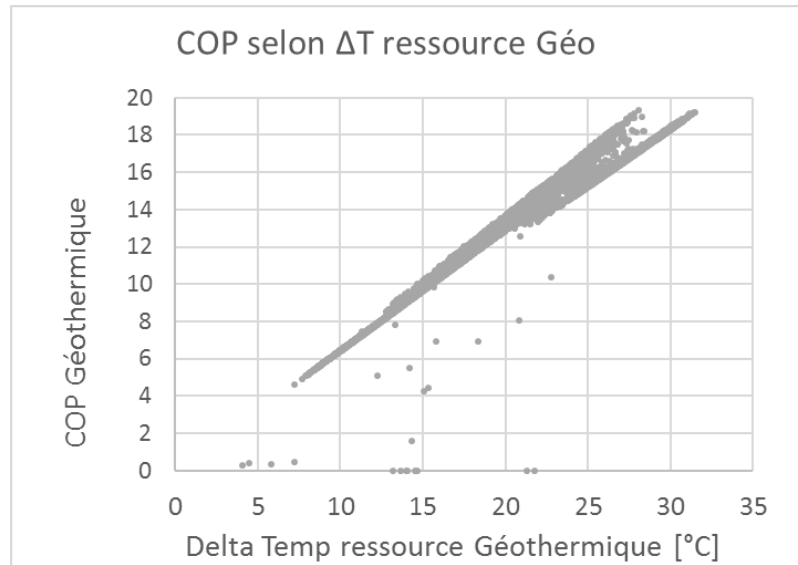
Energie mensuelle



Coefficient de performance (COP)



- Majoritairement énergie géothermique (>80%)

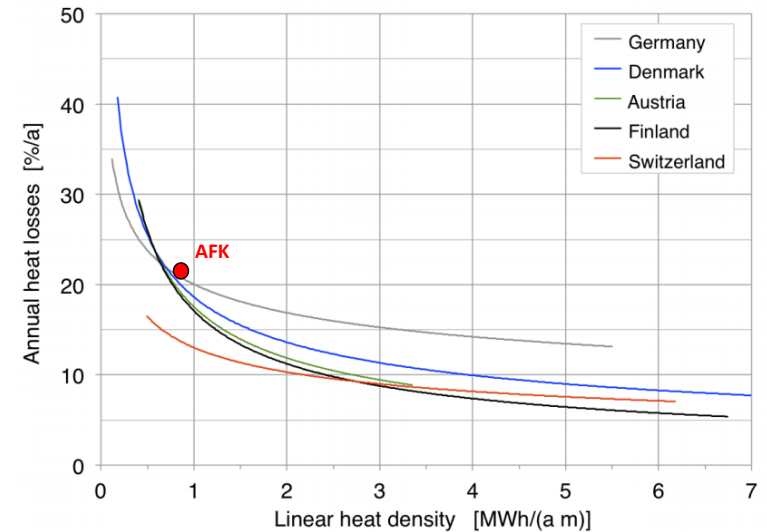
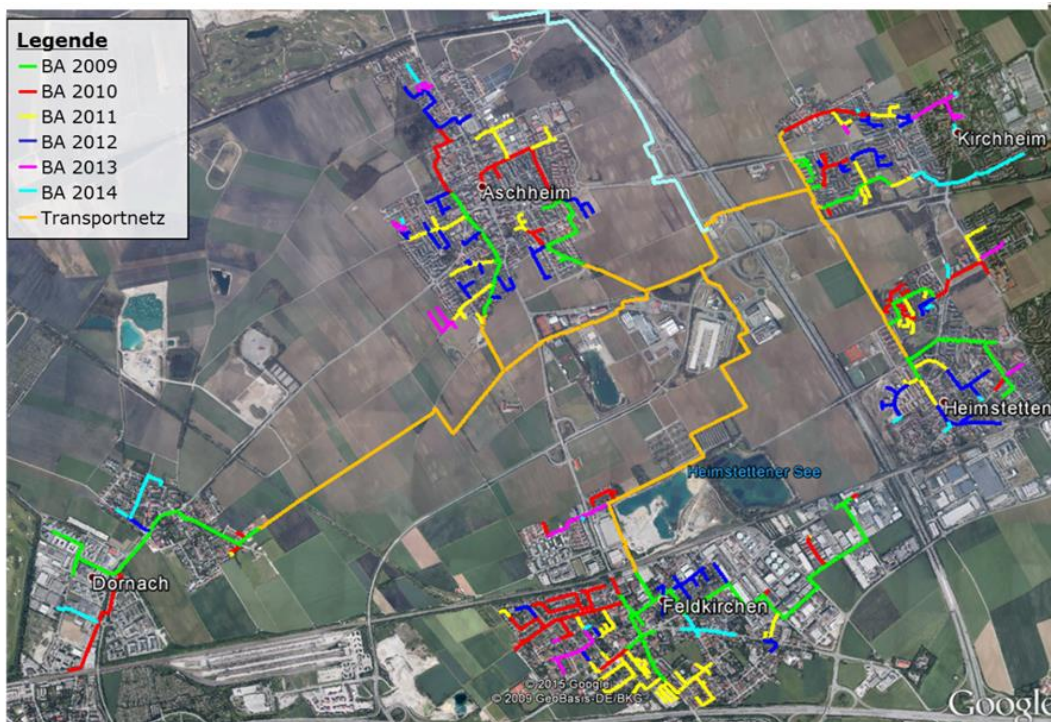


COP Système \approx 11
COP géothermique \approx 14

→ ΔT en moyenne plus faible que dans le cas parisien

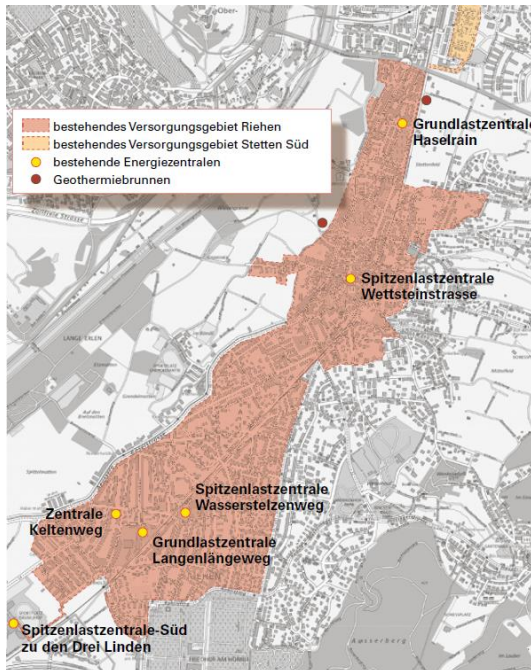
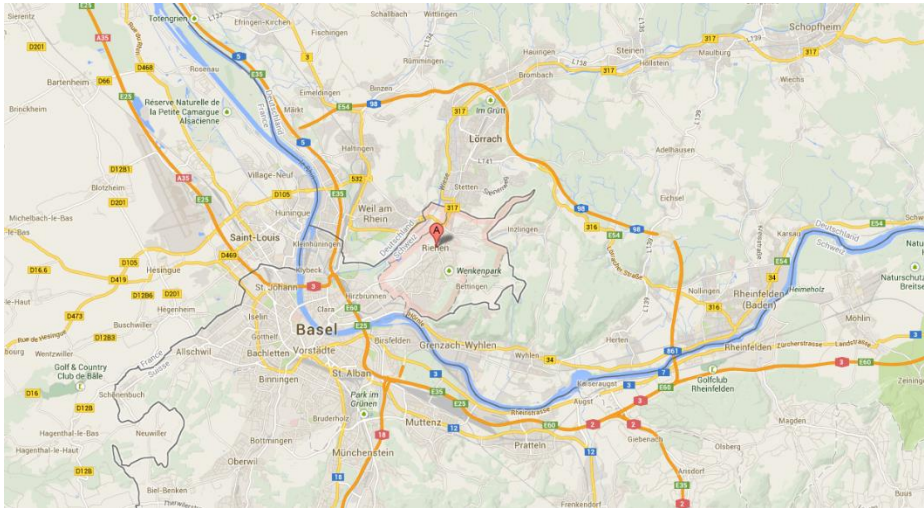
Réseau de chaleur à distance (CAD)

- $P_{\text{souscrit}} \approx 43 \text{ MW}$
- $E_{\text{vendue}} \approx 50 \text{ GWh}$
- 68 km de réseau (2014)
- Densité $\approx 0.8 - 0.9 \text{ MWh/m/an}$
- Pertes annuelles réseaux $\approx 22\%$
- Peu rentable économiquement



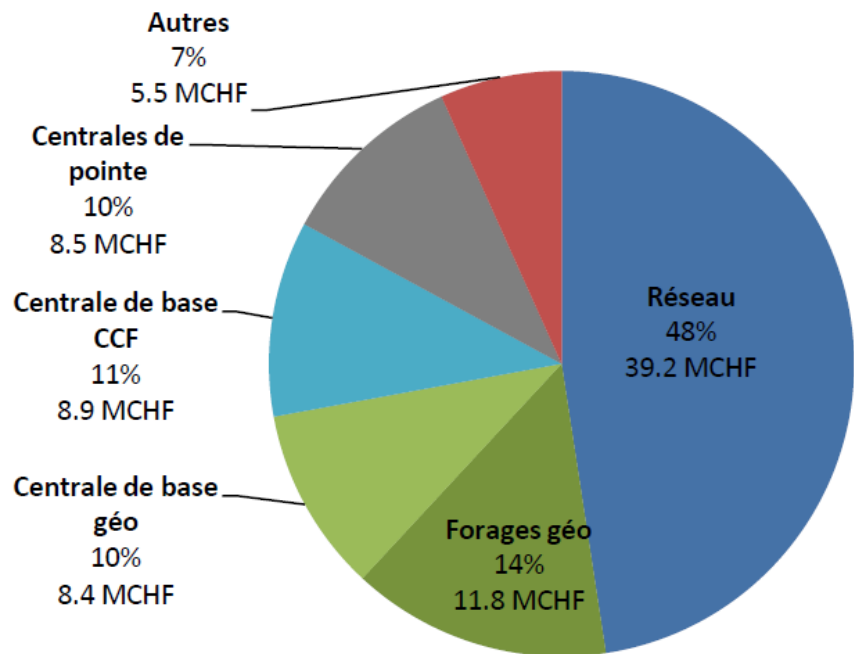
- Forte implication des collectivités
 - Vision politique et soutien financier
- Réflexions techniques initiales poussées
 - Importance des pré-études
 - Prise en compte d'une évolution vers le 100% renouvelable (PAC + biomasse)
- Une ressource abondante à plus de 80°C (80 l/s)
- Economie
 - Investissements élevés niveau ressource ET réseau CAD
 - Densité thermique faible péjore le bilan économique
 - Garantie des risques forage (court terme - non utilisée)
- Environnement
 - Économie substantielle de CO₂ (env. 13'000 t/an)

L'exemple Suisse (Riehen - BS)



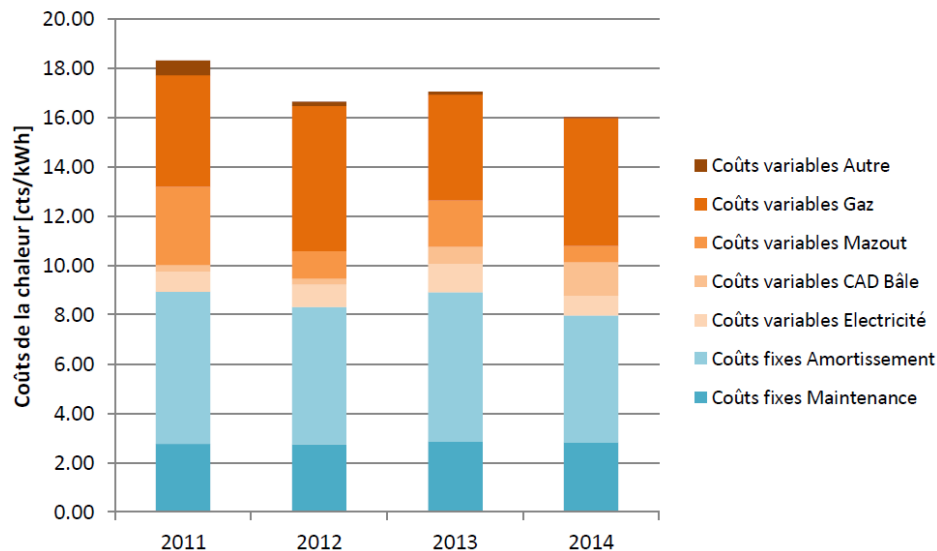
- Forages géothermique en 1989
 - Doublet : 20l/s à 65°C
 - Spécificité : traverse nappe eau alimentaire
- Inauguration géothermie en 1994
- Dès 1997, réseau transfrontalier avec l'Allemagne
- Multi-ressource avec 7 centrales de production :
 - Géothermie (avec PAC)
 - Chaudières Gaz, mazout
 - Couplage chaleur force (Gaz)
 - Bois
 - Connexion CAD Bâle (2013)
- Dès 2012, reprise par IWB

Investissements et coûts

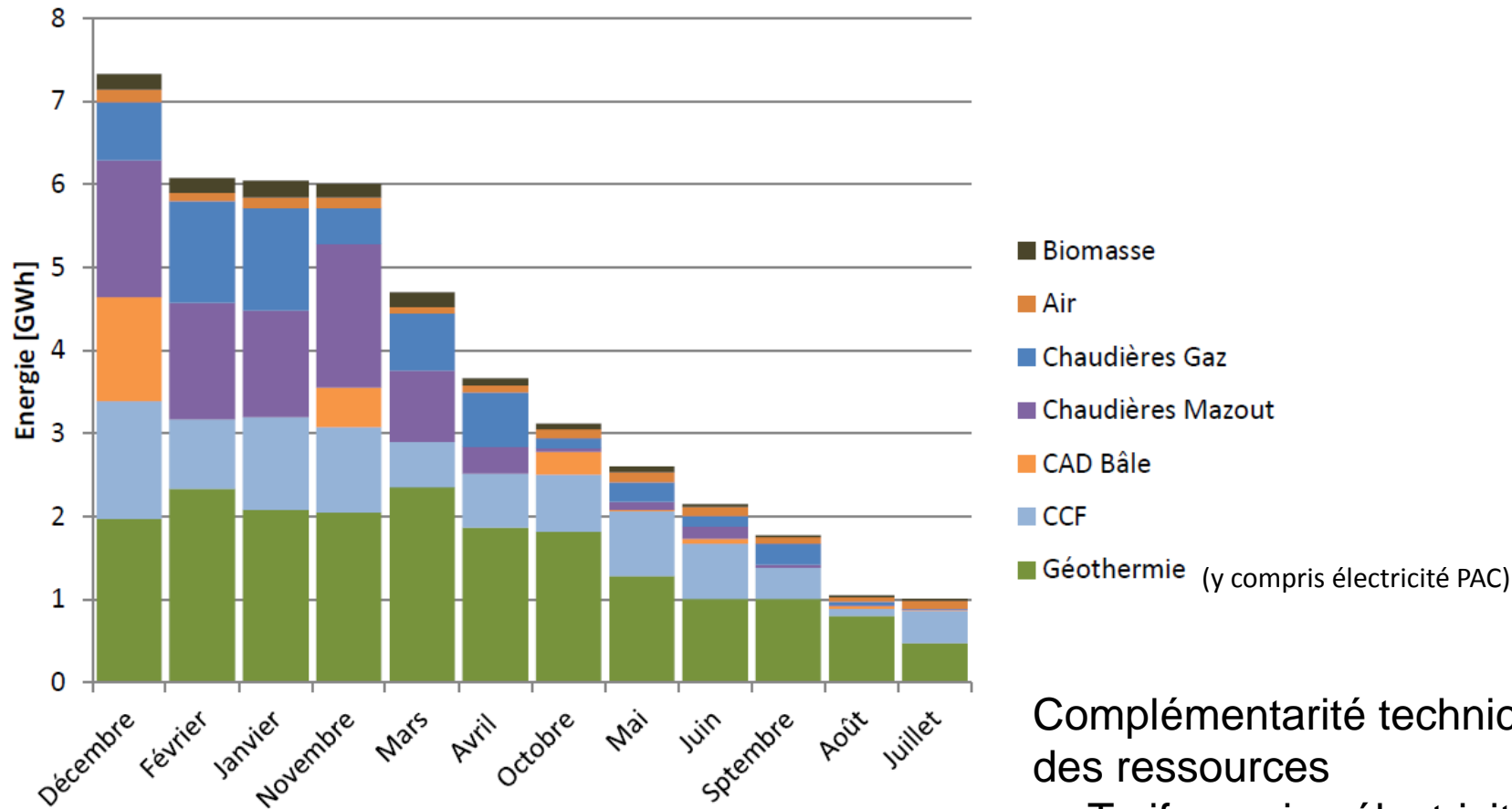


NB : Investissement totaux (sans subvention)

- Investissements :
 - 50% réseau thermique
 - Géothermie <25%
 - 20 millions de subventions
- Densité réseau de 1.2 MWh/m/an
- Coûts selon compte d'exploitation
 - 50% variable / 50% fixe



Réseau multi-Ressources



Complémentarité technico-économique des ressources

- Tarifs reprise électricité CCF avantageux
- Géothermie en ruban en hiver

Schéma Géothermie + PAC à Riehen

- Réalité Riehen complexe car :

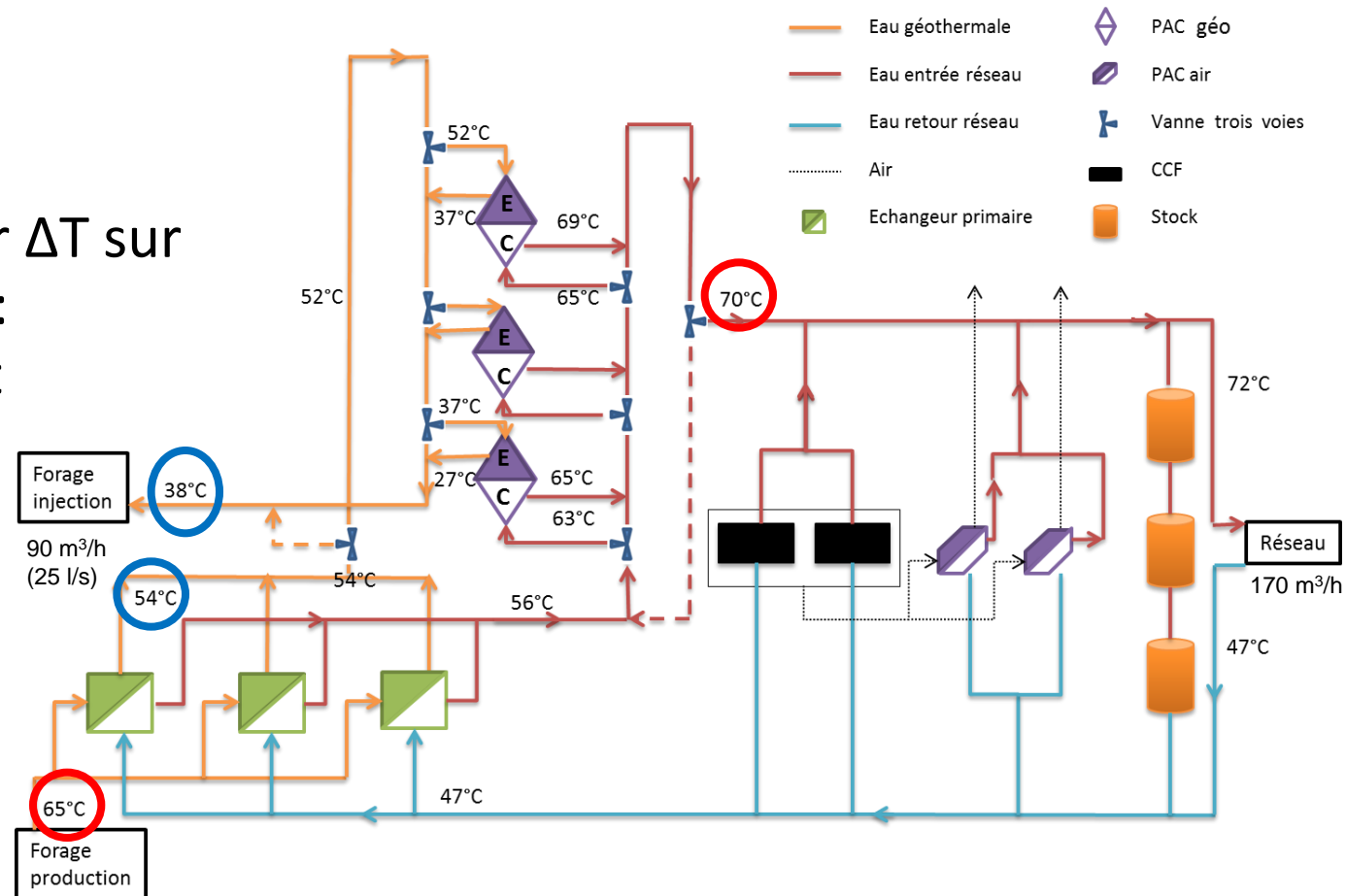
- 3 PAC en série
- Condenseur PAC en série sur l'échangeur primaire

Exemple du 18 novembre 2014 à 16h avec $T_{\text{ext}} \approx 10^\circ\text{C}$

- Objectif = augmenter ΔT sur débit géothermique :

- T_{allerGEO} de 65° à 70°C
- T_{retGEO} de 54° à 38°C

- COPA géo ≈ 5
- COPA système ≈ 4



Eléments clés de Riehen

- Forte implication des collectivités
 - Vision politique et soutien financier
- Réflexions techniques initiales poussées
 - Intégration d'une PAC ammoniac pour optimiser l'utilisation de la géothermie
- Une ressource «correcte» à 65°C (20 l/s)
- Economie
 - Investissements élevés niveau ressource ET réseau CAD
 - Densité thermique faible péjore le bilan économique
 - Tarification avantageuse CCF électrique concurrence la géothermie
 - Garantie des risques forage (programme fédéral 1987)
- Environnement
 - Forage traverse nappe d'eau alimentaire
 - Économie de CO₂ (env. 3'000 t/an)

Éléments-clés géothermie moyenne profondeur (500 à 3'000m)

- La géothermie hydrothermale de moyenne profondeur est une énergie de ruban
- La valorisation de plusieurs MW thermique nécessite un réseau de chaleur (mutualisation de la ressource)
 - Rappel : $10 \text{ MW}_{\text{th}} \approx 150 \text{ à } 300'000 \text{ m}^2$ de SRE (mono-ressource)
- Vision «économique» → viser un réseau dense, multi-ressource et à basse température
 - $10 \text{ MW}_{\text{th}} \approx 60\text{-}70 \text{ GWh} \approx$ quartier de 10 à 20'000 habitants
- Les COP Géothermique peuvent aller de 25 à 5 selon le système (sans/avec PAC)
- L'amélioration des technologies de PAC permet de viser aussi des plus basses températures de ressource et/ou des plus hautes températures de distribution
- Éléments-clés partiellement valables aussi pour la géothermie sur nappe superficielle ! (mutualisation, micro-réseau multi-ressource, PAC)

Éléments-clés pour Genève

- Nécessité de développer les réseaux thermiques pour intégrer la géothermie

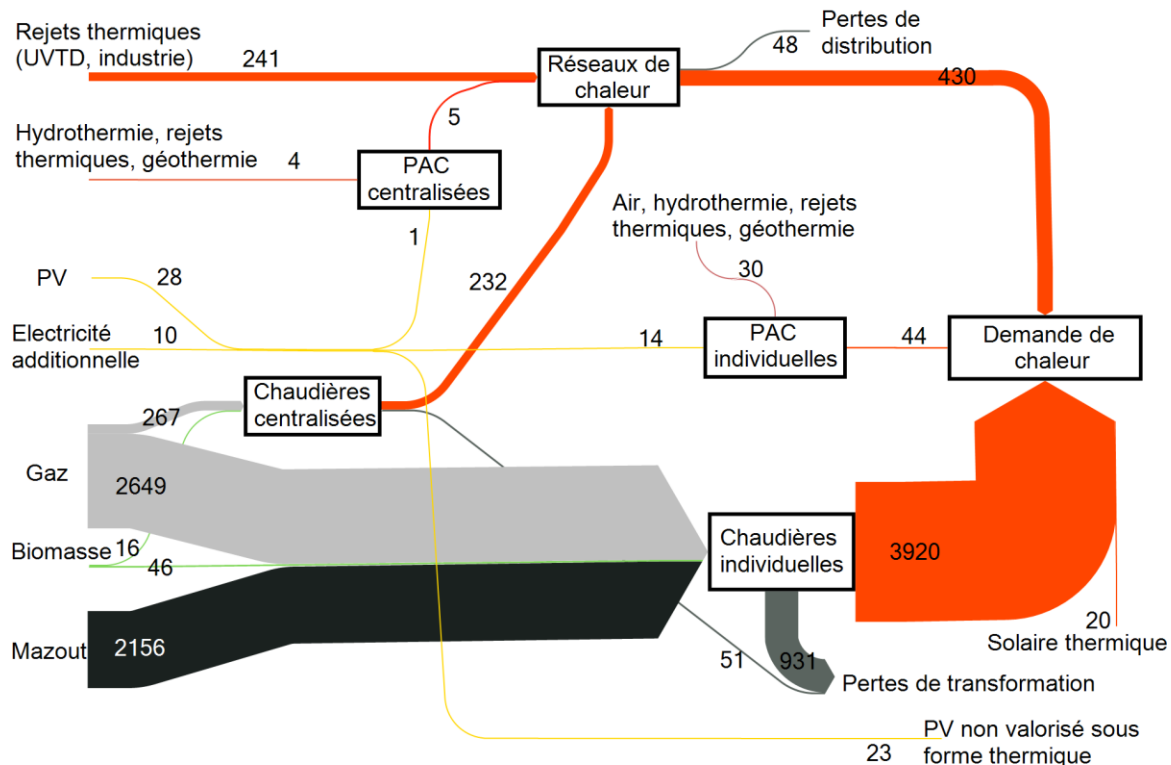
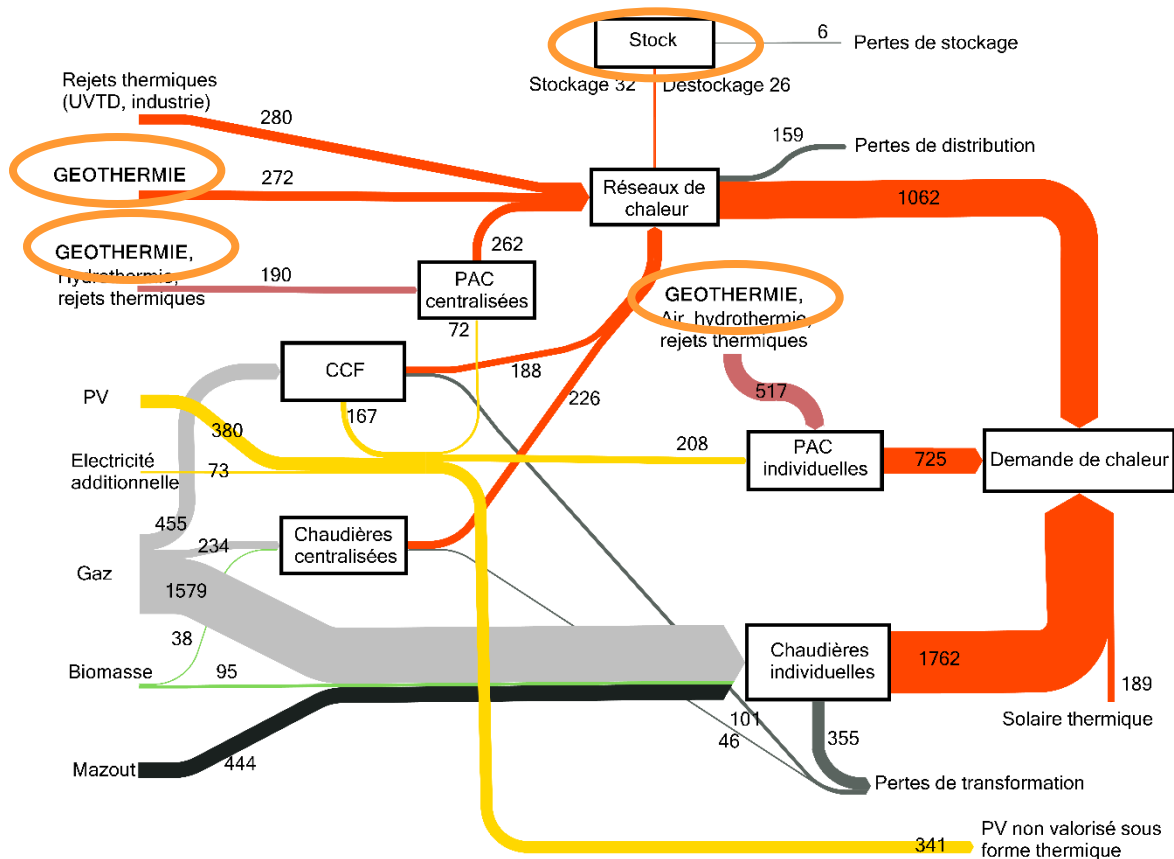


Diagramme de flux énergétiques du marché de la chaleur en 2014 à Genève (Unité: GWh/an)

Source : Quiquerez et al, 2016, UNIGE, <http://archive-ouverte.unige.ch/unige:84656>

Eléments-clés pour Genève

- Nécessité de développer les réseaux thermiques pour intégrer la géothermie



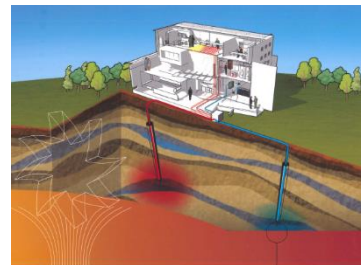
- Scénarios 2035 quantitatif et exploratoires dans un cadre prospectif
- Exemple avec 30% de CAD en 2035
- Géothermie 50% centralisé / 50% décentralisé
- Géothermie : notion de qualité (température) importante, mais peut se régler à différents niveaux (ressource, technologie, usage)

Diagramme de flux énergétiques du marché de la chaleur en 2035 à Genève (scénario EE&RES). Unité: GWh/an

Source : Quiquerez et al, 2016, UNIGE, <http://archive-ouverte.unige.ch/unige:84656>

Eléments-clés pour Genève

- Besoin de partage de connaissance, de formations pour mieux valoriser les géothermies
- Exemple de la formation continue GeoDH de l'UNIGE
 - Distribution gratuite d'un outil excel GeoCAD
 - Pour géothermie > 600m
- Mais besoins actuels des participants = géothermie nappe !



Guide technique
Les pompes à chaleur
géothermiques à partir
de forage sur aquifère
Manuel pour la conception
et la mise en œuvre



brgméditors

JOURNÉES | formation continue universitaire

**Valorisation de la géothermie:
le rôle clé des réseaux de chaleur**

Jour 1: jeudi 3 novembre 2016
Jour 2: jeudi 10 novembre 2016



Institut Forel
Institut des sciences de l'environnement
Groupe systèmes énergétiques

 UNIVERSITÉ
DE GENÈVE

-
- Pluralité des géothermies : ressources, usages et concepts sont intimement liés
 - Besoin de retour d'expérience (REX), de visite de sites existants
 - Besoin de lieu de discussion, de transparence, de projets pilotes
 - Besoin de construire un marché, de créer des guides techniques
 - Besoin de compétences multiples et variées (géologues, énergéticiens, ingénieurs thermique, mais aussi gestion données, environnement, finances, sociologue,)