Utilisation de sites miniers pour le stockage d'énergie sous forme gravitaire ou de chaleur

par R. Charlier et B. Cerfontaine (ULiège)

Journée d'étude SBGIMR – CFGI – SIM , 22 février 2017, Mons

L'après-mine, de la gestion passée et présente aux perspectives d'avenir

Mines et stockage d’énergie

- Important patrimoine minier abandonné en Europe
- Patrimoine à valoriser économiquement ?
- Extraction de gaz de houille
- Nombreux besoins de stockage d’énergie vs énergies renouvelables et intermittentes
- Stockage de gaz naturel ou d’hydrogène
- Stockage d’énergie sous forme d’air comprimé
- Stockage d’énergie sous forme gravitaire – STEP
- Stockage et exploitation de chaleur – géothermie

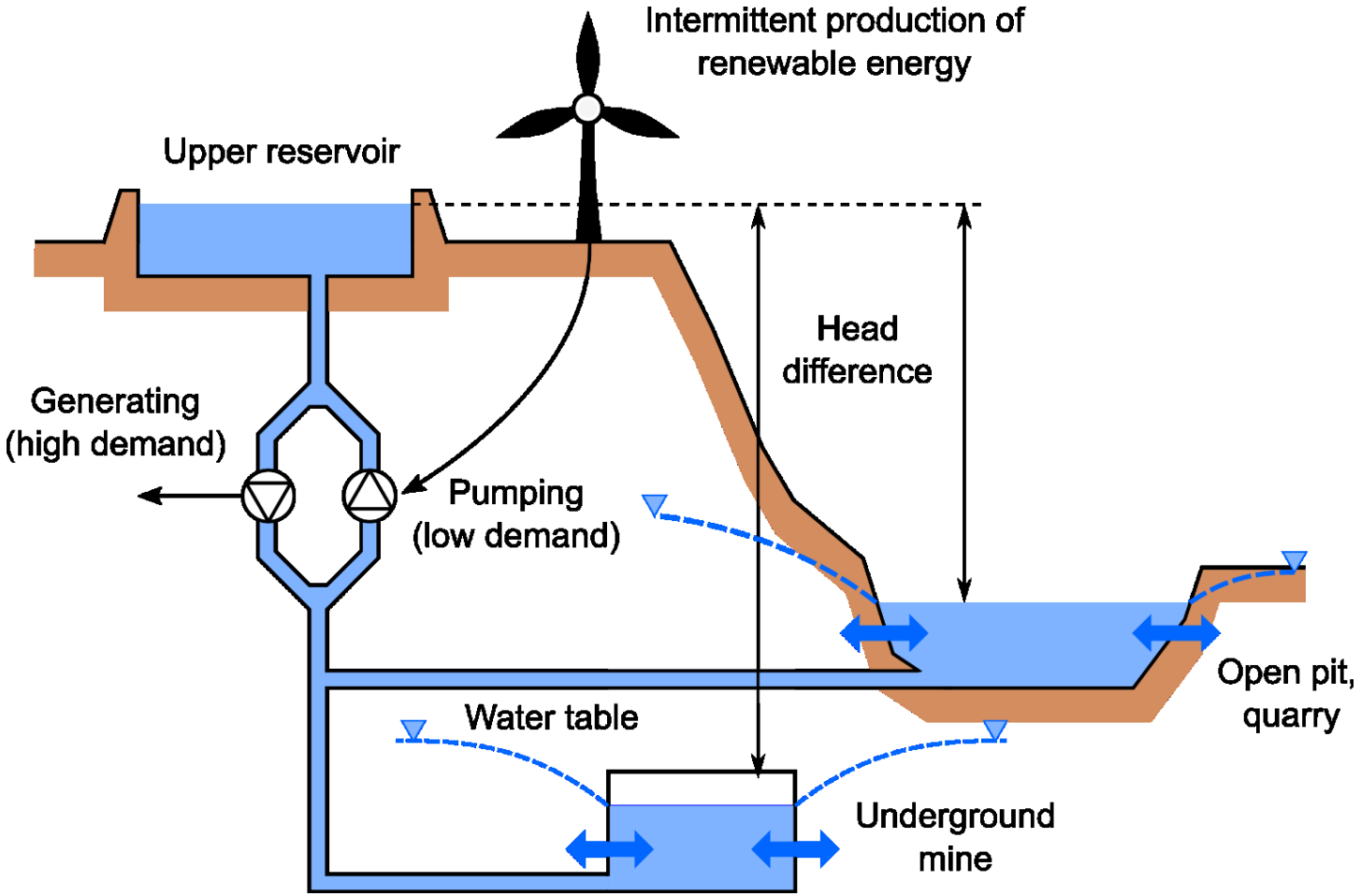
Système de régulation des réseaux électriques par intégration de sites carriers et souterrains pour le stockage énergétique par turbinage-pompage hydroélectrique

2014 - 2018

RÉGION WALLONNE

WP5 - Sites de stockage hydraulique – Inventaire et analyses géomécanique, hydrogéologique et hydraulique

Objectif: développement d'un **modèle prédictif hydraulique, hydrogéologique et géomécanique** d'un système de pompage-turbinage carrier/souterrain applicable aux **sites potentiels en Wallonie**.

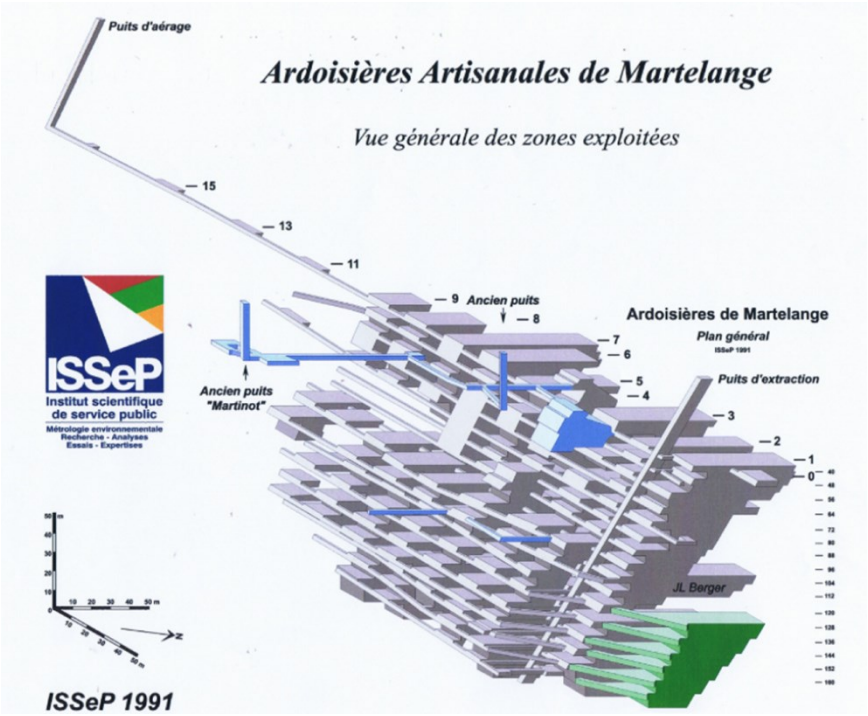


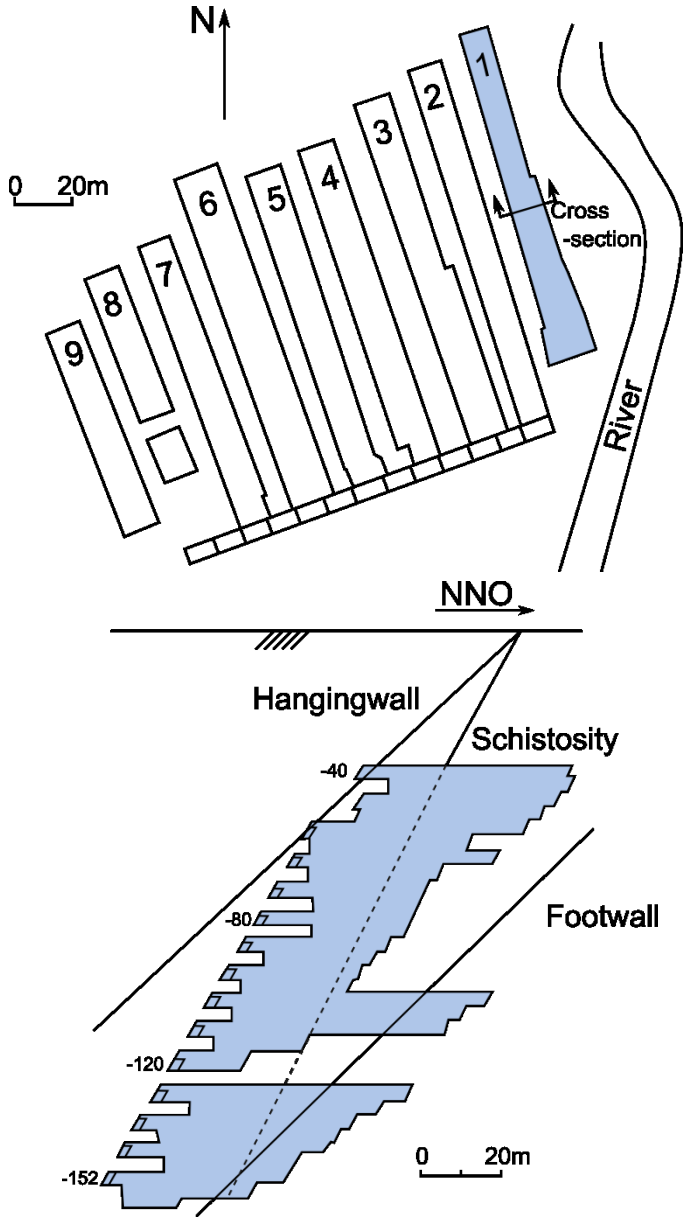
LIÈGE université

ISSeP Institut scientifique de service public
Métrologie environnementale
Recherche - Analyses
Essais - Expertises

UMONS Université de Mons

Ardoisière réelle





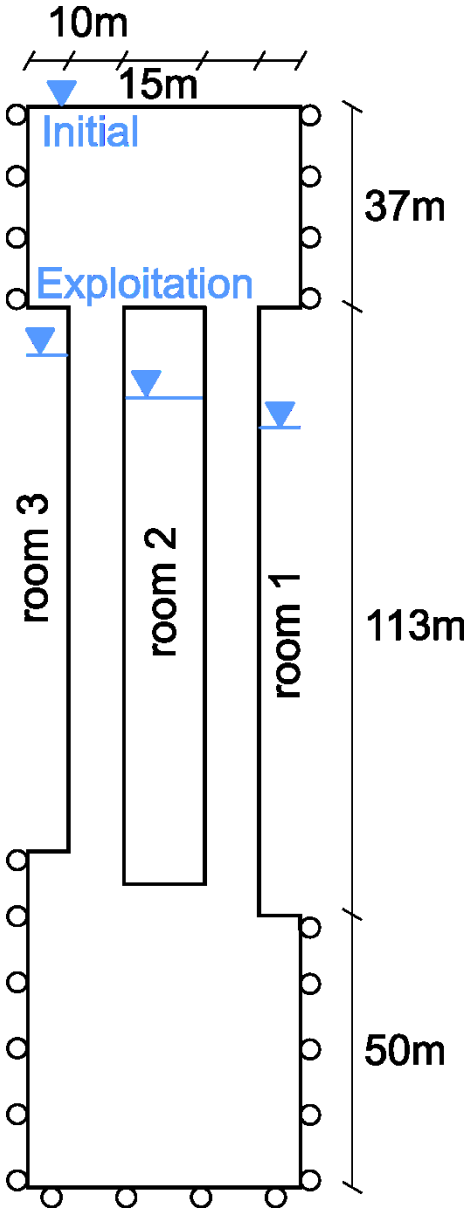
Volume estimé 480 000 m³

Hauteur max 75m

Largeur max 15m

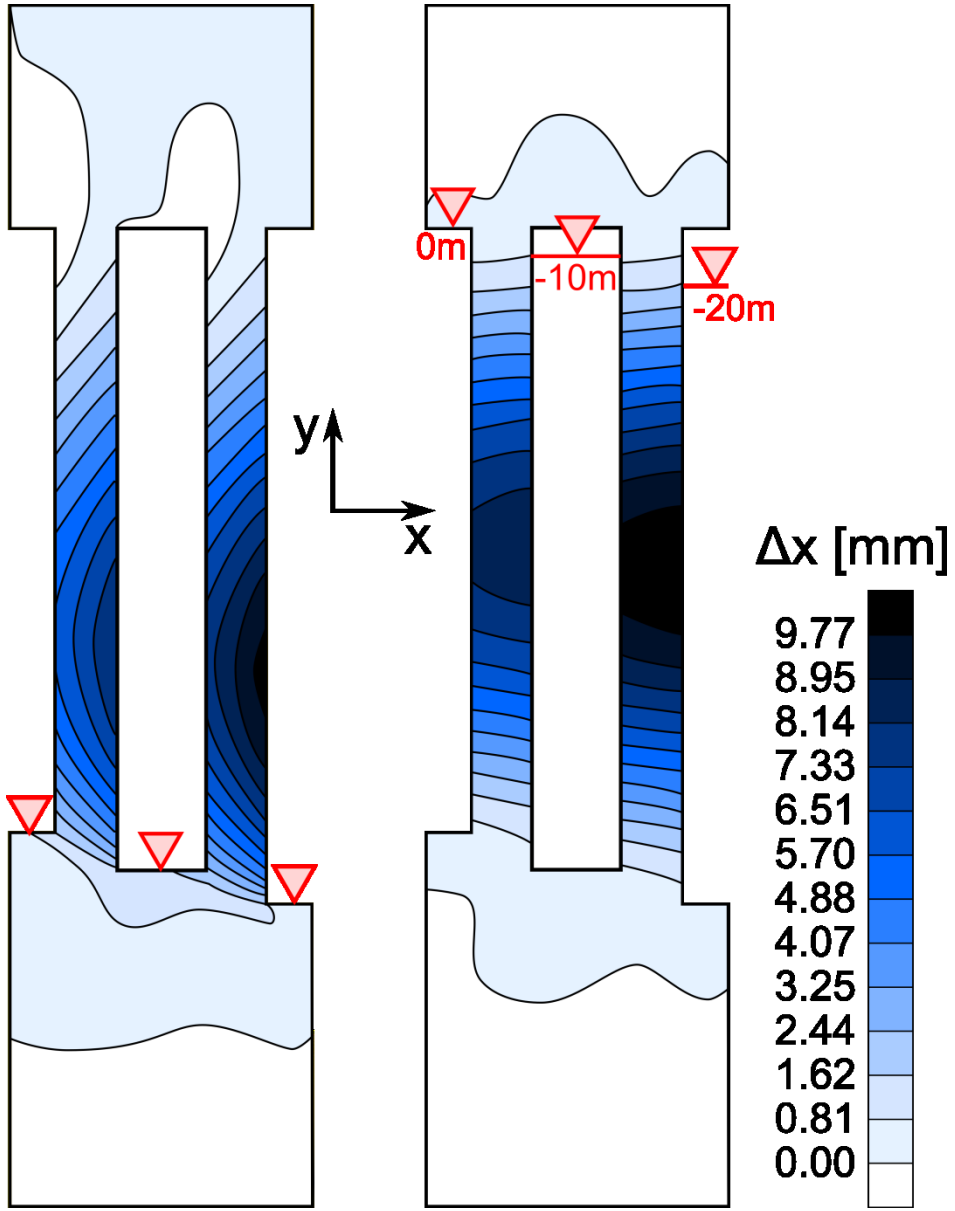
Longueur max 70m

Idéalisation du problème



- 2 piliers (10m de large)
- 3 chambres
- $K_0 = \frac{\sigma_x}{\sigma_y}$ =1.1
- Saturation/Désaturation du matériau
- E =0.7GPa, c=2MPa
- Coefficient de sécurité faible
- Hauteur d'eau variable
- Etat plan de déformation

Simulation du pompage-turbinage (monotone)

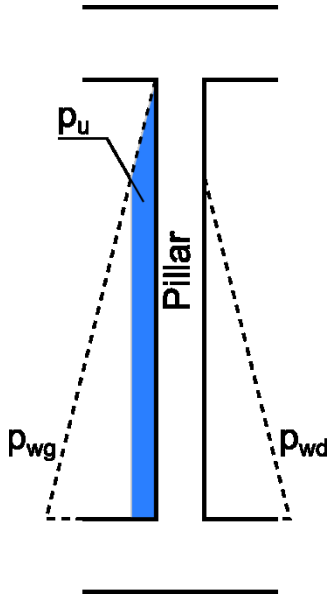


A gauche

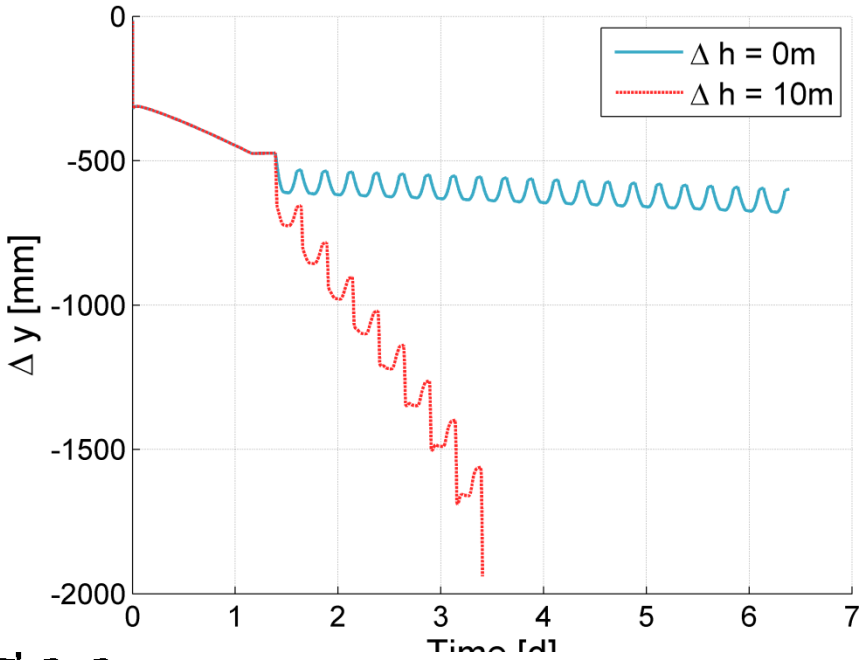
- Vidange totale des chambres
- Pressions d'eau totalement dissipées

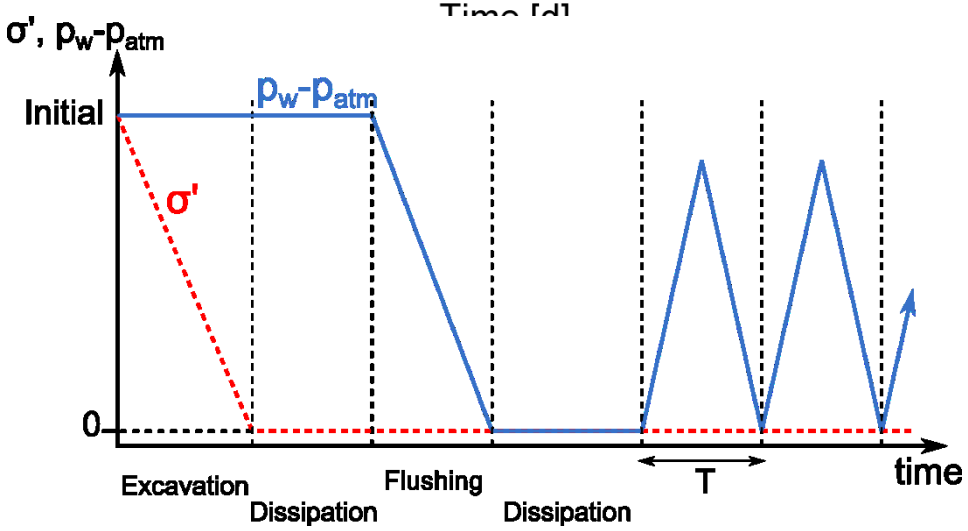
A droite

- Vidange différée des chambres adjacentes



Simulation du pompage-turbinage (cyclique)





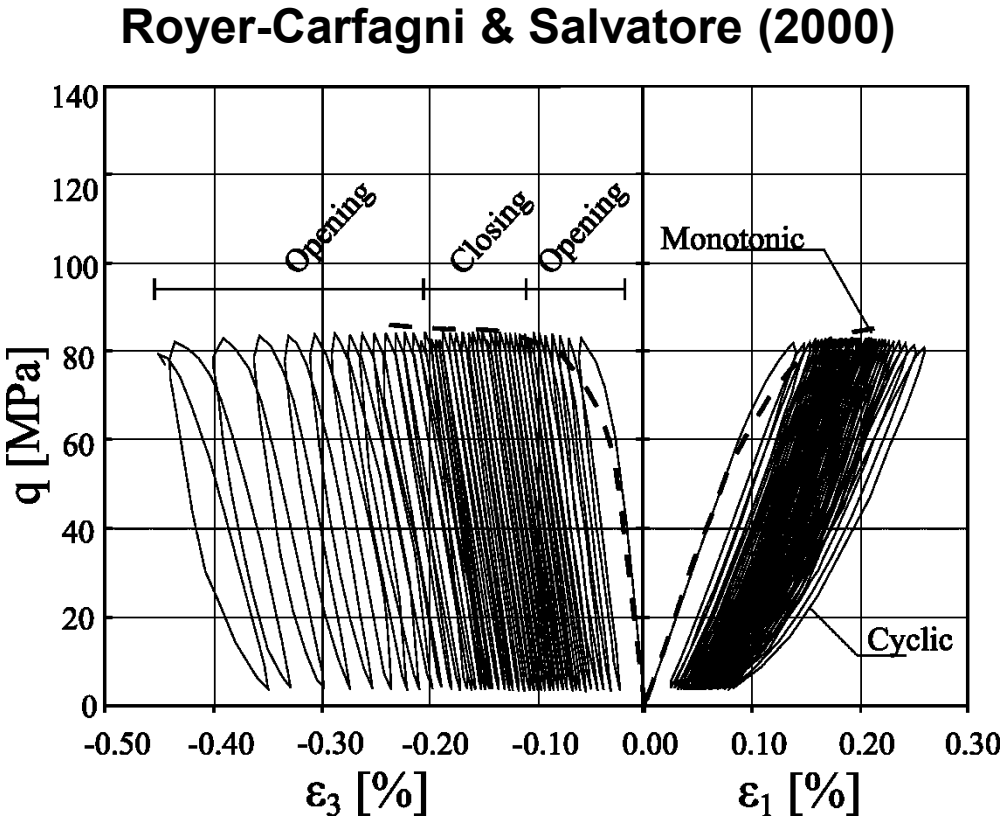
Déplacement du toit (Δy)

- Avec ($\Delta h = 10m$) ou sans ($\Delta h = 0m$) hauteurs d'eau différées
- Cycles: vidange (2h)/ stabilisation (2h)/ remplissage (2h)
- Comportement totalement différents !

Mais

- Approximation des paramètres
- Coefficient de sécurité initial très faible

Comportement macroscopique

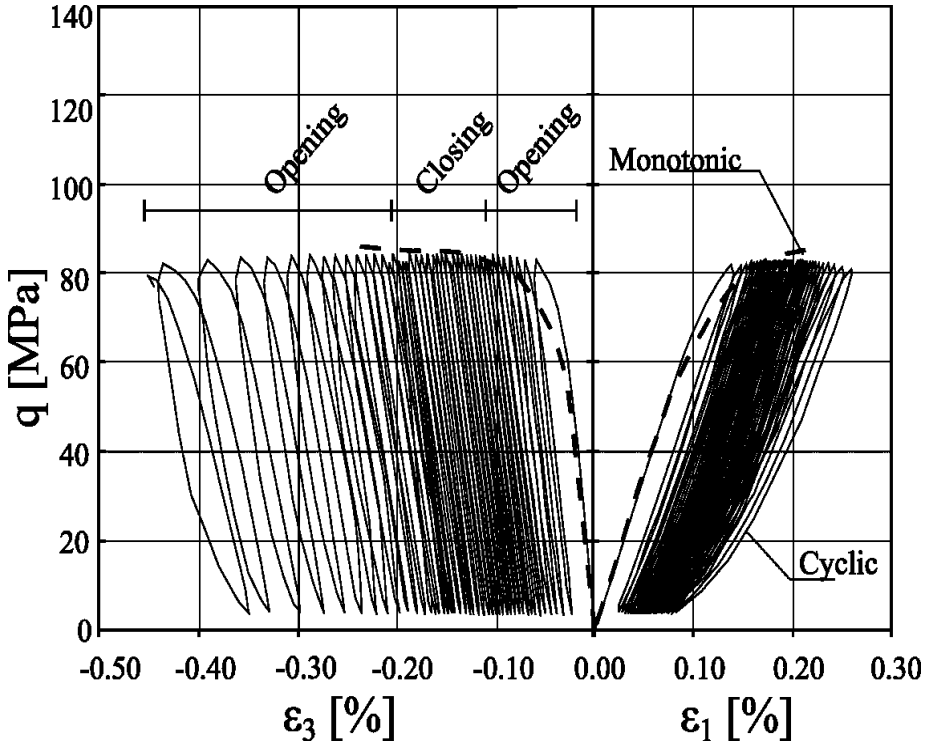


- Marbre de Lorano
- Contrainte imposée, amplitude constante
- 45 cycles avant rupture
- Accumulation de déformation plastique cycle après cycle
- Effet différent dans les deux directions
- Différentes phases

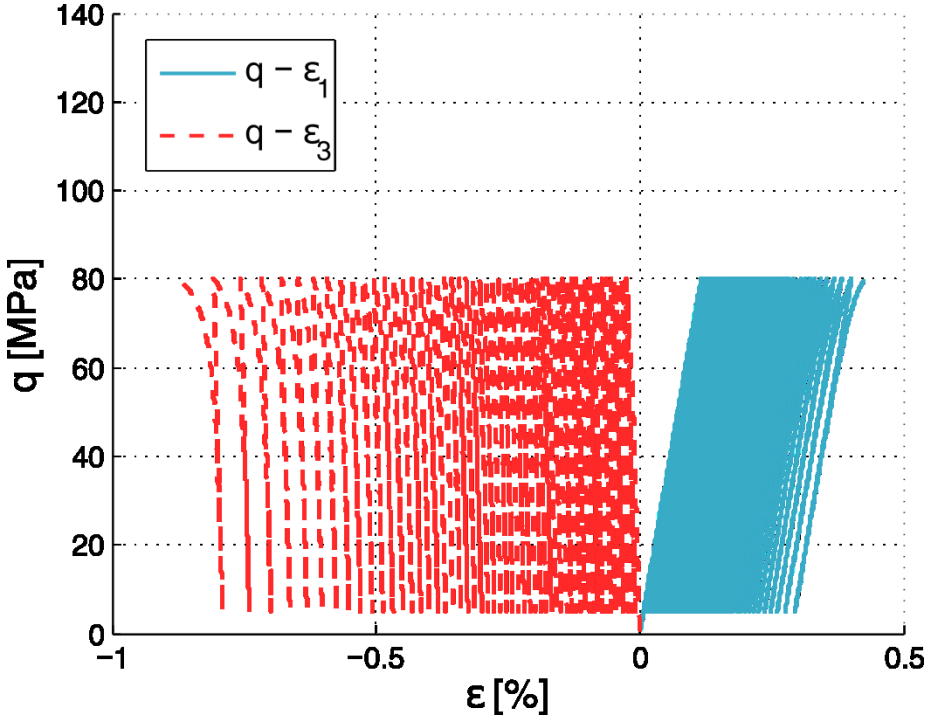
Cerfontaine, B. et Collin, F. Cyclic and Fatigue Behaviour of Rock Materials: Review, Interpretation and Research Perspectives. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2017, p. 1-24.

Compression simple cyclique

Royer-Carfagni & Salvatore (2000)



45 cycles avant rupture



53 cycles avant rupture

Cerfontaine, B., Charlier, R., Collin, F., & Taiebat, M. (2017). Validation of a new elastoplastic constitutive model dedicated to the cyclic behaviour of brittle rock materials. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, *50*(10), 2677-2694.

Geothermal Energy

“ It is also estimated that more than 3 GW of geothermal energy are potentially available in abandoned coal or other mines and could be used in applications such as district heating in Europe “

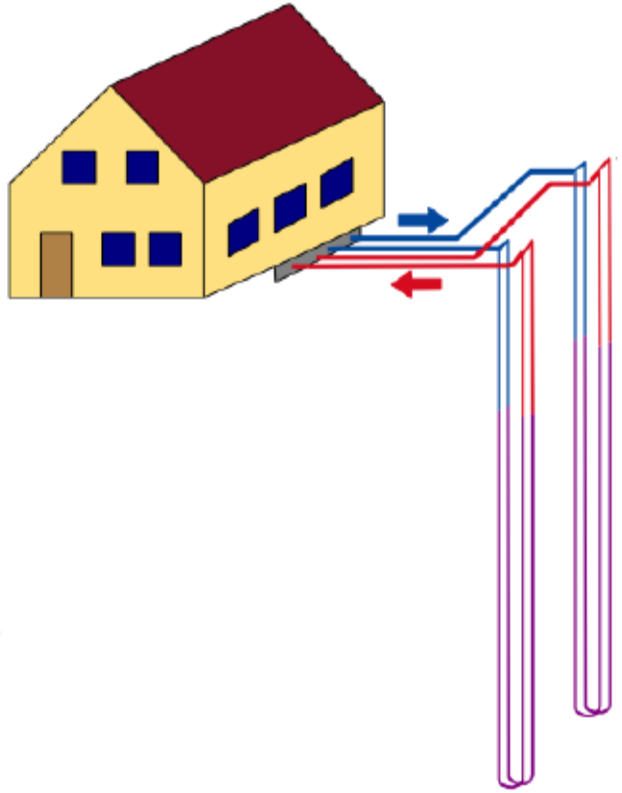
After Díez and Díaz-Aguado (2014), *Estimating limits for the geothermal energy potential of abandoned underground coal mines: a simple methodology. Energies* 7(7), pp. 4241-4260

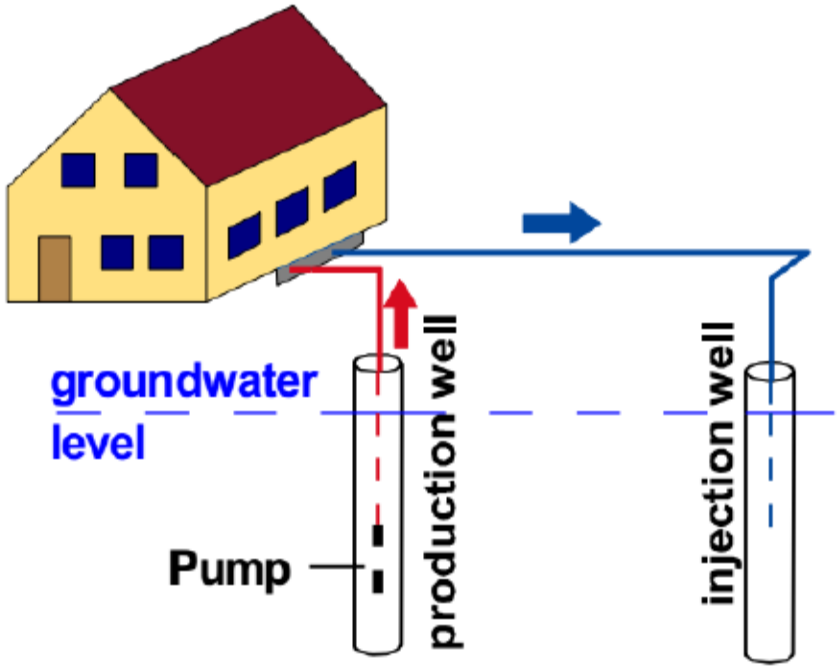
Cited by “The Strategic Energy Technology Plan”, UE, 2017.

Une mine = un réservoir d’eau

- Avec une connectivité modérée / faible avec la nappe aquifère
- Exploitable isolément

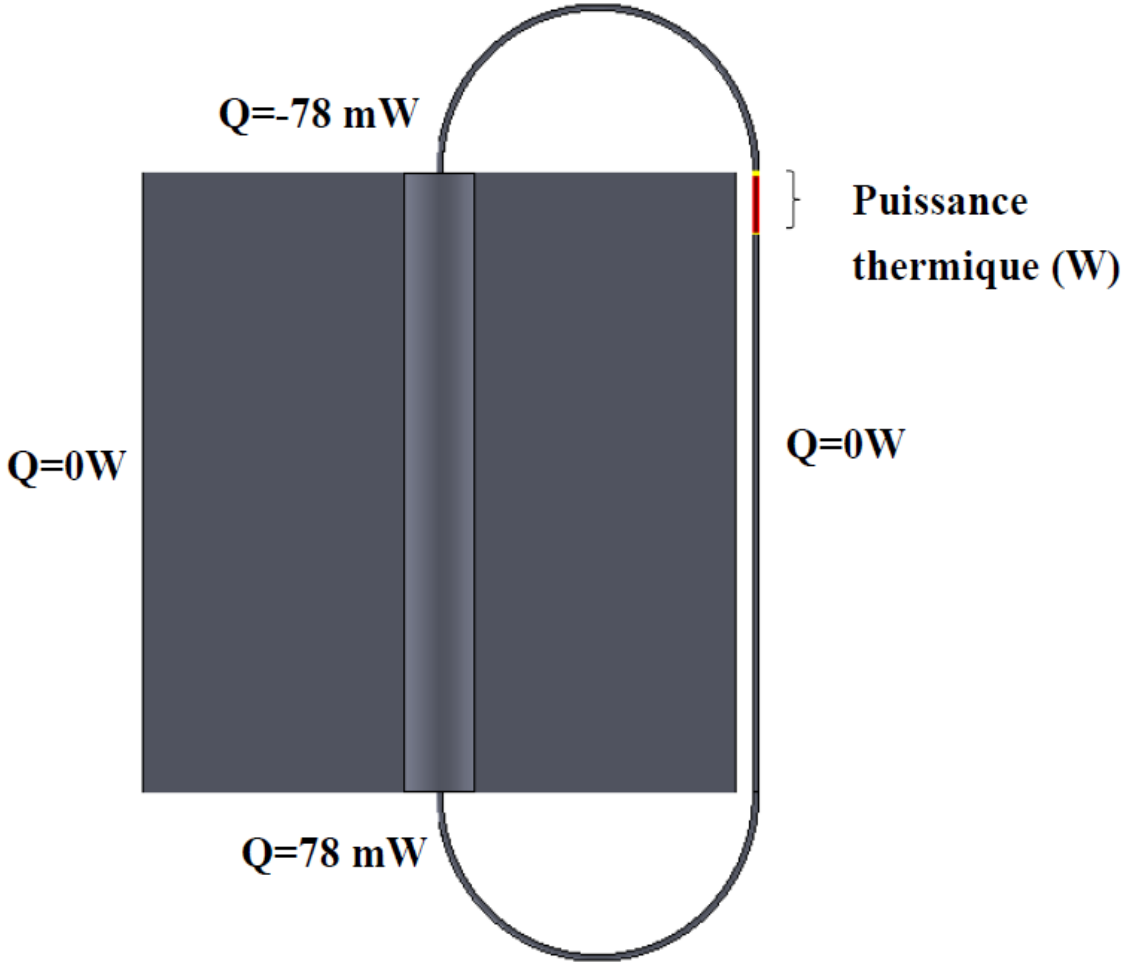
Circuits fermés ou ouverts





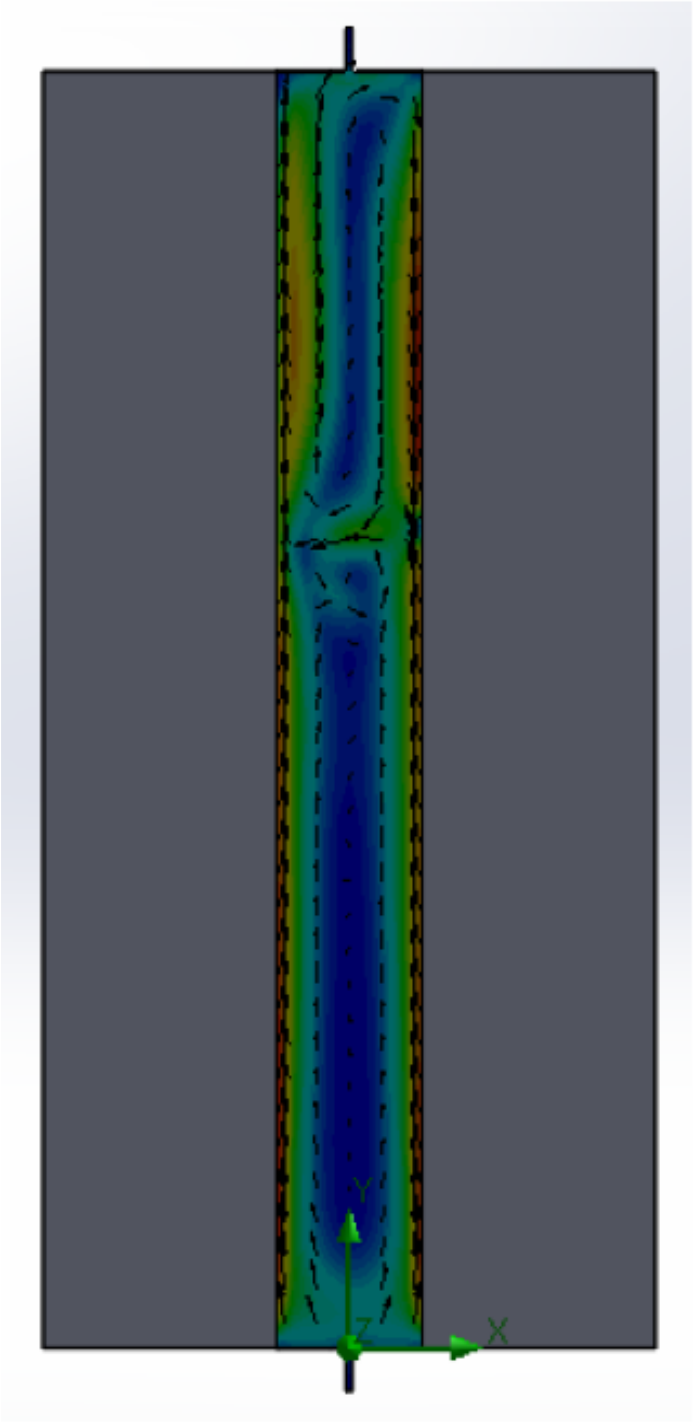
Geotrainet 2011

Utiliser un puit de mine comme un forage géothermique



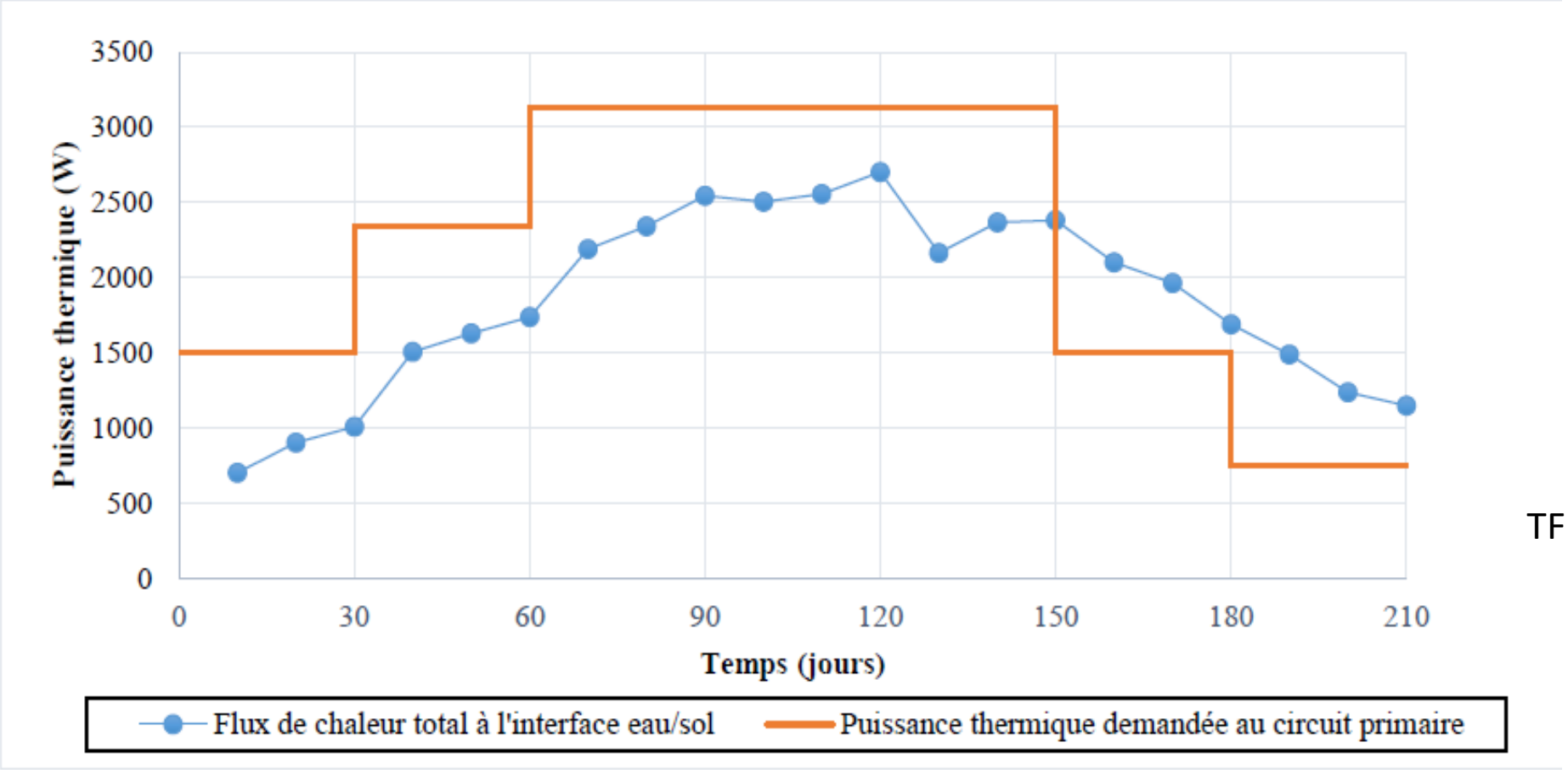
TFE V Higuet 2017

Profil de vitesses : cellules de convection, température homogénéisée dans le puits



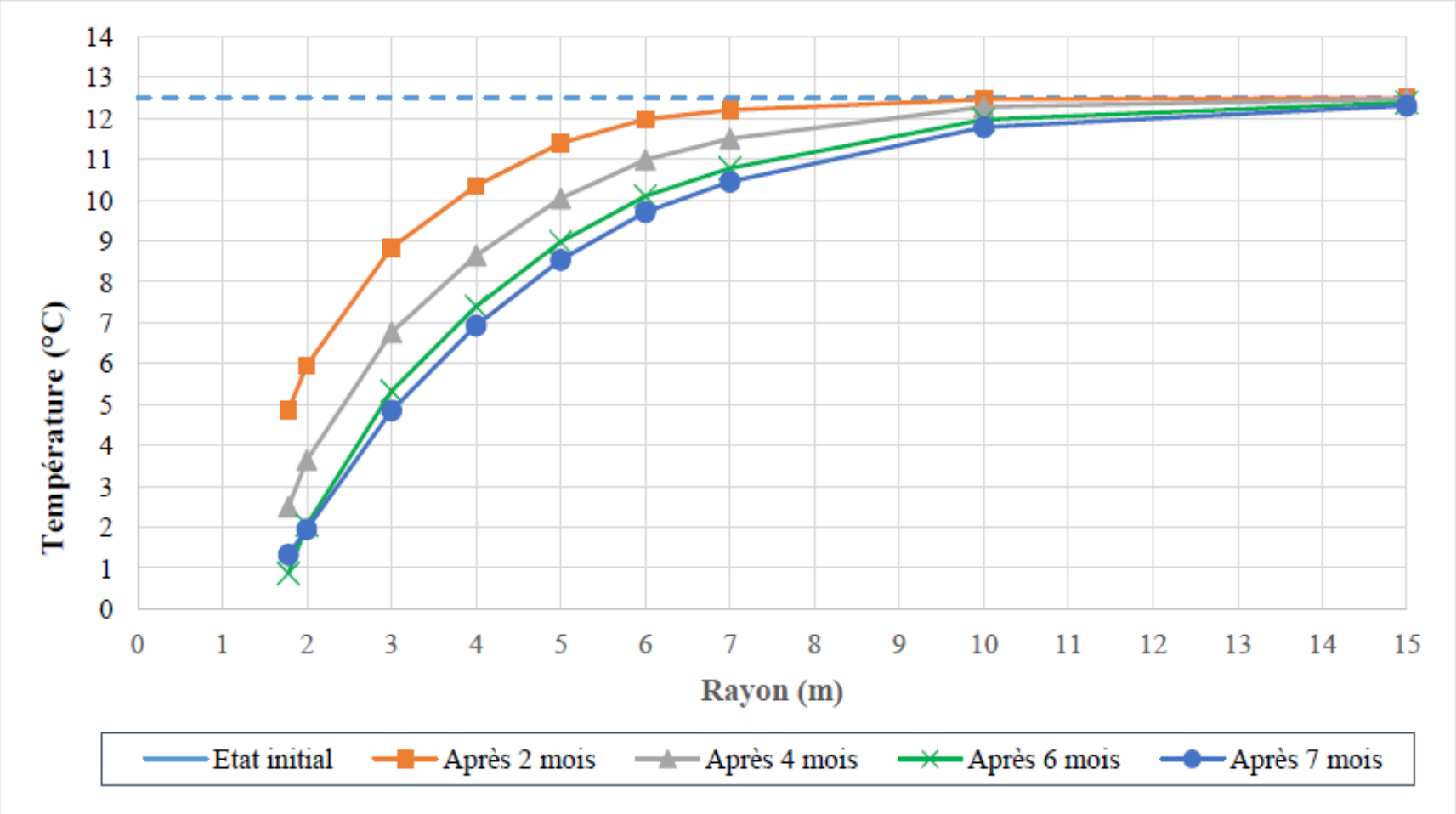
TFE V Higuet 2017

Interaction thermique puit – roche



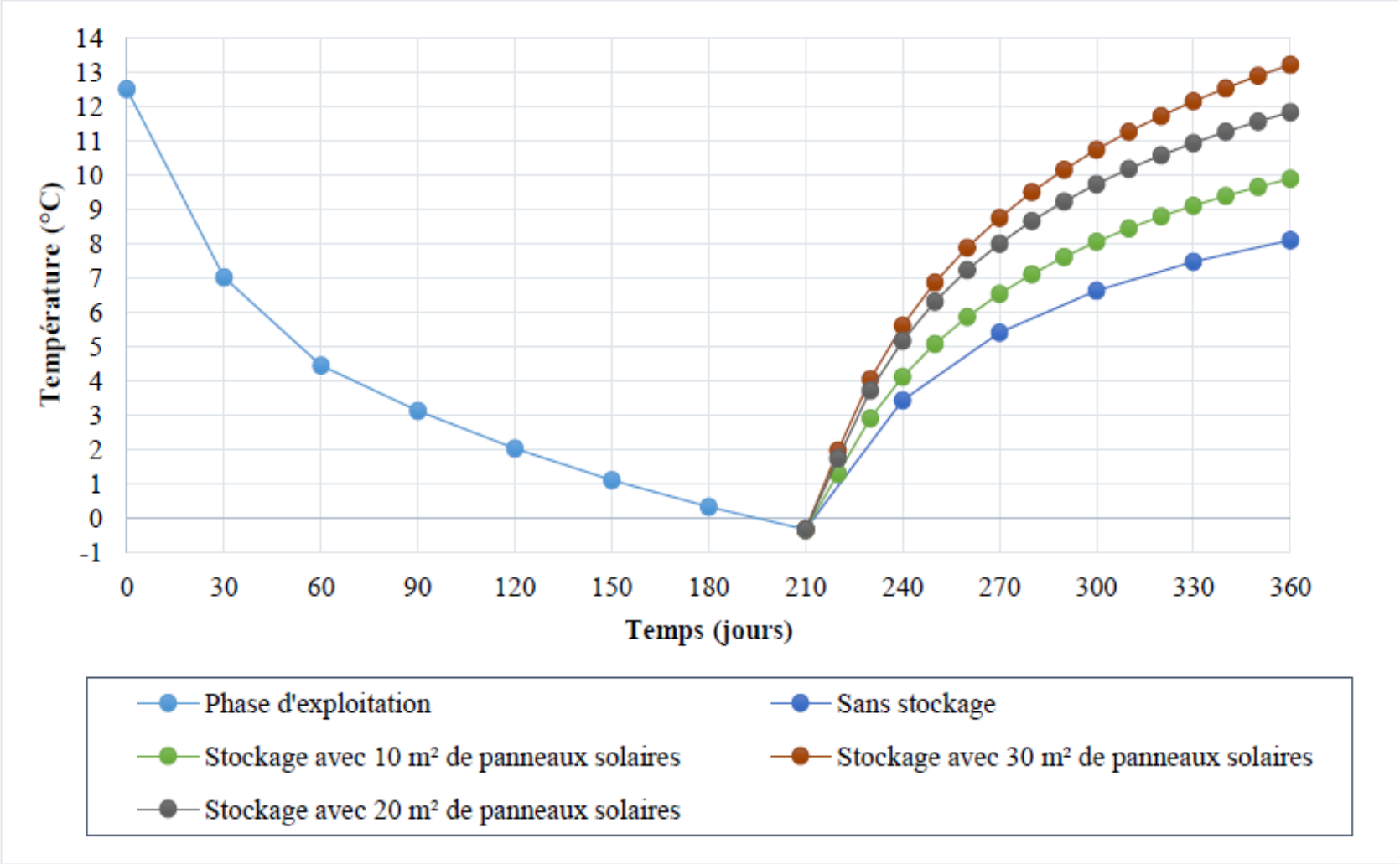
TFE V Higuet 2017

Température dans la roche « réservoir »



TFE V Higuet 2017

Recharge du réservoir de chaleur : température dans le puits



TFE V Higuet 2017

MineWater 2.0 à Heerlen (NL)

- Heerlen : 90.000 habitants, à l'est de Maastricht
- Coût : 15 à 20 M€
- 15 ans de développement
- Réservoir de chaleur, tampon et source de chaleur

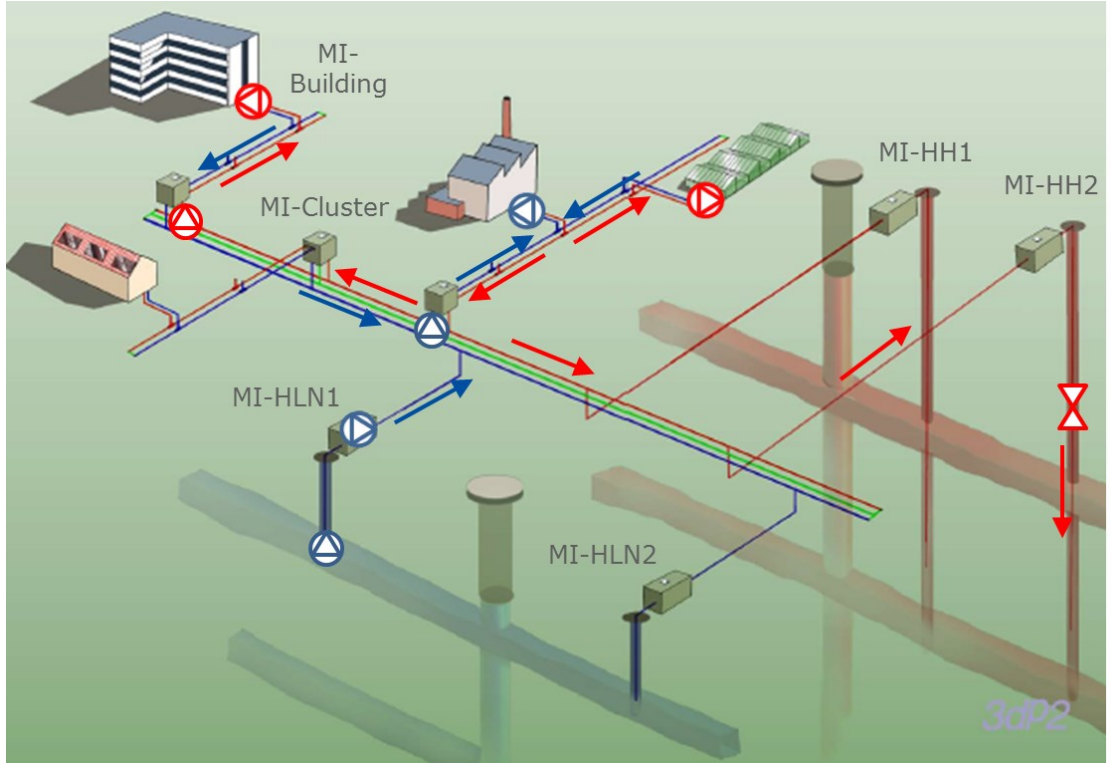


Schéma du projet Minewater 2.0 Heerlen (Pays-Bas) (Verhoven et al., 2014)

Annexe 2. Synthèse de systèmes géothermiques exploitant d'anciennes mines dans le monde. Cette synthèse s'est basée sur l'article de Ramos et al. (2015) et Preene et al. (2017)

(H= chauffage et C = refroidissement)

Lieu	Utilisation	Profondeur de pompage (°C)	Température de l'eau (°C)	Température de sortie PAC	ΔT (°C)	Puissance (kW)	Débit (m^3/h)
Québec	36 appartements					3.6-5.3 (par PAC)	
Alsdorf (Allemagne)	Bureaux	890	15 à 26				
Bad Schelma (Allemagne)	Ecole	60					
Ehrenfridersdorf (Allemagne)	Musée	114			5	138	
Freiberg (Allemagne	Château et musée		10.2	42-19	5	130	10.8
Freiberg (Allemagne)	Université			55		260	690
Marienberg (Allemagne)	Commerces, hall de tennis et piscine	105	12.4		5	690	120
Wettelrode (Allemagne	musée	283	13	50	5	47	90-150
Heerlen (Pays-Bas)	bureaux et université	700	16 à 28	45		700	120
Folldal (Norvège)		125	6	22		18	
Rostov (Russie)		50-150	12-13	95	5 à 7	40000	
Asturias	Centre de recherche		17 à 23	50 (H) – 7 (C)	7	1000	
Asturias (hôpital)	Hôpital		23	46 (H) – 7 (C)		3600	400
Shettleston (Ecosse)	16 maisons	100	12	55			
Lumphinans (Ecosse)	18 maisons	170	14.5	45-53	3		
Kingston (USA)	Centre de loisirs		16	50	4		20.5
Park Hills (USA)	Maison municipal	122	14	22 (H)-24(C)		113	17
Scranton (USA)	Université	122	13.9	12.8	2		

TFE O Vopat 2017

Conclusion

- Un réel potentiel pour répondre à l'évolution des sources d'énergie
- Beaucoup de questions ouvertes
- Comportement cyclique des roches
- Peu de résultats expérimentaux
- Des modèles de méca sols adaptables à la méca roches ou des modèles spécifiques
- Quelles sollicitations des cavernes souterraines ?

Défis

- Un défi technique pour les entreprises de génie civil : accéder, utiliser, prélever …. Dans des mines abandonnées, mal connues. Forer avec précision des terrains incertains, des remblais inconnus

- Un investissement lourd, qui a du sens à l'échelle des quartiers (district heating), des petites villes … et demande une intégration avec d'autres outils énergétiques

- Un besoin de documents de synthèses, de « guidelines ».