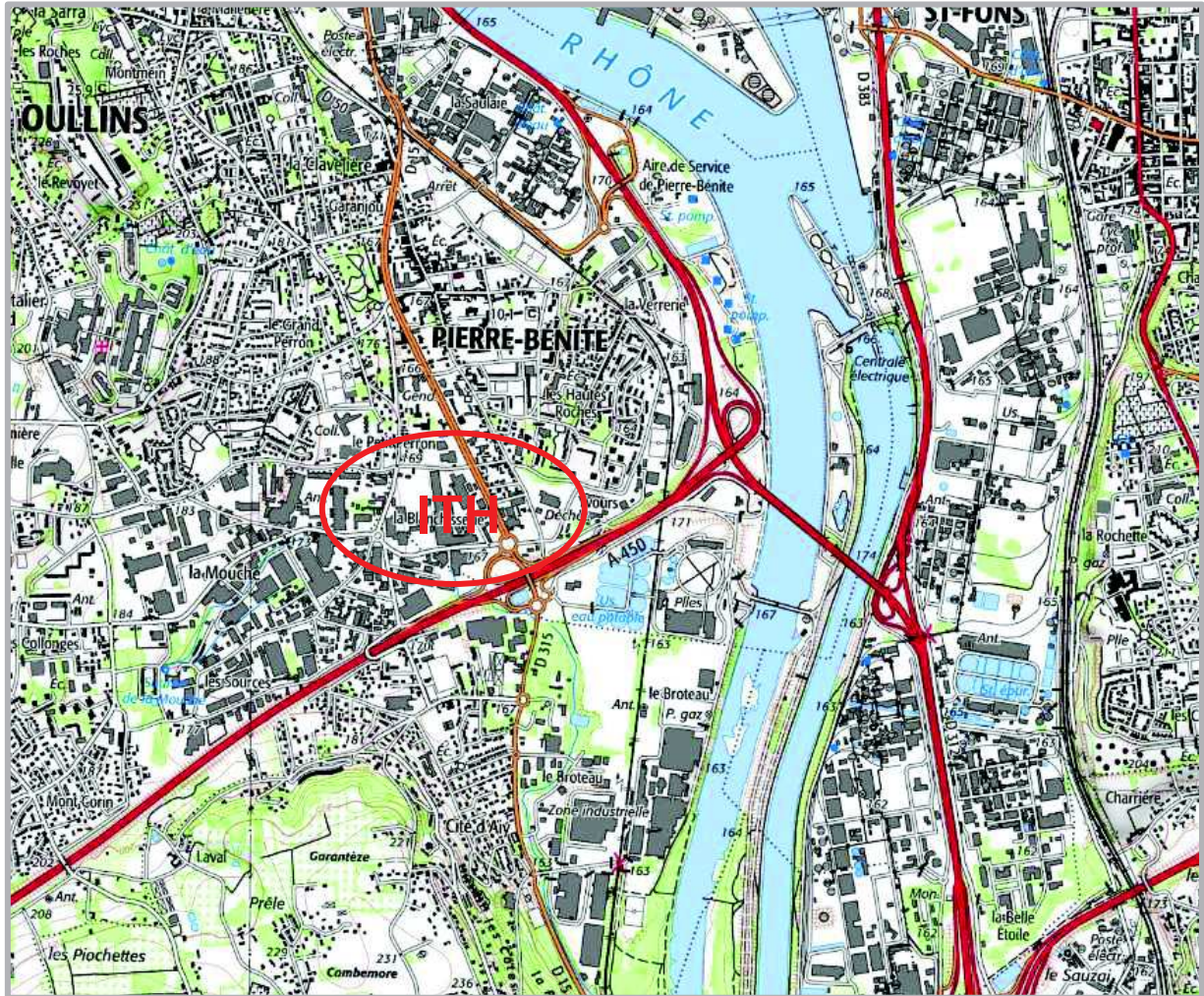


## ANNEXE N°2 PLAN DE SITUATION

1 page

## PLAN DE SITUATION DU SITE



Source : Géoportail

### ANNEXE N°3 PHOTOGRAPHIES

4 pages

## PHOTO DU TERRAIN





Prise de Vue n°1



Prise de Vue n°2



Prise de Vue n°3



Prise de Vue n°4



## Prise de Vue n°5



ANNEXE N°4 PLAN DU PROJET
---------------------------

1 plan (1 page)

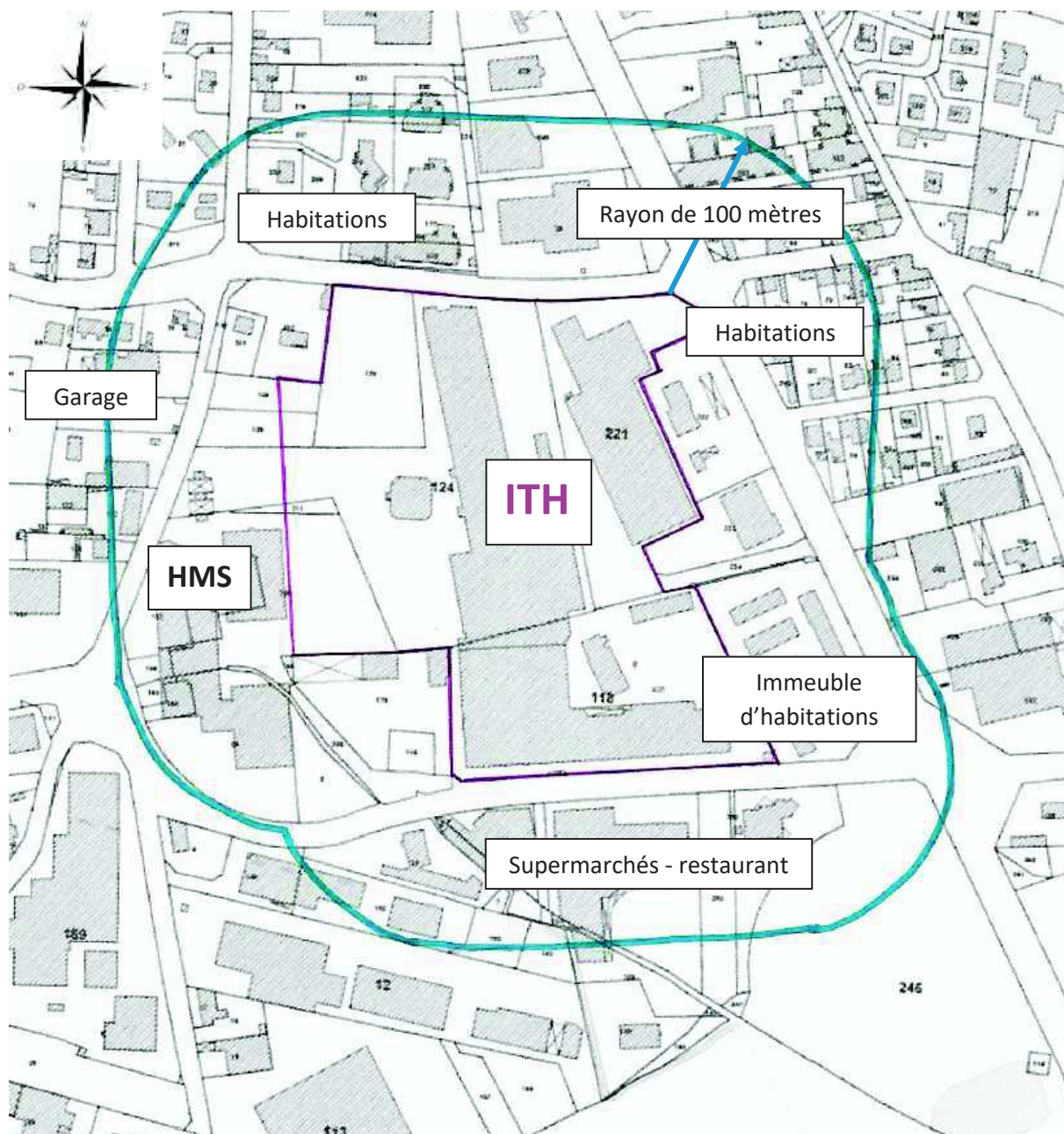


[illegible]

**ANNEXE N°5 PLAN DES ABORDS**

1 plan (1 page)

## PLAN DES ABORDS

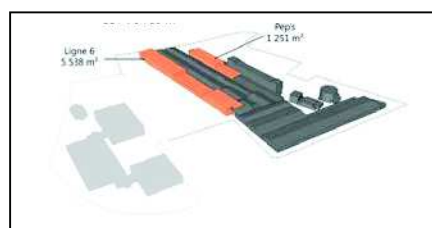


**ANNEXE N°7 PLAN DU SITE PRESENTANT TOUTES LES ACTIVITES, NATURE DES  
TRAVAUX**

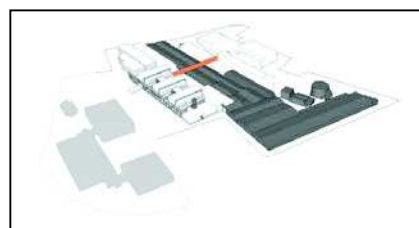
1 page (1 plan)



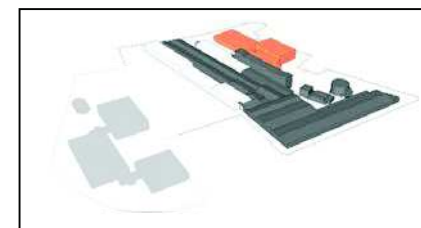
## SITE DE PIERRE BENITE



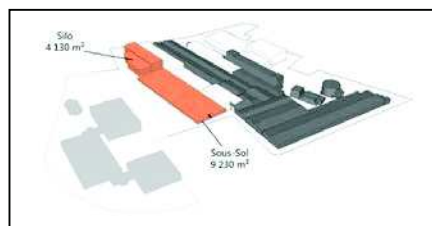
Agrandissement des **ATELIERS AS**  
(lignes de production)



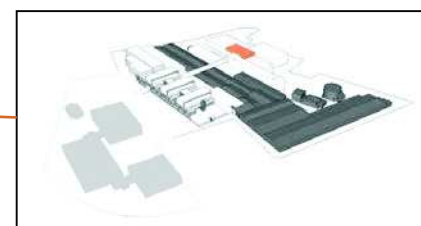
Création d'une passerelle de liaison aérienne



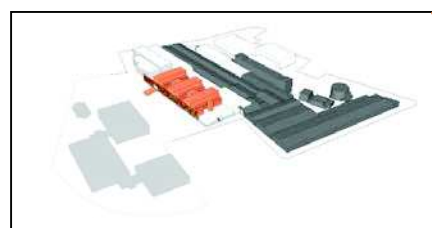
Démolition et reconstruction d'un Espace Logistique



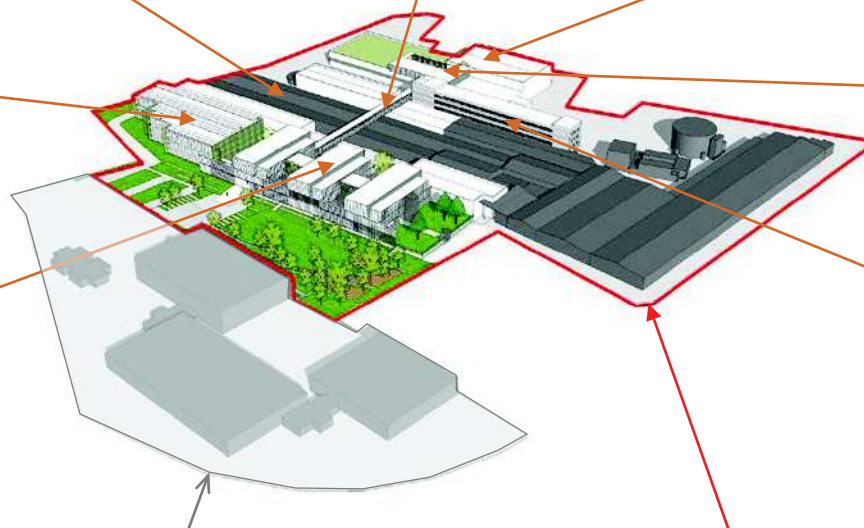
Création d'un parking (sous-sol + silo)



Création d'un restaurant d'entreprise

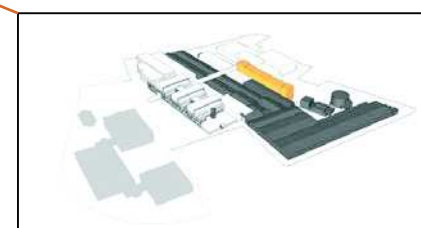


Création du Siège de **HTH** (bureaux)



Emprise Hermès Sellier (HMS)  
Site de la maroquinerie  
Non concerné par les travaux

Projet Passerelles  
Maître d'ouvrage : ITH

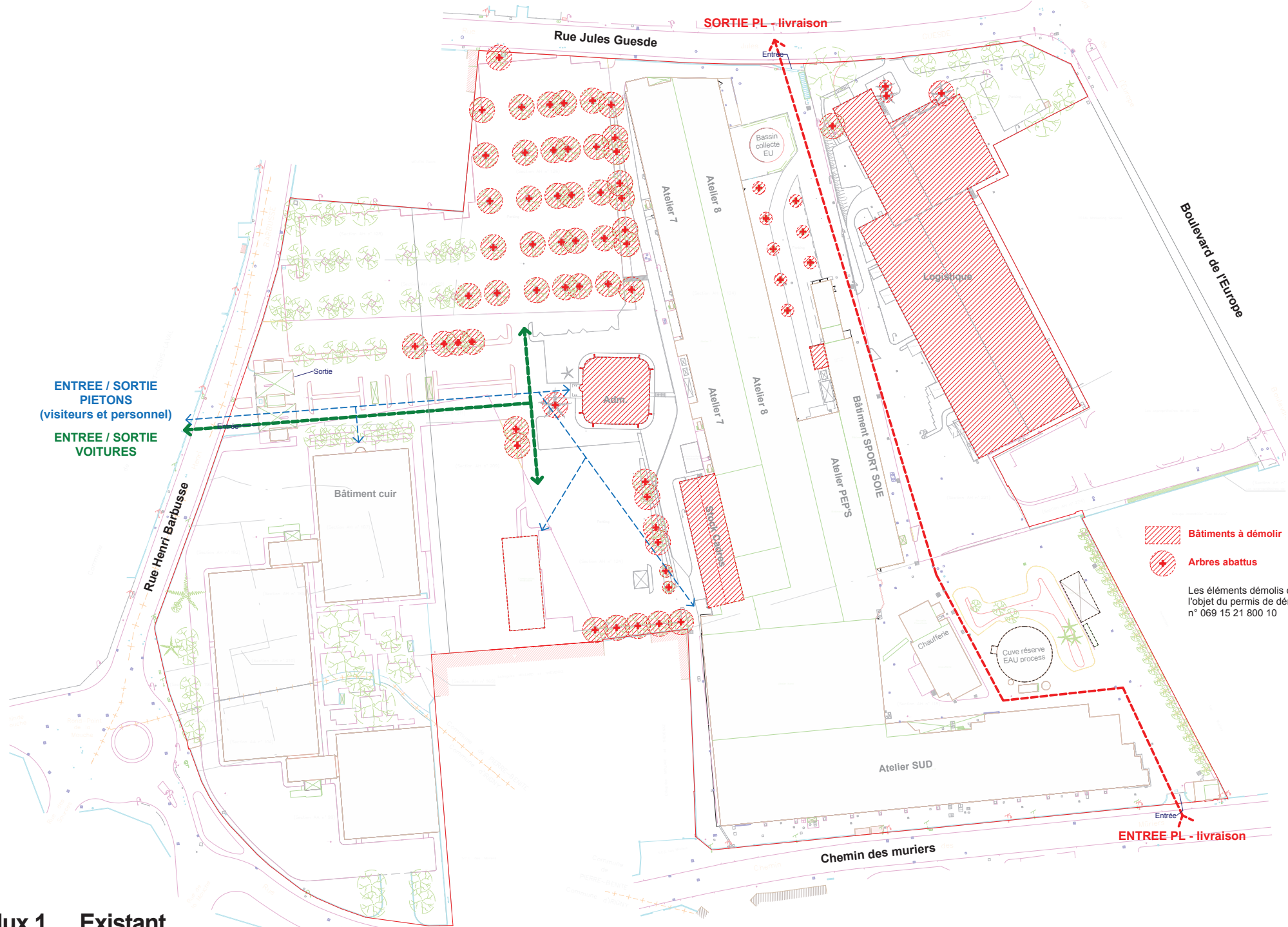


Réhabilitation du bâtiment « Sport-Soie »

PC	 Restructuration du Site HTH à Pierre-Bénite	<b>Maître d'ouvrage :</b> <b>ITH</b> 16 rue Louis Braille ZAC de la Maladière 38300 BOURGOIN-JALLIEU	<b>Maître d'œuvre :</b>  3, rue Jangot - Lyon 69007 - France T. 04 78 28 51 30 <a href="http://www.unanime.fr">www.unanime.fr</a>	Présentation du projet Nature des travaux prévus par zone Màj : 29/06/2018	<b>PRES 01</b> indice : A
----	---	--	--	--	------------------------------

**ANNEXE N°8 PLAN DES FLUX DE CIRCULATION ACTUELS, PENDANT LES TRAVAUX  
ET FUTURS**

3 pages (3 plans)



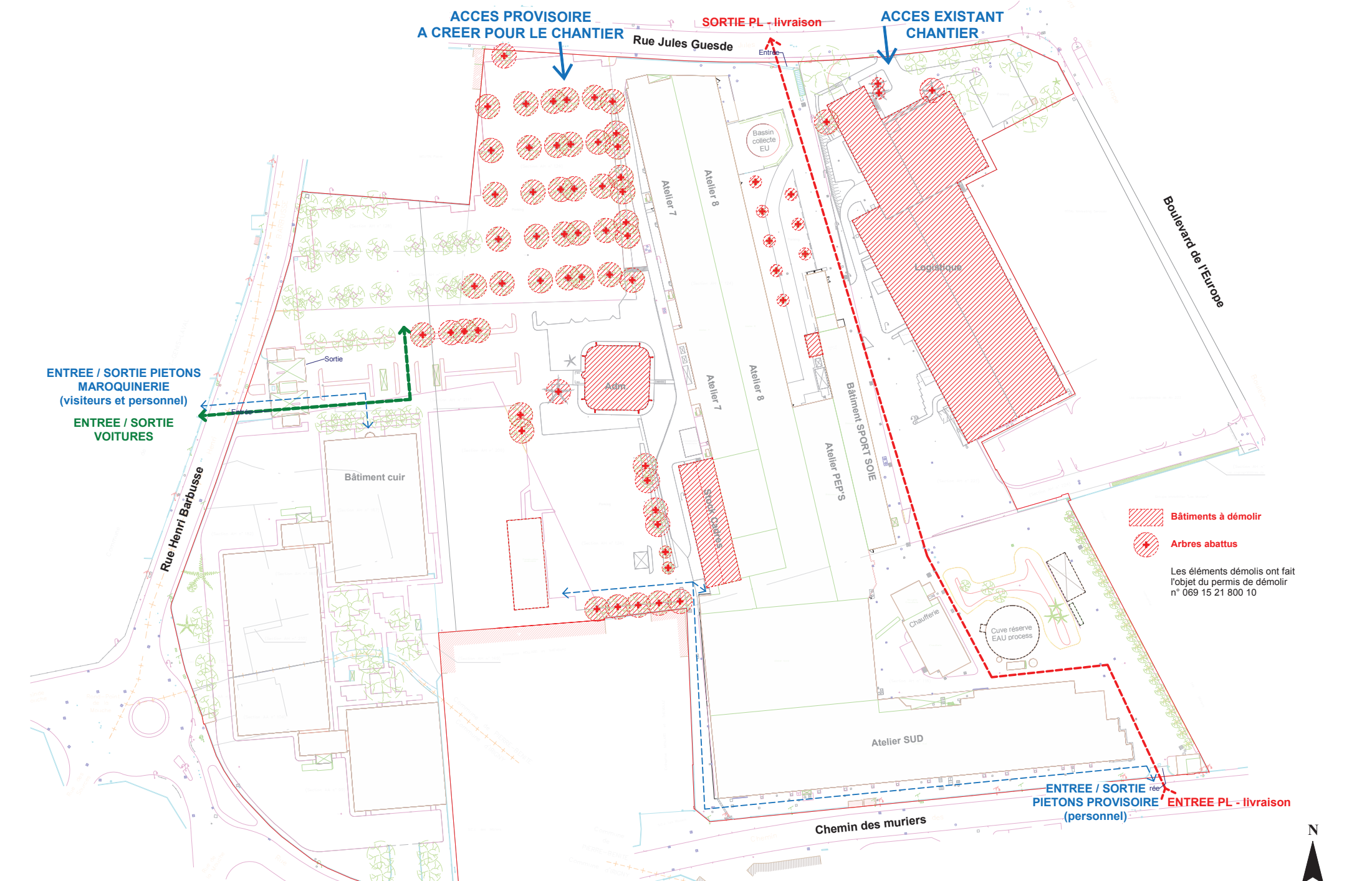
- Bâtiments à démolir
- Arbres abattus

Les éléments démolis ont fait l'objet du permis de démolir n° 069 15 21 800 10



**Flux 1 Existant**

16-045	Travaux de restructuration et de construction du site Hermès de Pierre-Bénite	25-06-2018	Maître d'ouvrage: ITH	3, rue Jangot 69007 LYON, FRANCE T: 04 78 28 51 30 F: 04 72 10 00 39 unanime@unanime.fr www.unanime.fr	
PC	135 rue Henri Barbusse - 69310 Pierre-Bénite	Echelle: 1 : 1200			



**Flux 2 Chantier Provisoire**

16-045	Travaux de restructuration et de construction du site Hermès de Pierre-Bénite	25-06-2018	Maître d'ouvrage: ITH	3, rue Jangot 69007 LYON, FRANCE T: 04 78 28 51 30 F: 04 72 10 00 39 unanime@unanime.fr www.unanime.fr	
PC	135 rue Henri Barbusse - 69310 Pierre-Bénite	Echelle: <b>1 : 1200</b>			





# Flux 3    Projet

16-045	Travaux de restructuration et de construction du site Hermès de Pierre-Bénite	25-06-2018	Maître d'ouvrage: ITH	3, rue Jangot 69007 LYON, FRANCE T: 04 78 28 51 30 F: 04 72 10 00 39 unanime@unanime.fr www.unanime.fr	<b>unanime</b> architectes
PC	135 rue Henri Barbusse - 69310 Pierre-Bénite	Echelle: <b>1 : 1200</b>			

**ANNEXE N°9 PLAN DE REPARTITION DES SURFACES DEMOLIES, CONSTRUITES  
AVEC HAUTEUR ET ESPACES VERTS**

2 pages (2 plans)

**Hypothèse parcelles modifiées**  
Surface nouveau ténement : 55 037 m<sup>2</sup>

**CES autorisé 60% : 33 022 m<sup>2</sup>**

**CES Projet (Existant conservé +  
Bâtiments construits) : 31 556 m<sup>2</sup>**

## EMPRISE DES BATIMENTS

### 1-Existant - conservé

Atelier AS	13976.10 m <sup>2</sup>
Bassin EU	112.06 m <sup>2</sup>
Chaudière	497.05 m <sup>2</sup>
Cuve réserve 1	300.96 m <sup>2</sup>
Cuve réserve 2	17.85 m <sup>2</sup>
LT	57.79 m <sup>2</sup>
LT	152.34 m <sup>2</sup>
Sport Soie	826.33 m <sup>2</sup>

1-Existant - conservé 15940.47 m<sup>2</sup>

### 2-Existant - démolition

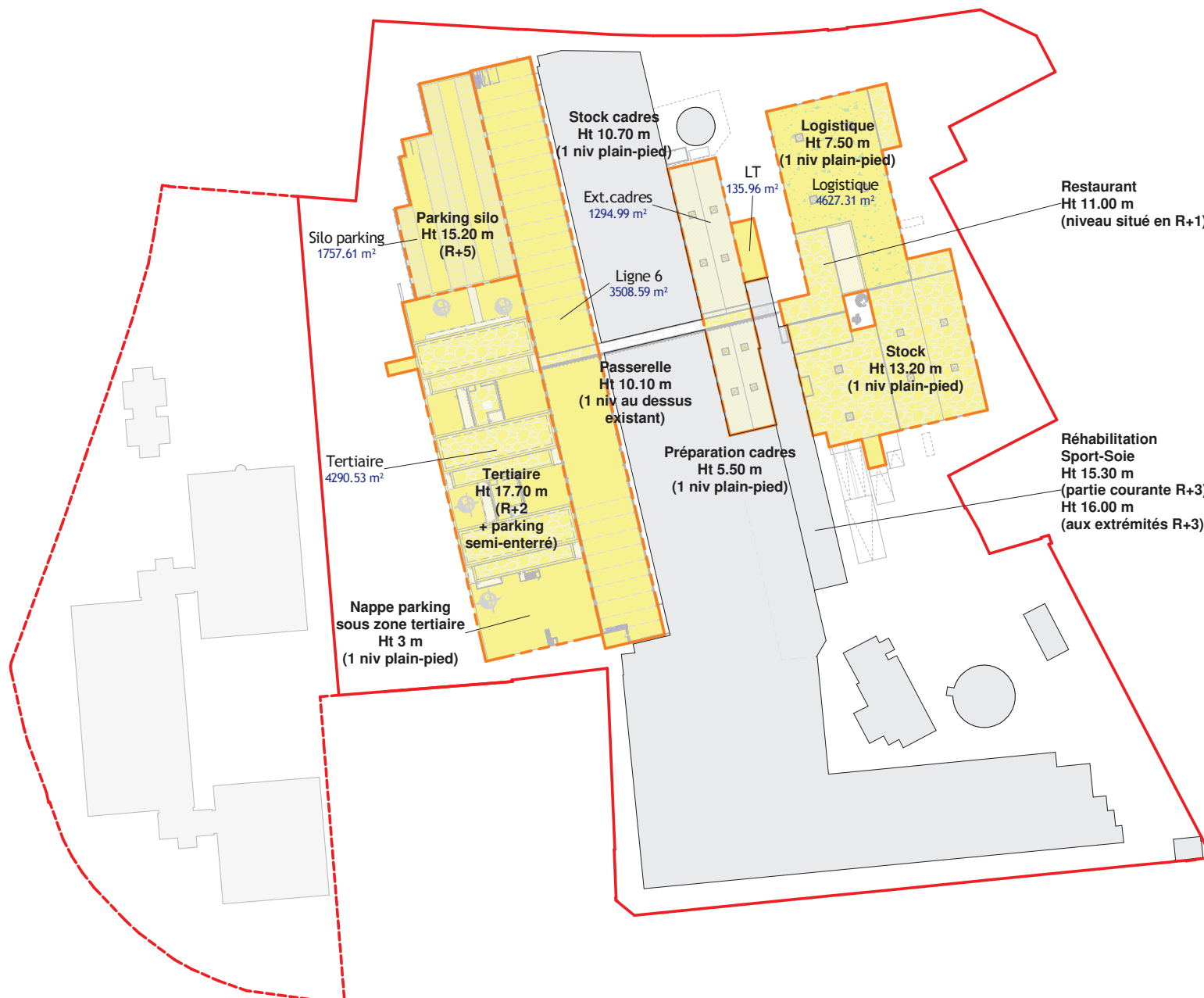
Bâtiment rouge	525.51 m <sup>2</sup>
CERP	4963.90 m <sup>2</sup>
Kardex	37.69 m <sup>2</sup>
Modulaire	396.02 m <sup>2</sup>
Portakabin	59.63 m <sup>2</sup>
Stockage cadres	581.52 m <sup>2</sup>

2-Existant - démolition 6564.27 m<sup>2</sup>

### 3-Bâtiments construits

Ext.cadres	1294.99 m <sup>2</sup>
Ligne 6	3508.59 m <sup>2</sup>
Logistique	4627.31 m <sup>2</sup>
LT	135.96 m <sup>2</sup>
Silo parking	1757.61 m <sup>2</sup>
Tertiaire	4290.53 m <sup>2</sup>

3-Bâtiments construits 15614.99 m<sup>2</sup>



## EMPRISE Bâtiments CONSTRUITS + ALTIMETRIE

16-045	Projet PASSERELLE	25-06-2018	ANNEXE 9	Maître d'ouvrage: ITH	3, rue Jangot 69007 LYON, FRANCE T: 04 78 28 51 30 F: 04 72 10 00 39 unanime@unanime.fr www.unanime.fr
	135 rue Henri Barbusse - 69310 Pierre-Bénite	Echelle: 1 : 1300			

PARCELLES  
SCI BOISSY  
LES MURIERS SUD  
Surface totale : 18 275 m<sup>2</sup>

ESPACES VERTS EXISTANTS  
CONSERVES

(Calculs d'après plan géomètre)  
**Total 4 183 m<sup>2</sup>**

PLU : 10% mini. Espaces verts,  
soit 1 827 m<sup>2</sup>  
PLUh : 15% mini. Espaces verts,  
soit 2 741 m<sup>2</sup>



PARCELLES PC  
Surface totale : 55 037 m<sup>2</sup>

ESPACES VERTS EXISTANTS  
CONSERVES

(Calculs d'après plan géomètre)  
**Total 976 m<sup>2</sup>**

ESPACES VERTS  
CREES (1 à 7)

**Total 8 364 m<sup>2</sup>**

PLU : 10% mini. Espaces verts, soit 5 504 m<sup>2</sup>  
PLUh : 15% mini. Espaces verts, soit 8 256 m<sup>2</sup>

TOTAL ESPACES VERTS  
Créés + Existants conservés

**9 340 m<sup>2</sup>**

Espaces verts créés

Espace vert 1	3834 m <sup>2</sup>
Espace vert 2	909 m <sup>2</sup>
Espace vert 3	603 m <sup>2</sup>
Espace vert 4	1863 m <sup>2</sup>
Espace vert 5	368 m <sup>2</sup>
Espace vert 6	241 m <sup>2</sup>
Espace vert 7	548 m <sup>2</sup>
Total général	8365 m <sup>2</sup>

**S07 ESPACES VERTS Modification parcelles**

16-045	Travaux de restructuration et de construction du site Hermès de Pierre-Bénite	19-06-2018	Maître d'ouvrage: ITH	3, rue Jangot 69007 LYON, FRANCE T: 04 78 28 51 30 F: 04 72 10 00 39 unanime@unanime.fr www.unanime.fr	
PC	135 rue Henri Barbusse - 69310 Pierre-Bénite	Echelle: <b>1 : 1300</b>			



<b>ANNEXE N°10 ETUDE DE FAISABILITE GEOTHERMIQUE</b>
--

56 pages

A noter, l'étude de faisabilité rédigée par STRATEGEO utilise la terminologie « site Blanchisserie » qui correspond bien au site ITH décrit dans le reste des documents et sur les plans notamment. Malgré une appellation différente, le site étudié est bien celui de l'emprise ITH.



**STRATEGEO**  
STRATEGIE ET GESTION DE L'EAU

## **Immobilière Textile Honoré**

Etude de Faisabilité Géothermique

Restructuration du site industriel de « la Blanchisserie »

Pierre Bénite (69)

**Rapport n°A18081 V1 – 05/06/2018**

**StratéGéo Conseil SAS**

22, rue des Carriers Italiens - 91 350 GRIGNY

Tél : 01 75 30 25 20 - Fax : 01 69 06 08 64

Capital social de 10 000 € - RCS EVRY 823 253 885

SIRET : 823 253 885 00011 - APE : 7112 B - N°TVA intracom. : FR47 823 253 885

<p align="center"><b>Immobilière Textile Honoré</b></p> <p align="center">Restructuration du site industriel de « la Blanchisserie »</p> <p align="center">Pierre Bénite (69)</p> <p align="center">Dossier n° 18081 - Etude de Faisabilité Géothermique</p>									
N° d'affaire	Date	Chargé d'affaire	Visa	Contrôlé par	Visa	Validé par	Visa	Contenu	Version
18081	05/06/2018	J. LUCHIER		C. MALEUVRE		JL. LACROIX		56 pages	V1

**Conditions contractuelles :**

- *Le présent rapport et ses annexes constituent un tout indissociable. La mauvaise utilisation qui pourrait être faite suite à une communication ou reproduction partielle ne saurait engager StratéGéO Conseil.*
- *Les résultats du rapport sont valides pour une définition d'ouvrage, un site et une zone d'influence hydrogéologique spécifique définis au moment de notre prestation.*
- *A compter du paiement intégral de la mission, le client devient libre d'utiliser le contenu du rapport et de le diffuser dans la limite des conditions contractuelles du contrat.*

## SOMMAIRE

<b>1 GENERALITES .....</b>	<b>7</b>
<b>2 PRESENTATION DU PROJET .....</b>	<b>9</b>
2.1 DESCRIPTION DU PROJET .....	9
2.2 PLANS ARCHITECTURAUX .....	10
2.3 BESOINS ENERGETIQUES.....	11
<b>3 CONTEXTE GEOLOGIQUE .....</b>	<b>14</b>
3.1 CONTEXTE GEOLOGIQUE GENERAL .....	14
3.2 SUCCESSION LITHOLOGIQUE AU DROIT DU PROJET.....	15
<b>4 CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE .....</b>	<b>16</b>
4.1 RESEAU HYDROLOGIQUE.....	16
4.2 NAPPES EN PRESENCE .....	16
4.3 PIEZOMETRIE ET SENS D'ÉCOULEMENT DE LA NAPPE.....	17
4.4 PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES ET PRODUCTIVITE.....	18
4.4.1 Paramètres hydrodynamiques .....	18
4.4.2 Productivité.....	19
4.5 QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE GENERALE DE LA NAPPE.....	20
<b>5 CONTEXTE REGLEMENTAIRE ET ADMINISTRATIF .....</b>	<b>22</b>
5.1 LE CODE CIVIL.....	22
5.2 LE CODE MINIER.....	22
5.3 LE CODE DE L'ENVIRONNEMENT.....	24
5.4 LES PERIMETRES DE PROTECTION.....	24
5.5 LE SCHEMA DIRECTEUR D'AMENAGEMENT ET DE GESTION DES EAUX (SDAGE) .....	24
5.6 SCHEMA D'AMENAGEMENT ET DE GESTION DES EAUX (SAGE).....	25
5.7 LES ZONES NATURELLES .....	25
5.8 PLAN DE PREVENTION DES RISQUES NATURELS .....	25
5.8.1 Le Plan de Prévention des Risques d'Inondation .....	25
5.8.2 Le Plan de Prévention des risques Technologiques .....	26
5.9 SITE BASOL .....	26
<b>6 PRINCIPE DE DIMENSIONNEMENT D'UN DISPOSITIF DE GEOTHERMIE SUR NAPPE .....</b>	<b>27</b>
6.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT.....	27
6.2 DEFINITION DE LA FAISABILITE D'UN DISPOSITIF DE GEOTHERMIE SUR NAPPE .....	27
6.3 FONCTIONNEMENT DU TRIPLET GEOTHERMIQUE SUR NAPPE .....	28
6.3.1 Paramètres d'appréciation technique.....	28
6.3.2 Définition de la géométrie du triplet géothermique.....	28

6.4	EXPLOITATION VOISINE.....	29
6.5	PUITS DE POMPAGE DES ATELIERS AS.....	29
6.6	CONSTRUCTION DU MODELE.....	31
6.6.1	Structure du modèle .....	31
6.6.2	Paramétrage et calage hydrodynamique et thermique du modèle .....	32
6.7	RESULTATS DES MODELISATIONS.....	33
6.8	IMPACT DU PROJET SUR SON ENVIRONNEMENT .....	36
6.9	POSSIBILITE D'IMPLANTER LES FORAGES SUR SITE.....	37
6.10	FACTEUR D'INJECTIVITE DE LA NAPPE.....	37
6.11	PRE-CONCLUSION SUR LA FAISABILITE DE LA GEOTHERMIE SUR NAPPE .....	38
6.12	CONTRAINTES DE MISE EN ŒUVRE ET D'EXPLOITATION D'UN TRIPLET SUR NAPPE.....	39
6.12.1	Réinjection de l'eau pompée dans la même nappe .....	39
6.12.2	Régulation de l'exploitation .....	40
6.12.3	Maintenance de l'installation .....	41
<b>7</b>	<b>DESCRIPTION DE L'INSTALLATION GEOTHERMIQUE SUR NAPPE .....</b>	<b>42</b>
7.1	PROPOSITION D'IMPLANTATION DES FORAGES .....	42
7.2	CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION A REALISER .....	43
7.2.1	Caractéristiques des forages.....	43
7.2.2	Caractéristiques techniques de la boucle géothermale .....	44
<b>8</b>	<b>ASSURANCE ET SUBVENTIONS.....</b>	<b>46</b>
8.1	ASSURANCES EN TERMES DE GEOTHERMIE .....	46
8.2	SUBVENTION DE L'ADEME .....	46
<b>9</b>	<b>EVALUATION DE L'ENVELOPPE BUDGETAIRE D'INVESTISSEMENT.....</b>	<b>48</b>
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>49</b>
<b>ANNEXE 1 : CLASSES D'ALTERATION ET VALEURS SEUIL DU SEQ RELATIF A L'USAGE ENERGIE .....</b>		<b>53</b>
<b>ANNEXE 2 : COUPE GEOLOGIQUE ET TECHNIQUE PREVISIONNELLE DES FORAGES A REALISER .....</b>		<b>56</b>



## Table des illustrations

(1) Localisation du projet sur fond IGN .....	7
(2) Localisation sur fond orthophotographique .....	8
(3) Plan de Masse du projet (HTH) .....	10
(4) Estimation des besoins énergétiques en chauffage .....	11
(5) Estimation des besoins énergétiques en refroidissement .....	11
(6) Exemple de courbe monotone avec couverture géothermique .....	13
(7) Scénario de couverture des besoins énergétiques (Hypothèse de CETRALP) .....	13
(8) Localisation du site sur fond de carte géologique (BRGM) .....	14
(9) Succession lithologique attendue au droit du site .....	15
(10) Réseau hydrographique à proximité du projet (Géoportail) .....	16
(11) Esquisse piézométrique de la nappe au droit du site en octobre 2008 (BURGEAP) .....	17
(12) Synthèse des caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère du Würmien dans le secteur .....	18
(13) Localisation des ouvrages étudiés .....	18
(14) Estimation de la productivité et l'injectivité de la nappe au droit du site .....	19
(15) Définition des classes d'indice de qualité du SEQ eaux souterraines pour l'usage énergie .....	20
(16) Synthèse des paramètres chimiques de la nappe du Würmien .....	20
(17) Extrait de la cartographie de la GMI – Boucle ouverte .....	23
(18) Extrait de la carte du PPRI du Grand Lyon .....	26
(19) Schéma du principe de la géothermie sur aquifère (BRGM, 2012) .....	27
(20) Localisation du stade d'Irigny par rapport au projet .....	29
(21) Localisation du puits de pompage .....	30
(22) Maillage du modèle réalisé sous logiciel FEFLOW .....	31
(23) Succession lithologiques modélisée par couches .....	31
(24) Tableau de répartition des paramètres hydrothermiques des couches géologiques .....	32
(25) Calage piézométrique du modèle numérique FEFLOW .....	33
(26) Scénario de couverture énergétique .....	33
(27) Evolution de la température au droit des forages d'injection (bleu) et de production (noir) .....	34
(28) Extension du panache thermique après 30 ans d'exploitation – fin de la période de rafraichissement	34
(29) Extension du panache thermique après 30 ans d'exploitation – fin de la période de chauffage ...	35
(30) Extension du panache thermique après 30 ans d'exploitation sur le plan du projet – fin de la période de rafraichissement .....	35
(31) Extension du panache thermique après 30 ans d'exploitation sur le plan du projet – fin de la période de chauffage .....	36
(32) Schéma de principe de colmatage de pores d'un aquifère par précipitation (BRGM) .....	38
(33) Résultats de la simulation hydrodynamique .....	39
(34) Proposition de positionnement des forages géothermiques (écartement de 110 m) .....	42

(35) Exemple d'un schéma de boucle géothermale avec limite du lot géothermie avant l'échangeur à plaques .....	44
(36) Exemple d'un regard de forage de pompage géothermique .....	45
(37) Exemple d'équipement en local PAC pour la géothermie .....	45
(38) Critères d'éligibilité pour l'année 2018 .....	46
(39) Montant d'aide indicatif proposé par l'ADEME selon la solution envisagée .....	47
(40) Evaluation des coûts d'investissement pour la solution proposée .....	48
(41) Conclusion : Estimation des besoins énergétiques.....	49
(42) Conclusion : Scenario de couverture énergétique .....	49
(43) Evaluation des coûts d'investissement pour les solutions proposées .....	51



## 1 Généralités

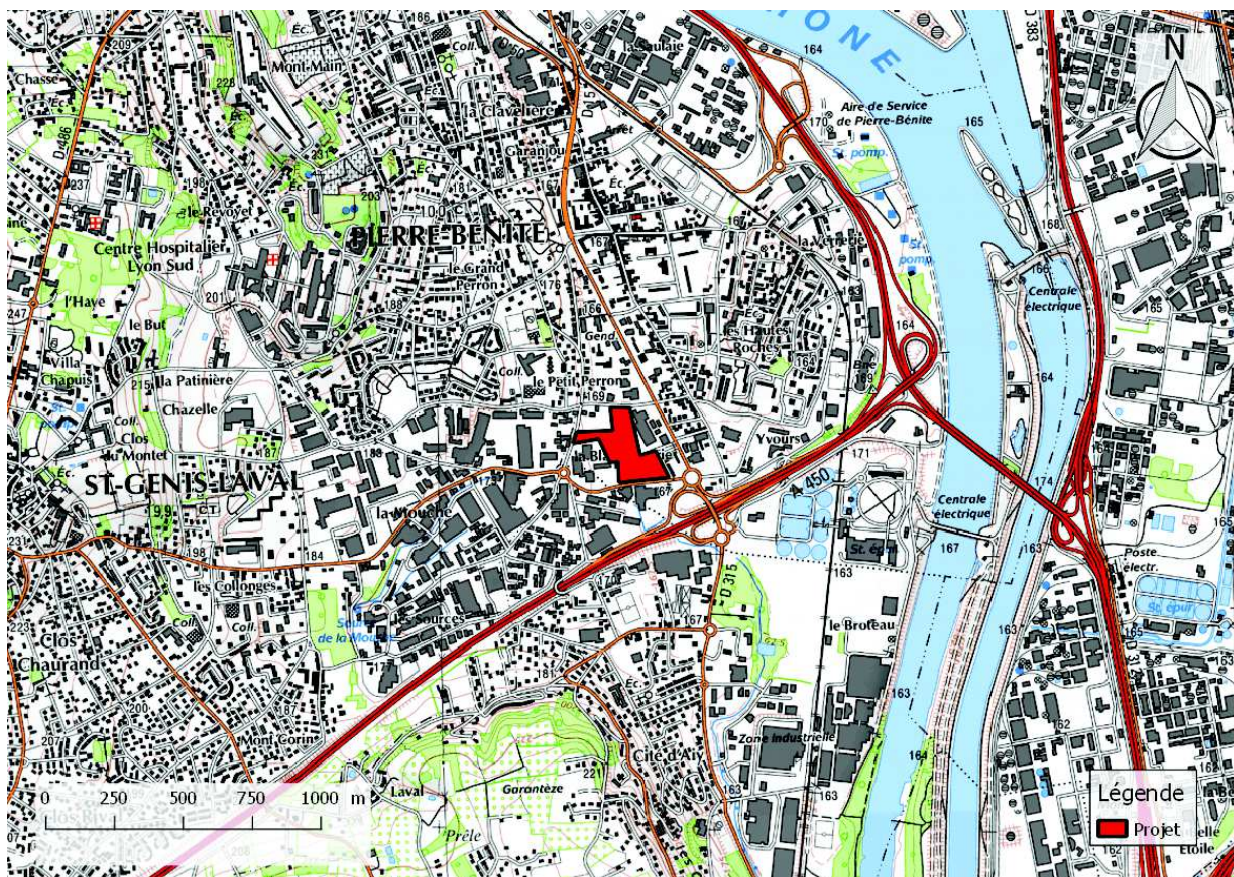
**Client** : Immobilière Textile Honoré

**Projet** : Restructuration du site industriel de « la Blanchisserie » - Etude de Faisabilité Géothermique

**Adresse du chantier** : Pierre Bénite (69)

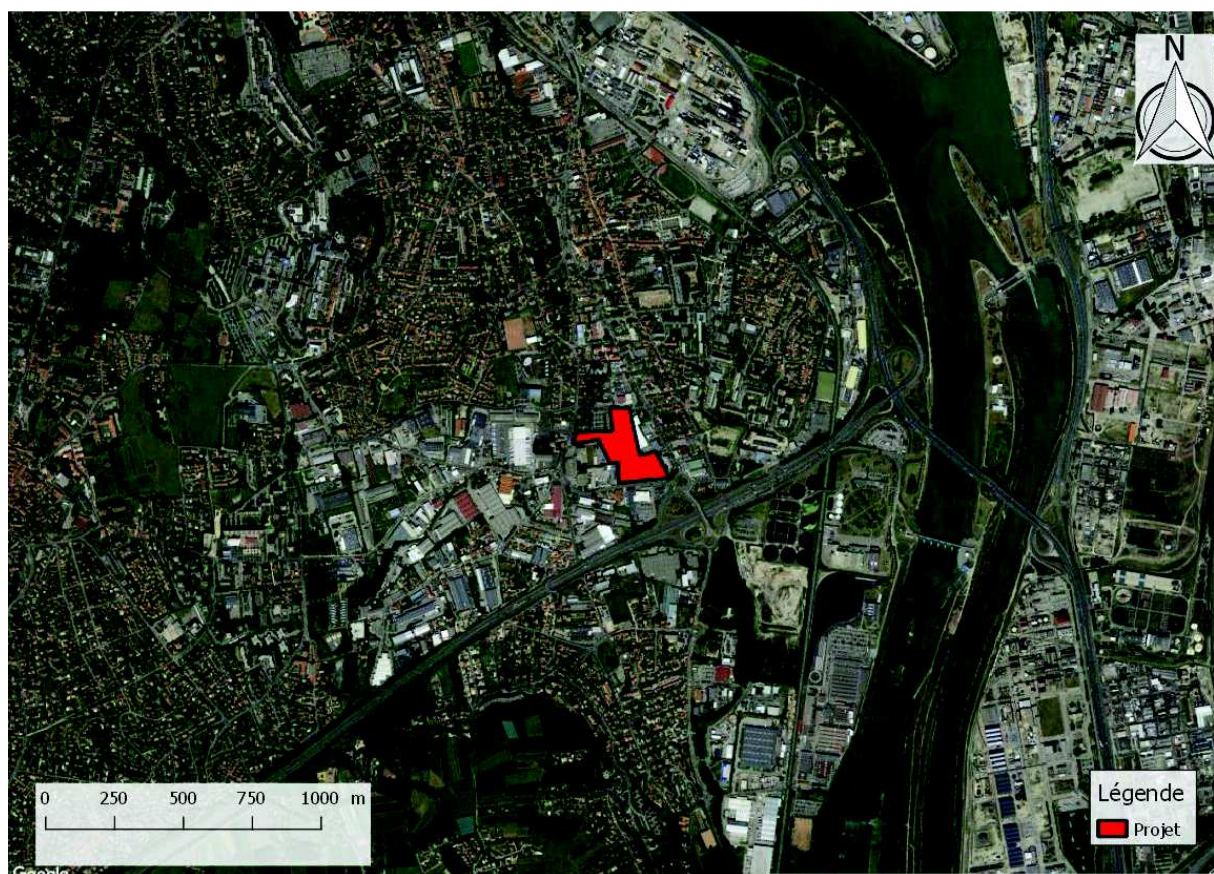
Le projet de construction et de reconstruction se situe à « la blanchisserie », sur la commune de Pierre-Bénite (69), et culmine entre environ +165 et +169 m NGF.

Le site industriel s'étend sur environ 55 300 m<sup>2</sup>.



(1) Localisation du projet sur fond IGN





(2) Localisation sur fond orthophotographique.

## 2 Présentation du projet

---

### 2.1 Description du projet

Dans le cadre du projet de construction et de reconstruction de bâtiments sur le site industriel de l'usine Hermès, la société ITH, Maître d'Ouvrage de l'opération, souhaite étudier la possibilité de recourir à une solution de géothermie sur nappe pour satisfaire une partie de ses besoins de chauffage et de refroidissement, avec l'objectif de réaliser un projet performant du point de vue énergétique.

La Maîtrise d'Ouvrage, s'est attachée les services du bureau d'étude StratéGéo Conseil pour l'assister dans la conception d'une solution énergétique par géothermie.

Conformément au cahier des charges, la première phase de la mission consiste en la réalisation d'une étude de faisabilité géothermique afin de pouvoir évaluer le potentiel de la ressource et définir les caractéristiques d'une solution de géothermie pérenne. Cette étude présentera notamment l'enveloppe budgétaire d'une telle installation ainsi que les taux de couvertures énergétiques attendues, et ce en respectant les contraintes énergétiques, environnementales et réglementaires du projet.

L'étude de faisabilité se décomposera de la manière suivante :

- *Etude documentaire géologique et hydrogéologique du secteur d'étude,*
- *Evaluation du potentiel du site pour la mise en œuvre d'une solution de géothermie,*
- *Pré-dimensionnement des solutions de géothermie envisageables sur site avec outils de modélisation numérique pour définir leur couverture énergétique,*
- *Définition des préconisations et des contraintes d'exploitation,*
- *Définition du contexte réglementaire du projet,*
- *Description technique de la future installation,*
- *Evaluation financière de la future installation (investissement).*

***Cette étude de préfaçabilité est basée sur des données transmises au stade actuel du projet, notamment énergétiques. Les hypothèses présentées devront être validées lors des phases ultérieures de conception.***





## 2.3 Besoins énergétiques

D'après le bureau d'étude thermique CETRALP, les besoins énergétiques du projet estimés au stade d'avancement du projet sont les suivants :

### (4) Estimation des besoins énergétiques en chauffage

Installation	Puissance	Energie annuelle	Delta de température	Débit sur nappe
Bureaux	210 kW	117 850 kWh/an	-5 °C	29 m³/h
Atelier 6 RDC	135 kW	82 475 kWh/an	-5 °C	19 m³/h
Atelier 6 R+1 nord	45 kW	23 740 kWh/an	-5 °C	6 m³/h
Atelier 6 R+1 sud	35 kW	16 420 kWh/an	-5 °C	5 m³/h
Sport Soie (hors RDC)	115 kW	91 360 kWh/an	-5 °C	16 m³/h
Logistique Stockage	170 kW	148 015 kWh/an	-5 °C	23 m³/h
Passerelle (hors LNC)	25 kW	12 240 kWh/an	-5 °C	3 m³/h
<b>Total</b>	<b>735 kW</b>	<b>492 100 kWh/an</b>	-	<b>101 m³/h</b>

### (5) Estimation des besoins énergétiques en refroidissement

Installation	Puissance	Energie annuelle	Delta de température	Débit sur nappe
Bureaux	280 kW	94 280 kWh/an	+5 °C	56 m³/h
Atelier 6 RDC	300 kW	230 930 kWh/an	+5 °C	60 m³/h
Atelier 6 R+1 nord	60 kW	29 675 kWh/an	+5 °C	12 m³/h
Atelier 6 R+1 sud	40 kW	20 525 kWh/an	+5 °C	8 m³/h
Sport Soie (hors RDC)	160 kW	57 100 kWh/an	+5 °C	32 m³/h
Logistique Stockage	75 kW	40 000 kWh/an	+5 °C	15 m³/h
Passerelle (hors LNC)	30 kW	10 200 kWh/an	+5 °C	6 m³/h
<b>Total</b>	<b>945 kW</b>	<b>482 710 kWh/an</b>	-	<b>190 m³/h</b>

En mode chauffage, les puissances et les énergies côté sous-sol, ainsi que les débits d'exploitation, ont été calculés à partir des formules suivantes :

$$P_{Géothermique} = P_{Calorifique} \times \left(1 - \frac{1}{COP}\right)$$

$$Q = \frac{P_{Géothermique}}{1,16 \times \Delta T}$$

En mode refroidissement :

$$P_{Géothermique} = P_{Calorifique} \times \left(1 + \frac{1}{EER}\right)$$

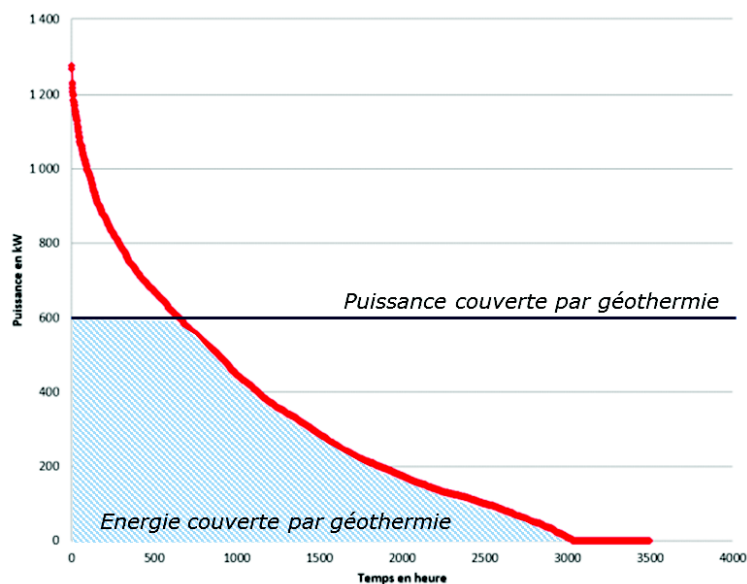
$$Q = \frac{P_{Géothermique}}{1,16 \times \Delta T}$$

Avec :

- $P_{géothermique}$ , la puissance maximale coté sous-sol ;
- $P_{calorifique}$ , la puissance maximale de la PAC ;
- COP/EER, le coefficient de performance théorique (5 en mode chauffage, 6 en mode refroidissement) ;
- $Q$ , le débit d'exploitation de pointe en mode chauffage (en  $m^3/h$ ) ;
- $\Delta T$ , la variation de température de l'eau entre le pompage et le rejet ( $5^{\circ}C$ ).

Cependant, dans le cadre d'opérations de géothermie, lorsque la puissance thermique de pointe n'est sollicitée que quelques heures par an, il est économiquement et techniquement intéressant de réduire la puissance de la pompe à chaleur géothermique et de la coupler avec un dispositif d'appoint.

En effet, **les STD de bâtiments performants énergétiquement** montrent en général que les grandes puissances ne sont que très rarement appelées et ne couvrent qu'une faible partie de l'énergie de chauffage/rafraichissement comme présenté sur l'exemple de courbe monotone ci-dessous. Ainsi, 50% de la puissance de chauffage ou de rafraichissement permet habituellement de satisfaire entre 80 et 90% des besoins énergétiques annuels de chauffage ou de rafraichissement.



(6) Exemple de courbe monotone avec couverture géothermique

Etant donné l'analyse géologique et hydrogéologique présentée dans les paragraphes suivants, et compte tenu des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère contenu dans les Alluvions Fluvio-glaciaires du Würmien, il semblerait que le débit d'exploitation probablement disponible s'élève à environ 80 m<sup>3</sup>/h. Ainsi, le scénario de couverture énergétique par géothermie défini dans le cadre de cette étude est le suivant :

(7) Scénario de couverture des besoins énergétiques (Hypothèse de CETRALP)

Mode	Débit sur nappe	Puissance d'appel	Energie annuelle	Puissance sous-sol	Energie sous-sol annuelle	Delta de température
Chauffage	80 m <sup>3</sup> /h	580 kW (78% de couverture)	400 MWh/an (90 % couverture)	464 kW	320 MWh/an	-5 °C
Refroidissement	80 m <sup>3</sup> /h	400 kW (42 % de couverture)	350 MWh/an (80 % couverture)		406 MWh/an	+5 °C

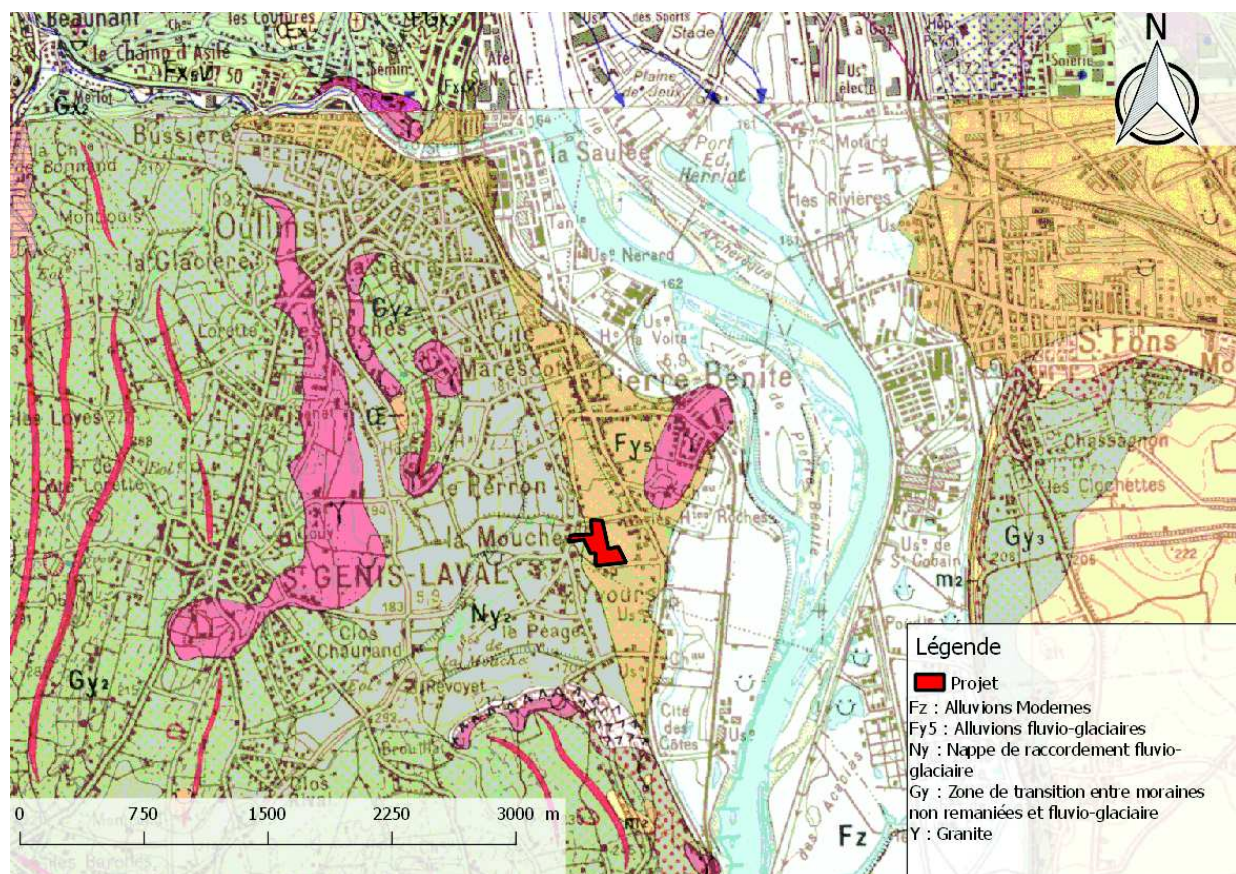


### 3 Contexte géologique

#### 3.1 Contexte géologique général

La commune de Pierre-Bénite se trouve sur la rive droite du Rhône, au Sud de Lyon. A l'Ouest du fleuve se situe le Massif Central avec ses terrains cristallins, à l'Est le fossé d'effondrement rhodanien avec ses terrains d'âge tertiaire. Au-dessus de ces ensembles s'étalent d'importantes formations quaternaires, principalement d'origine glaciaire.

Localement, le site est situé dans une zone recouverte par des Alluvions fluvio-glaciaires, reposant sur le socle granitique. La partie Est du site se trouve dans l'emprise d'une nappe de raccordement fluvio-glaciaire.



(8) Localisation du site sur fond de carte géologique (BRGM).



### 3.2 Succession lithologique au droit du projet

D'après les données bibliographiques présentes sur le secteur, il est possible de définir la coupe géologique suivante attendue au droit du site étudié :

(9) Succession lithologique attendue au droit du site

Age	Formation	Lithologie	Cote du toit (m NGF)	Profondeur du toit (m/sol)	Epaisseur (m)
Würmien	Alluvions fluvio-glaciaires	Argile limoneuse marron	+165/+167	0	~3 m
		Sables, graviers, galets avec passages argileux	+164/+162	3	~27 m
Hercynien	Granite à biotite	Granite altéré	+135/+137	30	~6 m
		Granite	+129/+132	36	>50

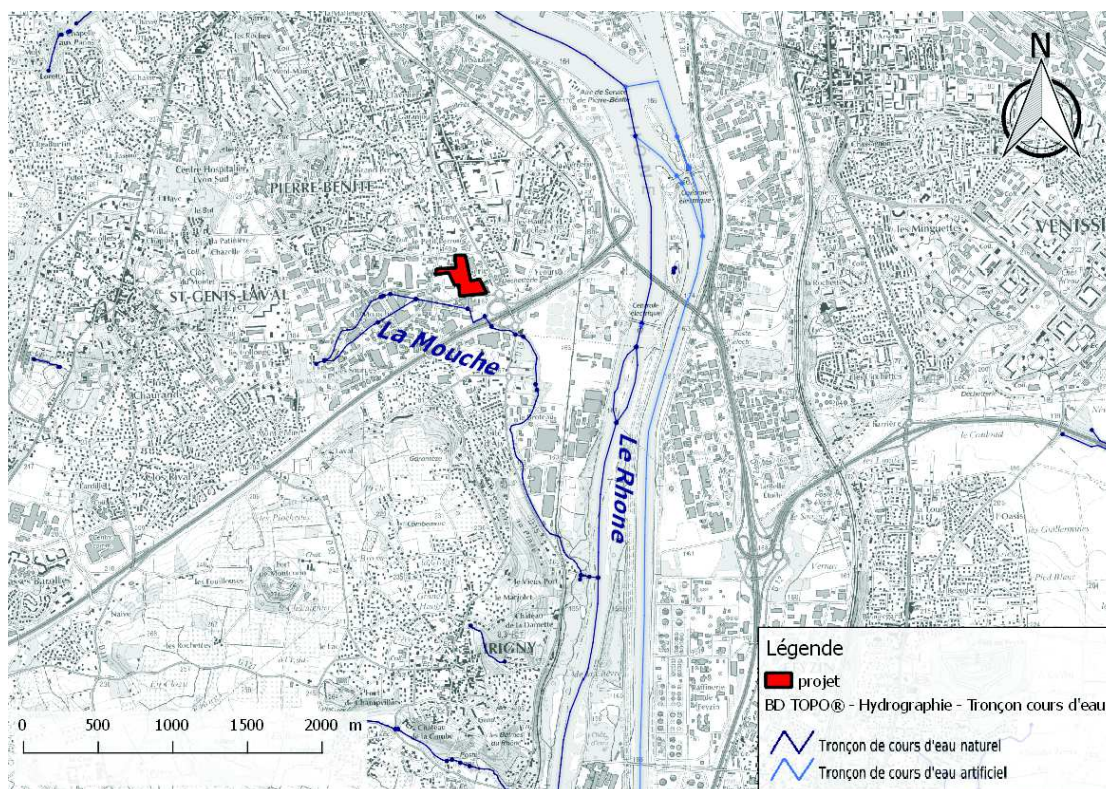
**Selon les données bibliographiques étudiées, il existe une incertitude concernant l'épaisseur sablo-graveleuse des alluvions fluvio-glaciaires au droit du projet. En effet, il est possible de rencontrer des formations argileuses à partir de 15 m de profondeur, mais cette limite reste incertaine. Le granite est dans tous les cas atteint vers 30 m de profondeur.**

**Il est recommandé de réaliser un sondage destructif préalable jusque 30 m de profondeur afin de lever l'incertitude concernant la lithologie.**

## 4 Contexte hydrogéologique

### 4.1 Réseau hydrologique

Le secteur étudié se trouve sur une terrasse, en rive droite du Rhône. Ce dernier constitue la principale entité hydrologique du secteur, et se situe à environ 1 200 m à l'Est du site. La Mouche, un ruisseau aujourd'hui canalisé en grande partie, s'écoule également au Sud du site et vient se jeter dans le Rhône à 2,5 km en aval.



(10) Réseau hydrographique à proximité du projet (Géoportail)

### 4.2 Nappes en présence

L'analyse du contexte géologique et hydrologique proposée aux paragraphes précédents permet d'identifier une nappe en présence correspondant aux formations du Würmien :

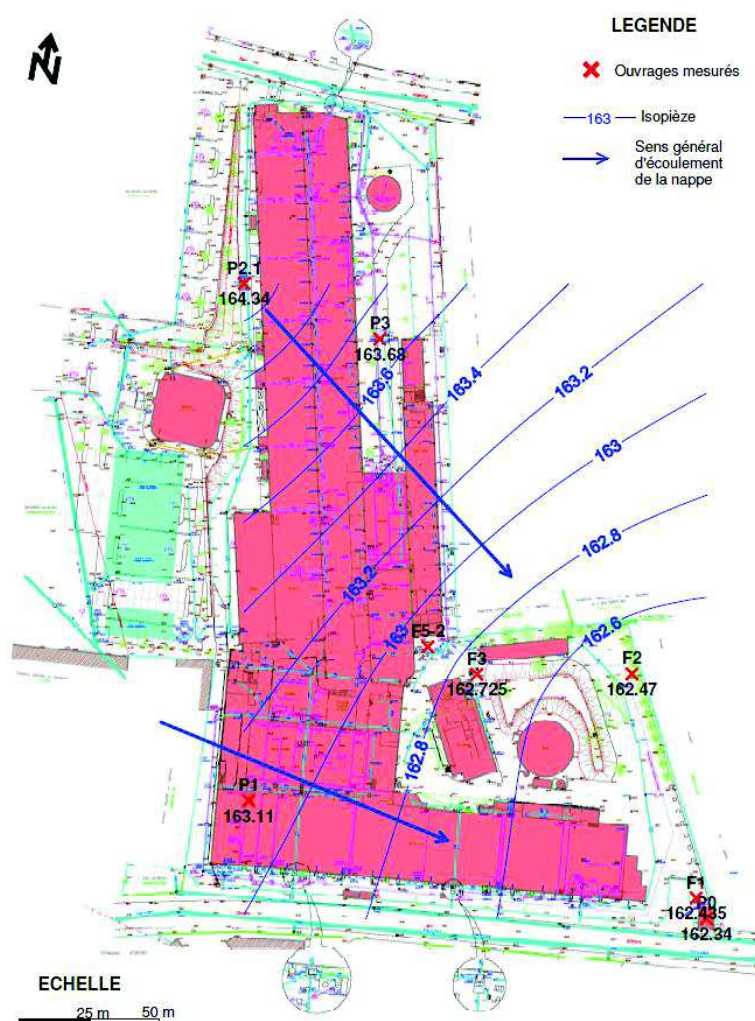
- **La nappe du Würmien**, contenue dans les Alluvions fluvio-glaciaires, et dont la base est constituée par le socle granitique. Sa recharge provient principalement des eaux météoritiques, s'infiltrant au travers des assises superficielles.

**Cette étude s'intéressera donc à la faisabilité d'une géothermie sur la nappe du Würmien.**

### 4.3 Piézométrie et sens d'écoulement de la nappe

D'après l'esquisse piézométrique réalisée par BURGEAP au droit du site en octobre 2008, l'écoulement de la nappe semble être orienté vers le Sud-Est, avec un gradient d'environ 1%. Cependant, ce gradient ne semble pas correspondre à l'écoulement naturel de la nappe. En effet, celui-ci est localement perturbé par le pompage de l'ouvrage P0 (au Sud-Est du site) par les Ateliers AS pour ses activités industrielles depuis 1980. D'après la Banque Nationale des Prélèvements Quantitatifs en Eau (BNPE), des prélèvements d'environ 100 000 m<sup>3</sup>/an ont eu lieu entre 2012 et 2015. Le reste des données est indisponible mais le pompage est toujours en activité.

L'écoulement naturel semble plutôt orienté vers le Rhône (vers l'Est) avec un gradient d'environ 0,4%.



(11) Esquisse piézométrique de la nappe au droit du site en octobre 2008 (BURGEAP).



## 4.4 Paramètres hydrodynamiques et productivité

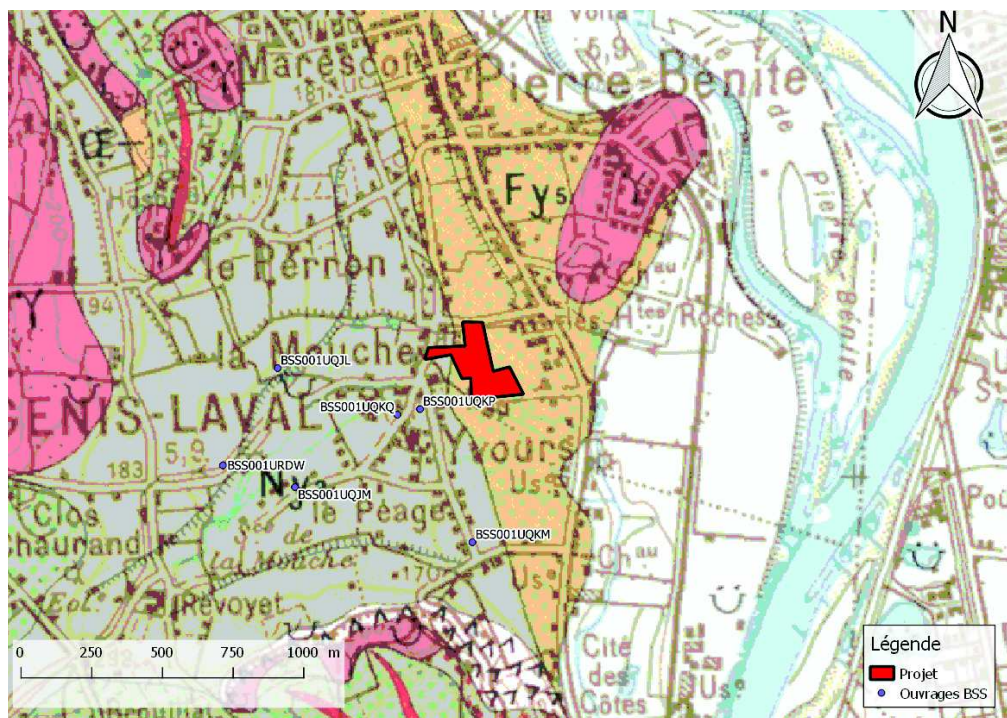
### 4.4.1 Paramètres hydrodynamiques

D'après les informations recensées dans la Banque de données du Sous-Sol du BRGM (Infoterre) et des projets alentours connus, la **perméabilité de l'aquifère du Würmien dans la zone est d'environ  $3,7.10^{-4}$  m/s.**

(12) Synthèse des caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère du Würmien dans le secteur

Code BSS	Distance au projet (m)	Profondeur de l'ouvrage (m/sol)	Débit (m <sup>3</sup> /h)	Rabattement (m)	Epaisseur captée (m)	Débit spécifique (m <sup>3</sup> /h/m)	Transmissivité (m <sup>2</sup> /s)	Perméabilité (m/s)
BSS001UQKP	170	12	62	5,47	7	11,3	$3,1.10^{-3}$	$4,5.10^{-4}$
BSS001UQKQ	220	9,2	115	1,58	6	72,8	$2,0.10^{-2}$	$3,4.10^{-3}$
BSS001UQKM	500	15	20	4,55	6	4,4	$1,2.10^{-3}$	$2,0.10^{-4}$
BSS001UQJL	520	31	1320	26	10	50,8	$1,4.10^{-2}$	$1,4.10^{-3}$
BSS001UQJM	650	35	42	27	11,5	1,55	$4,3.10^{-4}$	$3,8.10^{-5}$
BSS001URDW	800	34	128	22,3	10,8	5,74	$1,6.10^{-3}$	$1,5.10^{-4}$
Moyenne						11	$3,0.10^{-3}$	$3,7.10^{-4}$
Médiane						9	$2,3.10^{-3}$	$3,3.10^{-4}$

Il est à noter que les ouvrages BSS001UQKP et BSS001UQKQ sont ceux qui semblent se situer dans le contexte hydrogéologique le plus proche du site.



(13) Localisation des ouvrages étudiés

#### 4.4.2 Productivité

A partir des paramètres hydrodynamiques calculés sur la nappe du Würmien, il est possible de définir la sa productivité attendue au droit du site.

***Il est à noter que la surface piézométrique de la nappe est située vers 3 m de profondeur, limitant ainsi la hauteur disponible pour la réinjection avant mise en pression de l'ouvrage.***

L'approximation de Dupuit, peut être utilisée pour estimer ce débit de pointe potentiellement mobilisable :

$$K_{nappe} \times Ep \approx T_{nappe} \approx \frac{Q}{S} \quad (3)$$

Avec :

- $K$ , la perméabilité moyenne ;
- $ep$ , l'épaisseur moyenne productive ;
- $s$ , la hauteur admissible du cône de réinjection.

(14) Estimation de la productivité et l'injectivité de la nappe au droit du site.

Nappe	Mode	Perméabilité moyenne retenue	Epaisseur moyenne productive	Hauteur admissible	Débit sur nappe
Würmien	Pompage	$4.10^{-4}$ m/s	12 m	5 m	~80 m <sup>3</sup> /h
	Réinjection avec 1 puits			3 m	~50 m <sup>3</sup> /h
	Réinjection avec 2 puits				~100 m <sup>3</sup> /h

D'après cette approche, avec un doublet le réservoir semble permettre d'obtenir un débit limité à 50 m<sup>3</sup>/h environ en raison de la faible hauteur d'injection disponible au droit du projet. Ainsi, il est recommandé de réaliser un triplet (avec deux forages d'injection) ce qui permettra de répartir le débit et donc de diminuer la hauteur d'injection. Dans cette configuration, le réservoir devrait permettre d'obtenir un débit productif de l'ordre de 80 m<sup>3</sup>/h.

***Il est important que noter que le paramètre d'injectivité est le facteur limitant pour le débit d'exploitation en raison de la présence de la surface piézométrique à faible profondeur, ce qui nécessitera vraisemblablement de prévoir un deuxième ouvrage injecteur.***

**Remarque :**

***Il est rappelé à la Maitrise d'Ouvrage que seule une phase de reconnaissance au droit du site permettra de définir précisément les productivités de la nappe en pompage et en réinjection.***



#### 4.5 Qualité physico-chimique générale de la nappe

Le BRGM a mis en place un système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines (SEQ), qui établit 5 classes d'aptitude de l'eau à satisfaire un usage donné (eau potable, industrie, énergie, etc.). Ces 5 classes sont les suivantes : très bonne, bonne, passable, mauvaise et inapte à satisfaire l'usage.

Dans le cas d'un usage destiné à des fins énergétiques, les 5 classes sont définies à partir de 3 types d'altération :

- La température qui est liée au processus thermodynamique. Les valeurs seuils des différentes classes dépendent alors de l'usage énergétique de l'eau (climatisation ou pompe à chaleur) ;
- La corrosion et la formation de dépôts liées à des facteurs chimiques.

(15) Définition des classes d'indice de qualité du SEQ eaux souterraines pour l'usage énergie

SEQ	Couleur de référence					
	Classe d'indice de qualité	Très bonne	Bonne	Passable	Mauvaise	Inapte à satisfaire l'usage
Altération	Température	Favorable à l'usage	Permet l'usage	Usage délicat	Classe non définie	Classe non définie
	Corrosion	Absence de corrosion	Corrosion faible	Corrosion modérée	Corrosion moyenne	Corrosion forte
	Formation de Dépôt	Pas de risque de dépôts importants	Peu de risques de dépôts	Risques de dépôts	Classe non définie	Dépôts très importants

L'**Annexe 1** présente les classes d'altération et les valeurs seuils du SEQ relatives à l'usage énergie. Il est possible de présenter la chimie de cette nappe à partir des données de l'étude de BURGEAP menée sur le site d'étude. Ces données sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

(16) Synthèse des paramètres chimiques de la nappe du Würmien

Nappe captée		Würmien					
Altération	Ouvrage	P0	P1	P2-1	P3	F1	F2
	Date du prélèvement	30/10/2008					
Température	Climatisation	17,3	16,2	18,4	17,9	17,4	17,3
	PAC	17,3	16,2	18,4	17,9	17,4	17,3
Corrosion	CO2 dissous (mg/l)						
	O2 dissous (mg/l)	1,32	3,8	2,76	3,84	2,3	2,4
	Salinité (g/l NaCl)						
	Conductivité à 20°C (µS/cm)	792	708	498	58	806	4950
	pH (unité pH)	6,62	6,88	6,44	6,32	6,41	6,65
	Chlorures Cl- (mg/l)		36,4				
	Sulfates SO42- (mg/l)						

	Bactéries sulfato-réductrices (unité/ml)						
	Sulfures HS- (mg/l)						
	Potentiel d'oxydoréduction EH (mV)	442	348	362	329	414	367
Formation de dépôts	pH (unité pH)	6,62	6,88	6,44	6,32	6,41	6,65
	EH – selon valeur du pH (mV)						
	Ferro-bactéries						
	Indice de saturation – selon valeur TAC						
Paramètres supplémentaires	Fer (mg/L)						

(1) Potentiel d'oxydo-réduction Eh= 1330-166 pH

(2) Indice de saturation = pHs-pH

Selon le SEQ eaux souterraines pour l'usage énergie, la qualité de l'eau de la nappe du Würmien dans le secteur d'étude permet l'usage de chauffage et de climatisation sur PAC. Toutefois, celle-ci peut favoriser la corrosion et le développement de dépôts. Il sera donc nécessaire :

- *D'adapter les matériaux de la boucle géothermique primaire (colonne captante, exhaure, liaison horizontale, échangeur primaire), afin de limiter les phénomènes de corrosion ;*
- *De prévoir des diagnostics et des entretiens réguliers du forage, afin d'anticiper le développement des dépôts sur les crépines ;*
- *Le cas échéant en fonction des premières analyses d'eau, de prévoir un dispositif de retro-lavage sur le (les) forage(s) injecteur(s) afin d'éviter la prolifération de ferro-bactéries pouvant altérer la capacité d'injection.*

## 5 Contexte réglementaire et administratif

---

Plusieurs textes régissent les dispositions administratives et réglementaires applicables aux projets de géothermie :

- *Le Code Civil,*
- *Le Code Minier,*
- *Le Code de l'Environnement,*
- *Les périmètres de protection,*
- *Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE),*
- *Les zones naturelles,*
- *Plan de prévention des risques naturels.*

### 5.1 Le Code Civil

Du point de vue du Code Civil (Article 2270), le constructeur d'un ouvrage est responsable des dommages éventuels causés par l'ouvrage. Cette responsabilité est engagée pendant une période de 10 ans (garantie décennale). Ainsi, Le Maître d'Ouvrage devra s'assurer que l'entreprise de forage est bien titulaire d'une police « responsabilité civile décennale ».

### 5.2 Le Code Minier

Le décret n°2015-15 du 8 janvier 2015 et l'arrêté du 25 juin 2015 relatif au Code Minier modifie :

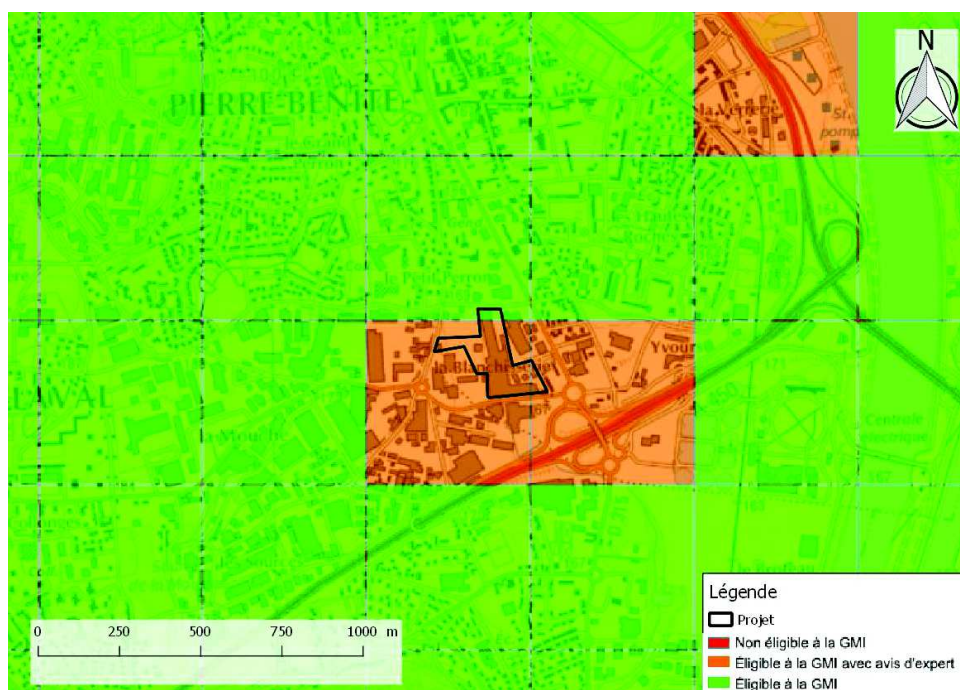
- *Le décret n°78-498 du 28 mars 1978 relatif aux titres de recherches et d'exploitation de géothermie ;*
- *Le décret n°2006-649 du 2 juin 2006 relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la Police des mines et des stockages souterrains ;*
- *L'article R414-27 du Code de l'environnement.*

Pour la géothermie sur aquifère, les projets sur nappe sont considérés comme relevant du régime de la minime importance (soumis à déclaration au titre du Code minier) s'ils remplissent notamment les conditions suivantes :

- *La profondeur du forage est inférieure à 200 mètres ;*
- *La température de rejet ne dépasse pas 32°C ;*
- *La température de l'eau prélevée est inférieure à 25 °C ;*

- *La puissance thermique récupérée dans l'ensemble de l'installation est inférieure à 500 kW ;*
- *L'exploitant prend en considération les installations voisines et ne provoque pas une variation de plus de 4°C à 200 m des forages de pompage et de réinjection ;*
- *Les eaux prélevées sont réinjectées dans la même nappe aquifère et la différence entre les volumes prélevés et réinjectés est nulle ;*
- *Les débits prélevés ou réinjectés sont inférieurs au seuil d'autorisation, tel que défini dans la rubrique 5.1.1.0 de l'article R214-1 du Code de l'Environnement.*

De plus, dans le cadre de cette nouvelle réforme, une cartographie réglementaire pour les opérations de minime importance a été mise en place. D'après la cartographie, le projet se situe en zone orange et est donc soumis à déclaration au titre de la Minime Importance (« Eligible à la GMI avec avis d'expert »). Cela est dû à une pollution avérée de la nappe sur le site d'étude :



(17) *Extrait de la cartographie de la GMI – Boucle ouverte*

De manière générale, le régime de la minime importance implique le respect des prescriptions de l'arrêté du 25 juin 2015 relatives :

- *A l'implantation des ouvrages, dont notamment :*
  - *Ne pas être situé à moins de 5 mètres de conduites d'assainissement individuelles ou collectives lorsqu'une étanchéité est prévue ou dans le cas contraire à moins de 35 m ;*
  - *Ne peut pas être implanté dans un périmètre de protection immédiat ou rapproché d'un captage d'eau destinée à la consommation humaine.*

- *Aux exigences vis-à-vis des entreprises intervenantes (exploitant, entreprise de forage et installateur) avec notamment la qualification obligatoire QUALIFORAGE RGE*
- *Aux dispositions générales lors de la réalisation de l'installation (chantier, matériaux, matériel) ;*
- *Aux dispositions générales lors de l'exploitation de l'installation ;*
- *Aux dispositions générales lors de l'arrêt des travaux d'exploitation de l'installation ;*
- *Aux contrôles et surveillances ;*
- *A certains documents réglementaires, dont notamment :*
  - *Les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) ;*
  - *Les règlements des schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) ;*
  - *Les plans de prévention des risques naturels ;*
  - *Les servitudes d'utilité publique ;*
  - *Les dispositions du règlement sanitaire départemental.*

### **5.3 Le code de l'Environnement**

Depuis le 8 Janvier 2015 et la publication du décret 2015-015, la géothermie n'est plus soumise à la réglementation du Code l'Environnement.

### **5.4 Les périmètres de protection**

Dans le cadre de la géothermie de minime importance, les forages géothermiques ne devront pas se situer à l'intérieur d'un périmètre de protection rapproché (PPR) d'un captage d'eau potable. D'après l'extrait présenté fourni par l'ARS, le projet n'est pas situé à proximité d'un champ captant d'eau potable.

### **5.5 Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE)**

Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin Rhône-Méditerranée est un document de planification qui fixe les principales orientations de la politique de gestion de l'eau sur le bassin.

Le SDAGE 2016-2021 du bassin Rhône-Méditerranée a été approuvé et arrêté le 03/12/2015 puis publié au JO du 21 décembre 2015, rendant effective sa mise en œuvre à compter du 1er janvier 2016. Il fixe les objectifs, les orientations et les dispositions à mettre en œuvre pour une gestion équilibrée de l'eau et des milieux aquatiques (d'après <http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/gestion/sdage2016/docs-officiels.php>).

La disposition D7-05 de l'orientation fondamentale N°7 du SDAGE (« Atteindre l'équilibre quantitatif en améliorant le partage de la ressource en eau et en anticipant l'avenir ») préconise d'avoir une gestion



responsable de l'eau afin d'économiser la ressource en eau, mais également d'anticiper et de s'adapter à la rareté de la ressource en eau dans le but de la protéger.

Cette mesure vise à éviter l'introduction de polluants et d'assurer l'isolation des nappes mais également d'assurer un retour à l'équilibre quantitatif des ressources en eau ; elle recommande :

- *Que le maître d'ouvrage évalue les impacts du ou des forages d'ordre physique, thermique, qualitatif ou quantitatif sur le sous-sol et les milieux aquatiques et terrestres concernés ;*
- *Que l'autorité administrative recense les ouvrages et tienne compte de leurs impacts, notamment cumulés, dans le cadre de l'instruction administrative des dossiers ;*
- *Que les eaux soient restituées à leur réservoir d'origine ou valorisées par un autre usage, dans le cadre de projets de prélèvement en nappe.*

Les ouvrages souterrains seront réalisés selon les règles de l'art, et l'eau prélevée au droit des forages de production sera restituée en totalité dans le réservoir après son passage dans l'échangeur thermique.

La nappe du Würmien au droit du projet ne fait pas l'objet de dispositions particulière.

## **5.6 Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE)**

Le projet n'est pas situé dans l'emprise d'un SAGE.

## **5.7 Les zones naturelles**

D'après les données disponibles sur le site de la DREAL Rhône-Alpes, le site ne se situe pas dans une zone naturelle de type :

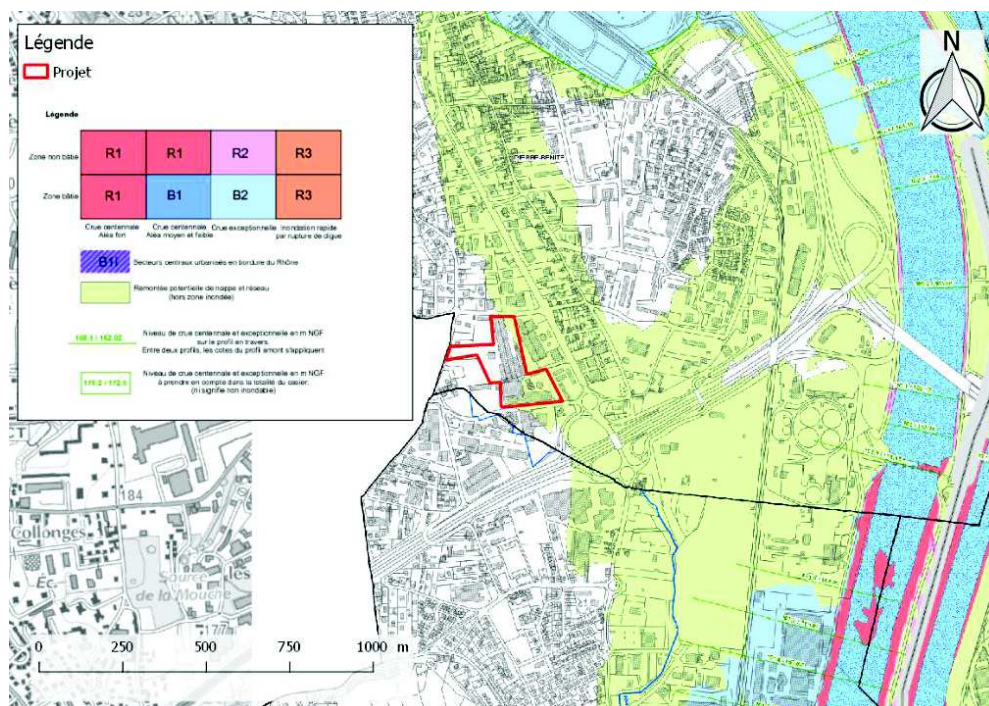
- *Zone NATURA 2000,*
- *ZNIEFF,*
- *Zone humide ou potentiellement humide,*
- *Site classé.*

## **5.8 Plan de prévention des risques naturels**

Le Code Minier implique le respect des plans de prévention des risques naturels en vigueur.

### **5.8.1 Le Plan de Prévention des Risques d'Inondation**

D'après le site de la préfecture du Rhône, le site se trouve partiellement dans la zone « remontée potentielle de nappe et réseau » (voir figure suivante). Cette zone n'est soumise à aucune restriction particulière selon le règlement du PPRI.



(18) Extrait de la carte du PPRI du Grand Lyon

**Il conviendra toutefois de s'assurer que la réinjection de l'eau de nappe au droit des ouvrages injecteurs ne provoque pas de désordres sur les bâtiments du site industriel, notamment dans le cas de remontées de nappe naturelles en période de Hautes Eaux. Un suivi du niveau piézométrique de la nappe devra donc être mis en place afin de vérifier l'influence du dispositif et de prévenir cette problématique.**

### 5.8.2 Le Plan de Prévention des risques Technologiques

D'après le site de la préfecture du Rhône, le site ne se trouve pas dans une zone réglementaire du PPRT.

## 5.9 Site BASOL

Le site a été classé comme site BASOL suite à la découverte d'une pollution aux hydrocarbures de la nappe et du sol. Cette pollution a été traitée en décembre 2013 et fait désormais l'objet d'un suivi semestriel.

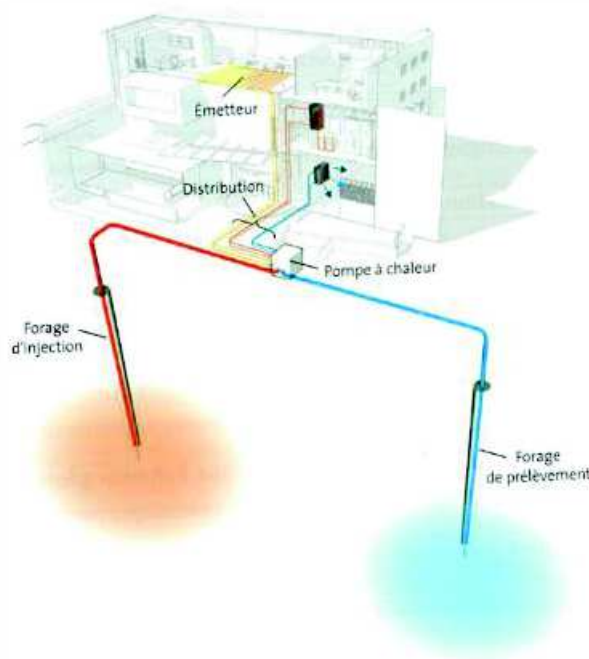
**Afin de ne pas étendre la pollution, les forages géothermiques ne seront pas implantés dans la zone polluée.**

## 6 Principe de dimensionnement d'un dispositif de géothermie sur nappe

### 6.1 Principe de fonctionnement

Le principe de la géothermie sur aquifère consiste à exploiter l'énergie disponible de manière permanente au sein d'une nappe d'eau souterraine.

L'eau souterraine est prélevée par l'intermédiaire d'un ou plusieurs forages de pompage. Elle est ensuite acheminée vers la pompe à chaleur (PAC), qui prélèvera les calories ou les frigories au travers d'un échangeur à plaques. L'eau est ensuite réinjectée dans le même aquifère par l'intermédiaire d'un ou plusieurs forages de réinjection (d'après le guide technique « Les pompes à chaleur géothermiques à partir de forage sur aquifère – Manuel pour la conception et la mise en œuvre » – BRGM, 2012).



(19) *Schéma du principe de la géothermie sur aquifère (BRGM, 2012).*

### 6.2 Définition de la faisabilité d'un dispositif de géothermie sur nappe

Afin de pouvoir valider la faisabilité géothermique sur nappe d'un projet, il est nécessaire de lever un certain nombre d'interrogations, qui sont :

- *Le fonctionnement thermique et hydrodynamique du futur dispositif de géothermie ;*
- *L'impact du projet sur son environnement (limitation à 4°C à 200 m autour du projet) ;*

- La possibilité d'implanter les forages sur le projet ;
- La capacité de réinjection de la nappe au droit du projet.

### 6.3 Fonctionnement du triplet géothermique sur nappe

#### 6.3.1 Paramètres d'appréciation technique

Plusieurs aspects sont étudiés pour apprécier la faisabilité technique du triplet :

- La faisabilité d'un projet vis-à-vis de **son influence thermique** est principalement liée au phénomène de percée, qui correspond à la jonction d'une partie des champs d'action thermiques des forages de pompage et de rejet. Ce phénomène provoque le recyclage d'une partie de l'eau ayant déjà été exploitée : l'eau recyclée est une eau ayant déjà circulée dans la boucle géothermique. **La diminution de la température de l'eau pompée, peut provoquer une baisse du rendement au cours de l'exploitation géothermique ;**
- Dans le cadre des **incidences hydrodynamiques**, l'exploitation d'un triplet de forage entraîne localement une baisse du niveau piézométrique (au droit du puits producteur) et une hausse du niveau (au droit du puits injecteur). La zone d'influence du triplet correspond donc à la zone où le niveau piézométrique de la nappe exploitée est affecté par ces variations. Au-delà de cette zone, l'incidence hydraulique du projet est nulle.

La modélisation de l'exploitation géothermique sur aquifère est donc abordée selon deux approches :

- L'exploitation thermique est modélisée selon **une approche globale annuelle**. Ainsi, la simulation est basée sur un volume annuel d'énergie prélevé à la nappe, et non sur des débits instantanés (et donc des puissances thermiques).
- A l'inverse de l'aspect thermique, la modélisation de l'exploitation hydrodynamique est basée sur **le régime maximal** de fonctionnement jusqu'à stabilisation, soit un débit maximal de sollicitation de la nappe et non sur un débit moyen.

#### 6.3.2 Définition de la géométrie du triplet géothermique

Afin de limiter l'interférence des champs d'action thermiques des forages, et donc de conserver la productivité à long terme de l'exploitation géothermique, leur implantation doit respecter les contraintes suivantes :

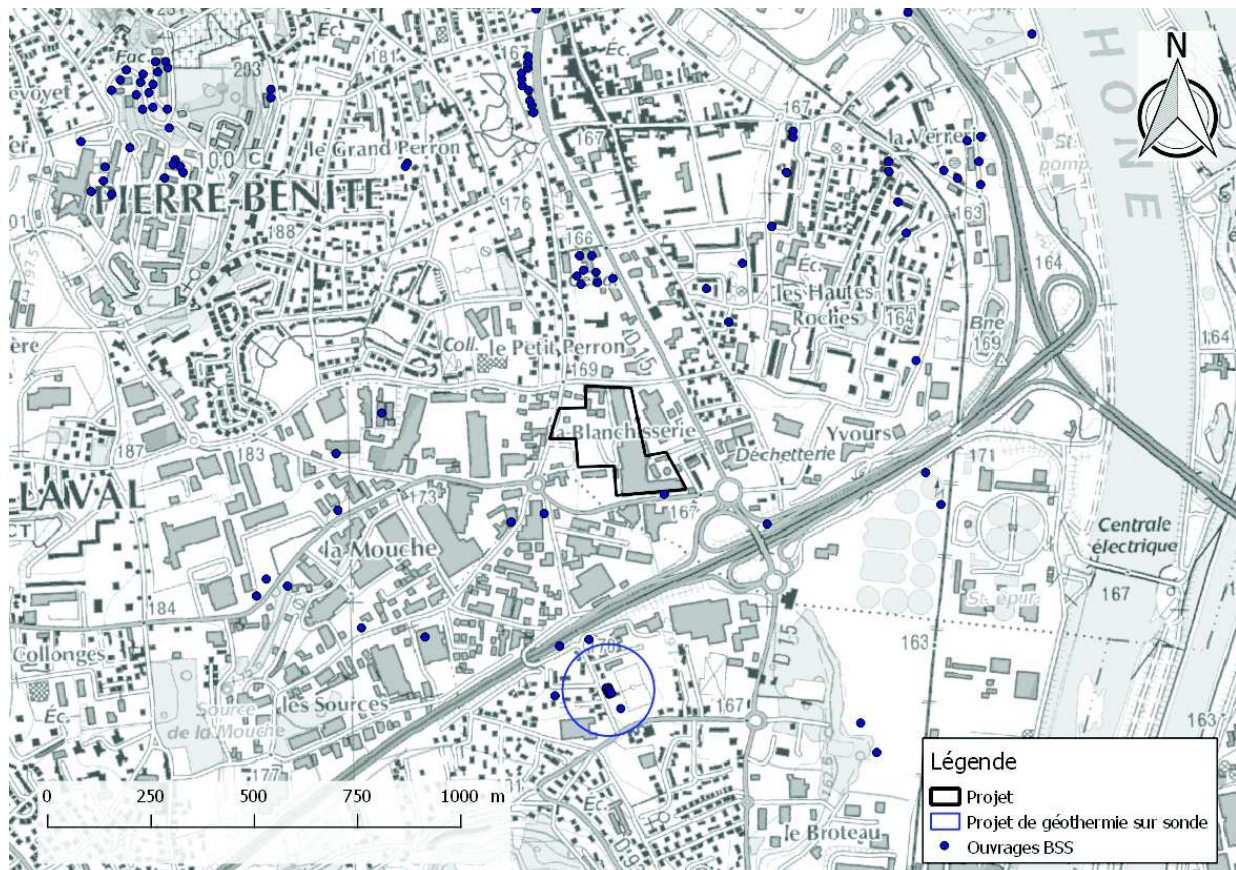
- Le forage de pompage est situé en amont des ouvrages de réinjection ;
- L'écartement entre les forages de pompage et de rejet doit permettre d'éviter le recyclage thermique.



## 6.4 Exploitation voisine

Dans le cadre d'une étude géothermique, il est nécessaire de prendre en considération les exploitations voisines afin d'étudier les différentes incidences entre projets qui pourront apparaître à court et à long terme.

Une exploitation géothermique sur sonde est présente à Irigny, au niveau du stade à environ 470 m au Sud du projet.



(20) Localisation du stade d'Irigny par rapport au projet

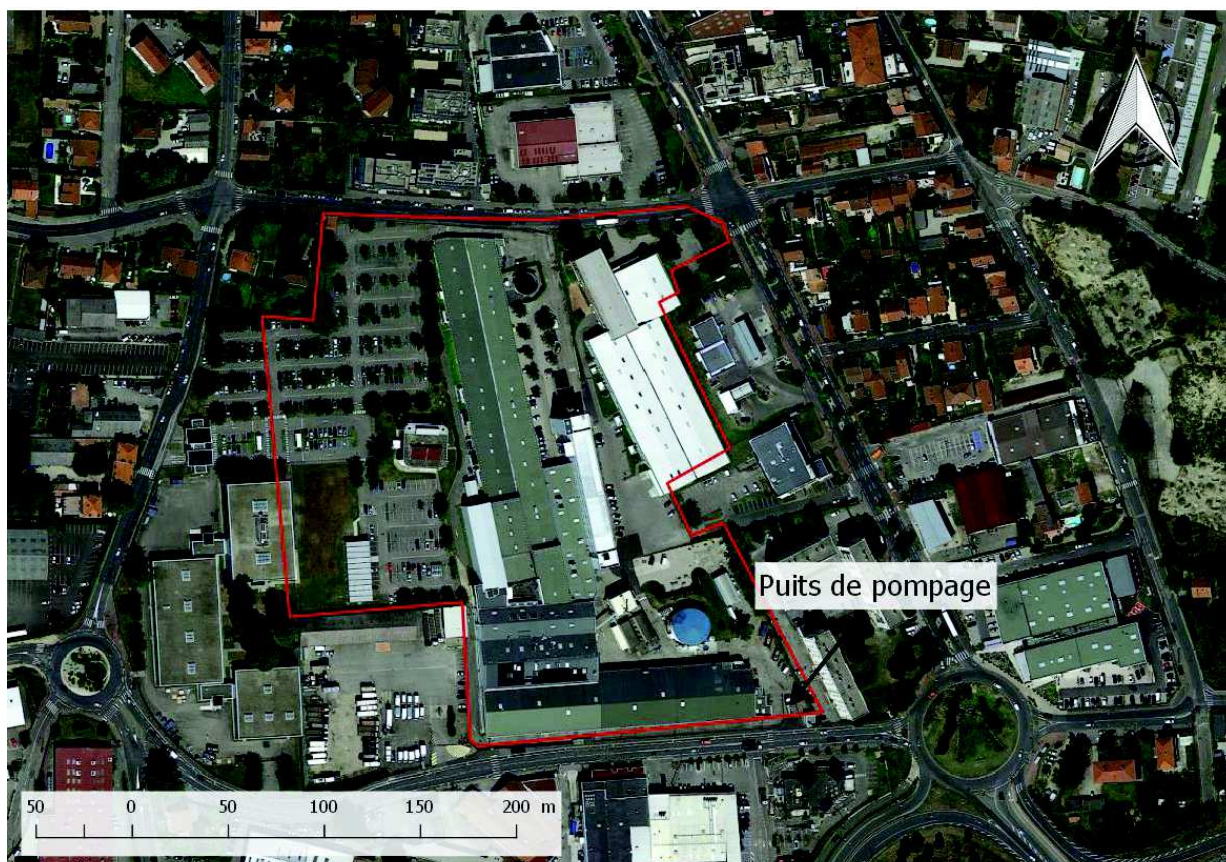
**Après modélisation, aucun impact n'est attendu d'un projet sur l'autre.**

## 6.5 Puits de pompage des Ateliers AS

Un puits de pompage utilisé dans le cadre d'un processus industriel de l'usine est situé à l'extrémité sud-Est du site. D'après les informations disponibles, ce puits prélèverait environ 100 000 m<sup>3</sup>/an à 200 000 m<sup>3</sup>/an dans la nappe du Würmien. Les prélèvements semblent être discontinus, et pourraient atteindre un débit de pointe de 60 m<sup>3</sup>/h selon l'étude d'incidence du puits de pompage de Burgeap réalisée



en 2009 et 120 m<sup>3</sup>/h selon les données de la BSS. Ce puits semble perturber localement le sens d'écoulement de la nappe lorsqu'il fonctionne.



(21) Localisation du puits de pompage

***Afin que la solution de géothermie sur nappe n'impacte pas le fonctionnement de ce puits, les forages de production et d'injection seront installés en partie Nord de l'usine.***

***Ce puits a été pris en compte dans la modélisation numérique du fonctionnement de l'installation géothermique afin de vérifier qu'ils ne s'impactent pas mutuellement. Un débit moyen de 11 m<sup>3</sup>/h a été retenu pour ce puits dans les modélisations. Si plus d'informations concernant les périodes d'utilisation du puits sont disponibles, une nouvelle simulation pourra être effectuée ultérieurement.***



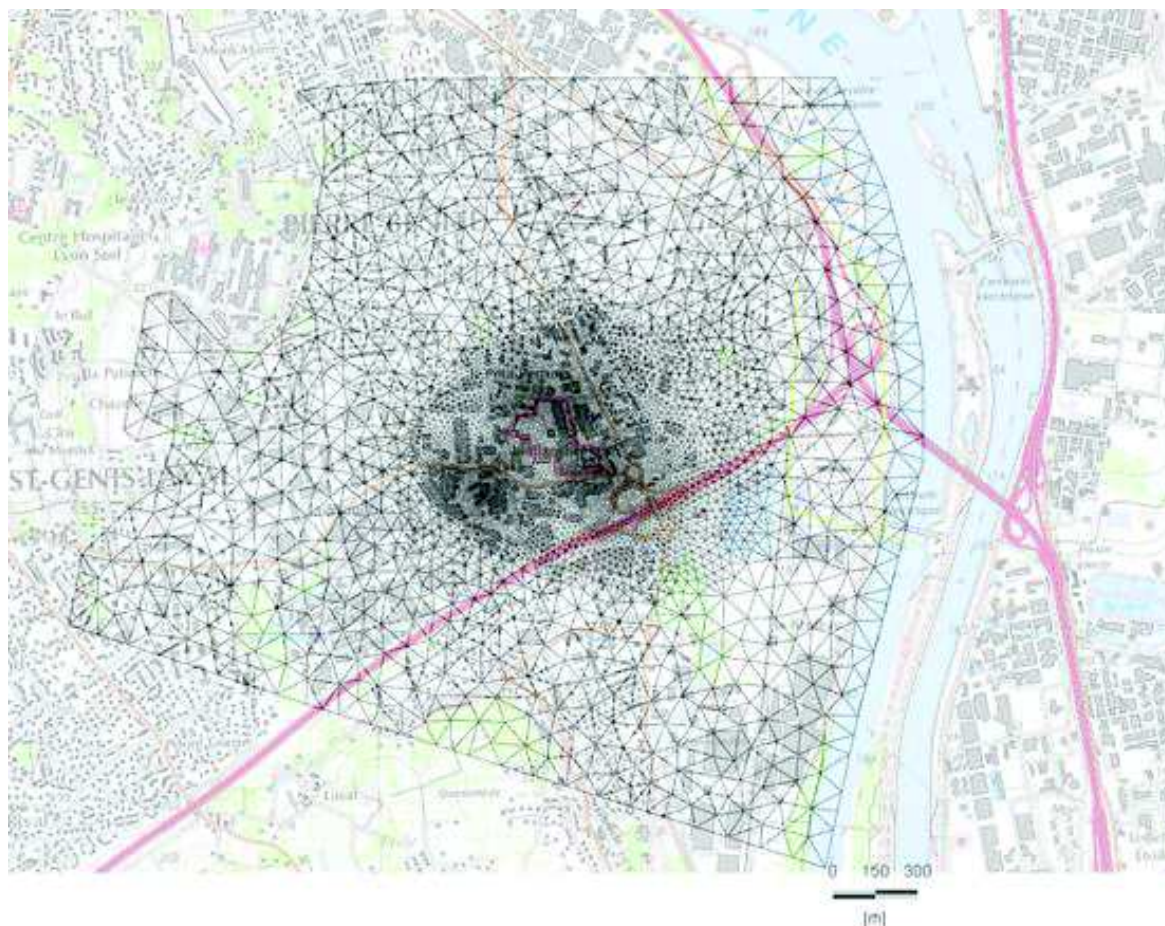
## 6.6 Construction du modèle

### 6.6.1 Structure du modèle

L'élaboration du modèle d'écoulement nécessite de délimiter le domaine d'étude, dans lequel seront distribuées les caractéristiques hydrodynamiques et thermiques de l'aquifère et des couches géologiques sus et sous-jacentes.

Le modèle du projet est divisé en 11 couches et s'étend sur une superficie de 6 km<sup>2</sup>, pour un volume total de 170 millions de mètres cubes. Chaque plan du modèle présente un maillage triangulaire irrégulier de plus de 25 000 mailles. Ce maillage est localement densifié à proximité du projet et des ouvrages de géothermie et forages d'eau.

L'orientation du modèle est définie selon la direction de l'écoulement de la nappe du würmien, vers le Rhône avec un gradient d'environ 0,4%.



(22) *Maillage du modèle réalisé sous logiciel FEFLOW*

Dans le détail, les couches lithologiques suivantes ont été modélisées :

(23) *Succession lithologiques modélisée par couches*

Formation	Cote du toit (m NGF)	Epaisseur (m)	Nombre de couches modélisées
Argile limoneuse	+168	3 m	2
Alluvions fluvio-glaciaires	+165	12 m	5
Argiles compactes	+153	15 m	4

### 6.6.2 Paramétrage et calage hydrodynamique et thermique du modèle

Le paramétrage d'un modèle tridimensionnel se déroule en plusieurs étapes selon le protocole suivant :

- **Définition du problème d'écoulement :**
  - Type de nappe : Nappe libre ;
  - Type de calcul : Transitoire ;
  - Tolérance sur l'erreur : Euclidien L2 intégrale (RMS) ;
  - Equation de transport : Convective.
- **Conditions initiales et aux limites, nappe du Würmien :**
  - Valeur initiale de charge : +163 m NGF ;
  - Charge imposée en amont : +168 m NGF ;
  - Charge imposée en aval : +159 m NGF ;
  - Gradient hydraulique : 0,4 % ;
  - Température initiale de la nappe : 17 °C.
  - Débit moyen du puits de pompage des ateliers AS : 11 m<sup>3</sup>/h
- **Définition des caractéristiques hydrodynamiques et thermiques :**

Les paramètres hydrodynamiques et thermiques sont implémentés de la manière suivante :

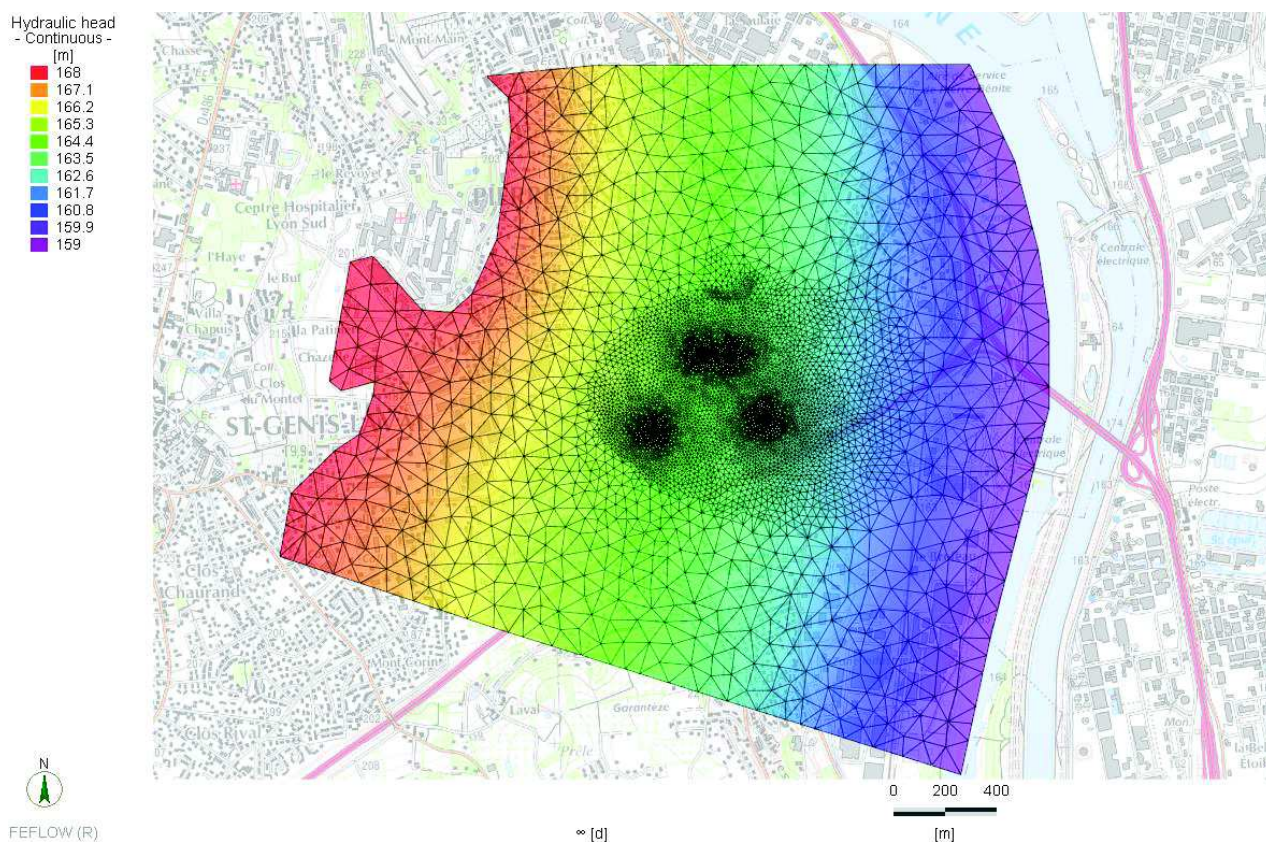
(24) Tableau de répartition des paramètres hydrothermiques des couches géologiques

Formation	Perméabilité	Porosité de drainage	Porosité	Conductivité thermique	Capacité calorifique
Argile limoneuse	10 <sup>-6</sup> m/s	1%	20 %	2,0 W/m/K	2,5 MJ/m <sup>3</sup> /K
Alluvions fluvio-glaciaires	4.10 <sup>-4</sup> m/s	15%	15 %	2,0 W/m/K	2,0 MJ/m <sup>3</sup> /K
Argile compacte	10 <sup>-8</sup> m/s	1%	20 %	1,6 W/m/K	3,0 MJ/m <sup>3</sup> /K

- **Calage piézométrique du modèle :**



Le calage piézométrique du modèle est ensuite lancé jusqu'à stabilisation des isopièzes de la nappe :



(25) Calage piézométrique du modèle numérique FEFLOW

## 6.7 Résultats des modélisations

Pour rappel, le scénario d'exploitation géothermique défini sur la nappe du Würmien est le suivant :

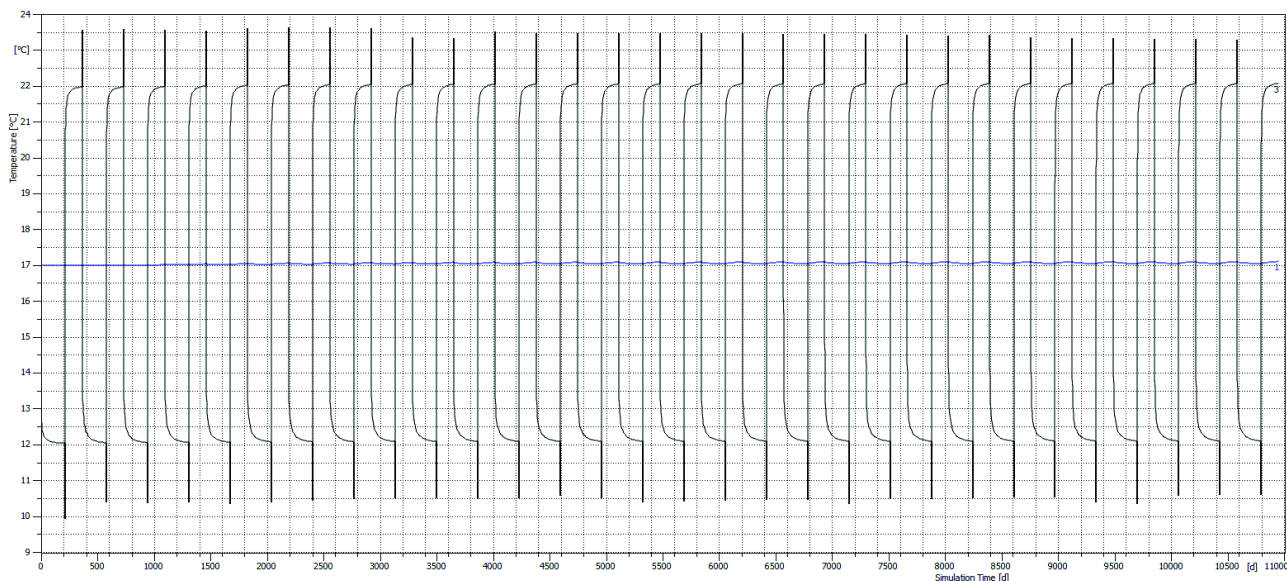
(26) Scénario de couverture énergétique

Mode	Débit sur nappe	Puissance d'appel	Energie annuelle	Puissance sous-sol	Energie sous-sol annuelle	Delta de température	Temps d'utilisation annuel
Chauffage	80 m³/h	580 kW (78% de couverture)	400 MWh/an	464 kW	320 MWh/an	-5 °C	5 mois
Refroidissement	80 m³/h	398 kW (42 % de couverture)	348 MWh/an (80 % couverture)		406 MWh/an	-5 °C	7 mois

Dans le cadre de cette étude, un triplet géothermique avec deux forages injecteurs a été modélisé. L'écartement minimal entre les forages de production et d'injection est de 110 m environ

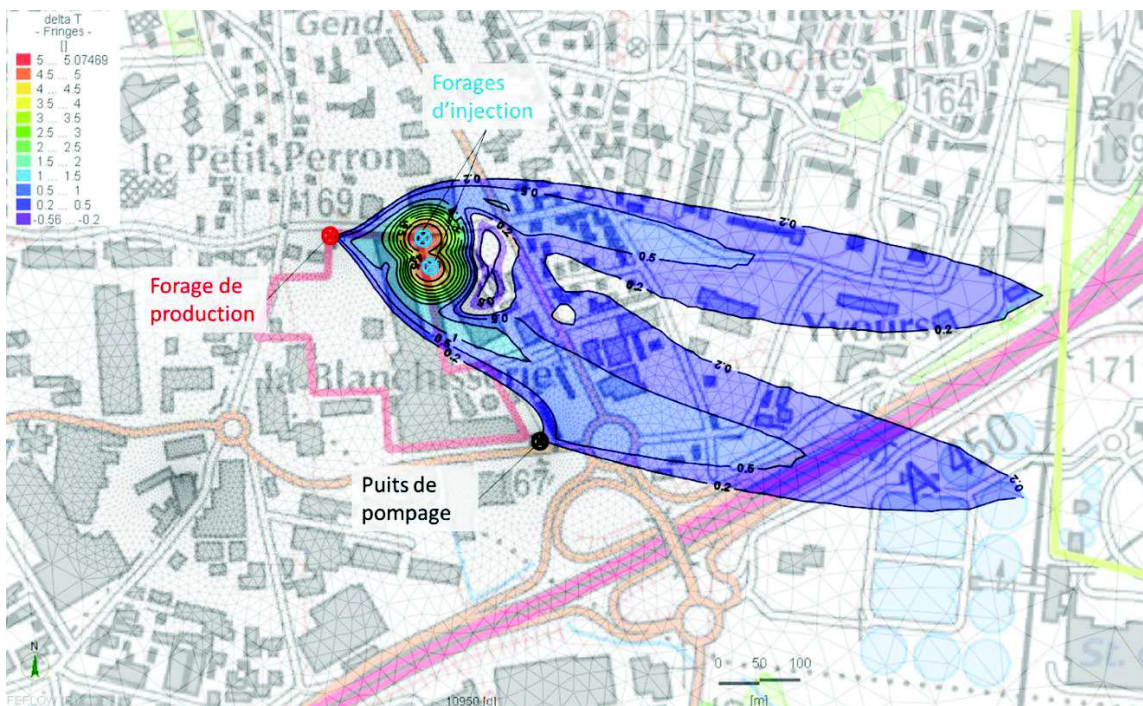
La modélisation montre la présence d'un **faible recyclage thermique** après 30 ans d'exploitation, d'environ **0,1°C**, ce qui est **négligeable pour une exploitation se voulant rester pérenne dans le**

**temps.** Le graphique de la température de l'eau au droit des forages permet d'apprécier les sinusoïdes de variations de la température de l'eau de nappe pendant la durée d'exploitation.



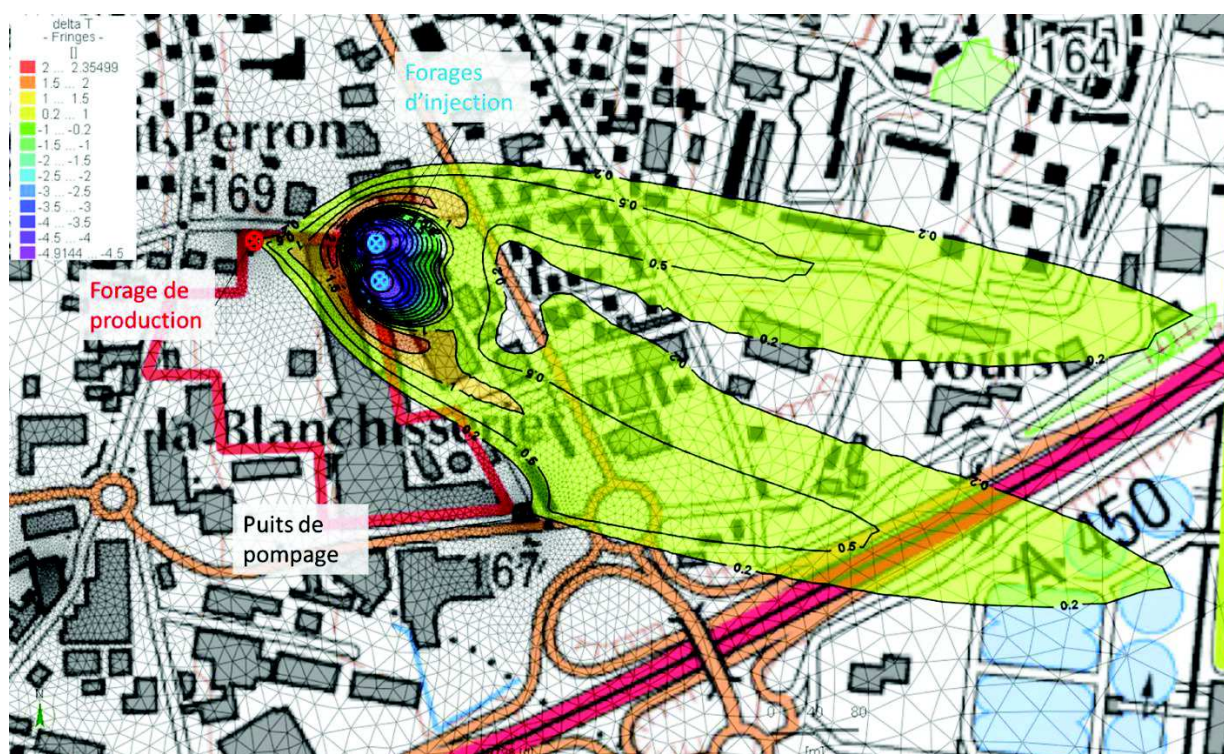
(27) Evolution de la température au droit des forages d'injection (bleu) et de production (noir)

**L'extension du panache thermique** du forage de rejet est relativement confinée, et **respecte la réglementation** de la minime importance (variation inférieure à 4°C à 200 m du projet). En effet, une variation de la température de la nappe de moins de 1°C est observée à 200 m du projet. Par ailleurs, le puits de pompage AS de l'usine subit une variation de température négligeable, inférieure à 0,2°C. Enfin, le champ de sonde du stade d'Irigny n'est pas impacté par le projet de géothermie.

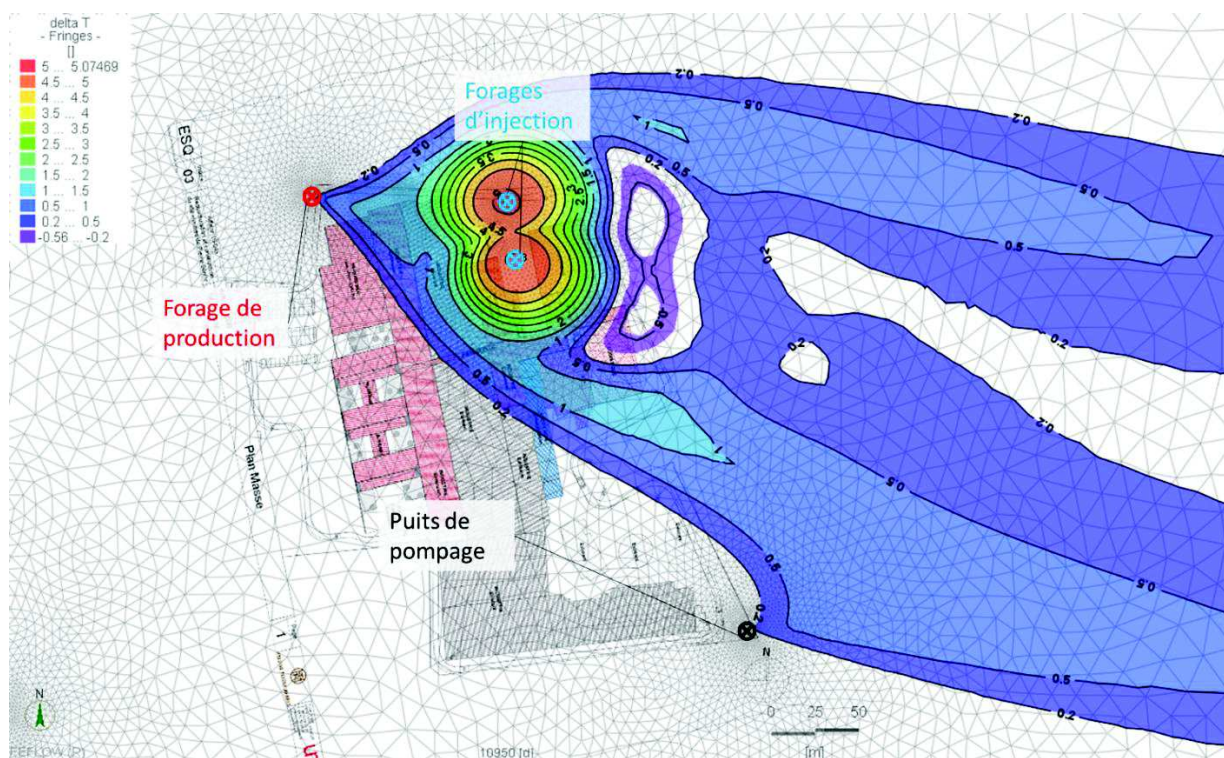


*(28) Extension du panache thermique après 30 ans d'exploitation – fin de la période de rafraîchissement*



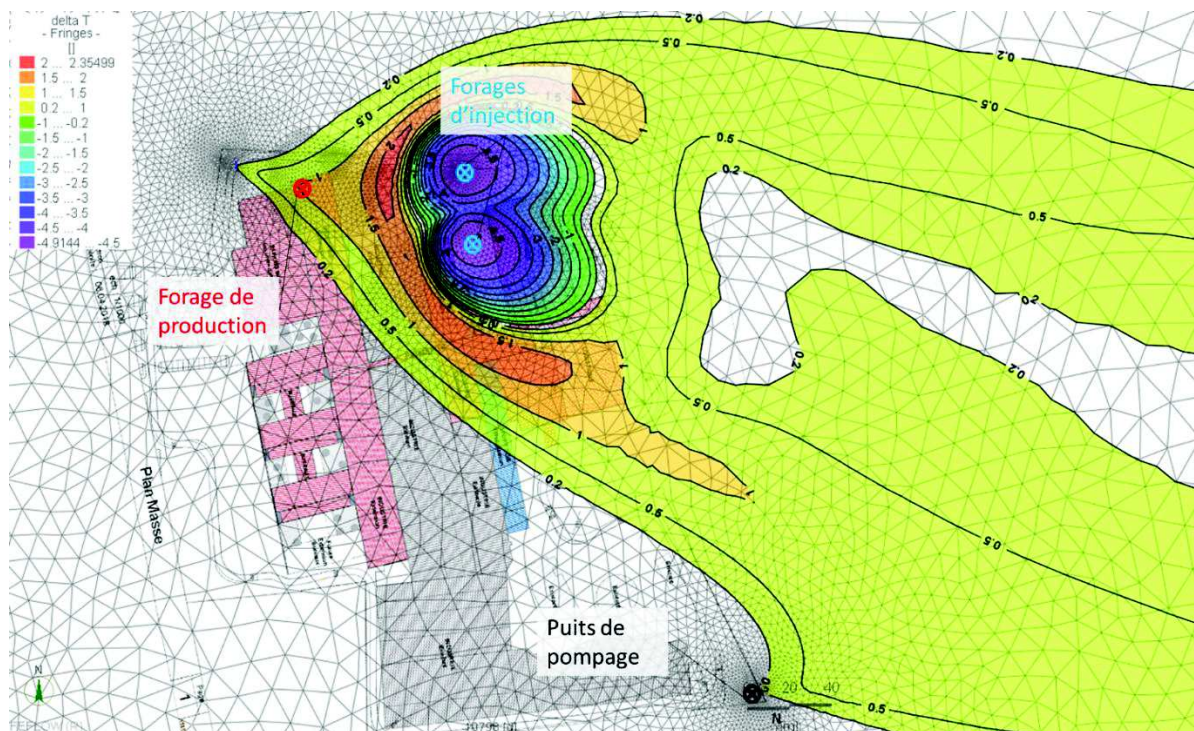


(29) Extension du panache thermique après 30 ans d'exploitation – fin de la période de chauffage.



(30) Extension du panache thermique après 30 ans d'exploitation sur le plan du projet – fin de la période de rafraichissement





(31) Extension du panache thermique après 30 ans d'exploitation sur le plan du projet – fin de la période de chauffage

**Ainsi, la mise en œuvre d'un triplet géothermique sur la nappe du Würmien avec un écartement de 110 m entre le producteur et les injecteurs semble permettre de satisfaire un débit de 80 m<sup>3</sup>/h et ainsi produire près de 400 MWh/an de chauffage et 350 MWh/an de rafraîchissement et ce de manière pérenne. Cette couverture énergétique par géothermie est plutôt élevée par rapport aux besoins annuels du projet (environ 90 % en chaud et 80% en froid) et permettra de réduire significativement l'achat d'énergie par rapport à une solution classique (chaudière gaz ou aérothermie par exemple).**

**Remarque :**

*Il est rappelé qu'il s'agit d'une première approche réalisée à partir d'un certain nombre d'hypothèses qui devront être affinées et validées lors des phases ultérieures de conception du projet.*

## 6.8 Impact du projet sur son environnement

Sur la base des résultats des modélisations hydrothermiques, le projet n'a pas d'impact sur les exploitations déclarées dans le secteur.



Par ailleurs, la variation de température de l'aquifère est inférieure à 4 °C à 200 m du projet après 30 ans d'exploitation, respectant ainsi les réglementations de la Géothermie de Minime Importance.

### 6.9 Possibilité d'implanter les forages sur site

La proposition d'implantation tient compte de plusieurs paramètres :

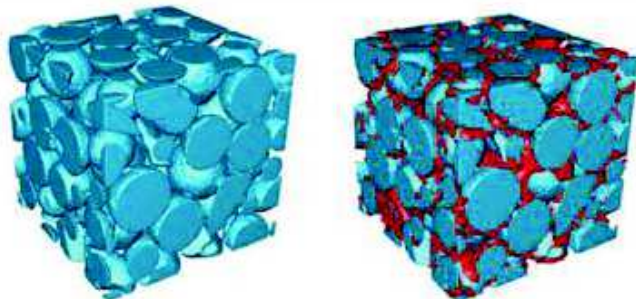
- *Le forage injecteur doit être situé en aval du forage producteur ;*
- *La distance entre les forages injecteurs et le forage producteur doit permettre d'éviter le recyclage thermique ;*
- *La distance entre le producteur et les injecteurs doit être optimisée afin de limiter le coût de raccordement entre les forages ;*
- *Les forages doivent être disposés de façon à faciliter leur raccordement (par exemple de part et d'autre du sous-sol, ce qui permet le passage facilité de tuyaux en plafond) ;*
- *Les forages doivent rester accessible par camion afin de réaliser les maintenances de l'exploitation.*

### 6.10 Facteur d'injectivité de la nappe

La capacité de réinjection de l'eau de nappe et sa variation dans le temps pour des ouvrages de géothermie est très peu connu de nos jours. En effet, il a été constaté sur de nombreux ouvrages profonds et pétroliers, que la capacité de réinjection de certains ouvrages était très limitée par rapport à leur productivité et pouvait également varier dans le temps durant l'exploitation. Plusieurs phénomènes pourraient expliquer ces problématiques de réinjection :

- **Le phénomène thermique** : pour une perméabilité intrinsèque du milieu donné, la conductivité hydraulique pour l'injection d'un fluide froid serait inférieure à celle de l'injection d'un fluide chaud.
- **Le phénomène hydrodynamique** : la capacité d'injection d'une nappe est très généralement dissymétrique par rapport à sa capacité de pompage et ce phénomène peut être amplifié par les caractéristiques des forages réalisés et de leurs pertes de charges quadratiques.
- **Le phénomène chimique** : le changement de température lié à l'extraction de la chaleur et les apports exogènes (corrosion, entrée d'oxygène, ...) peuvent provoquer la précipitation d'éléments chimiques qui auront tendance à colmater les pores de l'aquifère.
- **Le phénomène de transport de particules et de microbulles** : le transport de particules et/ou de microbulles va obstruer les canaux colmatables de petit diamètre, ce qui peut provoquer une perte d'injectivité très rapide et très importante.

- **Le phénomène de réagencement des grains sableux et argileux** : sous la pression de réinjection du fluide les grains sableux et argileux se réorganisent modifiant ainsi la porosité effective du réservoir et donc son injectivité.



(32) *Schéma de principe de colmatage de pores d'un aquifère par précipitation (BRGM)*

### 6.11 Pré-conclusion sur la faisabilité de la géothermie sur nappe

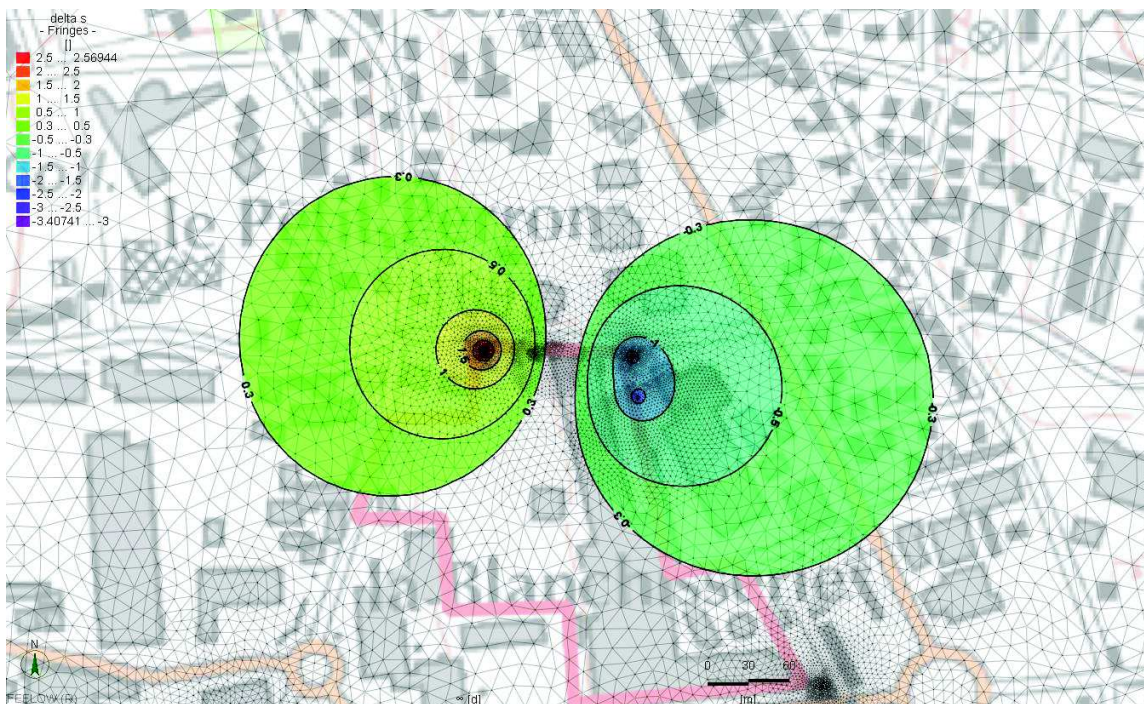
D'après ces éléments de modélisation, il semble que la mise en œuvre d'un dispositif de géothermie avec un écartement des forages de 110 m devrait permettre de satisfaire une grande partie des besoins de chauffage et de rafraîchissement du projet, à hauteur respectivement de 400 MWh et 350 MWh par an, soit 90 % et 80% de couverture, en respectant la réglementation de minime importance.

En effet, le recyclage thermique est estimé à environ 0,1 °C, assurant ainsi la pérennité thermique interne du triplet géothermique, et l'impact thermique de l'exploitation sur les avoisinants respecte la réglementation, puisqu'à 200 m la variation de la température de la nappe est estimée à moins de 1 °C.

**Remarque :**

*Il est important de noter que ces résultats de modélisation sont dépendants des conditions hydrauliques définies lors de la construction du modèle, et notamment du sens d'écoulement et du gradient hydraulique. Une simulation numérique définitive devra être réalisée avec le sens d'écoulement et le gradient hydraulique fixés après la phase de reconnaissance.*

Hydrauliquement, le projet n'aura pas d'impact sur les avoisinants, puisque pour le débit de pointe, le rabattement induit est inférieur à 30 cm à 200 m des forages, comme présenté sur la figure suivante de modélisation hydrodynamique.



(33) Résultats de la simulation hydrodynamique

La problématique de la réinjection reste cependant un point important qui devra être surveillé lors de la phase de reconnaissance. En effet, étant donné la faible profondeur de la surface piézométrique de la nappe, il existe un risque de mise en pression des forages d'injection, voire une problématique de remontée de nappe en période hydrogéologique défavorable.

Les forages devront être parfaitement réalisés afin de limiter les pertes de charges quadratiques qui pourraient restreindre le débit d'exploitation.

**Remarque :**

*Pour rappel, la mise en œuvre d'un projet de géothermie sur nappe nécessite de devoir valider les hypothèses retenues grâce à une phase de reconnaissance in-situ. Cette phase de reconnaissance permettra de valider les débits de pompage et d'injection envisageables sur cette nappe.*

## 6.12 Contraintes de mise en œuvre et d'exploitation d'un triplet sur nappe

### 6.12.1 Réinjection de l'eau pompée dans la même nappe

La réinjection de l'eau prélevée dans la même nappe nécessite quelques précautions d'usage, afin d'éviter le colmatage du forage de réinjection :

- *Limiter les risques de dépôts par un système de filtration et en évitant les processus chimiques ou bactériologiques favorables aux dépôts ;*
- *Ne pas oxygéner l'eau (vanne de maintien de pression) ;*
- *Prévoir un nettoyage régulier des forages.*

#### 6.12.2 Régulation de l'exploitation

Afin d'optimiser le fonctionnement et la durée de vie de l'installation, quelques préconisations de régulation doivent être prises en compte :

- *Le nombre de mises en marche-arrêt des pompes de forage doit être limité. Les démarrages trop fréquents entraînent une usure prématurée de la pompe mais aussi une dégradation du forage (ensablement, déstabilisation du massif filtrant) ;*
- *Le démarrage de la pompe doit être progressif (variateur de fréquence) afin d'éviter l'entraînement de fines particules et à long terme de l'ensablement du forage ;*
- *La régulation est basée sur une optimisation du delta-température afin de minimiser le plus possible le débit sur nappe ;*
- *La mise en place de filtres avant l'échangeur en fonction des caractéristiques physico-chimiques de l'eau doit être prévue ;*
- *La mise en place de capteurs de pression au droit des forages, afin d'éviter la montée en pression au droit des forages de réinjection, le dénoyage de l'aquifère (cas d'une nappe captive) et de la pompe immergée dans le forage de pompage ;*
- *La mise en place d'un débitmètre permettant de vérifier les volumes prélevés ;*
- *Le dispositif de géothermie ne devra pas induire de débits de pompage supérieurs au débit maximal admissible sur l'installation ;*
- *La température de réinjection devra être surveillée et ne devra pas dépasser une température de l'ordre de 25°C en été afin d'éviter de favoriser les phénomènes précipitations de certains minéraux ou le développement bactérien ;*
- *La température de l'eau en hiver ne devra pas descendre sous une température de l'ordre de 5°C afin d'éviter les phénomènes de précipitations de certains minéraux ;*
- *Suivre en continu les signaux de fonctionnement avec la mise en place de retour d'alerte et d'arrêt d'urgence :*
  - *Le débit de pompage et de rejet ;*
  - *La température entrée/sortie de l'échangeur à plaques ;*
  - *Les niveaux d'eau dans les forages ;*
  - *Les heures de mise en marche/arrêt de l'installation ;*
  - *La pression sur le réseau.*



### 6.12.3 Maintenance de l'installation

Une maintenance des forages et des installations de la boucle primaire doit être prévue. Elle porte sur le contrôle des paramètres de fonctionnement des pompes, le suivi des niveaux d'eau dans le forage, le nettoyage régulier des filtres, l'inspection des forages et les opérations de nettoyage des ouvrages.

**Il est conseillé au Maître d'Ouvrage de contractualiser avec une entreprise de forage géothermique spécialisée dans la maintenance et l'exploitation de ce type d'installation (voire avec un cabinet spécialisé en hydrogéologie), afin de planifier un protocole d'entretien annuel et un protocole de nettoyage et de régénération des ouvrages :**

■ *Un protocole d'entretien annuel préventif :*

- *Un suivi mensuel des paramètres de fonctionnement enregistrés dans la GTB et l'armoire de commande avec analyse et interprétation des données par un ingénieur hydrogéologue ;*
- *Un suivi mensuel visuel des équipements de la boucle géothermale primaire (chambre de forage, état des vannes, état de la tuyauterie, vérification du filtre, ...) ;*
- *Un nettoyage régulier des filtres et l'élaboration d'une fiche d'observation de l'historique de l'état de l'eau de forage ;*
- *Un prélèvement d'eau pour analyse physico-chimique et bactériologique en sortie de producteur afin de vérifier sa stabilité ionique (une à deux analyses la première année, à la fin de chaque cycle, puis fréquence à priori annuelle, à réviser à partir des résultats des précédentes analyses).*

■ *Un protocole de nettoyage et de régénération curatif (rythme de 3 à 5 ans) :*

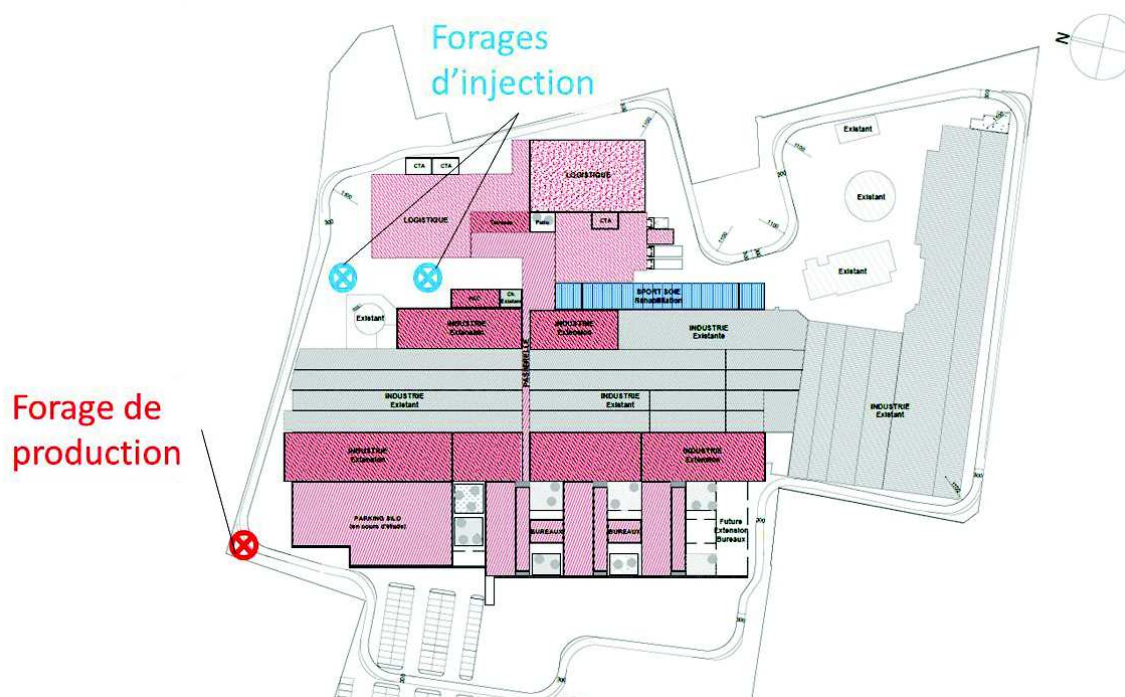
- *Nettoyage des équipements hydrauliques présents sur la boucle géothermale avec notamment une javellisation ;*
- *Inspection visuel (caméra vidéo immergée) des ouvrages afin de vérifier l'état des crépines et la turbidité de l'eau du forage ;*
- *Brossage des crépines des forages ;*
- *Nettoyage par air-lift et acidification pour régénérer le forage suivis d'essais de pompage de caractérisation ;*
- *Le cas échéant, remplacement de certains équipements hydrauliques (pompe immergée, filtres, compteurs, ...) sur une périodicité de 5 à 10 ans.*

Le programme proposé ci-dessus sera à ajuster en fonction des conditions réelles d'exploitation et en fonction des premières années de fonctionnement de l'installation. De plus, dans le cas où des développements bactériens apparaîtraient rapidement sur l'installation, il sera nécessaire de procéder à une analyse plus précise des causes avant de procéder à un quelconque nettoyage et remise en service de l'installation.

## 7 Description de l'installation géothermique sur nappe

### 7.1 Proposition d'implantation des forages

La modélisation numérique a permis de définir l'implantation des forages permettant d'éviter un recyclage thermique trop important au droit du producteur, et ceci pour une période de fonctionnement de 30 ans. L'écartement entre les forages producteur et injecteur, présenté sur le plan suivant, est d'environ 110 m.



(34) Proposition de positionnement des forages géothermiques (écartement de 110 m).

**L'implantation des forages n'est pas figée et pourra être définie lors des phases ultérieures du projet, notamment sur la base des plans définitifs. En tout état de cause, le(s) forage(s) injecteur(s) ne devra pas être implanté en sous-sol des bâtiments envisagés en raison de la faible hauteur d'injection disponible.**

## **7.2 Caractéristiques de l'installation à réaliser**

### **7.2.1 Caractéristiques des forages**

**L'Annexe 2** présente la coupe géologique et technique prévisionnelle des ouvrages d'eau captant la nappe du Würmien **sur la base de la mise en place d'une pompe immergée d'une capacité de 80 m<sup>3</sup>/h dans le forage producteur.**

Sous réserve des conclusions d'une étude de conception APS, les forages pourront être réalisés selon la méthodologie suivante, avec deux hypothèses sur la longueur des forages, 15 et 30 m, qui sera affinée à la suite des premières reconnaissances :

- *Foration benoto en Ø 800 mm jusqu'à 15 / 30 m de profondeur ;*
- *Pose d'un tubage acier Ø 600 mm jusqu'à 3 m de profondeur ;*
- *Pose d'une crépine INOX à fils enroulé (slot 1 mm) Ø 600 mm de 3 à 14 / 29 m de profondeur ;*
- *Pose d'un tube de fermeture de fond d'un mètre entre 14 et 15 m / 29 et 30 m de profondeur ;*
- *Mise en place d'un massif filtrant siliceux entre 2 et 15 m / 30 m de profondeur par circulation d'eau au travers d'une canne d'injection.*
- *Cimentation de l'annulaire par injection de ciment entre 0 et 3 m de profondeur.*

Dès la fin des travaux de forages, il sera nécessaire de réaliser les phases de nettoyage, de développements et de pompage/injection du réservoir, selon les étapes suivantes :

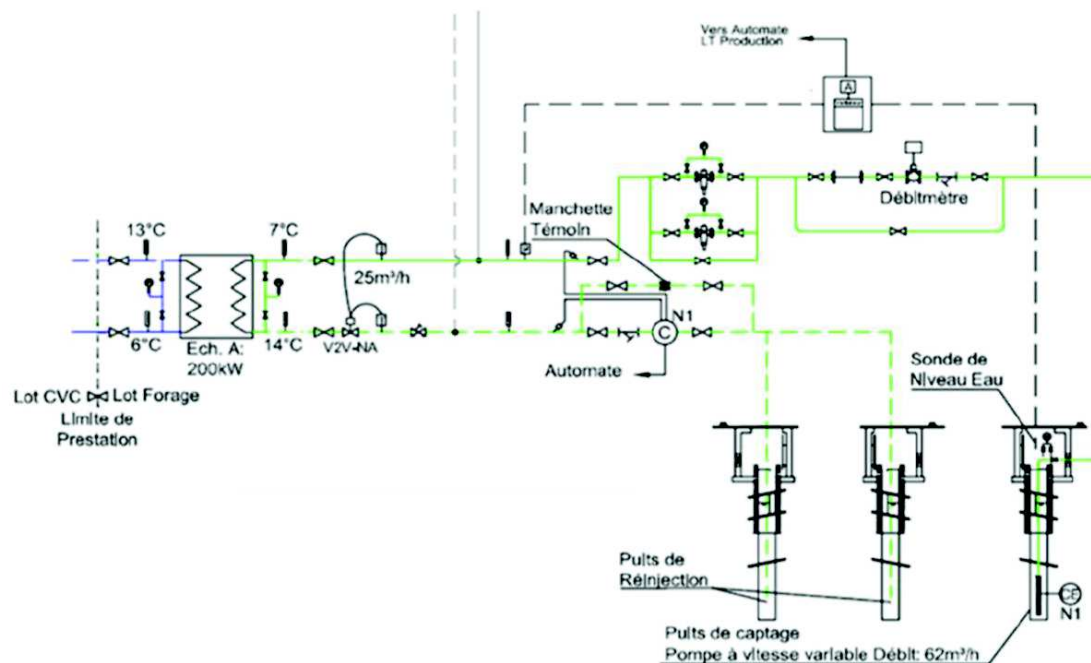
- *Nettoyage par air-lift double colonne jusqu'à obtention d'une eau claire ;*
- *Injection en deux passes de 200 kg de polyphosphates ou peroxyde d'hydrogène ;*
- *Nettoyage par air-lift double colonne jusqu'à obtention d'une eau claire après chaque passe ;*
- *Mise en place d'une pompe de forage immergée 6" ;*
- *Pompages de développement pendant 16 heures,*
- *Essai de pompage par paliers enchainés (4 paliers de 2h, avec dernier palier à au moins 80 m<sup>3</sup>/h) ;*
- *Pompage de longue durée de 24 heures avec suivi de la remontée ;*
- *Contrôles du forage (micromoulinet, vidéo, ...) ;*
- *Analyse physico-chimique de l'eau de nappe ;*
- *Essai de réinjection par palier de débits enchainés ;*
- *Essai de réinjection pendant 24 h ou plus.*

### 7.2.2 Caractéristiques techniques de la boucle géothermale

La boucle géothermale est présentée sur la figure suivante, et composée principalement :

- Des forages disposés dans des chambres enterrées. Les trappes de visite (environ 1,5 m de diamètre), sont situées à l'aplomb de la tête de forage et de l'échelle d'accès de façon à permettre les opérations de maintenance ;
- De l'équipement des forages notamment de pompes immergées avec variateurs de pression et tuyaux d'exhaure (pompage pour le forage producteur et rétrolavage pour les injecteurs) ;
- D'un local technique (environ 10-15 m<sup>2</sup>) comprenant des débitmètres, un réservoir vessie, différents filtres à optimiser en fonction de la qualité de l'eau de la nappe, des sondes de température et de pression ainsi qu'une armoire de commande.

**Les éléments constituant la boucle géothermale devront être soigneusement dimensionnés lors des phases ultérieures de conception du projet, afin de permettre un fonctionnement optimal et pérenne de l'installation.**



(35) Exemple d'un schéma de boucle géothermale avec limite du lot géothermie avant l'échangeur à plaques.





(36) Exemple d'un regard de forage de pompage géothermique

**Equipement spécifiques pour la géothermie en local :**



(37) Exemple d'équipement en local PAC pour la géothermie

**Remarque :**

Compte tenu des contraintes de réinjection et d'entretien des ouvrages, la Maitrise d'Ouvrage devra prendre en considération que les ouvrages devront être situés en extérieur et non en sous-sol. Le revêtement du tampon sera à adapter en fonction de sa localisation.

## 8 Assurance et Subventions

### 8.1 Assurances en termes de géothermie

Dans le cadre de la mise en œuvre d'une opération de géothermie, le Maître d'Ouvrage peut être couvert de deux manières :

- Soit, par l'obligation des entreprises et les bureaux d'études de posséder une assurance destinée à réparer tout dommage immobilier ou tout ensemble de dommages immobiliers causés à des tiers pour une période de 10 ans (conformément au décret 2016-835 du 24 juin 2016),
- Soit, par la souscription d'une assurance AQUAPAC pour les opérations de géothermie sur nappe qui permet de souscrire à une assurance lors des phases de reconnaissance (AQUAPAC Recherche) devant le risque d'échec et une assurance pour 10 ans d'exploitation (AQUAPAC pérennité) devant le risque de baisse de la productivité des forages.

### 8.2 Subvention de l'ADEME

Dans le cadre du dispositif « Fonds Chaleur » qui a été reconduit en 2018, l'ADEME accompagne les projets EnR thermiques les plus pertinents. Trois principes sont privilégiés :

- Réduction des consommations énergétiques ;
- Mutualisation des besoins (valoriser les énergies renouvelables et de récupération à proximité et les mettre en commun) ;
- Prioriser et optimiser le choix de l'énergie (favoriser les énergies de récupération et à défaut les énergies renouvelables, en favorisant les productions les plus proches géographiquement du site).

Avant de pouvoir prétendre au dépôt d'une demande de subvention, le Maître d'Ouvrage et le Maître d'œuvre devront vérifier que le projet respecte les conditions d'éligibilité à cette aide, à savoir :

(38) Critères d'éligibilité pour l'année 2018

Critères	Projet	Eligibilité
Production de chaud minimale > 50 MWh EnR/an	320 MWh EnR/an	Eligible
COP nominal de la PAC > 3,7 ou 4	> 4	Eligible
La durée minimale en puissance nominale est de 1 000 h/an	A définir	A vérifier
Le projet doit respecter la réglementation en vigueur	Oui	Eligible
Le projet doit respecter les normes sur les forages	Oui	Eligible
Le projet doit faire l'objet d'une instrumentation	A définir	Eligible
L'installation doit être mise en service avant le 31/12/2019	A définir	A vérifier

Critères	Projet	Eligibilité
Le projet doit être présenté en phase APD ou plus	A définir	A vérifier
L'OS travaux devra être passé après le dépôt du dossier ADEME	A définir	A vérifier

Le calcul du montant d'aide **indicatif** proposé par l'ADEME est basé sur le tableau suivant :

*(39) Montant d'aide indicatif proposé par l'ADEME selon la solution envisagée.*

Technologie	Aide en €/MWh EnR/an (sur 20 ans)
Pompe à chaleur sur eau de nappe	10 €/MWh EnR + 200 €/ml de puits foré
Pompe à chaleur sur champ de sondes	40
Pompe à chaleur sur eaux usées	20
Pompe à chaleur sur eau de mer	10

Ainsi le projet de mise en place d'un système géothermique **pourrait** se voir attribuer une subvention de l'ADEME :

■ Pour un système de géothermie sur nappe dimensionné dans cette étude :

- 3 forages de 15 m de profondeur :

$$10 \times 20 \times 320 + (200 \times 15 \times 3) = 73\,000 \text{ €}$$

- 3 forages de 30 m de profondeur :

$$10 \times 20 \times 320 + (200 \times 30 \times 3) = 82\,000 \text{ €}$$

L'ADEME calculera le montant de la subvention en fonction des paramètres du projet, ainsi que des subventions acquises par d'autres moyens.

## 9 Evaluation de l'enveloppe budgétaire d'investissement

A partir des résultats présentés, il est possible de définir une première enveloppe budgétaire pour la réalisation d'une installation de géothermie très basse énergie. L'estimation comprend la réalisation des forages, leur équipement et le raccordement au local technique avec le dispositif de filtration et de régulation (**hors pompe à chaleur, circulateur et échangeur à plaques**).

(40) *Evaluation des coûts d'investissement pour la solution proposée*

Désignation	3 forages de 15m / 30 m
<b>Résultat énergétique</b>	
Puissance couverte chaud/froid	580 kW / 398 kW
Energie couverte chaud/froid	400 MWh/an / 348 MWh/an 90% / 80%
<b>Résultat financier</b>	
<b>Phase de reconnaissance (€ HT)</b>	
Phase de reconnaissance (y compris rebouchage)	75 000 / 85 000
Assurance AQUAPAC recherche (5%)	4 000
<b>TOTAL Reconnaissance</b>	<b>79 000 / 89 000 € HT</b>
<b>Phase définitive (€ HT)</b>	
Travaux de forages définitifs (si enchainement avec la phase de reconnaissance)	110 000 / 160 000
Equipement des forages	60 000 / 70 000
Raccordement des forages	50 000 / 60 000
Equipement en local PAC	30 000
Assurance AQUAPAC Pérennité (4% du plafond)	9 000
<b>TOTAL Phase définitive</b>	<b>259 000 / 329 000 € HT</b>
<b>TOTAL Investissement</b>	<b>340 000 / 420 000 € HT</b>
Complément MOE géothermique (3ème forage)	5 000 € HT
Subvention ADEME possible	73 000 / 82 000 € HT

**Remarque :**

*L'implantation exacte des ouvrages et du local géothermique n'est pas connue. Aussi, il s'agit d'une première estimation financière qui devra être validée lors des études de conception.*

*La réalisation d'un deuxième forage injecteur dépendra de la capacité d'injection de l'aquifère, qui sera déterminée par la phase de reconnaissance in-situ. Dans le cas où un seul injecteur s'avérerait suffisant, la moins-value sur l'investissement total pourrait atteindre environ 75 k€.*



## 10 Conclusions

Dans le cadre du projet de construction et de reconstruction du site industriel de « la blanchisserie » à Pierre-Bénite (69), la société Immobilière Textile Honoré, Maître d'Ouvrage de l'opération, souhaite étudier la possibilité de recourir à une solution de géothermie sur nappe pour satisfaire une partie de ses besoins de chauffage et de rafraîchissement, avec l'objectif de réaliser un projet performant du point de vue énergétique.

D'après le bureau d'étude thermique CETRALP, les besoins énergétiques du projet estimés sont les suivants :

*(41) Conclusion : Estimation des besoins énergétiques*

Installation	Puissance	Energie annuelle	Delta de température	Débit sur nappe
Total	735 kW	492 100 kWh/an	-5°C	101 m³/h
Total	945 kW	482 710 kWh/an	-5°C	190 m³/h

Dans le cas de ce projet, une solution d'exploitation géothermique a été pré-dimensionnée sur la base d'un scénario de couverture énergétique sur l'aquifère du Würmien sollicité à 80 m³/h ;

*(42) Conclusion : Scénario de couverture énergétique*

Mode	Débit sur nappe	Puissance d'appel	Energie annuelle	Puissance sous-sol	Energie sous-sol annuelle	Delta de température	Temps d'utilisation annuel
Chauffage	80 m³/h	580 kW (78% de couverture)	400 MWh/an (90 % couverture)	464 kW	320 MWh/an	-5 °C	5 mois
Refroidissement	80 m³/h	400 kW (42 % de couverture)	350 MWh/an (80 % couverture)		406 MWh/an	+5 °C	7 mois

***L'approche des besoins énergétiques du projet et de la couverture géothermique potentielle est tirée de l'expérience de StratéGéO dans ce type d'installation et devra être validée lors des phases ultérieures de conception.***

D'après l'approche bibliographique réalisée sur la nappe du Würmien, il semble que le débit probablement disponible s'élève à environ 80 m³/h en pompage. Toutefois, le niveau de la nappe étant situé à faible profondeur, la réinjection de l'eau pourra s'avérer difficile, nécessitant la mise en place de deux forages injecteurs.

D'après les éléments de modélisation réalisés, il semble que la mise en œuvre d'un dispositif de géothermie devrait permettre de satisfaire une grande partie des besoins du projet, à hauteur d'environ

400 MWh par an en chauffage et 350 MWh par an en rafraîchissement, soit respectivement 90 % et 80% de couverture, en respectant la réglementation de minime importance.

En effet, le recyclage thermique est estimé à environ 0,1 °C au maximum avec un écartement des forages de 110 m, assurant ainsi la pérennité thermique interne du triplet géothermique, et l'impact thermique de l'exploitation sur les avoisinants respecte la réglementation, puisqu'à 200 m la variation de la température de la nappe est estimée inférieure à 1°C.

**Remarque :**

*Il est important de noter que ces résultats de modélisation sont dépendants des conditions hydrauliques définies lors de la construction du modèle, et notamment du sens d'écoulement et du gradient hydraulique. Une simulation numérique définitive devra être réalisée avec le sens d'écoulement et le gradient hydraulique fixés après la phase de reconnaissance.*

Hydrauliquement, le projet n'aura pas d'impact sur les avoisinants, puisque pour le débit de pointe, le rabattement induit est inférieur à 30 cm à 200 m des forages.

La problématique de la réinjection reste cependant un point important qui devra être surveillé lors de la phase de reconnaissance. **En effet, il existe un risque de mise en pression des forages d'injection car la surface piézométrique de la nappe est située à faible profondeur, notamment dans le cas de remontées de nappe naturelles en période de Hautes Eaux.**

***Il conviendra de s'assurer que la réinjection de l'eau de nappe au droit des ouvrages injecteurs ne provoque pas de désordres sur les bâtiments du site industriel, notamment dans le cas de remontées de nappe naturelles en période de Hautes Eaux. Un suivi du niveau piézométrique de la nappe devra donc être mis en place afin de vérifier l'influence du dispositif et de prévenir cette problématique.***

***Ainsi, la mise en œuvre d'un triplet géothermique sur la nappe du Würmien avec un écartement des forages de 110 m semble permettre de satisfaire un débit de 80 m<sup>3</sup>/h et ainsi produire près de 400 MWh/an de chauffage et 350 MWh/an de rafraîchissement et ce de manière pérenne. Cette couverture énergétique par géothermie est plutôt élevée par rapport aux besoins annuels du projet (environ 90 % en chaud et 80% en froid) et permettra de réduire significativement l'achat d'énergie par rapport à une solution classique de chaudière gaz.***

**Remarque :**

*Pour rappel, la mise en œuvre d'un projet de géothermie sur nappe nécessite de devoir valider les hypothèses retenues grâce à une phase de reconnaissance in-situ. Cette phase de reconnaissance permettra de valider les débits de pompage et d'injection envisageables sur cette nappe.*

Du point de vue réglementaire, le projet se situe en zone orange et est donc soumis à déclaration avec avis d'expert. Aussi, au moment de la télédéclaration, il sera nécessaire de mandater un bureau d'étude expert nommé par le Ministère (tel que StratéGéO Conseil) pour obtenir un avis favorable au projet.

Du point de vue financier, il a été possible d'estimer les enveloppes budgétaires du projet au stade APS en prenant en compte les possibles aléas de raccordement des forages. L'estimation comprend la réalisation des forages, leur équipement et le raccordement au local technique avec le dispositif de filtration et de régulation (**hors pompe à chaleur, circulateur et échangeur à plaques**).

*(43) Evaluation des coûts d'investissement pour les solutions proposées*

Désignation	3 forages de 15m / 30 m
<b>Résultat énergétique</b>	
Puissance couverte chaud/froid	580 kW / 398 kW
Energie couverte chaud/froid	400 MWh/an / 348 MWh/an 90% / 80%
<b>Résultat financier</b>	
<b>Phase de reconnaissance (€ HT)</b>	
Phase de reconnaissance (y compris rebouchage)	75 000 / 85 000
Assurance AQUAPAC recherche (5%)	4 000
<b>TOTAL Reconnaissance</b>	<b>79 000 / 89 000 € HT</b>
<b>Phase définitive (€ HT)</b>	
Travaux de forages définitifs (si enchainement avec la phase de reconnaissance)	110 000 / 160 000
Equipement des forages	60 000 / 70 000
Raccordement des forages	50 000 / 60 000
Equipement en local PAC	30 000
Assurance AQUAPAC Pérennité (4% du plafond)	9 000
<b>TOTAL Phase définitive</b>	<b>259 000 / 329 000 € HT</b>
<b>TOTAL Investissement</b>	<b>340 000 / 420 000 € HT</b>
Complément MOE géothermique (3ème forage)	5 000 € HT
Subvention ADEME possible	73 000 / 82 000 € HT

**Remarque :**

*L'implantation exacte des ouvrages et du local géothermique n'est pas connue. Aussi, il s'agit d'une première estimation financière qui devra être validée lors des études de conception ultérieures (notamment pour les coûts de raccordement et d'équipement).*

***Il est recommandé d'effectuer un sondage destructif préalable jusqu'à 30 m de profondeur afin de lever l'incertitude concernant la lithologie.***

***La réalisation d'un deuxième forage injecteur dépendra de la capacité d'injection de l'aquifère, qui sera déterminée par la phase de reconnaissance in-situ. Dans le cas où un seul injecteur s'avérerait suffisant, la moins-value sur l'investissement total pourrait atteindre environ 75 k€.***

***Enfin, pour rappel, cette étude de pré faisabilité est basée sur des données transmises au stade actuel du projet. Les hypothèses présentées devront être validées lors des phases ultérieures de conception.***



## ANNEXE 1 : CLASSES D'ALTERATION ET VALEURS SEUIL DU SEQ RELATIF A L'USAGE ENERGIE

### 2.3. USAGE ENERGIE






L'eau souterraine est parfois utilisée à des fins énergétiques pour le chauffage (pompes à chaleur ou géothermie) ou pour la climatisation. L'utilisation géothermique de l'eau est de nature très ponctuelle par rapport à l'utilisation pour le fonctionnement de pompes à chaleur ou de climatisation. Les nappes alluviales, en raison de leur accessibilité, sont fréquemment sollicitées en site urbain, pour ce type d'usage. Pour l'usage énergie, il a donc été décidé de ne retenir que ces deux derniers aspects (pompes à chaleur et climatisation).

#### Les différentes classes d'aptitude de l'eau pour l'usage énergie


Classe	Aptitude pour satisfaire l'usage
Bleu 	Très bonne
Vert 	Bonne
Jaune 	Passable
Orange 	Mauvaise
Rouge 	Inapte à satisfaire l'usage

#### Les altérations

Trois altérations décrivent l'usage de l'eau souterraine à des fins énergétiques : la température, la corrosion et la formation de dépôts. Les deux dernières altérations sont identiques à celles décrivant l'usage industrie. Le lien entre les différentes classes d'aptitude de l'usage exprimées ci-dessus et les classes de qualité de chacune de ces trois altérations est le suivant :

Classe	Climatisation / pompes à chaleur	Corrosion	Formation de dépôts
Bleu 	favorable à l'usage énergétique considéré	absence de corrosion	pas de risques de dépôts importants
Vert 	permet l'usage énergétique considéré	corrosion faible	peu de risques de dépôts
Jaune 	usage délicat pour raisons techniques ou économiques	corrosion modérée	risques de dépôts
Orange 	(1)	corrosion moyenne	(1)
Rouge 	(1)	corrosion forte	dépôts très importants

(1) classe non définie.

Le motif  indique dans les tableaux ci-après que le paramètre ne décrit pas la (ou les) classe(s) d'aptitude à l'usage

### Altération Température - Usage Climatisation

Les valeurs seuils des différents états dépendent des objectifs poursuivis en matière de climatisation. Les valeurs seuils proposées le sont sur la base d'une climatisation de locaux à usage d'habitation.

Paramètre	Unité	Bleu	Vert	Jaune
Température	°C	> 8 et ≤ 12	> 12 et ≤ 15	≤ 8 ou > 15

Des températures inférieures à 8°C peuvent occasionner des problèmes de dysfonctionnements au niveau des installations (problèmes de condensation par exemple).

### Altération Température - Usage Pompes à chaleur

Paramètre	Unité	Bleu	Vert	Jaune
Température	°C	> 15 et ≤ 60	> 8 et ≤ 15	≤ 8 ou > 60

Des températures inférieures à 8°C peuvent occasionner des problèmes de dysfonctionnements au niveau des installations (problèmes de condensation par exemple).

### Altération Corrosion

Paramètres	Unités	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
CO <sub>2</sub> dissous	mg/l	50		120	200	
O <sub>2</sub> dissous	mg/l	absence ou > 8	> 0 et ≤ 0.1		> 0.1 et ≤ 4	> 4 et ≤ 8
Salinité*	g/l NaCl	0.5		1.5	3	
Conductivité*	µS/cm	1300		3000	6000	
pH		> 9.8	> 7 et ≤ 9.8	≥ 6 et ≤ 7		< 6
Chlorures*	mg/l	150		400	1000	
Sulfates*	mg/l	250		500	1500	
Ferro-bactéries		absence				présence
Bactéries sulfato-réductrices	N/ml	absence	10		100	
Sulfures	mg/l HS <sup>-</sup>	0.1		8	50	
Eh (potentiel d'oxydoréduction)	mV	≤ -600 ou > 0		> -600 et ≤ -500	> -500 et ≤ -400	> -400 et ≤ 0

\* au moins l'un des quatre paramètres doit être mesuré. Le choix pourra être effectué en fonction des problématiques locales.

### Altération Formation de dépôts

Paramètres	Unités	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
<b>pH</b>		<b>5.00</b>				
<b>Eh - selon la valeur du pH (1)</b>						
pH ≤ 3.5	mV	<b>1500</b>				
3.5 < pH ≤ 9.6		<b>(1)</b>				
pH > 9.6		<b>- 800</b>				
O <sub>2</sub> dissous	mg/l	<b>0.10</b>		5.5		
Ferro-bactéries		<b>absence</b>				
<b>Indice saturation - selon la valeur du TAC (2)</b>						
TAC < 10°F		<b>0.2</b>		2		
10°F < TAC ≤ 25°F		<b>0.2</b>		1		
TAC > 25°F		<b>0.2</b>		0.5		

(1) Potentiel d'oxydo-réduction Eh = 1330 - 166 pH

(2) Indice saturation = pH<sub>s</sub>-pH. Le pH<sub>s</sub> est le pH d'équilibre ou de saturation après essai au marbre

*L'ensemble des valeurs seuils proposées provient d'avis d'experts basés sur la thermodynamique des équilibres électrochimiques et/ou la bibliographie jugée comme faisant référence en ce domaine. La justification des valeurs des seuils et les références bibliographiques sont données en annexe.*

## ANNEXE 2 : COUPE GEOLOGIQUE ET TECHNIQUE PREVISIONNELLE DES FORAGES A REALISER

