

PUISSANCE INSTALLÉE ET PUISSANCE EXPLOITABLE

Mise en perspective, analyse et recommandations

Journée technique du CFMS du jeudi 5 octobre 2017

Présentation du guide « Géostrucures énergétiques »

Thomas DINARD – Egis Géotechnique

Exposé présenté à l'INSA de Lyon – Amphi Emilie du Châtelet

20 avenue Albert Einstein – 69100 Villeurbanne



CHAPITRE 1 :

Introduction



- Contexte de la présentation
- Définition des notions principales

1.1 Contexte de la présentation

Les **géostrucures énergétiques** désignent des structures géotechniques équipées d'un système d'échangeurs thermiques.

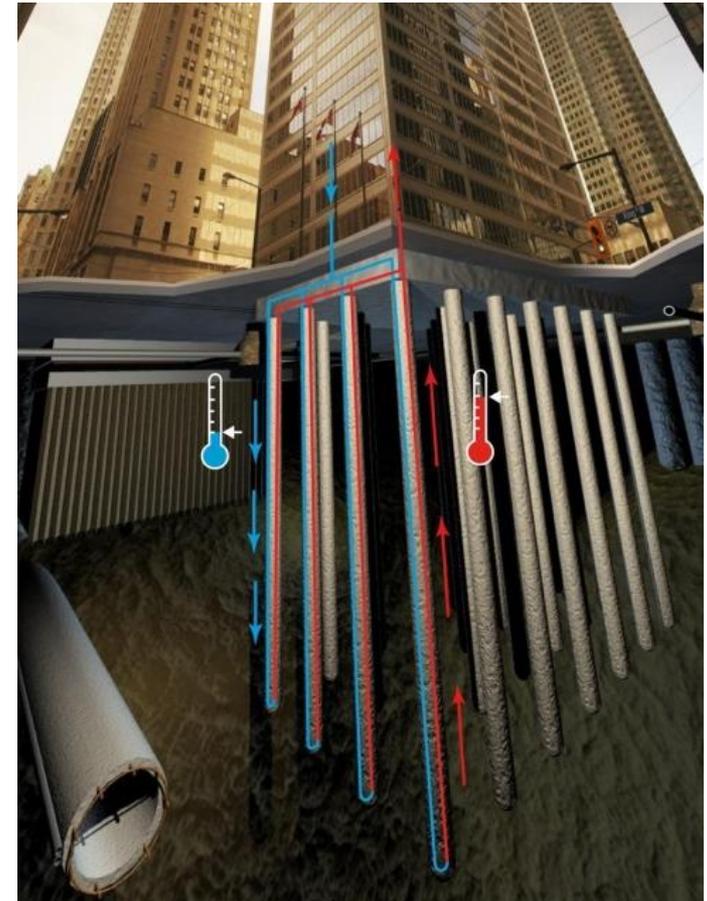
- Basées sur le principe de la **géothermie à très basse température** ;

- Apparues dans les années **1980 à 1990 en Autriche** ;

- Concernent **tous les types** d'ouvrages géotechniques ;

- Relèvent d'une **action d'opportunité** ;

- Interviennent dans un fort contexte de **transition énergétique**.



Système de pieux échangeurs (Lausanne, Suisse)

1.2 Définition des principales notions

Puissance installée (ou instantanée) :

Définie par les caractéristiques et la disposition des **tubes échangeurs**

Puissance exploitable :

Définie par les caractéristiques du **milieu sous-terrain** ainsi que par sa méthode d'exploitation

Enjeu principal :

Adapter la puissance installée en fonction de la puissance exploitable du milieu sous-terrain :

- *Rôle du concepteur du système échangeur*

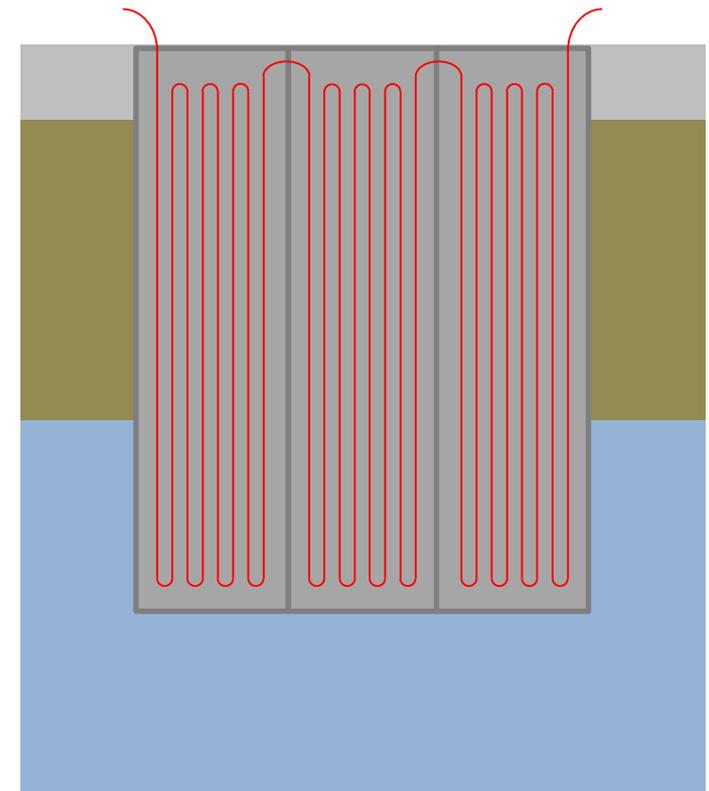


Schéma de principe d'un écran énergétique

1.2 Définition des principales notions

1.2.1 Caractérisation du système échangeur

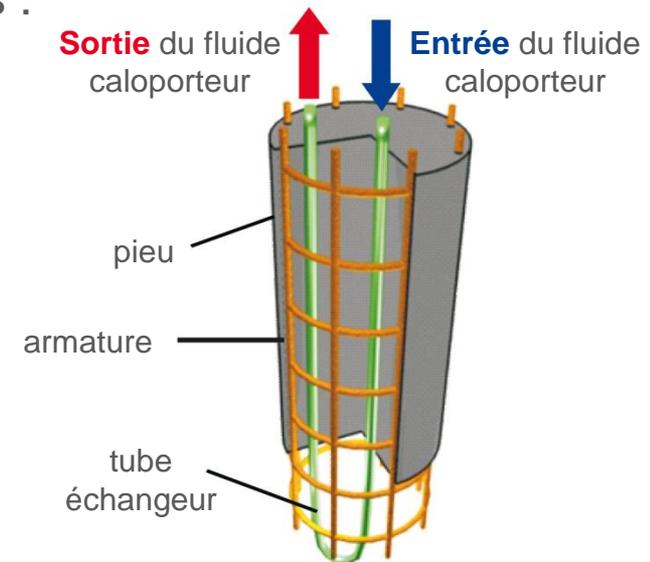
Le système échangeur est composé de deux éléments distincts mais liés :

le **fluide caloporteur** circulant au sein des tubes :

- *Composition* : $\approx 25\%$ de glycol
- *Régime d'écoulement* : transitoire
- *Vitesse d'écoulement* : $\approx 0,4$ à $0,7$ m/s
- *Température de circulation* : ≈ 1 à 35°C

les **tubes échangeurs** noyés dans la structure :

- *Diamètre* : ≈ 25 à 32 mm
- *Matériau* : PEHD
- *Disposition géométrique* \longrightarrow



- tubes trop rapprochés : court-circuit thermique
- tubes trop éloignés : perte de rendement

1.2 Définition des principales notions

1.2.2 Caractérisation et exploitation du sous-sol

Le sous-sol est caractérisé par deux physiques différentes mais liées :

Géothermie :

- *conductivité thermique* : ≈ 1 à 3 W/m.K
- *capacité thermique* : $\approx 1,5$ à $3 \text{ MJ/m}^3.\text{K}$
- *température initiale du sol* : $\approx 12^\circ\text{C}$

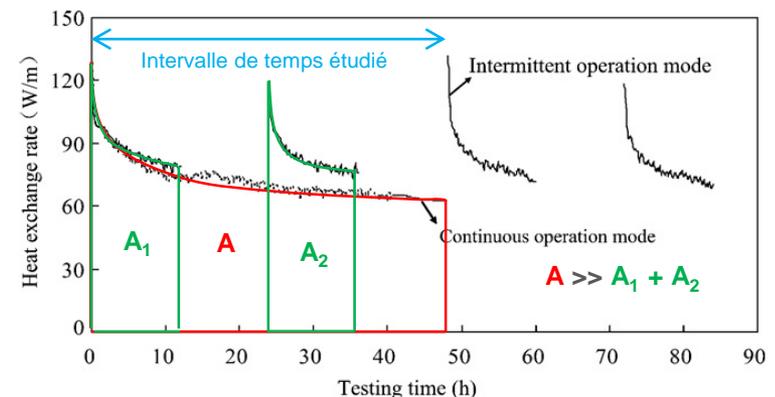
Exploitation géothermique du sous-sol :

Scénario d'exploitation :

- *défini selon les besoins énergétiques*
- *exploitation continue ou intermittente*

Hydrogéologie :

- *état hydrique* : saturé
- *vitesse de Darcy* : $> 0,2 \text{ m/jour}$



Source : Xia et al. (2012)

CHAPITRE 2 :

Etude de potentiel géothermique



- Critères conditionnant l'équipement en échangeurs thermiques des géostructures énergétiques
- Risques limitant le rendement énergétique des géostructures thermiques

2.1 Critères conditionnant l'équipement en échangeurs thermiques

Analyse de documents :

Pahud et Fromentin, 1997 et Joliquin, 2002

Critère		Installation de GSE * ?
Etat hydrique du terrain	Terrain sec → conductivité thermique faible ($\lambda < 1,3 \text{ W/m.K}$)	Déconseillée
	Terrain saturé → conductivité thermique élevée ($\lambda > 1,3 \text{ W/m.K}$)	Envisageable
Recharge thermique sur cycle annuel	Puissance réinjectée < 70% de l'énergie extraite	Déconseillée
	Puissance réinjectée ≈ 70% à 90% de l'énergie extraite	Envisageable
	Puissance réinjectée > 90% de l'énergie extraite	Déconseillée

* GSE = Géostrutures énergétiques

- **Etat hydrique** : sol saturé nécessaire (avec $v_{darcy} \geq 0,5 \text{ m/jour}$)
- **Recharge thermique** : maîtrise du processus indispensable

2.2 Risques limitant l'équipement en échangeurs thermiques

Analyse de documents :

Joliquin, 2002 et SIA D 0190 (Anstett et al., 2005)

Risque	Conséquence	Géostructures énergétiques		
		Pieux	Parois	Radiers
Risques liés aux prélèvements de chaleur	Effets sur la couverture pédologique	x	x	x
	Effets sur les propriétés des terrains de fondation et sur les constructions	x x x	x	x x x
	Effets sur les eaux souterraines		x	
Risques liés à la recharge thermique	Effets sur la couverture pédologique		x	
	Effets sur les propriétés des terrains de fondation et sur les constructions	x	x x	x x x
	Effets sur les eaux souterraines		x	

CHAPITRE 3 :

Etudes de cas



- Pieux thermoactifs : Aéroport de Zürich, Suisse
- Tunnel thermoactif : Métro d'Istanbul, Turquie

3.1 Pieux thermoactifs : Aéroport de Zürich

3.1.1 Présentation générale du projet

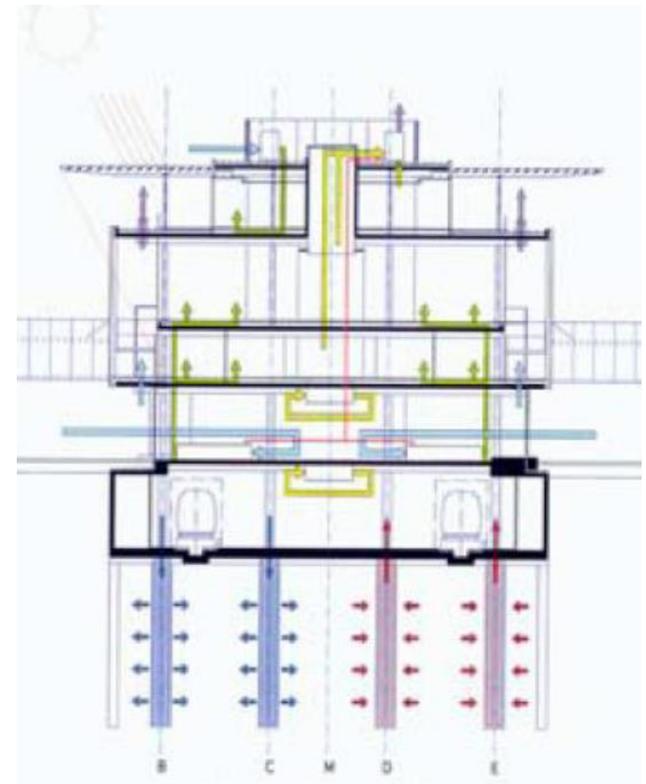
Construction d'un terminal (SRE = 58 000 m²)

Caractéristiques du sous-sol favorables

- présence d'une nappe souterraine ;
- conductivité thermique : $\lambda = 1,8 \text{ W/m.K}$;
- capacité thermique : $C_v = 2,2 \text{ MJ/m}^3.\text{K}$;
- température initiale du sol : $T_{sol} = 10^\circ\text{C}$

350 pieux forés et coulés en place :

- 306 pieux énergétiques (5 boucles en U) ;
- diamètre allant de 90 cm à 150 cm ;
- ancrage dans les moraines ($L_{th} = 27 \text{ m}$)



Source : Pahud (1999)

3.1 Pieux thermoactifs : Aéroport de Zürich

3.1.2 Présentation des résultats observés

Energie théoriquement exploitable :

Extraction de chaleur

- 1100 MWh/an

Injection de chaleur

- 400 MWh/an

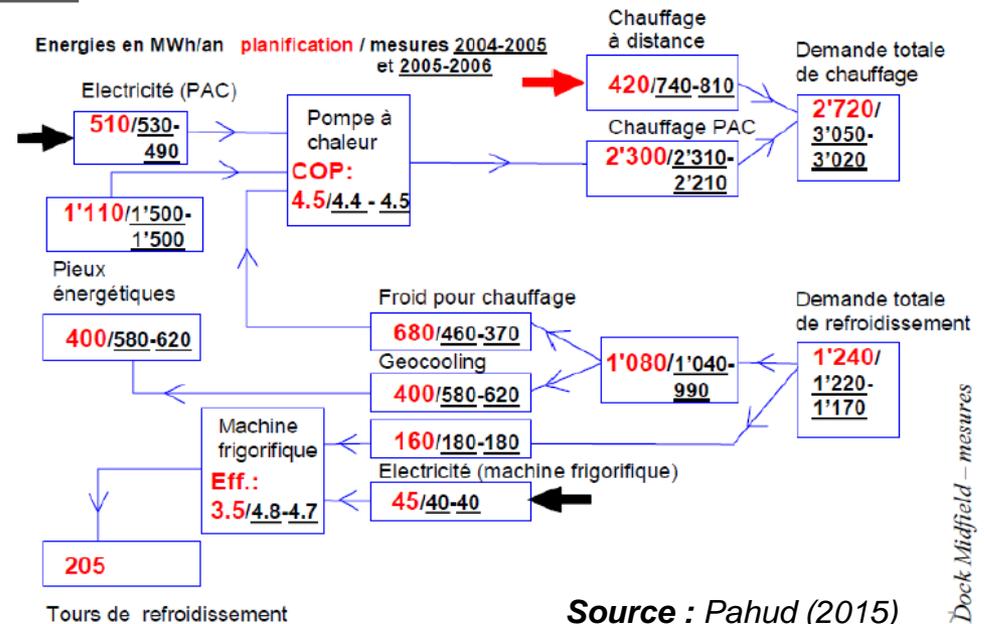
Energie réellement exploitée :

Extraction de chaleur

- ≈ 1500 MWh/an

Injection de chaleur

- ≈ 600 MWh/an



➤ Importante différence dans le bilan des énergies entre les quantités planifiées (énergie exploitable) et les quantités mesurées (énergie exploitée).

3.2 Tunnel thermoactif : Métro d'Istanbul

Etude du potentiel géothermique (2016) du projet de construction du métro d'Istanbul en Turquie par **Geodata S.p.A** en collaboration avec l'université **Politecnico di Torino** (Italie).

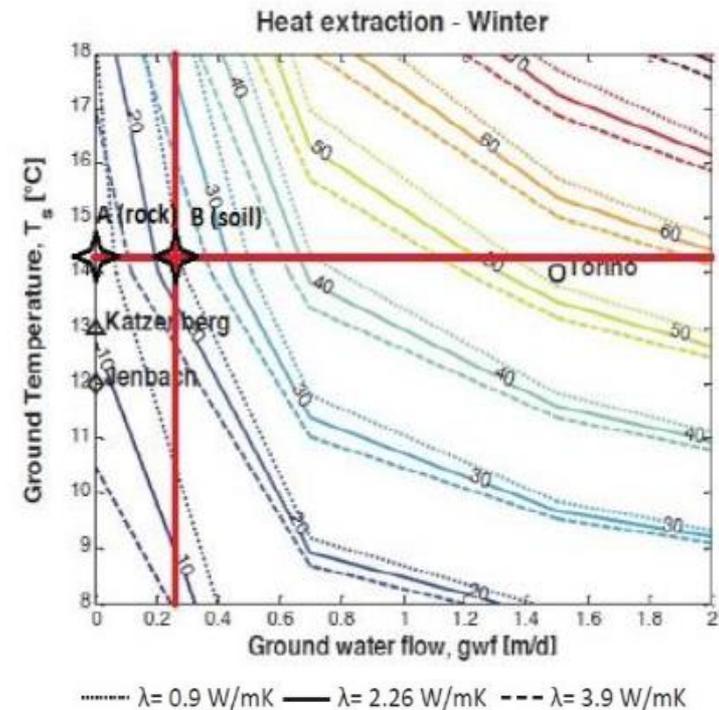
Caractéristiques du sous-sol **favorables** :

- présence d'une nappe souterraine avec un fort écoulement souterrain ($\approx 0,2 \text{ m/jour}$) ;
- conductivité thermique : $\lambda = 1,19 \text{ W/m.K}$

Utilisation d'une abaque pour déterminer la **puissance exploitable** dans le cadre d'une extraction de chaleur :

- Température initiale du sol : $T_{sol} = 14^\circ\text{C}$

➤ Extraction de chaleur envisageable : 10 – 20 W/m²



Source : Di Donna et Barla (2015)

3.2 Tunnel thermoactif : Métro d'Istanbul

Etude du potentiel géothermique (2016) du projet de construction du métro d'Istanbul en Turquie par **Geodata S.p.A** en collaboration avec l'université **Politecnico di Torino** (Italie).

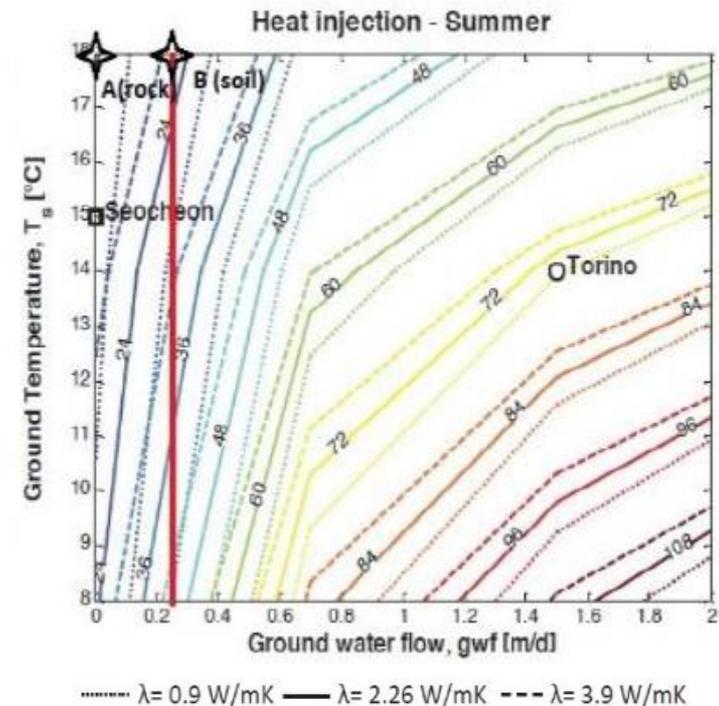
Caractéristiques du sous-sol **favorables** :

- présence d'une nappe souterraine avec un fort écoulement souterrain ($\approx 0,2 \text{ m/jour}$) ;
- conductivité thermique : $\lambda = 1,19 \text{ W/m.K}$

Utilisation d'une abaque pour déterminer la **puissance exploitable** dans le cadre d'une injection de chaleur :

- Température initiale du sol : $T_{sol} = 18^\circ\text{C}$

➤ Injection de chaleur envisageable : 15 – 20 W/m²



Source : Di Donna et Barla (2015)

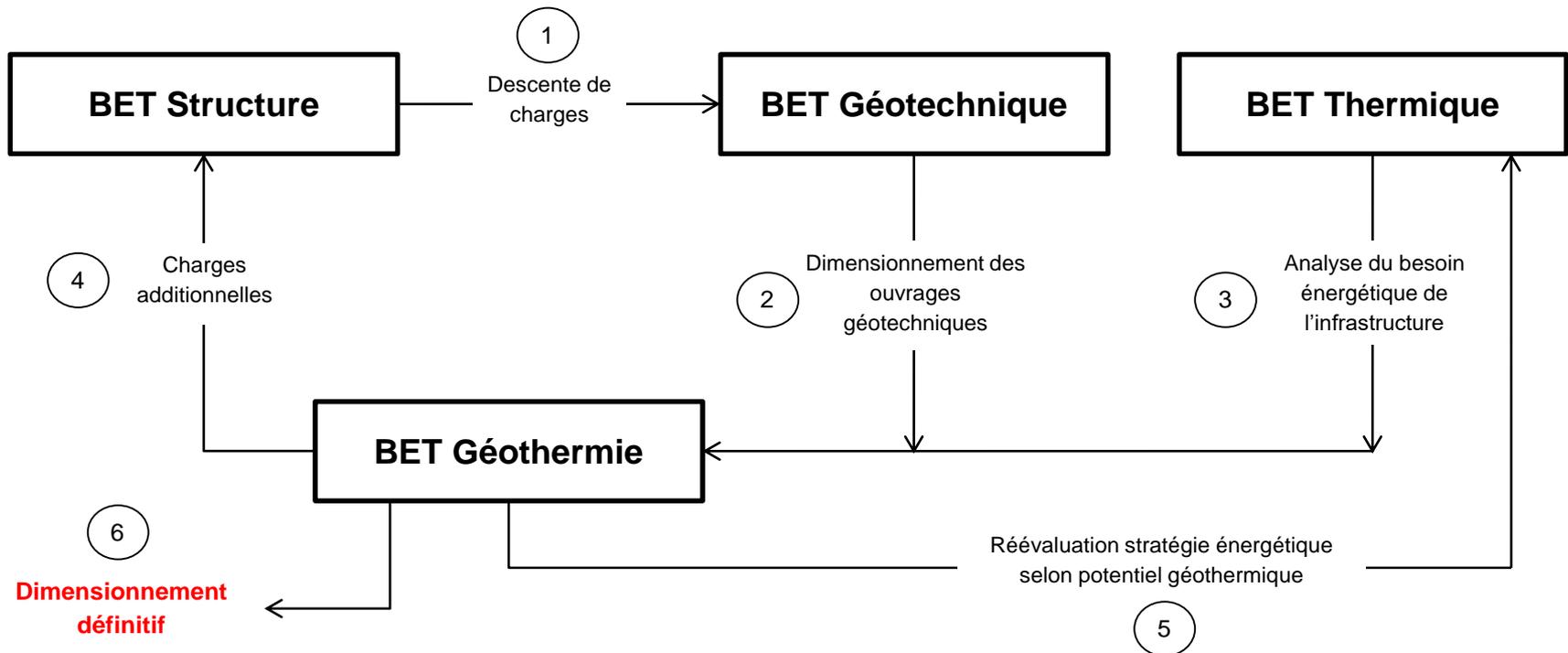
CHAPITRE 4 :

Conclusion



- Principe de coordination des différents acteurs en phase de conception
- Recommandations générales

4.1 Principe de coordination des différents acteurs en phase de conception



Processus itératif : le cycle (1) – (2 & 3) – (4 & 5) se répètera jusqu'à atteindre l'étape (6) lorsque tous les acteurs auront déterminé un dimensionnement satisfaisant toutes les conditions.

4.2 Recommandations générales

Parmi les conclusions de la présentation, quelques **recommandations générales** pour la conduite d'un projet géothermique :

- | Intégrer la composante géothermique **le plus en amont possible** dès la phase d'étude de faisabilité du projet ;
- | Impliquer **tous les acteurs** d'un projet de construction ;
- | Définir le plus précisément possible les **caractéristiques hydrogéologiques et géothermiques** du sol ;
- | Considérer la ressource géothermique comme une **énergie renouvelable** qui devient **limitée** si un soin n'est pas apporté à son exploitation ;
- | Définir le système échangeur en fonction des **besoins énergétiques** et surtout des caractéristiques du **milieu exploité**.

REMERCIEMENTS

Merci de votre attention.



Thomas DINARD

thomas.dinard-ext@egis.fr

+33 (0) 4 37 72 40 72

