


Fondation ARHM – Lyon 8ème (69)
Exploitation des eaux souterraines à des fins géothermiques
Réponses aux recommandations de l’Autorité Environnementale de septembre 2024

	<p>Client : Fondation ARHM</p> <p>N° de l’affaire : RHAP230022</p> <p>Intitulé de l’affaire : Fondation ARHM – Lyon 8ème (69) Exploitation des eaux souterraines à des fins géothermiques Réponses aux recommandations de l’Autorité Environnementale de septembre 2024</p>
<p>Rédacteur : Edouard TISSIER - Tel : 06 24 50 54 41 - email : edouard.tissier@anteagroup.fr Florence PAULUS - Tel : 06 80 62 43 81 - email : f.paulus@inddigo.com</p>	
<p>Destinataires :</p> <p>COPPERE Alexis - email : Alexis.COPPERE@arhm.fr MONLEAU Myrtille - email : amomm.monleau@gmail.com Denise KANTA - email : denise.kanta@developpement-durable.gouv.fr</p>	
<p>Date : 25/10/2024</p>	<p>Nombre de pages : 19</p>

Sommaire

1. Introduction	2
2. Les niveaux de température de la nappe.....	2
3. Incidences sur les écosystèmes souterrains et sur les pollutions présentes dans les sols .	4
4. Estimations des besoins de chauffage et refroidissement en 2050	4
4.1 Rappel des enjeux thermiques du projet	4
4.2 Besoins chaud.....	7
4.2.1 Besoins actuels.....	7
4.2.2 Besoins futurs	7
4.3 Besoins froid.....	9
4.3.1 Besoins actuels.....	9
4.3.2 Météo RCP 4,5	10
5. Bilan des émissions de gaz à effet de serre.....	11
5.1 Bilan GES en phase travaux	11
5.2 Hypothèses pour la phase exploitation.....	14
5.3 Résultats du bilan des émissions GES phases construction et exploitation	15
5.4 Conclusion	17
6. Bilan carbone.....	17
7. Mise en place d’un suivi de l’installation	17

1. Introduction

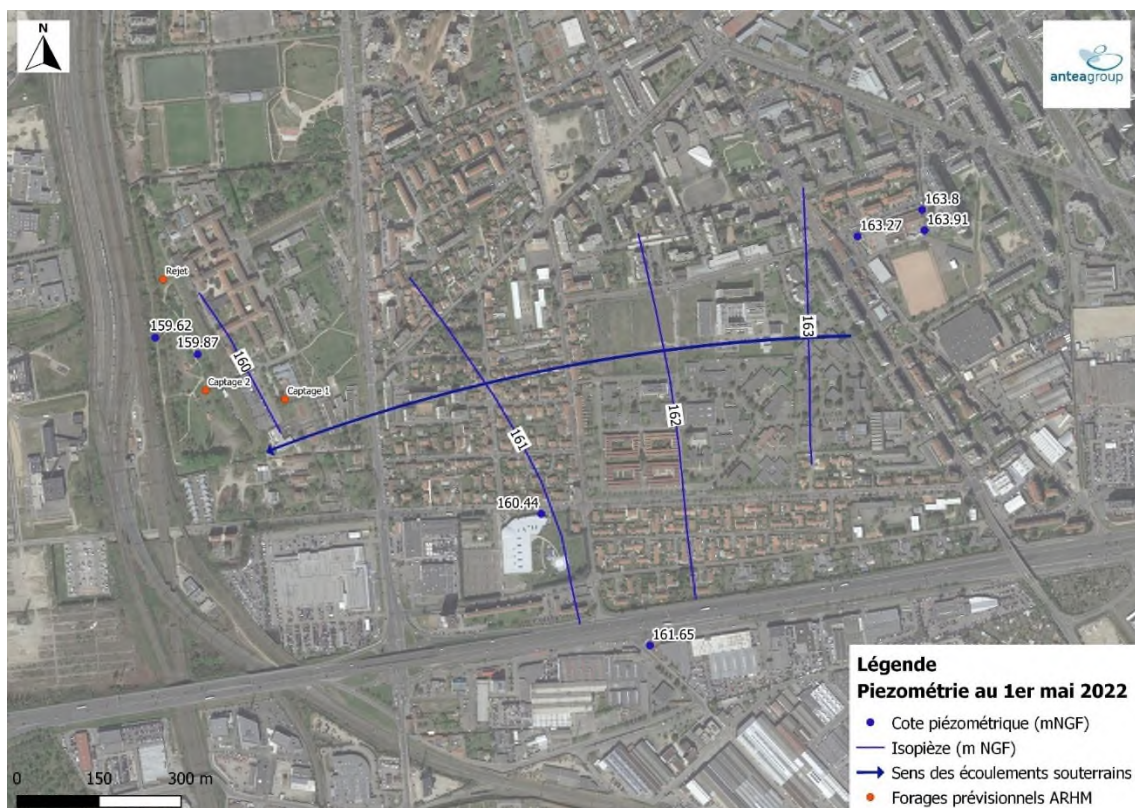
Cette note fait suite à l’avis de la mission régionale d’autorité environnementale sur la mise en place d’un système de géothermie pour le centre hospitalier Saint-Jean-de-Dieu, par la fondation ARHM (Action et Recherche Handicap et Santé Mentale), sur la commune de Lyon (69) - Avis n° 2024-ARA-AP-1744 en date du 23 septembre 2024.

2. Les niveaux de température de la nappe

L’Autorité environnementale recommande de préciser les niveaux de température de la nappe, en particulier les points utilisés pour les échanges thermiques et dans la zone d’influence de ces échanges.

Les eaux souterraines qui seront exploitées dans le cadre du fonctionnement de l’installation de géothermie du site sont issues des alluvions du Rhône. Il s’agit d’une nappe très productive comme le montre l’exploitation actuelle du puits pour l’arrosage et le forage de reconnaissance qui sera conservé en forage de prélèvement dans le cadre du projet.

La carte piézométrique réalisée en mai 2022, présentée dans le dossier et reprise ci-dessous montre un gradient hydraulique homogène à l’amont et au droit du site de 3.10^{-3} m/m.

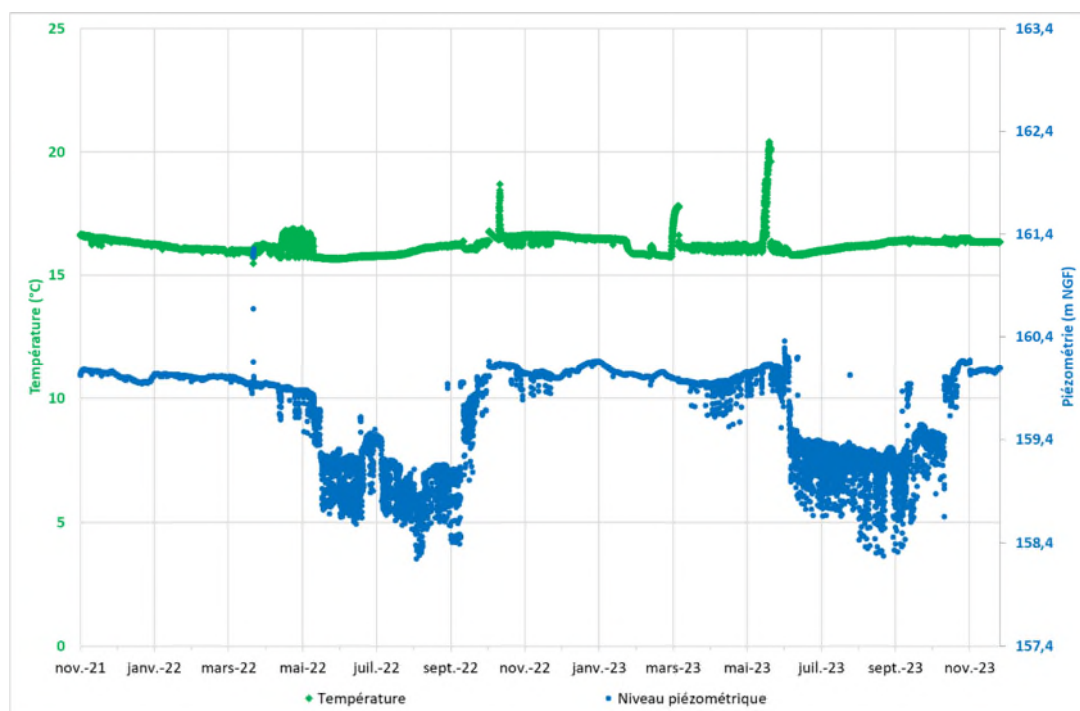


Les installations de géothermie voisines présentées dans le dossier et reprises ci-dessous sont relativement éloignées pour avoir une incidence thermique sur le projet.

Fondation ARHM – Lyon 8ème (69)
 Exploitation des eaux souterraines à des fins géothermiques
 Réponses aux recommandations de l’Autorité Environnementale de septembre 2024



La température des eaux souterraines est suivie au droit du puits existant du site. Les relevés sont présentés dans le dossier et repris ci-dessous, montrant des valeurs comprises entre 15,5 et 17°C, avec des valeurs légèrement plus faibles en période estivale et plus fortes en période hivernale.



Au vu des caractéristiques de la nappe (productivité, gradient hydraulique homogène), distances des installations de géothermie existantes relativement éloignées, il est possible de conclure que la température de la nappe au droit du site, en l’état actuel est homogène et correspond aux relevés réalisés sur le puits existant.

3. Incidences sur les écosystèmes souterrains et sur les pollutions présentes dans les sols

L’Autorité environnementale recommande de compléter le dossier par une étude des incidences potentielles de l’augmentation de la température de l’eau de la nappe sur les écosystèmes souterrains dont les communautés bactériennes, et sur les pollutions présentes dans les sols (lessivage et cinétique de migration).

Les fluctuations de température de l’eau liées à l’activité de géothermie ne sont générées que dans la nappe alluviale, dans la zone saturée, en aval du site, à l’Ouest. Il n’y aura donc pas d’impact sur la zone non saturée, donc pas de lessivage de terres.

Sur le site, la géothermie étant plus utilisée pour du chauffage que pour du rafraîchissement, les impacts thermiques seront liés à une baisse de la température de la nappe et non une augmentation de la température, comme le montre les résultats de la modélisation présentés dans le dossier et repris dans l’avis de l’autorité environnementale.

Enfin l’analyse d’eau réalisée sur le forage de reconnaissance montre :

- la présence de bactéries en faible proportion, ne témoignant pas du développement d’un écosystème souterrain en particulier
- l’absence de marqueurs de pollution.

Ainsi l’exploitation de l’installation de géothermie n’aura pas d’impact sur ces éléments.

4. Estimations des besoins de chauffage et refroidissement en 2050

L’Autorité environnementale recommande de prendre en compte dans les estimations les besoins de chauffage et refroidissement en 2050 en intégrant les projections climatiques.

4.1 Rappel des enjeux thermiques du projet

L’ARHM dispose d’un patrimoine immobilier aujourd’hui chauffé via un réseau de chaleur interne au gaz et rafraîchi en certaines zones par des groupes froid indépendants.

Avec les projets de rénovation énergétiques des bâtiments qui s’étalent jusqu’en 2040, l’ARHM a souhaité décarboner la production de chaleur et mutualiser la production de froid pour l’ensemble des bâtiments qui présenterait un besoin de rafraîchissement.

Le tableau des surfaces est présenté sur la page suivante

Des études de faisabilité des 2016 ont été conduites pour choisir la solution la plus opportune pour subvenir aux besoins chaud et froid de le l’ARHM à long terme.

Fondation ARHM – Lyon 8ème (69)
Exploitation des eaux souterraines à des fins géothermiques
Réponses aux recommandations de l’Autorité Environnementale de septembre 2024

3 scénarios ont été comparés à la solution de référence :

- Mise en place d’une **géothermie sur nappe** pour la production de chaud et de froid avec création d’un réseau froid interne
- Raccordement au **réseau de chaleur de la Ville de Lyon** et mise en place d’une production de froid centralisé par **Pompe à Chaleur (PAC) sur air** avec création d’un réseau de froid interne
- Raccordement au **réseau de chaleur de la Ville de Lyon** et mise en place d’une production de froid centralisé par **Machine à absorption** (source chaude réseau de chaleur, décharge sur nappe) avec création d’un réseau de froid interne

La **référence** consiste à conserver le **réseau de chaleur au gaz interne** et de créer un **réseau de froid avec PAC air eau**.

Fondation ARHM – Lyon 8ème (69)
Exploitation des eaux souterraines à des fins géothermiques
Réponses aux recommandations de l’Autorité Environnementale de septembre 2024

Le tableau ci-après présente l’évolution des surfaces à moyen et long terme.

				EXISTANT			FUTUR SUR GEOTHERMIE					
							COURT TERME 2026		MOYEN TERME 2036			
CHAUFFERIE	ZONAGE	SOUS STATION	services et bâtiments concernés	surfaces actuellement	surfaces chauffées actuellement	surfaces rafraichies par groupes froids actuellement	surfaces futures	surfaces chauffées 2026	surfaces rafraichies 2026	surfaces chauffées 2036	surfaces rafraichies 2036	
centrale	blanchisserie		blanchisserie	2 343	2 343		2 343	2 343		2 343	-	
			cuisine	1 800	1 800		1 800	1 800		1 800		
			logistique	450	450		450	450		450		
	saint raphael	D		Mag 2 / Mag 3 / fontaine roseaux / saint michel	4 704	3 900		4 704	3 900		4 704	4 704
	Notre Dame			orangerie / pole sivadon /ex louise labé	3 144	3 144		3 144	3 144		3 144	3 144
	infirmierie (en vert)	E		ecocare / elsa / centre douleur / chefferie G26 /pole logement et DMP / 1 partie sivadon / ECT / internat chambre d'hôte / desir (direction soin infirmier) / aumerie / + chaud de Jean Grande (+ groupe froid)	6 790	6 790	1 700	6 790	6 790		6 790	6 790
		A	Clef de sol	surface actuelle qui va être démolie	1 254	1 254						
				PROJET Artémis phase 2 / ex clef de sol				3 800	3 800	3 800	3 800	3 800
	Saint Augustin			DPS / pharmacie / couloir daniel /TED /bibliothèque médicale	2 680	2 680	600	2 680	2 680	600	2 680	1 340
	Saint Charles	F		erasme / st ex / ex hermès / chefferie G27 / simonne de beauvoir / accord'age /DIM /césar	6 602	6 602		6 602	6 602	3 301	6 602	6 602
	-	B1	Ulysse	ulyse	940	940	940	940	940	940	940	940
	-	B2	prairie	galilée / osiris / sirius / chefferie G25 et chefferie admission	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500
	-	B3	administration		4 500	4 500	4 500	4 500	4 500	4 500	4 500	4 500
	-			cafétéria (en ss ss station)	400	400		400	400		400	400
	-	G	Alphé	UHCD	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400
-	H	Clos Layat Géronto	Clos 1 clos 2 et chefferie	2 850	2 850	2 850	2 850	2 850	2 850	2 850	2 850	
	C2	MAS	MAS foyer habitat +	5 320	5 320	5 320	5 320	5 320		5 320	5 320	
	C1	FAM	futur bâtiment				2 050	2 050	2 050	2 050	2 050	
TOTAL surfaces (m²)				48 677	47 873	20 810	53 273	52 469	22 941	53 273	47 340	

4.2 Besoins chaud

4.2.1 Besoins actuels

Ces besoins intègrent la construction d’une unité médicalisée supplémentaire qui sera livrée fin 2025 (FAM).

Au stade de consultation des entreprises, les besoins de chaud ont été évalués à 8 110 MWh/an pour 52 469 m² décomposés comme suit :

- ☑ Chauffage : 6 085 MWh
- ☑ Eau chaude sanitaire (ECS) : 1 455 MW
- ☑ Pertes thermiques réseau : 570 MWh

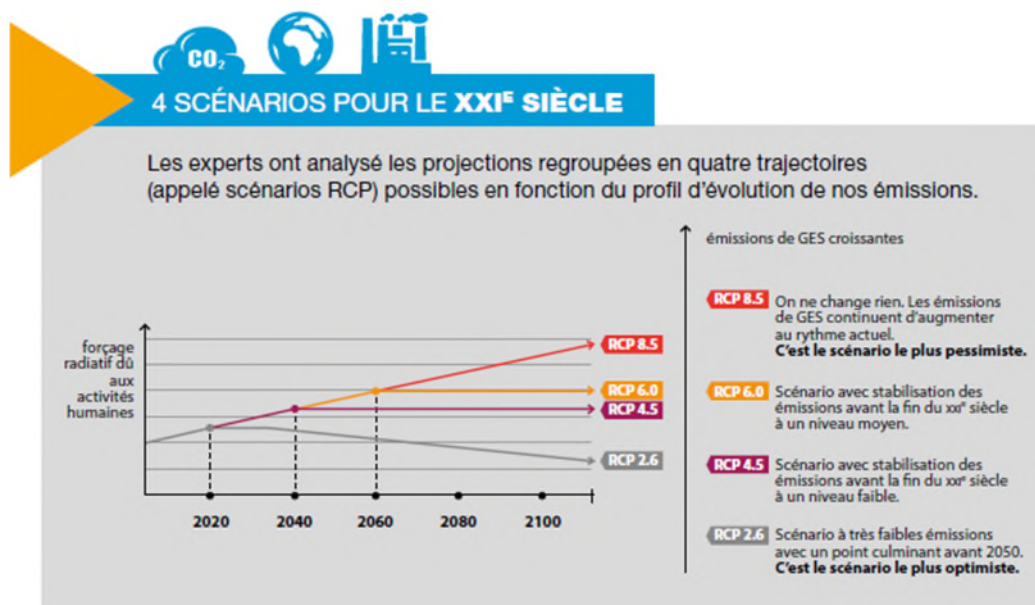
Ce qui représente un besoin total de 154 kWh/m² (chauffage et ECS).

4.2.2 Besoins futurs

Nous estimons que les besoins de chauffage seront impactés selon 3 axes :

- ☑ La rénovation énergétique de certains bâtiments
- ☑ Une faible augmentation des surfaces chauffées de 52469 m²(dimensionnement projet géothermie sur 2026) à 53 273 m² (+ 2% en 2036)
- ☑ L’évolution des conditions climatiques

Les simulations ont été mises à jour selon le scénario RCP 4,5 à 2050.

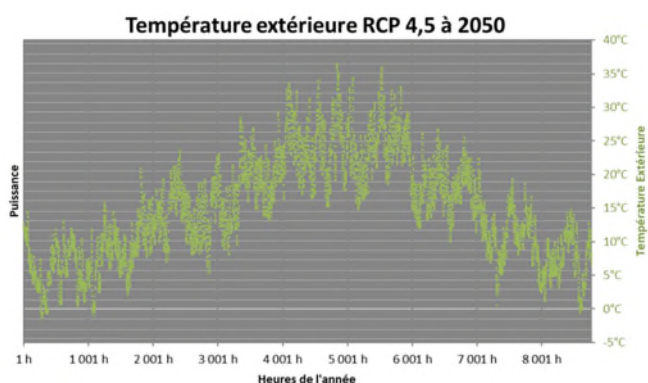


- ☑ Année 2050
- ☑ DJU : 1 991 au lieu de 2 130, soit une baisse de 7%
- ☑ Besoins de chauffage : 5 687 MWh/an au lieu de 6 085 MWh.

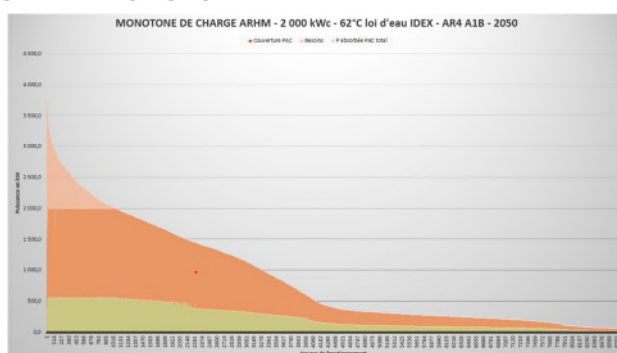
Fondation ARHM – Lyon 8ème (69)
 Exploitation des eaux souterraines à des fins géothermiques
 Réponses aux recommandations de l'Autorité Environnementale de septembre 2024

- ☑ Besoins ECS inchangés : 1 455 MWh
- ☑ Pertes thermiques inchangées : 570 MWh
- ☑ Total : 7 707 MWhsc/an

COURBE DE TEMPERATURE



NOUVELLE MONOTONE



Concernant la production de chaleur la production ENR passe de 63,4 % à 64,4 % puisque les besoins baissent avec une légère baisse du COP (passe de 3,44 à 3,41).

SITUATION 2025

P totale 2000 kWc	Taux de couverture ENR PAC	65,1%	COP moyen global	3,44	Taux de couverture chaud PAC	91,9%
Pourcentage de charge	PAC 1	COP moyen 3,72	PAC 2	COP moyen 3,38	PAC 3	COP moyen 3,03
Inférieur ou égal à 25%	4092 h	47%	4101 h	47%	0 h	0%
Entre 25 et 50%	815 h	9%	775 h	9%	0 h	0%
Entre 50 et 75%	1030 h	12%	1378 h	16%	753 h	53%
Entre 75 et 100%	2823 h	32%	2506 h	29%	676 h	47%
Pourcentage consommation pompes	7,3%	Taux de couverture ENR ADEME	63,4%	Consommation électrique annuelle		2306 MWhe
Consommation annuelle totale énergie électrique + gaz				456 103 €	Consommation appoint gaz annuelle	
						391 943 €
						917 MWh PCS
						64 160 €

Actuellement le taux de couverture des besoins de chaleur est de 92%.

Fondation ARHM – Lyon 8ème (69)
 Exploitation des eaux souterraines à des fins géothermiques
 Réponses aux recommandations de l'Autorité Environnementale de septembre 2024

SITUATION 2050

P totale 2000 kWc	Taux de couverture ENR PAC	66,1%	COP moyen global	3,41	Taux de couverture chaud PAC	93,6%
Pourcentage de charge	PAC 1	COP moyen 3,70	PAC 2	COP moyen 3,32	PAC 3	COP moyen 3,04
Inférieur ou égal à 25%	4166 h	48%	4183 h	48%	0 h	0%
Entre 25 et 50%	838 h	10%	845 h	10%	0 h	0%
Entre 50 et 75%	954 h	11%	1217 h	14%	553 h	41%
Entre 75 et 100%	2802 h	32%	2515 h	29%	812 h	59%
Pourcentage consommation pompes	7,0%	Taux de couverture ENR ADEME	64,4%	Consommation électrique annuelle		2245 MWhe
Consommation annuelle totale énergie électrique + gaz				429 743 €	Consommation appoint gaz annuelle	
					381 654 €	
					687 MWh PCS	
					48 089 €	

Avec une baisse de 7% des consommations, le taux de couverture des besoins de chaleur se rapproche de 94%.

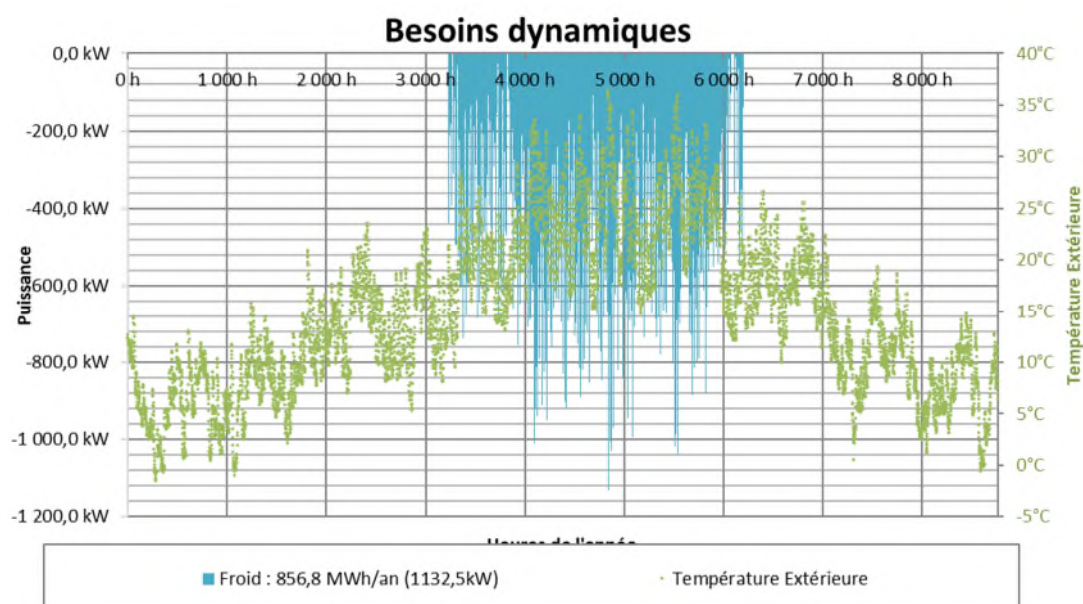
4.3 Besoins froid

4.3.1 Besoins actuels

Les simulations suivantes ont été réalisées sur la base de la station météo de Lyon sur la période 2000-2019.

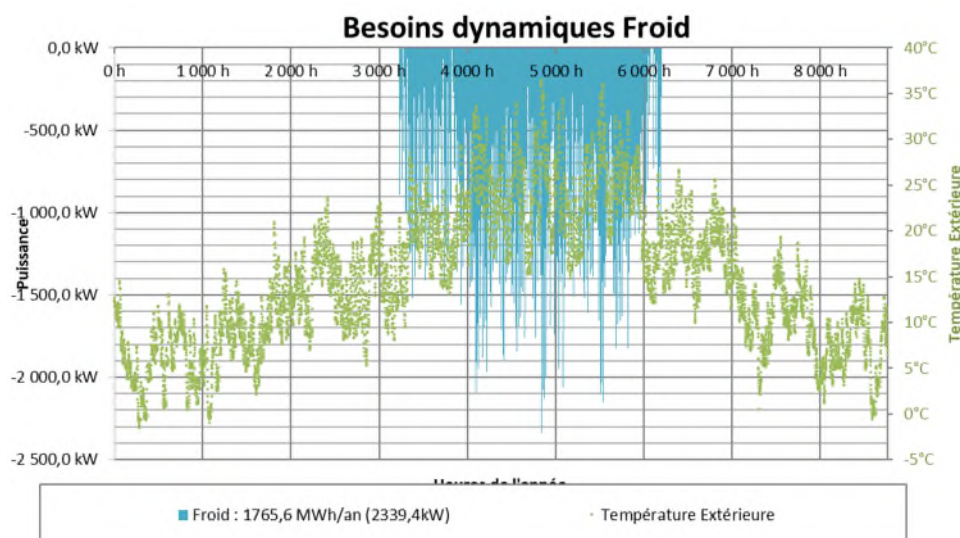
Les besoins de froid à court terme représentent environ 856 MWh pour 22 941 m².

L'installation géothermique a été dimensionnée pour répondre à ce besoin.



Dès 2036, l’ARHM prévoit de rafraîchir plus de surfaces à hauteur d’environ 47 340 m² pour un besoin de 1766 MWh. **Le complément ne sera pas prélevé sur la nappe pour respecter les engagements en termes de volume et température prélevés sur la nappe** mais réalisé à partir de groupe froid centralisé. L’installation construite en 2025 permettra cette évolutivité.

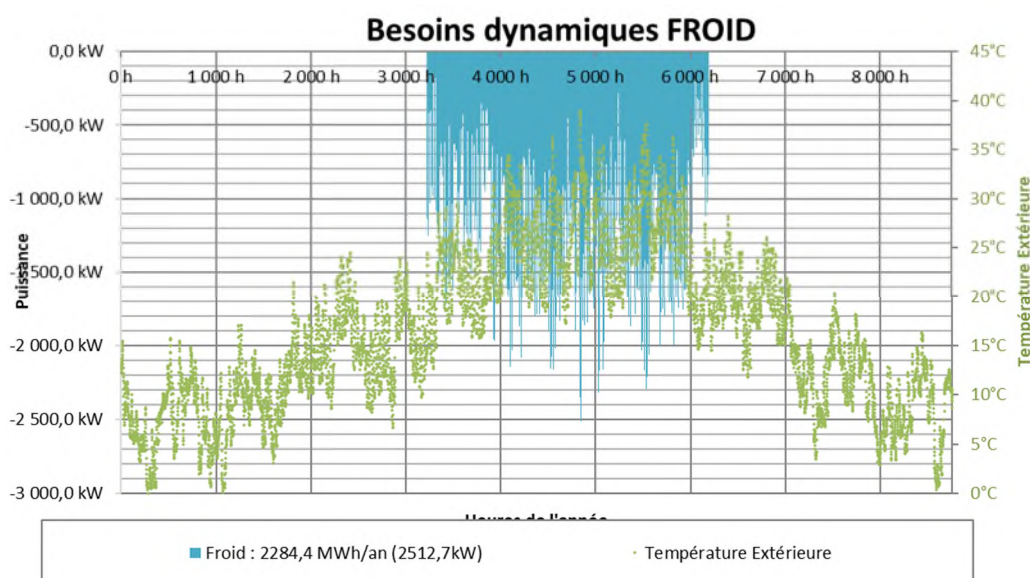
Le froid fourni par la nappe représentera 48% des besoins.



4.3.2 Météo RCP 4,5

Les simulations ont été mises à jour selon le scénario RCP 4,5 à 2050.

En 2050, avec 47 340 m² à rafraîchir, les besoins du site seront de 2284 MWh/an soit + 30%.



Fondation ARHM – Lyon 8ème (69)
Exploitation des eaux souterraines à des fins géothermiques
Réponses aux recommandations de l’Autorité Environnementale de septembre 2024

D’un point de vue technique, l’exploitation de la nappe restera une fourniture de base. L’appoint sera réalisé par les groupes froids centralisés. **Le froid fourni par la nappe représentera 37% des besoins.**

5. Bilan des émissions de gaz à effet de serre

L’Autorité environnementale recommande de compléter le dossier par un bilan des émissions de gaz à effet de serre incluant l’ensemble des composantes du projet, notamment la phase travaux

5.1 Bilan GES en phase travaux

A la demande de la MRAe, nous complétons cette analyse avec une étude des émissions de carbone en phase travaux en restant sur la comparaison des 3 scénarios de décarbonation envisageables pour l’ARHM (la référence n’étant pas une solution de décarbonation).

Le tableau ci-après présente les hypothèses de travaux et les montants associés pour chaque solution.

Fondation ARHM – Lyon 8ème (69)
Exploitation des eaux souterraines à des fins géothermiques
Réponses aux recommandations de l’Autorité Environnementale de septembre 2024

Présentation des projets techniques

Scénarios	Production de chaud et froid à partir de la géothermie sur nappe			RCU+ production de froid avec Machine à absorption (source chaude= RCU, décharge sur la nappe)			RCU + production de froid par PAC air /eau		
	Détails	Description	Investissement	Durée amortissement	Description	Investissement	Durée amortissement	Description	Investissement
<i>Etudes de conception</i>		394,7 K€ (10%)	40 ans		400 K€	40 ans		290 K€	40 ans
<i>Réseau chaud à créer (interne ARHM)</i>	160 m vers nouveau bâtiment	93 K€	40 ans	160 m vers nouveau bâtiment m	93 K€	40 ans	160 m vers nouveau bâtiment m	93 K€	40 ans
<i>Raccordement au réseau de chaleur</i>	Sans objet			305 m + Sous-station 4 MW (échangeur à plaques)	520 K€	Réseau : 40 ans Echangeur : 10 ans	305 m + Sous-station 4 MW (échangeur à plaques)	520 K€	Réseau : 40 ans Echangeur : 10 ans
<i>Réseau de froid interne</i>	1000 m	765 K€	40 ans	1000 m	765 K€	40 ans	1000 m	765 K€	40 ans
<i>Equipement de production et travaux hydraulique et électricité en chaufferie</i>	Dont 3 PAC de 650 KW chaud / réversible (gaz HFO) + aérocondenseur 1500 KW en secours nappe	1 606 K€ (parties 2b, 2c, 2d) dont 486 k€ pour les PAC et 119 k€ pour les aéro Soit 1000 k€ traités en monétaires	22 ans	Dont Machine absorption Puissance : 2 x 1000 KW	2 000 K€ Dont hypothèse 1000k€ traités en monétaires (travaux hydraulique et électricité)	22 ans	Dont Production de froid par PAC 2 x 1000 KW	1 360 K€ Dont hypothèse 600k€ traités en monétaires (travaux hydraulique et électricité)	22 ans
<i>Forage</i>	3 forages à 30 m	684 K€	40 ans	Doublet géothermal sur nappe (pas plus d’information)	456 K€	40 ans	Sans objet		

Fondation ARHM – Lyon 8ème (69)
 Exploitation des eaux souterraines à des fins géothermiques
 Réponses aux recommandations de l’Autorité Environnementale de septembre 2024

<i>Travaux en sous-stations chaud</i>	Modification pour travailler en base température	238 K€ (partie 2f)	30 ans	Sans objet			Sans objet		
<i>Travaux en sous-station froid</i>	Création de sous-station froid	197 K€ (partie 2f)	30 ans	Création de sous-station froid	197 K€	30 ans	Création de sous-station froid	197 K€	30 ans
<i>Autres</i>	Mise en service + DOE + aléas	81 k€	40 ans	Mise en service + DOE + aléas	81 k€	40 ans	Mise en service + DOE + aléas	81 k€	40 ans
Total		3 978 K€			4 431 K€			3 225 €HT	

Ces investissements sont « hors subvention ».

5.2 Hypothèses pour la phase exploitation

Bilan énergétique

Le bilan énergétique de chaque solution a été étudié en phase faisabilité ce qui permet de calculer les émissions de gaz à effet de serre de chaque solution en phase exploitation.

Scénario		Référence CHAUD = Gaz - Actuel FROID = PAC sur Air	Réseau de chaleur Froid par MAA sur géothermie	Géothermie CHAUD et FROID	CHAUD = Réseau FROID = PAC sur air
Besoins CHAUD	Livraison Réseau	7 431 MWhu	7 431 MWhu	7 431 MWhu	7 431 MWhu
	Pertes Réseau	481 MWhu	481 MWhu	385 MWhu	481 MWhu
Besoins FROID	Livraison Réseau	1 200 MWhu	1 200 MWhu	1 200 MWhu	1 200 MWhu
	Pertes Réseau	0 MWhu	36 MWhu	36 MWhu	0 MWhu
Mixité CHAUD	Chaleur PAC			7 148 MWhu 91,5%	
	Gaz	7 912 MWhu 100,0%		668 MWhu 8,5%	
	RCU	-	7 912 MWhu 100,0%	-	7 912 MWhu 100,0%
Mixité FROID	Froid PAC ou MAA	1 200 MWhu 100,0%	1 236 MWhu 100,0%	1 236 MWhu 100,0%	1 200 MWhu 100,0%
Consommation ENERGIES CHAUD	Elec. Nappe			128 MWh	
	Elec. PAC + GF			1 917 MWh	
	Elec. Aux PAC			153 MWh	
	Gaz	8 600 MWh PCI		726 MWh PCI	
	RCU		7 912 MWh		7 912 MWh
Consommation ENERGIES FROID	Elec. Nappe	-		28 MWh	-
	Elec. PAC / GF / MAA	400 MWh	170 MWh	247 MWh	400 MWh
	Elec. Aux PAC / GF / MAA	-		20 MWh	-
	RCU		1 545 MWh		0 MWh

Maintenance/entretien courant (P2) et Travaux Gros Entretien et Renouvellement (P3/GER)

Pour le scénario de référence et le scénario avec géothermie et PAC, l’estimation des postes P2 et P3 provient des résultats de l’étude de faisabilité, déclinés pour les installations de production de chaud d’une part, et les installations de froid d’autre part. Pour les scénarios avec RCU, l’estimation des mêmes postes est réalisée sur la base d’une extrapolation de ces résultats.

Enfin, le chiffrage économique d’IDEX étant plus précis que l’estimation de l’étude de faisabilité, ce sont ces données qui sont retenues pour caractériser la phase de maintenance annuelle du scénario avec géothermie et PAC (Cf. 2 dernières lignes du tableau ci-dessous).

Scénarios	Référence : gaz pour production chaleur et PAC air/eau pour production froid	Production de chaud et froid à partir de la géothermie sur nappe	RCU+ production de froid avec Machine à absorption (source chaude= RCU, décharge sur la nappe)	RCU + production de froid par PAC air /eau
P2 et P3 / GER PRODUCTION CHAUD	25 k€/an	51 k€ / an Dont Captage : 5k€/an Gaz : 15 k€/an PAC : 31 €/an	Réseau : 5 k€/an Captage : 5k€/an MAA : 40€/an	Réseau : 5 k€/an
P2 et P3 / GER PRODUCTION FROID	10.5 k€/an	8 k€/an	10.5 k€/an	10.5 k€/an

Fondation ARHM – Lyon 8ème (69)
Exploitation des eaux souterraines à des fins géothermiques
Réponses aux recommandations de l’Autorité Environnementale de septembre 2024

5.3 Résultats du bilan des émissions GES phases construction et exploitation

Les émissions GES présentées ci-dessous sont annualisées :

- ☑ **Exploitation** : sur la base des consommations énergétiques annuelles
- ☑ **Maintenance** : sur la base des dépenses P2 et P3/GER provisionnées annuellement
- ☑ **Construction** : sur la base des dépenses et des types d’installations (approche mixte : monétaire et physique) rapportées à la durée d’immobilisation ou de vie des infrastructures.

Fondation ARHM – Lyon 8ème (69)
Exploitation des eaux souterraines à des fins géothermiques
Réponses aux recommandations de l’Autorité Environnementale de septembre 2024

Emissions GES (kgCO2e)	Référence	Géothermie + PAC	Géothermie + RCU + MAA	RCU + PAC
Tous scopes confondus (1, 2 et 3)	Chaud : gaz Froid : PAC air/eau	Chaud : géothermie + PAC Froid : géothermie + PAC	Chaud : RCU Froid : géothermie + MAA	Chaud : RCU Froid : PAC air/eau
Emissions annuelles énergie				
Gaz naturel	2 063 288	174 180		
Electricité	20 816	129 736	8 847	20 816
RCU froid			35 690	
RCU chaud			1 140 119	1 140 119
Sous-total Energie Exploitation	2 084 104	303 916	1 184 656	1 160 935
% Emissions GES globales	99,6%	75%	92%	94%
% Ecart à la référence		-85%	-43%	-44%
Emissions annuelles maintenance				
P2		10 320		
P3 / GER	7 633	2 365	10 750	3 333
Sous-total Autres activités Exploitation	7 633	12 685	10 750	3 333
% Emissions GES globales	0,4%	3%	1%	0,3%
Emissions annualisées travaux (amortissement impact sur la durée de vie estimée des installations)				
Etudes de conception		1 677	1 700	1 233
Réseau chaud interne		5 664	5 664	5 664
Raccordement RCU			10 797	10 797
Réseau froid interne		35 400	35 400	35 400
Equipement de production, hydraulique, électricité, supervision		27 396	30 253	18 759
Forage		6 156	4 104	
Travaux sous-station chaud		5 553		
Travaux sous-station froid		4 597	4 597	4 597
Mise en services, DOE et aléas		344	344	344
Sous-total Travaux		86 788	92 859	76 793
% Emissions GES globales		22%	7%	6%
CUMUL annualisé	2 091 737	403 388	1 288 264	1 241 062
% Ecart à la référence		-81%	-38%	-41%

5.4 Conclusion

Du fait du volume important de consommation énergétique, la phase d’exploitation est la plus impactante, qu’importe le scénario (contribuant de 75 à 99,6% des émissions de GES globales). Pour cette phase d’exploitation, le scénario le plus vertueux en termes d’impact sur le changement climatique est le scénario avec géothermie et PAC, affichant une réduction de 85% des émissions de GES par rapport à la situation de référence. Les scénarios avec raccordement au RCU (avec Machine à Absorption ou avec PAC air/eau) sont associés à une réduction de l’impact en phase d’exploitation plus modérée, de l’ordre de 43% à 44%.

Comparativement à la phase d’exploitation, les phases de maintenance et de travaux représentent une part modérée voire faible de l’impact GES (25% pour le scénario géothermie + PAC ; 7-8% pour les scénarios avec RCU). La phase de travaux contribue faiblement du fait de l’amortissement des émissions de construction suivant la durée de vie des équipements.

Si certaines approximations ont été posées (hypothèses pour les scénarios alternatifs avec majorité de données monétaires sur les phases de maintenance et de travaux), elles altèrent très faiblement la qualité du bilan car étant associées à une part minoritaire des émissions de GES. Encore une fois, la consommation d’énergies est responsable de la majorité de l’impact et correspond à la phase pour laquelle l’estimation est la plus robuste.

Enfin, au global, la comparaison entre les différents scénarios et la situation de référence indique que **la solution géothermie avec PAC est la moins impactante pour le changement climatique** (-81% des émissions GES annuelles cumulées par rapport à la situation de référence).

6. Bilan carbone

L’Autorité environnementale recommande de compléter le dossier par la réalisation d’un bilan carbone afin d’évaluer les impacts du projet sur la qualité de l’air et la santé humaine.

Traité dans la partie 5

7. Mise en place d’un suivi de l’installation

L’Autorité environnementale recommande d’adopter une fréquence des suivis adaptée aux enjeux, de préciser les valeurs limites à respecter (températures, volumes, qualité, etc...) et de préciser quelles mesures pourront être mises en place en cas d’incidences détectées lors du suivi.

Dans le cadre de son exploitation l’installation de géothermie fera l’objet d’un suivi, il s’agit d’un suivi qui est mis en œuvre systématiquement pour l’ensemble des installations de géothermie sur nappe soumise à un Permis d’exploitation dans le cadre du Code minier, et présenté dans l’arrêté préfectoral. Ce suivi est présenté ci-après.

La boucle géothermale est équipée des appareils de mesure nécessaires au suivi de l’exploitation et à la détection des anomalies avec a minima des appareils de mesure en continu :

- de débit sur la canalisation reliant le puits de captage au local technique ;
- de la température en amont et aval des échangeurs thermiques ;
- du niveau piézométrique et du niveau haut de la nappe dans tous les puits ;
- de la conductivité en amont et aval des échangeurs thermiques.

Fondation ARHM – Lyon 8ème (69)
Exploitation des eaux souterraines à des fins géothermiques
Réponses aux recommandations de l’Autorité Environnementale de septembre 2024

La détection d’une anomalie ou d’un dépassement des seuils du présent arrêté déclenche une alerte qui provoque soit une intervention humaine, soit la mise en sécurité automatique des installations.

Les puits sont équipés de dispositifs permettant le prélèvement d’échantillons d’eau brute et la mesure du niveau piézométrique.

Les appareils de mesure sont maintenus en permanence en état de fonctionnement et sont vérifiés au moins une fois par an par un organisme compétent.

Un relevé quotidien de l’ensemble des points de mesures est effectué et enregistré de façon automatique et centralisée.

Une analyse physico-chimique et bactériologique de l’eau géothermale est réalisée une fois par an, sur un échantillon prélevé après l’échangeur thermique dans le local technique. Cette analyse est réalisée à l’initiative et à la charge du titulaire, au minimum sur les paramètres suivants :

1. Sulfates	9. Fer (dissous et total)	17. Coliformes totaux Bactéries sulfato-réductrices Bactéries ferrugineuses Germs aérobies revivifiables 22°C et 36°C
2. Chlorures	10. Magnésium	
3. Manganèse (dissous et total)	11. Titre alcali métrique complet (TAC)	
4. Sodium	12. Bicarbonates -- Calcium	
5. Potassium	13. Potentiel hydrogène (pH) in situ	
6. Nitrates	14. Oxygène dissous	
7. Ammonium	15. Escherichia coli	
8. Carbone organique total (COT)	16. Entérocoques	

Les seuils réglementaires demandés sont les suivants :

- *Le débit volumique maximal de pompage dans le gîte autorisé est fixé à 180 m³/h.*
- *Le volume maximum de pompage autorisé annuellement dans le gîte est fixé à 930 000 m³.*
- *La puissance thermique maximale exploitée par le gîte sur la nappe est de 1500 kW.*
- *La température de l’eau rejetée est toujours inférieure ou égale à 24°C.*