

LIÈGE université  
Sciences Appliquées

UEE  
Urban & Environmental Engineering

### Energies renouvelables: hydroélectricité souterraine

Résultats du projet SMARTWATER (SPW Energies)

The diagram shows a cross-section of the earth with an upper reservoir on the surface. A vertical shaft descends from the reservoir, passing through a mine, to a lower reservoir. A horizontal pipe connects the two reservoirs. Renewable energy sources like solar panels and wind turbines are shown on the surface.

Upper reservoir

Mine

Lower reservoir

**A. Dassargues**

Aquawal 31/03/2023

1

### UPSH = Underground Pumped Storage Hydroelectricity ...

The diagram illustrates the components of an Underground Pumped Storage Hydroelectricity (UPSH) system. It shows an open pit on the surface connected to an underground reservoir. A deep mine shaft is also shown. A pump/turbine is located at the bottom of the mine shaft. The diagram also shows a saturated thickness and an upper reservoir on the surface. Renewable energy sources like solar and wind are shown on the surface.

Solar

Upper reservoir

Wind

Deep mine

Underground reservoir

Open pit

Saturated thickness

Pump/turbine

Underground reservoir

2

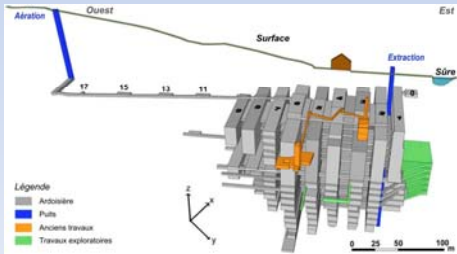
### Choix d'un site et aspects hydrogéologiques de l'utilisation d'anciennes ardoisières en tant que bassin inférieur de STEP (Station de Transfert d'Énergie par Pompage)



Site ardoisier de Martelange

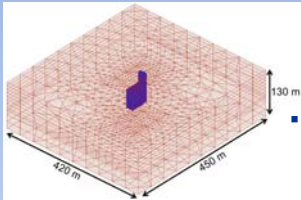
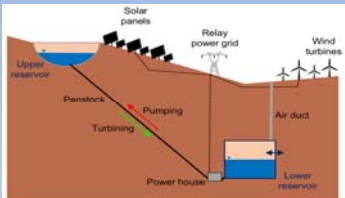
Modèles d'écoulements souterrains

- modèle conceptuel, scénarios
  - schéma de référence
  - sensibilité à la conductivité hydraulique
- plusieurs chambres reliées par galeries
  - sommet chambre à 20-30 m de profondeur
  - largeur : 10-12 m longueur : 25-85 m hauteur : max. 50 m



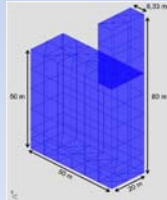
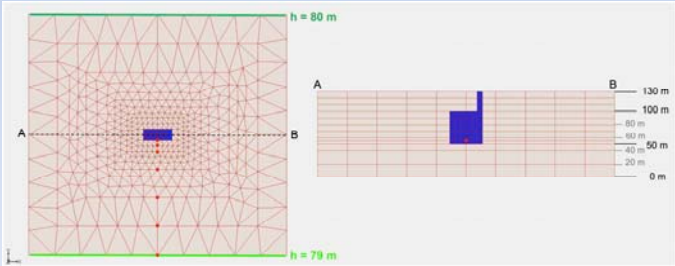
3

### Martelange (modèle simplifié)



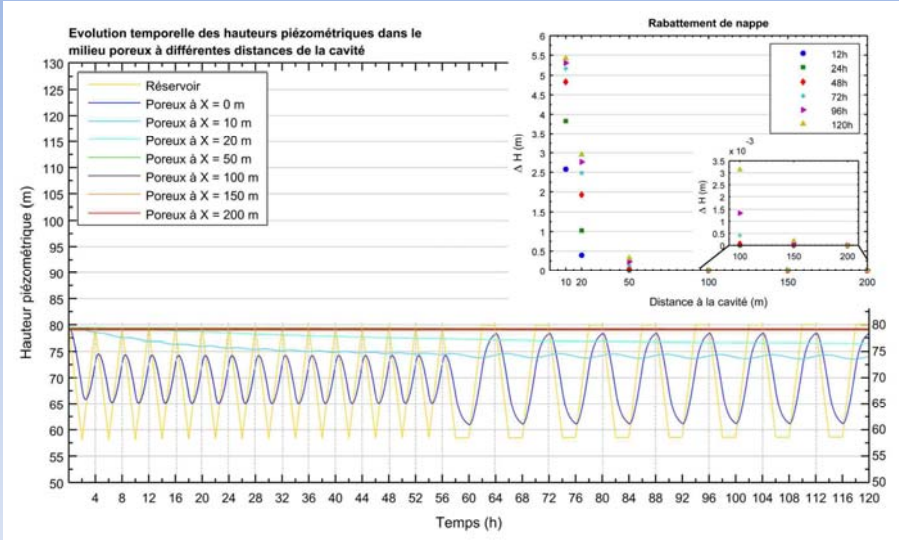
Modèle simplifié en 2 sous-domaines

- Réservoir linéaire: cavité
- Milieu poreux: environnement rocheux autour de la cavité



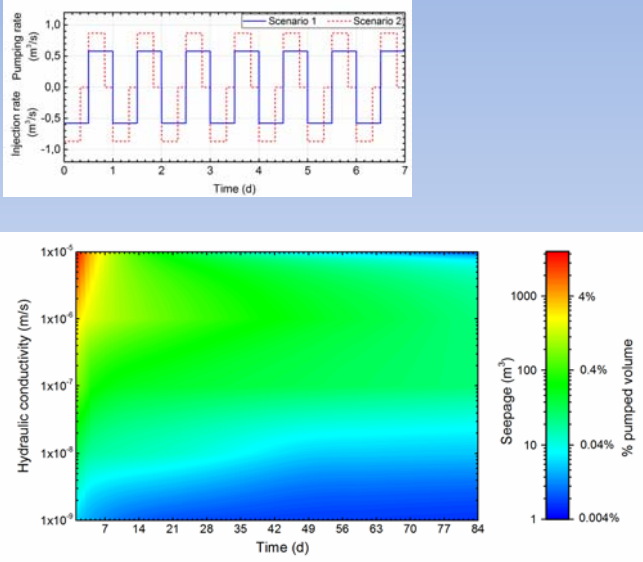
4

### Martelage (modèle simplifié)



5

### UPSH = Underground Pumped Storage Hydroelectricity ...

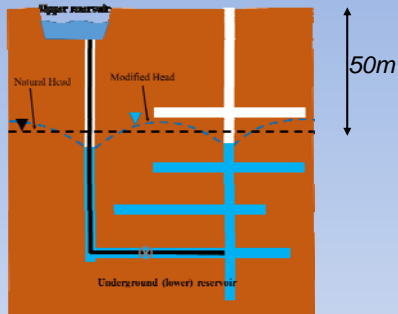


*Echanges avec le milieu souterrain*

- Low K → negligible
- High K → then  $\searrow$  over time

6

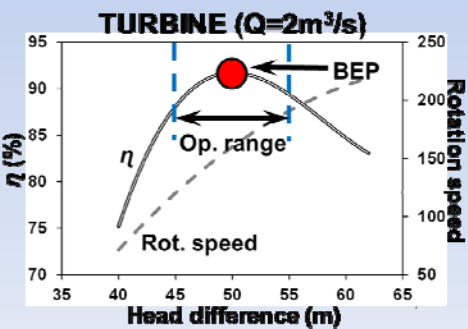
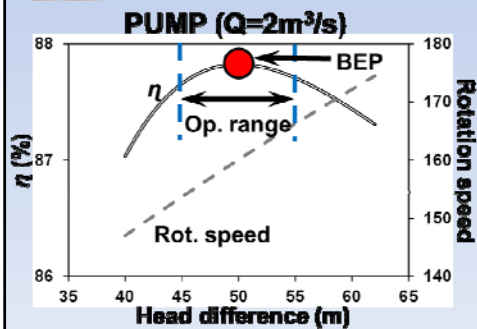
**UPSH : 2 aspects à étudier : impact et efficacité**



Courbes calculées pour un débit constant et des vitesses de rotation variables

Efficacité Maximum est atteinte lorsque la différence de hauteur est de 50m (pour une prof. de nappe de 50m)

BEP = Best Efficiency Point



**Modèle détaillé – Ardoisière de Martelange**

- Réservoir inférieur: 400 000 m<sup>3</sup> (hyp. réaliste)  
Débit de 22.2 à 66.6 m<sup>3</sup>/s
  - Chute moyenne de 215 m  
100 m topo et 75-150 m dans la cavité
- Energie/cycle turbinage:  
234.4 MWh



### Ardoisière de Martelange

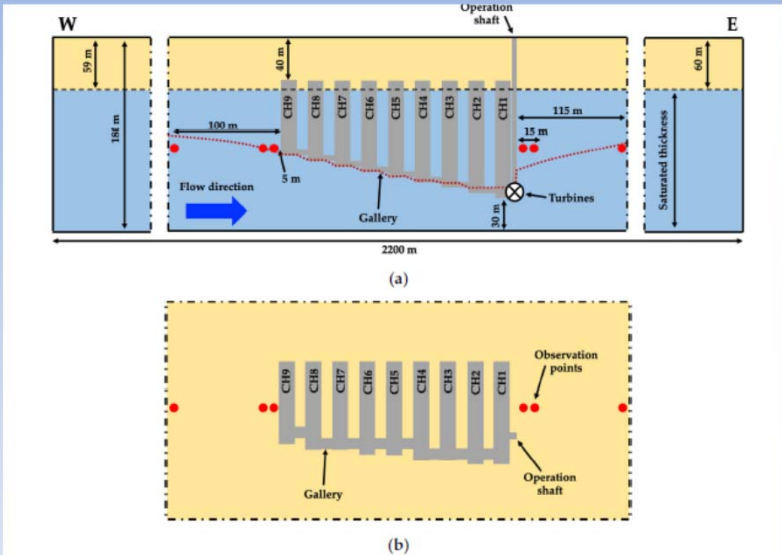


Figure 2. Schematic cross section (a) and plan view (b) of the study site. In (a), the black dashed line indicates the natural position of the piezometric head that agrees with the initial conditions of scenario F-CI and the red dotted line shows the initial piezometric head of scenario E-CI.

### Ardoisière de Martelange

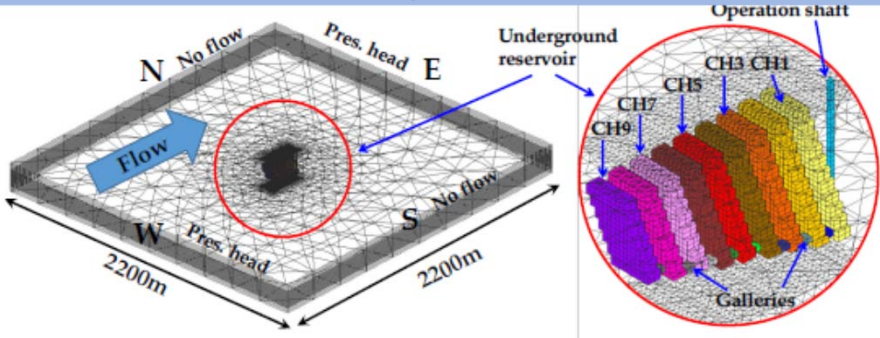


Figure 3. General view of the numerical model (left) and detailed view of the modelled chambers and operation shaft (right).

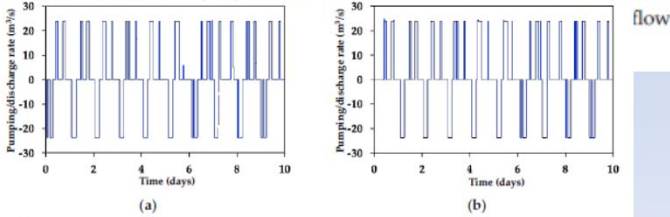
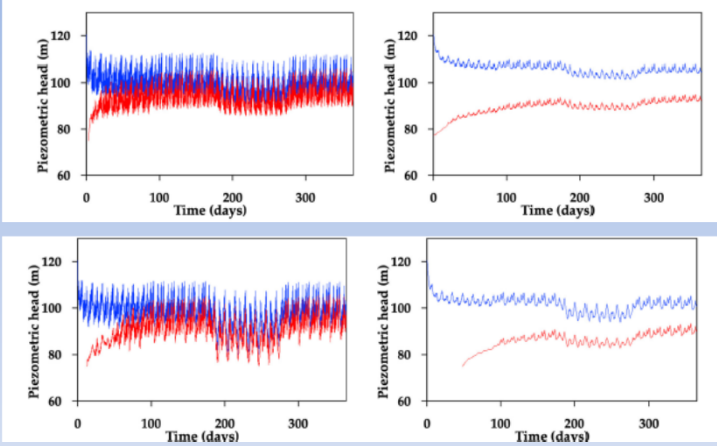


Figure 5. Effective operation scenario for (a) scenario F-CI, where the underground reservoir is initially full of water, and (b), scenario E-CI where the underground reservoir is initially dewatered.

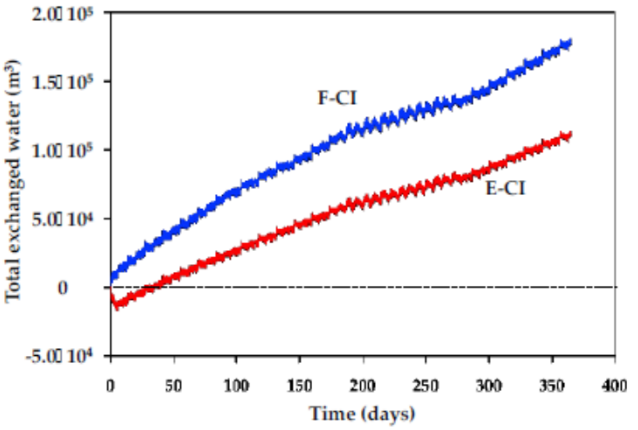
### Piézométrie simulée dans le massif fracturé



Amont  
à 5 et 15m  
Plein au début  
Vide au début  
(selon h naturel)

Aval  
à 5 et 15m  
Plein au début  
Vide au début  
(selon h naturel)

### Piézométrie simulée dans le massif fracturé



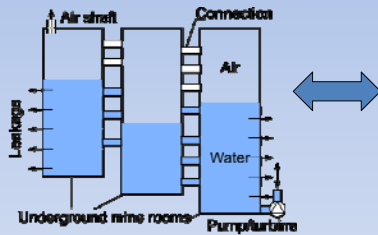
Volume échangé  
+ vers les cavités  
- vers le massif rocheux

Essentiellement positif  
car h dans le massif  
presque toujours  
supérieur à h réservoir

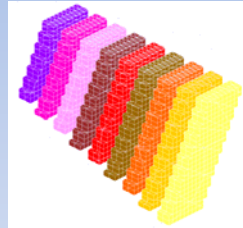
Un peu négatif car quand  
on commence à vide  
(h massif très bas)  
h réservoir est en  
moyenne supérieur:  
on perd de l'eau vers le  
massif

## Ardoisière de Martelange

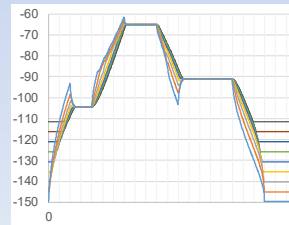
**Modélisation hydraulique**  
Echanges entre les 9 chambres



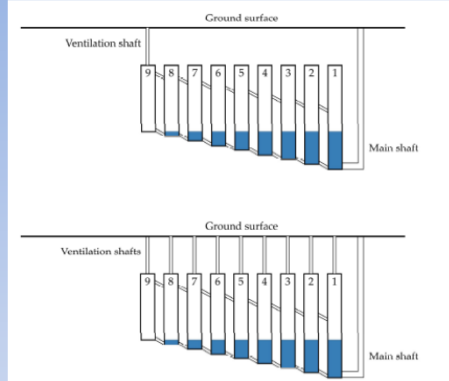
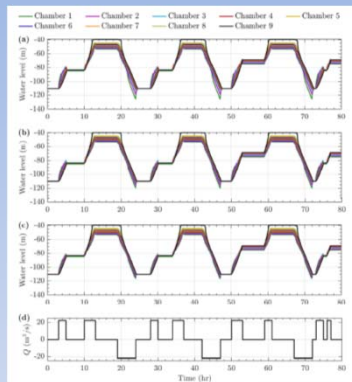
**Modélisation hydrogéologique**  
Interactions avec les eaux souterraines



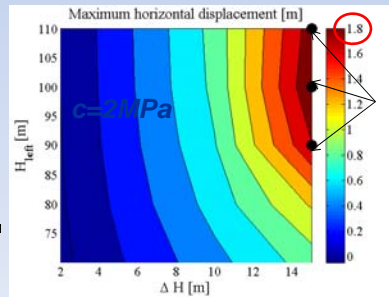
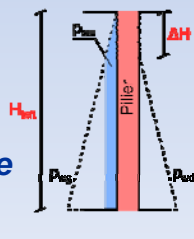
**Niveau d'eau dans les 9 chambres**



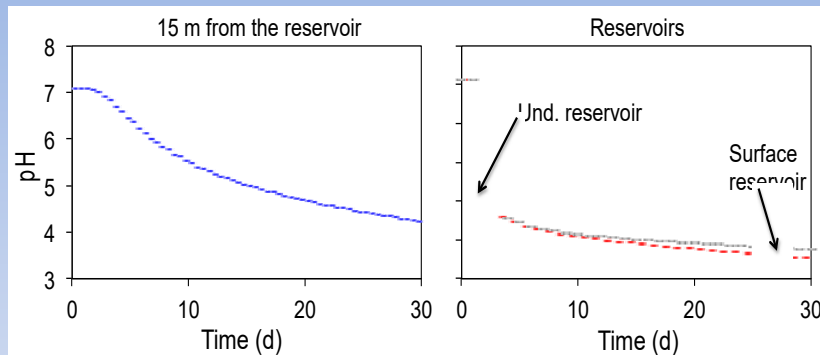
## Ardoisière de Martelange



**Modélisation géomécanique des piliers**



**Rupture**



**Impacts hydrochimiques:**  
 ... notamment changements de pH

... à préciser au cas par cas !

15

## Ardoisière de Martelange

*Conclusions:*

- *Connections entre chambres*  
 → *Impact important sur stabilité des piliers*
- *Echanges avec la nappe limités*  
 → *site a priori intéressant MAIS*  
*nécessité de mieux connaître état*  
*et géométrie des cavités*



**Challenges/ Risques**

**Imperméabilisations/ stabilisation des parois**


**Effet de fatigue dans les roches**

**Gestion de l'air et de l'eau dans les espaces souterrains ouverts mais de géométries complexes?**

**Impacts hydrochimiques**

...





### Références

Bodeux S., Pujades E., Orban Ph., Brouyère S. and Dassargues A., 2017, Interactions between groundwater and the cavity of an old slate mine used as lower reservoir of an UPSH (Underground Pumped Storage Hydroelectricity): a modelling approach, *Engineering Geology* 217: 71-80.

Dassargues A., 2018. *Hydrogeology: groundwater science and engineering*, 472p. Taylor & Francis CRC press, Boca Raton.

Dassargues A. 2020. *Hydrogéologie appliquée : science et ingénierie des eaux souterraines*, 512p. Dunod, Paris.

Gombert Ph., Poulain A., Goderniaux P., Orban Ph., Pujades E. et Dassargues A. 2020. Potentiel de valorisation de sites miniers et carrières en STEP en France et en Belgique. *La Houille Blanche* 4: 33-42.

Kitsikoudis V., Archambeau P., Dewals B., Pujades E., Orban Ph., Dassargues A., Piroton M. and S. Ercicum. 2020. Underground pumped-storage hydropower (UPSH) at the Martelange mine (Belgium): underground reservoir hydraulics. *Energies* 13: 3512

17

### Références (suite)

- Poulain A., Goderniaux P., Pujades, E., Dassargues A. and Ph. Orban . 2018. Utilisation de mines et carrières pour le développement de systèmes de stockage d'énergie par pompage-turbinage : études hydrogéologiques en Région wallonne. *Revue française des Géologues* 196: 66-71.
- Pujades E., Bodeux S., Orban Ph., Archambeau P. Ercicum S. and Dassargues A., 2017, Underground pumped storage hydropower plants using open pit mines: how do groundwater exchanges influence the efficiency?, *Applied Energy* 190: 135-146.
- Pujades E., Jurado A., Carrera J. Vázquez-Sunè E. and Dassargues A., 2016, Hydrogeological assessment of non-linear underground enclosures, *Engineering Geology* 207: 91-102.
- Pujades E., Jurado A., Orban Ph., Ayora C., Poulain A., Goderniaux P., Brouyère S. and Dassargues A., 2018, Hydrochemical changes induced by underground pumped storage hydropower and their associated impacts, *Journal of Hydrology* 563: 927-941.
- Pujades E., Orban Ph., Jurado, A., Ayora, C., Brouyère, S. and Dassargues A., 2017, Water chemical evolution in Underground Pumped Storage Hydropower plants and induced consequences, *Energy Procedia* 125: 504-510.
- Pujades E., Willems Th., Bodeux S. Orban Ph., Dassargues A. 2016, Underground Pumped Storage Hydroelectricity (UPSH) using abandoned works (deep mines or open pits) and the impact on groundwater flow, *Hydrogeology Journal* 24(6): 1531-1546.
- Pujades E., Jurado A., Orban P. and A. Dassargues, 2018. Parametric assessment of hydrochemical changes induced by underground pumped storage hydropower. *Science of the Total Environment* 659: 599-611.
- Pujades E., Jurado A., Orban Ph. and A. Dassargues, 2018, Hydrochemical changes induced by underground pumped storage hydropower: influence of aquifer parameters in coal mine environments, *Advances in Geosciences* 45: 45-49.
- Pujades E., Orban Ph., Archambeau P., Ercicum S. and A. Dassargues, 2018, Numerical study of the Martelange mine to be used as lower reservoir for constructing an Underground Pumped Storage Hydropower plant, *Advances in Geosciences* 45: 51-56.
- Pujades E., Orban Ph., Archambeau P., Kitsikoudis V., Ercicum S. and A. Dassargues. 2020. On the interactions between groundwater flow and underground pumped-storage hydropower (UPSH) at the Martelange mine (Belgium), *Energies* 13: 2353
- Pujades E., Poulain A., Orban Ph., Goderniaux P. and A. Dassargues. 2021. The impact of hydrogeological features on the performance of Underground Pumped-Storage Hydropower (UPSH), *Applied Sciences* 11(4): 1760

18