



**Direction Régionale Nord et Est
Implantation de Strasbourg**

Aéroparc d'Entzheim - 2 rue des Hérons
67960 ENTZHEIM

Client : EGEE Développement

N° de l'affaire : NPCP160336

**Intitulé de l'affaire : Simulations thermiques
pour un projet de PAC à Lens (62)**

Responsable de projet : Thierry BEURRIER

Tel : 03.88.78.90.60 email : thierry.beurrier@anteagroup.com

Destinataire : M. Olivier LOUART

Objet : Simulations thermiques complémentaires pour un projet de PAC à Lens (62)

	Date	Rédacteur	Vérification
Version A	16/07/2019	JM	NK

Note technique Antea Group/NPCP160336/02/B

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS.....	2
2. RAPPEL DES CARACTERISTIQUES DU MODELE	3
2.1. Limite et maillage du modèle	3
2.2. Paramètres hydrodynamiques	3
2.3. Paramètres hydrodispersifs.....	3
2.4. Les scénarios étudiés.....	4
2.5. Paramètres d'exploitation.....	4
3. LES SIMULATIONS HYDROTHERMIQUES.....	5
3.1. Principe des simulations.....	5
3.2. Résultats des simulations – scénario 1.....	6
3.3. Résultats des simulations – scénario 2.....	8

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Dans le cadre d'un projet de PAC pour le nouvel Hôpital de LENS (62), il est prévu l'utilisation d'un multiplet de forages en nappe afin d'assurer les besoins en chauffage et en climatisation des bâtiments.

EGEE développement a mandaté Antea Group afin d'évaluer le recyclage thermique entre les forages du multiplet selon 2 scénarios via la mise en œuvre d'un modèle hydrodynamique maillé développé dans le cadre des premières simulations réalisées en 2018 (cf. Note technique Antea Group NPCP160336/02/C).

Selon les informations transmises par EGEE développement en juin 2019, les eaux pompées par les 2 forages FP2 et FP3 (à créer) et par le captage existant FP1 (BSS000BYHL) seront intégralement rejetées en nappe après utilisation thermique (besoin en chauffage et climatisation) au niveau des ouvrages de réinjection projetés FR1 et FR2 (sous réserve de faisabilité de cette réinjection aux débits souhaités).

Les implantations prévisionnelles des ouvrages FP2, FP3, FR1 et FR2 ainsi que la localisation de l'ouvrage existant BSS000BYHL (FP1) sont montrées sur la Figure 1 ci-dessous.

Les paramètres introduits dans le modèle sont ceux indiqués par EGEE développement.

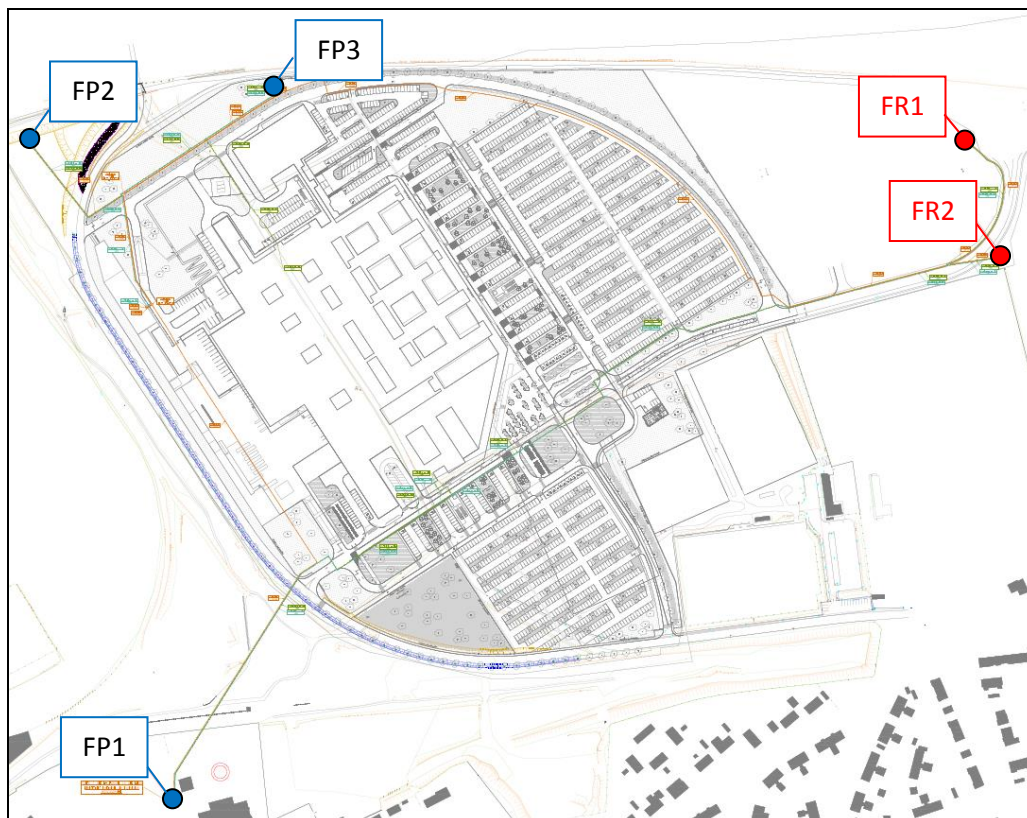


Figure 1 : Localisation des ouvrages

2. RAPPEL DES CARACTERISTIQUES DU MODELE

L'outil mis en œuvre est le logiciel MARTHE, standard français développé par le BRGM. Il s'agit d'un modèle aux différences finies qui permet, en plus de l'hydrodynamique, de simuler le transfert de chaleur en intégrant les échanges thermiques entre l'eau et la matrice de l'aquifère.

2.1. Limite et maillage du modèle

Le domaine modélisé couvre une superficie de 2 km x 3 km. Les ouvrages de pompage et de réinjection du projet sont placés au centre du modèle. La taille des mailles de 10x10 mètres permet une discrétisation suffisamment fine au niveau du projet.

Les conditions aux limites (potentiels imposés sur les limites amont et aval et flux nul sur les côtés) permettent de reproduire le gradient de la nappe de la craie et le niveau statique moyen au niveau du projet.

Le modèle simplifié mis en œuvre est constitué d'une seule couche de 5 mètres d'épaisseur simulant l'épaisseur productive de l'aquifère crayeux (hypothèse sécuritaire pour le projet).

La nappe de la craie est ici en charge. Le toit de l'aquifère crayeux productif (toit de la couche n°1) est considéré à 51 m de profondeur environ (cf. données disponibles au PzE situé à proximité du captage existant), soit à une cote d'environ +17,5 m NGF (correspondant dans le modèle au sommet de la couche 1). La base de la couche 1 est donc considérée à +12,5 m NGF dans le modèle (5 mètres d'aquifère productif).

2.2. Paramètres hydrodynamiques

- Epaisseur productive de la nappe de la craie : 5 mètres ;
- Transmissivité : $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (soit une perméabilité de $1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$) ;
- Sens d'écoulement de la nappe : de l'Ouest vers l'Est ;
- Gradient moyen d'écoulement : 0,085% ;
- Porosité cinématique : 2,5 % ;
- Coefficient d'emmagasinement : $1,5 \cdot 10^{-3}$.

2.3. Paramètres hydrodispersifs

- Température moyenne initiale de la nappe : $T_0 = 12 \text{ °C}$;
- Conductivité thermique de la craie : 1,5 W/m/deg ;
- Conductivité thermique de l'eau : 0,6 W/m/deg ;
- Chaleur spécifique de la craie : $2 \cdot 10^6 \text{ J/kg/deg}$;
- Chaleur spécifique de l'eau : 4185 J/kg/deg ;
- Dispersivité thermique longitudinale : 20 m ;
- Dispersivité thermique transversale : 2 m ;
- Coefficient de retard : 1,67.

2.4. Les scénarios étudiés

Les deux scénarios étudiés sont les suivants :

- Scénario 1 : fonctionnement aux débits moyens mensuels avec un épisode de pointe de 3 mois en période de chauffage et 3 mois en période de climatisation (fonctionnement aux débits maximaux mensuels de décembre à février pour le chauffage et de juin à août pour la climatisation).
- Scénario 2 : fonctionnement aux débits moyens mensuels toute l'année.

Les paramètres de fonctionnement mensuels des ouvrages pour chaque scénario sont décrits dans le paragraphe suivant.

2.5. Paramètres d'exploitation

Les paramètres mensuels d'exploitation pris en compte pour les 2 scénarios sont présentés dans les tableaux ci-dessous. Les débits mensuels indiqués en gras correspondent aux épisodes de pointe pendant lesquels les forages sont sollicités aux débits maximaux.

Mois	Pompage (m ³ /h)				Réinjection (m ³ /h)			DT (°C)
	FP3	FP2	FP1	TOTAL	FR1	FR2	TOTAL	
Janvier	50	50	100	200	100	100	200	-6
Février	50	50	100	200	100	100	200	-6
Mars	23	23	41	87	43	44	87	-6
Avril	12	12	25	49	24	25	49	-6
Mai	13	13	21	47	23	24	47	10
Juin	50	50	100	200	100	100	200	10
Juillet	50	50	100	200	100	100	200	10
Août	50	50	100	200	100	100	200	10
Septembre	8	8	20	36	18	18	36	10
Octobre	16	16	31	63	31	32	63	-6
Novembre	23	23	41	87	42	45	87	-6
Décembre	50	50	100	200	100	100	200	-6

Tableau 1 : Paramètres d'exploitation pour le scénario 1
(Source : EGEE Développement)

Mois	Pompage (m ³ /h)				Réinjection (m ³ /h)			DT (°C)
	FP3	FP2	FP1	TOTAL	FR1	FR2	TOTAL	
Janvier	34	34	60	128	64	64	128	-6
Février	30	30	56	116	58	58	116	-6
Mars	23	23	41	87	43	44	87	-6
Avril	12	12	25	49	24	25	49	-6
Mai	13	13	21	47	23	24	47	10
Juin	20	20	39	79	39	40	79	10
Juillet	27	27	51	105	52	53	105	10
Août	34	34	60	128	64	64	128	10
Septembre	8	8	20	36	18	18	36	10
Octobre	15	15	33	63	31	32	63	-6
Novembre	23	23	41	87	43	44	87	-6
Décembre	34	34	61	129	64	65	129	-6

Tableau 2 : Paramètres d'exploitation pour le scénario 2
(Source : EGEE Développement)

3. LES SIMULATIONS HYDROTHERMIQUES

3.1. Principe des simulations

Les simulations ont été réalisées en régime transitoire. L'exploitation est modélisée sur 10 ans de fonctionnement (durée permettant d'atteindre un régime quasi-stabilisé aux forages de captage), en supposant des pompages/rejets aux débits mensuels en continu.

Le fonctionnement en chaud/froid du projet est intégré au modèle afin de quantifier l'évolution de température au niveau des forages de captage susceptible d'être provoquée par le recyclage d'une partie des eaux réinjectée aux puits de rejet.

Sur le plan thermique, les simulations sont réalisées de manière itérative. Un scénario initial consistant à rejeter une eau à 22 °C (eau captée à 12 °C, réchauffée avec un Δt de 10 °C) en période de climatisation et une eau à 6°C (refroidie avec un Δt de 6°C) en période de chauffage permet un premier calcul, pour chaque pas de temps, de la température des eaux pompées. Des itérations successives sont réalisées en rectifiant à chaque fois la température de l'eau rejetée (température de l'eau pompée correspondant à la moyenne pondérée des eaux pompées à chaque captage pour chaque pas de temps à l'itération précédente, augmentée de 10°C ou abaissée de 6 °C selon le cycle chaud / froid), jusqu'à stabilisation des températures calculées.

D'un point de vue hydraulique et thermique, seul le fonctionnement du multiplet du projet est intégré au modèle.

3.2. Résultats des simulations – scénario 1

Les eaux pompées par les captages ont tendance à se réchauffer par rapport à l'état naturel de la nappe (12°C) en raison d'un écart de température plus important en période de climatisation (+10°C) qu'en période de chauffage (-6°C) pour un débit du même ordre de grandeur (cf. Figure 2).

Dans le cas du scénario 1 (scénario avec épisodes de pointe), l'impact calculé sur la température des eaux pompées au bout de 10 ans de fonctionnement de l'installation est d'environ +1,35°C au niveau du forage FP3, de +0,6°C au niveau du forage FP1 et de +0,2°C au niveau du forage FP2.

Au prorata des débits mensuels des captages, la température moyenne de l'eau pompée en entrée d'installation aura augmenté d'environ 0,7°C (cf. courbe verte en Figure 2).

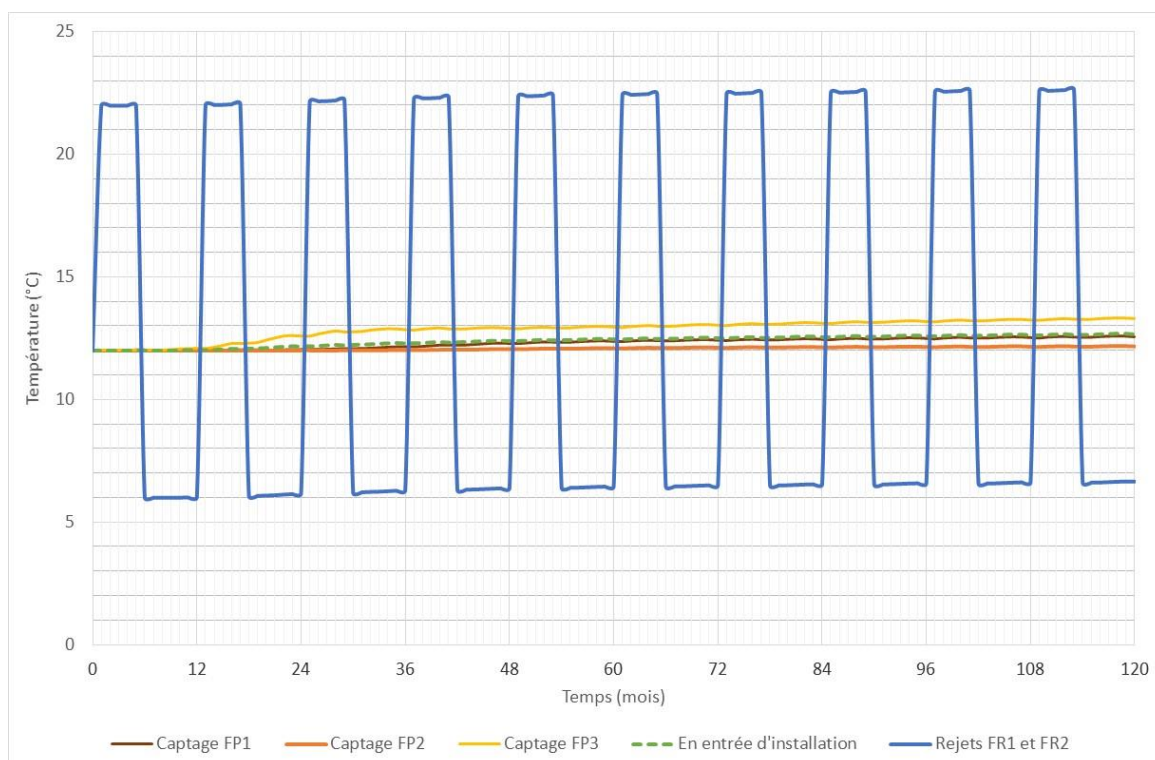


Figure 2 : Evolution des températures pompées et rejetées (scénario 1) sur 10 années de fonctionnement (de mai à avril)

Le panache thermique calculé par le modèle au bout de 10 années de fonctionnement de l'installation en fin de cycle de climatisation dans le cas du scénario 1 est présenté en Figure 3. Rappelons que compte tenu des objectifs, seul le fonctionnement hydraulique et thermique du projet est pris en compte dans le modèle. La quantification de l'impact thermique du projet ne porte que sur le voisinage immédiat du multiplet.

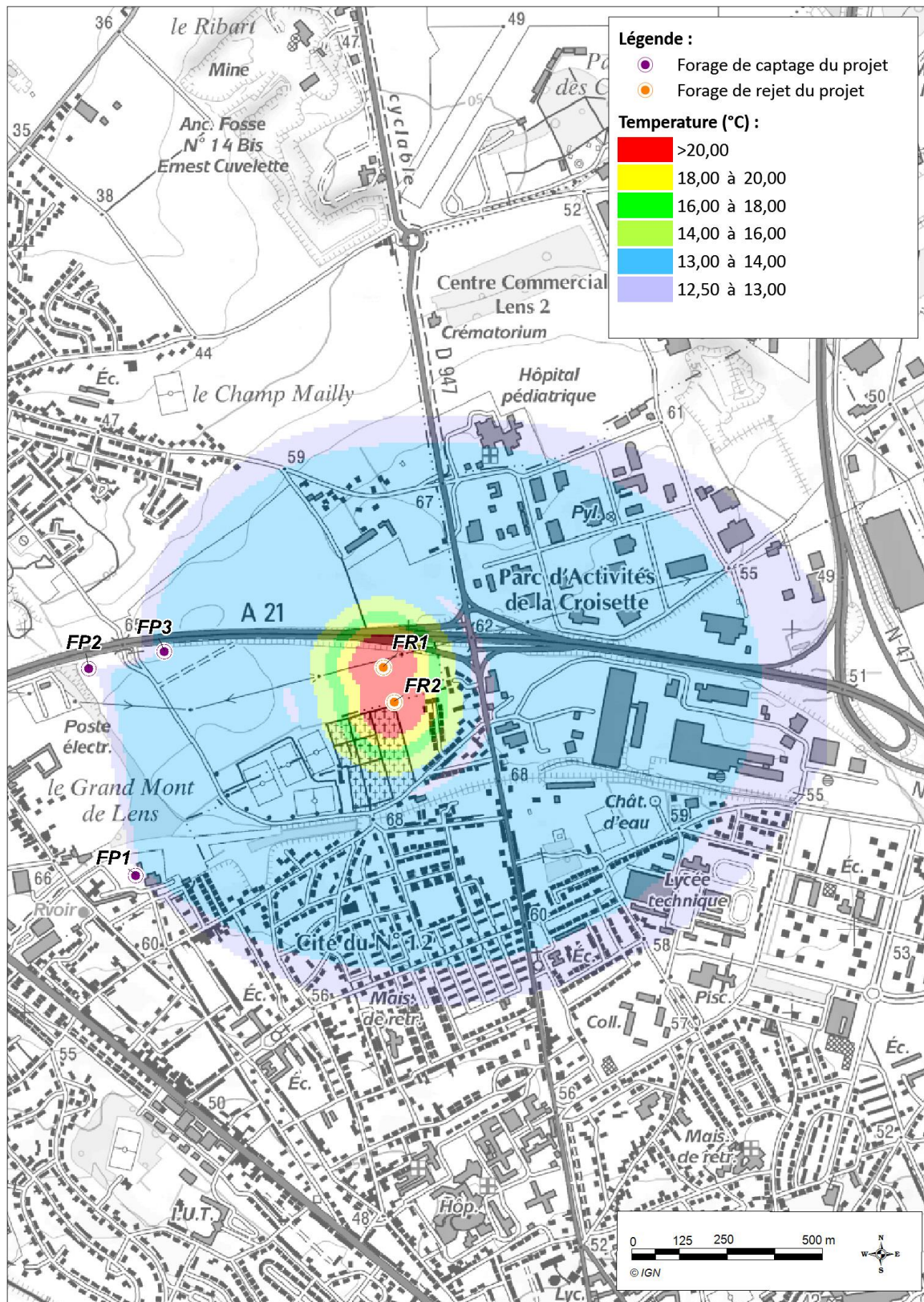


Figure 3 : Panache thermique calculé au bout de 10 années de fonctionnement en fin de cycle de climatisation (scénario 1)

3.3. Résultats des simulations – scénario 2

Dans le cas du scénario 2 (scénario moyen d'exploitation), les résultats des simulations montrent un impact nettement plus modéré sur la température des eaux des captages (cf. Figure 4) :

- L'impact calculé est au maximum de $+0,3^{\circ}\text{C}$ au niveau de FP3 et de $+0,1^{\circ}\text{C}$ au niveau de FP1 au bout de 3 à 4 ans d'exploitation (avant l'atteinte du régime pseudo-stabilisé). Au bout de 10 ans de fonctionnement de l'installation (régime pseudo-stabilisé atteint), l'impact calculé est inférieur à $+0,1^{\circ}\text{C}$ au niveau de ces deux forages.
- L'impact calculé est largement inférieur à $+0,1^{\circ}\text{C}$ au niveau de FP2 tout au long des 10 années d'exploitation simulées.

Au prorata des débits mensuels des captages, la température moyenne de l'eau pompée en entrée d'installation aura augmenté de moins de $0,1^{\circ}\text{C}$ (cf. courbe verte en Figure 4).

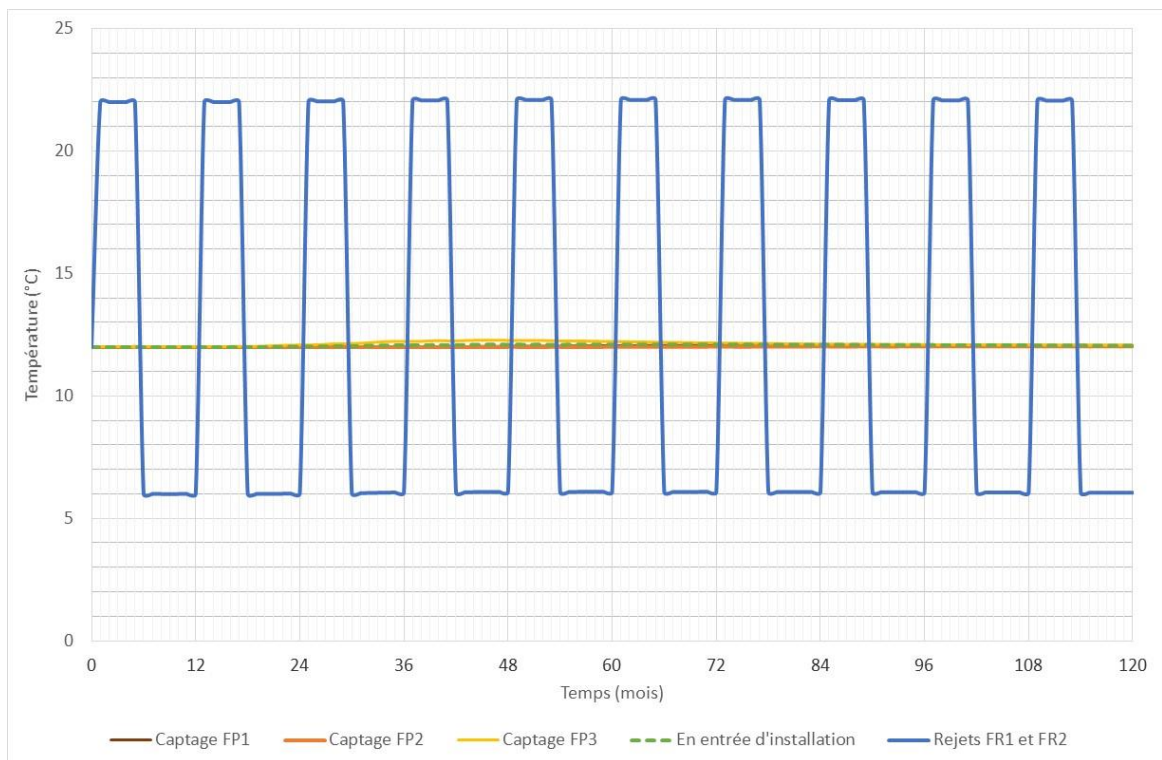


Figure 4 : Evolution des températures pompées et rejetées (scénario 2) sur 10 années de fonctionnement (de mai à avril)

Le panache thermique calculé au bout de 10 années de fonctionnement de l'installation en fin de cycle de climatisation (scénario 2) est présenté en Figure 5.

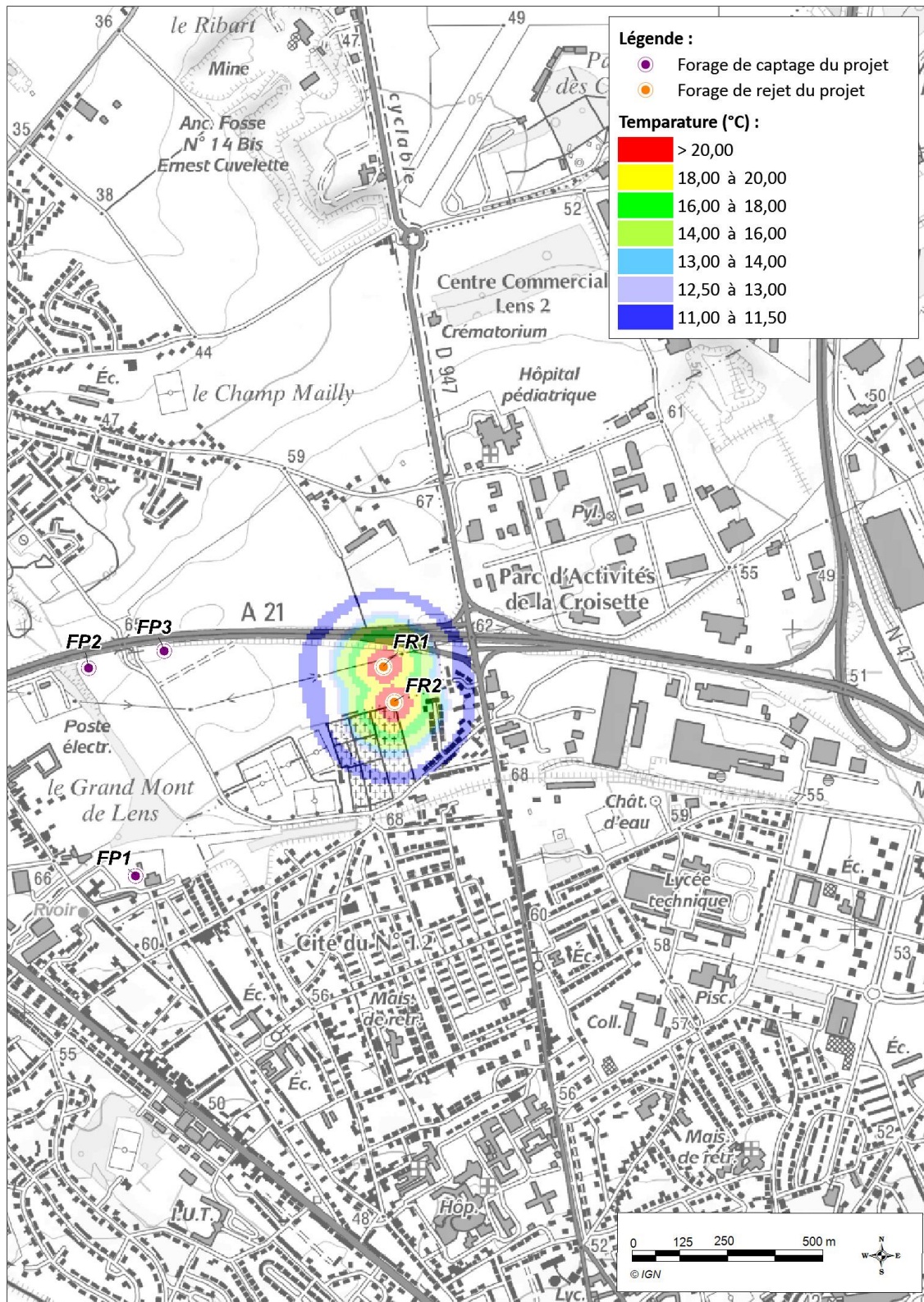


Figure 5 : Panache thermique calculé au bout de 10 années de fonctionnement en fin de cycle de climatisation (scénario 2)