

ETUDE DE FAISABILITE GEOTHERMIE UPVD

ETUDE DE FAISABILITE GEOTHERMIE UPVD
AF2428-221108-PRO-FAISA GEOTHERMIE UPVD-IND A

M.O.A.
UNIVERSITE DE PERPIGNAN
52 Avenue Paul Alduy
66860 PERPIGNAN CEDEX

Site
UNIVERSITE DE PERPIGNAN
52 Avenue Paul Alduy
66860 PERPIGNAN CEDEX

B.E.T.
Energie R BET
7 Rue Augustin Thierry
66000 Perpignan
04.68.73.85.67
xmourrut@energie-r.fr
www.energie-r.fr

Indice	Date	Objet	Rédacteur
0	06.09.2022	PRO	C. Arbillot
A	08.11.2022	PRO	C. Arbillot

SOMMAIRE

Sommaire.....	2
I.1 Caracteristiques thermiques des batiments du campus upvd	4
I.1.1 Modelisation thermique du campus UPVD	4
I.1.2 Descriptif des parois	6
I.1.2.1 BATIMENT A-A1 / BASE.....	6
I.1.2.2 BATIMENT BU / LSH	7
I.1.2.3 BATIMENT BU SCIENCES	8
I.1.2.4 BATIMENT BVD	9
I.1.2.5 BATIMENT C.....	11
I.1.2.6 BATIMENT F1-F3	12
I.1.2.7 BATIMENT F2	13
I.1.2.8 BATIMENT M – Amphi 3	14
I.1.2.9 BATIMENT U	15
I.1.2.10 BATIMENT X – MAISON DE L’ETUDIANT	16
I.1.2.11 BATIMENT Y	17
I.1.2.12 BATIMENT Z	18
I.1.2.13 BATIMENT MAISON DES SPORTS.....	19
I.2 Menuiseries.....	20
I.2.1 Menuiseries extérieures Alu et PVC	20
I.2.1.1 BATIMENT A-A1 / BASE.....	20
I.2.1.2 BATIMENT BU-LSH	20
I.2.1.3 BATIMENT BU-SCIENCES.....	20
I.2.1.4 BATIMENT BVD	20
I.2.1.5 BATIMENT C.....	20
I.2.1.6 BATIMENT F1-F3	20
I.2.1.7 BATIMENT F2	21
I.2.1.8 BATIMENT M-Amphi 3	21
I.2.1.9 BATIMENT U	21
I.2.1.10 BATIMENT X - MAISON DE L’ETUDIANT.....	21
I.2.1.11 BATIMENT Y	21
I.2.1.12 BATIMENT Z	21
I.2.1.13 BATIMENT MAISON DES SPORTS.....	21
I.3 Chauffage / Climatisation.....	22
I.3.1 Description du projet.....	22
I.3.2 Chauffage et climatisation des bâtiments	22
I.3.2.1 BATIMENT F F1-F2-F3	23
I.3.2.2 BATIMENT A-A1 / BASE.....	24
I.3.2.3 BATIMENT ATELIER / MAISON DE L’ETUDIANT / MAISON DES SPORTS / BU SCIENCES.....	24
I.3.2.4 BATIMENT BU-LETTRES.....	24
I.3.2.5 BATIMENT DATA CENTER	24
I.3.2.6 BATIMENT C/U/M/A3	25
I.3.2.7 BATIMENT Y	25
I.4 Ventilation	26
I.4.1 Caissons de ventilation	26
I.4.1.1 BATIMENT A-A1 / BASE.....	26
I.4.1.2 BATIMENT BU-LSH	26
I.4.1.3 BATIMENT BU-SCIENCES.....	27
I.4.1.4 BATIMENT BVD	27
I.4.1.5 BATIMENT C.....	28
I.4.1.6 BATIMENT F1-F3	28
I.4.1.7 BATIMENT F2	28
I.4.1.8 BATIMENT M – AMPHI 3.....	29



I.4.1.9 BATIMENT U	29
I.4.1.10 BATIMENT X – MAISON DE L’ETUDIANT	29
I.4.1.11 BATIMENT Y	29
I.4.1.12 BATIMENT Z	30
I.4.1.13 BATIMENT MAISON DES SPORTS	30
I.5 Tableau des deperditions batiment par batiment	31
I.6 Bilan thermique	32
I.7 Bilan économique.....	34
I.7.1 P1 et P1' : Dépenses liées à la consommation d’énergie du système.....	34
I.7.2 P2 : Dépenses liées à la maintenance annuelle du système	34
I.7.1 P3 : Dépenses liées au gros entretien (remplacement d’équipement en fin de vie)	35
I.7.1 P4 : Dépenses liées à l’amortissement de l’investissement	35
I.7.2 Bilan	36
I.8 Synthese	37
I.9 Planning.....	38
I.10 Annexes	38

I.1 CARACTERISTIQUES THERMIQUES DES BATIMENTS DU CAMPUS UPVD

I.1.1 Modelisation thermique du campus UPVD

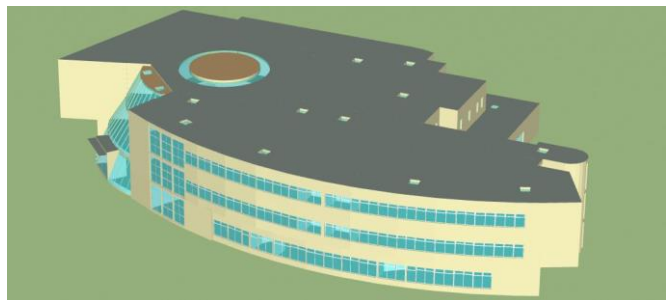
Afin de réaliser un dimensionnement adéquate de la production par sondes géothermiques, l'ensemble des bâtiments du campus UPVD raccordé sur le réseau de chaleur a été modélisé via le logiciel « Pléiades-Comfie ». Cette modélisation permet de déterminer les besoins calorifiques et frigorifiques au plus juste heure par heure au cours d'une année.

Les bâtiments raccordés au réseau de chaleur sont :

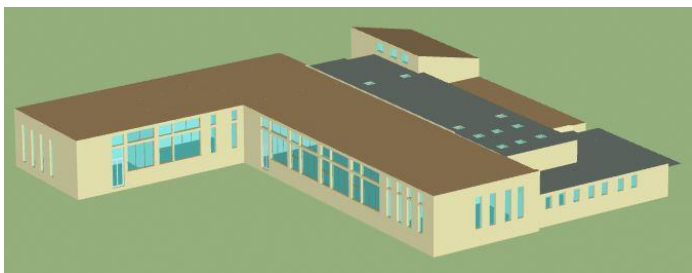
- Bâtiment A-A1 / Base
- Bâtiment BU-LSH
- Bâtiment BU-Sciences
- Bâtiment BVD
- Bâtiment C
- Bâtiment F1-F3
- Bâtiment F2
- Bâtiment M – Amphi 3
- Bâtiment U
- Bâtiment X – Maison de l'étudiant
- Bâtiment Y
- Bâtiment Z
- Bâtiment Maison des sports



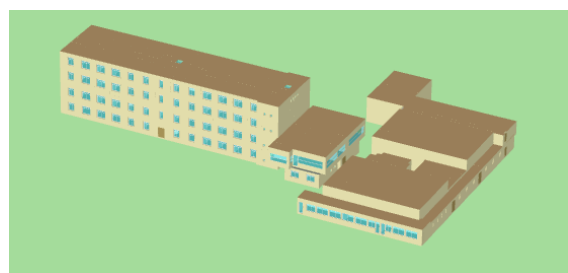
Bâtiment A-A1-Base



Bâtiment BU-LSH



Bâtiment BU Sciences



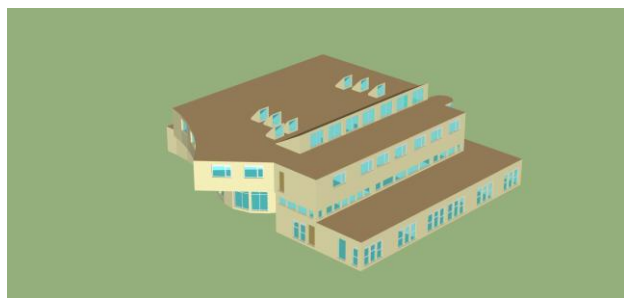
Bâtiment BVD



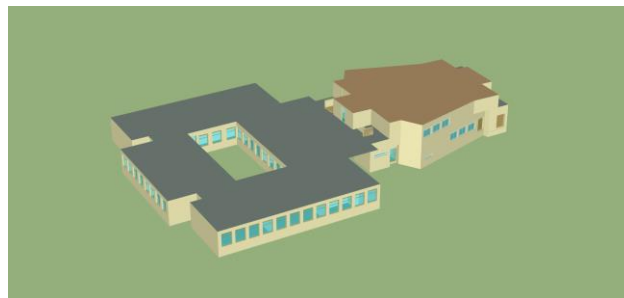
Bâtiment C



Bâtiment F1 / F3



Bâtiment F2



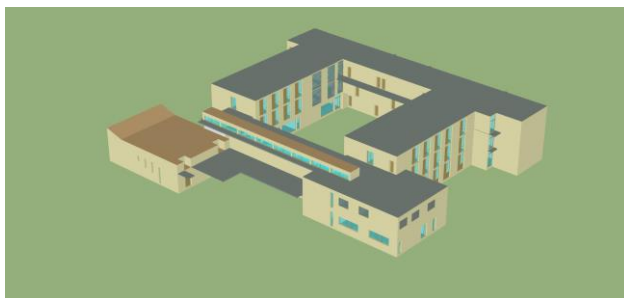
Bâtiment M – Amphi 3



Bâtiment U



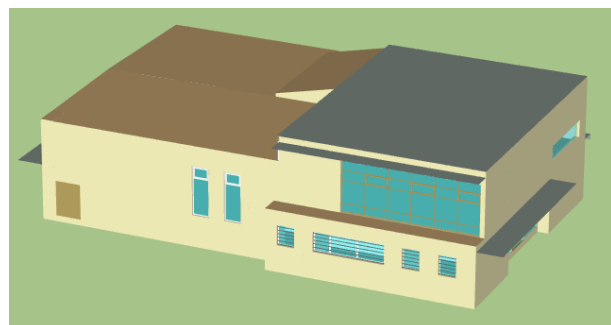
Bâtiment X – Maison de l'étudiant



Bâtiment Y



Bâtiment Z



Bâtiment Maison des sports

I.1.2 Descriptif des parois

I.1.2.1 BATIMENT A-A1 / BASE

Parois verticales

Type	Désignation	Epais. cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Murs extérieurs béton ITI	Enduit extérieur	1,00			0,412	Façades du bâtiment A, zone Est
	Béton	20,0	2,300	0,090		
	Polystyrène TH38	8,00	0,038	2,110		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		
Murs extérieurs béton ITI	Enduit extérieur	1,00			0,493	- Cage d'escalier du bâtiment A, zone Est - Façades du bâtiment dit « Base »
	Béton	20,0	2,300	0,090		
	Polystyrène TH38	6,50	0,038	1,710		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		
Murs extérieurs Béton/Brique ITE	Enduit extérieur	1,00			0,235	Façades du bâtiment A, zone Ouest
	Polystyrène TH32	12,0	0,032	3,750		
	Béton	20,0	2,300	0,090		
	Lame d'air	5,00				
	Brique pleine	6,00	1,000	0,060		

Parois horizontales

Type	Désignation	Epais. Cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Plancher bas sur terre-plein	Dalle béton	20,0	2,300	0,090	3,846	Plancher bas sur terre plein
Plancher bas isolé sous face	Chape + Carrelage	8,00			0,319	Plancher bas sur sous-sol
	Dalle béton	20,0	2,300	0,090		
	Flocage	11,0	0,039	2,820		
Plancher bas isolé sous face	Chape + Carrelage	8,00			0,278	Plancher bas sur extérieur
	Dalle béton	20,0	2,300	0,090		
	Fibrastyrène	11,5	0,035	3,290		
Toiture terrasse	Etanchéité				0,307	Toiture terrasse
	Polystyrène extrudé TH30	9,00	0,030	3,000		
	Dalle béton	20,0	2,300	0,090		
Toiture combles	Laine de verre	40,00	0,041	9,760	0,100	Toiture en combles
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		

I.1.2.2 BATIMENT BU / LSH**Parois verticales**

Type	Désignation	Epais. cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Murs extérieurs béton ITI	Enduit extérieur	2,20			0,412	Façades
	Béton	20,0	2,300	0,090		
	Polystyrène TH38	8,00	0,038	2,110		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		

Parois horizontales

Type	Désignation	Epais. Cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Plancher bas hourdis PSE	Revêtement de sol	5,00			1,163	Plancher bas RDC
	Dalle hourdis polystyrène	20,0		0,650		
Toiture terrasse inaccessible	Etanchéité				0,397	Toiture terrasse inaccessible
	Polystyrène TH31	7,00	0,031	2,260		
	Dalle béton	20,0	2,300	0,090		
Toiture terrasse accessible	Etanchéité				0,279	Toiture terrasse accessible : salle D29
	Polyuréthane	8,00	0,024	3,330		
	Dalle béton	20,0	2,300	0,090		

I.1.2.3 BATIMENT BU SCIENCES**Parois verticales**

Type	Désignation	Epais. cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Murs extérieurs béton ITI	Enduit extérieur	1,00			0,433	Façade zone Nord
	Béton	20,0	2,300	0,090		
	Laine de verre	8,00	0,040	2,00		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		
Murs extérieurs béton ITE	Enduit extérieur	1,00			0,248	Façades zone Sud
	Polystyrène TH32	12,0	0,032	3,750		
	Béton	20,0	2,300	0,090		
Murs intérieurs brique ITE	Laine de verre	10,00	0,040	2,50	0,261	Murs intérieurs en contact avec les combles
	Brique	20,0		1,160		

Parois horizontales

Type	Désignation	Epais. Cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Plancher bas isolé sous face	Revêtement de sol	1,00			0,270	Plancher bas sur vide- sanitaire, zone Sud
	Dalle béton	20,0	2,300	0,090		
	Flocage	14,0	0,041	3,410		
Plancher bas isolé sous chape	Chape + Carrelage	7,00			0,301	Plancher bas sur vide- sanitaire, zone Nord (salle de cours)
	Polystyrène TH30	9,00	0,031	2,950		
	Dalle béton	20,0	1,750	0,120		
Toiture terrasse	Etanchéité				0,426	Toiture terrasse inaccessible
	Polystyrène extrudé TH29	6,00	0,029	2,070		
	Dalle béton	20,0	2,300	0,090		
Toiture combles ou rampant	Laine de verre	30,00	0,035	8,570	0,114	Toiture en combles / en rampant
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		

I.1.2.4 BATIMENT BVD

Parois verticales

Type	Désignation	Epais. cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Murs extérieurs béton ITE	Enduit extérieur	1,00			0,243	Façades du bâtiment B
	Polystyrène TH32	12,0	0,032	3,750		
	Béton	30,0	2,300	0,130		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		
Murs extérieurs béton ITI	Enduit extérieur	1,00			0,323	- Façades du bâtiment V en RDC - Pignon Ouest du bâtiment B en R+2 et R+3 - Façades des salles de cours et laboratoires du bâtiment D en RDC
	Béton	20,0	2,300	0,090		
	Polystyrène TH32	9,00	0,032	2,810		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		
Murs intérieurs béton ITI	Béton	20,0	2,300	0,090	0,293	Murs mitoyens entre le bâtiment B et le bâtiment V
	Lame d'air	4,00				
	Béton	20,0	2,300	0,090		
	Polystyrène TH32	9,00	0,032	2,810		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		
Panneau simple	Verre sodo-calciare	1,00		0,010	0,395	Façades du bâtiment V en R+1
	Laine de verre	8,00	0,035	2,290		
	Feuillus mi-lourds	1,00		0,060		
Murs extérieurs béton ITE	Enduit extérieur	1,00			0,248	- Façade Est du bâtiment D en RDC - Façade Ouest et Est du bâtiment D en R+1
	Polystyrène TH32	12,0	0,032	3,750		
	Béton	25,0	2,300	0,110		
Murs extérieurs béton ITI/ITE	Enduit extérieur	1,00			0,179	- Façades Nord et Sud du bâtiment D vers extérieur (patio LT D013) - Façade sud pièce D016
	Polystyrène TH32	12,0	0,032	3,750		
	Béton	25,0	2,300	0,110		
	Laine de verre	5,00	0,037	1,350		
	Lame d'air	34,0		0,180		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		

Type	Désignation	Epais. cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Murs intérieurs béton ITI	Béton	25,0	2,300	0,110	0,543	Murs intérieurs des amphithéâtres du bâtiment D
	Laine de verre	5,00	0,037	1,350		
	Lame d'air	34,0		0,180		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		
Mur en pierre non isolé	Mur en pierre	40,00	1,700	0,240	1,493	Façades Ouest du bâtiment D en RDC
	Lame d'air	5,0		0,230		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		

Parois horizontales

Type	Désignation	Epais. Cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Plancher bas isolé sous face	Chape + Carrelage	7,00			0,227	- Plancher bas du bâtiment B - Plancher bas fosse des amphitheatres
	Dalle béton	20,0	2,300	0,090		
	Flocage	14,0	0,035	4,000		
Plancher bas sur terre plein	Dalle béton	30,0	2,300	0,130	3,333	Plancher bas sur terre-plein (bâtiment V, bâtiment D exepté amphi.)
Plancher bas isolé sous face	Chape + Carrelage	7,00			0,694	Plancher bas du bâtiment V sur extérieur en R+1
	Dalle béton	20,0	2,300	0,090		
	Flocage	4,00	0,039	1,030		
Toiture combles	Laine de verre	40,00	0,037	10,810	0,091	Combles isolés bâtiments B-V-D
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		
Toiture terrasse inaccessible	Etanchéité	1,00			0,352	Toiture terrasse bâtiments B-V-D
	Polystyrène extrudé TH31	8,00	0,031	2,580		
	Dalle béton	20,0	2,300	0,090		

I.1.2.5 BATIMENT C**Parois verticales**

Type	Désignation	Epais. cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Murs extérieurs béton ITE	Enduit extérieur	1,00			0,246	Façades du bâtiment C
	Polystyrène TH32	12,0	0,032	3,750		
	Béton	20,0	2,300	0,090		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		

Parois horizontales

Type	Désignation	Epais. Cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Plancher bas isolé sous face	Chape+Carrelage	10,00			0,226	Plancher bas du bâtiment C
	Dalle béton	20,0	2,300	0,090		
	Flocage	16,0	0,039	4,100		
Toiture combles	Laine de verre	40,00	0,039	10,260	0,095	Toiture en combles du bâtiment C
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		

I.1.2.6 BATIMENT F1-F3**Parois verticales**

Type	Désignation	Epais. cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Murs extérieurs Bloc ITI	Enduit extérieur	1,00			0,394	Façades du bâtiment F1
	Bloc béton creux	20,0		0,230		
	Polystyrène TH38	8,0	0,038	2,110		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		
Murs extérieurs béton ITI	Enduit extérieur	1,00			0,418	Façades du bâtiment F3 à l'exception de la façade arrondie
	Béton	20,0	2,300	0,090		
	Polystyrène TH38	8,0	0,038	2,110		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		
Murs extérieurs béton ITE	Enduit extérieur	1,00			0,251	Façade arrondie du bâtiment F3
	Polystyrène TH38	14,0	0,038	3,700		
	Béton	20,0	2,300	0,110		
Parois verticales toiture à redans	Bardage acier	2,00			1,250	Toiture à redans des bâtiment F1/F3
	Laine minérale	2,00	0,034	0,590		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		

Parois horizontales

Type	Désignation	Epais. Cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Plancher bas non isolé sur terre-plein	Dalle béton	20,0	2,300	0,090	3,333	Plancher bas du bâtiment F1 sur terre-plein
Plancher bas sur VS	Chape+Carrelage	7,00			0,362	Plancher bas du bâtiment F3 sur vide sanitaire
	Hourdis UP40	20,0		2,50		
Plancher bas sur sous-sol	Dalle béton	20,0	2,300	0,090	0,476	Plancher bas du bâtiment F1 sur le sous-sol
	Fibrastyrène	8,00	0,045	1,780		
Plancher bas sur l'extérieur	Dalle béton	20,0	2,300	0,090	0,476	Plancher bas du bâtiment F1 sur l'extérieur coté Nord
	Fibrastyrène	8,00	0,045	1,780		
Plancher bas sur l'extérieur	Dalle béton	20,0	2,300	0,090	0,476	Plancher bas des bâtiments F1/F3 sur l'extérieur coté Sud
	Flocage	8,00	0,045	1,780		
Toiture terrasse inaccessible	Etanchéité	1,00			0,431	Toiture terrasse du bâtiment F1
	Polystyrène TH29	6,00	0,029	2,070		
	Dalle béton	20,0	1,750	0,060		
Toiture terrasse inaccessible	Etanchéité	1,00			0,198	Toiture terrasse du bâtiment F3
	Polystyrène TH29	14,00	0,029	4,800		
	Dalle béton	20,0	1,750	0,060		
Toiture à redans	Bardage acier	2,00			1,250	Toiture à redans du bâtiment F1/F3
	Laine minérale	2,00	0,034	0,590		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		



I.1.2.7 BATIMENT F2**Parois verticales**

Type	Désignation	Epais. cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Murs extérieurs béton ITE	Enduit extérieur	1,00			0,391	Façades du bâtiment F2
	Béton	20,0	2,300	0,090		
	Polystyrène TH38	8,0	0,038	2,110		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		
Parois verticales toiture à redans	Bardage acier	2,00			1,250	Toiture à redans du bâtiment F2
	Laine minérale	2,00	0,034	0,590		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		

Parois horizontales

Type	Désignation	Epais. Cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Plancher bas non isolé sur radier	Dalle béton	23,0	2,300	0,100	3,704	Plancher bas du bâtiment F2 sur radier
Plancher bas sur l'extérieur	Chape + carrelage	7,00	2,300	0,040	0,476	Plancher bas du bâtiment F2 sur l'extérieur
	Dalle béton	20,0	2,300	0,090		
	Fibrastyrène	9,00	0,032	2,810		
Toiture terrasse inaccessible	Etanchéité	1,00			0,341	Toiture terrasse du bâtiment F2
	Polystyrène TH30	6,00	0,030	2,670		
	Dalle béton	20,0	1,750	0,060		
Toiture à redans	Bardage acier	2,00			1,250	Toiture à redans du bâtiment F2
	Laine minérale	2,00	0,034	0,590		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		

I.1.2.8 BATIMENT M – Amphi 3**Parois verticales**

Type	Désignation	Epais. cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Murs extérieurs béton ITI	Enduit extérieur	1,00			0,546	Façades de l'Amphi 3
	Béton	20,0	2,300	0,090		
	Laine de roche	6,0	0,040	1,500		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		
Murs extérieurs béton ITE	Enduit extérieur	1,00			0,246	Façades du bâtiment M à l'exception des façades des salles M01 et M10
	Polystyrène TH32	12,0	0,032	3,750		
	Béton	20,0	2,300	0,090		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		
Murs extérieurs béton ITI/ITE	Enduit extérieur	1,00			0,213	Façades des salles de cours M01 et M10 du bâtiment M
	Polystyrène TH32	12,0	0,032	3,750		
	Béton	20,0	2,300	0,090		
	Polystyrène TH32	2,00	0,032	0,630		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		

Parois horizontales

Type	Désignation	Epais. Cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/ W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Plancher bas non isolé sur radier	Dalle béton	23,0	2,300	0,100	3,704	- Plancher bas du bâtiment F2 - Plancher bas de l'amphi 3 hors fosse
Plancher bas sur sous-sol	Béton léger, entrevous 12cm	15,00		0,230	0,294	Plancher bas de la fosse de l'amphi 3
	Flocage	10,50	0,035	3,000		
Plancher intermédiaire	Dalle béton	23,0	2,300	0,100	0,306	Plancher intermédiaire de l'amphi 3
	Laine de roche	12,00	0,040	3,000		
Toiture terrasse inaccessible	Etanchéité	1,00			0,322	Toiture terrasse du bâtiment M (salle de cours et local ménage)
	Polystyrène TH29	7,00	0,029	2,410		
	Dalle béton	20,0	1,750	0,060		
	Flocage	2,00	0,045	0,440		
Toiture terrasse inaccessible	Etanchéité	1,00			0,375	- Toiture terrasse du bâtiment M (circulation) - Toiture terrasse des pièces annexes à l'amphi 3
	Polystyrène TH29	7,00	0,029	2,410		
	Dalle béton	20,0	1,750	0,060		
Toiture combles	Laine de verre	30,0	0,04	7,50	0,129	Combles de l'amphi 3
	Plaque de plâtre	2,60	0,350	0,070		
Toiture combles	Laine minérale	8,00	0,043	1,860	0,476	Combles des pièces annexes à l'amphi 3
	Plaque de plâtre	2,60	0,350	0,070		



I.1.2.9 BATIMENT U**Parois verticales**

Type	Désignation	Epais. cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Murs extérieurs béton ITI	Enduit extérieur	1,00			0,410	Façades du bâtiment U
	Béton	20,0	2,300	0,090		
	Polystyrène TH38	8,0	0,038	2,110		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		

Parois horizontales

Type	Désignation	Epais. Cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/ W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Plancher bas non isolé terre-plein	Dalle béton	23,0	2,300	0,100	3,704	Plancher bas sur terre-plein
Plancher bas sur VS	Chape + Carrelage	8,00			1,852	Plancher bas de la fosse de l'amphi
	Hourdis de 20 en béton	20,00		0,230		
	Fibrastyrène	7,00	0,320	0,22		
Toiture en zinc isolé	Métal	2,00			0,118	Vide sur hall, SAS
	Polyuréthane	20,00	0,024	8,330		
	Plaque de plâtre	2,60	0,350	0,070		
Toiture terrasse inaccessible	Etanchéité	1,00			0,322	Toiture terrasse inaccessible
	Polystyrène TH29	8,00	0,029	2,760		
	Dalle béton	20,0	2,30	0,090		
Toiture terrasse accessible	Etanchéité	1,00			0,279	Toiture terrasse accessible
	Polyuréthane	8,00	0,024	3,330		
	Dalle béton	20,0	2,30	0,090		
	Plaque de plâtre	2,60	0,350	0,070		

I.1.2.10 BATIMENT X – MAISON DE L'ETUDIANT**Parois verticales**

Type	Désignation	Epais. cm	Lambda W/m.°C	Résist m ² °C/W	Coef. U W/m ² °C	Localisation
Murs extérieurs bloc ITI	Pierre	5,00	2,900	0,020	0,400	Façades de la salle de réunion et de la salle des fêtes
	Bloc béton creux	20,0	2,300	0,170		
	Polystyrène TH38	8,0	0,038	2,110		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		
Murs extérieurs bloc ITI	Enduit extérieur	2,00			0,400	Autres façades
	Bloc béton creux	20,0	2,300	0,170		
	Polystyrène TH38	8,0	0,038	2,110		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		

Parois horizontales

Type	Désignation	Epais. Cm	Lambda W/m.°C	Résist m ² °C/ W	Coef. U W/m ² °C	Localisation
Plancher bas non isolé sur VS	Hourdis de 20 en béton	20,0		0,150	3,125	Plancher bas sur vide sanitaire
Plancher bas sur extérieur	Dalle béton	30,0	2,30	0,130	0,263	Plancher bas sur l'extérieur
	FIBRA ULTRA FM	11,50	0,033	3,500		
Toiture terrasse accessible	Etanchéité	1,00			0,341	Toiture terrasse accessible
	Polystyrène TH30	8,00	0,030	2,670		
	Dalle béton	20,0	2,30	0,090		
Toiture combles	Acier				0,366	Toiture combles
	Laine de roche	10,00	0,039	2,560		
	Plaque de plâtre	2,60	0,350	0,070		

I.1.2.11 BATIMENT Y**Parois verticales**

Type	Désignation	Epais. cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Murs extérieurs béton ITE	Parement brique	11,00	2,900	0,120	0,362	- Façades Ouest Est, Nord du bâtiment Y (hors patio) - Façade Est de l'amphi
	Lame d'air	4,0		0,180		
	Polystyrène TH36	8,00	0,036	2,220		
	Béton	16,0	2,30	0,070		
Murs extérieurs béton ITE	Parement brique	11,00	2,900	0,120	0,269	Façade Sud du bâtiment Y (Galerie)
	Lame d'air	4,0	2,300	0,180		
	Polystyrène TH36	11,00	0,036	3,060		
	Béton	24,0	2,30	0,100		
Murs extérieurs béton ITI	Béton	20,0	2,30	0,090	0,358	Façade Nord de l'amphi
	Polystyrène TH36	9,00	0,036	2,220		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		
Murs extérieurs béton ITI	Béton	24,0	2,30	0,100	0,398	- Façade Sud sur patio tous étages - Façades Ouest et Est sur patio en R+1 et R+2
	Polystyrène TH36	8,00	0,036	2,220		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		
Mur ossature bois	Panneau en bois	1,00		0,070	0,336	Façade Nord Patio/Galerie
	Lame d'air	3,00		0,140		
	Laine de verre	10,0	0,039	2,560		
	Lame d'air	3,00		0,140		
	Panneau en bois	2,0		0,130		
Mur ossature bois	Parement brique	11,00		0,120	0,196	Façade Sud de l'amphi
	Panneau bois	3,00		0,200		
	Lame d'air	3,00		0,200		
	Laine de verre	20,0	0,039	5,130		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		
Murs non isolés sur patio	Béton	30,0	2,30	0,130	3,333	Murs Ouest/Est du patio en RDC

Parois horizontales

Type	Désignation	Epais. Cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/ W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Plancher bas sur VS	Chape + Carrelage	6,00			0,448	Plancher bas sur vide- sanitaire hors amphi
	Hourdis polystyrène	25,0		2,000		
Plancher bas sur VS	Dalle béton	20,0	2,30	0,090	0,307	Plancher bas sur vide sanitaire de l'amphi
	Flocage	12,00	0,040	3,000		
Toiture terrasse inaccessible	Etanchéité	1,00			0,341	Toiture terrasse inaccessible
	Polystyrène TH30	8,00	0,030	2,670		
	Dalle béton	20,0	2,30	0,090		
Toiture combles	Métal				0,127	Toiture combles zinc isolé
	Laine de verre	30,00	0,039	7,690		
	Plaque de plâtre	2,60	0,350	0,070		

I.1.2.12 BATIMENT Z**Parois verticales**

Type	Désignation	Epais. cm	Lambda W/m.°C	Résist m ² °C/W	Coef. U W/m ² °C	Localisation
Murs extérieurs béton ITI	Enduit extérieur	1,00			0,410	Façades du bâtiment Z
	Béton	20,0	2,30	0,090		
	Polystyrène TH38	8,00	0,038	2,110		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		

Parois horizontales

Type	Désignation	Epais. Cm	Lambda W/m.°C	Résist m ² °C/ W	Coef. U W/m ² °C	Localisation
Plancher bas sur VS	Dalle béton	23,0	2,30	0,100	3,704	Plancher bas sur vide- sanitaire
Plancher bas sur extérieur	Dalle béton	20,0	2,30	0,090	0,295	Plancher bas sur l'extérieur
	Fibrastyrène	10,00	0,032	3,130		
Toiture terrasse inaccessible	Etanchéité	1,00			0,442	Toiture terrasse inaccessible
	Polystyrène TH30	6,00	0,030	2,000		
	Dalle béton	20,0	2,30	0,090		
Toiture bac acier	Métal + Etanchéité				0,258	Toiture zinc isolé
	Laine de verre	15,00	0,041	3,660		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		

I.1.2.13 BATIMENT MAISON DES SPORTS**Parois verticales**

Type	Désignation	Epais. cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Murs extérieurs béton ITE	Enduit extérieur	1,00			0,377	Façades partie Nord du bâtiment (salle de danse)
	Polystyrène TH34	8,00	0,034	2,350		
	Béton	16,0	2,30	0,070		
	Plaque de plâtre	1,30	0,350	0,040		
Mur ossature bois	Panneau en bois	1,50		0,100	0,322	Façade partie Sud du bâtiment (salle multi- sports)
	Lame d'air	2,00		0,180		
	Laine de verre	10,0	0,039	2,560		
	Panneau en bois	1,50		0,100		

Parois horizontales

Type	Désignation	Epais. Cm	Lambda W/m.°C	Résist m²°C/ W	Coef. U W/m²°C	Localisation
Plancher bas sur VS	Chape + Carrelage	7,00			0,433	Plancher bas sur vide- sanitaire (Partie Nord du bâtiment)
	Hourdis polystyrène	28,0		2,10		
Plancher bas sur terre-plein	Chape + Carrelage	7,0			0,380	Plancher bas sur terre- plein (Partie Sud du bâtiment)
	Dalle béton	21,0	2,30	0,090		
	Polystyrène TH30	7,00	0,030	2,330		
Toiture terrasse inaccessible	Etanchéité + Gravier	5,00			0,326	Toiture terrasse inaccessible (Partie Nord du bâtiment)
	Polystyrène TH30	8,00	0,030	2,670		
	Dalle béton	20,0	2,30	0,090		
Toiture bac acier	Métal + Etanchéité				0,355	Toiture bac acier (Partie Sud du bâtiment)
	Laine de verre	10,00	0,039	2,560		
	Métal					

I.2 MENUISERIES**I.2.1 Menuiseries extérieures Alu et PVC****I.2.1.1 BATIMENT A-A1 / BASE****Vitrages :**

Double vitrage 4/16/4, Facteur solaire $F_s=65\%$ - Transmission lumineuse $T_l=82\%$

Double vitrage solaire 6/16/4, Facteur solaire $F_s=39\%$ - Transmission lumineuse $T_l=71\%$

Menuiseries :

Menuiseries Alu présentant un U_w compris entre $1,9 \text{ W/m}^2.\text{K}^\circ$ et $3 \text{ W/m}^2.\text{K}^\circ$

I.2.1.2 BATIMENT BU-LSH**Vitrages :**

Double vitrage 4/16/4, Facteur solaire $F_s=65\%$ - Transmission lumineuse $T_l=82\%$

Double vitrage solaire 6/16/4, Facteur solaire $F_s=39\%$ - Transmission lumineuse $T_l=71\%$

Double vitrage solaire 6/16/4, Facteur solaire $F_s=32\%$ - Transmission lumineuse $T_l=71\%$

Double vitrage solaire 4/12/4, Facteur solaire $F_s=40\%$ - Transmission lumineuse $T_l=71\%$

Menuiseries :

Menuiseries Alu présentant un U_w compris entre $1,6 \text{ W/m}^2.\text{K}^\circ$ et $2,5 \text{ W/m}^2.\text{K}^\circ$

I.2.1.3 BATIMENT BU-SCIENCES**Vitrages :**

Double vitrage 4/16/4, Facteur solaire $F_s=65\%$ - Transmission lumineuse $T_l=82\%$

Menuiseries :

Menuiseries Alu présentant un U_w compris entre $1,5 \text{ W/m}^2.\text{K}^\circ$ et $1,8 \text{ W/m}^2.\text{K}^\circ$

I.2.1.4 BATIMENT BVD**Vitrages :**

Double vitrage 4/16/4, Facteur solaire $F_s=65\%$ - Transmission lumineuse $T_l=82\%$

Double vitrage 4/12/4, Facteur solaire $F_s=65\%$ - Transmission lumineuse $T_l=82\%$

Double vitrage solaire 6/16/4, Facteur solaire $F_s=39\%$ - Transmission lumineuse $T_l=71\%$

Mur rideau de briques de 24 cm, Facteur solaire $F_s=17\%$ - Transmission lumineuse $T_l=40\%$

Menuiseries :

Menuiseries Alu présentant un U_w compris entre $1,9 \text{ W/m}^2.\text{K}^\circ$ et $2,2 \text{ W/m}^2.\text{K}^\circ$

Mur rideau Alu présentant un U_w de $2,6 \text{ W/m}^2.\text{K}^\circ$

Mur rideau de briques de 24 cm présentant un U_w de $3,1 \text{ W/m}^2.\text{K}^\circ$

I.2.1.5 BATIMENT C**Vitrages :**

Double vitrage 4/16/4, Facteur solaire $F_s=65\%$ - Transmission lumineuse $T_l=82\%$

Menuiseries :

Menuiseries Alu et mur rideau présentant un U_w compris entre $1,6 \text{ W/m}^2.\text{K}^\circ$ et $1,9 \text{ W/m}^2.\text{K}^\circ$

Mur rideau de pavés de verre présentant un U_w de $3,1 \text{ W/m}^2.\text{K}^\circ$

I.2.1.6 BATIMENT F1-F3**Vitrages :**

Double vitrage 4/16/4, Facteur solaire $F_s=65\%$ - Transmission lumineuse $T_l=82\%$

Menuiseries :

Menuiseries Alu présentant un U_w compris entre 1,5 W/m².K° et 1,8 W/m².K°

I.2.1.7 BATIMENT F2**Vitrages :**

Double vitrage 4/16/4, Facteur solaire $F_s=65\%$ - Transmission lumineuse $T_l=82\%$

Menuiseries :

Menuiseries Alu présentant un U_w compris entre 1,5 W/m².K° et 2,0 W/m².K°
Mur rideau de pavés de verre présentant un U_w de 2,8 W/m².K°

I.2.1.8 BATIMENT M-Amphi 3**Vitrages :**

Double vitrage 4/16/4, Facteur solaire $F_s=65\%$ - Transmission lumineuse $T_l=82\%$

Menuiseries :

Menuiseries Alu présentant un U_w compris entre 1,5 W/m².K° et 2,4 W/m².K°

I.2.1.9 BATIMENT U

Double vitrage solaire 6/16/4, Facteur solaire $F_s=39\%$ - Transmission lumineuse $T_l=71\%$

Menuiseries :

Menuiseries Alu présentant un U_w compris entre 1,5 W/m².K° et 2,1 W/m².K°

I.2.1.10 BATIMENT X - MAISON DE L'ETUDIANT

Double vitrage 4/16/4, Facteur solaire $F_s=65\%$ - Transmission lumineuse $T_l=82\%$

Menuiseries :

Menuiseries Alu présentant un U_w compris entre 1,7 W/m².K° et 2,2 W/m².K°

I.2.1.11 BATIMENT Y

Double vitrage 4/16/4, Facteur solaire $F_s=65\%$ - Transmission lumineuse $T_l=82\%$

Menuiseries :

Menuiseries Bois présentant un U_w compris entre 1,3 W/m².K° et 1,5 W/m².K°

I.2.1.12 BATIMENT Z

Double vitrage 4/16/4, Facteur solaire $F_s=65\%$ - Transmission lumineuse $T_l=82\%$

Double vitrage solaire 6/16/4, Facteur solaire $F_s=39\%$ - Transmission lumineuse $T_l=71\%$

Menuiseries :

Menuiseries Alu présentant un U_w compris entre 1,6 W/m².K° et 2,0 W/m².K°

I.2.1.13 BATIMENT MAISON DES SPORTS

Double vitrage 4/16/4, Facteur solaire $F_s=65\%$ - Transmission lumineuse $T_l=82\%$

Double vitrage solaire 6/16/4, Facteur solaire $F_s=39\%$ - Transmission lumineuse $T_l=71\%$

Menuiseries :

Menuiseries Bois présentant un U_w compris entre 1,8 W/m².K° et 2,3 W/m².K°

Menuiseries Alu présentant un U_w compris entre 1,4 W/m².K° et 2,8 W/m².K°

I.3 CHAUFFAGE / CLIMATISATION

I.3.1 Description du projet

Le projet de rénovation énergétique du campus universitaire UPVD a été divisé en deux phases :

Phase 1 :

- Travaux d'amélioration de l'enveloppe des bâtiments
- Création d'une boucle d'eau chaude tempérée depuis le local chaufferie gaz existant distribuant l'ensemble des locaux sous-stations des divers bâtiments du campus universitaire
- Création de locaux sous-station. Mise en place de pompes à chaleur eau/eau. Réseau primaire correspondant à la boucle d'eau chaude tempérée. Réseau secondaire correspondant à la distribution intérieure jusqu'aux émetteurs de chaleur

Phase 2 :

- Etude de faisabilité d'un projet de mise en place d'une pompe à chaleur sur sondes géothermiques en remplacement de la chaufferie gaz existante sur boucle d'eau chaude tempérée.

Les travaux de la phase 1 sont actuellement en cours. La présente étude de faisabilité étudie ainsi l'intérêt de remplacer la chaudière gaz existante sur boucle d'eau chaude tempérée par une pompe à chaleur géothermique sur sondes.

Les travaux d'isolation étant en phase travaux ou vont être prochainement réalisés, il n'est pas étudié dans cette étude de faisabilité des pistes d'amélioration de l'enveloppe thermique et il n'est pas fourni un comparatif des coûts d'exploitation annuelles entre le projet avant travaux d'isolation et celui après travaux d'isolation.

- Voir annexe : Schéma de principe de la boucle tempérée

La pompe à chaleur géothermique a pour but le maintien en température de la boucle d'eau tempérée à un régime de température 17°C/23°C.

Une boucle d'eau tempérée a été retenue afin de limiter les déperditions thermiques.

Les pompes à chaleur en locaux sous-stations puisent l'énergie de cette boucle d'eau tempérée pour atteindre des régimes de température 65°C/50°C sur le réseau intérieur de distribution jusqu'aux émetteurs de chaleur.

I.3.2 Chauffage et climatisation des bâtiments

Le chauffage et la climatisation des locaux des divers bâtiments de l'UPVD sera assurés par des ventilo-convecteurs et des radiateurs à eau.

Caractéristiques de la boucle d'eau tempérée

Type	Localisation	Caractéristiques
Boucle d'eau tempérée	Réseaux enterrés	<ul style="list-style-type: none"> - Boucle d'eau tempérée - Canalisations enterrées en polybutène PE100 - T° boucle : 17°C/23°C <p>Production :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Géothermie sur sondes, PAC eau/eau COP 6,45 et EER 6,28 - Appoint gaz : 3 chaudières 1MW/u, rendement : 0,8 <p>Echangeur primaire réseau chaufferie gaz / boucle tempérée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Puissance: 2000 kW. - Débit primaire côté chaufferie: 86 m³/h - Débit secondaire côté Boucle: 283 m³/h <p>Pompe primaire chaufferie :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 86 m³/h - 5 mCE

Pompe à chaleur eau/eau géothermique

Type	Localisation	Caractéristiques
PAC Eau/Eau	Local géothermie	Pompe à chaleur eau/eau Type : TRANE – Modèle RTWD 180 Puissance frigorifique : 641,0 kW EER : 6,28 COP : 6,45 

Gestion technique centralisée :

La GTC permettra d'adapter le débit des pompes aux demandes de l'installation en temps réel. Elle permettra également la permutation des pompes.


Les fonctions assurées seront :

- La mise en marche des pompes en fonction des conditions de température de pression et de débit des réseaux.
- La mise à l'arrêt des pompes en fonction des conditions de température de pression et de débit des réseaux.
- La variation de débit des pompes en fonction des conditions de température de pression et de débit des réseaux.
- Le contrôle des débits
- Le contrôle des pressions amont et aval des pompes
- Le contrôle des températures
- Le comptage d'heure de fonctionnement des pompes
- Le comptage des consommations des pompes
- Les alarmes techniques
- Ensemble des points nécessaires au bon fonctionnement des pompes


Comptage énergétique

Un système de comptage énergétique conforme fond chaleur ADEME sera mis en place.


I.3.2.1 BATIMENT F F1-F2-F3

Type de chauffage	Localisation	Caractéristiques
PAC	Local PAC Bâtiment F Sous-station : Bâtiment F1 Bâtiment F2 Bâtiment F3	Pompe à chaleur eau/eau Type : TRANE – RTSF 060 A A R1234ze Puissance calorifique hiver : 232,36 kW Qv cond : 13,51 m ³ /h Qv évap : 23,57 m ³ /h 
Ventilo-convecteurs	Emetteurs	Classe B2 Variation temporelle 1,8°C


I.3.2.2 BATIMENT A-A1 / BASE

Type de chauffage	Localisation	Caractéristiques
PAC	Local PAC : Bâtiment A-A1/Base Sous-station : Bâtiment BASE Bâtiment A-A1	Pompe à chaleur eau/eau Type : TRANE – RTSF 050 C B R1234ze Puissance calorifique hiver : 180,61 kW Qv cond : 10,54 m3/h Qv évap : 15,26 m3/h 
Radiateurs à eau chaude	Emetteurs	Classe B2 Variation temporelle 1,8°C


I.3.2.3 BATIMENT ATELIER / MAISON DE L'ETUDIANT / MAISON DES SPORTS / BU SCIENCES

Type de chauffage	Localisation	Caractéristiques
PAC	Local PAC Atelier Sous-station Maison de l'Etudiant Maison des sports BU Sciences	Pompe à chaleur eau/eau Type : TRANE – RTSF 050 C B R1234ze Puissance calorifique hiver : 192,07 kW Qv cond : 11,17 m3/h Qv évap : 19,41 m3/h 
Ventilo-convecteurs	Emetteurs	Classe B2 Variation temporelle 1,8°C


I.3.2.4 BATIMENT BU-LETTRES

Type de chauffage	Localisation	Caractéristiques
PAC	Local PAC BU Lettres Sous-station : BU Lettres	Pompe à chaleur eau/eau Type : TRANE – RTSF 090 A A R1234ze Puissance calorifique hiver : 307,17 kW Qv cond : 17,93 m3/h Qv évap : 27,19 m3/h 
Ventilo-convecteurs	Emetteurs	Classe B2 Variation temporelle 1,8°C


I.3.2.5 BATIMENT DATA CENTER

Type de chauffage	Localisation	Caractéristiques
PAC	Local PAC : Bâtiment DATA CENTER Sous-station : Bâtiment B Bâtiment Z Bâtiment D	Pompe à chaleur eau/eau Type : TRANE – RTSF 050 C B R1234ze Puissance calorifique hiver : 307,17 kW Qv cond : 11,17 m3/h Qv évap : 19,41 m3/h 
Radiateurs à eau chaude	Emetteurs	Classe B3 Variation temporelle 1,8°C

I.3.2.6 BATIMENT C/U/M/A3

Type de chauffage	Localisation	Caractéristiques
PAC	Local PAC : Bâtiment C/U/M/A3 Sous-station : Bâtiment M/A3 Bâtiment U Bâtiment C	Pompe à chaleur eau/eau Type : TRANE – RTSF 090 A A R1234ze Puissance calorifique hiver : 327,60 kW Qv cond : 19,05 m3/h Qv évap : 33,42 m3/h 
Ventilo-convecteurs	Emetteurs	Classe B2 Variation temporelle 1,8°C

I.3.2.7 BATIMENT Y

Type de chauffage	Localisation	Caractéristiques
PAC	Local PAC : Bâtiment Y Sous-station : Bâtiment Y	Pompe à chaleur eau/eau Type : TRANE – RTSF 050 C B R1234ze Puissance calorifique hiver : 192,07 kW Qv cond : 11,17 m3/h Qv évap : 19,41 m3/h 
Diffusion d'air par réseau aéraulique	Emetteurs (Bouches CTA)	Classe B2 Variation temporelle 1,8°C

I.4 VENTILATION**I.4.1 Caissons de ventilation**

La ventilation des locaux est assuré par deux types d'équipements :

- Ventilation de confort par des centrales de traitement d'air double flux à haut rendement
- Ventilation permanente par des centrales simple flux

Dans les laboratoires, les sorbonnes ont été prises en compte dans le calcul.

I.4.1.1 BATIMENT A-A1 / BASE

Type de caisson	Localisation	Caractéristiques
CTA Double flux	Salle Yves Guitton	CTA DAC 800 m3/h Reprise : 0,92 Wh/m3 Soufflage : 0,92 Wh/m3 Efficacité de l'échangeur : 90%
VMC Simple flux	Autres	3 caissons SF existants <i>Sans information</i>

I.4.1.2 BATIMENT BU-LSH

Type de caisson	Localisation	Caractéristiques
CTA Double flux	Bibliothèque	CTA DAC Reprise : 0,4 Wh/m3 Soufflage : 0,4 Wh/m3 Efficacité de l'échangeur : 85% Y compris batterie préchauffage et prérefroidissement raccordé sur PAC du local sous-station
CTA Double Flux	Salles de travail	CTA DAC Reprise : 0,4 Wh/m3 Soufflage : 0,4 Wh/m3 Efficacité de l'échangeur : 85% Y compris batterie préchauffage et prérefroidissement raccordé sur PAC du local sous-station
VMC Simple flux	Admin	Débit : 1395 m3/h Reprise : 0,833 Wh/m3
VMC Simple flux	Magasin fermé	Débit : 1710 m3/h Reprise : 0,833 Wh/m3

I.4.1.3 BATIMENT BU-SCIENCES

Type de caisson	Localisation	Caractéristiques
CTA Double flux	BU	CTA DAC Reprise : 0,55 Wh/m3 Soufflage : 0,55 Wh/m3 Efficacité de l'échangeur : 80% Y compris batterie préchauffage et prérefroidissement raccordé sur PAC du local sous-station
CTA Double Flux	Salles de cours	CTA DAC Reprise : 0,4 Wh/m3 Soufflage : 0,4 Wh/m3 Efficacité de l'échangeur : 87%
VMC Simple flux	WC (Zone BU)	Reprise : 0,28 Wh/m3
VMC Simple flux	WC (Zone salle de cours)	Reprise : 0,28 Wh/m3
VMC Simple flux	Logement	Reprise : 0,13 Wh/m3

I.4.1.4 BATIMENT BVD

Type de caisson	Localisation	Caractéristiques
CTA Double flux	Bâtiments B-V	CTA DAC Reprise : 0,55 Wh/m3 Soufflage : 0,55 Wh/m3 Efficacité de l'échangeur : 80% Y compris batterie préchauffage et prérefroidissement raccordé sur PAC du local sous-station
CTA Double Flux	Amphi 1	CTA DAC Reprise : 0,35 Wh/m3 Soufflage : 0,35 Wh/m3 Efficacité de l'échangeur : 85% Y compris batterie préchauffage et prérefroidissement raccordé sur PAC du local sous-station
CTA Double Flux	Amphi 2	CTA DAC Reprise : 0,35 Wh/m3 Soufflage : 0,35 Wh/m3 Efficacité de l'échangeur : 85% Y compris batterie préchauffage et prérefroidissement raccordé sur PAC du local sous-station
CTA Double Flux	Bâtiment D Salle de cours Laboratoires	CTA DAC Reprise : 0,35 Wh/m3 Soufflage : 0,35 Wh/m3 Efficacité de l'échangeur : 85% Y compris batterie préchauffage et prérefroidissement raccordé sur PAC du local sous-station
VMC Simple flux	WC (Zone BU)	Reprise : 0,28 Wh/m3

I.4.1.5 BATIMENT C

Type de caisson	Localisation	Caractéristiques
Sorbonnes	Laboratoires Bâtiments C	Existant <i>Sans information</i>
CTA Double Flux	Bâtiment C	CTA DAC Reprise : 0,40 Wh/m3 Soufflage : 0,40 Wh/m3 Efficacité de l'échangeur : 80%

I.4.1.6 BATIMENT F1-F3

Type de caisson	Localisation	Caractéristiques
CTA Double flux	Bureaux Salles de cours F1-F3	CTA DAC Reprise : 0,35 Wh/m3 Soufflage : 0,35 Wh/m3 Efficacité de l'échangeur : 80%
CTA Double Flux	Amphi F3	CTA DAC Reprise : 0,35 Wh/m3 Soufflage : 0,35 Wh/m3 Efficacité de l'échangeur : 52% Y compris batterie préchauffage et prérefroidissement raccordé sur PAC du local sous-station
CTA Double Flux	Salle de classe F3	CTA DAC Reprise : 0,38 Wh/m3 Soufflage : 0,38 Wh/m3 Efficacité de l'échangeur : 84% Y compris batterie préchauffage et prérefroidissement raccordé sur PAC du local sous-station
CTA Double Flux	Amphi F1	CTA DAC Reprise : 0,55 Wh/m3 Soufflage : 0,55 Wh/m3 Efficacité de l'échangeur : 80% Y compris batterie préchauffage et prérefroidissement raccordé sur PAC du local sous-station
VMC Simple flux	Sanitaires (F1)	Reprise : 0,124 Wh/m3
VMC Simple flux	Sanitaires (F3)	2 caissons Reprise : 0,124 Wh/m3

I.4.1.7 BATIMENT F2

Type de caisson	Localisation	Caractéristiques
CTA Double flux	Bureaux Salles de cours F2	CTA DAC Reprise : 0,55 Wh/m3 Soufflage : 0,55 Wh/m3 Efficacité de l'échangeur : 85% Y compris batterie préchauffage et prérefroidissement raccordé sur PAC du local sous-station
VMC Simple flux	Sanitaires	Existant

I.4.1.8 BATIMENT M – AMPHI 3

Type de caisson	Localisation	Caractéristiques
CTA Double flux	Amphi 3	CTA DAC Reprise : 0,50 Wh/m3 Soufflage : 0,50 Wh/m3 Efficacité de l'échangeur : 80% Y compris batterie préchauffage et prérefroidissement raccordé sur PAC du local sous-station
CTA Double flux	Bâtiment M	CTA DAC Reprise : 0,32 Wh/m3 Soufflage : 0,38 Wh/m3 Efficacité de l'échangeur : 80% Y compris batterie préchauffage et prérefroidissement raccordé sur PAC du local sous-station

I.4.1.9 BATIMENT U

Type de caisson	Localisation	Caractéristiques
CTA Double flux	Bâtiment U	CTA DAC 3000 m3/h Reprise : 0,28 Wh/m3 Soufflage : 0,28 Wh/m3 Efficacité de l'échangeur : 80% Y compris batterie préchauffage et prérefroidissement raccordé sur PAC du local sous-station

I.4.1.10 BATIMENT X – MAISON DE L'ETUDIANT

Type de caisson	Localisation	Caractéristiques
CTA Double flux	Bâtiment X Maison de l'étudiant	CTA DAC Reprise : 0,28 Wh/m3 Soufflage : 0,28 Wh/m3 Efficacité de l'échangeur : 80% Y compris batterie préchauffage et prérefroidissement raccordé sur PAC du local sous-station
VMC Simple flux	Sanitaires	Reprise : 0,188 Wh/m3

I.4.1.11 BATIMENT Y

Type de caisson	Localisation	Caractéristiques
CTA Double flux	Amphi Salles de classe	CTA DAC Reprise : 0,28 Wh/m3 Soufflage : 0,28 Wh/m3 Efficacité de l'échangeur : 85% Y compris batterie préchauffage et prérefroidissement raccordé sur PAC du local sous-station
VMC Simple flux	Sanitaires	2 Caissons existants <i>Sans information</i>

I.4.1.12 BATIMENT Z

Type de caisson	Localisation	Caractéristiques
CTA Double flux	Bâtiment Z	CTA DAC Reprise : 0,50 Wh/m3 Soufflage : 0,50 Wh/m3 Efficacité de l'échangeur : 85% Y compris batterie préchauffage et prérefroidissement raccordé sur PAC du local sous-station
VMC Simple flux	Sanitaires	Reprise : 0,300 Wh/m3

I.4.1.13 BATIMENT MAISON DES SPORTS

Type de caisson	Localisation	Caractéristiques
CTA Double flux	Bâtiment Maison des sports	CTA DAC Reprise : 0,50 Wh/m3 Soufflage : 0,50 Wh/m3 Efficacité de l'échangeur : 80% Y compris batterie préchauffage et prérefroidissement raccordé sur PAC du local sous-station
VMC Simple flux	Sanitaires	2 Caissons existants <i>Sans information</i>

I.5 TABLEAU DES DEPERDITIONS BATIMENT PAR BATIMENT

Ci-dessous les déperditions de chaque bâtiment incluant :

- Déperditions thermiques des bâtiments
- Déperditions prétraitement de l'air

Ces calculs ont été réalisés avec une surpuissance de relance de 15% car le bâtiment est soumis à l'intermittence (coupure du chauffage de nuit et en période de vacances scolaires)

Bâtiment	Déperditions Emetteurs pièces	Déperditions prétraitement AN 20°C	Régime de température Emetteurs	TOTAL déperditions bâtiment (avec 15 % de surpuissance)	TOTAL SOUS- STATION
Base	44 kW	0 kW	70C /55 °C	115 kW	115 kW
A	24 kW	0 kW			
A1	47 kW	0 kW			
B	57 kW	10 kW	60°C /45 °C	76 kW	180 kW
V	9 kW	0 kW			
D	46 kW	15 kW	60°C /45 °C	61 kW	
Z	30 kW	13 kW	60°C /45 °C	43 kW	
C	53 kW	40 kW	60°C /45 °C	93 kW	246 kW
U	52 kW	28 kW	60°C /45 °C	80 kW	
A3	21 kW	9 kW	60°C /45 °C	73 kW	
M	34 kW	9 kW	60°C /45 °C		
Maison de l'étudiant	33 kW	15 kW	60°C /45 °C	48 kW	145 kW
Maison des sports	36 kW	0 kW	60°C /45 °C	36 kW	
BU Sciences	53 kW	8 kW	60°C /45 °C	61 kW	
BU Lettres	210 kW	20 kW	70C /55 °C	230 kW	230 kW
F1	67 kW	8 kW	60°C /45 °C	188 kW	238 kW
F3	76 kW	37 kW			
F2	45 kW	5 kW	60°C /45 °C	50 kW	
Y	115 kW	20 kW	60°C /45 °C	135 kW	135 kW
				1289 kW	1289 kW

I.6 BILAN THERMIQUE

La simulation énergétique dynamique permet de déterminer les besoins énergétiques annuels des divers équipements de chauffage/climatisation :

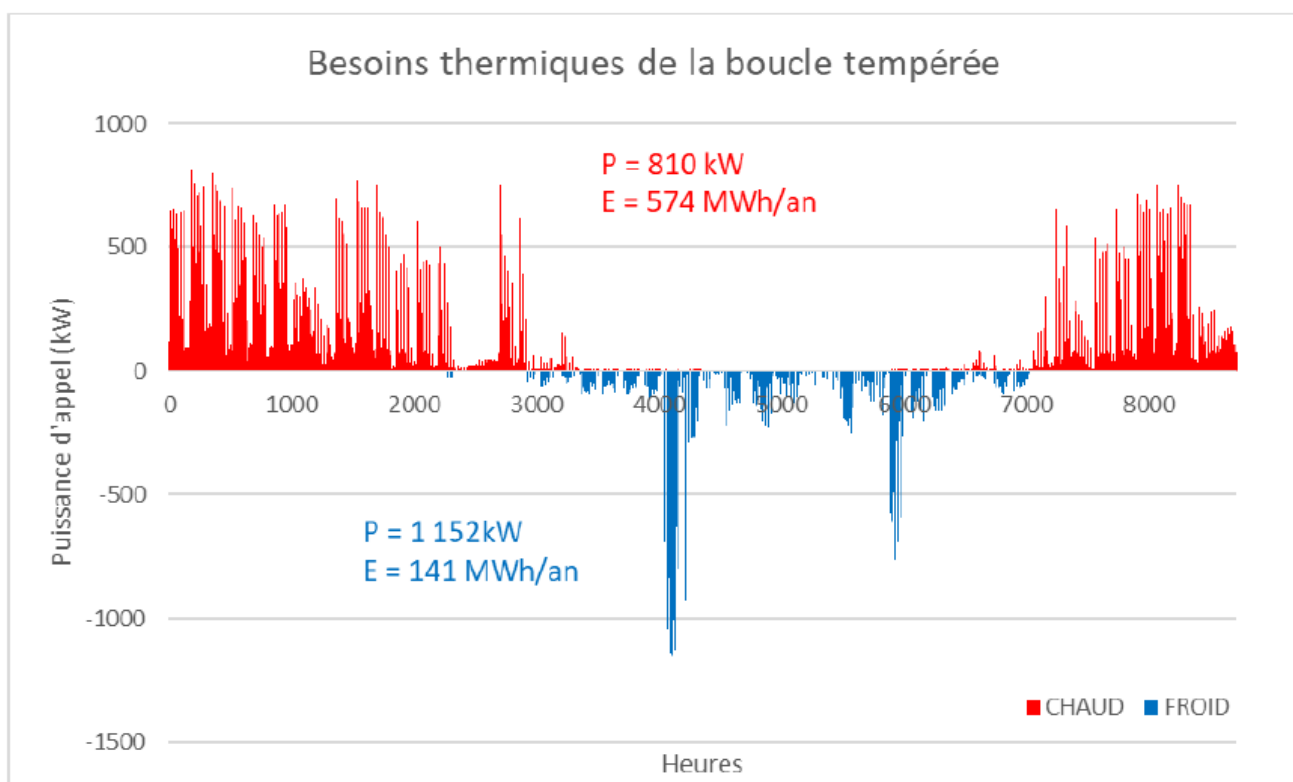
- Besoins calorifiques/frigorifiques annuels nécessaire au maintien en température de la boucle d'eau tempérée
- Energie consommée par les PAC eau/eau des locaux sous-stations

Bilan énergétique SED

Besoins calorifiques dans le circuit primaire (boucle d'eau tempérée) (MWh/an)	574,0
Besoins frigorifiques dans le circuit primaire (boucle d'eau tempérée) (MWh/an)	141,0
Besoins calorifiques/frigorifiques dans le circuit primaire (boucle d'eau tempérée) (MWh/an)	715,0
Energie consommée par les locaux sous-stations en chaud seul (MWh/an)	232,1
Energie consommée par les locaux sous-stations en froid seul (MWh/an)	57,0
Energie consommée par les locaux sous-stations en chaud et froid (MWh/an)	289,1

Ci-dessous les besoins calorifiques et frigorifiques heure par heure au cours d'une année du 1^{er} janvier au 31 décembre.

Les valeurs négatives représentent les besoins frigorifiques de la boucle d'eau tempérée. A contrario, les valeurs positives représentent les besoins calorifiques de la boucle d'eau tempérée.



Nous étudions les consommations énergétiques entre une solution de référence et la solution sur sondes géothermiques.

Solution de référence :

- Conservation des 3 chaudières gaz pour la production principale de chaleur sur la boucle d'eau tempérée
- Pompes à chaleur eau/eau dans l'ensemble des locaux sous-stations

Solution sondes géothermiques :

- Remplacement des 3 chaudières gaz par une pompe à chaleur eau/eau sur sondes géothermiques
- Pompes à chaleur eau/eau dans l'ensemble des locaux sous-stations

La solution de référence ne permet pas une climatisation des locaux. Il a été étudié les consommations énergétiques d'une solution sur sondes géothermiques avec émetteurs bloqués en mode chaud ainsi qu'une autre solution sur sonde géothermique avec émetteurs en mode chaud et froid. Ceci permet de comparer la solution de référence à une solution sur sondes géothermiques sur un mode d'émission équivalent, c'est-à-dire en mode chauffage seulement.

La solution de référence étudiée par notre partenaire Celsius est une solution de référence utilisant le gaz comme énergie unique, c'est-à-dire que les locaux sous-stations sont composés également de chaudière gaz d'où une disparité de résultat. Le marché d'installation de pompes à chaleurs dans les locaux sous-stations étant déjà signé, nous avons opté pour une solution de référence différente.

	Solution de référence (chaudière gaz) CHAUD SEUL	Solution sur sondes verticales CHAUD SEUL	Solution sur sondes verticales CHAUD ET FROID
Données d'entrée			
Rendement moyen des chaudières gaz	0,8		
Coefficient de performance (COP) de l'installation géothermique		6,45	6,45
Rendement moyen (EER) de l'installation géothermique		6,28	6,28
Pourcentage des besoins frigorifiques couvert par géothermie (%)		90%	90%
Rendement moyen (EER) de l'appoint par PAC		2,5	2,5
Consommation énergétique du réseau primaire (boucle d'eau tempérée)			
Besoins calorifiques dans le circuit primaire (boucle d'eau tempérée) (MWh/an)		574,0	
Besoins frigorifiques dans le circuit primaire (boucle d'eau tempérée) (MWh/an)		141,0	
Besoins calorifiques/frigorifiques dans le circuit primaire (boucle d'eau tempérée) (MWh/an)		715,0	
Consommation en gaz PCI du réseau primaire (MWh/an)	717,5		
Consommation électrique du réseau primaire (MWh/an)		109,1	135,9
Consommation énergétique des locaux sous-stations			
Energie consommée par les locaux sous-stations en chaud seul (MWh/an)		232,1	
Energie consommée par les locaux sous-stations en froid seul (MWh/an)		57,0	
Energie consommée par les locaux sous-stations en chaud et froid (MWh/an)		289,1	
Consommation électrique des PAC en locaux sous-stations (MWh/an)	232,1	232,1	289,1
Consommation énergétique totale			
Consommation en gaz PCI (MWh/an)	717,5		
Consommation électrique (MWh/an)	232,1	341,2	425,0

I.7 BILAN ECONOMIQUE

Le bilan économique ci-dessous présente le coût d'investissement de l'installation poste par poste. Elle présente les différents postes de dépenses à prévoir :

P1 et P1' : dépenses liées à la consommation d'énergie du système

P2 : dépenses liées à la maintenance annuelle du système

P3 : dépenses liées au gros entretien éventuel (remplacement d'équipements en fin de vie)

P4 : dépenses liées à l'amortissement de l'investissement

Cette évaluation des dépenses annuelles est affecté au projet de sondes géothermiques et elle est comparé à la solution de référence décrite précédemment.

I.7.1 P1 et P1' : Dépenses liées à la consommation d'énergie du système

Solution par chaudières gaz (solution de référence) :

Le prix du MWh en septembre 2022 est de 112,10 €. Les tarifs du gaz dans le contexte politico-économique actuel sont bloqués. En l'absence de données fiables, la présente étude ne prend pas en compte la certaine augmentation du prix du gaz.

Solution par sondes géothermiques :

Le prix du MWh en septembre 2022 est de 60€ car l'UPVD souscrit à un abonnement tarif vert. La présente étude ne prend pas en compte l'éventuel augmentation du prix de l'électricité

Budget estimé :

Le budget estimé pour l'installation d'un système avec sondes géothermiques inclue:

- Sondes géothermiques y compris collecteurs
- Pompe à chaleur Eau/Eau et raccords hydrauliques sur boucle d'eau tempérée
- Local technique 60-80 m²

Les émetteurs intérieurs, le réseau de chaleur, les locaux sous-stations sont exclus de ce chiffrage.

Non communiqué

I.7.2 P2 : Dépenses liées à la maintenance annuelle du système

Solution par chaudières gaz (solution de référence) :

Le coût d'entretien de trois chaudières gaz est estimé à 1 200€/an.

L'entretien de chaudière gaz comprend des visites trimestrielles.

- La vidange de l'appareil si nécessaire ;
- Le contrôle de la sécurité de l'appareil
- Le contrôle de l'étanchéité et du débit des circuits de gaz et d'eau ;
- Le nettoyage du corps de chauffe, du brûleur et de la veilleuse ;
- Le contrôle de la pompe et de la pression du vase d'expansion ;
- La vérification du fonctionnement du thermostat ;
- La vérification et le réglage de la température de l'eau ;

- La mesure de la quantité de monoxyde de carbone dans les fumées et autour de l'appareil.

Solution par sondes géothermiques :

Le coût d'entretien d'une pompe à chaleur géothermique est estimé à 450€/an.

Un aperçu des coûts prévisibles est listé ci-contre:

- Coût des réparations éventuelles des réseaux hydrauliques
- Coût du remplacement du filtre de la PAC (à changer tous les 12 mois)
- Recharge en gaz frigorigène en cas de fuite
- Autre remplacement en cas de panne (condenseur, thermostat...)

Les sondes géothermiques étant enterrés, elles ne nécessitent aucun entretien durant leur phase d'utilisation.

I.7.1 P3 : Dépenses liées au gros entretien (remplacement d'équipement en fin de vie)

Les dépenses liées au gros entretien (remplacement d'équipement en fin de vie) est estimé à 2,0 % pour les sondes géothermiques soit une durée de vie de 50 ans et de 5% pour la PAC eau/eau soit une durée de vie de 20 ans.

Pour une solution de chaudière gaz, les dépenses liées au gros entretien est estimé à 4% soit une durée de vie de 25 ans.

I.7.1 P4 : Dépenses liées à l'amortissement de l'investissement

Dans le cadre du projet d'installation d'un système sur sondes géothermiques, une partie du projet sera financé par un prêt. L'autre partie sera financé à l'aide de subventions.

Le taux de subvention maximal est de 80% de l'investissement initial. Le budget prévisionnel de l'opération est de 1 363 040 €, soit un reste à charge après subvention de 272 608 €.

Un prêt de 272 608 € devra être effectué, à un taux estimé de 1% avec 0,3% pour l'assurance sur une période de 25 ans.

Les montants des mensualités s'élèvera à 1 065 € soit un remboursement annuel de 12 780 €.

I.7.2 Bilan

Le bilan économique comparant la solution de référence (chaudières gaz) à une solution sur sondes géothermiques verticales est présenté ci-contre.

Non communiqué

I.8 SYNTHÈSE

Les conclusions de l'étude de faisabilité d'une solution sur sondes géothermiques pour alimenter la boucle d'eau tempérée du campus de l'UPVD sont :

- Amélioration du confort des usagers avec des émetteurs de type ventilo-convecteurs permettant un rafraîchissement (Ne concerne pas l'ensemble du campus)
- Besoins calorifiques / frigorifiques à injecter dans la boucle d'eau chaude tempérée : 715 MWh/an
- Déperditions de l'ensemble des bâtiments relié à la boucle d'eau chaude tempérée avec surpuissance de 15% : 1290 kW (Température extérieure : -5°C)
- Economies annuelles générées par rapport à une solution de référence gaz de 38 717 € (hors financement)
- Economies annuelles générées par rapport à une solution de référence gaz de 51 496 € (avec financement)
- Economies annuelles en coût d'approvisionnement d'énergie de 68 858 €
- Retour sur investissement avec financement : 8 ans

Les conclusions additionnelles apportées par notre partenaire Celsius sont :

- La faisabilité technique et réglementaire de l'installation géothermique a été vérifiée. Le sous-sol présente une coupe géologique compatible avec la mise en place des sondes et les caractéristiques thermiques du sous-sol sont favorables.
- Taux de couverture en chauffage de 100% avec une installation comprenant :
 - 8000 ml de sondes
 - 40 sondes
 - Solutions sur sondes déviées : 6 173 ml et 30 sondes*
- Réduction des émissions de CO₂ : 85%
- Réduction en tonne équivalent de pétrole : 60%

Les conclusions de cette étude de faisabilité sont donc favorables à un investissement d'une installation de sondes géothermiques pour le réseau de chaleur du campus UPVD.

I.9 PLANNING

	oct-23					nov-23					déc-23			
	N0	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	
Local PAC		Gros œuvre					Etanchéité	Façade						Réception
VRD		VRD : Tranchées+AEP+CFO/CFA									Remblai + Enrobée			
CVC					CVC : PAC géothermique + Raccordement sur boucle d'eau									
Electricité											Electricité			

I.10 ANNEXES

- Plan de masse de la boucle d'eau tempérée
- Schéma de principe de la boucle d'eau tempérée

En fin de rapport



Rénovation énergétique de l'Université de Perpignan

UPVD, 52 avenue Paul Alduy, 66100 Perpignan

**Installation d'un système de pompes à chaleur géothermiques sur sondes pour
alimenter un réseau d'eau tempérée**

Rapport d'étude de faisabilité

Maître d'ouvrage :	UPVD 52 avenue Paul Alduy 62100 PERPIGNAN
---------------------------	--

Bureau d'études surface :	Energie R 7 rue Augustin Thierry 62000 PERPIGNAN
----------------------------------	---

Bureau d'études géothermie :	Celsius Energy 42 Rue Saint Dominique 75007 PARIS
-------------------------------------	--

Etude de faisabilité	
NOVEMBRE 2022	A.P.D.

Emetteur	Bureau d'Etudes +33 (0)1 45 37 27 02
Référence offre	N° 20210902 – P1
Référence affaire	20210902 Energie R UPVD
Numéro de rapport	20210902 Energie R UPVD - IND 0 – Rapport de fin de faisabilité
Chef de projet	Rémi DALLA-BARBA RPdallabarba@celsiusenergy.com

Indice	Date	Objet de l'indice	Rédacteurs	Vérificateurs	Approbateur
0	27/06/2022	Première diffusion	O. Le Maréchal	R. Dalla-Barba	S. Thierry
1	29/06/2022	Deuxième diffusion	O. Le Maréchal	R. Dalla-Barba H. Hofmann	S. Thierry
2	04/11/2022	Mise à jour	O. Le Maréchal	R. Dalla-Barba H. Hofmann	S. Thierry

SOMMAIRE

1. Résumé aux décideurs	4
2. Introduction	5
3. Description générale de l'opération	7
4. Etude des besoins thermiques	8
5. Caractéristiques des ressources géothermiques	13
6. Dimensionnement de l'installation par géo-modélisation	21
7. Chiffrage de l'installation	29
8. Vérification du cadre réglementaire	29
9. Bilan économique, énergétique et environnemental	30
10. Durée des travaux	34
11. Conclusion de l'étude	34
Annexe 1 : Cadre réglementaire de la géoénergie	37

FIGURES

Figure 1 : Localisation du projet sur fond de carte orthophotographique et cadastrale	7
Figure 2 : Consommations énergétiques de gaz de l'UPVD	8
Figure 3 : Consommations mensuelles de gaz de l'UPVD en 2018	9
Figure 4 : Répartition horaire et courbe de charge monotone des besoins calorifiques (rouge) et frigorifique (bleu) liées au chauffage et rafraichissement des bâtiments	10
Figure 5 : Répartition horaire et courbe de charge monotone des besoins calorifiques (rouge) et frigorifique (bleu) liées au chauffage et rafraichissement de la boucle d'eau tempérée	11
Figure 6 : Couverture des besoins par géothermie	12
Figure 7 : Localisation du projet sur fond de carte orthophotographique et cadastrale	13
Figure 8 : Localisation du projet sur fond de carte géologique (BRGM)	14
Figure 9 : Cartographie du risque de retrait gonflement des argiles au droit du projet	15
Figure 10 : Localisation des mouvements de terrain recensés à proximité du projet	16
Figure 11 : Localisation des cavités souterraines recensées à proximité du projet	17
Figure 12 : Localisation des sites SIS, BASOL et BASIAS à proximité du projet	18
Figure 13 : Localisation des installations classées (ICPE) à proximité du projet	19
Figure 14 : Localisation du projet sur zonage réglementaire GMI	20
Figure 15 : Vue générale du logiciel du Bureau d'Etudes	22
Figure 16 : Géométrie des champs de sondes pour chacune des deux géométries proposées	25
Figure 17 : Evolution des températures moyennes du sol avec la solution sur sondes verticale (en haut) et sur sondes inclinée (en bas)	26
Figure 18 : Evolution des températures du fluide à l'entrée / sortie des sondes pour la dernière année de simulation avec les solutions verticale (en haut) et inclinée (en bas)	27
Figure 19 : Estimation des réductions en tep	32
Figure 20 : Estimation de la réduction des émissions de CO ₂	33

Figure 21 :	Analyse de Cycle de Vie	34
Figure 22 :	Planning prévisionnel.....	34

TABLEAUX

Tableau 1 :	Synthèse des résultats de l'étude.....	4
Tableau 2 :	Vue aérienne du projet.....	5
Tableau 3 :	Documents de référence	5
Tableau 4 :	Synthèse des besoins énergétiques des bâtiments (Energie R)	10
Tableau 5 :	Synthèse des besoins énergétiques de la boucle (Energie R).....	12
Tableau 6 :	Scénario énergétique retenu	12
Tableau 7 :	Succession lithologique reconnue au droit du projet.....	14
Tableau 8 :	Données d'entrée de la géo-modélisation	23
Tableau 9 :	Principaux résultats de la géo-modélisation.....	24
Tableau 10 :	Comparaison de la solution de géothermie entre sondes verticales et sondes déviées	28
Tableau 11 :	Chiffrage de l'installation.....	29
Tableau 12 :	Bilan énergétique des solutions sur sondes en comparaison à la solution de base	30
Tableau 13 :	Ratios d'émissions publiés par l'ADEME.....	31
Tableau 14 :	Ratios des émissions de l'électricité en France	31
Tableau 15 :	Estimation de la réduction des tep.....	31
Tableau 16 :	Estimation de la réduction des émissions de CO ₂	32

1. Résumé aux décideurs

Cette étude présente une analyse de la faisabilité technique d'une solution de géothermie sur sondes pour alimenter en chaud et en froid une boucle d'eau tempérée qui dessert des bâtiments du campus de l'Université de Perpignan UPVD (66).

Les études du sous-sol et le test de réponse thermique (TRT) réalisés au droit du site montrent que la géologie sur les 200 premiers mètres est compatible avec une installation de géoénergie sur sondes verticales ou inclinées, avec une conductivité thermique de **2,05 W/m/K**.

Le Bureau d'Etudes envisage plusieurs solutions afin d'obtenir celle qui répondait aux deux critères essentiels :

- Couvrir un maximum de besoins énergétiques en chauffage et rafraîchissement par géothermie
- Respecter une diminution minimum de l'énergie finale de 76% par rapport à la référence

Les solutions de géothermie sur sondes verticales et déviées ont donc été modélisées dans le but de couvrir plus de 90% des besoins de la boucle tempérée.

Les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Synthèse des résultats de l'étude

		Solution sur sondes
Données énergétiques	Taux de couverture énergétique	90%
	Linéaire de sondes	6 264 à 8 000 ml
	Nombre total de sondes	30 à 40
	Rendement de l'installation (SCOP)	6,3
	% Gain énergie finale	82%
	% Gain énergie primaire	63%
Non communiqué		
Données environnementales	Réduction émission CO ₂ (%)	85%
	Réduction tonne équivalent pétrole (%)	60%

Les résultats des modélisations sur 25 ans d'exploitation révèlent l'intérêt technique, économique et environnemental de la solution sur sondes. Cette solution présente les meilleures dispositions au niveau :

- De la faisabilité technique (potentiel énergétique, performance, mise en œuvre, exploitation) ;
- Économique (coûts d'exploitation, rentabilité économique) ;
- Environnementale (émissions de CO₂ et Tep).

La solution innovante sur sondes déviées présente de nombreux avantages par rapport à la solution conventionnelle sur sondes verticales, notamment par rapport à l'emprise au sol réduite qui minimise les coûts liés aux travaux VRD.

2. Introduction

2.1 Contexte général et enjeux

L'Université de Perpignan désire évaluer la pertinence de la mise en place d'une solution de géoénergie pour satisfaire les besoins énergétiques de la boucle tempérée alimentant les bâtiments du campus à la place des chaudières gaz actuelles.

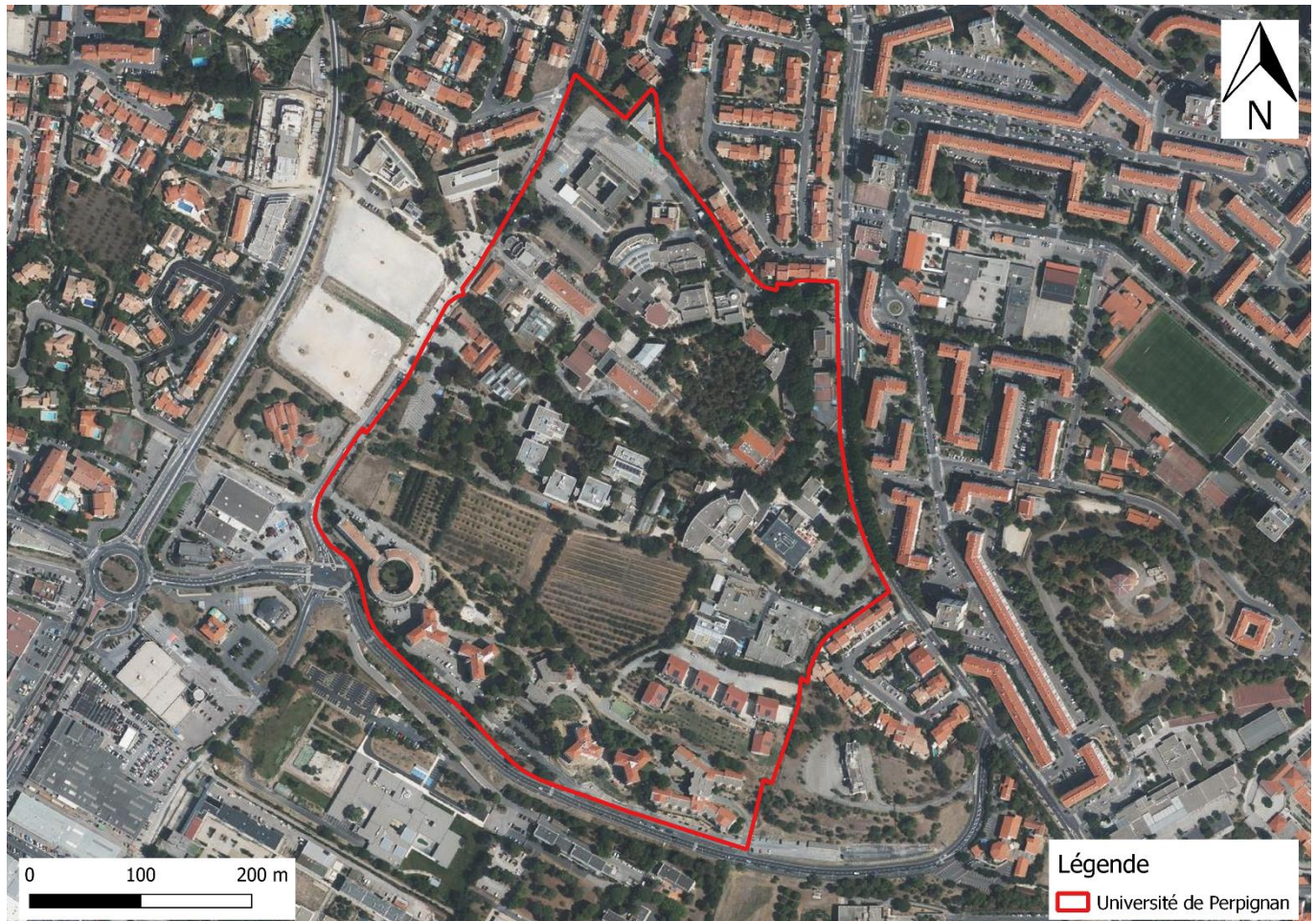


Tableau 2 : Vue aérienne du projet

Le présent document concerne l'étude de faisabilité géothermique réalisée dans le cadre de la phase APD (Avant-Projet Définitif) de la mission.

2.2 Documents de référence

L'étude de faisabilité du système géothermique a été réalisée sur la base des éléments suivants du projet transmis par les différents interlocuteurs à la date d'émission du présent rapport :

Tableau 3 : Documents de référence

Référence Document	Date et émetteur
Compteurs de gaz	05/06 Energie R
Production thermique de chaque sous-station	05/06 Energie R
Schéma de principe de la boucle tempérée	05/06 Energie R
Plan de masse des lots 03 et 04	05/06 Energie R
Production thermique de chaque sous-station	21/06 Energie R

Les résultats présentés dans cette note sont basés sur les éléments cités précédemment. Toute modification ou mise à jour apportée à ces éléments est susceptible de remettre en cause le dimensionnement de l'installation géothermique présenté dans ce rapport.

2.3 Objet de l'étude

Cette étude de faisabilité a pour but d'apporter au porteur de projet les éléments économiques, techniques et réglementaires lui permettant d'évaluer la faisabilité d'une telle opération.

Cette étude permettra la maîtrise d'ouvrage de comprendre les enjeux techniques, économiques et environnementaux pour qu'il puisse prendre la meilleure décision d'investissement tant sur les organes de production que sur les organes terminaux de son installation.

La poursuite du projet s'effectuera après validation par la maîtrise d'ouvrage, ou ses représentants, des hypothèses et de la solution suivant le présent rapport.

- Le projet est situé au 52 avenue Paul Alduy, 66100 Perpignan, France
- Ce projet est porté par la maîtrise d'ouvrage UPVD

2.4 Clause de garantie

Dans le cadre de la prestation, le Bureau d'Etudes s'engage à exercer son meilleur jugement sur la base son expérience en matière d'interprétations et de recommandations, que cela soit à l'oral ou à l'écrit.

Les recommandations et prédictions fournies par le Bureau d'Etudes sont de simples opinions dans la mesure où (i) elles ne sont pas infaillibles et peuvent dépendre d'un spécialiste à un autre, (ii) elles peuvent dépendre de faits réalisés par d'autres et/ou être en support de services fournis par d'autres, (iii) elles sont basées sur les conditions du terrain au jour de l'intervention et sont susceptibles d'évoluer ou d'être modifiées dans le temps, sous l'influence de facteurs de différentes natures (notamment naturels, anthropiques, réglementaires) ou de l'amélioration des connaissances techniques, et/ou (iv) les reconnaissances de sol sont basées sur des sondages ponctuels.

Malgré ce qui précède, aucune garantie n'est donnée sur les résultats de la prestation. Il ne relève pas de la responsabilité du Bureau d'Etudes de s'assurer que ces résultats de la prestation soient ou non suivis d'effet. Le Client est seul responsable de l'utilisation et du recours à ces résultats de la prestation et dégage le Bureau d'Etudes de toute responsabilité.

3. Description générale de l'opération

3.1 Contexte du projet

Fondée en 1350, l'Université de Perpignan lance aujourd'hui un projet de transformation stratégique aligné sur une ambition d'excellence académique, environnementale et sociétale. « *Les formations et la recherche de l'Université de Perpignan se mobilisent autour de l'Homme dans son environnement, étudié sur des temps longs (depuis 560 000 ans, Tautavel) pour s'adapter aux nouvelles contraintes, assurer les transitions attendues et proposer des solutions futures.* »

Ainsi, l'UPVD s'est attachée à sélectionner des partenaires proposant une approche d'excellence sur la partie chauffage de ses bâtiments existants dans un premier temps.

3.2 Périmètre de l'opération

Le site étudié se trouve sur de nombreuses parcelles cadastrales comme présenté en figure suivante, la sonde pilote a été implantée ES44.

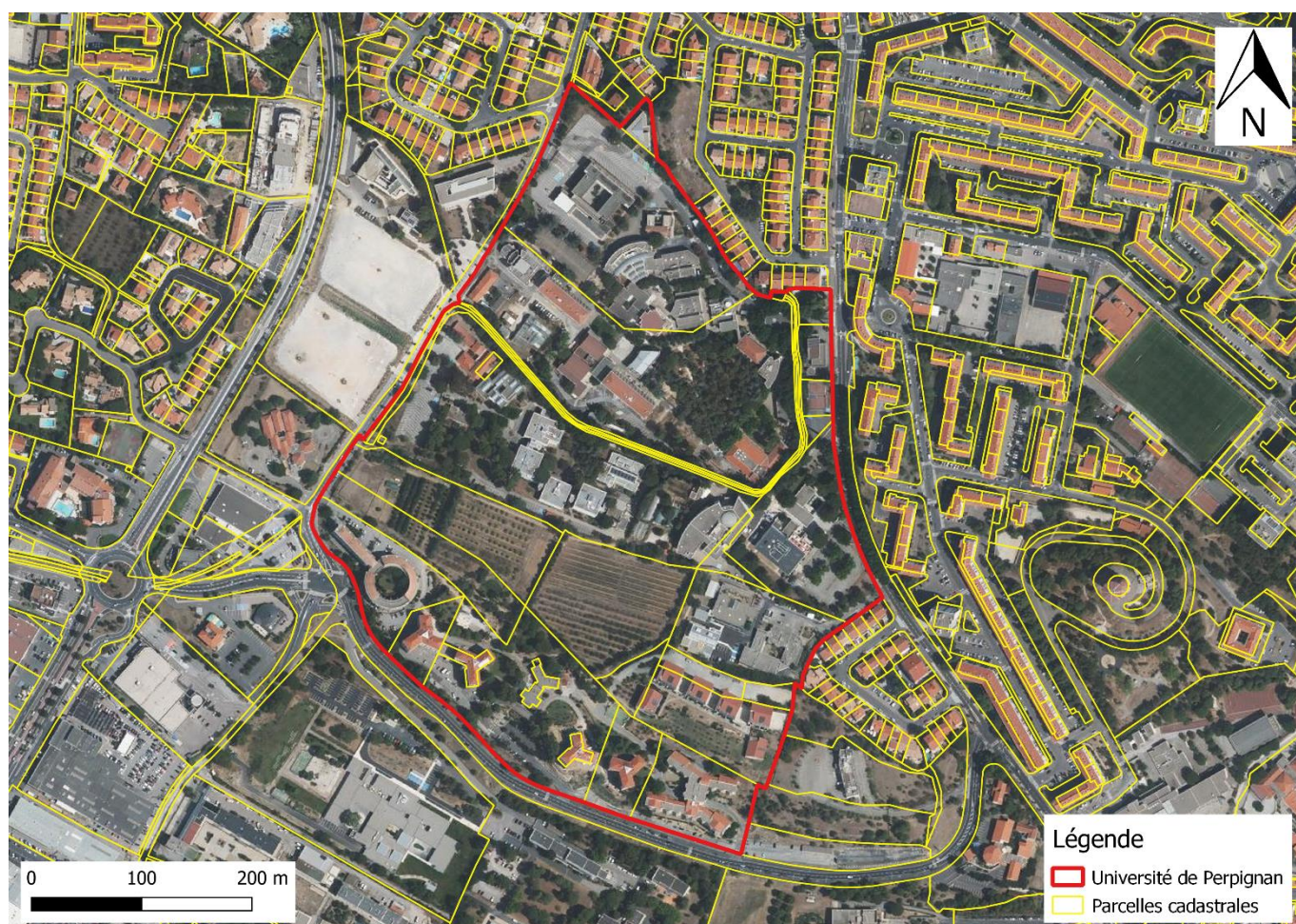


Figure 1 : Localisation du projet sur fond de carte orthophotographique et cadastrale

4. Etude des besoins thermiques

4.1 Bilan énergétique

La boucle d'eau chaude de l'université était alimentée jusque-là en chauffage avec des chaudières au gaz. Dans le cadre de sa rénovation énergétique, les bâtiments seront alimentés via une boucle d'eau tempérée, elle-même alimentée par un champ de sondes géothermiques.

4.1.1 Consommations énergétiques avant la rénovation énergétique du site

Les consommations énergétiques de gaz depuis 2014 ont été fournies par Energie R dans le cadre de cette étude. Elles sont présentées en figure suivante.

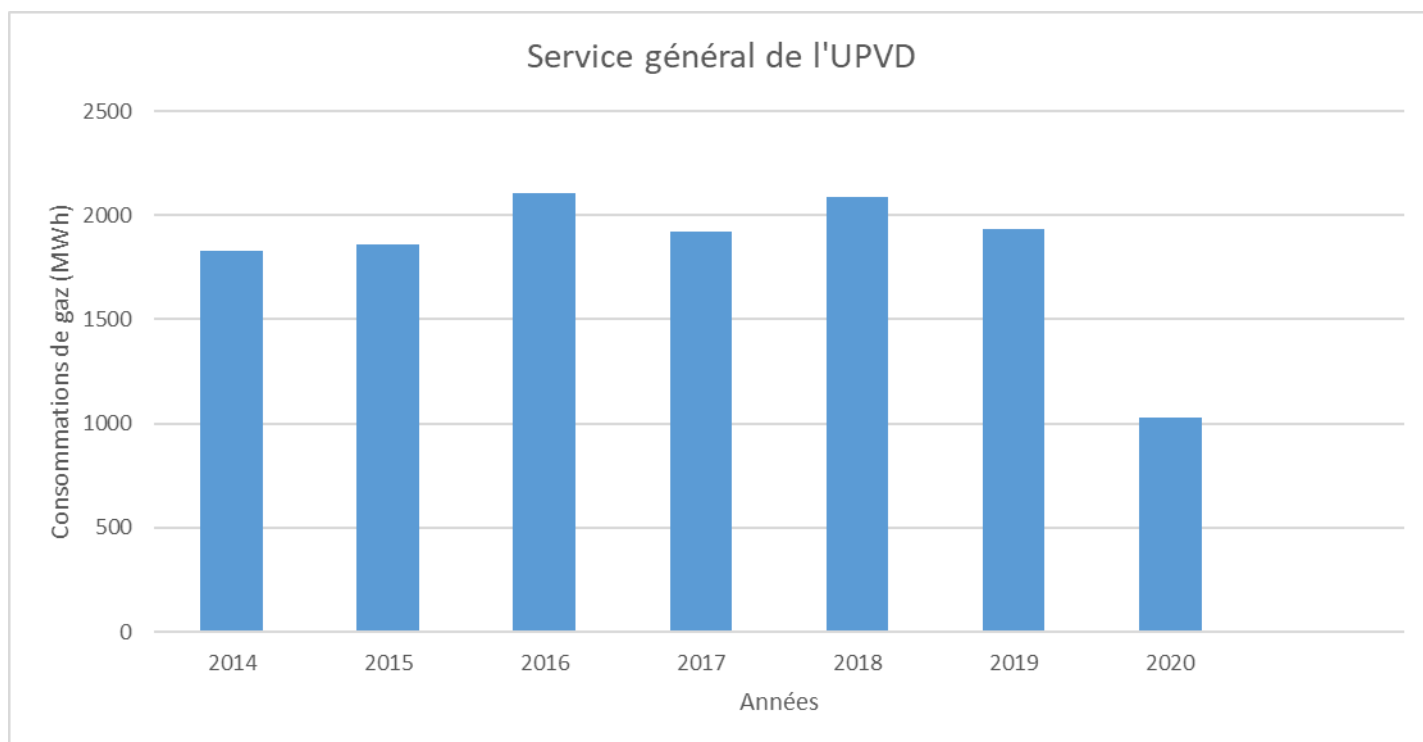


Figure 2 : Consommations énergétiques de gaz de l'UPVD

L'année de référence choisie est l'année 2018, non affectée par la pandémie de Covid-19.

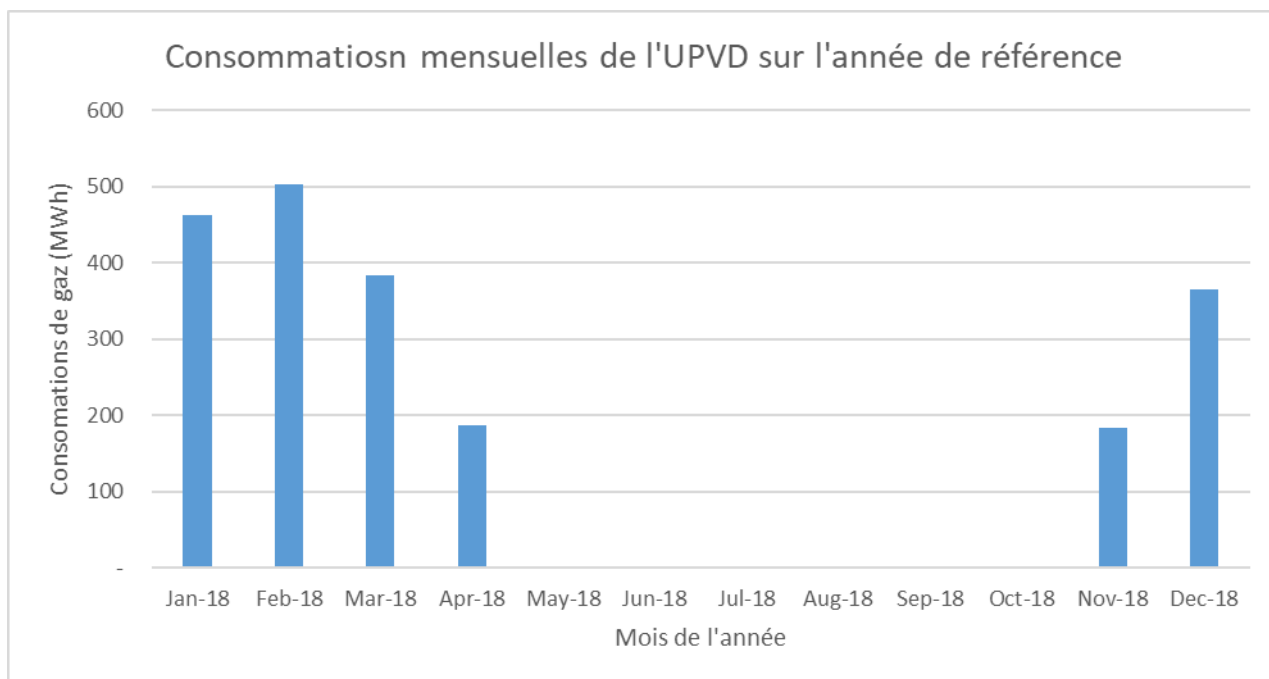


Figure 3 : Consommations mensuelles de gaz de l'UPVD en 2018

En 2018, l'année de référence, l'UPVD a consommé 2,085 GWh/an de gaz, soit 114,2 m³ de gaz, pour une facture d'environ 183 K€.

4.1.2 Besoins énergétiques nécessaires après la rénovation énergétique du site

Dans le cadre de la rénovation énergétique de l'UPVD, les bâtiments seront alimentés par une boucle d'eau tempérée, elle-même alimentée par un champ de sondes géothermiques.

Les besoins futurs des bâtiments rénovés et de la boucle sont présentés dans les parties suivantes.

4.1.2.1 Besoins calorifiques et frigorifiques pour alimenter les bâtiments

Energie R a fourni les besoins thermiques des bâtiments après rénovation. Ces besoins sont présentés en figure suivante.

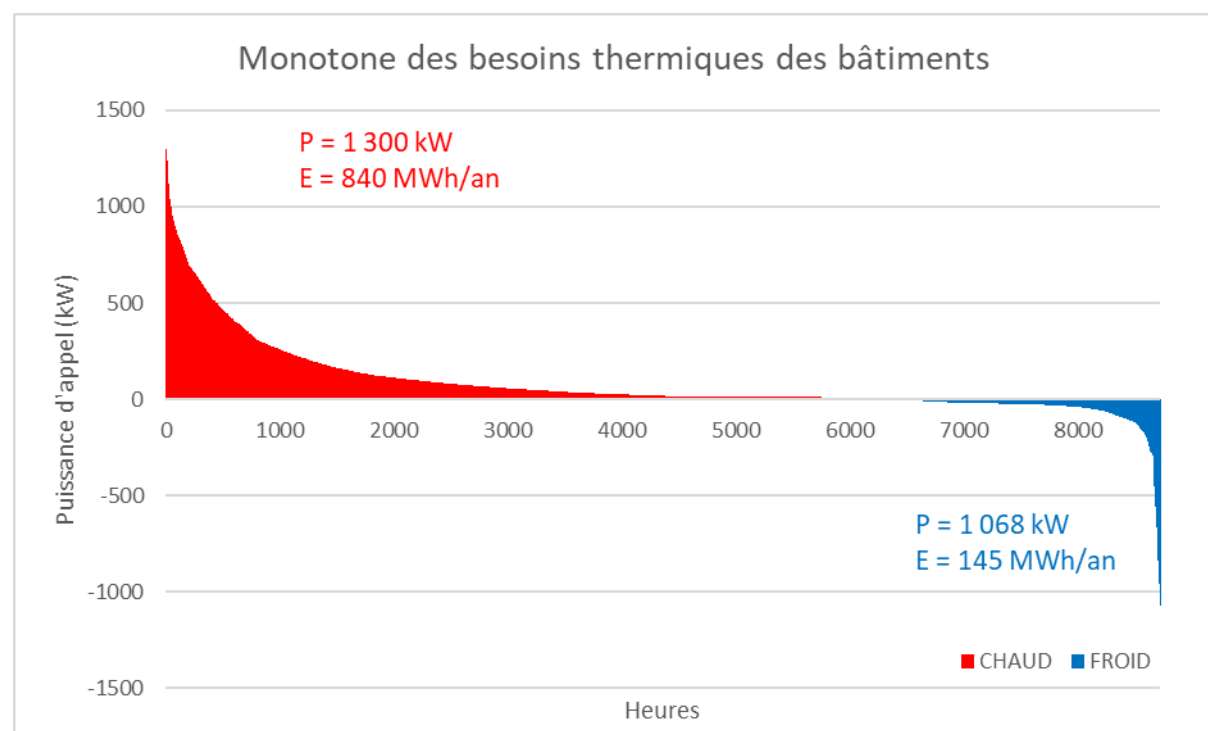
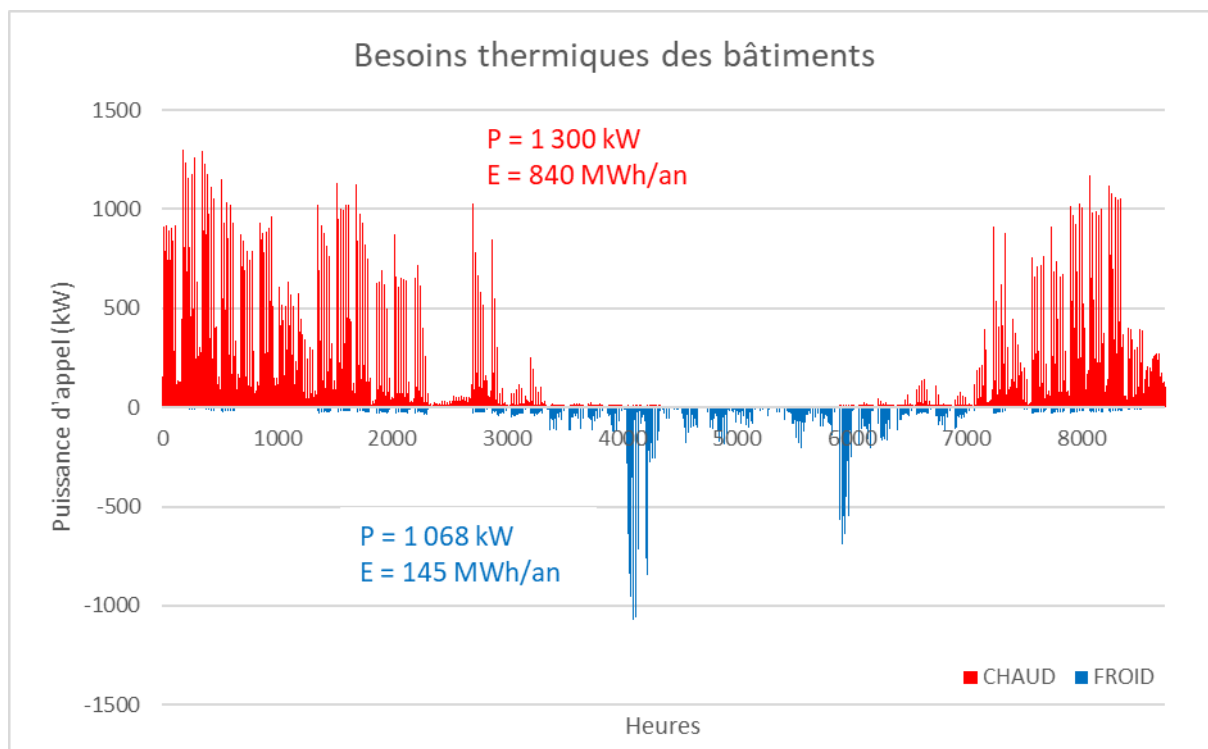


Figure 4 : Répartition horaire et courbe de charge monotone des besoins calorifiques (rouge) et frigorifique (bleu) liées au chauffage et rafraîchissement des bâtiments

Tableau 4 : Synthèse des besoins énergétiques des bâtiments (Energie R)

Besoins des bâtiments	Durée	Puissance kW	Energie MWh
CHAUD	10 mois	1 300	840
FROID	4 mois	1 068	145

4.1.2.2 Besoins calorifiques et frigorifiques pour alimenter la boucle d'eau tempérée

Les besoins des bâtiments seront satisfaits grâce à la boucle d'eau tempérée, permettant de mutualiser certains besoins.

Les graphiques ci-dessous représentent les appels de puissances heures par heure ainsi que la courbe monotone des besoins calorifiques à la production de chaud et de froid pour la boucle sur une année complète.

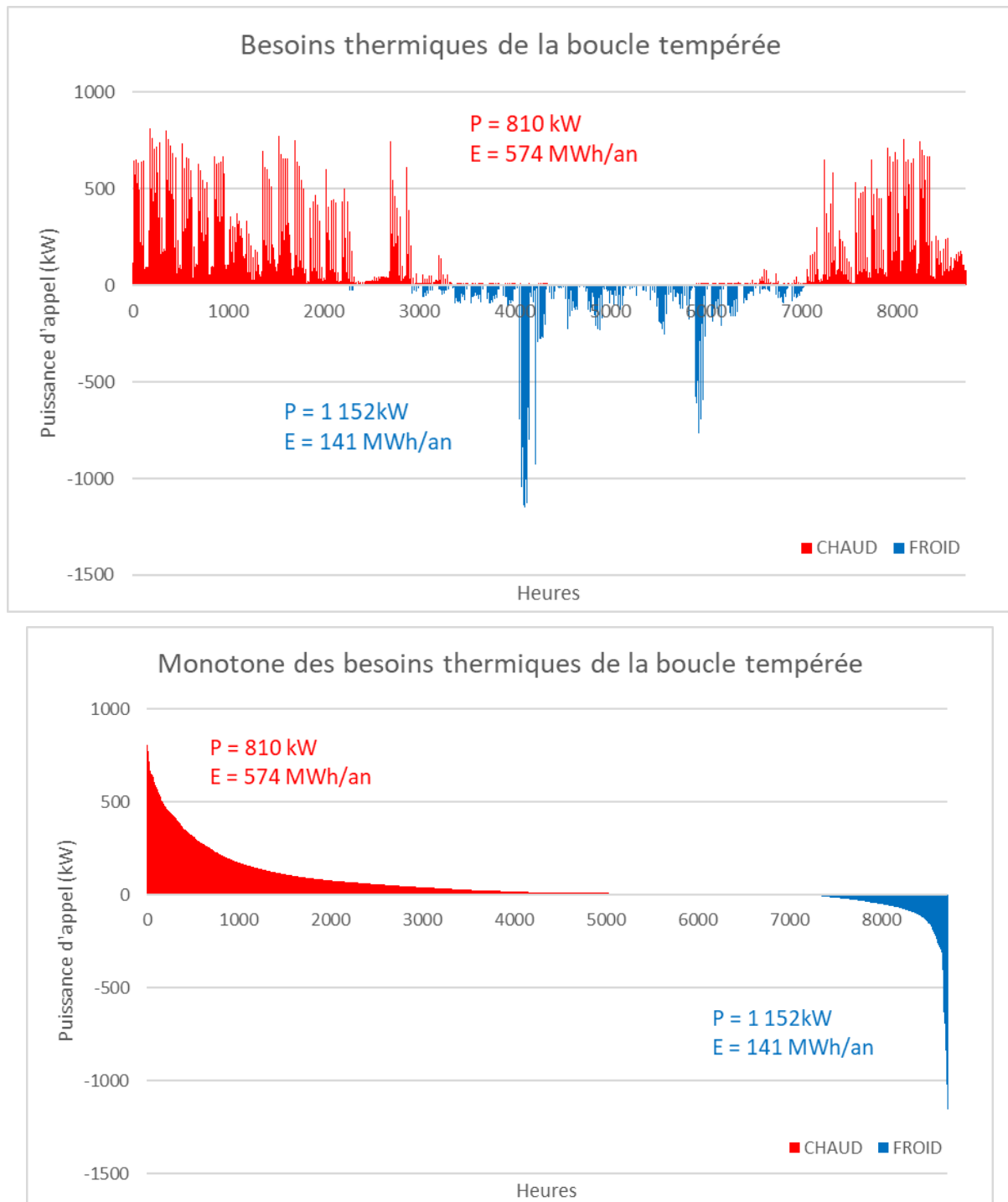


Figure 5 : Répartition horaire et courbe de charge monotone des besoins calorifiques (rouge) et frigorifique (bleu) liées au chauffage et rafraîchissement de la boucle d'eau tempérée

Tableau 5 : Synthèse des besoins énergétiques de la boucle (Energie R)

Scénario retenu	Puissance (kW)	Energie (MWh/an)
CHAUD (10 mois)	810	574
FROID (2 mois)	1 152	141

La boucle nécessite de forts appels de puissance en froid, qui semblent difficilement atteignables.

4.2 Scénario énergétique retenu pour l'étude géothermique

L'objectif du champ de sonde est de réduire de 76% minimum les consommations d'énergie finale.

Plusieurs simulations réalisées de manière itérative ont permis d'identifier une solution répondant à ce critère tout en optimisant les taux d'extraction et d'injection de calories au mètre linéaire.

La solution permettant de répondre à ces demandes est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Scénario énergétique retenu

Scénario retenu	Puissance (kW)	Energie (MWh/an)
CHAUD	356 (44%)	518 (90%)
FROID	553 (48%)	127 (90%)

En effet, afin d'optimiser le système, il a été choisi de couvrir la quasi-totalité des besoins (90%) tout en s'affranchissant des pics de puissance.

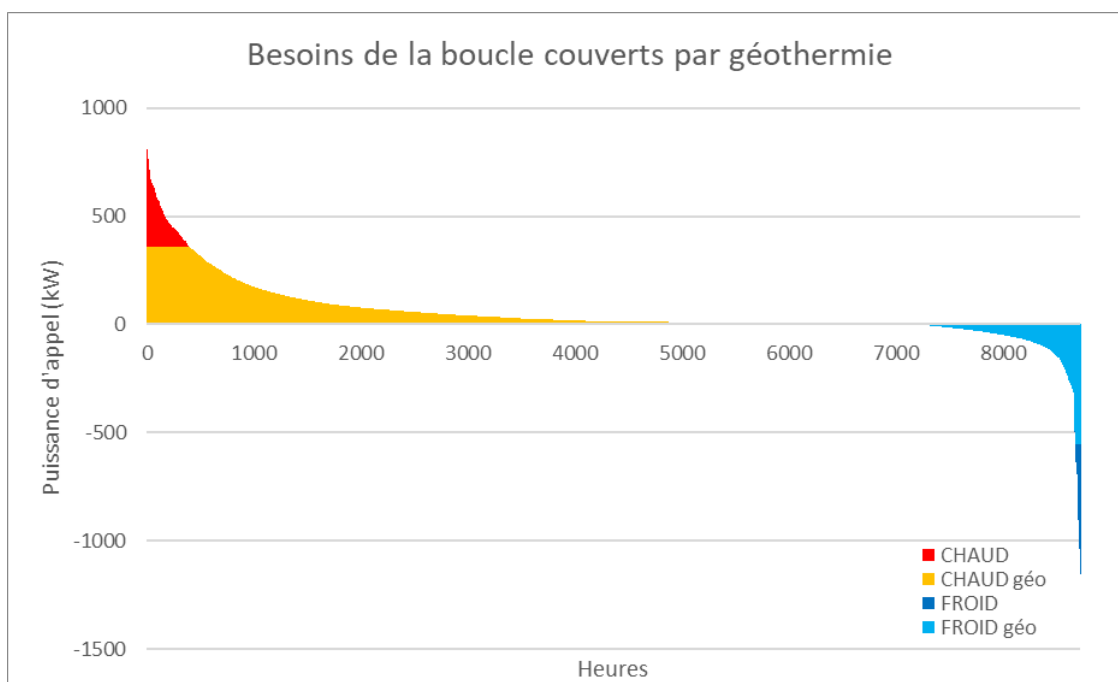


Figure 6 : Couverture des besoins par géothermie

5. Caractéristiques des ressources géothermiques

5.1 Données d'entrée

La présente étude a été réalisée sur la base des éléments bibliographiques suivants :

- Les cartes géologiques de Perpignan au 1/50 000
- Les données issues de la Banque de données du Sous-Sol (BSS)
- Les cartes des aléas de risques géologiques consultés sur georisques.fr
- Les Bases de données BASOL et BASIAS
- Le zonage réglementaire relatif à la géothermie sur Geothermies.fr

La réglementation de la Géothermie de Minime Importance d'après la DREAL, le BRGM et l'AFPG.

5.2 Contexte général du projet

5.2.1 Géographie et altimétrie

Le projet d'étude se trouve via Domitia, 66000 Perpignan. Selon la topographie recensée dans geoportail.gouv.fr, l'altimétrie du site est d'environ 49 m NGF.

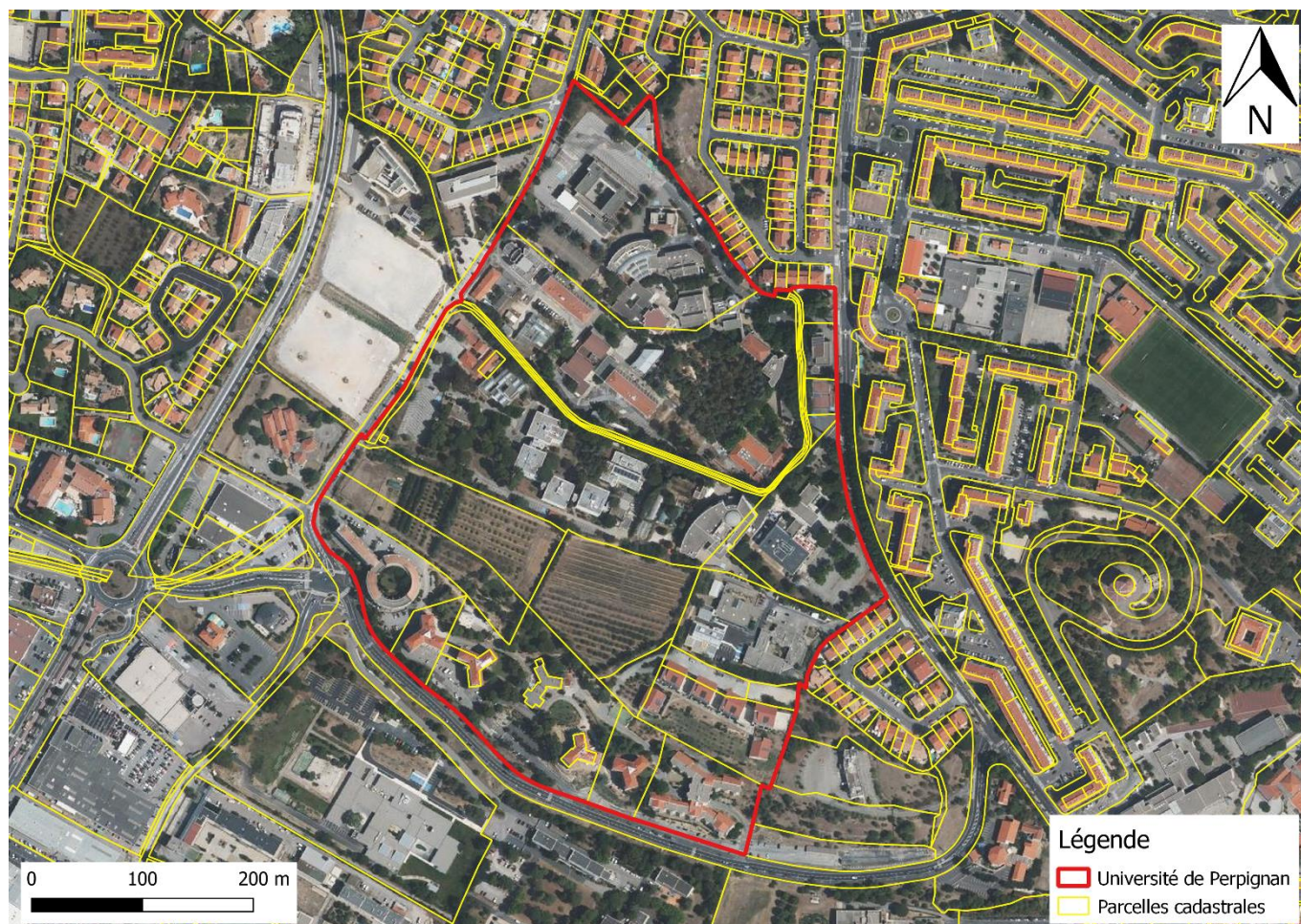


Figure 7 : Localisation du projet sur fond de carte orthophotographique et cadastrale

5.2.2 Géologie

D'après la carte de Perpignan au 1/50 000, le projet trouve au droit du Pliocène Continental, constitué de poudingues, arkoses, limons jaunes, sables et marnes concrétionnés.

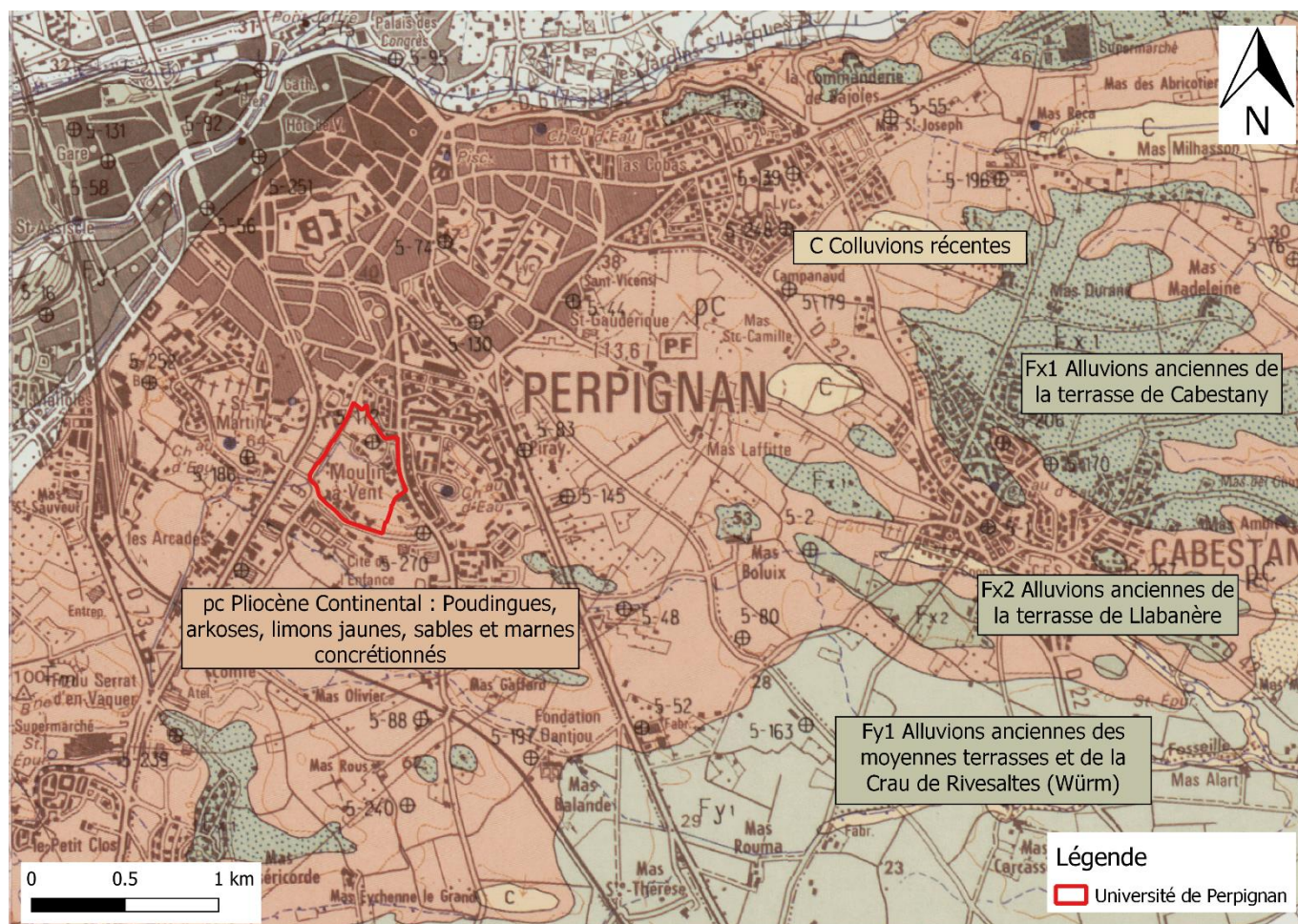


Figure 8 : Localisation du projet sur fond de carte géologique (BRGM)

A partir des données issues de la BSS et du forage réalisé sur site, il est possible de dresser la succession lithologique au droit du projet.

Tableau 7 : Succession lithologique reconnue au droit du projet

Âge	Formation	Lithologie	Cote du toit (m NGF)	Profondeur du toit (m/TN)	Epaisseur (m)
Holocène	Remblais	Enrobé et graviers	+49	0	2
Pliocène	Poudingues, sables et marnes	Alternance d'argiles et de sables fins à grossiers, bancs de 0,5 à 6m	+47	2	200

5.2.3 Hydrogéologie

Concernant la partie hydrogéologique sur le site d'étude, peu d'informations hydrogéologiques sont disponibles à proximité du site, au droit des ouvrages référencés à la BSS autour du projet. Des circulations d'eau ont été observées dans les lentilles sableuses traversées par le forage de reconnaissance.

5.3 Environnement et risques associés

Le régime de la géothermie de minime importance implique le respect des plans de préventions en vigueur.

5.3.1 Risques Naturels

5.3.1.1 Retrait gonflement des argiles

Le projet se situe en zone d'aléa moyen pour le risque de retrait gonflement des argiles. La commune de Perpignan n'est pas concernée par un Plan de Prévention des risques naturels pour cet aléa.

Le projet n'est soumis à aucune disposition particulière à ce titre.

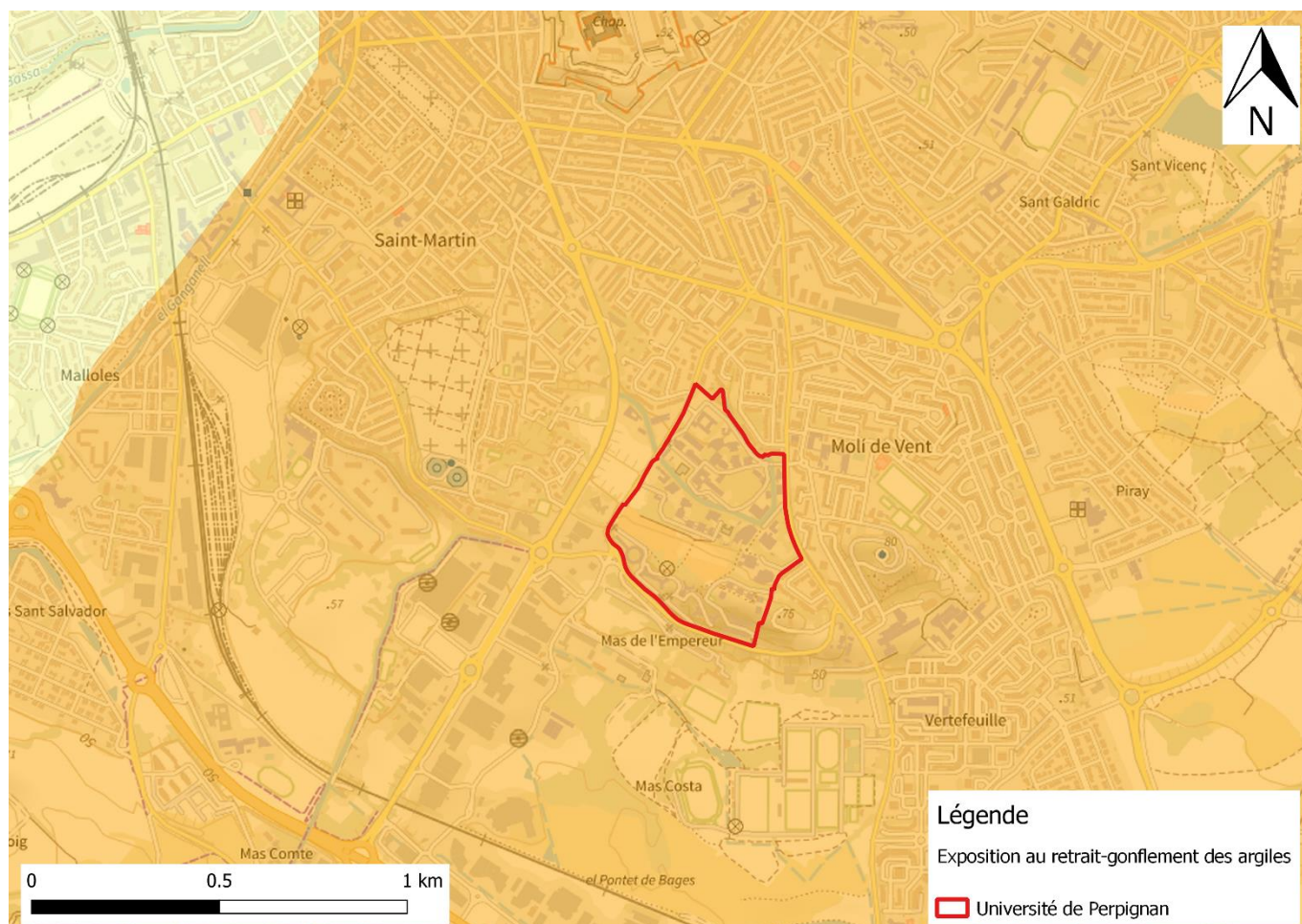


Figure 9 : Cartographie du risque de retrait gonflement des argiles au droit du projet

5.3.1.2 Mouvement de terrain

Un mouvement de terrain associé à un glissement a été recensé à proximité du projet.

La commune de Perpignan n'est pas concernée par un Plan de Prévention des Risques Naturels pour ce risque.

Le projet n'est soumis à aucune disposition particulière à ce titre.

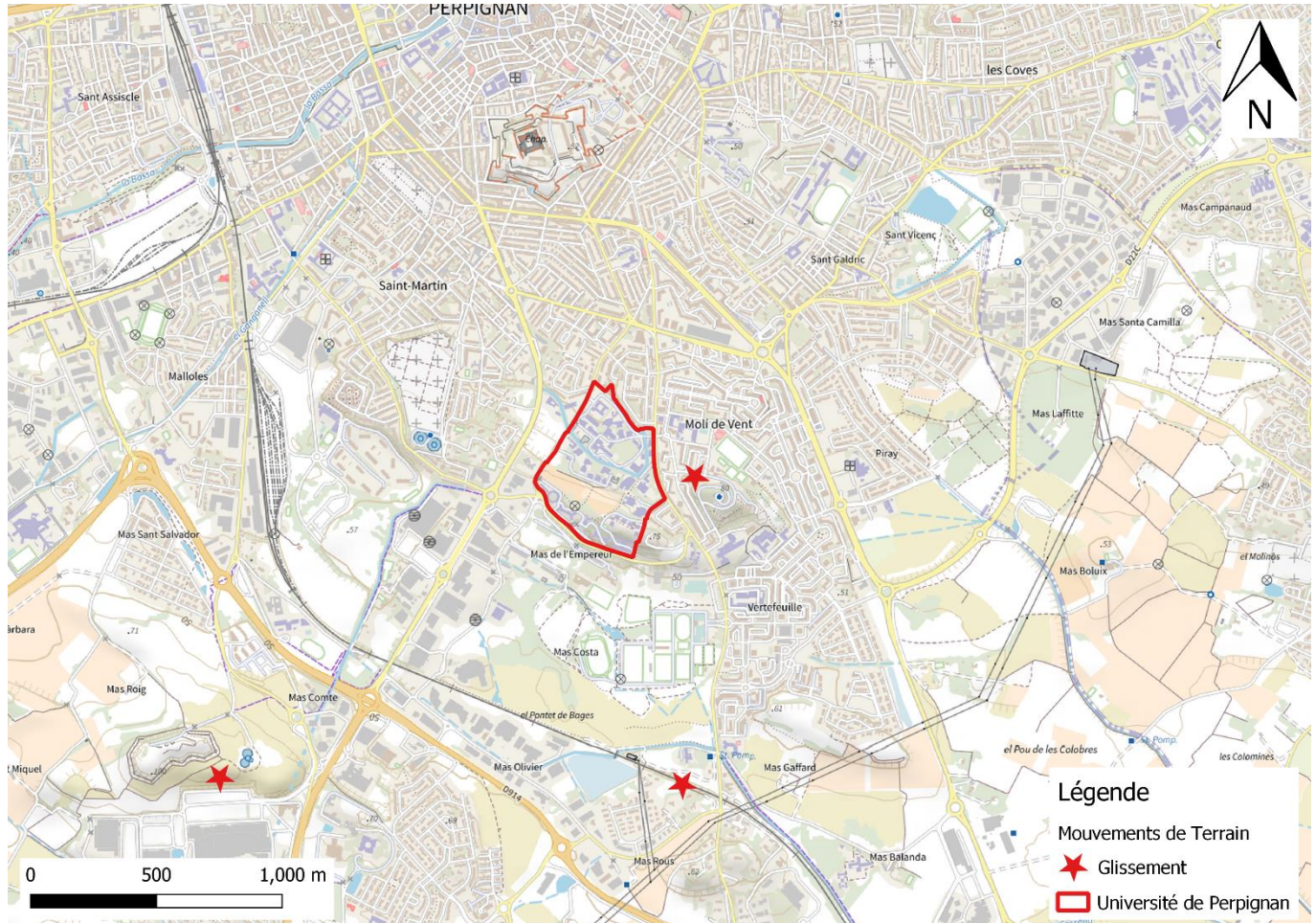


Figure 10 : Localisation des mouvements de terrain recensés à proximité du projet

5.3.1.3 Cavité souterraine

Aucune cavité souterraine n'a été recensée à proximité du projet. La commune de Perpignan n'est pas concernée par un Plan de Prévention des Risques Naturels pour cet aléa.

Le projet n'est soumis à aucune disposition particulière à ce titre.

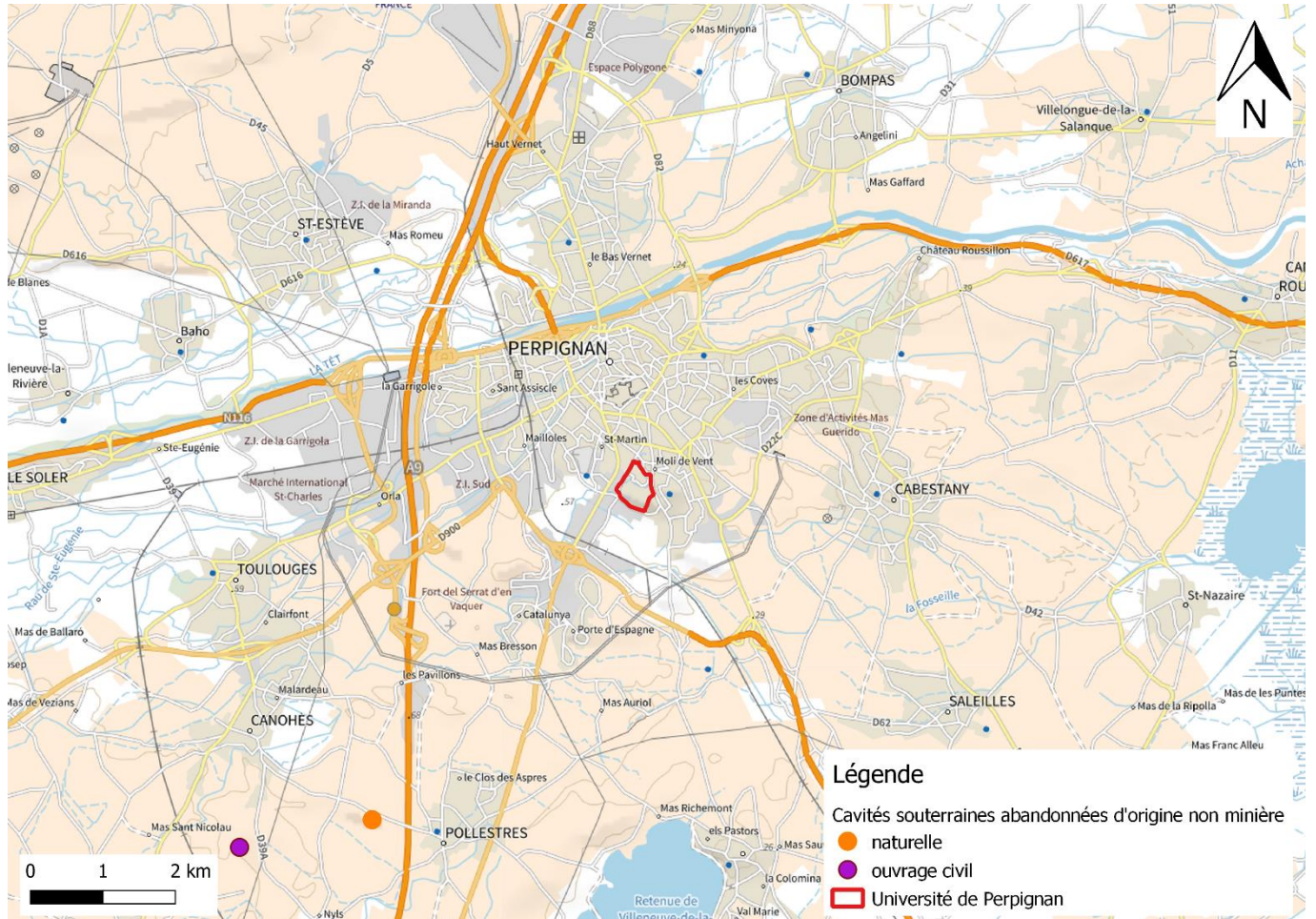


Figure 11 : Localisation des cavités souterraines recensées à proximité du projet

5.3.2.2 Installations industrielles

Aucune installation classée pour la protection de l'environnement n'est recensée à proximité immédiate du projet.

Il n'est attendu aucun impact de ces installations sur le projet.

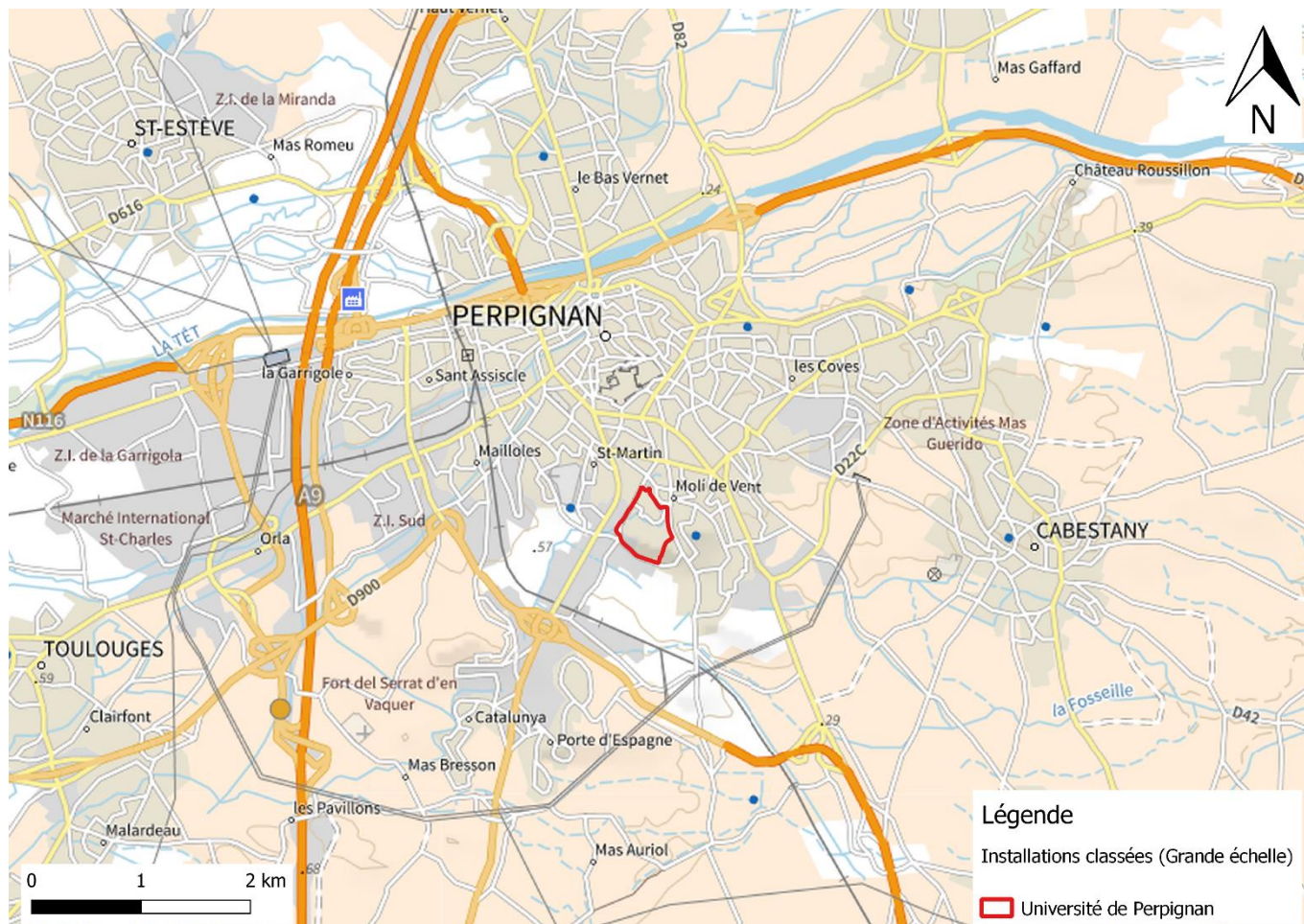


Figure 13 : Localisation des installations classées (ICPE) à proximité du projet

5.3.3 Zones environnementales

Après vérification sur le site internet de la DRIEE Ile-de-France, il apparaît que le site n'est pas inclus dans l'une des zones environnementales suivantes :

- Une Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique de type I et II ;
- Un site Natura 2000 - Zones de Protection Spéciale et Zones Spéciales de Conservation ;
- Un parc régional ;
- Une Zone d'Importance pour la Conservation des Oiseaux (ZICO) ;
- Un site classé ou inscrit / Réserves naturelle régionales ;
- Un périmètre de protection d'un captage AEP ;
- Une zone humide d'importance internationale Ramsar.

5.4 Cadre réglementaire – situation du projet

Le cadre réglementaire est décrit en Annexe 1. D'après la cartographie réglementaire, la zone d'étude est située en **zonage verte, éligible à la GMI**, malgré un risque de « pollution avérée » (niveau 1).

Le régime de la GMI n'est pas remis en cause :

- Les forages sont parfaitement cimentés sur toute leur hauteur ;
- Les cuttings ont été envoyés en centre de traitement adaptés ;
- Une coupe lithologique précise a été dressée.



Figure 14 : Localisation du projet sur zonage réglementaire GMI

5.5 Potentiel géothermique du projet

Le potentiel géothermique d'un sol est lié à sa conductivité thermique qui se caractérise par la capacité d'échange thermique du sous-sol. Elle conditionne la profondeur totale de forage à réaliser pour obtenir une puissance d'échange donnée : plus la conductivité thermique est élevée, plus la puissance d'échange par mètre linéaire de sonde sera élevée. L'emploi de la géothermie sur sondes est possible pour des valeurs de conductivité thermique au moins égale à 1,5W/m.K, très favorable à partir de 2W/m.K et excellente au-dessus de 3W/m.K.

À partir des données du test de réponse thermique réalisé sur le site d'étude, nous estimons une conductivité thermique moyenne au droit du projet de 2,05 W/m.K et une capacité thermique pondérée de 2,1 MJ/m3.K.

Cette conductivité thermique permet l'exploitation d'un champ de sondes géothermiques au droit du site.

Le tableau suivant synthétise les propriétés thermiques obtenues pendant le TRT qui a eu lieu de 07/10/21 au 10/10/21 :

Date	Du 09/05/2022 au 11/05/2022
Longueur effective de la sonde (ml)	200
Diamètre de la sonde (mm)	40
Température initiale du sol T_i (°C)	19,1
Capacité thermique volumique du sol (MJ/(m ³ .k))	2,1
Conductivité thermique du sol λ (W/ (m.K))	2,05
Résistance thermique de la sonde (m*K/W)	0,08

6. Dimensionnement de l'installation par géo-modélisation

6.1 Méthodologie de dimensionnement

Le dimensionnement de l'installation a été réalisé à l'aide du logiciel de géo-modélisation du Bureau d'Etudes. Ce logiciel propriétaire est un système couplé qui inclus :

- Les sondes et le sol
- Le local pompe à chaleur
- Le bâtiment

Le logiciel de géo-modélisation du Bureau d'Etudes nous permet de connaître la température du fluide circulant dans les sondes ainsi que celle du sol, heure par heure sur plus de 25 ans de fonctionnement de l'installation, en nous basant sur les données de la STD (Simulation Thermique Dynamique) du projet. Les calculs tiennent compte, en trois dimensions, des interactions entre les différentes sondes et de la recharge naturelle en fonction des propriétés du sous-sol.

Ce logiciel a été validé par des comparaisons exhaustives avec des logiciels commerciaux 3D (comme Fluent, Ansys et COMSOL) et spécifiques aux sondes géothermiques (comme GLHEPro).

Nous respectons bien sûr toutes les normes en vigueur relatives à la Géothermie de Minime Importance. Nous dimensionnons les installations de telle façon que le fluide caloporteur qui circule dans les sondes reste dans la fourchette de -3°C et + 40°C, conformément à l'arrêté ministériel du 25 Juin 2015 relatif aux prescriptions générales applicables aux activités de géothermie de minime importance et cela sur une durée de vie de 25 ans. Nous nous assurons également qu'il n'y ait pas de dérive de la température du sous-sol à long terme, notamment en superficie. La température dans le sol, y compris dans les premiers mètres de l'installation, reste comprise entre les températures minimales et maximales du fluide caloporteur.

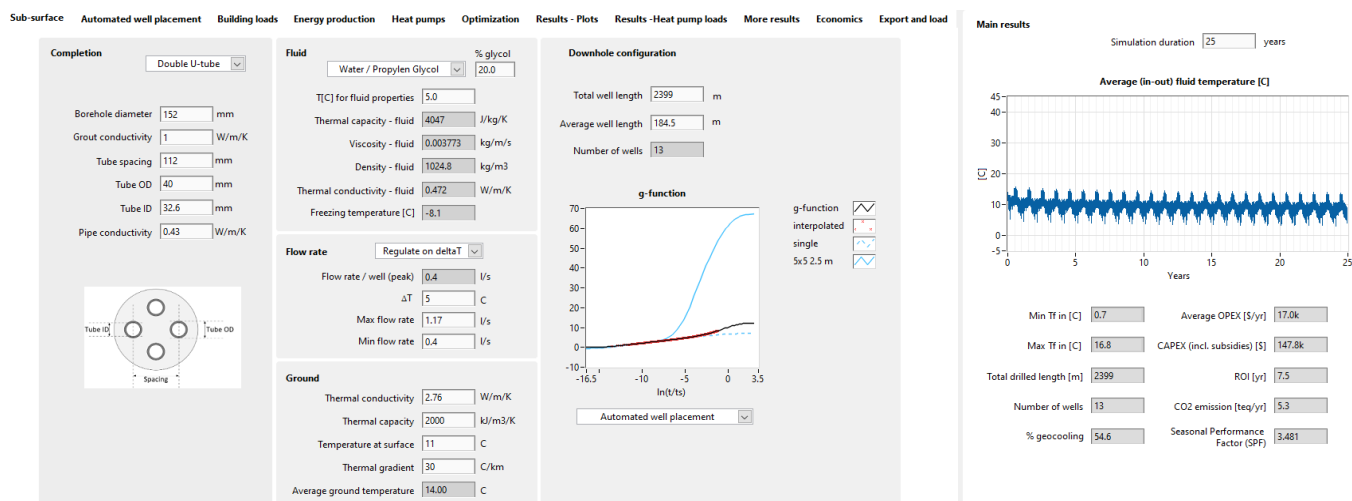


Figure 15 : Vue générale du logiciel du Bureau d'Études

Cette géo-modélisation permet d'obtenir les données suivantes :

- Optimisation du taux de couverture retenu pour la pompe à chaleur
- Caractéristiques des installations de surface : puissances thermiques de la PAC, nombres d'heures de fonctionnement à puissance nominale (h/an), COP machine (deux points : normé, aux conditionnements de fonctionnement prévues), COP moyen annuel (ou COP saisonnier), COP système (intégrant la consommation des auxiliaires sur la ressource) ;
- Rendement des échangeurs ;
- Système de production d'ECS ;
- Schéma de principe de l'installation (schéma hydraulique détaillé) avec données détaillées les réseaux hydrauliques mis en place, ballons tampons, les comptages...
- Émetteurs et régimes de températures chaud/froid ;
- Dispositifs de régulation et de suivi de performance de l'installation ;
- Puissance des pompes de circulation et énergie électrique consommée par ces pompes.

Dans le cadre de cette étude, seule les données relatives au dimensionnement des installations sous-sol sont présentés.

Une fois le champ de sondes dimensionné nous définirons l'architecture du champ de sondes ainsi que son implantation avec le Maître d'ouvrage.

6.2 Données d'entrée de la géo-modélisation

L'objectif des dimensionnements est de déterminer le nombre de forages nécessaires pour pérenniser le système dans le temps en fonction du scénario et de la configuration étudiée.

En effet, deux configurations ont été étudiées :

- La configuration sondes verticales : chaque sonde est implantée de façon verticale, et espacées de minimum 6 m
- La configuration sondes déviées (ou inclinées) : les sondes sont implantées avec un angle jusqu'à 20 degrés, avec les Têtes de sondes concentrées sur quelques mètres carrés et les pieds de sondes dans la parcelle du projet en respectant la norme relative aux distances par rapport aux limites de propriétés.

Pour ce projet, la production sera régulée selon les critères suivants :

- Température départ sondes = entre -3 et +40 °C

- Température de production de la PAC vers la boucle en mode chauffage = entre +20 et +25 °C

Les hypothèses de dimensionnement du système sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Données d'entrée de la géo-modélisation

Paramètres	Données d'entrée retenues
Température initiale	19,31 °C
Conductivité thermique	2,05 W/ (m.K)
Capacité thermique du terrain	2,1 MJ/ (m³.K)
Gradient de température	0,03 K/m
Delta T entrée/sortie captage	3,0°K
Delta T entrée/sortie production	5,0°K
Diamètre des sondes	160 mm
Type de fluide	Mélange eau / mono propylène glycol 25%
Configuration	Double U 40 x 3,7 mm
Raccordement des sondes	En parallèle
Période de simulation	25 ans

A la suite du forage de reconnaissance, on retiendra une profondeur de sonde de 200 m brute dans le cadre du dimensionnement.

6.3 Résultats de la géo-modélisation

6.3.1 Principaux résultats

Les résultats des dimensionnements sont présentés dans le tableau suivant pour les deux géométries proposées :

Tableau 9 : Principaux résultats de la géo-modélisation

Paramètres		Solution sondes verticales	Solution sondes inclinées
FORAGE	Nombre de puits	40	30
	Distance entre les puits (m)	8	1 à 10 en surface 10 à 35 en profondeur
	Longueur totale de l'échangeur (ml)	8 000	6 264
	Longueur moyenne des puits forage (ml)	200	200 à 213
	Inclinaison des forages	0 degré	Entre 0 et 20 degrés
CHAUFFAGE	Puissance maximale extraite du terrain (kW)	421.21	422.40
	Puissance maximale extraite par ml de sonde (W/ml)	52.65	67.43
	Puissance produite pour la boucle (kW)	355.40	356.40
	Energie annuelle extraite du terrain (kWh/an)	612.86	614.04
	Energie annuelle extraite par ml de sonde (kWh/an/ml)	76.61	98.03
	Energie produite pour la boucle (MWh)	517.10	518.10
	SCOP (global production de chaud)	6.40	6.40
	Température minimale du fluide à 25 ans (°C)	0,40	0.70
FROID ACTIF	Puissance maximale extraite du terrain (kW)	476.47	477.33
	Puissance maximale extraite par ml de sonde (W/ml)	59.56	76.20
	Puissance produite pour la boucle (kW)	552.10	553.10
	Energie annuelle extraite du terrain (kWh/an)	108.83	109.69
	Energie annuelle extraite par ml de sonde (kWh/an/ml)	13.60	17.51
	Energie produite pour la boucle (MWh)	126.10	127.10
	SEER (froid actif)	6.30	6.30
	Température maximale du fluide à 25 ans (°C)	34,20	38.20

La solution sur sondes déviée permet d'obtenir de meilleurs rendements d'extraction et d'injection par sonde et donc de diminuer le nombre de sondes nécessaire.

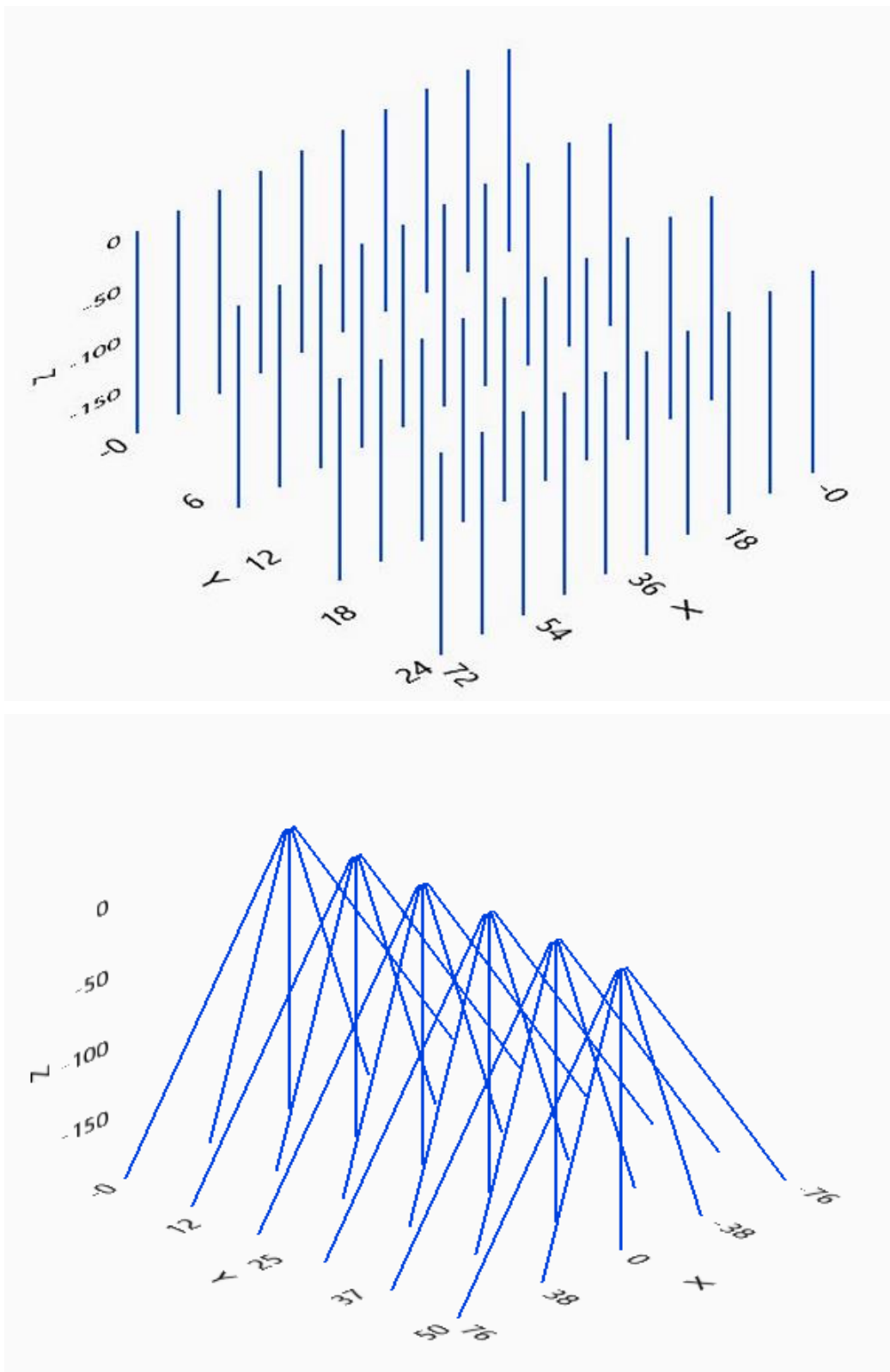


Figure 16 : Géométrie des champs de sondes pour chacune des deux géométries proposées

6.3.2 Évolution du système avec la solution sur sondes

Le premier graphique représente l'évolution des températures moyennes du sol :

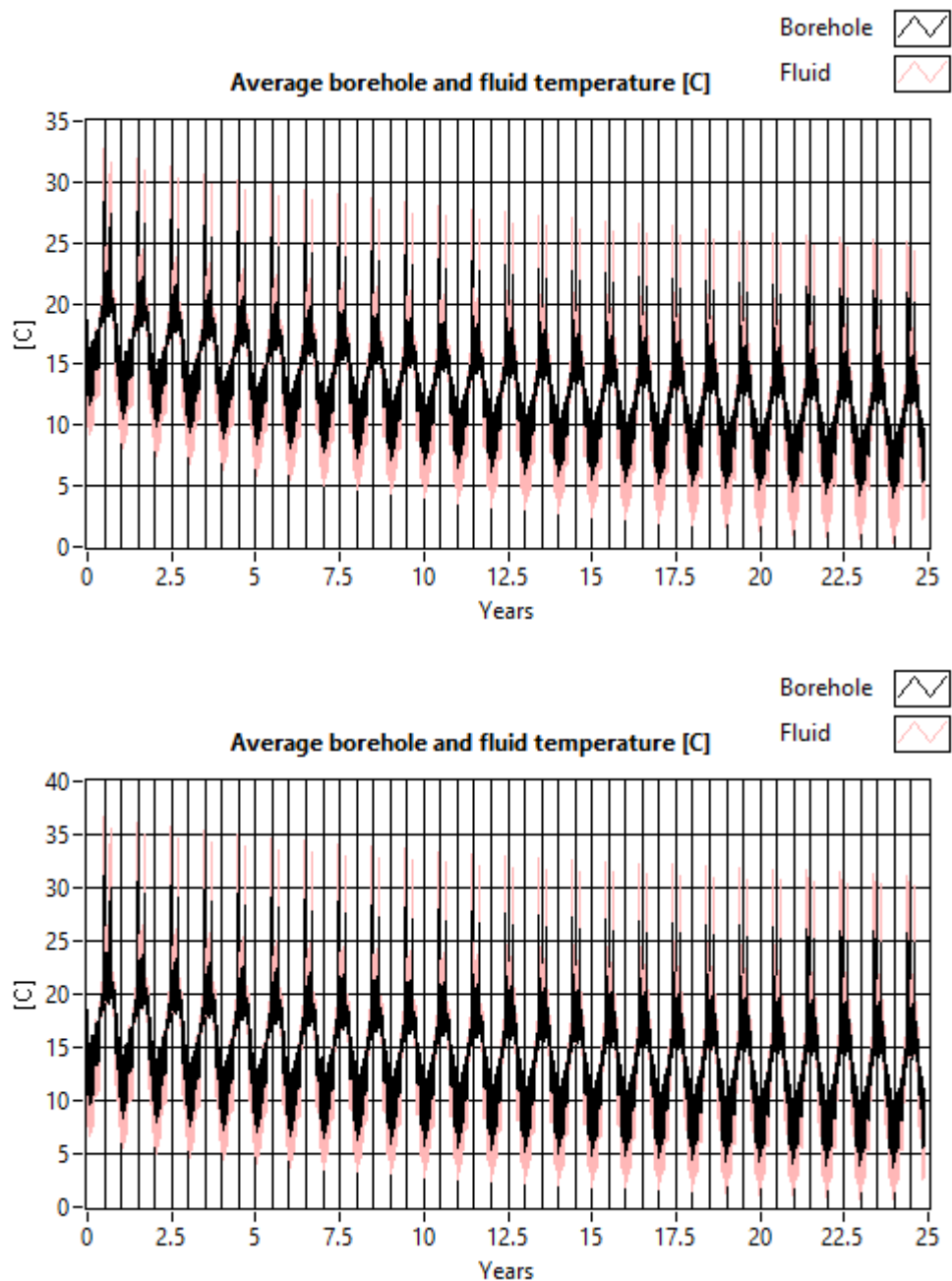


Figure 17 : Evolution des températures moyennes du sol avec la solution sur sondes verticale (en haut) et sur sondes inclinée (en bas)

On remarque que la température du terrain baisse légèrement mais ne dépasse pas les -3°C. Le système géothermique est donc pérenne dans le temps. Une vigilance sera nécessaire vis-à-vis des consommations afin de ne pas trop déséquilibrer le sol.

Le deuxième graphique représente l'évolution des températures min et max du fluide pour la dernière année de simulation (25 ans) à l'entrée / sortie des sondes.

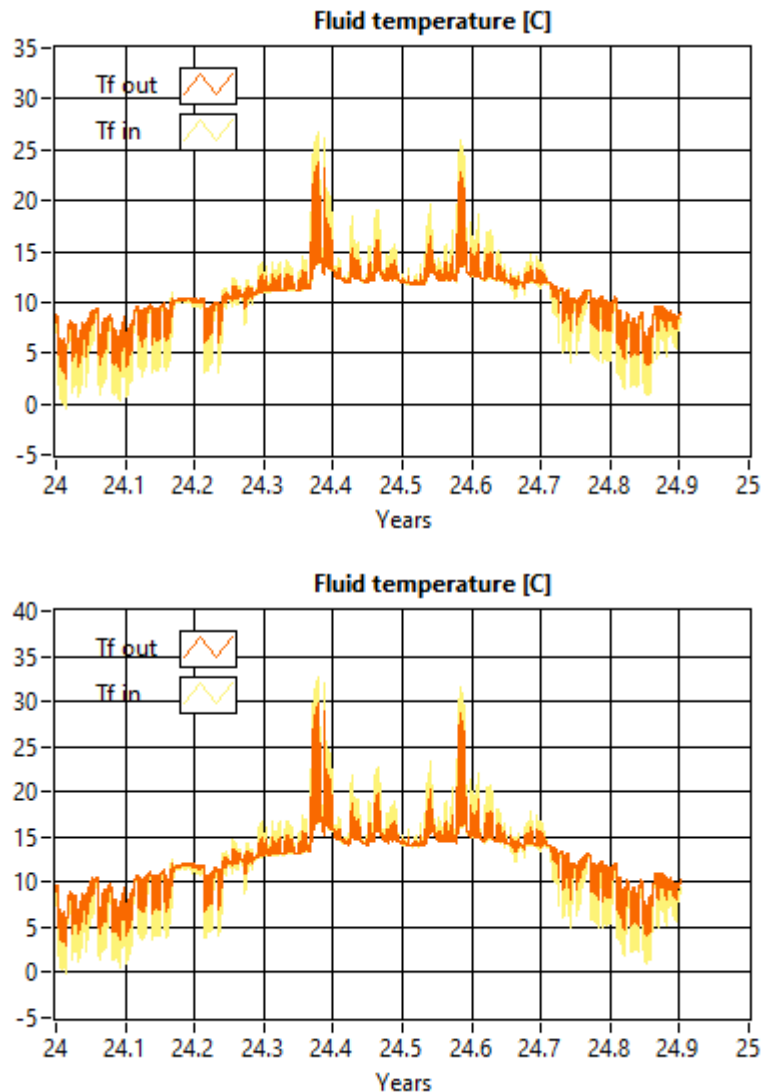


Figure 18 : Evolution des températures du fluide à l'entrée / sortie des sondes pour la dernière année de simulation avec les solutions verticale (en haut) et inclinée (en bas)

Dans l'année 25, les températures d'entrée/sortie du fluide restent bien comprises entre -3°C et +40°C, la solution est viable sur le long terme.

6.4 Comparaison des deux configurations verticales et inclinées des champs de sondes

Le choix d'une solution de géothermie sur sondes inclinées ou verticales appartient au Maître d'Ouvrage, les deux solutions permettant une exploitation raisonnée et pérenne de la ressource.

Le tableau ci-dessous présente les avantages et inconvénients de chacune de ces solutions.

Tableau 10 : Comparaison de la solution de géothermie entre sondes verticales et sondes déviées

	Sondes verticales	Sondes inclinées
Phase chantier	<ul style="list-style-type: none"> + Sondes plus rapides à forer (2 sondes par jour) - Immobilisation d'une grande partie du terrain pendant les travaux - Réfection de nombreux réseaux / parking 	<ul style="list-style-type: none"> + Immobilisation d'une petite surface pendant les travaux Peu de réseaux et enrobé à refaire + Moins de sondes à forer (30 au lieu de 40) - Sondes plus lentes à forer (1 sonde par jour)
Phase d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> - Contraintes liées à l'implantation d'arbres ou de bâtiments futurs à proximité des sondes - Risque d'endommagement des liaisons horizontales 	<ul style="list-style-type: none"> + Empreinte au sol limitée
Investissement financier	<ul style="list-style-type: none"> - Surcoût lié au VRD (réseaux, parking) - Surcoût lié au nombre de sondes plus important 	<ul style="list-style-type: none"> + Diminution du coût lié à l'optimisation du nombre de sondes
Visibilité du projet	<ul style="list-style-type: none"> - Pas d'innovation technologique 	<ul style="list-style-type: none"> + Innovation technologique valorisable dans le cadre d'un démonstrateur

6.5 Travaux préliminaires nécessaires à la mise en place de la solution sur sondes

Voici la liste non-exhaustive des travaux préliminaires non inclus dans le budget indiqué dans ce rapport :

- Mise à disposition d'une puissance électrique (avec protection en attente) au TGBT - Puissance à définir en étude d'exécution - à titre purement indicatif de 40kW (tétra) et une intensité de 63A
- Prévoir le carottage du voile béton extérieur du local pour passage des réseaux sources (x2) vers les puits en extérieur
- Prévoir le carottage des murs entre le local technique et le local chaufferie
- Prévoir évacuation / siphon de sol au droit de la PAC dans le local
- Libération de la zone de forage extérieure durant les travaux
- Prévoir une alimentation d'eau pour le forage en phase travaux 40L/min mini
- Prévoir une alimentation électrique de 400V 40A triphasée pour le forage en phase travaux
- Démolition et dévoiement de tout réseau d'assainissement compris à moins de 5 mètres des forages
- Dévoiement de tout réseau CFO compris à moins de 1.5 mètres des forages
- Mise en hors tension des lignes électriques extérieures lors des travaux dans la zone de travail
- Démolition / remise en état de tout réseau extérieur VRD empêchant la mise en place des réseaux de raccordement hydraulique horizontaux extérieurs compris dans la tranchée entre le champ de sondes et le bâtiment
- Enlèvement d'arbres éventuels
- Rabotage, remise en place enrobés ou toute finition d'aménagement extérieur (végétalisation etc...)
- Mise en place d'une base vie pour 6 personnes
- Tout travaux de second œuvre type maçonnerie, plâtrerie, peinture, sol, finitions diverses
- Tout équipements SSI
- Tout équipement non présent dans nos limites de prestations indiquées dans nos documents (devis, schéma hydrauliques, plans)

7. Chiffrage de l'installation

Le chiffrage ci-dessous correspond à une estimation budgétaire des deux configurations, uniquement pour la partie sous-sol jusqu'au collecteur (inclus).

Non communiqué

8. Vérification du cadre réglementaire

8.1 Cadre réglementaire

Le cadre réglementaire des installations géothermiques est décrit en [Annexe 5 : Cadre réglementaire de la géoénergie](#). Ce projet d'exploitation de la ressource géothermique via un champ d'échangeurs fermés, constitue un gîte géothermique de minime importance (GMI), encadré par le Code Minier.

Cette catégorie concerne les échangeurs géothermiques fermés (= géothermie sur sonde) dont la profondeur du forage est comprise entre 10 et 200 mètres (en mesure verticale) avec une puissance thermique maximale prélevée du sous-sol et utilisée pour l'ensemble de l'installation inférieure à 500 kW.

Les forages devront être situés :

- À plus de 200m d'une décharge ou d'une installation de stockage de déchets ménagers ou industriels ;
- À plus de 35m de zones de stockage d'hydrocarbures, produits chimiques et phytosanitaires ou autres produits susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines ;
- À plus de 35m d'un réseau d'eaux usées ou usine de traitement des eaux ;
- À plus de 35m d'un ouvrage souterrain de prélèvement d'eau destiné à la consommation humaine ;
- À plus de 35m de bâtiments d'élevage et de leurs annexes ;
- À plus de 50m de parcelles potentiellement concernées par de l'épandage des déjections animales et effluents d'élevage issus des installations classées ;
- À plus de 35 m de parcelles potentiellement concernées par de l'épandage de boues de step et de déchets issus d'une ICPE ;
- À plus de 5m de la limite de propriété la plus proche ;
- À plus de 5m de conduites d'eaux usées ou transportant des matières susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines.

8.2 Vérification cadre GMI

Le projet étant situé en zone verte selon le décret de la Géothermie de Minime Importance encadré par le Code Minier, le projet est en régime déclaratif.

L'installation sera télédéclarée lors des études d'exécution des travaux.

9. Bilan économique, énergétique et environnemental

9.1 Présentation des systèmes étudiés

L'étude ci-dessous évalue l'intérêt énergétique, financier et environnemental de la solution sur sondes géothermiques par rapport à la solution de référence utilisée actuellement.

Nous étudions et comparons les solutions suivantes :

- Solution de référence (chaudières gaz)
- Solution sur sondes (pompe à chaleur avec champs de sondes géothermiques) avec appoint gaz

9.2 Bilan énergétique

Le tableau ci-dessous présente le bilan énergétique de la solution sur sondes étudiée en comparaison à une solution de base.

Tableau 12 : Bilan énergétique des solutions sur sondes en comparaison à la solution de base

		Solution de référence (chaudières gaz)	Solution sur sondes verticales	Solution sur sondes inclinées
Bilan des besoins calorifiques	Puissance calorifique (Chauffage) (kW)			
	Puissance couverte par la solution (kW)	-	356.43	356.43
	Pourcentage de puissance couverte par la solution	0%	44%	44%
	Puissance couverte par l'appoint (kW)	100%	453.63	453.63
	Besoins calorifiques "sortie Local de Production"			
	Besoins calorifiques "couvert par géothermie"	-	518.07	518.07
	Besoins calorifiques "couvert par les chaudières"	573,84	55.77	55.77
	Pourcentage des besoins calorifiques couvert par géoénergie (MWh)*	0%	90%	90%
	Rendement moyen (COP) de l'installation géoénergie	NaN	6.45	6.26
	Rendement moyen (COP) des chaudières ou de l'appoint	0,9	2.5	2.5
Bilan des besoins frigorifiques	Puissance frigorifique (Froid) (kW)			
	Puissance couverte par la solution (kW)	-	553.08	553.08
	Pourcentage de puissance couverte par la solution	0%	48%	48%
	Puissance couverte par l'appoint (kW)	-	599.17	599.17
	Besoins frigorifiques "sortie Local de Production"			
	Besoins frigorifiques "couvert par géothermie"	0	127.11	127.11
	Besoins frigorifiques "couvert par l'appoint"	-	14.09	14.09
	Pourcentage des besoins frigorifiques couvert par géoénergie (MWh)*	-	90%	90%
	Rendement moyen (EER) de l'installation géoénergie	-	6.28	6.26
	Rendement moyen (EER) de l'appoint	-	2.50	2.50
Bilan	Consommation électrique totale (MWh)	-	135.88	138.54
	Consommation gaz/fioul PCI (MWh)	877,5	0	0

Rapport PCS/PCI	1,111	-	-
Consommation gaz PCS (MWh)	974,9	-	-
Consommation totale énergie finale	877,5	135.88	138.54
% Gain énergie finale	NaN	82.3%	81.9%
Consommation totale énergie primaire	702	312.53	318.65
% Gain énergie primaire	NaN	63.0%	62.3%
% ENR par géothermie	0,00	75.18%	74.81%

La solution sur sondes présente des rendements de production bien plus favorables que la solution de référence. La mise en place de la solution sur sondes permet d'atteindre des gains énergétiques de 30% en énergie primaire, et des gains en énergie de plus de 76% en énergie finale.

9.3 Bilan environnemental

9.3.1 Hypothèses de calcul

Pour le gaz :

Les ratios d'émissions utilisés sont les ratios d'émissions publiés par l'ADEME :

Tableau 13 : Ratios d'émissions publiés par l'ADEME

	kgCO ₂ /GJ	PCI (GJ/tonne)	kgCO ₂ /tep (PCI)	gCO ₂ /kWh
Essence	73	44	3 066	264
Gazole/FOD	75	42	3 150	271
Fuel lourd	78	40	3 276	282
Gaz naturel	57	49,6	2 394	206
Kérosène	74	44	3 108	267
Charbon	95	26	3 990	343
GPL	64	46	2 688	231
Déchets ménagers	41,3	8,8	1734,6	149

Source : MEDD, questionnaire de déclaration annuelle des émissions polluantes 2005 des installations classées soumises à autorisation

Pour l'électricité :

Tableau 14 : Ratios des émissions de l'électricité en France

TOTAL (gCO ₂ e / kWh)	Coefficient Energie Primaire
57	2,58

9.3.2 Estimation de la réduction des tep/an

Tableau 15 : Estimation de la réduction des tep

	Solution de référence (chaudières gaz)	Solution sur sondes
Consommation totale énergie primaire (MWh)	844	315
Tonne équivalent pétrole /an	66	27
Réduction tonne équivalent pétrole / an	NaN	39
% réduction tonne équivalent pétrole / an	NaN	59%

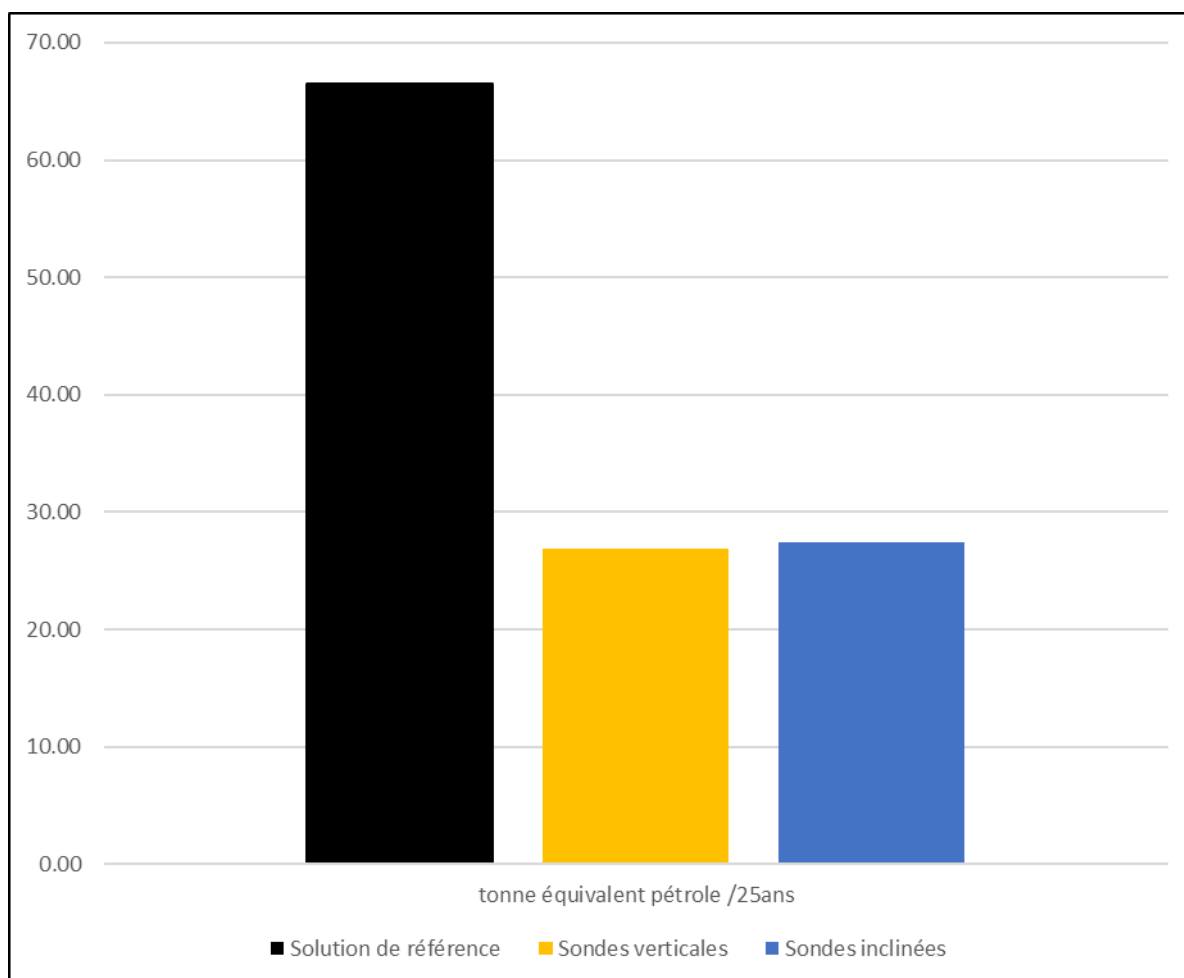


Figure 19 : Estimation des réductions en tep

9.3.3 Estimation de la réduction des émissions de CO₂ en tonne

Le calcul a été réalisé en incluant l'effet direct dû aux émissions par fuites dans les installations.

On considère que 3% de la charge est perdue sous forme de fuites chaque année et seulement 75% de la charge est récupérable en fin de période de simulation.

Tableau 16 : Estimation de la réduction des émissions de CO₂

	Solution de référence (chaudières gaz)	Solutions sur sondes (verticale et inclinée)
Tonne d'émission CO ₂ /an	148	22
Tonne d'émission CO ₂ économisées/an	NaN	126
Réduction émission CO ₂ (%)	NaN	85%

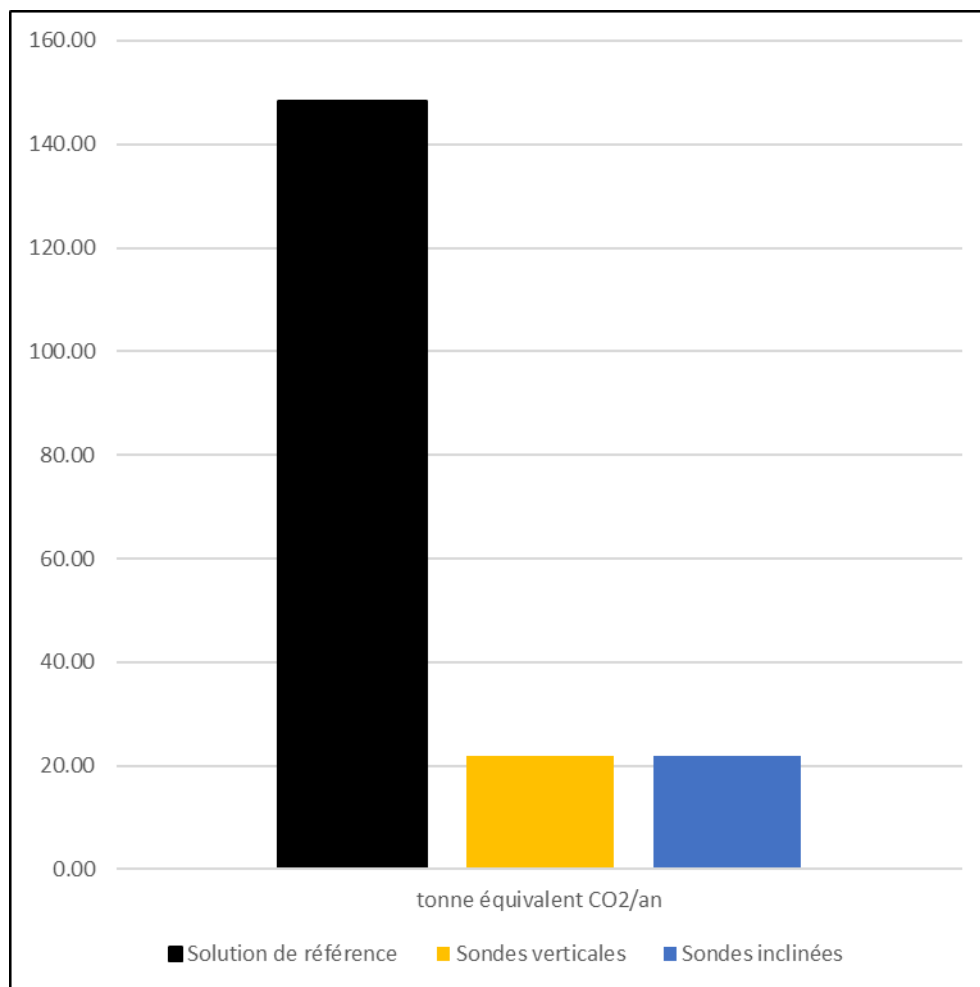


Figure 20 : Estimation de la réduction des émissions de CO₂

La solution sur sondes présente des baisses d'émissions de CO₂ de l'ordre de 90%, ce qui pourrait avoir un impact économique très important dans le cas de la mise en place de taxes sur les émissions de CO₂. A titre purement indicatoire la cour des comptes, dans son rapport du 18 septembre 2019, préconisait une taxation des émissions dans le secteur du bâtiment comprise entre 100 et 317€ la tonne. Soit un gain fiscal annuel potentiel compris entre 9k€ et 29k€.

9.3.4 Analyse de Cycle de Vie de la solution sur sondes

L'Analyse de cycle de vie d'une installation sur sondes inclinées a été réalisée par le Bureau d'Etudes, via le cabinet de conseil Évée spécialisé dans l'éco-conception, l'ACV, l'empreinte environnementale et sociale des produits. Celle-ci a notamment montré qu'en 10 mois les émissions de GES liées à la phase travaux de l'installation sont compensées par rapport à une solution gaz + groupes froids. Au bout de 50 ans d'exploitation les émissions sont divisées par 7,5.

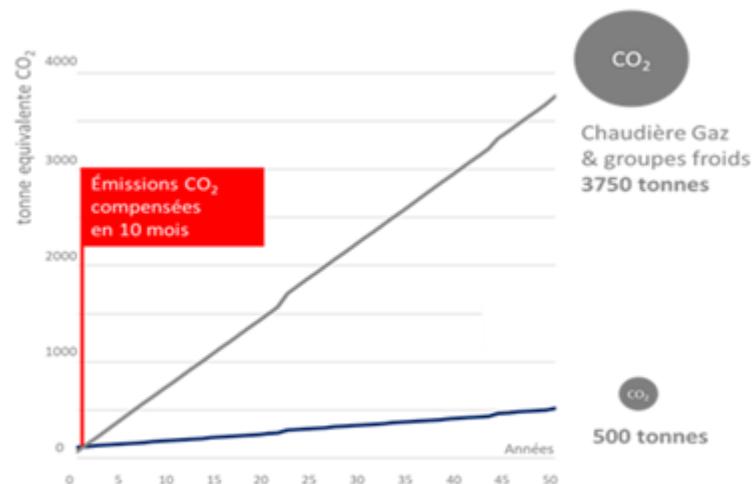


Figure 21 : Analyse de Cycle de Vie

10. Durée des travaux

La durée des travaux de forages sont estimées à 2 mois pour des sondes verticales et 3 mois pour des sondes déviées.

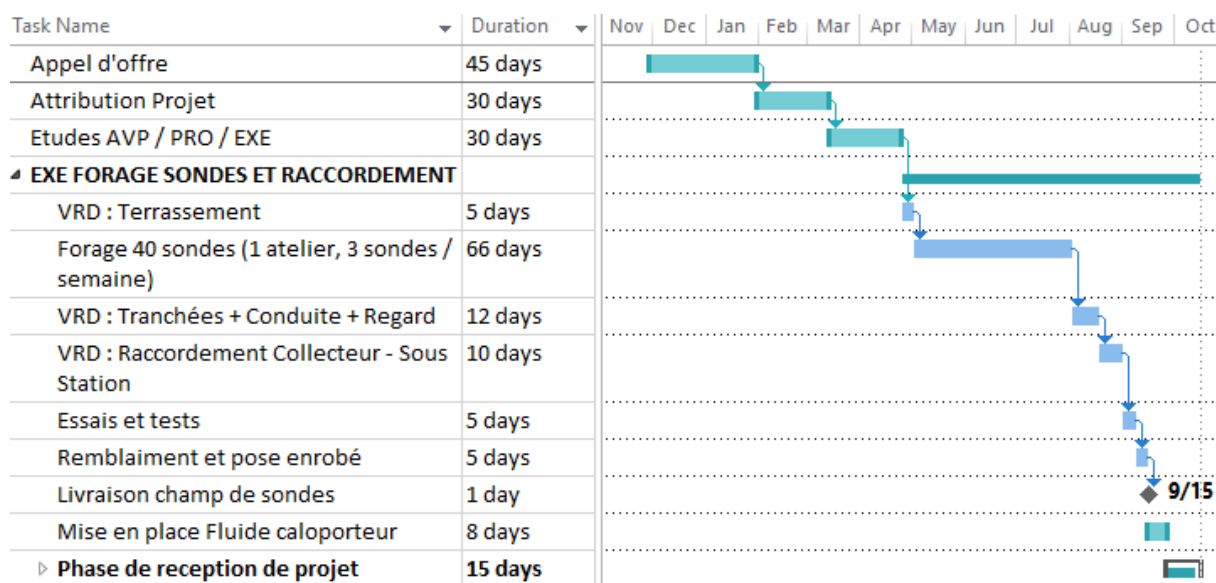


Figure 22 : Planning prévisionnel

11. Conclusion de l'étude

L'étude met en évidence la faisabilité technique et réglementaire d'une solution sur sondes géothermique pour alimenter en chaud et en froid la boucle d'eau tempérée du campus.

En effet, le sous-sol présente une coupe géologique compatible avec la mise en place de sondes géothermiques ainsi que des caractéristiques thermiques favorables avec cette solution. Par ailleurs, la mise en place de cette solution ne présente pas de contraintes règlementaires particulières.

Dans le cadre de cette étude, deux configurations de champ de sondes ont été envisagées : des sondes verticales et des sondes déviées. Le tableau ci-dessous synthétise les résultats :

		Solution sur sondes verticales	Solution sur sondes déviées
Données énergétiques	Taux de couverture énergétique en chauffage	100%	
	Linéaire de sondes	8 000 ml	6 173
	Nombre total de sondes	40	30
	Rendement de l'installation (SCOP)	6,8	
	% Gain énergie finale	82%	
	% Gain énergie primaire	63%	
Non communiqué			
Données environnementales	Réduction émission CO ₂ (%)	85%	
	Réduction tonne équivalent pétrole (%)	60%	
Principaux Avantages		- Sondes plus rapides à réaliser	- Emprise au sol réduite - Innovation technologique
Principaux Inconvénients		- Emprise au sol plus importante - Risque endommagement liaisons horizontales	- Délais plus important de mise en Œuvre

ANNEXES

Annexe 1 : Cadre réglementaire de la géoénergie

Textes de référence et décrets d'application

Les textes de référence pour une exploitation géothermique très basse énergie sont les suivants :

- Décret n°78-498 du 28 mars 1978 relatif aux titres de recherche et d'exploitation de la géothermie

Ce décret précise :

- Article 1 : Les gîtes géothermiques sont dits à haute ou à basse température selon que la température de leurs eaux, mesurée en surface au cours des essais du forage d'exploration, est soit supérieure, soit inférieure ou égale à 150 degrés C.
- Article 17 : qui définit la géothermie à basse température de minime importance. Celui-ci a été modifié par le décret du n°2015-15 du 8 janvier 2015.

- 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 modifié par le Décret n°2015-15 du 8 janvier 2015 :

Ce décret précise :

- Article 3 : (...) Sont soumis à l'autorisation prévue par l'article L. 162-3 du code minier, l'ouverture de travaux de recherches et d'exploitation des gîtes géothermiques mentionnés à l'article L. 112-1 du code minier, à l'exception de l'ouverture de travaux d'exploitation des gîtes géothermiques de minime importance.
- Article 22-7 : La personne qui réalise les travaux de forage lors de l'ouverture des travaux d'exploitation d'un gîte géothermique de minime importance (...) est tenue de disposer d'une attestation de qualification.

- Le décret n°2015-15 du 8 janvier 2015, modifie le décret n°78-498 du 28 mars 1978 et le décret n°2006-649 du 2 juin 2006 modifié en apportant les modifications suivantes :

- Exclusion du régime légal des mines de la géothermie de moins de 10 m de profondeur (applicable au lendemain de la publication du décret n°2015-15).

- L'article 2 du décret n°78-498 prévoit que : « Art. 2. - Conformément à l'article L. 112- 1 du code minier et sans préjudice des dispositions de l'article L. 411-1 de ce code, ne relèvent pas du régime légal des mines les activités et installations géothermiques suivantes :

- Les puits canadiens ;
- Les géostructures thermiques ;
- Les échangeurs géothermiques fermés d'une profondeur inférieure à 10 mètres ;
- Les échangeurs géothermiques ouverts dont au moins un échangeur fonctionne en circuit ouvert répondant aux conditions mentionnées au II de l'article 3 et dont aucun des ouvrages de prélèvement ou de réinjection ne dépasse la profondeur de 10 mètres.

- Loi n°2012-387 du 22 mars 2012 relative à la simplification du droit et à l'allégement des démarches administratives ;
- Arrêté ministériel du 25 juin 2015 relatif aux prescriptions générales applicables aux activités de géothermie de minime importance ;
- Arrêté ministériel du 25 juin 2015 relatif à la carte des zones en matière de géothermie de minime importance complétée par l'Arrêté préfectoral régional du 8 août 2018 ;
- Arrêté ministériel du 25 juin 2015 relatif à la qualification des entreprises de forage ;
- Arrêté ministériel du 25 juin 2015 relatif à l'agrément d'expert en matière de géothermie de minime importance ;
- Arrêté ministériel du 4 septembre 2015 modifié portant agrément des experts en matière de géothermie de minime importance.

Code minier

Le Code Minier régit la recherche et l'exploitation des gîtes géothermiques qui requièrent (sauf pour les activités exclues du Code Minier ou qui bénéficient du régime dérogatoire de la minime importance) des autorisations délivrées par l'Etat.

- **Article L124-4 Créé par Ordonnance n°2011-91 du 20 janvier 2011 :**
Nul ne peut entreprendre un forage en vue de la recherche de gîtes géothermiques à basse température sans une autorisation de recherches accordée par l'autorité administrative. Cette autorisation détermine soit l'emplacement du ou des forages que son titulaire est seule habilité à entreprendre, soit le tracé d'un périmètre à l'intérieur duquel les forages peuvent être exécutés. Sa validité ne peut excéder trois ans.
- **Article L134-4 Créé par Ordonnance n°2011-91 du 20 janvier 2011 :**
Les gîtes géothermiques à basse température ne peuvent être exploités qu'en vertu d'un permis d'exploitation accordé par l'autorité administrative.
- **Article L112-2**
Les gîtes géothermiques sont classés selon qu'ils sont à haute ou à basse température, selon des modalités fixées par voie réglementaire :
 - Géothermie de haute température. Il s'agit de l'exploitation des gîtes dont la température de leurs eaux, mesurée en surface est supérieure à 150°C ;
 - Géothermie de basse température. Il s'agit de l'exploitation des gîtes dont la température de leurs eaux, mesurée en surface est inférieure ou égale à 150°C.
- **Article L112-3 Créé par LOI n°2012-387 du 22 mars 2012 - art. 66 :**
Parmi les gîtes géothermiques à basse température, sont considérées comme des activités géothermiques de minime importance les activités de géothermie exercées dans le cadre du présent code qui utilisent les échanges d'énergie thermique avec le sous-sol, qui ne présentent pas de dangers ou d'inconvénients graves pour les intérêts mentionnés à l'article L. 161-1 et qui satisfont aux conditions fixées par décret en Conseil d'Etat sur la base des caractéristiques mentionnées au second alinéa de l'article L. 112-1. Ce décret en Conseil d'Etat détermine également les cas où il peut être dérogé aux titres II, III, V et VI du présent livre pour les activités géothermiques de minime importance

Les ouvrages géothermiques de plus de 10 m de profondeur sont soumis au code minier. Il est donc important de rappeler que l'article 131 du code minier impose la déclaration de tout sondage de plus de 10 m de profondeur à la DRIRE.

Décret sur les gîtes géothermiques de minime importance

Ce décret a été publié au journal officiel le 10 janvier 2015 et est entré en vigueur le 1er juillet 2015. Ce régime (GMI) est une simplification du code minier qui consiste en un régime déclaratif allégé et dématérialisé (télédéclaration) pour la géothermie très basse énergie.

- **Décret du 8 janvier 2015**
Les critères de la géothermie de minime importance sont indiqués par le Décret 2015-15 du 8 janvier 2015.

Cette catégorie concerne les échangeurs géothermiques fermés (= géothermie sur sonde) dont la profondeur du forage est comprise entre 10 et 200 mètres avec une puissance thermique maximale prélevée du sous-sol et utilisée pour l'ensemble de l'installation inférieure à 500 kW.

Ces textes s'appliquent aux secteurs ne présentant pas des risques environnementaux significatifs au regard des caractéristiques de l'ouvrage.

Le décret s'appuie sur 4 arrêtés :

- Une cartographie réglementaire (définition de trois zones verte, orange, rouge) ;
- L'agrément des experts (cas des zones orange) ;
- Les prescriptions générales (pour la réalisation des ouvrages) ;

- L'obligation de qualification des entreprises de forage (Quali'forage).

La cartographie réglementaire présente trois zones :

- Zone verte : sans expertise préalable (éligible G.M.I)
- Zone orange : nécessite une expertise préalable par organisme agréé
- Zone rouge : soumise à autorisation
- Des zones « oranges » dans lesquelles, en l'absence de connaissances suffisantes ou compte tenu des risques déjà identifiés, il doit être joint à la déclaration l'attestation d'un expert agréé, qui garantit l'absence de risques graves du projet ; ces zones s'inscrivent dans le régime déclaratif, avec avis d'un hydrogéologue agréé (l'hydrogéologue a pour rôle d'expertiser la déclaration et de faire le cas échéant des recommandations) ;
- Des zones à risque significatif, dites zones « rouges » où le projet ne pourra être réalisé qu'après autorisation de l'installation au titre du code minier ; ces zones nécessitent un dossier d'autorisation à déposer auprès de la Préfecture et de la DRIEE.
- Les échangeurs ne doivent pas être situés en une zone rouge.

○ Arrêté du 25 juin 2015

Conformément aux prescriptions mentionnées dans l'article 2,1 de l'arrêté du 25 juin 2015 relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques, l'implantation des forages devra être étudiée de façon à respecter les contraintes ci-dessous :

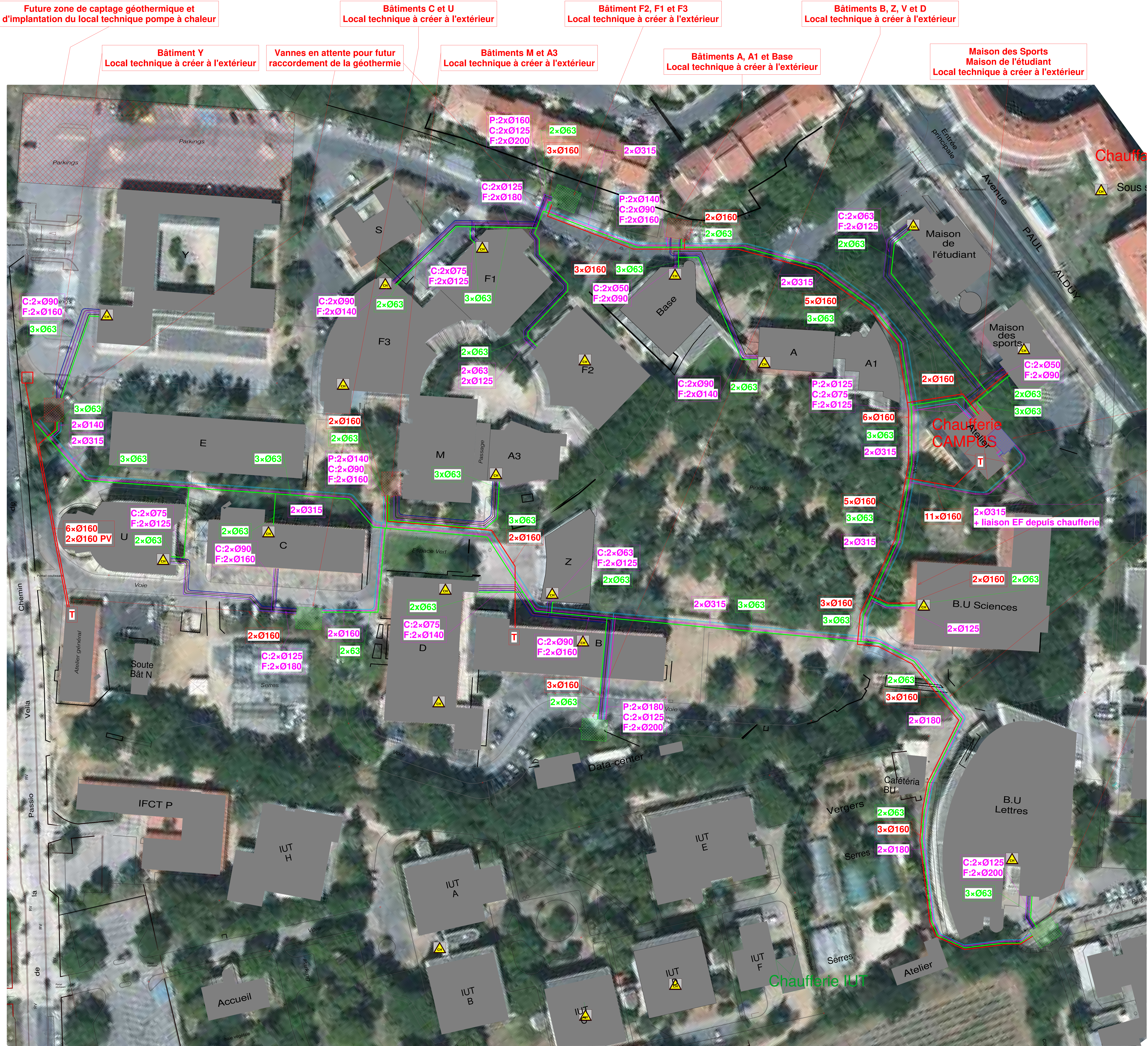
Les forages devront être situés :

- A plus de 200 m d'une décharge ou d'une installation de stockage de déchets ménagers ou industriels ;
- A plus de 35 m de zones de stockage d'hydrocarbures, produits chimiques et phytosanitaires ou autres produits susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines ;
- A plus de 35 m d'un réseau d'eaux usées ou usine de traitement des eaux ;
- A plus de 35 m d'ouvrage souterrain de prélèvement d'eau destiné à la consommation humaine ;
- A plus de 35 m de bâtiments d'élevage et de leurs annexes ;
- A plus de 50 m de parcelles potentiellement concernées par de l'épandage des déjections animales et effluents d'élevage issus des installations classées ;
- A plus de 35 m de parcelles potentiellement concernées par de l'épandage de boues de step et de déchets issus d'une ICPE ;
- A plus de 5m de la limite de propriété la plus proche ;
- A plus de 5m de conduites d'eaux usées ou transportant des matières susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines.

○ Arrêté du 25 juin 2015 relatif à l'agrément d'expert en matière de géothermie de minime importance - Article 7 :

Pour établir l'attestation de compatibilité d'un projet de géothermie de minime importance appelée par le chapitre VI du décret du 2 juin 2006 susvisé, l'expert agréé dans les conditions du chapitre Ier (Agrément d'expert en matière de géothermie de minime importance) prend en considération le contexte géologique de la zone d'implantation et vérifie l'absence de dangers ou inconvénients graves pour la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 161-1 du code minier.

L'expert agréé reçoit du déclarant les éléments du dossier de la déclaration d'ouverture de travaux d'exploitation d'une activité de géothermie de minime importance, prévus aux 1° à 5° de l'article 22-2 du décret du 2 juin 2006 susvisé.



Local technique pompes et maintien en pression

BU Sciences
Local technique intérieur existant

Passage sous la passerelle

BU Lettres
Local technique à créer à l'extérieur
Remontée en façade entre locaux techniques extérieurs et intérieurs

LEGENDE	
	Local technique Pompes & maintien en pression
	Local technique PAC taille 600
	Local technique PAC tailles 200-300-400
	Réseaux boucle tempérée
	Réseaux chauffage
	Réseaux rafraîchissement
	Réseau d'eau froide
	Diamètres tuyauterie boucle tempérée
	Diamètres tuyauterie chauffage - Rafraîchissement
	Diamètres tuyauterie C secondaire chaud
	Diamètres tuyauterie F secondaire froid
	Fourreau CFA
	Fourreau CFO
	Diamètres fourreaux CFA
	Diamètres fourreaux CFO

Nomenclature des révisions					
Numéro de révision	Date de révision	DCE	Description de la révision	Dessiné par	Vérifié par
0	01/10/2021	DCE		NM	AT

CREATION D'UNE BOUCLE TEMPEREE

UNIVERSITE DE PERPIGNAN
66100 PERPIGNAN

MAÎTRE D'OUVRAGE
UNIVERSITE PERPIGNAN VIA DOMITIA
52, Av. Paul Alduy
66100 PERPIGNAN

ARCHITECTE
NM2A
95, Rue Pomier Lavargues
34070 MONTPELLIER

BUREAU D'ETUDE STRUCTURE
BUREAU D'ETUDE VRD
BUREAU D'ETUDE THERMIQUE
Energie R.BET
7, Rue Augustin Thierry
66000 PERPIGNAN
04 68 73 85 67

BUREAU DE CONTROLE
COORDONNATEUR SPS
BUREAU D'ETUDE SOLAIRE

NOM, LOGO ET REFERENCES DE LA SOCIETE REDACTRICE ET EMETTRICE DU DOCUMENT

Plan de masse
Lot: 03 & 04

Ref. archi
Ref. structure

DESSINE PAR
NM
AT
Vérifié par
AF2365
PHASE D'ETUDE
DCE
Echelle
1 : 400
FORMAT
1200x914
DATE
01/10/21
NUMERO
503
INDEX
0

