



Projet de mise en œuvre d'une solution de géothermie assistée par Pompe à Chaleur pour un Data Center à Pacy-sur-Eure (27)

Assistance à Maîtrise d'Ouvrage pour la mise en œuvre d'une étude de faisabilité géothermique

ÉTUDE DE PERTINENCE GEOTHERMIQUE TECHNICO-ECONOMIQUE



R-2023-03-09-v1

AVRIL 2023

SOMMAIRE

A. CADRE ET OBJECTIF DE LA MISSION	6
A.1. CADRE DE LA MISSION.....	6
A.2. OBJECTIF DE LA MISSION	7
A.2.1. <i>Les fondements</i>	7
A.2.2. <i>Le cadrage</i>	7
A.2.3. <i>Les paramètres déterminants</i>	7
A.2.4. <i>Du bon dimensionnement des ouvrages souterrains</i>	8
A.2.5. <i>Du bon respect des réglementations</i>	9
A.2.6. <i>Deux configurations étudiées</i>	9
B. CONTEXTE NATUREL.....	11
B.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET HYDROGRAPHIQUE	11
B.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE.....	13
B.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE	17
B.3.1. <i>Piézométrie de la nappe de la Craie</i>	17
B.3.2. <i>Productivité de la nappe de la Craie</i>	18
B.3.3. <i>Qualité de l'eau souterraine</i>	19
C. ÉLÉMENTS D'EXPLOITATIONS LOCALES DES NAPPES	23
C.1. OUVRAGES A USAGE AGRICOLE	23
C.2. OUVRAGES A USAGE INDUSTRIEL.....	23
C.3. OUVRAGE A USAGE D'EAU POTABLE	23
D. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET REGLEMENTAIRE	24
D.1. CODE MINIER DE MINIME IMPORTANCE	25
D.2. ÉLOIGNEMENT DES SOURCES DE POLLUTION OU AMENAGEMENTS EXISTANTS	27
E. APPROCHE TECHNICO-ECONOMIQUE.....	28
E.1. BESOINS THERMIQUES ET SCENARIOS ENVISAGES	28
E.2. ADEQUATION BESOINS/RESSOURCE ET APPROCHE DE DIMENSIONNEMENT.....	29
E.2.1. <i>Adéquation besoins/ressource</i>	29
E.2.2. <i>Dimensionnement du forage d'essai</i>	36
E.2.3. <i>Implantation prévisionnelle du multiplet de forages</i>	36
E.3. APPROCHE BUDGETAIRE D'UNE ETUDE DE FAISABILITE SUR NAPPE	37
E.4. RAPPEL DES AIDES FINANCIERES PUBLIQUES ET DES CRITERES D'ELIGIBILITE.....	38
E.5. APPROCHE ECONOMIQUE GLOBALE DU COUT D'UNE ETUDE DE FAISABILITE GEOTHERMIQUE ET DU COUT DU DEPLOIEMENT DU PROJET	40
F. AVIS DE PERTINENCE GEOTHERMIQUE.....	42
F.1. AVIS DE PERTINENCE.....	42
F.2. PROPOSITION D'IMPLANTATION DES FORAGES TESTS	42
G. CONCLUSIONS ET PRECONISATIONS.....	43

FIGURES

Figure 1 : Synoptique de la pertinence d'un projet géothermique	10
Figure 2 : Plan de localisation général sur fond de carte topographique IGN au 1/25000	12
Figure 3 : Extrait de la légende de la carte géologique d'Evreux au 1/50 000 (BRGM).....	15
Figure 4 : Localisation du projet sur un extrait de la carte géologique d'Evreux au 1/50 000 (Source : BRGM).....	16
Figure 5 : Carte des Basses Eaux de 2006 de la nappe de la Craie (Source : SIGES Seine Normandie).....	20
Figure 6 : Carte des Hautes Eaux de 2001 de la nappe de la Craie (Source : SIGES Seine Normandie).....	21
Figure 7 : Évolution de l'altitude piézométrique de la nappe de la Craie à Chaignes dans l'ouvrage BSS000LERX de 1968 à 2022 (Source : ADES)	22
Figure 8 : Évolution de l'altitude piézométrique de la nappe de la Craie à Cierrey dans l'ouvrage BSS000LDJZ de 2001 à 2021 (Source : ADES).....	22
Figure 9 : Extrait de la carte des zones réglementaires de géothermie de minime importance pour les échangeurs ouverts (Géothermies.fr)	25
Figure 10 : Schéma de principe du fonctionnement idéal de l'installation du Data Center de Pacy-sur-Eure	28
Figure 11 : Délimitation de l'emprise au sol du modèle.....	29
Figure 12 : Maillage triangulaire irrégulier généré par le logiciel FEFLOW	30
Figure 13 : Représentation des différents horizons géologiques sur le modèle 3D	31
Figure 14 : Piézométrie de calage modélisée et conditions aux limites en amont et en aval.....	32
Figure 15 : Propagation du panache thermique après 30 ans d'exploitation	35
Figure 16 : Évolution de la température sur toute la hauteur du modèle à 200 m en aval des forages	35

TABLEAUX

Tableau 1 : Coupe géologique prévisionnelle au droit du projet du Data Center de Pacy-sur-Eure	14
Tableau 2 : Récapitulatif des informations de productivité collectées dans des ouvrages de la BSS	18
Tableau 3 : Récapitulatif des contextes environnemental et réglementaire au droit du projet	24
Tableau 4 : Régimes d'application des installations géothermiques de minime importance	26
Tableau 5 : Approche technique de fonctionnement proposée par Dalkia	28
Tableau 6 : Altitude des formations géologiques modélisées sous FEFLOW	30
Tableau 7 : Synthèse du maillage généré par le logiciel FEFLOW pour le modèle du projet.....	31
Tableau 8 : Paramètres hydrodynamiques et thermiques retenus pour la modélisation	32
Tableau 9 : Approche économique globale pour le coût d'une installation géothermique	41
Tableau 10 : Avis de pertinence pour le procédé sur nappe pour le projet	42

ANNEXES

ANNEXE 1 : Extrait du Plan Cadastral de Pacy-sur-Eure où se situe le projet

ANNEXE 2 : Coupe géologique de l'ouvrage BSS003YWGA

ANNEXE 3 : Coupe géologique de l'ouvrage BSS000LDJN

ANNEXE 4 : Coupe géologique de l'ouvrage BSS000MSLT

ANNEXE 5 : Proposition de plan d'implantation prévisionnelle du multiplet de forages sur nappe

A. CADRE ET OBJECTIF DE LA MISSION

A.1. CADRE DE LA MISSION

Dans le cadre d'un projet de rénovation des installations thermiques d'un Data Center à Pacy-sur-Eure (27), DALKIA, exploitant de l'installation, souhaite étudier, pour le compte de la Maîtrise d'Ouvrage, la faisabilité de mise en œuvre d'une solution géothermique assistée par Pompe À Chaleur (PAC) sur nappe ou sur sondes verticales.

Dans ce contexte, l'exploitant DALKIA a demandé à EGEE DEVELOPPEMENT, bureau d'études sous-sol spécialisé notamment en géothermie, de lui remettre une proposition technique et financière¹ afin de mettre en œuvre une première étape qui devra permettre de valider ou non la pertinence du projet.

Afin de répondre à la demande de la Maîtrise d'Ouvrage, et d'après notre expérience, nous avons proposé de mettre en œuvre une étude de pertinence, étude bibliographique sans travaux. À ce stade du projet, les besoins en rafraîchissement du projet sont estimés à environ 2 x 1 300 kW. Dalkia souhaite que la solution à privilégier soit un montage couvrant la totalité des besoins en géocooling.

Au regard de cette estimation et d'après notre expérience, l'étude de faisabilité devra s'orienter exclusivement sur le procédé sur nappe. En effet, le procédé sur sondes s'avérera très onéreux et nécessitera une emprise foncière conséquente.

Afin de savoir si la géothermie pourrait répondre entièrement ou partiellement aux besoins thermiques des bâtiments, une étude de pertinence technico-économique se révèle indispensable.

Afin de répondre aux attentes de la Maîtrise d'Ouvrage et afin de répondre d'obtenir une aide financière de l'ADEME au titre du Fonds Chaleur, notre proposition ne s'est pas limitée à la simple étude de pertinence mais est allée jusqu'à la mise en œuvre d'une étude de faisabilité conforme au cahier des charges de l'ADEME.

Ainsi, notre proposition technique et financière s'est décomposée selon les étapes successives suivantes :

- **Étape 1** : Étude de pertinence géothermique technico-économique ;
- **Étape 2** : Étude de faisabilité géothermique.

Le présent rapport expose les résultats de l'étape 1.

¹ Proposition technique et financière EGEE Développement PR2209-0243

A.2. OBJECTIF DE LA MISSION

A.2.1. Les fondements

Même s'ils nécessitent des investissements plus importants que pour les traditionnelles utilisations d'énergies fossiles, le recours à la géothermie est un mode de fonctionnement économiquement très intéressant, indépendant des conditions climatiques. Selon le procédé mis en œuvre, l'économie d'exploitation en chauffage peut en effet atteindre 60 % du coût de l'énergie primaire de référence qu'est le gaz.

Dans ce cadre, faire appel au potentiel géothermique revêt un intérêt primordial, non seulement en terme économique, mais aussi dans le respect des politiques de protection de l'environnement engagées tant au niveau de l'État qu'à ceux des Collectivités territoriales : diminution des consommations d'énergies primaires fossiles et diminution de l'émission des gaz à effet de serre.

A.2.2. Le cadrage

L'analyse du potentiel d'utilisation de la géothermie doit tenir compte simultanément de :

- La **multiplicité des procédés** d'exploitation des ressources du sous-sol par géothermie
- La **nature** même des **besoins** : production pour le chauffage et niveau de température
- La diversité des modes d'exploitation
- La situation et des caractéristiques des éventuelles **exploitations existantes**
- La nature géologique et hydrogéologique du sous-sol
- L'ensemble des contraintes environnementales et réglementaires (G.M.I.)²
- La **disponibilité foncière** pour la réalisation des ouvrages d'accès à la ressource (forages, ...)

A.2.3. Les paramètres déterminants

La faisabilité générale d'un projet d'exploitation par PAC géothermique sur ouvrages verticaux dépend d'un ensemble de paramètres pesant majoritairement sur le procédé sur nappe, et minoritairement sur le procédé par sondes. En plus des évidentes possibilités d'accès pour réaliser des travaux de forage, les principaux paramètres et les contraintes associées sont les suivants :

- Sur nappe :
 - La présence nécessaire d'une nappe exploitable au débit de pointe requis pour satisfaire les besoins sur le long terme ;
 - L'hétérogénéité de la perméabilité horizontale de l'aquifère exploité ;
 - Les variations de l'alimentation naturelle et les fluctuations naturelles du niveau piézométrique de la nappe, prises en compte sur le long terme (au moins sur 10 ans) ;
 - L'influence effective ou potentielle de pompages exploitant la même nappe à proximité du site ;
 - La direction générale d'écoulement de la nappe, et le gradient (« la pente ») de cet écoulement ;

² Voir le § D ci-après, relatif au Code Minier et la géothermie de Minime Importance (GMI)

- La compatibilité de la qualité de l'eau avec les équipements (forage, pompe, échangeur) ;
- L'accessibilité par forage à la ressource, à un coût acceptable ;
- Les possibilités de réinjection – nécessairement dans la même nappe - qui dépendent de la profondeur du niveau statique et de la productivité de l'aquifère exploité ;
- Sur sondes :
 - L'absence de terrains comprenant des cavités ou fractures importantes qui empêcheraient ou rendraient difficiles (et coûteux) les travaux de forage et la cimentation des capteurs verticaux posés ;
 - Une conductivité thermique acceptable des terrains au regard de la puissance appelée : par exemple, des terrains meubles et secs ne sont pas favorables.

A.2.4. Du bon dimensionnement des ouvrages souterrains

Le bon dimensionnement des ouvrages nécessaires aux transferts d'énergies avec le milieu souterrain est primordial pour une exploitation pérenne.

Selon le procédé envisagé doivent être pris en compte les paramètres suivants :

- Sur nappe :

Le principe fondamental est d'exploiter une nappe tout en ayant un prélèvement en eau nul ; autrement dit, par ce « circuit ouvert » sur le milieu naturel de n'effectuer que des transferts thermiques en utilisant l'eau souterraine comme vecteur d'énergie. L'objectif recherché est de limiter l'impact thermique des eaux réinjectées, notamment en dimensionnant les installations de manière à ne pas avoir (ou peu) de recyclage entre réinjection et pompage. Sur nappe, c'est ce procédé de doublet de forages qui est retenu par la réglementation Code minier au titre de la « Géothermie de Minime Importance » [« G.M.I. »] que nous résumerons plus loin dans ce document.

- Sur sondes :

Le principe fondamental de ce type de « circuit fermé » est, sans aucun prélèvement d'eau souterraine, de permettre de corrects échanges thermiques entre le terrain et les sondes, tout en interdisant (ou limitant) les interférences thermiques entre les sondes elles-mêmes.

- Les puissances extractibles dépendent de la nature des terrains, de la profondeur et du nombre de sondes ;
- Le dimensionnement doit prendre en compte l'alternance éventuelle du mode d'exploitation (chaud / froid).
- Dans tous les cas :
 - La disponibilité foncière doit être suffisante pour les ouvrages souterrains ;
 - L'accessibilité aux ouvrages doit être adaptée, à la fois pour leur création, mais aussi pour leur maintenance future.

Dans la majorité des cas, le dimensionnement définitif des ouvrages géothermiques ne pourra être établi qu'à partir d'un forage testé (conçu pour être valorisé pour l'exploitation prévue).

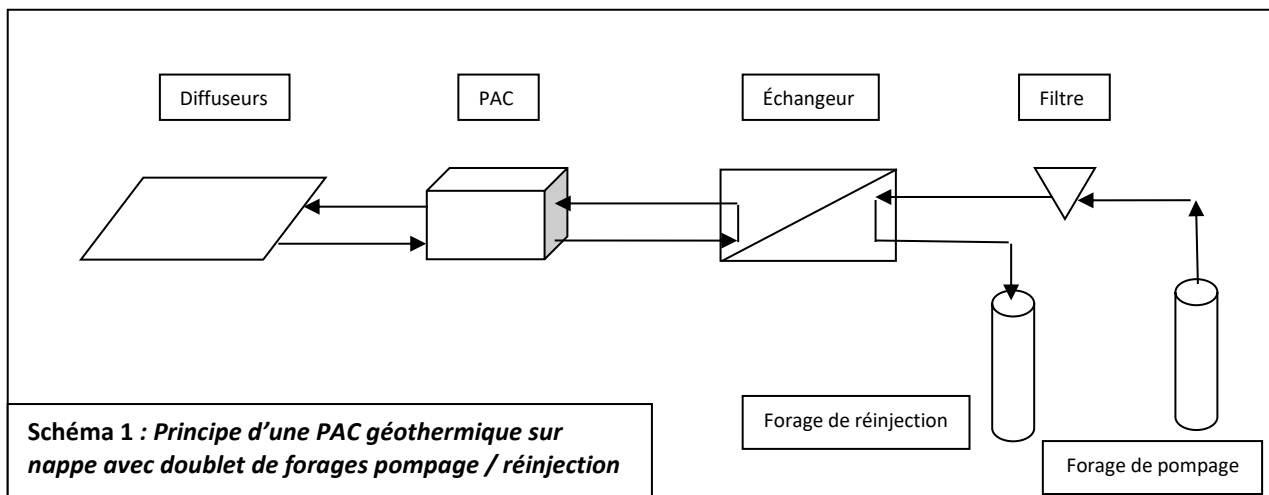
A.2.5. Du bon respect des réglementations

Différents Codes (Code Minier, Code de la Santé, Code de l'Environnement) réglementent les activités pouvant avoir un impact sur les activités existantes autorisées, les ressources du sous-sol (mines, eau), la santé publique (en particulier la protection des captages), l'environnement (installations classées, loi sur l'eau), ou encore l'aménagement du territoire. Ces contraintes réglementaires sont très sensiblement différentes pour chacun des procédés : PAC sur nappe ou PAC sur sondes. Les différentes configurations qui pourront être envisagées prendront impérativement en compte ces réglementations.

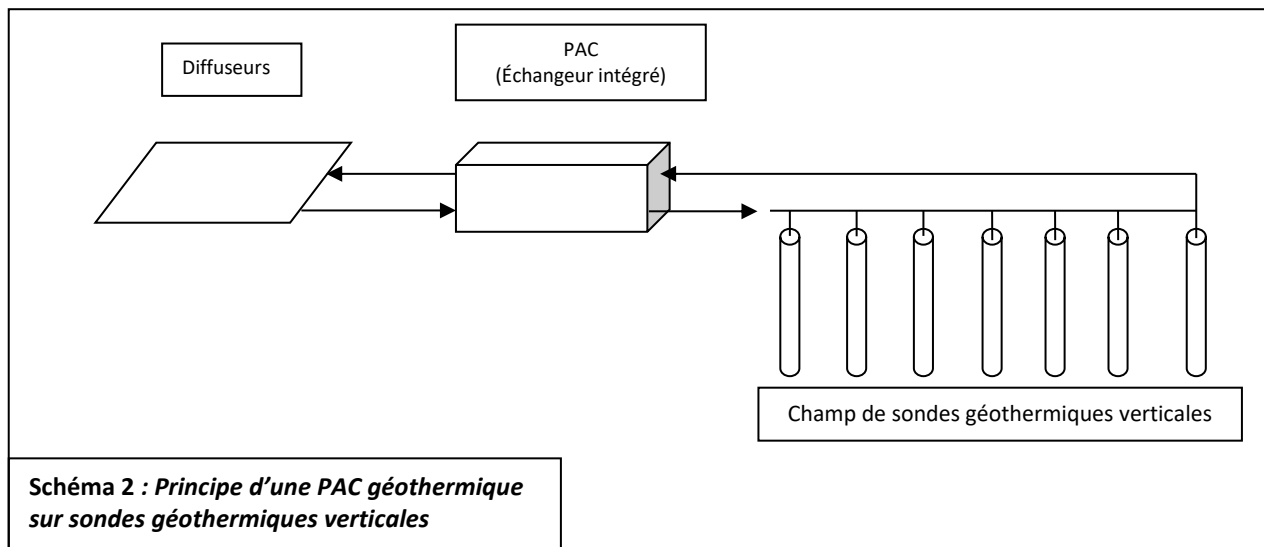
A.2.6. Deux configurations étudiées

Compte tenu de la nature du projet, les deux premières phases de notre mission vont s'attacher à juger, sans travaux, de la pertinence technique et économique d'une application des deux procédés de géothermie verticale très basse énergie schématisés ci-après :

- Le **schéma 1** correspond à un **douplet de forages sur nappe**, permettant le pompage et la réinjection (dans la même nappe). En plus des évidentes adéquations besoins/ressource/réglementations, la pertinence de cette configuration dépend de la disponibilité foncière pour une implantation acceptable des forages, mais aussi des contraintes de niveau de la nappe (éventuelle difficulté pour réinjecter).



- Le **schéma 2** correspond à la création d'un **champ de sondes géothermiques verticales** dont le nombre est proportionnel à la puissance de crête nécessaire. En plus de sa validité économique, la pertinence de cette solution dépend principalement de la disponibilité foncière.



La faisabilité technique et réglementaire de la (ou des) configuration(s) possibles serviront de base à la prise en compte des paramètres économiques et environnementaux qui s'appuieront nécessairement sur les possibilités et hypothèses prises pour la création des ouvrages (forages d'eau ou sondes) :

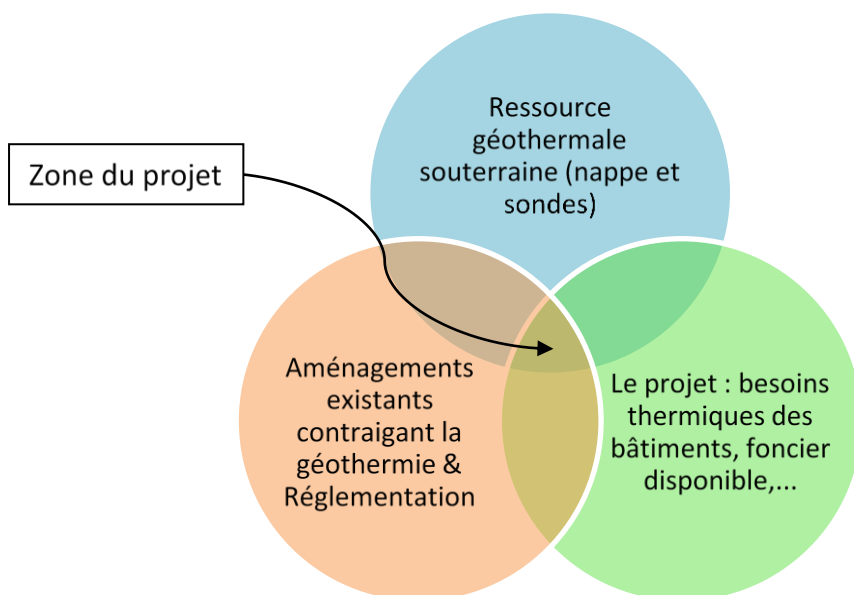


Figure 1 : Synoptique de la pertinence d'un projet géothermique

B. CONTEXTE NATUREL

B.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET HYDROGRAPHIQUE

La commune de Pacy-sur-Eure est située à environ 10 km à l'est d'Evreux, dans le département de l'Eure (27). Le projet est localisé entre la route de Paris et la rue de la Briqueterie.

Le projet à l'étude se trouve à environ :

- 150 m au sud du cours d'eau « Ru de Moreenne » ;
- 800 m au nord-est du cours d'eau « L'Eure » ;
- 10,5 km au sud-ouest du fleuve « La Seine ».

L'altitude moyenne du site est comprise entre +61 et +80 m NGF.

Adresse du site : 141 Rue Edouard Isambard à Pacy-sur-Eure (27120)

Situation cadastrale : Le projet se situe sur la parcelle cadastrale n°179 de la section ZB.

Superficie foncière globale : environ 35 000 m²

Les coordonnées Lambert 93 approximatives du site sont :

- X = 582 821 m
- Y = 6 880 307 m

- ⇒ Carte de situation générale présentée sur fond IGN en **FIGURE 2** ci-après
 - ⇒ Plan cadastral présenté en **ANNEXE 1**

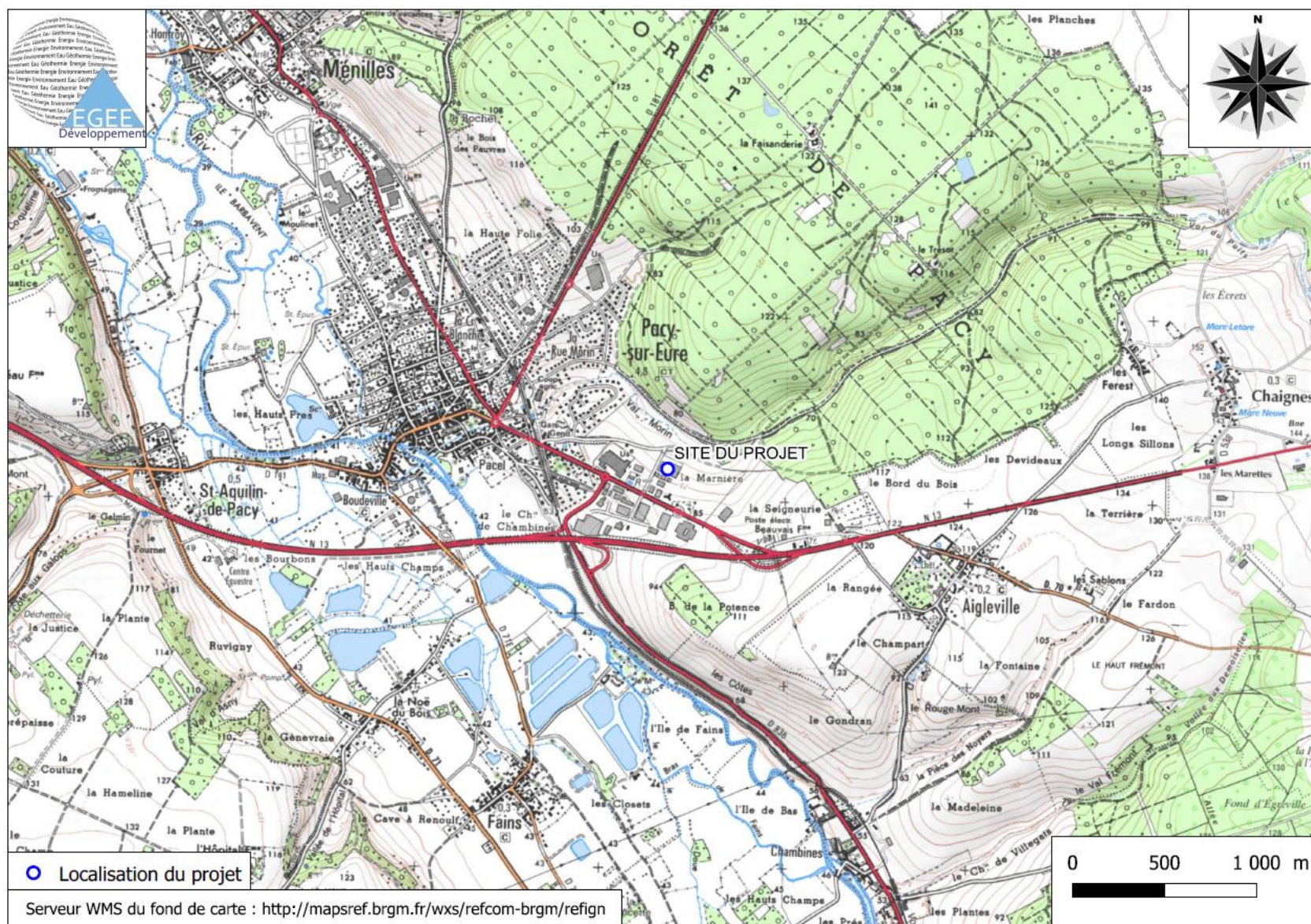


Figure 2 : Plan de localisation général sur fond de carte topographique IGN au 1/25000

B.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

A partir des données issues de la carte géologique d'Evreux au 1/50 000 du BRGM (**FIGURE 4**), des données issues de la banque de donnée du sous-sol (BSS), des coupes géologiques des forages référencés BSS003YWGA, BSS000LDJN et BSS000MSLT (Cf. coupes en **ANNEXE 2** à **ANNEXE 4** et localisations des ouvrages en **FIGURE 4**), des cartes isohypses des formations crayeuses élaborées par le BRGM³ et des cartes de l'Atlas de la synthèse géologique du bassin de Paris⁴, nous pouvons résumer le contexte géologique au droit du site de la manière suivante :

- La commune de Pacy-sur-Eure est localisée en bordure de vallée de l'Eure, sur un plateau crayeux crétacé composé d'horizons crayeux puis plus marneux en profondeur ;
- Sous les formations crétacées, ce secteur est caractérisé par la présence de terrains argilo-sableux de l'Albien.

Au droit du site du projet du Data Center de Pacy-sur-Eure, les formations géologiques présentes sont les suivantes (de la plus jeune à la plus ancienne) :

- *Argile résiduelle à silex* : Ce sont des argiles ferrugineuses brun-rouges à kaolinite renfermant des silex anguleux et des résidus de formations tertiaires.
- *Craie blanche à silex du Sénonien* : Cet horizon est composé, dans la partie supérieure, d'une craie blanche friable à silex brun souvent cariés et/ou en bancs à patine rose. Dans la partie inférieure, cette craie blanche devient plus dure, cristalline à dendrites de manganèse, pouvant dans certaines zones être indurée et dolomitique. La base du Sénonien est caractérisée par une abondance de silex d'aspects variés.
- *Craie marneuse du Turonien* : Le Turonien est composé d'une craie blanche grisâtre noduleuse à silex noirs dans sa partie supérieure. À la base, la craie est plus marneuse et est dépourvue de silex.
- *Craie grise glauconieuse du Cénomani* : Il s'agit dans la partie supérieure d'une craie grise verdâtre contenant des niveaux de rognons calcaires décimétriques durs. Plus en profondeur, la craie est glauconieuse et irrégulièrement consolidée.
- *Les terrains de l'Albien* : Les terrains de l'Albien correspondent dans la partie supérieure à une série d'argiles sablonneuses grises à verdâtres dites « Argiles du Gault », et à une série de sables argileux verdâtres appelés « Sables verts » dans la partie inférieure. Ces sables renferment une nappe captive sous les Argiles du Gault qui est classée en Zone de Répartition des Eaux (ZRE).

³ Atlas hydrogéologique régional de Normandie (ex Haute-Normandie) de 2010, BRGM.

⁴ Mémoire du B.R.G.M. n° 102, 1980.

La coupe géologique prévisionnelle des terrains au droit du projet est décrite dans le **TABLEAU 1** ci-après. Elle se base sur un niveau altimétrique du sol à +70 m NGF (espace vert au nord-est de la parcelle).

TOIT DE LA FORMATION		EPAISSEUR MOYENNE DE LA FORMATION (m)	LITHOLOGIE	STRATIGRAPHIE
ALTITUDE (m. N.G.F.)	PROFONDEUR MOYENNE (m)			
+70	0 (sol)	4 à 5	ARGILE A SILEX	QUATERNAIRE
+66 à +65	4 à 5	134 à 136	CRAIE BLANCHE A SILEX	SENONIEN (SECONDAIRE)
-68 à -71	138 à 141	39 à 41	CRAIE MARNEUSE	TURONIEN (SECONDAIRE)
-107 à -112	177 à 182	39 à 41	CRAIE ET MARNES GLAUCONIEUSES	CENOMANIEN (SECONDAIRE)
-146 à -153	216 à 223	19 à 21	ARGILES DU GAULT	ALBIEN SUPERIEUR (SECONDAIRE)
-165 à -174	235 à 242	-	SABLES VERTS	ALBIEN INFERIEUR (SECONDAIRE)

Tableau 1 : Coupe géologique prévisionnelle au droit du projet du Data Center de Pacy-sur-Eure

Deux aquifères sont présents au droit du projet :

-  → L'aquifère crayeux du Sénonien - Turonien renfermant la nappe de la Craie
-  → L'aquifère sableux de l'Albien-Aptien renfermant la nappe captive de l'Albien

	Colluvions de pente – QUATERNAIRE
	Alluvions récentes – QUATERNAIRE
	Alluvions anciennes de moyen et bas niveau – QUATERNAIRE
	Limons de pente et de bas de versant – QUATERNAIRE
	Limons des plateaux – QUATERNAIRE
	Argile résiduelle à silex – QUATERNAIRE
	Sables de Lozère – BURDIGALIEN
	Argile verte de Romainville et calcaire et meulière de Brie STAMPIEN INFÉRIEUR
	Calcaire de Saint-Ouen et de Septeuil – MARINESIEN / LUDIEN
	Calcaire grossier – LUTETIEN
	Craie blanche à Bélemnites – CAMPANIEN
	Craie blanche et craie dolomitique – SANTONIEN / CONIACIEN

Figure 3 : Extrait de la légende de la carte géologique d'Evreux au 1/50 000 (BRGM)

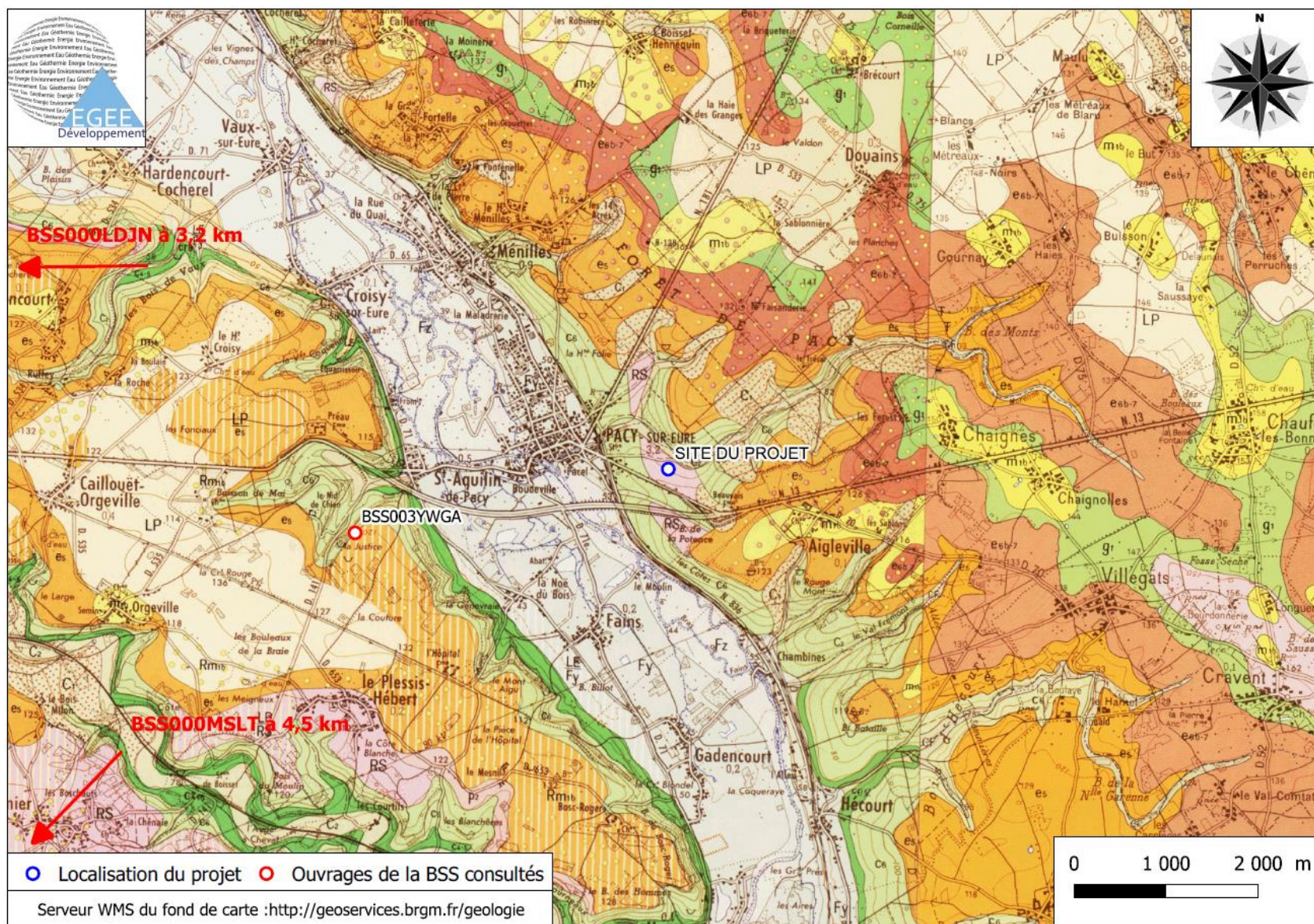


Figure 4 : Localisation du projet sur un extrait de la carte géologique d'Evreux au 1/50 000 (Source : BRGM)

B.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

Le contexte géologique nous conduit à distinguer deux formations aquifères pérennes au droit du site de Schneider Toshiba à Pacy-sur-Eure ; il s'agit de :

- L'aquifère de la **Craie du Sénonien - Turonien** ;
- L'aquifère des **Sables de l'Albien-Néocomien captif**.

Cependant, l'aquifère des Sables de l'Albien-Néocomien est localisé à plus de 250 mètres de profondeur ; cette ressource ne semble pas être économiquement intéressante en raison des coûts de forage élevés (> 200 K€). Par ailleurs, d'un point de vue réglementaire, son exploitation nécessiterait des démarches administratives relativement complexes (Cf. §D.1). **Pour l'ensemble de ces raisons, la suite du chapitre se limitera à l'étude de l'aquifère de la Craie du Sénonien-Turonien.**

Au droit du projet de Schneider Toshiba à Pacy-sur-Eure, l'aquifère de la Craie est présent sous **environ 4 à 5 mètres de couverture argileuse à silex (Rs)**. Il présente une **puissance d'une centaine de mètres environ**. L'aquifère est ensuite limité par l'ouverture des fissures de la craie en profondeur et par les Argiles du Gault (Albien) qui constituent le mur de l'aquifère.

Cette nappe est souvent exploitée pour des usages d'eau potable, d'eau industrielle et agricole. Elle est exploitée sur la commune de Pacy-sur-Eure pour l'alimentation en eau potable (Cf. chapitre B.3.1).

B.3.1. Piézométrie de la nappe de la Craie

Les cartes piézométriques Hautes Eaux 2001 et Basses Eaux de 2006 (BRGM – SIGES Seine-Normandie) montrent, au droit du site à l'étude, un niveau piézométrique de :

- +45 m NGF (+/- 1 m) en Basses Eaux, soit à environ 25 mètres de profondeur, et un sens d'écoulement de l'est vers l'ouest (influence de l'Eure) ;
- +55 m NGF (+/- 1 m) en Hautes Eaux, soit à environ 15 mètres de profondeur, et un sens d'écoulement de l'est-nord-est vers l'ouest-sud-ouest (influence de l'Eure).

Ces cartes indiquent un **écoulement général qui varie très peu selon la saison. D'ordre général, cet écoulement est en direction de l'ouest et de l'ouest-sud-ouest au droit du projet (FIGURE 5 et FIGURE 6).**

Au regard des profondeurs de la nappe de la craie en Hautes et Basse Eaux, celle-ci est en régime libre dans ce secteur.

Plusieurs informations sur la piézométrie de la nappe de la Craie ont été collectées dans divers ouvrages localisés autour du projet :

- Le forage le plus proche du projet, captant la nappe de la Craie, montrant un suivi régulier, se situe sur la commune de Chaignes à 3,4 km à l'est du projet. Il s'agit de l'ouvrage BSS000LERX. La chronique piézométrique de cet ouvrage permet d'observer les fluctuations de la nappe entre les années 1968 et 2022 (Cf. **FIGURE 7**) :
 - Sur cette période, le niveau moyen était de +85,04 m NGF avec un minimum à +77,81 m NGF rencontré en décembre 2012 et un maximum à +104,88 m NGF rencontré en mai 2007.
 - Ces niveaux sont cohérents avec les données des cartes piézométriques des Hautes Eaux de 2001 et des Basses Eaux de 2006.

- De même, l'ouvrage BSS000LDJZ, captant la nappe de la Craie dans un contexte similaire (nappe libre), montrant un suivi régulier plus récent, se situe sur la commune de Cierrey à 10,9 km à l'ouest du projet. La chronique piézométrique de cet ouvrage permet d'observer les fluctuations de la nappe entre 2002 et 2021 (Cf. **FIGURE 8**) :
 - Sur les 10 dernières années, la fluctuation annuelle moyenne est faible de l'ordre de 0,41 m, avec un minimum à 0,18 m et un maximum à 0,84 m ;
 - La fluctuation interannuelle est d'environ 7,8 m depuis le début du suivi régulier ;
 - Sur les 10 dernières années, le niveau piézométrique a oscillé entre +60,99 et +63,31 m NGF. Depuis le début du suivi régulier, il a oscillé entre +60,99 et +68,77 m NGF.
 - Ces niveaux sont cohérents avec les données des cartes piézométriques des Hautes Eaux de 2001 et des Basses Eaux de 2006.

À partir de l'ensemble de ses données, **nous pouvons estimer le niveau piézométrique de la nappe de la Craie au droit du projet entre + 54 et + 57 m NGF en période des Hautes Eaux, soit entre 13 et 16 m de profondeur** (en considérant une cote moyenne de +70 m NGF au droit du projet). D'autre part, le niveau piézométrique est susceptible de connaître une **fluctuation interannuelle d'environ 3 à 5 mètres**.

B.3.2. Productivité de la nappe de la Craie

Afin d'avoir une idée sur les débits escomptés dans le secteur, nous avons inventorié les données d'ouvrages captant la nappe de la Craie référencés dans la BSS. Ces ouvrages disposent d'informations de productivité qui sont détaillées dans le **TABLEAU 2** ci-après :

REFERENCE BSS	DISTANCE AU PROJET	DEBIT TESTE / ESSAIS REALISES	RABATTEMENT INDUIT	COMMENTAIRES
BSS000LDTT	4,9 km au sud sud-est	80 m ³ /h pendant 24 heures	2,86 m	Aucune information de développement par acidification Diamètre 300 mm crépiné de 32 à 56 m de profondeur T = 8.10 ⁻² m ² /s Essais datant de 1988
		120 m ³ /h pendant 6 heures	6 m	
BSS000LDLM	6,3 km au sud-ouest	55 m ³ /h pendant 10 heures	8,80 m	Aucune information de développement par acidification Diamètre 1300 mm Forage situé en zone supérieure de vallée sèche Essais datant de 1955
BSS000LDLB	14 km à l'ouest	9 m ³ /h pendant 6 heures	0,19 m	Aucune information de développement par acidification Diamètre 125 mm (slot 1 mm) Débit spécifique de 47,37 m ³ /h/m Essais datant de 1997

Tableau 2 : Récapitulatif des informations de productivité collectées dans des ouvrages de la BSS

Bien que nous n'ayons pas toutes les caractéristiques générales des ouvrages testés et des tests réalisés, l'ensemble des résultats autour du projet montrent une productivité allant de 10 m³/h à plus de 100 m³/h. Toutefois, cet ouvrage de diamètre conséquent est situé à proximité d'une vallée sèche où la productivité est potentiellement plus importante.

B.3.3. Qualité de l'eau souterraine

Les analyses chimiques sur l'eau prélevée dans l'ouvrage BSS000LDTT (situé à environ 3,9 km au sud sud-est) entre 1992 et 2018 ne présentent aucune contre-indication pour un usage énergétique.

D'après le contexte hydrogéologique au droit du projet du site du Data Center à Pacy-sur-Eure, la nappe de la Craie du Sénonien-Turonien-Cénomanién, située entre environ 15 et 150 mètres de profondeur, pourrait fournir un débit supérieur à 50 m³/h par ouvrage, ce qui en fait un aquifère tout à fait pertinent pour la géothermie.

Pour connaître la productivité précise de cet aquifère, définir ses caractéristiques (Transmissivité, épaisseur productrice, ...) et qualité de l'eau de la nappe qui permettront notamment de dimensionner un doublet de forages (pompage/réinjection), la création d'un forage d'essai transformable en forage d'exploitation est indispensable.

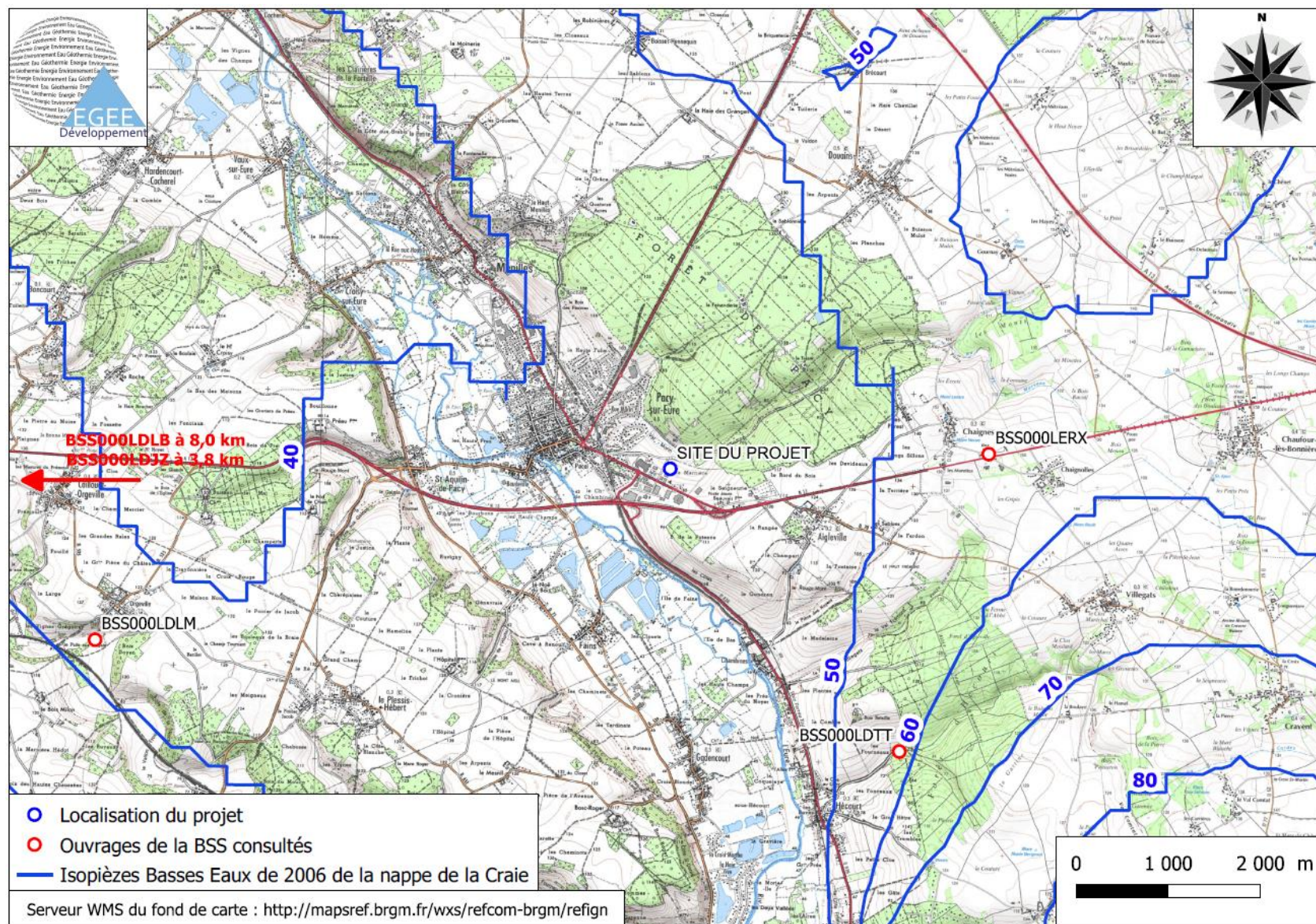


Figure 5 : Carte des Basses Eaux de 2006 de la nappe de la Craie (Source : SIGES Seine Normandie)

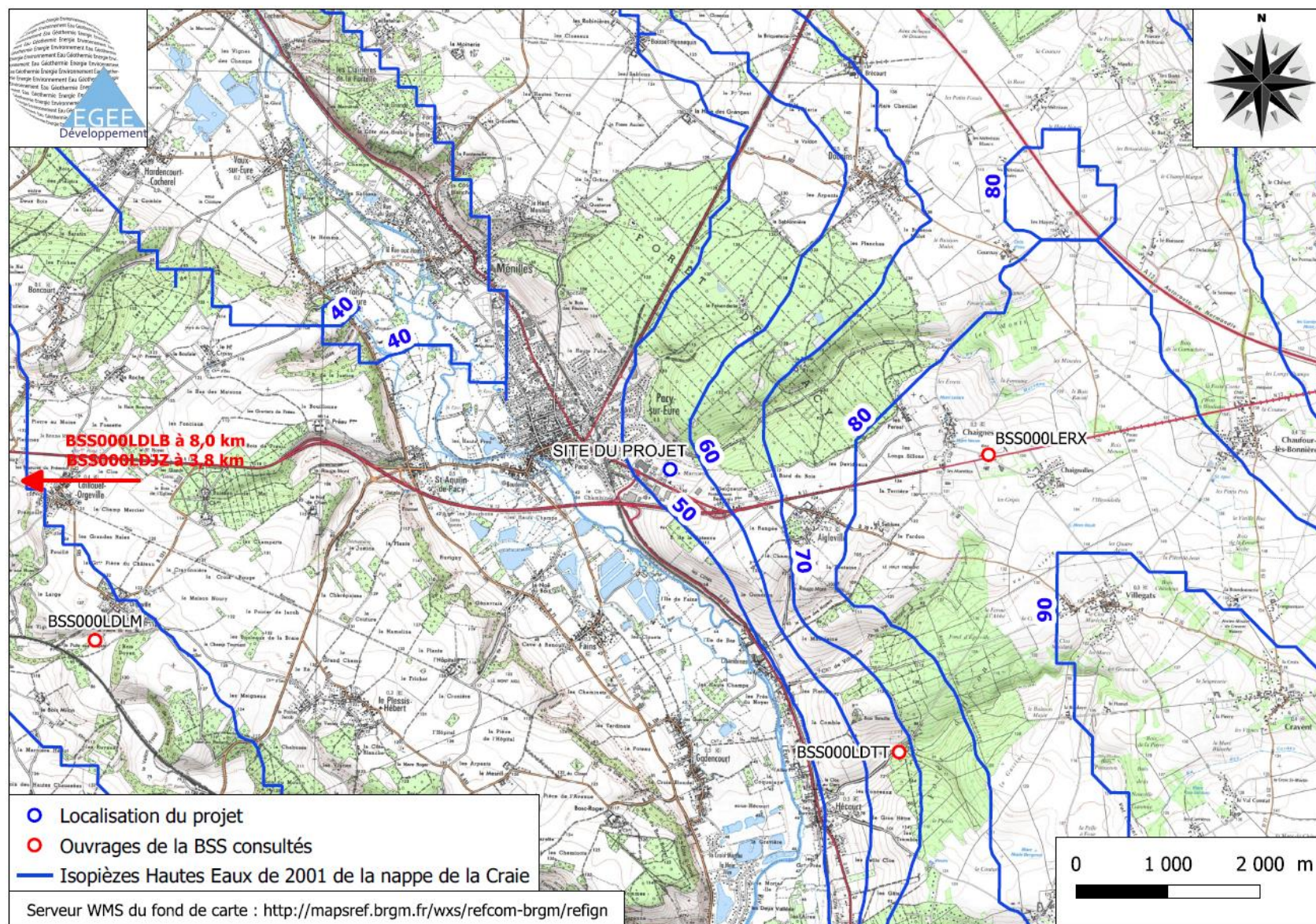


Figure 6 : Carte des Hautes Eaux de 2001 de la nappe de la Craie (Source : SIGES Seine Normandie)

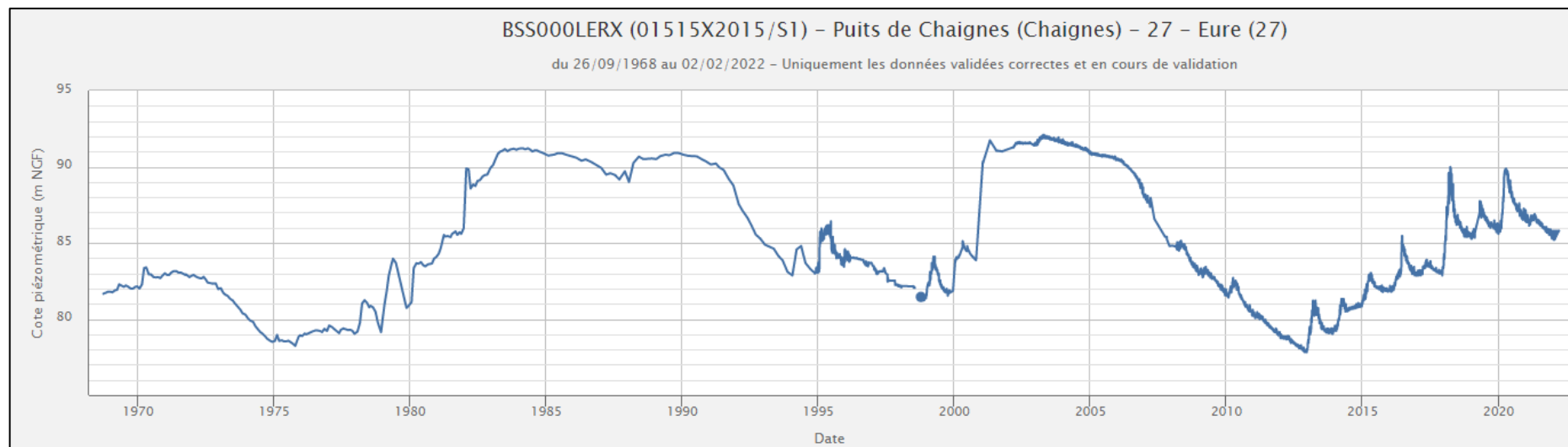


Figure 7 : Évolution de l'altitude piézométrique de la nappe de la Craie à Chaignes dans l'ouvrage BSS000LERX de 1968 à 2022 (Source : ADES)

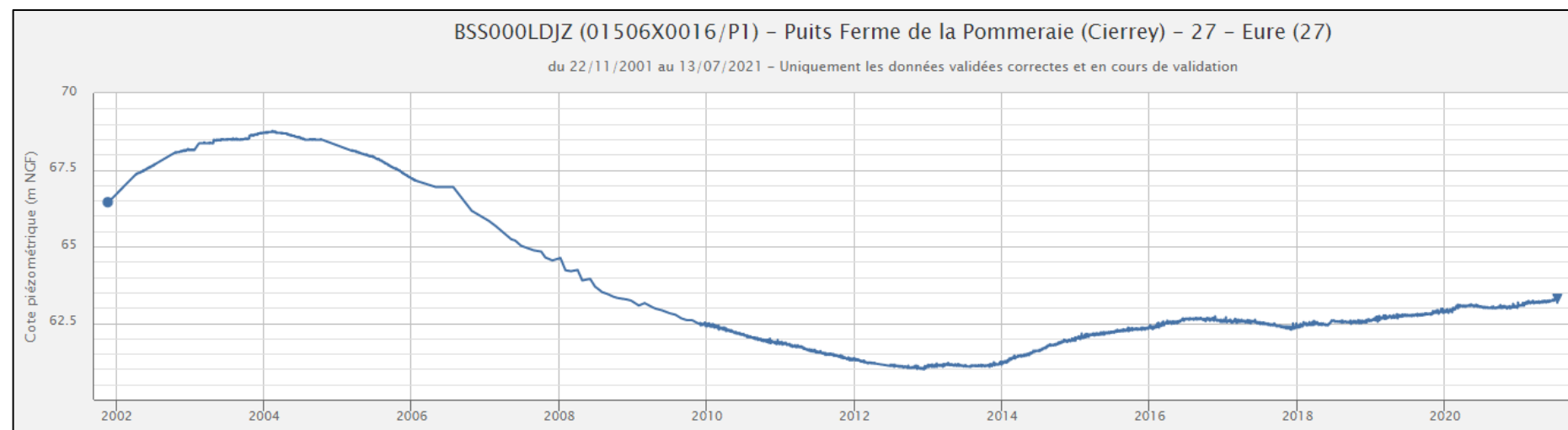


Figure 8 : Évolution de l'altitude piézométrique de la nappe de la Craie à Cierrey dans l'ouvrage BSS000LDJZ de 2001 à 2021 (Source : ADES)

C. ÉLEMENTS D'EXPLOITATIONS LOCALES DES NAPPES

Sur le territoire de la commune de Pacy-sur-Eure, des prélèvements en eau souterraine sont recensés depuis 5 ans d'après la banque de données BNPE-Eaufrance.

À titre de références et pour apprécier les inter-influences potentielles entre des exploitations, nous avons inventorié les forages captant l'aquifère de la nappe de la Craie dans un rayon de 2 km autour du projet ; ces informations proviennent des banques de données du Sous-Sol (BSS – Infoterre - BRGM) et BNPE-Eaufrance (BRGM et Office Français de la Biodiversité).

C.1. OUVRAGES A USAGE AGRICOLE

Il n'existe pas d'ouvrage de prélèvement en eau souterraine à usage agricole dans un rayon de 2 km autour du projet.

C.2. OUVRAGES A USAGE INDUSTRIEL

Il n'existe pas d'ouvrage de prélèvement en eau souterraine à usage industriel dans un rayon de 2 km autour du projet.

C.3. OUVRAGE A USAGE D'EAU POTABLE

D'après les éléments disponibles sur la plateforme en ligne de l'ARS, la commune de Pacy-sur-Eure dispose d'un captage d'alimentation en eau potable. Ce captage AEP se situe à environ 0,8 km au sud-ouest du projet. Le site du projet n'est pas impacté par les périmètres de protection de ce captage⁵.

⁵ Date de consultation : 5 avril 2023 / https://carto.atlasante.fr/1/carteaux_projet_partenaires_c.map

D. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET REGLEMENTAIRE

Le **TABLEAU 3** suivant résume les contextes environnemental et réglementaire au droit du site étudié, et précise les éventuelles contraintes. Les sous-chapitres suivants ce tableau illustrent et détaillent les éléments du tableau nécessitant des précisions.

OBJET	COMMENTAIRE	CONTRAINTE
Plan Local d'Urbanisme (PLU)	Zone UZ du PLU de Pacy-sur-Eure	A priori aucune
Servitudes d'Utilité Publique (SUP)	D'après les documents du PLU de Pacy-sur-Eure, le projet n'est concerné par aucune SUP particulière.	A priori aucune
Périmètre de protection de captage d'eau potable	Le site à l'étude est situé en dehors de tout périmètre de protection. Toutefois, il se situe à proximité d'une zone de « Projet de PPR » (D'après la plateforme Atlasanté de l'ARS)	A priori aucune, à vérifier selon l'évolution du projet de PPR
Cavité souterraine	La base de données Géorisques du BRGM ne recense aucune cavité souterraine dans un rayon de 200 mètres autour du projet. La cavité la plus proche se situe à environ 300 mètres au nord.	Aucune
Zone inondable	Le site du projet se situe hors de toute zone potentiellement sujettes aux inondations par débordement de nappe	Aucune
Code Minier	Zone verte pour les procédés sur nappe et sur sondes géothermiques verticales jusque 200 mètres de profondeur	Aucune (<i>voir §D.1. et D.2.</i>)
Conformité au SDAGE et au SAGE	Pour le procédé sur nappe, l'intégralité des eaux souterraines prélevées devront être réinjectées dans le même aquifère	Aucune
Zone de Répartition des Eaux (ZRE)	Le site du projet est concerné par la ZRE de l'Albien	Aucune, cette ressource en eau souterraine ne concerne pas le projet
Site Natura 2000	Le projet n'est pas dans l'emprise d'un site classé Natura 2000	Aucune
Zone Naturelle d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF)	Le projet n'est pas dans l'emprise d'un site classé en ZNIEFF	Aucune
BASIAS/BASOL	La base de données Géorisques du BRGM ne recense aucun site industriel référencé BASIAS / BASOL.	Aucune

Tableau 3 : Récapitulatif des contextes environnemental et réglementaire au droit du projet

D.1. CODE MINIER DE MINIME IMPORTANCE

Le **TABLEAU 4** ci-après décrit les différents régimes administratifs en fonction des différents types de géothermies et de leurs conditions générales de mise en œuvre et d'exploitations (profondeur des échangeurs, puissance extraite au sous-sol, ...).

Le projet de chauffage et/ou de rafraîchissement du Data Center de Pacy-sur-Eure est concerné par les échangeurs géothermiques ouverts et fermés. D'après les cartes des zones en matière de géothermie de minime importance (voir les extraits en **FIGURE 9**) le site est situé en zone verte. Par conséquent, quel que soit le procédé retenu par la Maîtrise d'Ouvrage, **l'installation ne devrait nécessiter qu'une simple déclaration** au titre du Code Minier de minime importance, **sauf si d'autres critères sont dépassés** (par exemple : débit d'exploitation sur nappe supérieur à 80 m³/h ou puissance extraite au sous-sol supérieure à 500 kW).

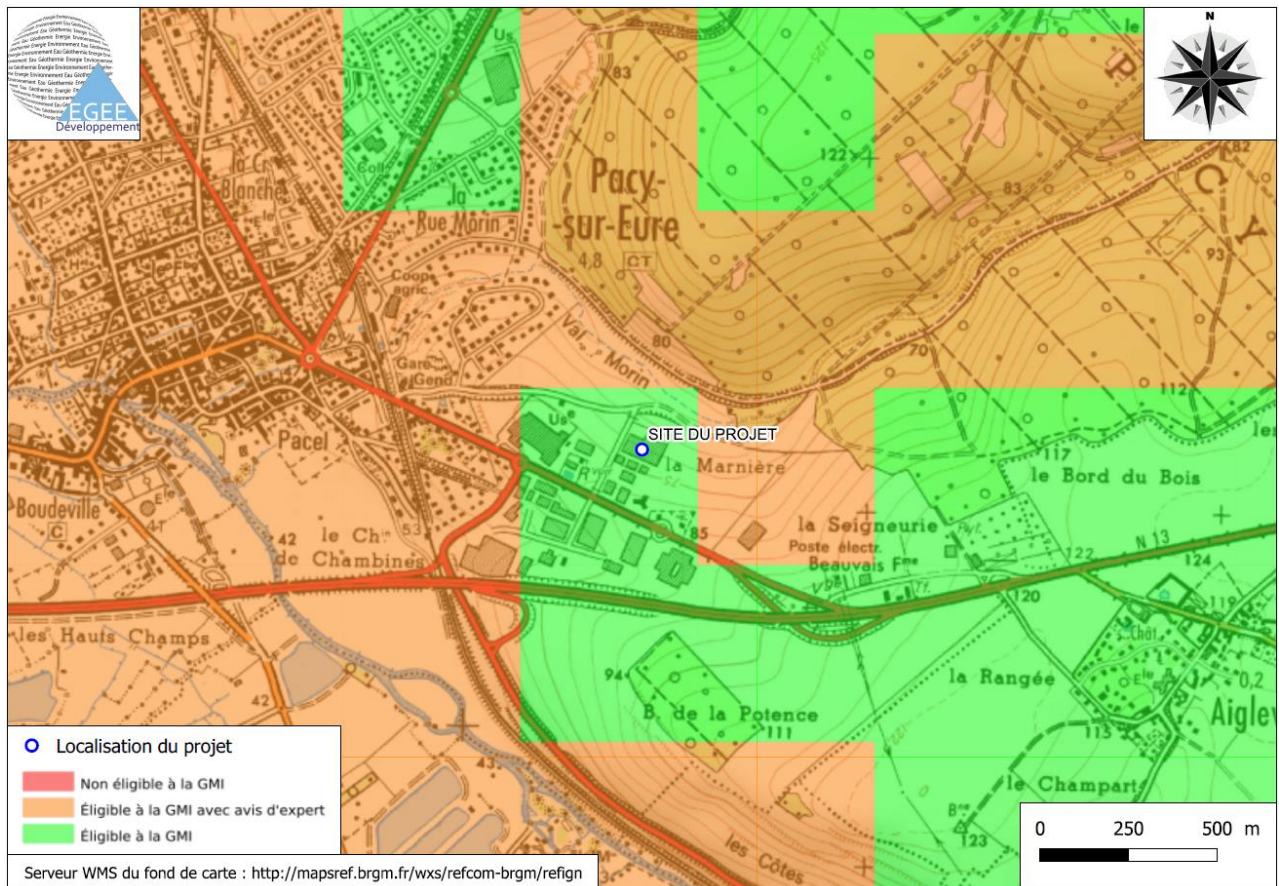


Figure 9 : Extrait de la carte des zones réglementaires de géothermie de minime importance pour les échangeurs ouverts (Géothermies.fr)

Type de géothermie	Conditions générales	Régime administratif
Géothermie avec puits canadiens ou géostructures thermiques	Aucune	Code minier non applicable (*)
Géothermie avec des échangeurs thermiques horizontaux ou hybrides (corbeilles)	Profondeur < à 10 m	Code minier non applicable (*)
Échangeurs géothermiques ouverts	Profondeur < à 10 m et Puissance extraite au sous-sol < 500 kW et Débit < 80 m³/h Réinjection dans la même nappe	Code minier non applicable (*)
	Profondeur de 10 m à 200 m et Puissance extraite au sous-sol < 500 kW et Débit < 80 m³/h Réinjection dans la même nappe et Zone verte ou orange	Déclaration simplifiée
	Profondeur de > 200 m ou Puissance extraite au sous-sol > 500 kW ou Débit > 80 m³/h ou Pas de réinjection dans la même nappe ou Zone rouge	Autorisation instruite par les services de l'Etat
Échangeurs géothermiques fermés	Profondeur de 10 m à 200 m et Puissance extraite au sous-sol < 500 kW et Zone verte ou orange	Déclaration simplifiée
	Profondeur de > 200 m ou Puissance extraite au sous-sol > 500 kW ou Zone rouge	Autorisation instruite pas les services de l'Etat
Code minier non applicable (*)	Déclaration simplifiée	Autorisation instruite par les services de l'état

Tableau 4 : Régimes d'application des installations géothermiques de minime importance

D.2. ÉLOIGNEMENT DES SOURCES DE POLLUTION OU AMENAGEMENTS EXISTANTS

Les implantations des échangeurs géothermiques doivent prévenir les risques liés à une déstabilisation géologique des terrains traversés mais aussi les risques de pollution des eaux souterraines par une migration des pollutions de surface, souterraines, ou par mélange de différents niveaux aquifères. Ainsi, les échangeurs géothermiques destinés à l'exploitation d'un gîte géothermique de minime importance **ne peuvent être implantés** :

- **Distances communes aux échangeurs géothermiques ouverts et fermés :**
 - Dans les périmètres de protection immédiate et rapprochée des captages d'eau destinés à la consommation humaine et des sources des eaux minérales naturelles conditionnées ;
 - A moins de 35 mètres :
 - D'un ouvrage souterrain de prélèvement d'eau destiné à la consommation humaine ;
 - Des stockages d'hydrocarbures, de produits chimiques, de produits phytosanitaires ou autres produits susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines ;
 - Des bâtiments d'élevage et leurs annexes relevant des rubriques 2101, 2102, 2110, 2111, 2112, 2113, 2120, de la nomenclature des installations classées ainsi que des zones de stockage de déchets de l'exploitation d'élevage ;
 - Des ouvrages de traitements des eaux usées collectifs ou non collectifs.
 - A moins de 200 mètres d'une installation de stockages de déchets relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées.
 - A moins de 200 mètres d'un captage d'eau destiné à la consommation humaine qui ne dispose pas de périmètre de protection
- **Distances spécifiques aux échangeurs géothermiques fermés :**
 - A moins de 5 mètres de la limite de propriété la plus proche, à défaut d'un accord écrit préalable des propriétaires voisins autorisant la réalisation de l'échangeur géothermique de minime importance ;
 - A moins de 5 mètres de conduites, collectives ou non collectives, d'eaux usées ou transportant des matières susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines.
- **Distances spécifiques aux échangeurs géothermiques ouverts :**
 - Dans un périmètre de protection géothermique institué en application de l'article L. 124-5 du code minier ni dans un volume d'exploitation d'activités géothermiques défini en application de l'article L. 134-6 du code minier ;
 - A moins de 5 mètres de conduites d'assainissement individuelles ou collectives d'eaux usées ou transportant des matières susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines, lorsqu'une étanchéité entre les conduites d'assainissement et les horizons géologiques exploités existe ou est mise en place. En l'absence d'une telle étanchéité naturelle ou artificielle, cette distance minimale est portée à 35 mètres.

E. APPROCHE TECHNICO-ECONOMIQUE

Afin de finaliser la pertinence d'un projet de Géothermie de Minime Importance sur nappe, il est nécessaire de croiser le potentiel de la ressource du sous-sol avec les besoins de rafraîchissement du Data Center situé sur la commune de Pacy-sur-Eure.

Puis, dans un second temps, nous avons estimé le coût d'une étude de faisabilité afin de comparer techniquement et économiquement la mise en œuvre du projet géothermique.

E.1. BESOINS THERMIQUES ET SCENARIOS ENVISAGES

Au stade actuel du projet, les besoins thermiques n'ont pas été déterminés précisément par Simulation Thermique Dynamique (STD). Notre étude est donc basée sur une première approche technique proposée par DALKIA, qui souhaite couvrir la totalité des besoins de froid du Data Center (FIGURE 10).

DOUBLETS GEOTHERMIQUE	PUISSANCE COTE SOUS-SOL	DELTA DE TEMPERATURE	DEBIT HORAIRE DE POINTE A LA SOURCE FROIDE*	ÉNERGIE ANNUELLE MAXIMALE COTE SOUS-SOL **
Doublet n° 1	1 334 kW	+ 11,5 °C	100 m³/h	+ 11 686 MWh/an
Doublet n° 2	1 241 kW	+ 10,7 °C	100 m³/h	+ 10 871 MWh/an

* : La source froide correspond à la nappe de la Craie du Sénonien-Turonien
** : Sur la base d'un fonctionnement 24h/24 7j/7 de l'installation

Tableau 5 : Approche technique de fonctionnement proposée par Dalkia

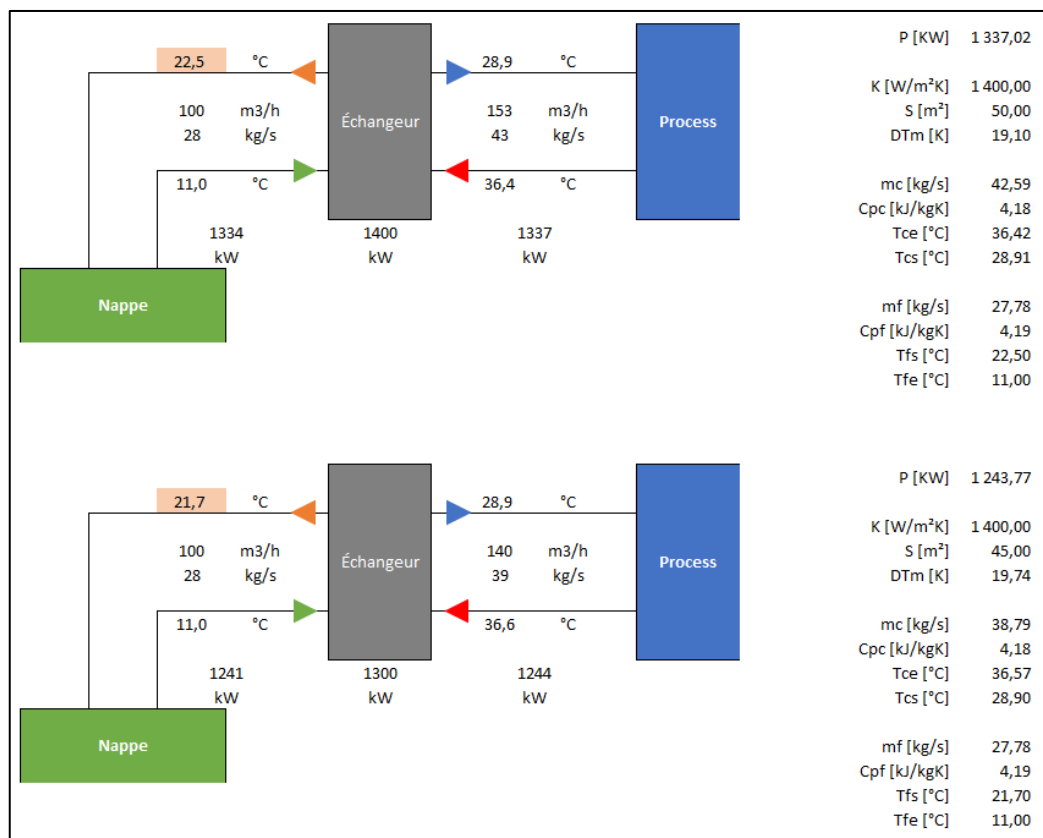


Figure 10 : Schéma de principe du fonctionnement idéal de l'installation du Data Center de Pacy-sur-Eure

Sur la base du scénario initial proposé par Dalkia, plusieurs solutions seront étudiées afin de définir le scénario le plus adapté qui permettrait :

- De couvrir un maximum des besoins de froid du Data Center ;
- D'être exploitable de façon pérenne dans le temps ;
- De respecter la réglementation en vigueur, notamment vis-à-vis de l'impact thermique de l'installation sur son environnement.

E.2. ADEQUATION BESOINS/RESSOURCE ET APPROCHE DE DIMENSIONNEMENT

E.2.1. Adéquation besoins/ressource

E.2.1.1. Construction du modèle

L'emprise du modèle est définie de manière à rencontrer en amont et en aval une limite hydrogéologique naturelle ou théorique connue. Celle-ci doit être suffisamment étendue afin que le fonctionnement du multiplet de forages au droit du projet ne soit pas influencé par une bordure du modèle. Toutefois, elle ne doit pas non plus couvrir une surface trop importante afin de rester à une échelle locale de modélisation qui serait cohérente avec le rayon d'influence d'une installation géothermique de minime importance.

Les limites hydrogéologiques du modèle ont donc été établies arbitrairement selon un sens d'écoulement de la nappe de la craie de l'est vers l'ouest (angle d'environ 90° par rapport à l'axe nord-sud). L'emprise du modèle représente une surface d'approximativement 500 x 500 mètres (**FIGURE 11**).

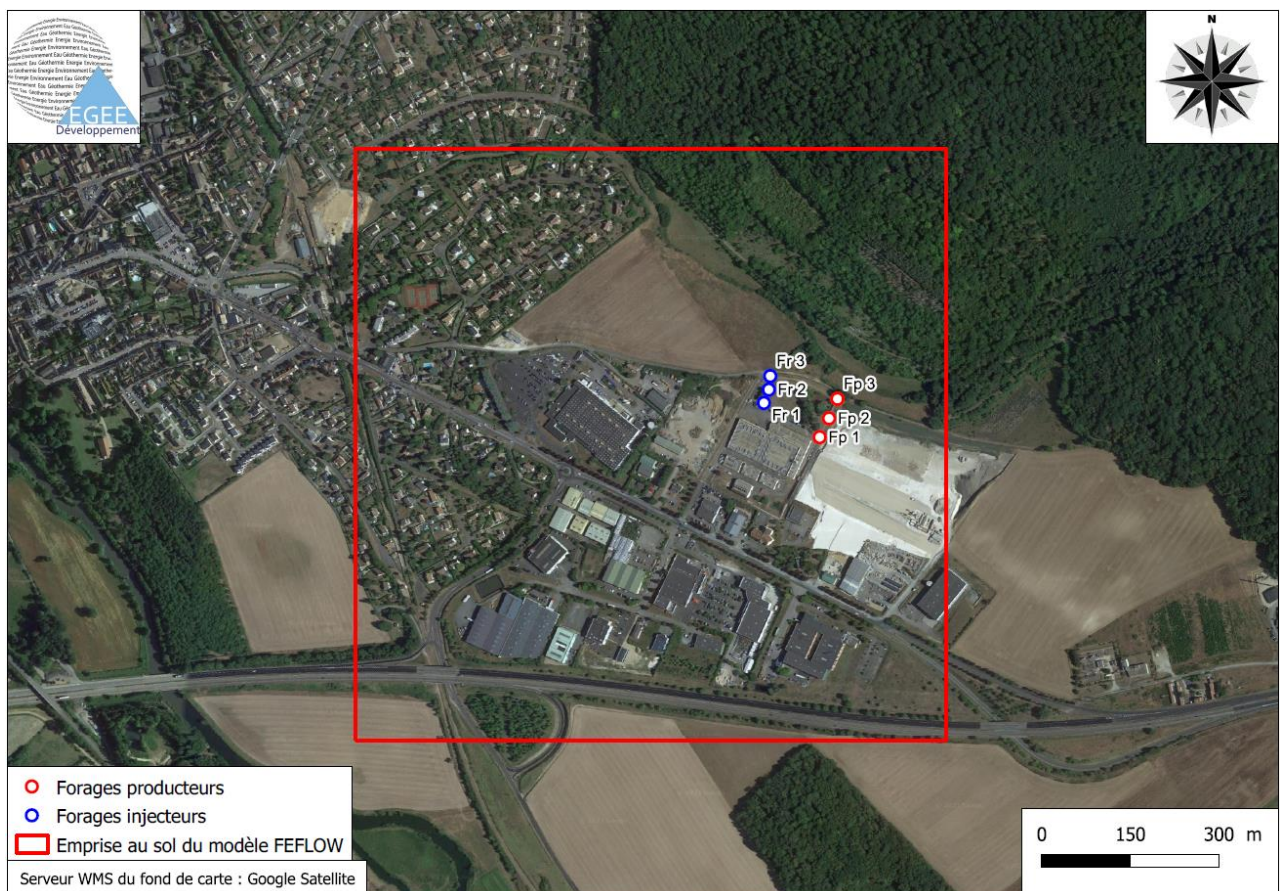


Figure 11 : Délimitation de l'emprise au sol du modèle

La méthode de maillage « Triangle » proposée par le logiciel FEFLOW a permis de transformer automatiquement l'emprise au sol en un ensemble de nœuds formant le maillage du modèle (**FIGURE 12**).

La densité du maillage est définie en fonction de la position des forages géothermiques et du sens d'écoulement local de la nappe de la craie. En effet, les paramètres sont calculés à chaque pas de temps et en chaque nœud. Un maillage plus fin est donc nécessaire à proximité des ouvrages afin de modéliser le plus finement possible l'évolution de la température de la nappe lors de l'exploitation.



Figure 12 : Maillage triangulaire irrégulier généré par le logiciel FEFLOW

Pour ce modèle, le maillage le plus grossier correspond à un espacement entre les nœuds de l'ordre de 20 mètres en moyenne. Il a ensuite été remaillé successivement en subdivisant chaque maille en deux autour des forages du projet, pour atteindre des mailles de l'ordre de 0,1 mètres à proximité immédiate des ouvrages.

Le modèle comprend un total de 22 slices formant 3 couches géologiques distinctes (**FIGURE 13**).

FORMATION GEOLOGIQUE	ALTITUDE DU TOIT (M NGF)	EPAISSEUR MODELISEE(M)	NOMBRE DE COUCHES MODELISEES
Argile à silex	+70	5	4
Craie productive	+65	30	7
Craie improductive	+35	45	10

Tableau 6 : Altitude des formations géologiques modélisées sous FEFLOW

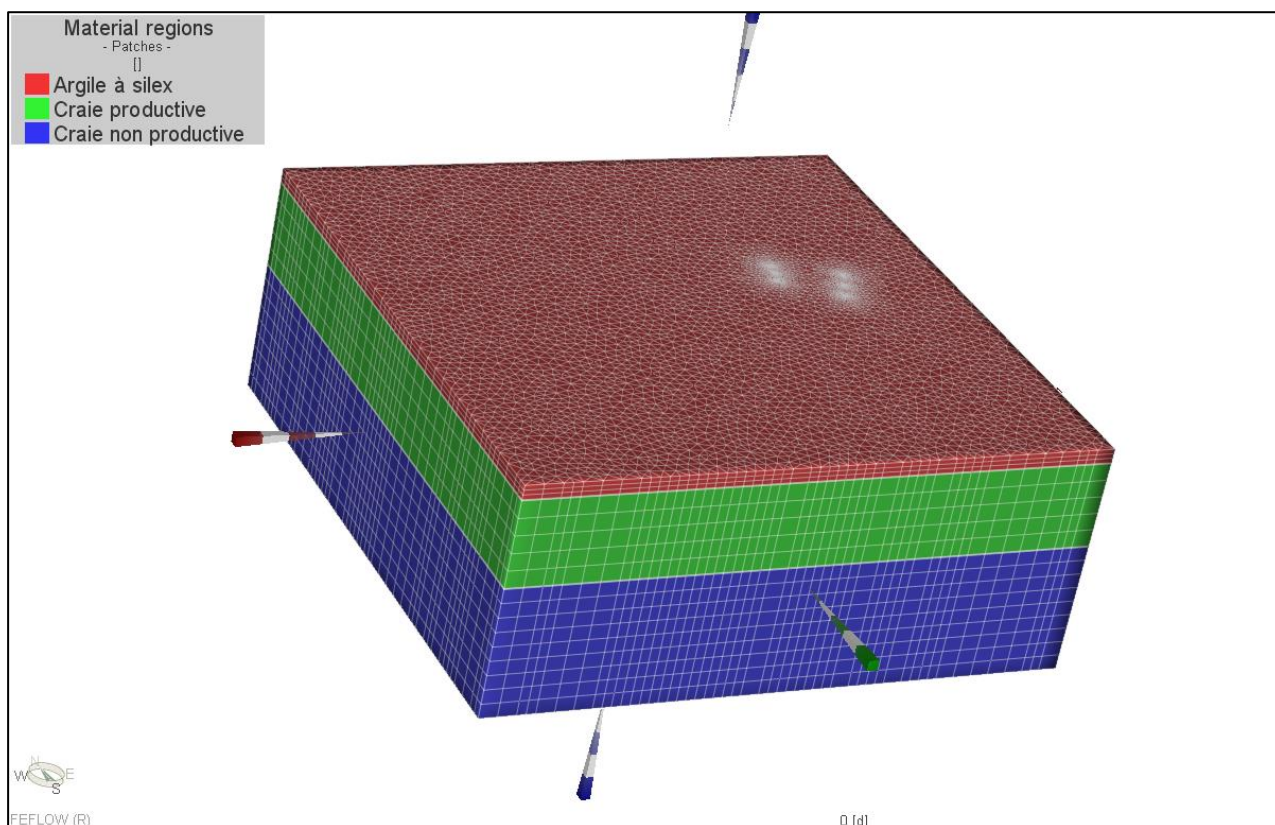


Figure 13 : Représentation des différents horizons géologiques sur le modèle 3D

NOMBRE DE NŒUDS PAR SLICE	5 654
NOMBRE D'ÉLEMENTS PAR SLICE (TRIANGLE)	11 113
NOMBRE DE SLICES	22 (soit 21 couches)
NOMBRE TOTAL DE NŒUDS	124 388
NOMBRE TOTAL D'ÉLEMENTS	233 373

Tableau 7 : Synthèse du maillage généré par le logiciel FEFLOW pour le modèle du projet

E.2.1.2. Conditions aux limites imposées

Sur l'ensemble des nœuds constituant la limite en amont et la limite en aval, une condition aux limites impose donc un niveau piézométrique de la nappe de la craie de + 48 m NGF en amont et de + 38 m NGF en aval. Ces valeurs permettent de reproduire la piézométrie au droit des ouvrages du projet tout en conservant le gradient hydraulique moyen de la nappe de la craie sur le secteur d'étude⁶, à savoir un gradient de l'ordre de 1%.

Sur l'ensemble des nœuds constituant la limite amont, une condition aux limites impose une température de l'eau de la nappe qui entre dans le modèle à 12 °C. Cette valeur correspond à la température moyenne de la nappe de la Craie.

⁶ D'après les cartes piézométriques de la nappe de la Craie, les gradients moyens sont de 0,5% en période de Basses Eaux de 2006 et de 1,5% en période de Hautes Eaux de 2001

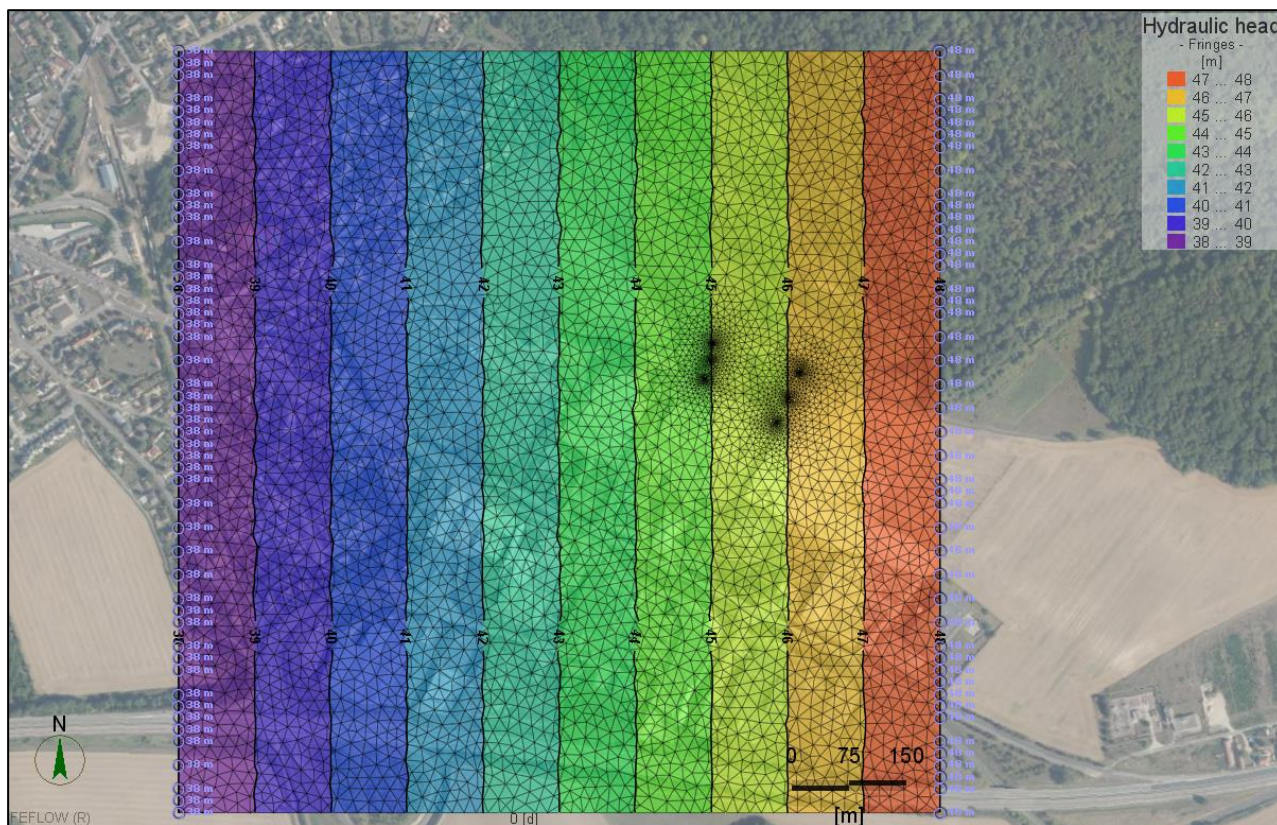


Figure 14 : Piézométrie de calage modélisée et conditions aux limites en amont et en aval

E.2.1.3. Caractéristiques hydrodynamiques et thermiques

A ce stade de l'étude, aucun relevé et/ou essais n'ont été menés au droit du projet. Par conséquent, les caractéristiques hydrodynamiques et thermiques renseignées dans le modèle sont définies à partir de données issues de recherches bibliographiques.

FORMATION GEOLOGIQUE	PERMEABILITE MOYENNE KH ET KV	POROSITE	CONDUCTIVITE THERMIQUE	CAPACITE THERMIQUE VOLUMIQUE
Argile à silex	$1,00 \cdot 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$	1%	$1,7 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$	$2,5 \text{ MJ.m}^{-3}.\text{K}^{-1}$
Craie productive	$1,00 \cdot 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$	2%	$2,8 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$	$2,2 \text{ MJ.m}^{-3}.\text{K}^{-1}$
Craie improductive	$1,00 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$	1%	$2,1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$	$2,2 \text{ MJ.m}^{-3}.\text{K}^{-1}$

Tableau 8 : Paramètres hydrodynamiques et thermiques retenus pour la modélisation

E.2.1.4. Limites de la modélisation

La modélisation hydrogéologique de l'installation géothermique du projet du Data Center à Pacy-sur-Eure est sujette à plusieurs incertitudes liées à la précision des connaissances de la structure du sous-sol et des paramètres hydrodynamiques des matériaux qui le composent :

- L'emprise du modèle a été définie arbitrairement de façon que le modèle soit suffisamment étendu afin que le fonctionnement du doublet de forages ne soit pas influencé par une bordure du modèle. Toutefois, elle ne doit pas non plus couvrir une surface trop importante afin de rester à une échelle locale de modélisation qui serait cohérente avec le rayon d'influence d'une installation géothermique de minime importance ;

- Les bordures du modèle sont fixes et les conditions aux limites associées ne sont pas variables dans le temps. Sur une année hydrologique, des fluctuations du niveau de la nappe sont observées et la position des isopièzes sur une carte est donc susceptible de varier aussi bien au cours d'une année hydrologique que d'une année à l'autre. L'impact thermique que pourrait avoir l'installation géothermique sur la nappe de la craie est donc susceptible de varier légèrement selon la période. En effet, les flux au sein de l'aquifère sont plus importants en période de hautes eaux qu'en période de basses eaux, la propagation du panache de chaud et/ou de froid est facilitée.
- Les paramètres de perméabilité et de porosité efficace ont été attribués aux couches de craie de façon homogène sur l'ensemble du modèle et dans toutes les directions de l'espace. Toutefois, il est important de souligner que ces valeurs bibliographiques représentent des valeurs moyennes sur l'épaisseur de craie captée par l'ouvrage, or ces paramètres peuvent être en réalité variable dans l'espace.
- En l'absence de données concernant les paramètres hydrodynamiques et thermiques au droit du site, des recherches bibliographiques ont été menées afin de déterminer des valeurs moyennes pour chaque matériaux et/ou fluide. Bien que ces valeurs soient estimatives, elles ne reflètent probablement pas avec certitude la réalité au droit du site.

E.2.1.5. Résultats des différentes simulations

Les calculs qui ont été menés sur ce modèle ont permis de simuler l'évolution de la température de la nappe de la Craie sur une période de 30 ans de fonctionnement de l'installation géothermique.

Plusieurs modélisations de fonctionnement ont été testées afin de déterminer quel scénario serait le plus adapté au contexte local et aux besoins du projet. **Nous ne présenterons par la suite que deux scénarios** afin d'illustrer notre démarche, à savoir **le scénario initial proposé par Dalkia, et le scénario retenu** qui permettrait de respecter la réglementation en vigueur pour la géothermie de surface.

➤ **Scénario initial : Couverture de 100 % des besoins**

Sur la base du scénario initial proposé par Dalkia, nous avons modélisé un fonctionnement de l'installation selon les caractéristiques suivantes :

- Nombre de doublets : 2 (1 doublet par échangeur) ;
- Période de fonctionnement de l'installation : 24h/24 et 7j/7 ;
- Débit horaire d'exploitation : 100 m³/h par doublet géothermique ;
- Delta de température pompage / rejet : +11,5 et +10,7 °C

À partir de cette simulation, **il apparaît que le projet n'est pas conforme aux prescriptions de l'arrêté du 25 juin 2015** qui mentionne que **l'activité ne doit pas causer une variation de température** de la nappe d'eau exploitée **de plus de 4 °C à 200 mètres** des échangeurs géothermiques.

En effet, malgré un **écartement entre les forages** de pompages et de réinjections qui **semble suffisant pour limiter le recyclage thermique** (+0,1°C aux forages de pompages après 30 ans) et rendre l'exploitation de l'installation pérenne à long terme, cette simulation montre une **stabilisation à +11,6 °C (+/- 0,1°C) à 200 m des ouvrages**.

➤ **Scénario retenu : Couverture de 50 % des besoins (1 seul échangeur)**

Compte-tenu des résultats des différents scénarios intermédiaires testés, le gradient hydraulique de la nappe de la craie est trop important au droit du projet pour permettre une réduction progressive de la température en aval des ouvrages (balayage du panache trop rapide). Par conséquent, nous sommes contraints de limiter le delta de température entre le pompage et le rejet à 4°C afin de respecter la réglementation vis-à-vis de l'impact thermique à 200 m des ouvrages.

Ainsi, la réglementation sera respectée d'après la modélisation de fonctionnement de l'installation selon les caractéristiques suivantes :

- Nombre de doublets : 3 (3 doublets pour un seul échangeur) ;
- Période de fonctionnement de l'installation : 24h/24 et 7j/7 ;
- Débit horaire d'exploitation : 96 m³/h par doublet géothermique ;
- Delta de température pompage / rejet : +4 °C

À partir de cette simulation, il apparaît que **le projet est conforme aux prescriptions de l'arrêté du 25 juin 2015** qui mentionne que l'activité ne doit pas causer une variation de température de la nappe d'eau exploitée **de plus de 4 °C à 200 mètres des échangeurs géothermiques**.

En effet, **l'écartement entre les forages** de pompages et de réinjections **semble suffisant pour limiter le recyclage thermique** (+0,1°C aux forages de pompages après 30 ans) et rendre l'exploitation de l'installation pérenne à long terme, cette simulation montre une **stabilisation à +4,1 °C (+/- 0,1°C) à 200 m des ouvrages**⁷.

⁷ Même si la température de stabilisation est supérieure à 4°C, il s'agit ici de simulations prenant en compte des valeurs de paramètres pessimistes et un scénario de fonctionnement 24h/24 et 7j/7 au débit maximal. En conditions réelles de fonctionnement, le débit d'exploitation moyen sera inférieur. L'impact thermique est donc surestimé ici.

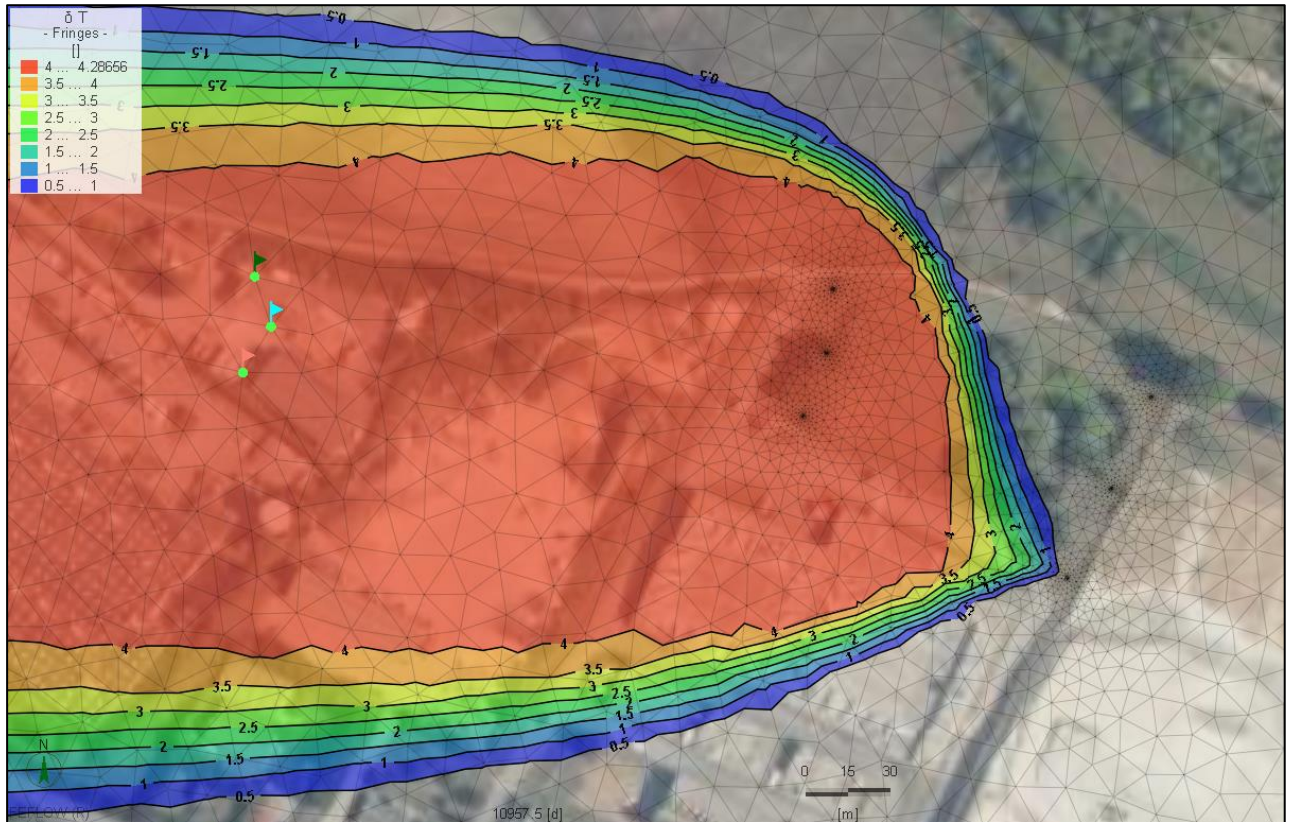


Figure 15 : Propagation du panache thermique après 30 ans d'exploitation

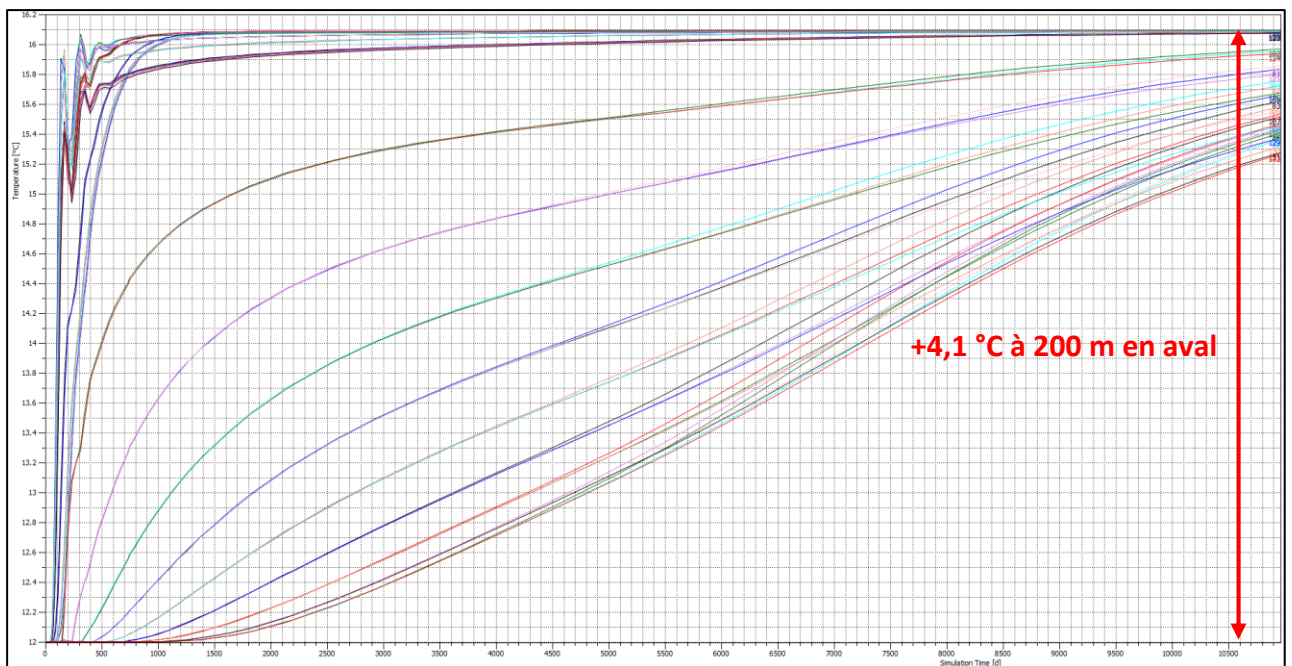


Figure 16 : Évolution de la température sur toute la hauteur du modèle à 200 m en aval des forages

E.2.2. Dimensionnement du forage d'essai

Afin d'estimer les coûts des travaux et essais d'un forage d'essai transformable en forage d'exploitation, nous avons consulté une entreprise de forage⁸ sur la base d'un cahier des charges succinct comprenant les principaux postes suivants :

- Création du forage :
 - Profondeur : 60 mètres ;
 - Capacité d'exploitation maximale : 100 m³/h ;
 - Creusement :
 - Avant trou de 6 mètres de profondeur en diamètre 559 mm ;
 - Creusement jusqu'à 60 mètres de profondeur en diamètre 445 mm ;
 - Nettoyage air lift ;
 - Acidification de l'ouvrage (3 tonnes minimum) ;
 - Pompage de développement ;
- Équipement :
 - Tubage acier plein de diamètre 473 mm de +0,50 à -6,00 mètres de profondeur ;
 - Tubage PVC plein de diamètre 280/315 mm de +0,50 à -15,00 mètres de profondeur ;
 - Tubage PVC crépiné de diamètre 280/315 mm (slot de 3 mm) de -15,00 à -60,00 m de profondeur ;
 - Cimentation remontante à l'extrados de l'espace annulaire des tubages acier ;
 - Bouchon de fond ;
 - Centreurs espacés tous les 10 mètres ;
 - Capot à bride ;
- Pompages d'essai et test :
 - Un pompage d'essai par paliers de débit : 4 paliers enchainés de 2 h ;
 - Un pompage d'essai à débit constant de 48 h ;
 - Une diagraphie au micromoulinet de forage ;
 - Un passage caméra ;
 - Une analyse qualitative de l'eau souterraine.

E.2.3. Implantation prévisionnelle du multiplet de forages

Une première approche d'implantation du multiplet de forages est présentée en **ANNEXE 5**. Cette implantation prend en considération le sens d'écoulement de la nappe, une distance moyenne à respecter entre les ouvrages. Toutefois, elle ne prend pas en compte la configuration future du site (localisation du nouveau local technique).

Il est important de savoir que les forages de pompage et de réinjection doivent rester accessibles par un camion pour la maintenance. D'autre part, un regard hors sol n'apparaît pas nécessaire dans ce contexte.

⁸ Qualifiée Qualiforage (qualification nécessaire pour des travaux de Géothermie de Minime Importance)

E.3. APPROCHE BUDGETAIRE D'UNE ETUDE DE FAISABILITE SUR NAPPE

Le coût estimatif des travaux du forage d'essai, transformable en forage d'exploitation s'est basé sur les principaux postes suivants :

- La création du forage (creusement, équipement, développement par acidification, ...)
- Un pompage d'essai par paliers de débit croissant
- Un pompage d'essai longue durée à débit constant
- Une diagraphie des vitesses d'écoulements horizontaux
- Une inspection caméra
- Une analyse qualitative de l'eau de la nappe de la craie
- La mise en sécurité de l'ouvrage avant son exploitation (tête de forage entièrement étanche par bride et contre-bride usinée).

Sur cette base, le **coût des travaux d'un forage d'essai transformable en forage d'exploitation** peut être estimé entre **70 000 et 80 000 € H.T.** (hors options et contraintes d'accès particulières).

L'estimation du coût d'une étude de faisabilité se base sur les principales prestations suivantes :

- Assistance au montage d'un dossier de demande de subvention aux études au titre du Fonds Chaleur de l'ADEME (Étude)
- Rédaction d'un cahier des charges pour la création d'un forage d'essai géothermique
- Assistance au dépouillement des offres des entreprises de forage
- Implantation du forage d'essai
- Suivi de travaux et interprétation des pompages d'essai, tests et analyses
- Analyse du rapport de l'entreprise de forage mandatée par la Maîtrise d'Ouvrage
- Dimensionnement du doublet de forages (pompage / réinjection)
- Rédaction du rapport de faisabilité et réunion de restitution pour le déploiement du projet

Sur cette base, le coût de l'étude de **faisabilité géothermique sur nappe** a été chiffré par EGEE Développement à **16 500 € H.T.**

E.4. RAPPEL DES AIDES FINANCIERES PUBLIQUES ET DES CRITERES D'ELIGIBILITE

Au stade actuel du projet, il n'est pas possible de connaître exactement le montant de l'aide que la Maîtrise d'Ouvrage pourrait obtenir au titre du Fonds Chaleur de l'ADEME. Toutefois, ce chapitre s'attache à en expliquer le fonctionnement.

L'ADEME aide financièrement les projets d'installations géothermiques au titre du Fonds Chaleur pour les opérations de géothermie de surface (aussi appelé géothermie Très Basse Energie ou encore géothermie assistée par pompe à chaleur). Il s'agit des opérations avec pompe à chaleur sur :

- aquifères superficiels,
- champs de sondes géothermiques,
- géostructures énergétiques,
- eaux thermales,
- eau d'exhaures de mines,
- eau de mer (ou des eaux de surface),
- et eaux usées (sur réseaux d'assainissement ou en station de traitement des eaux usées).

Cette aide financière se décline en deux volets spécifiques :

1. Le volet étude

Il s'agit d'aider les Maîtres d'Ouvrages pour les **études de faisabilité**, selon un cahier des charges spécifique, à hauteur **de 50% des dépenses éligibles pour les Maîtres d'Ouvrages publics et privés en région Normandie**. Ces dépenses correspondent à :

- La création d'un ouvrage d'essai, transformable en ouvrage d'exploitation (forage d'eau ou sonde verticale test)
- L'assistance d'un bureau d'études sous-sol pour la réalisation d'une étude de faisabilité géothermique
- L'assistance d'un bureau d'études thermiques pour la réalisation d'une étude des besoins thermiques des bâtiments (dont Simulation Thermique Dynamique)

2. Le volet investissement

Si la faisabilité est avérée, les investissements sont également aidés par l'ADEME, sous réserve de respecter les critères d'éligibilité suivants :

- Une productivité minimale de 25 MWh EnR/an en mode chauffage ou en mode rafraîchissement, quel que soit le procédé (nappe ou sonde)
- 1 000 heures minimales de fonctionnement annuel à puissance nominale
- Un COP machine minimal de 4 pour le procédé sur sondes, et de 4,5 pour le procédé sur nappe
- Un SCOP global annuel minimum de 3 dans les conditions d'application du projet
- Respecter les réglementations relatives à la géothermie de minime importance et aux milieux naturels
- Faire appel à une Entreprise de forage certifiée 'QUALIFORAGE' et respecter les normes relatives aux forages d'eau et aux sondes géothermiques verticales

- Faire appel à au moins un acteur RGE Études (OPQIBI 20.13 ou 10.07 ou qualification équivalente)
- Pour le procédé sur nappe : réaliser une étude préalable du potentiel de la nappe, une étude de l'impact thermique sur la ressource et respecter l'obligation de réinjecter dans le même aquifère.
- Pour le procédé sur sondes pour une longueur cumulée de plus de 1000 mètres : réaliser une sonde géothermique verticale test, un TRT et une modélisation dynamique sous-sol et surface.

Le montant des aides dépend du type de procédé mis en œuvre et du mode de fonctionnement (pour une production d'EnR inférieure à 2000 MWh EnR/an) :

- Pour le procédé sur nappe, pour la production de chaleur (chauffage et/ou ECS) :

25 € / MWh EnR / an, pendant 20 ans

- Pour le procédé sur sondes verticales, pour la production de chaleur (chauffage et/ou ECS) :

50 € / MWh EnR / an, pendant 20 ans

- Quel que soit le procédé, pour la production de rafraîchissement par géocooling :

13 € / MWh EnR / an, pendant 20 ans

Au-delà d'une production de 2 000 MWh EnR/an, le montant de la subvention ADEME est calculé sur la base d'une analyse économique du projet.

E.5. APPROCHE ECONOMIQUE GLOBALE DU COUT D'UNE ETUDE DE FAISABILITE GEOTHERMIQUE ET DU COUT DU DEPLOIEMENT DU PROJET

Le **TABLEAU 9** suivant présente une approche économique globale du coût d'une étude de faisabilité géothermique ainsi que le coût d'une installation géothermique pour le procédé sur nappe étudié.

Le volet étude comprend l'assistance au montage du dossier de demande d'autorisation d'exploitation au titre du Code Minier (si un des critères du seuil déclaratif de la GMI est dépassé), l'étude de faisabilité du bureau d'études sous-sol et la création du forage d'essai.

Le volet investissement comprend la création du (des) second (autres) forage(s) constituant le doublet (multiplet) sur nappe avec les essais de pompage, l'équipement des forages de production et d'injection (pompes, colonne d'exhaure, colonne d'injection...), l'aménagement des têtes de puits, la fourniture et l'installation du matériel de métrologie et de suivi de l'installation, la fourniture et l'installation des armoires de commande des pompes immergées, le système de filtration, l'équipement du local technique, la mise en service.

Il est important de noter que le procédé sur nappe exige, un entretien des forages tous les 10 ans afin de vérifier leur bon état (environ 10 à 15k € HT par doublet). C'est un coût qui n'est pas à supporter pour la solution sur sondes géothermiques verticales car ce sont des forages qui ne nécessitent aucun d'entretien, hormis la remise à niveau de l'eau glycolée.

	DETAILS DES POSTES	PROCEDE SUR NAPPE COUTS EN € H.T.
Volet « Études »	Coût de l'ouvrage d'essai (hors options)	70 000 à 80 000
	Coût de l'assistance EGEE Développement pour l'étude de faisabilité	16 500
	Coût de l'assistance EGEE Développement pour le montage du dossier d'autorisation au titre du code minier	7 500
	Aides financières de l'ADEME au titre des études (50%)	47 000 à 52 000
	Reste à charge pour la Maîtrise d'Ouvrage	47 000 à 52 000
Volet « Investissement »	Coût du ou des forages sur nappe supplémentaires (hors options) Dans le présent cas : 5 forages	350 000 à 400 000
	Coût de l'équipement / aménagement des forages d'exploitation et du raccordement	250 000 à 300 000
	Coût de l'assistance d'un bureau d'études sous-sol	30 000 à 35 000
	Coût de l'assistance pour les démarches d'actualisation du dossier d'autorisation code minier par un bureau d'études hydrogéologue	3 500
	Coût de la PAC Et équipements local technique	Pas de PAC -> Géocooling uniquement <i>A définir par DALKIA</i>
	Sous-total	633 500 à 738 500
	Estimations des aides financières de l'ADEME*	<i>Non estimées, compte tenu des besoins, le projet n'entre plus dans le cadre de l'aide forfaitaire. Celui-ci sera soumis à analyse économique</i>
	Reste à charge pour la Maîtrise d'Ouvrage sans les possibles aides déductibles	633 500 à 738 500
TOTAL RESTE A CHARGE (€ H.T.)		680 500 à 790 500

Tableau 9 : Approche économique globale pour le coût d'une installation géothermique

* sous réserve de respecter les critères d'éligibilité

F. AVIS DE PERTINENCE GEOTHERMIQUE

Le **TABLEAU 10** ci-après présente pour le procédé de Géothermie de Minime Importance sur nappe l'avis de pertinence selon les critères étudiés.

F.1. AVIS DE PERTINENCE

CRITERE	COMMENTAIRE	VALEUR
Surface foncière	Les forages sur nappe (pompage et réinjection) doivent rester accessibles à un camion pour la future maintenance de l'exploitation.	<i>Espace disponible suffisant</i>
Contexte géologique et hydrogéologique	D'après les éléments à notre disposition, une seule nappe est exploitable au droit du site, à savoir la nappe de la craie. Cette nappe semble en mesure de fournir un débit supérieur à 50 m ³ /h par ouvrage.	<i>Absence de contrainte majeure. En cas de productivité limitée, le taux de couverture des besoins devra être réévalué</i>
Contexte environnemental et réglementaire	Le site du projet est situé en zone réglementaire verte pour le procédé sur nappe.	<i>Régime déclaratif simplifié sans avis d'expert, Régime d'autorisation si les seuils sont dépassés</i>
Contexte financier	La phase Étude du projet est estimée entre 47 et 52 k€ H.T. Le déploiement du projet est estimé entre 633 et 739 k€ H.T. (hors éventuelles subventions). Les forages devront faire l'objet d'un entretien décennal (nettoyage, essais de pompages, ...) dont le coût peut être estimé entre 10 et 15k € H.T par doublet.	-
AVIS DE PERTINENCE		FAVORABLE

Tableau 10 : Avis de pertinence pour le procédé sur nappe pour le projet

Au regard du **TABLEAU 10**, il apparaît que le procédé géothermique sur nappe est tout à fait pertinent pour ce projet.

F.2. PROPOSITION D'IMPLANTATION DES FORAGES TESTS

Si la Maîtrise d'Ouvrage confirme sa volonté de s'orienter vers la géothermie, une étude de faisabilité sera nécessaire pour caractériser la nappe (productivité et qualité).

Si le procédé sur nappe est retenu, un forage d'essai sur nappe sera réalisé accompagné de pompages d'essai et d'analyses qualitatives de l'eau souterraine. Ce forage d'essai sera réutilisable en forage d'exploitation (localisation en **ANNEXE 5**).

G. CONCLUSIONS ET PRECONISATIONS

Au regard de l'étude documentaire hydrogéologique, géologique et réglementaire, il apparaît que **la pertinence du projet de géothermie du Data Center à Pacy-sur-Eure est avérée pour le procédé sur nappe étudié**, mais que **la ressource ne permettra pas de répondre à 100 % des besoins**.

En effet, la nappe de la craie présente une productivité très favorable dans ce secteur (estimée supérieure à 50 m³/h par ouvrage), mais la vitesse de circulation de la nappe dans le sous-sol impacte thermiquement l'aval hydraulique de plus de 4°C. Or, **l'arrêté du 25 juin 2015** relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importance, **mentionne que l'activité géothermique ne doit pas causer une variation de température de la nappe d'eau exploitée de plus de 4 °C à 200 mètres des échangeurs géothermiques**. Un second scénario a été calculé en limitant le delta de température entre le pompage et le rejet de +4°C, avec 3 doublets géothermiques. Ce scénario, qui respecte la réglementation, permet de couvrir 50 % de la puissance (soit un seul échangeur).

Le procédé sur sondes, quant à lui, n'apparaît pas favorable au regard de la quantité des besoins à couvrir, de l'usage uniquement en production de froid et du manque de place pour les forages.

Ainsi, au regard de ces conclusions, le Bureau d'Études EGEE DEVELOPPEMENT émet les préconisations suivantes à l'exploitant DALKIA pour le meilleur déploiement du projet :



Préconisation n° 1 : Déterminer précisément les besoins thermiques des bâtiments

Afin de répondre aux critères d'éligibilité de l'ADEME, les besoins thermiques devront être calculés par une Simulation Thermique Dynamique des bâtiments en fonction de scénario d'occupation, du scénario climatique local et des équipements informatiques dégageant une grande quantité de chaleur dans le cas présent.

Etant donné que la ressource sur la nappe ne permet pas de répondre à 100 % des besoins à cause d'une contrainte réglementaire, l'exploitant devra choisir un taux de couverture de la géothermie inférieur ou égal à 50 % (sous réserve des résultats du forage d'essai).



Préconisation n°2 : Valider ou modifier la proposition d'implantation du multiplet de forages sur nappe

L'exploitant est invité à valider l'implantation des forages au regard des installations et réseaux déjà existants ou futurs du site. La proposition d'implantation des forages en annexe peut être modifiée avec EGEE Développement, en prenant en compte le sens d'écoulement de la nappe.



Préconisation n°3 : Porter une vigilance quant au projet de Périmètre de Protection du captage AEP

Le site est localisé en dehors de tout périmètre de protection de captage pour l'alimentation en eau potable. Cependant, il se situe à proximité d'une zone de « *Projet de Périmètre de Protection* » (D'après la plateforme Atlasanté de l'ARS). Rappelons que tout forage géothermique est interdit dans les périmètres immédiats et rapprochés. Un suivi de cette démarche de « *Projet de Périmètre de Protection* » doit être fait tout le long du projet géothermique afin de vérifier l'évolution éventuelle de ces périmètres.



Préconisation n°4 : Demande de subvention au titre du Fonds Chaleur de l'ADEME

Si le Maître d'ouvrage et l'exploitant souhaitent poursuivre vers cette solution, nous préconisons de déposer un dossier de demande de subvention auprès de l'ADEME au titre du Fonds Chaleur afin d'obtenir 50% de subvention pour la réalisation des études et du forage d'essai. Il est important de préciser que l'étude d'un bureau d'études thermique peut également être pris en compte.



Préconisation n°5 : Etablir le dossier d'autorisation au titre du code minier

Au regard des débits d'exploitation de la nappe envisagés sur ce projet, l'installation géothermique ne pourra bénéficier du régime simplifié de la Géothermie de Minime Importance. L'installation devra faire l'objet d'une demande d'autorisation au titre du code minier auprès des services de la DREAL. La procédure d'autorisation d'exploitation d'un gîte géothermique est une démarche qui peut prendre 12 à 18 mois, selon les DREAL.

Dans un premier temps, nous recommandons de se rapprocher de la DREAL Normandie afin de connaître les modalités administratives à mettre en œuvre et notamment des conditions de réalisation du forage d'essai.



Préconisation n°6 : Réalisation d'une étude de faisabilité géothermique

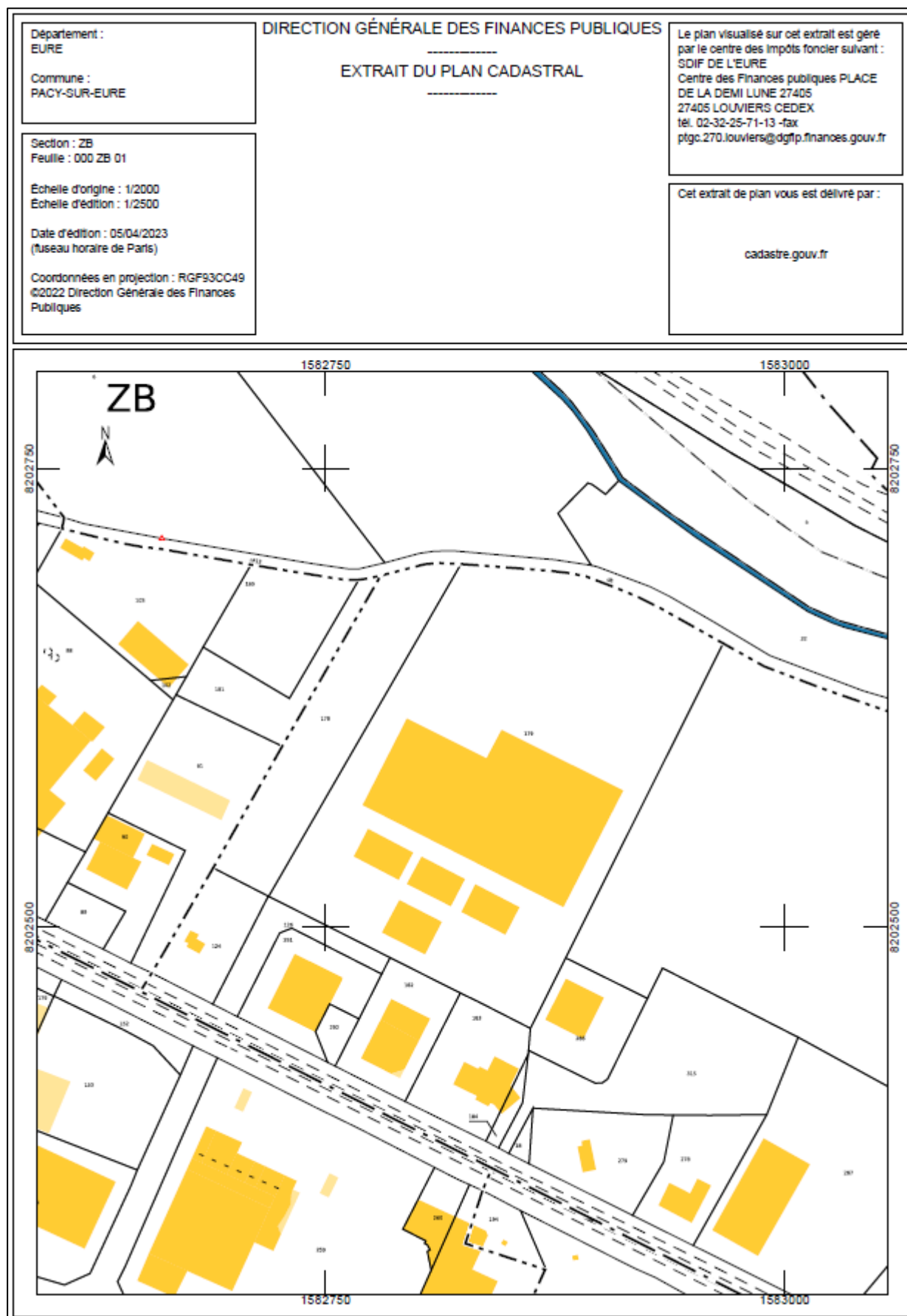
Cette étude comprendra les étapes suivantes :

- **Étape 1** : Consultation des Entreprises de forage
- **Étape 2** : Assistance à l'analyse technique des offres
- **Étape 3** : Réalisation d'un forage d'essai avec mise en œuvre d'essais par pompages et suivi des travaux du forage d'essai
- **Étape 4** : Interprétation des pompages d'essai, tests et analyses et dimensionnement de l'installation géothermique ; proposition d'implantation des autres forages qui constitueront le multiplet sur nappe
- **Étape 5** : Réunion de restitution des résultats et recommandations pour le déploiement du projet.

Villeneuve d'Ascq, le 12 avril 2023

REDACTION	RELECTEUR
QUENTIN SZECZOWKA HYDROGEOLOGUE	JULIE LOUART GEOLOGUE

**ANNEXE 1 : EXTRAIT DU PLAN CADASTRAL DE PACY-SUR-EURE OU SE SITUE LE
PROJET**



ANNEXE 2 : COUPE GEOLOGIQUE DE L'OUVRAGE BSS003YWGA

Identifiant national de l'ouvrage

BSS003YWGA

Ancien code - avant 2017
BSS003YWGAX

Log géologique numérisé

Localisation

Description technique

Document(s) numérisé(s)

Log géologique numérisé

Fiche BSS Eau

Nombre de niveaux : 6

Profondeur	Lithologie	Stratigraphie
De 0 à 3 m	Remblai agileux marron	
De 3 à 7 m	Argile jaunatre	
De 7 à 13 m	Argile marron fonce a silex	
De 13 à 20 m	Craie blanche alteree a silex	
De 20 à 105 m	Craie blanche a silex	
De 105 à 112 m	Craie beige a silex	

ANNEXE 3 : COUPE GEOLOGIQUE DE L'OUVRAGE BSS000LDJN

BSS000LDJN

01506X0005/S

Log validé

Profondeur

De 0.0 à 275.88 m Rafraîchir

Profondeur	Formation	Lithologie	Lithologie	Stratigraphie	Altitude
5.10			Avant-puits.		128.20
42.60					90.70
48.50			Mame crayeuse grise et rognons de silex très durs.		84.80
51.80					81.50
54.30			Calcaire jaunâtre, mame et silex.		79.00
56.00			Mame grise, craie, silex.		77.30
58.05			Craie et silex très durs.		75.25
62.00			Mame grise, silex noirs.		71.30
69.27			Silex jaunâtres très durs.		64.03
78.60			Mame blanche et silex.		54.70
102.10			Mame grise et silex.		31.20
109.77			Silex gris très durs.		23.53
113.00					20.30
145.60			Calcaire siliceux blanc.		-12.30
164.00			Mame blanche, silex noirs. Toit du Turonien ?		-30.70
166.40					-33.10
187.00			Mame blanche très collante, silex noirs.		-53.70
195.50					-62.20
200.25			Argile grise feuilletée.		-66.95
204.10					-70.80
212.71			Mame blanc gris collante et silex noirs.		-79.41
219.35			Mame blanche ferme avec rognons de silex noirs.		-86.05
224.35					-91.05
229.45			Mame blanche, craie grise, calcaire jaunâtre.		-96.15
240.65			Calcaire gris, couche de mame.		-107.35
242.30			Mame grise très collante et silex noirs.		-109.00
256.75			Grès et silex, mame grise. Toit du Cénomanien.		-123.45
265.25			Mame gris vert.		-131.95
266.25			Rognons de calcaire gris, grès mameux.		-132.95
271.00			Mame grise glauconieuse.		-137.70
271.95			Mame vert gris.		-140.30
273.60			Mame gris noirâtre et argile.		-141.35
274.65			Argile gris noirâtre.		
			Argile vert noir glauconieuse.		
			Argile sablonneuse gris noir.		
			Sable argileux gris noir.		
			Argile très sableuse noir verdâtre.		
			Argile très sableuse noir verdâtre, compacte.		
			Sable gris verdâtre avec coquillages, lignite et pyrite.		
			Sable fin argileux vert, avec coquillages, lignite, pyrite.		

ANNEXE 4 : COUPE GEOLOGIQUE DE L'OUVRAGE BSS000MSLT

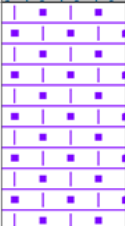
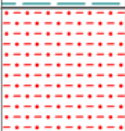
BSS000MSLT

01802X0001/2-PR-1

Log validé

Profondeur

De 0.0 à 250 m [Rafraîchir](#)

Profondeur	Formation	Lithologie	Lithologie	Stratigraphie	Altitude
25.00	Argiles à silex		Argile à silex. Limons à silex et Argiles à silex.	Cénozoïque	119.40
55.00			Craie à silex. Séno-Turonien.	Turonien à Campanien	89.40
			Forage en perte totale : craie avec silex. Séno-Turonien.		
128.00					16.40
	Craie glauconieuse		Forage en perte totale : craie sableuse du Cénomanien.	Cénomanien	
195.00	Argiles du Gault		Forage en perte totale : Argile du Gault.	Albien	-50.60
213.00	Sables verts		Forage en perte totale : Albo-Aptien (Sables verts ?).	Albien inférieur	-68.60

**ANNEXE 5 : PROPOSITION DE PLAN D'IMPLANTATION PREVISIONNELLE DU
MULTIPLLET DE FORAGES SUR NAPPE**

