

formation continue universitaire

Valorisation de la géothermie :

Le rôle clé des réseaux de chaleur

Exemple d'un réseau géothermique
à basse densité à Aschheim-Feldkirchen-Kirchheim (Munich)

J. Faessler

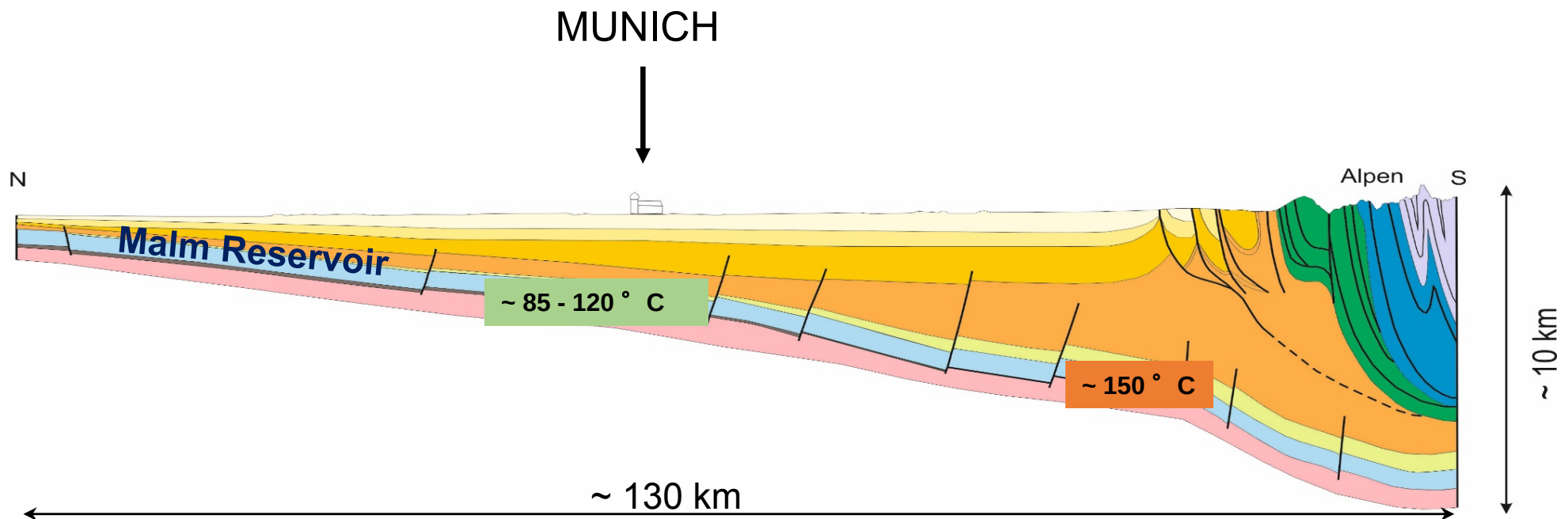
3 novembre 2016

www.unige.ch/energie

www.unige.ch/formcont/geodh/

Bassin munichois : ressource

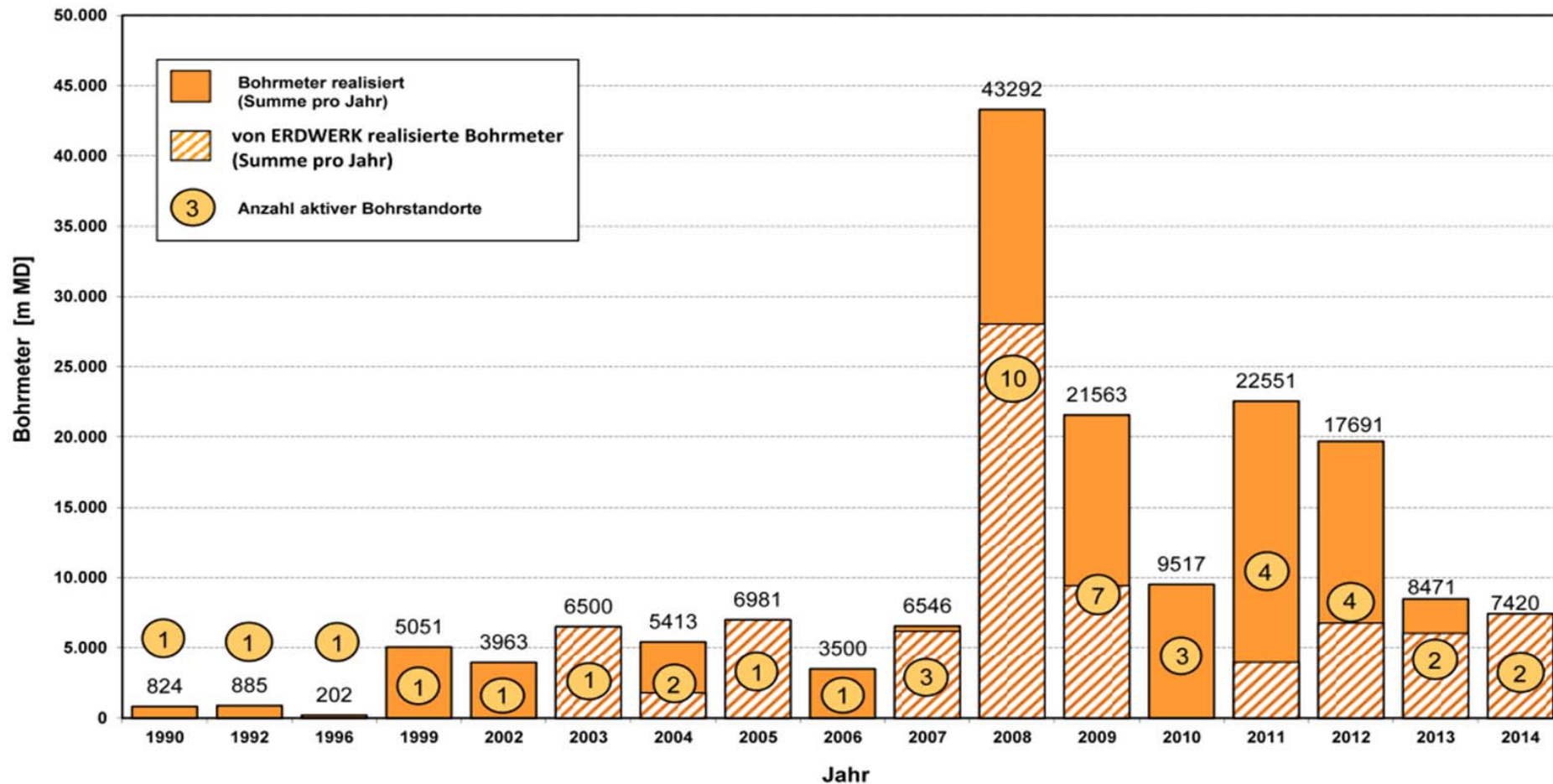
- Sud de l'Allemagne → zone la plus importante pour l'exploitation de l'énergie géothermique en Allemagne
- Réservoir du Malm de + en + profond (et chaud!) du Nord au Sud



Profil géologique N-S à travers le bassin Molassique

Source graphique : Erdwerk

Bassin munichoïse : nb et longueur forages



- 45 forages depuis 1990
- 170 km de forages
- Soit une moyenne de 3.8 km/forage

Bref historique AFK Geothermie

- Etudes de faisabilité dès 2005
- Création d'une société intercommunale Aschheim-Feldkirschen-Kirchheim (AFK Geothermie) en 2008
- Forage doublet : sept 2008 à juin 2009
- Construction centrale géothermie 2009-2010
- Construction CAD : dès 2009

Source : AFK Geothermie
<http://www.afk-geothermie.de/>

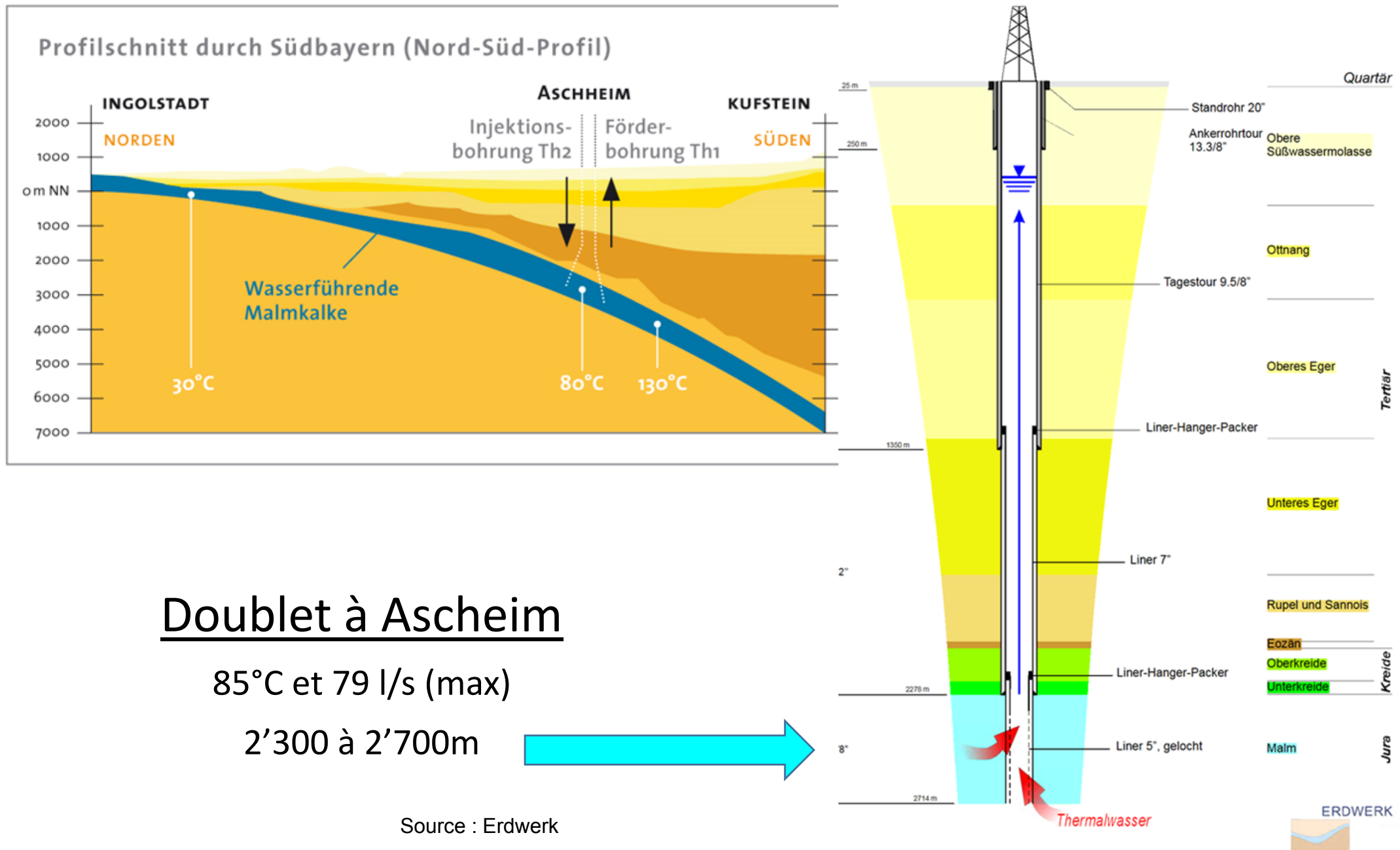


Tour de forage (AFK Geothermie)



Inauguration centrale (AFK Geothermie)

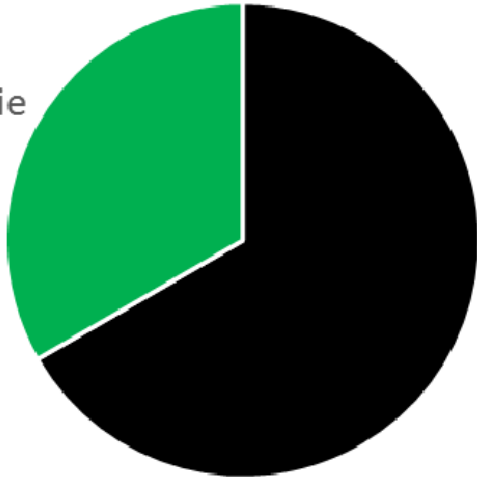
Profil doublet Ascheim



Puissance et mix énergétique 2013

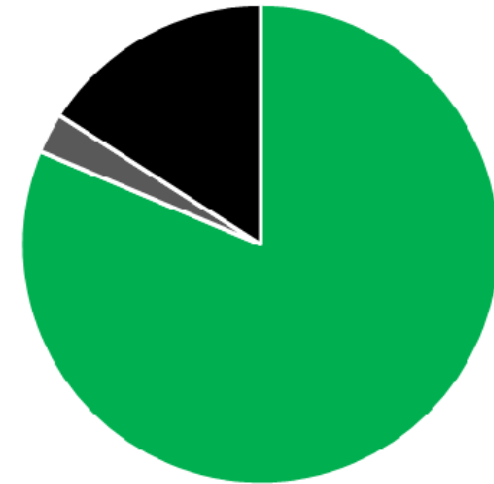
Puissance = 30 MW

■ Mazout
■ Géothermie



Energie 2013 = 64 GWh

■ Echangeur Geothermie
■ Mazout 2
■ Mazout 1



GEOOTHERMIE

33% de puissance = 84% d'énergie

ENERGIE DE
RUBAN



CHAUDIERES FOSSILES

67% de puissance = 16% d'énergie

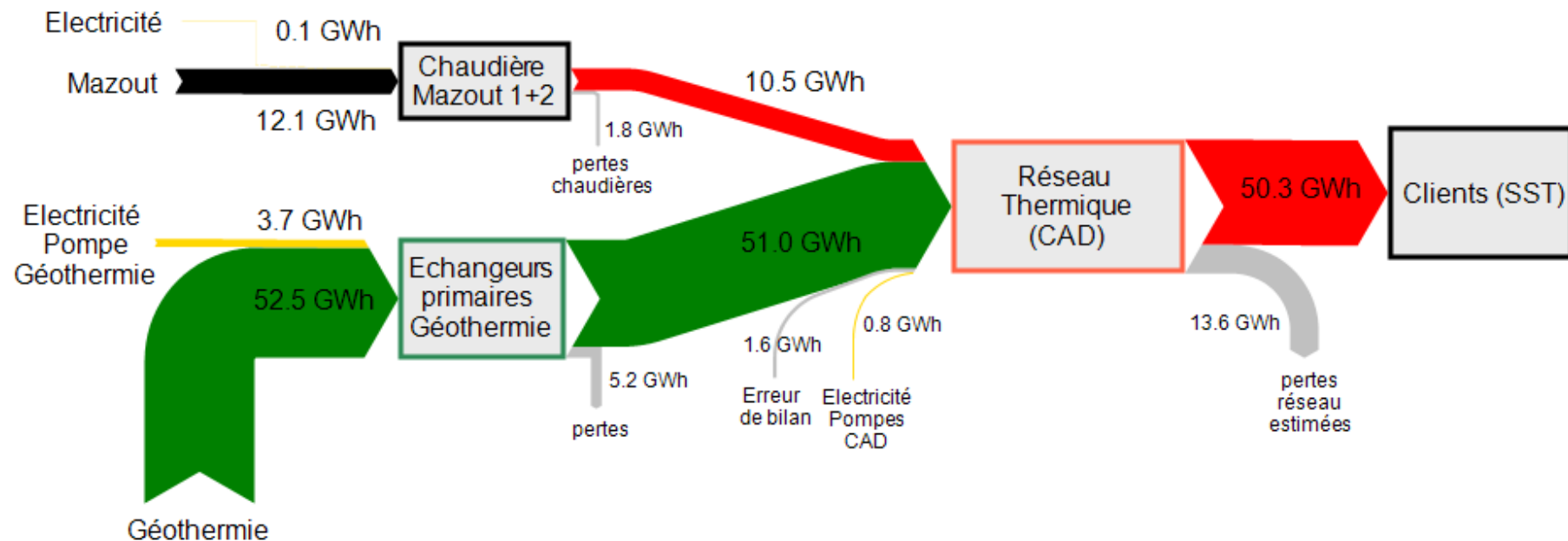
ENERGIE DE
POINTE



Bilan Energie et courbe de charge 2013

Ascheim

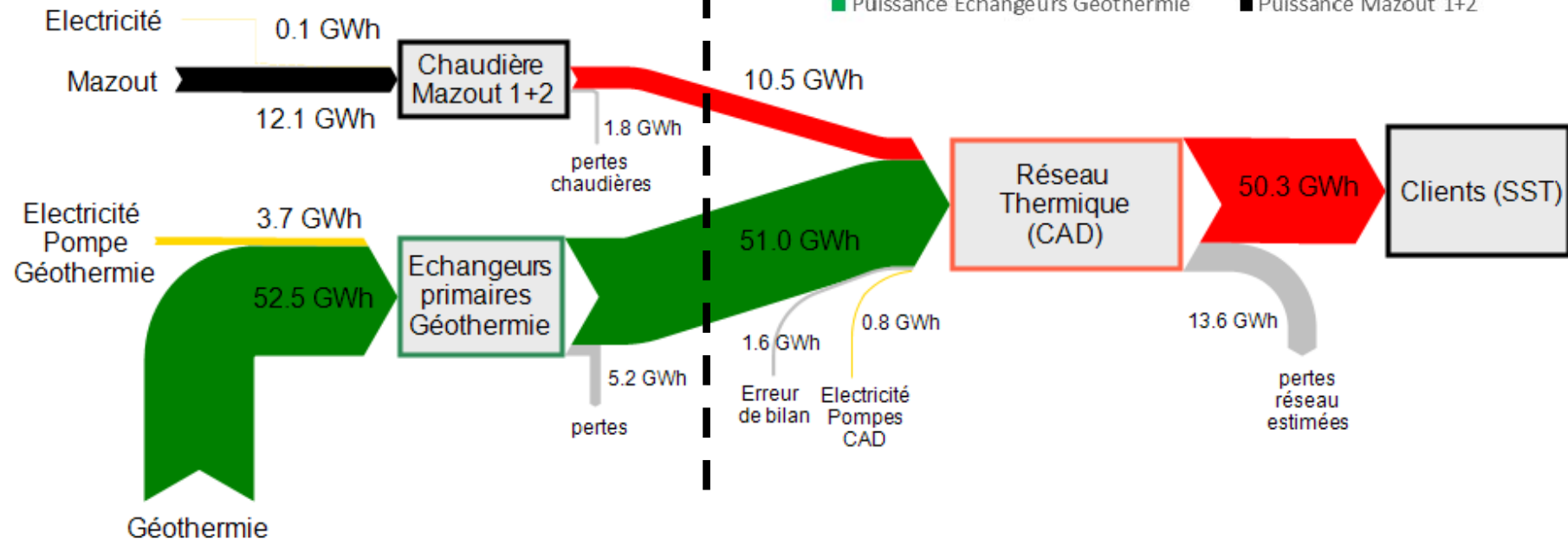
- Mazout
- Electricité
- Géothermie
- pertes
- Chaleur



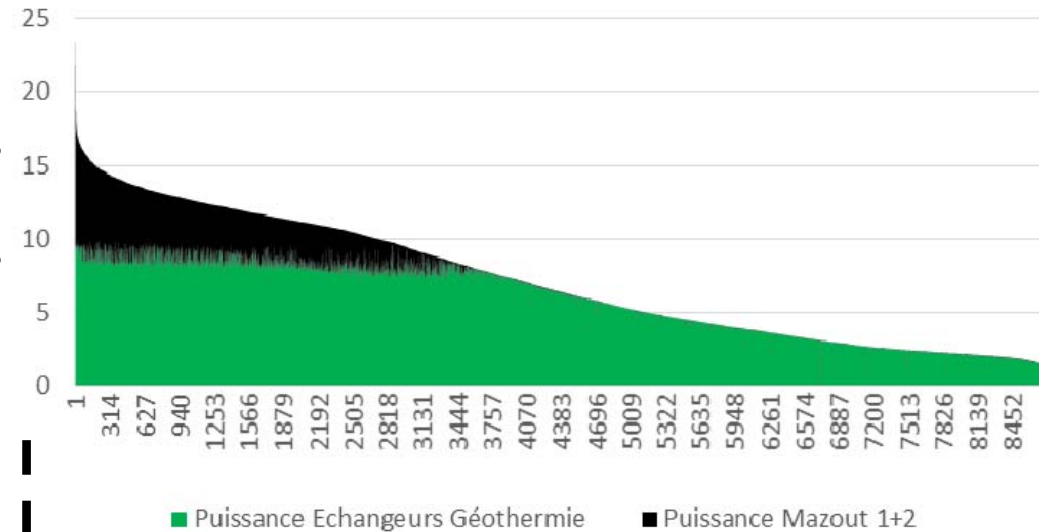
Bilan Energie et courbe de charge 2013

Ascheim

- Mazout
- Electricité
- Géothermie
- pertes
- Chaleur

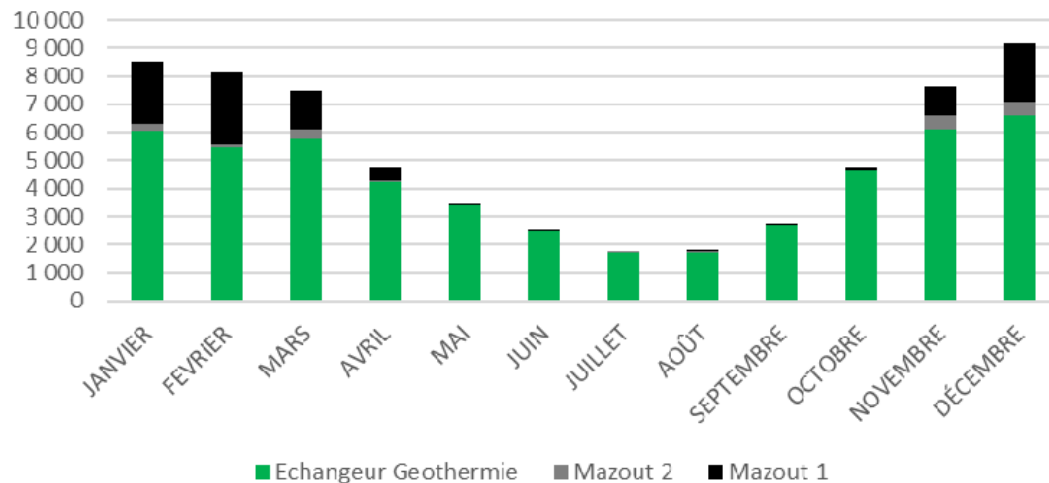


Puissance horaire
Géothermie + Mazout [MW]



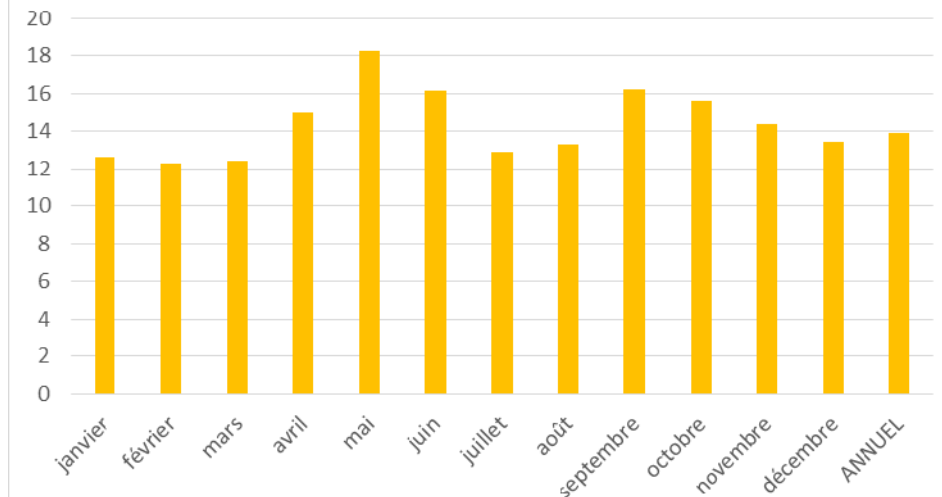
Energie mensuelle

Production Energie mensuelle MWh



Coefficient de performance (COP)

COP Géothermique mensuel (2013)



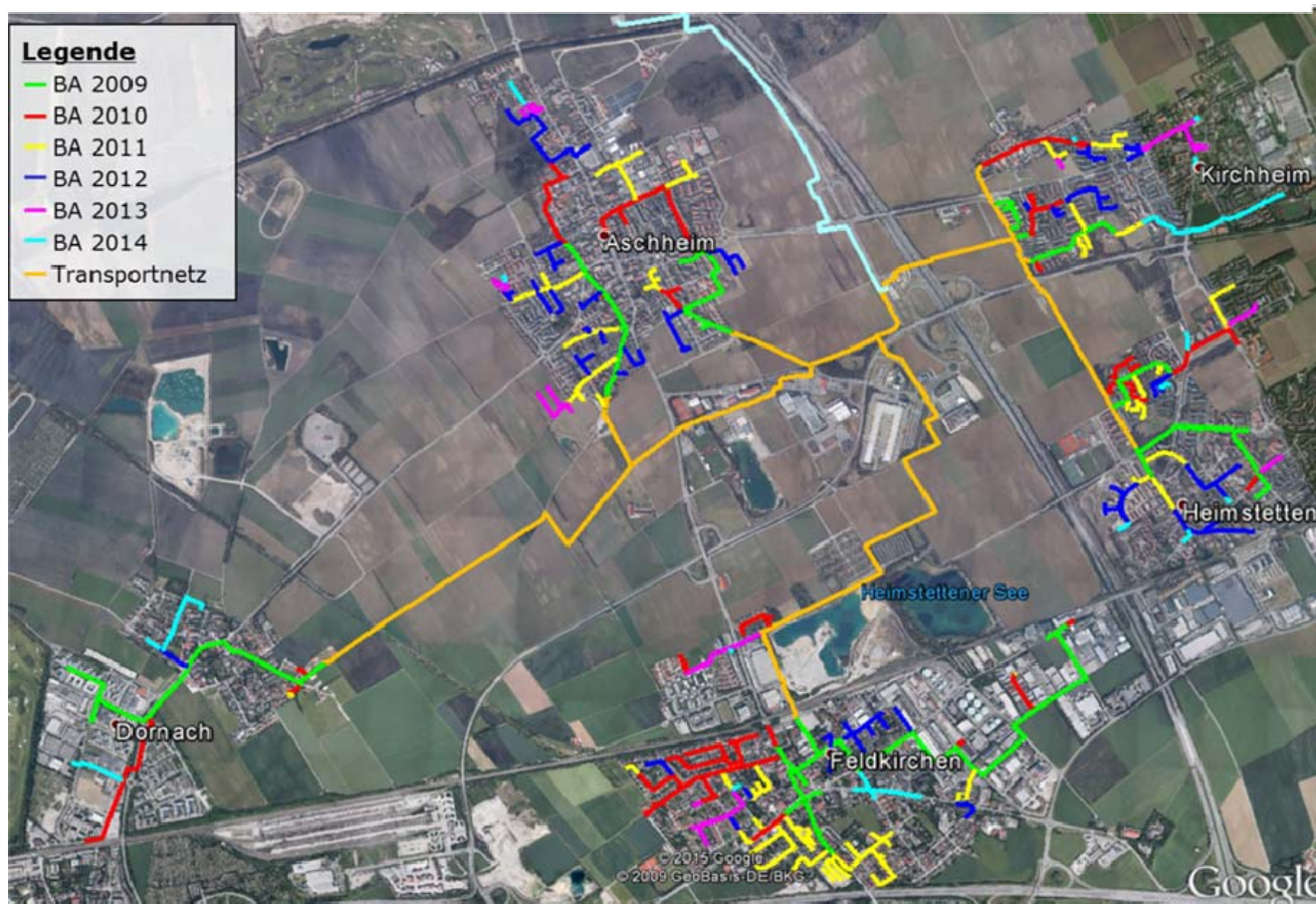
COP géothermique ≈ 14
(1 kWh électricité pompe immergée $\rightarrow$
14 kWh de chaleur)

(COP système ≈ 11)

NB: 80% de l'électricité consommée = pompe GEO

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 $\approx 22\%$
- Environ 800 sous-stations (SST)



	2013 / 2014
> 150 kW	52% ventes chaleur 43 SST
16-149 kW	26% ventes chaleur 191 SST
< 15 kW	22% ventes chaleur 600 SST

Aspects organisationnels

- AFK Geothermie :
 - 1^{er} projet intercommunal 100% public
 - Société 100% publique (3 communes) → implication des élus
 - Chiffres d'affaires ≈ 5 millions Euros
 - env. 10 personnes

AFK Team



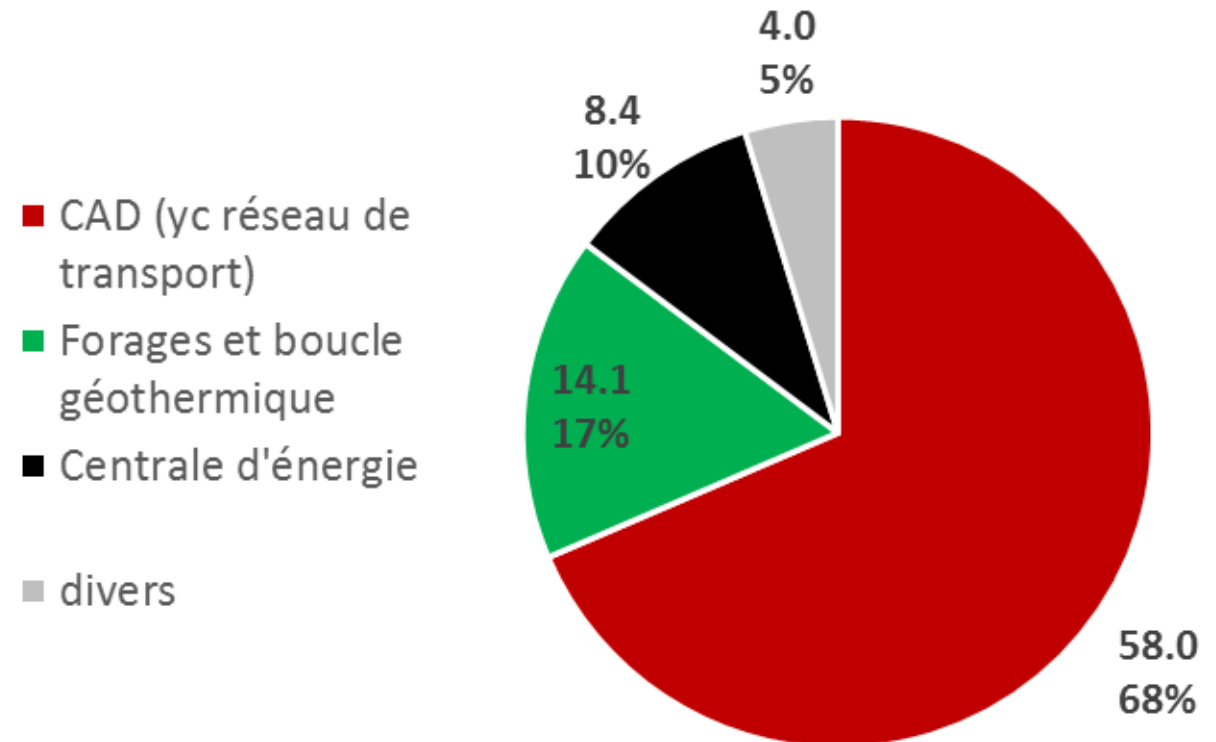
Source AFK Geothermie, *Das 1. interkommunale Geothermieprojekt in Deutschland*



2009: »Glück auf«
Mit traditionellem Bergmannsgruß, ökumenischem Segen sowie zahlreichen Ehren- und Festgästen wurde die Segnung der Reinjektionsbohrung Thz nördlich des Abfanggrabens gefeiert. Foto: © Ulla Baumgart

Investissements

- SOMME de 84 Millions Euros
 - 2/3 pour le réseau
 - <20% pour la géothermie
- Fonds propres communes
 - 45 millions
- Banque KfW*
 - Emprunt de 29 millions
 - + subventions de 10 millions
 - + couverture du risque géologique (voir prochaine slide)
- Nouveaux investissements de 14 millions prévus (2015-2022)



Source : AFK Geothermie

* KfW = Kreditanstalt für Wiederaufbau, Banque publique de reconstruction (www.kfw.de)

Couverture du risque allemand

Tableau 7 : Assurance contre le risque géologique pour la géothermie profonde

Fündigkeitsrisiko Tiefengeothermie	
Pays	Allemagne
Dimension	Verticale
Phase du projet	Forage
Gestionnaire	KfW Bankengruppe
Bénéficiaires	Opérateurs publics et privés
Instrument	Assurance (emprunt avec clause d'indemnisation en cas d'échec)
Niveau de financement	La part financée est de 80% maximum des coûts de forage éligibles incluant les coûts d'investissement pour les mesures de stimulation, avec un prêt maximum de 16 millions d'euros par projet (doublet).
Opérations éligibles	
➤ Les projets de production de chaleur, d'électricité et de cogénération.	
Informations complémentaires	
➤ La garantie ne couvre que le risque géologique à court terme ; ➤ L'indemnisation sera versée après que KfW ait approuvée l'échec du forage à 100% ; ➤ Les coûts admissibles correspondent aux coûts nécessaires à l'achèvement du forage ; ➤ Les projets doivent comprendre au minimum un doublet, les trous « simples » ne sont pas éligibles.	

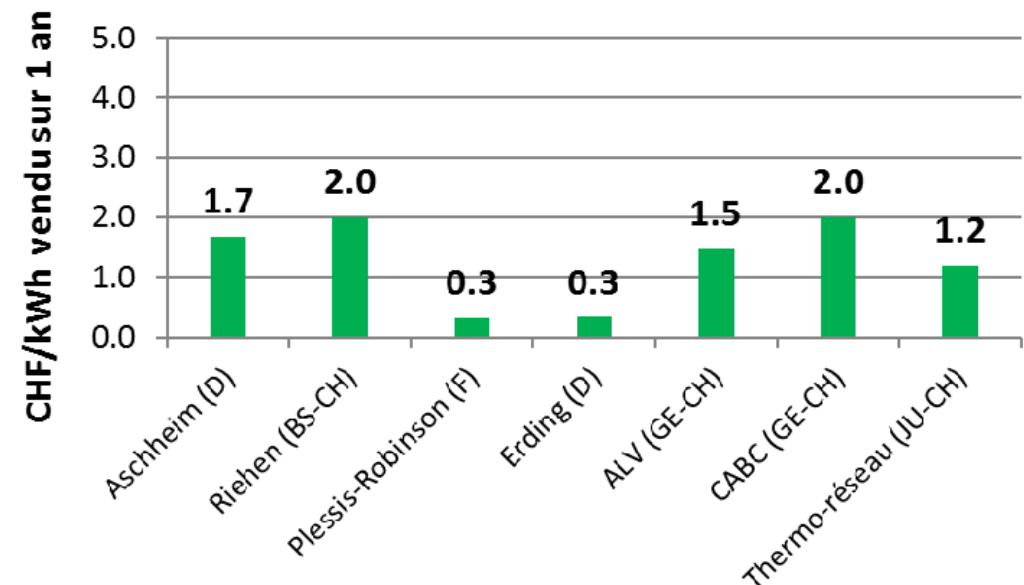
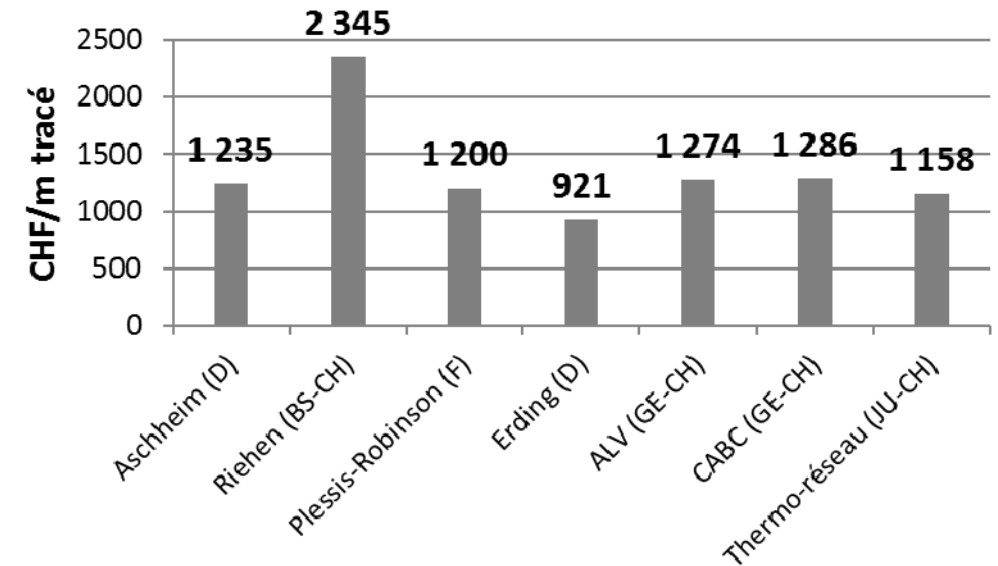
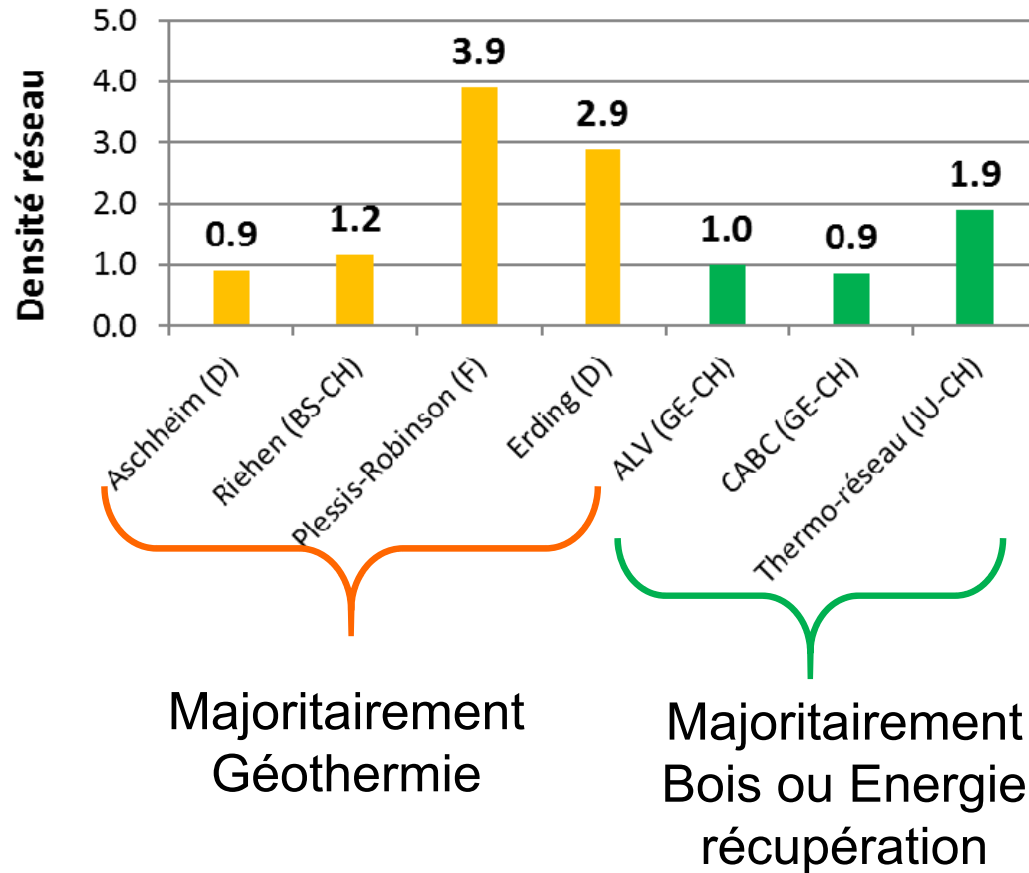
Références : Rapport Geofar p.40, [https://www.kfw.de/KfW-Konzern/Service/Download-](https://www.kfw.de/KfW-Konzern/Service/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsf.)-(D-EN)/Barrierefreie-Dokumente/F%C3%BCndigkeitsrisiko-Tiefengeothermie-(228)-Merkblatt/index-2.html)

[Center/F%C3%B6rderprogramme-\(Inlandsf.\)-\(D-EN\)/Barrierefreie-Dokumente/F%C3%BCndigkeitsrisiko-Tiefengeothermie-\(228\)-Merkblatt/index-2.html](https://www.kfw.de/KfW-Konzern/Service/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsf.)-(D-EN)/Barrierefreie-Dokumente/F%C3%BCndigkeitsrisiko-Tiefengeothermie-(228)-Merkblatt/index-2.html)

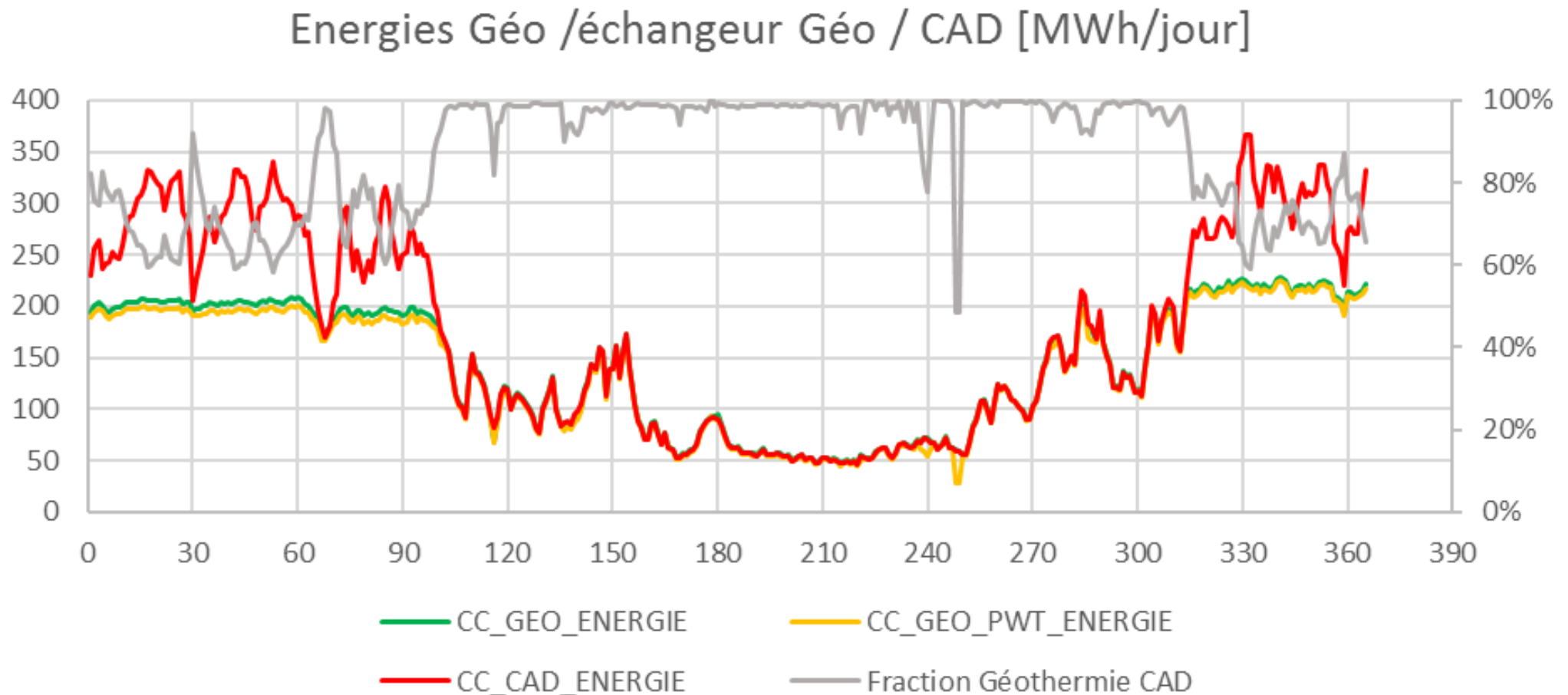
Système de tarification

- Frais de connexion au réseau :
 - Initial : 2'000 ou 4'000 Euros HT (TVA : +19%)
 - 2016 : 2'375 à 4'750 Euros HT
- Tarification fixe / variable avec plus de variable («comme le gaz») :
 - Part variable = 6.6 cts Euros/kWh HT
 - Part fixe $\approx$ 28 Euros/kW HT ($\rightarrow$ 100 kW, ensuite 24 Euros/kW // minimum 15 kW, soit 424 Euros)
 - Indexation complexe évoluant chaque année (selon ressources et index prix/salaire)
- Prix de vente HT $\approx$ 10 à 12 cts Euros/kWh (60% variable / 40% fixe)
- *Attention : tarifs ne couvrent pas les coûts complet des investissements + exploitation*
- *NB : Il existe un tarif «faible consommateur chaleur» avec une part variable 1.5x plus grande et part fixe 2x plus petite*

Impact de la densité thermique du réseau

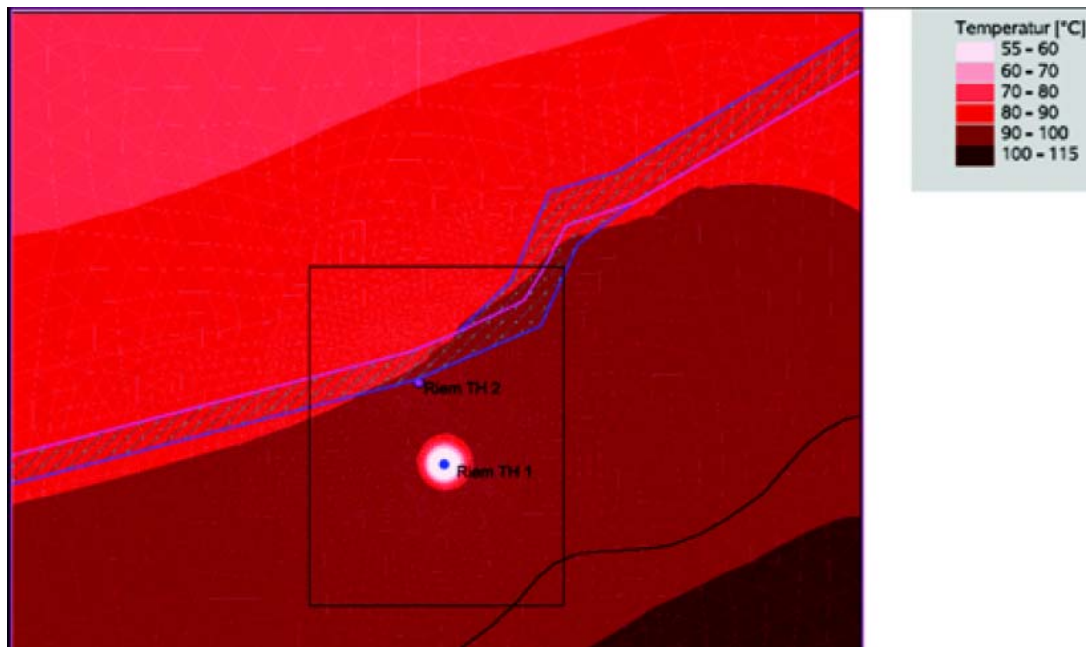


Dynamique Ressource-Demande

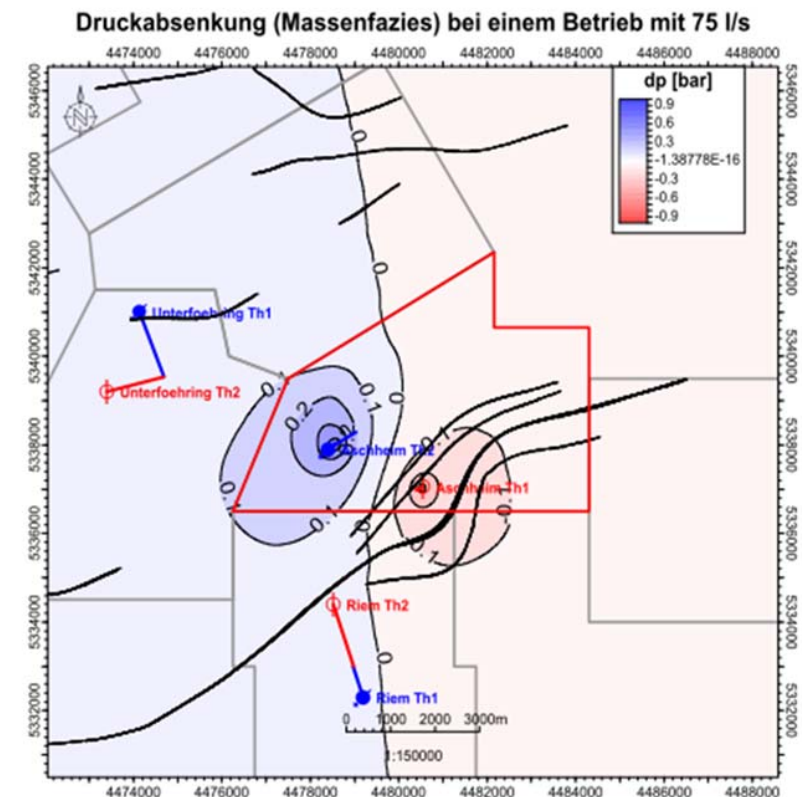


Aspects environnementaux

- Percée thermique («bulle froide»)
 - Pas assez de recul en comparaison du bassin parisien
 - Modélisations existent, par exemple
- Autre aspect : abaissements de pression



Source : Wenderoth et al, 2005, Numerische 3D-Modellierung eines geohydrothermalen Dublettenbetriebs im Malmkarst



Exemple de la modélisation de l'abaissement de pression à Aschheim (Source Erdwerk)

Bilan CO₂ du réseau

- Facteur d'énergie primaire = 0.44 (selon méthode standard AGFW)
- Objectif initial AFK = 20 à 30'000 t CO₂ par an en moins
- 50 GWh de substitution mazout* → géothermie
≈ 13'000 t CO₂ par an en moins

* Avec 265 g CO₂/kWh pour le mazout et 0 pour la géothermie (hors électricité)
NB: si prise en compte de l'électricité, environ 10% de CO₂ économisé en moins

- Développement du réseau CAD
- Installation d'une pompe à chaleur (PAC) et d'un couplage chaleur-force (CCF) – livrée juin 2016
- Objectif «PAC» : baisser température de réinjection de la géothermie, donc augmenter Puissance géothermique
 - Aujourd'hui : $T_{\text{ret GEO}} \text{ moyen} \approx 60^{\circ}\text{C}$ ($P_{\text{max}} = 10 \text{ MW}$)
 - Demain : $T_{\text{ret GEO}} \text{ moyen} \approx 35^{\circ}\text{C}$ ($P_{\text{max}} = 20 \text{ MW}$)
- Objectif «CCF» :
 - autoconsommation électrique
 - Supprimer mazout
 - A terme, 100% renouvelable (avec biogaz ou CCF biomasse)

- Belle réussite technique et d'acceptabilité sociale
- Forte implication des collectivités
 - Vision politique et soutien financier
- Une ressource abondante à plus de 80°C
- Réflexions techniques initiales poussées
 - Importance des pré-études (ressource et centrale d'énergie)
 - Prise en compte d'une évolution vers le 100% renouvelable
- Economie
 - Investissements élevés niveau ressource ET réseau CAD
 - Densité thermique faible pèjore le bilan économique
- Environnement
 - Économie substantielle de CO₂
 - Évolution ressource long terme ?
- Garantie des risques
 - garantie forage (court terme - non utilisée)