

## 9. ETUDE DE FAISABILITE CHAUFFERIE BOIS

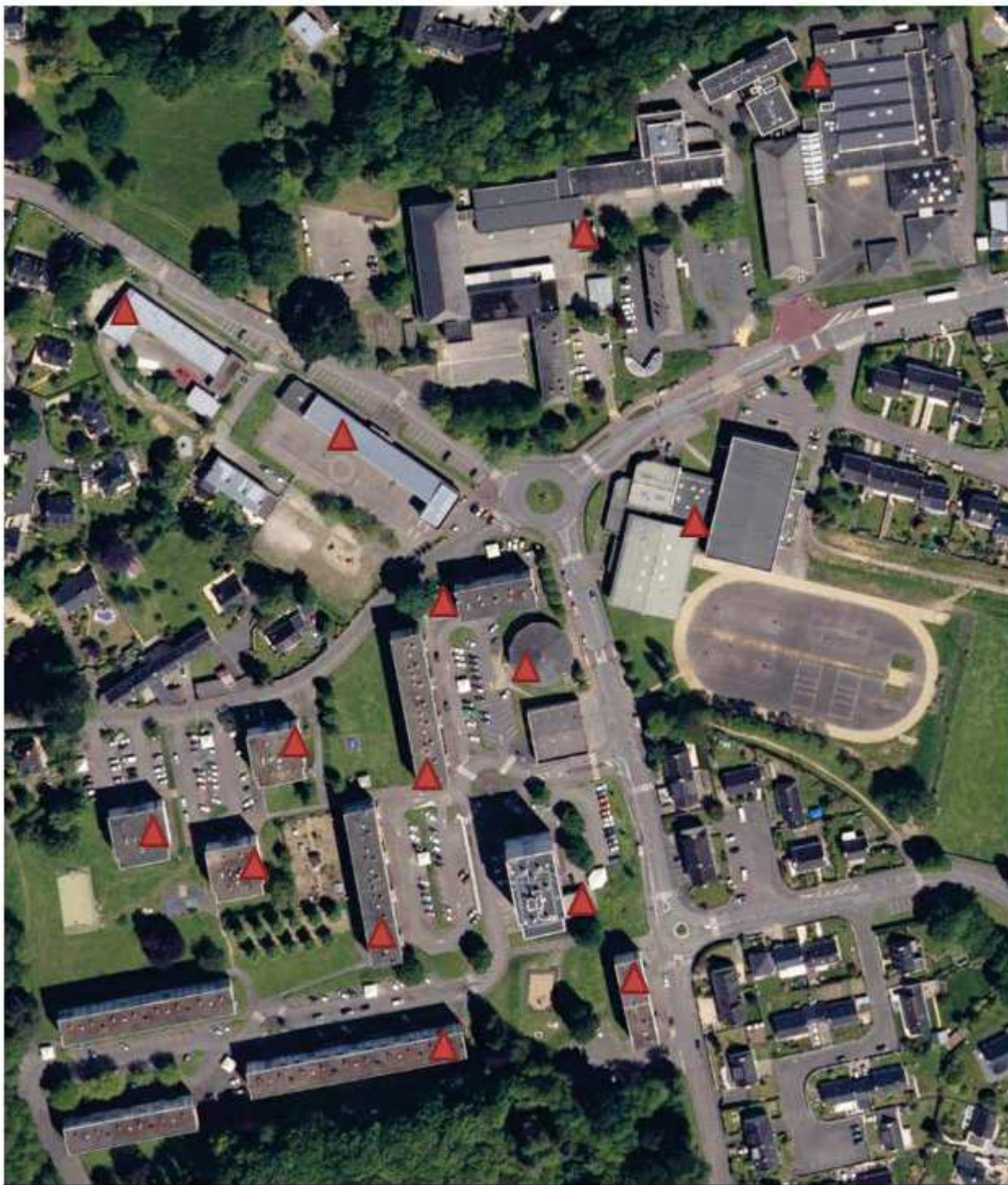
### 9.1 - PERIMETRE (RAPPEL) ET CONTEXTE

L'étude de faisabilité porte sur les bâtiments représentés ci-dessous :



- Bâtiments communaux – Ville d’Hennebont :
  - o école maternelle Paul Eluard
  - o école primaire Paul Eluard
  - o maison de quartier de Kérihouais
  - o complexe sportif Colette Besson
  
- Bâtiments départementaux – Conseil Départemental
  - o Collège Paul Langevin
  
- Bâtiment régionaux – Conseil Régional
  - o Lycée professionnel Emile Zola
  
- Logements collectifs – Lorient Habitat
  - o 9 immeubles de logements collectifs

Le plan ci-après permet de visualiser la localisation des chaufferies, futurs lieux de raccordement au réseau de chaleur via des échangeurs thermiques :



▲ Emplacement des chaufferies existantes

Un total de 15 chaufferies a été recensé. Les puissances de chauffage pour les différents bâtiments, calculées et installées, ainsi que les consommations de chauffage sont synthétisées dans le tableau suivant :

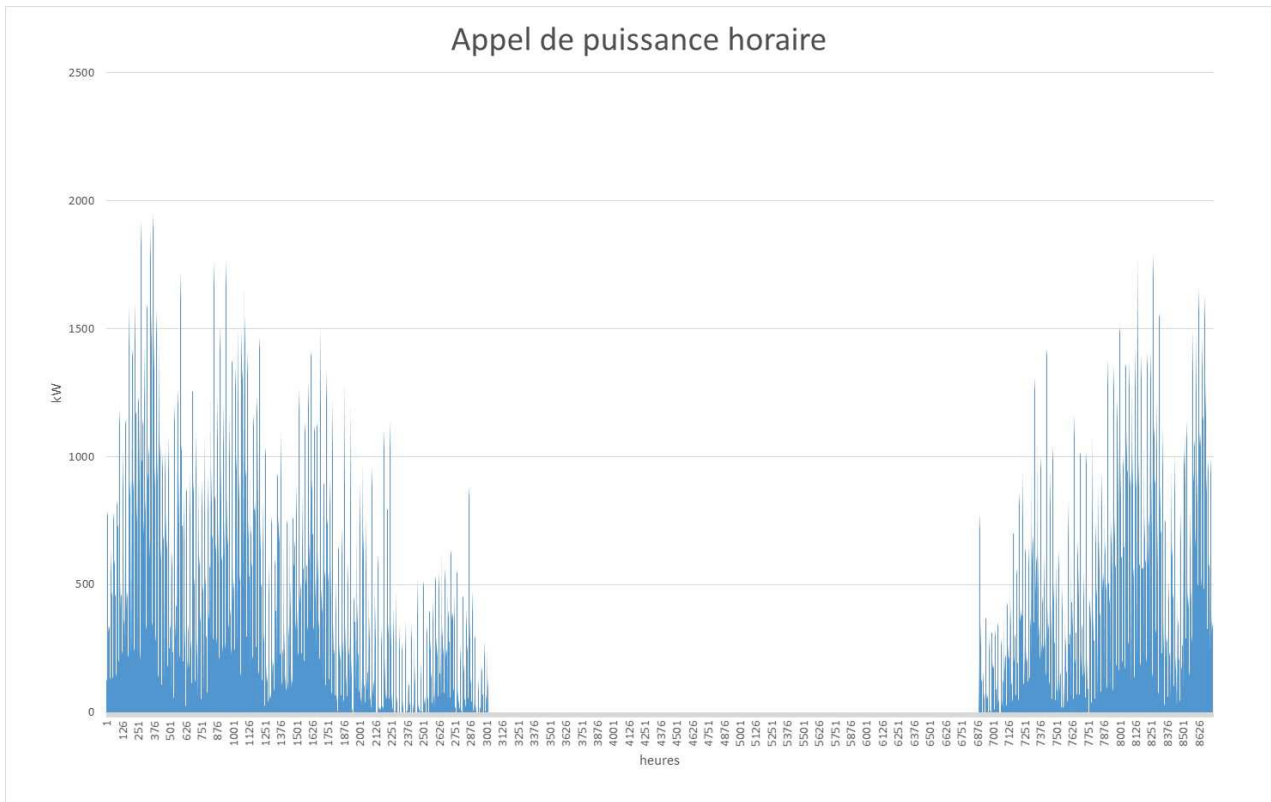
Bâtiment	Puissance calculée kW (hors surpuissance)	Puissance installée kW	Année d'installation	Consommation kWh/an
Logement A	219	366	2 011	276 085
Logement B	218	320	2011 et 2008	235 308
Logement C	109	253	2 011	117 256
Logement D	168	200	2 015	320 819
Logement E	102	148	2 015	141 428
Logement F	234	400	2 018	305 325
Logement J	57	-	-	115 076
Logement K	55	87	2 016	97 370
Logement L	60	87	2 016	126 336
MDQ	28	-	-	27 685
Ecole primaire	134	170	1 997	68 152
Ecole maternelle	43	44	2 018	52 670
Complexe sportif	178	199	2 015	149 663
Collège	240	570	2 013	159 773
Lycée	743	960	2 017	767 077
<b>Total</b>	<b>2 588</b>	<b>3 804</b>		<b>2 960 023</b>

**Il en résulte une puissance totale calculée de 2,6 MW (hors surpuissance), une puissance installée de 3,8 MW (incluant des chaudières de secours) pour une consommation de chauffage de 2,9 GWh/an.**

## 9.2 - DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUFFERIE

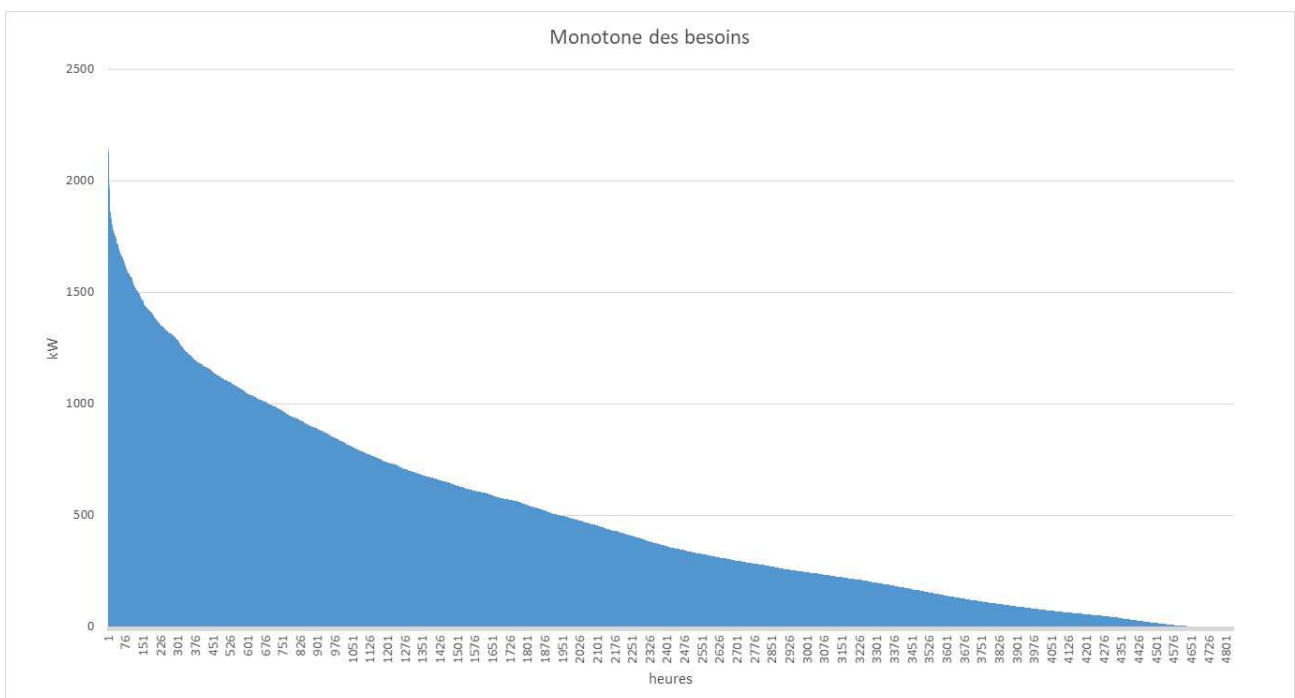
Afin de pouvoir calculer la puissance de chauffe nécessaire, il a été cumulé les différents appels de puissance horaires des sites.

Le graphique ci-dessous présente les appels de puissance tout au long de l'année :



*Nota : l'abscisse correspond aux heures de l'année, du 1<sup>er</sup> janvier au 31 décembre (8760 heures/an)*

Pour produire la monotone des besoins, ces puissances appelées sont classées par puissances horaires décroissantes. Il en ressort la courbe ci-après qui permet également de calibrer la puissance de la chaudière bois en fonction du taux de couverture souhaité.



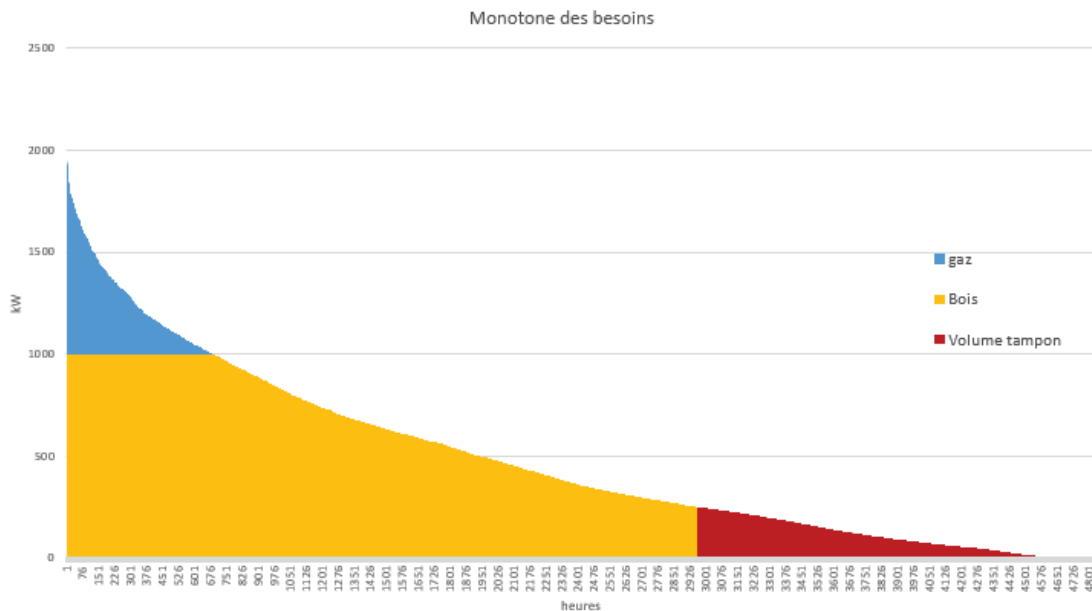
*Nota : l'abscisse correspond au temps de fonctionnement à la puissance indiquée en ordonnée*

La puissance maximale atteinte est de 2 270 kW (optimisation de 300 kW par rapport à la somme des puissances calculées), à laquelle un coefficient de surpuissance doit être ajouté (pertes réseau, condition climatique exceptionnelle, perte de puissance liée à l'ancienneté des chaudières...)

Afin de convenir à ce besoin, il est proposé de mettre en place :

Equipement	Quantité théorique	Quantité fabricant	Marque - Type
Chaudière bois 1 - kW	490	499	FROLING TM500
Chaudière bois 2 - kW	490	499	FROLING TM500
Volume stockage - m <sup>3</sup>	15	3 * 5m <sup>3</sup>	A définir
Chaudière gaz 1 - kW	900	910	Atlantic Varmega 1000
Chaudière gaz 2 - kW	900	910	Atlantic Varmega 1000
Puissance totale - kW	2 780	2 818	
Soit un coefficient de surpuissance de	22%	24%	

La monotone des puissances recalculées avec les équipements proposés est la suivante :



**Cette configuration permet de couvrir 91,9 % des besoins avec du bois.**

**9.3 - CONSOMMATION, STOCKAGE ET LIVRAISON DE BOIS****9.3.1 - CONSOMMATION DE BOIS**

La consommation en bois dépend de ses caractéristiques thermiques. Les hypothèses prises en compte sont les suivantes :

- Granulométrie : 10 à 30 mm (Impératif) (P 31S)
- Humidité sur brut : 30 % maximum – 25% moyenne
- PCI : 3,5 kWh. PCI/kg
- Taux de fines : < 5%
- Densité : 250 kg/m<sup>3</sup>
- Prix : 35 €/HT/MWh
- Evolution du prix : 1.5%/an

La consommation future de bois et de gaz par bâtiment est présentée ci-après :

Bâtiment	Consommation actuelle kWh/an	Rendement actuel	Besoin total kWh/an	Besoin bois kWh/an	Besoin gaz kWh/an	Rendement bois	Rendement gaz	Consommation bois kWh/an	Consommation gaz kWh/an	Consommation totale future kWh/an
Logement A	276 085	0,95	262 281	238 675	23 605	0,85	0,95	280 795	24 848	305 642
Logement B	235 308	0,95	223 543	203 424	20 119	0,85	0,95	239 322	21 178	260 500
Logement C	117 256	0,95	111 393	101 368	10 025	0,85	0,95	119 256	10 553	129 809
Logement D	320 819	0,95	304 778	277 348	27 430	0,85	0,95	326 292	28 874	355 166
Logement E	141 428	0,95	134 357	122 265	12 092	0,85	0,95	143 841	12 729	156 569
Logement F	305 325	0,95	290 059	263 953	26 105	0,85	0,95	310 533	27 479	338 013
Logement J	115 076	0,85	97 815	89 011	8 803	0,85	0,95	104 719	9 267	113 986
Logement K	97 370	0,95	92 502	84 176	8 325	0,85	0,95	99 031	8 763	107 794
Logement L	126 336	0,95	120 019	109 217	10 802	0,85	0,95	128 491	11 370	139 861
MDQ	27 685	0,85	23 532	21 414	2 118	0,85	0,95	25 193	2 229	27 423
Ecole primaire	68 152	0,85	57 929	52 716	5 214	0,85	0,95	62 018	5 488	67 506
Ecole maternelle	52 670	0,95	50 037	45 533	4 503	0,85	0,95	53 568	4 740	58 309
Complexe sportif	149 663	0,85	127 214	115 764	11 449	0,85	0,95	136 193	12 052	148 245
Collège	159 773	0,95	151 784	138 124	13 661	0,85	0,95	162 499	14 380	176 878
Lycée	767 077	0,95	728 723	663 138	65 585	0,85	0,95	780 162	69 037	849 199
Réseau								297 191	26 299	323 490
Total	2 960 023		2 775 964	2 526 127	249 837			3 269 106	289 285	3 558 391

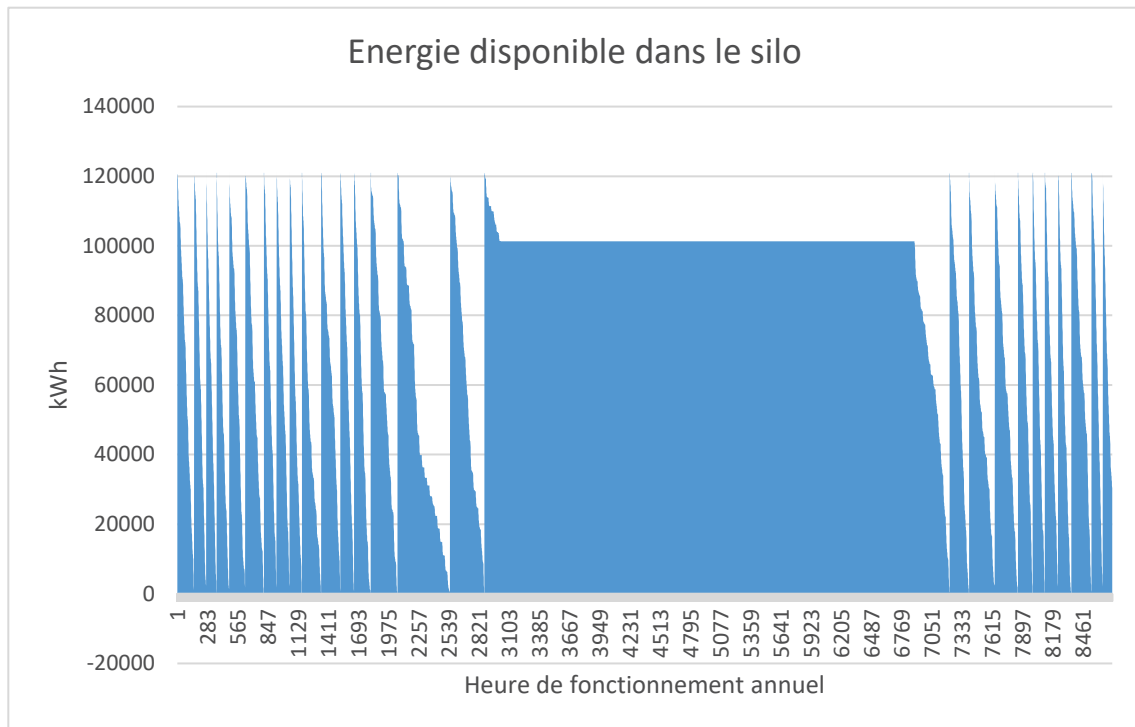
	Quantité
Consommation bois - MWh/an	3 269
Consommation gaz - MWh/an	289
Consommation totale - MWh/an	3 558
Taux de couverture bois	91,9%
Masse de bois - tonne /an	934
Volume de bois - m <sup>3</sup> / an	3 736

puissance cumulée (kW)		2850
besoins utiles (MWh)		2775
part de bois (%)	0,919	2550,2
part de fossile (%)	0,08	225
rendement production bois (%)		0,85
rendement production fossile (%)		0,95
pertes réseaux et sous-stations (MWh)		323
rendement réseau et sous-stations (%)		91%
consommation bois entrée chaufferie (MWh)		3269,0
consommation fossile entrée chaufferie (MWh)		289,000

### 9.3.2 - STOCKAGE DE PLAQUETTES

Le stockage de bois plaquette est dimensionné à partir d'une autonomie journalière souhaitée.  
 Nous partons du principe d'une autonomie de 5 jours à pleine puissance en période de grand froid.

Eléments	Quantité
Volume utile (m³)	200
poids bois (kg)	36 667
Energie (kWh)	121 000
Autonomie (jour)	5,1
Nb remplissage/an	27,0



**Le nombre de remplissage est donc estimé à 27 (36 tonnes par remplissage (à ajuster en fonction du moyen de livraison))**

Remarque : En fin de saison de chauffe il est préférable d'avoir le silo vide afin de pouvoir effectuer la maintenance du silo et des systèmes d'aspiration.

## 9.4 - DESCRIPTIF DE LA CHAUFFERIE ET DES EQUIPEMENTS THERMIQUES

### 9.4.1.1 Chaufferie bi-énergie

- Chaufferie de 275 m<sup>2</sup> réalisée en béton coupe-feu 2h avec deux portes d'accès chaufferie coupe-feu 1h en acier galvanisé laqué ;
- Accès de plain-pied pour livraison matériels et entretien (cendres) et un accès de secours en direction opposé conformément à la réglementation ICPE ;
- Toiture terrasse avec isolation et étanchéité ;
- Hauteur sous-plafond 4,15 m ;
- Sol enduit époxy ;
- Finition intérieure peinte ;
- Finition extérieure béton lasuré compris matrice selon plan architecte principe de prémur à valider par BET structure ;
- Pose d'un drain périphérique à la chaufferie avec regards de raccordement sur réseaux VRD ;
- Ventilations hautes et basses de la chaufferie ;
- Raccordements aux réseaux ;
- Eaux usées raccordées en gravitaire sur le réseau public cheminant à proximité ;
- Eaux pluviales raccordées en gravitaire sur le réseau public cheminant à proximité ;
- Electricité : nouvelle alimentation triphasée avec coffret spécifique et TGBT spécifique chaufferie ;

### 9.4.1.2 Silos

- 2 silos de 36 m<sup>2</sup> au sol réalisé en béton coupe-feu 2h avec porte d'accès depuis l'intérieur coupe-feu 2h et hublots de contrôle des silos coupe-feu 2h ;
- Ventilations traversante hautes des silos ;
- Trappes de remplissage carrossables ;
- Hauteur sous dalle **4,00 m** ;
- Pose d'un drain périphérique aux silos avec regards de raccordement sur réseaux VRD ;
- Volume brut : 300 m<sup>3</sup>
- Volume net : 200 m<sup>3</sup>

### 9.4.1.3 Transfert des plaquettes bois

- Extracteurs de Silo rotatif de diamètres 5,50 m ;
- Vis sans fin de remontée du bois (pente < 30°) de diamètre 200 mm ;
- Ecluses rotatives ;

### 9.4.1.4 Chaudière bois

- Deux chaudières à chambre de combustion avec grille mobile
- Echangeur de chaleur vertical à tube lisse
- Conduit fumée double paroi - hauteur exacte en fonction de l'étude d'exécution
- Ventilateur de tirage à haut rendement
- Dépoussiérage et décentrage automatique en conteneur mobile
- Allumage électrique.
- Régulation et automatismes
- Raccordement électrique et câblage.
- Puissance 500 kW selon gamme constructeur

### 9.4.1.5 Régulation automatique

- Régulation Lambda et température de la chambre
- Optimisation de la combustion
- Régulation de la combustion du foyer

#### 9.4.1.6 Hydraulique chaufferie

- Réseau primaire des chaudières et ballons avec vanne trois voies motorisée sur le retour et pompe de charge ;
- Asservissement température de retour du réseau ;
- Pompes primaires doublées de réseau à variation électronique (débit pression) ;
- Régulation température primaire (chauffage seul sur le réseau) ;
- Régulation cascade chaudières ;
- Régulation charge ballons tampons ;

#### 9.4.1.7 Chaudière gaz d'appoint

- 2 chaudières GAZ acier à condensation et brûleurs modulants ;
- Conduits de fumées mécano-soudés et autoportants avec carreaux collecteurs de raccordement
- Revêtement extérieur des conduits en poly miroir ;
- Puissance unitaire 926 kW x 2 ;

#### 9.4.1.8 Distribution du réseau de chaleur

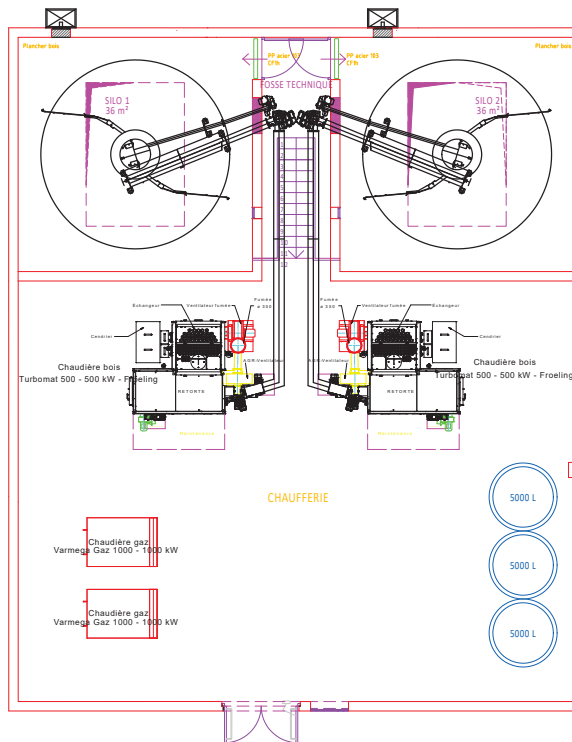
- Réseau de chaleur enterré réalisé en tubes acier pré isolés (régime d'eau 80/60°C)
- Diamètre départ chaufferie : Cf plan selon scénario ;
- Diamètre sous-stations bâtiment : Cf plan ;
- Longueur totale des réseaux : Cf plan selon scénario
- Pénétrations dans les bâtiments existants et raccordements et traitement de l'étanchéité ;

#### 9.4.1.9 Travaux de chauffage en sous station

- Pénétrations des réseaux ;
- Echangeurs de chaleur à plaques ;
- Bouteille de découplage
- Reprise sur hydraulique existante ;
- Pompes, vannes de régulation, vase d'expansion ;
- Régulation un réseau à température variable sur sonde extérieure et sonde d'ambiance ;
- Electricité chaufferie (armoire, câblage, éclairage et PC) avec alimentation depuis TGBT ;
- Désembouage des réseaux existants ;

## 9.5 - SCHEMA DE PRINCIPE

Les plans ci-dessous illustrent les 3 scénarios d'implantation de la chaufferie, impactant également le tracé du réseau de chaleur.



**Faisabilité réseau de chaleur bois  
KERIHOUAIS  
FAISA - Chaufferie -**

Echelle :	1/100 - A3	Affaire :	21121
Phase :	FAISA	Dessinateur :	OL
N° :	1 indice 0	Date :	06.05.2022

**Bureau d'Etudes Fluides**  
**Become 29**  
 Ingénierie Fluides  
 Become 29  
 54 Impasse de Trédivalaire - 29300 Quimperlé Cedex  
 Tel : 02 98 39 06 97  
 become29@become29.com - www.become29.com

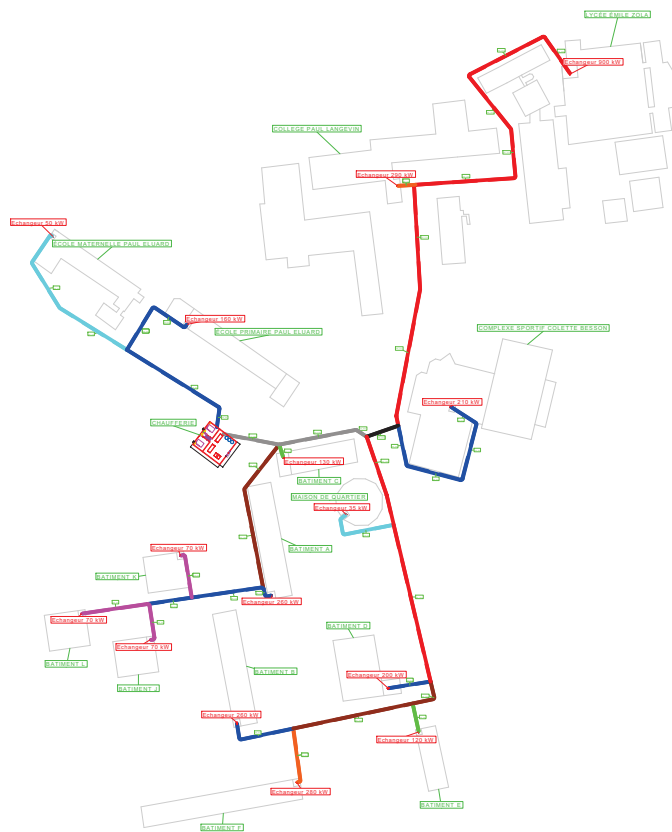


Envoyé en préfecture le 03/07/2023

Reçu en préfecture le 03/07/2023

Affiché le

ID : 056-215600834-20230629-D202306017-DE



LEGENDE		
	DN 32	128 ml
	DN 40	82 ml
	DN 50	22 ml
	DN 65	343 ml
	DN 80	39 ml
	DN 100	170 ml
	DN 125	449 ml
	DN 150	18 ml
	DN 200	78 ml
Longueur Total = 1 329 ml		

Faisabilité réseau de chaleur bois  
KERIHOUAIS  
- Scénario 2 -

Echelle :	1/2000 - A3	Affaire :	21121
Phase :	FAISA	Dessinateur :	OL
N° :	2	indice :	0
Date :	28.03.2022		

Bureau d'Etudes Fluides  
**Become 29**  
Ingénierie fluides  
Become 29  
54 Impasse de Trévalaire - 29300 Quimperlé Cedex  
Tel : 02 98 39 06 97  
become29@become29.com - www.become29.com



Les atouts et les faiblesses identifiés pour chaque site sont présentés ci-après :

Scénario	Localisation chaufferie	Atout	Faiblesse	Point à identifier
1	A côté du Gymnase	Manœuvre facilité	Site à sécuriser Arbre à abattre	Nature du sol
2	En dessous de l'école primaire	Site pré-sécurisé Manœuvre facilité	Aire de jeux à délocaliser	Nature du sol
3	Sur le parking du collège	Site déjà sécurisé Manoeuvre facilité	Emprise sur le parking du personnel Linéaire légèrement plus important (+29 ml)	Nature du sol

## 10. COÛTS D'INVESTISSEMENT ET DE FONCTIONNEMENT

**NOTA :** l'ensemble des coûts précisés ci-dessus ne tient pas compte de travaux de désamiantage. Suite aux résultats des diagnostics amiante avant travaux, il conviendra de mettre à jour les montants de travaux en cas de présence d'amiante.

De même les coûts présentés ne tiennent pas compte de contraintes non connues à ce jour, notamment concernant la nature du sol pour le terrassement du réseau de chaleur et des fondations pour la chaufferie, ni de l'évolution du coût des matériaux.

### 10.1 - SITUATION DE REFERENCE

Travaux à prévoir à moyen terme (€HT)		
Remplacement chaudière	388 900	
Remplacement panoplie	388 900	
<b>Total</b>	<b>777 800</b>	
Dépenses actuelles (€TTC)		P1+P'1+P2+P3
MWh	2 960	203 444
P1	188 305	
P2	11 250	
P3	3 889	
P4	32 387	
Total	235 831	
<b>prix du MWh utile fossile</b>	<b>85,0</b>	

Bâtiment	MWh utile/an	P1 - €TTC	P2 - €TTC	P3 €TTC	P4 €TTC	Coût total - €TTC	€TTC/MWh
Logement A	262 281	17 117	1 059	366	3 048	21 591	82
Logement B	223 543	14 589	926	320	2 665	18 500	83
Logement C	111 393	7 270	732	253	2 107	10 362	93
Logement D	304 778	19 891	579	200	1 666	22 335	73
Logement E	134 357	8 769	428	148	1 233	10 577	79
Logement F	290 059	18 930	1 157	400	3 332	23 819	82
Logement J	97 815	7 135	165	57	475	7 831	80
Logement K	92 502	6 037	252	87	725	7 100	77
Logement L	120 019	7 833	252	87	725	8 896	74
MDQ	23 532	2 215	81	28	233	2 557	109
Ecole primaire	57 929	4 975	492	170	1 416	7 053	122
Ecole maternelle	50 037	4 214	127	44	366	4 751	95
Complexe sportif	127 214	12 123	574	199	1 653	14 549	114
Collège	151 784	11 184	1 649	570	4 747	18 151	120
Lycée	728 723	46 025	2 777	960	7 996	57 758	79
<b>Total</b>	<b>2 775 964</b>	<b>188 305</b>	<b>11 250</b>	<b>3 889</b>	<b>32 387</b>	<b>235 831</b>	<b>85,0</b>

## 10.2 - SOLUTION BOIS

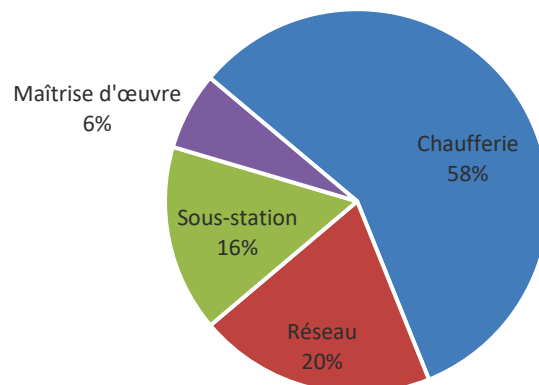
Postes	Investissement (€HT)	Subvention (€)	Reste à charge (€HT)
chaudière bois + gaz + dessilage transfert	486 000		
génie civil (chaufferie et silo)	979 135		
Hydrauliques + électricité + GTB	463 000		
réseau de chaleur (tranchée + réseau)	665 000		
sous-stations	525 000		
maîtrise d'œuvre	218 269		
<b>Total</b>	<b>3 336 404</b>	<b>1 086 290</b>	<b>2 250 114</b>
<b>Dépense de fonctionnement (€TTC)</b>			
P1 - énergie	137 258		
P'1 - électricité	680		
P2 - maintenance	54 931	P1+P'1+P2+P3	
P3 - gros entretien	29 480	222 349	
P4 - amortissements	93 693		
<b>Total</b>	<b>316 042</b>		

## 11. BILAN ECONOMIQUE

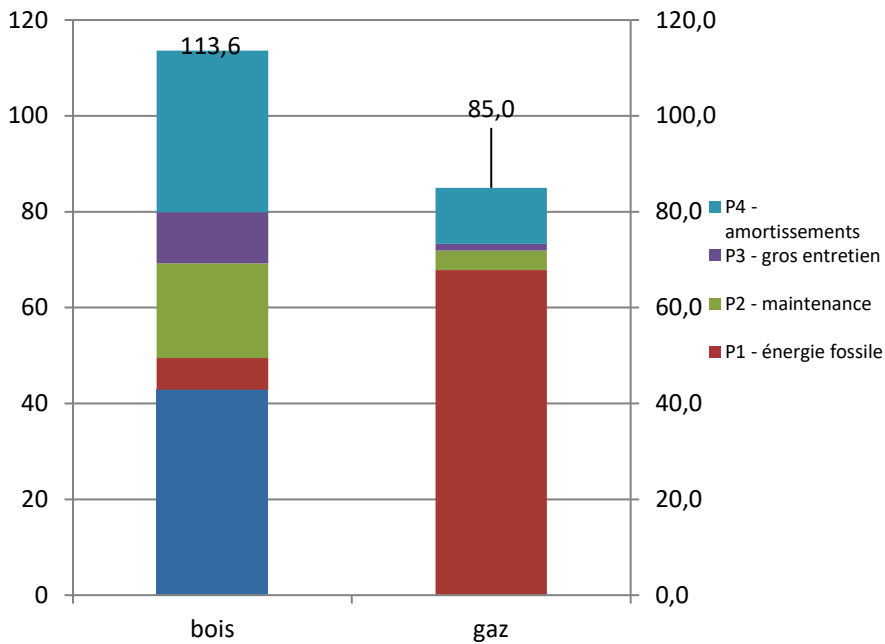
Calcul des aides		
Tep bois produites	219,3	
MWh produit	2550,2	
		<u>% investissement</u>
Aide production de chaleur	588 000	27,4%
Aide réseau de chaleur	498 290	41,9%
<b>TOTAL</b>	<b>1 086 290</b>	<b>37,8%</b>

Synthèse économique - Mise en service immédiate		
puissance nécessaire pour 100 m2 (kW)		10
besoins énergétiques au m2		73
coût du MWh utile bois		114
économies annuelles après subvention (hors annuités)		
temps de retour avant subvention (ans)		
temps de retour, après subvention (ans)		
temps de retour actualisé, après subvention (ans)		16
coût chaufferie bois + appoint par kW (€)		645
coût réseau par ml (€)		500
tonnes de bois consommées	10%	710,65
nature du combustible		plaquettes bocagères
tep EnR consommées		281,1
tep substituées		230
investissement par tep substituée (€)		14527
tonnes de CO2 évitées/an (fossile nat. 2,3 t/tep - fioul 3,1 - propane 2,7)		620
aide par tep substituée sortie chaudière		4730
emploi généré en équivalent temps plein		0,81
chaleur livrée par ml de réseau (MWh)		2,21
temps fonctionnement pleine puissance (heures)		3269

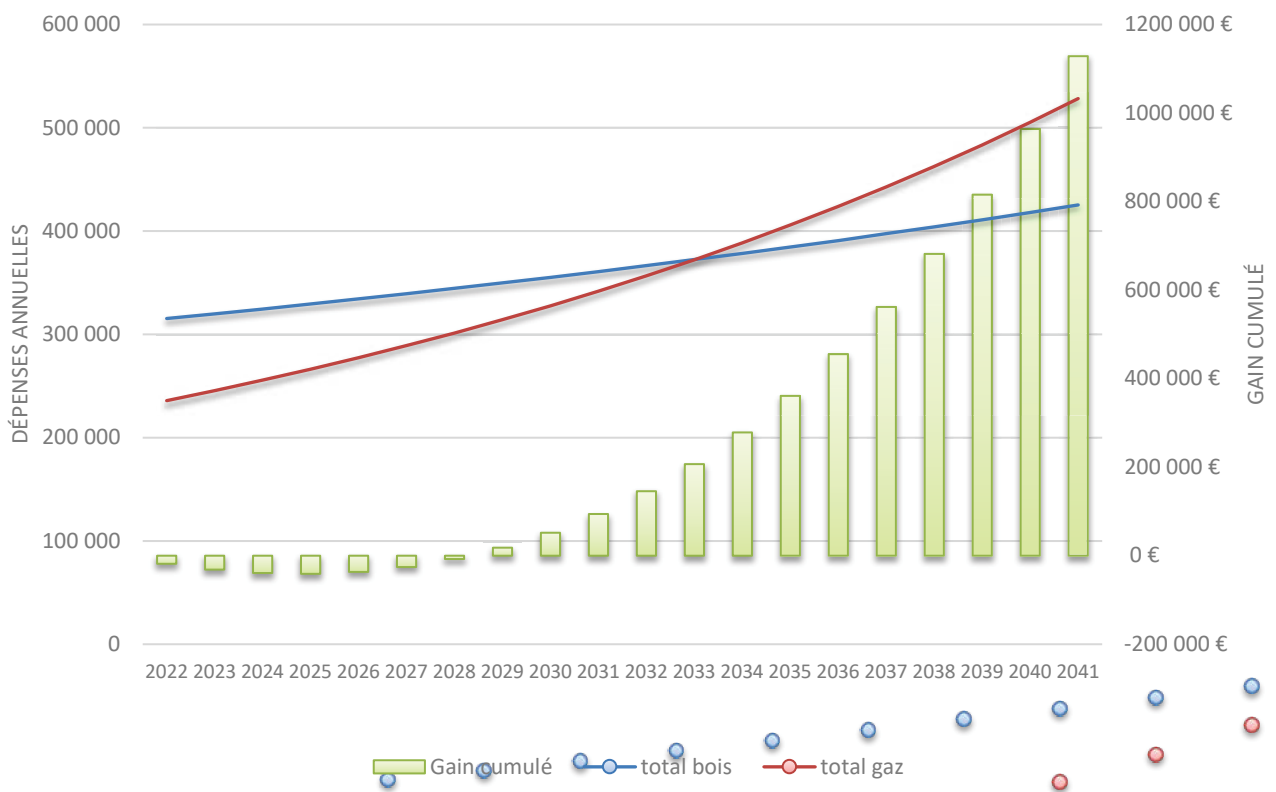
### Répartition des postes d'investissement



## Coût du MWh utile par poste de dépense



## Evolution des dépenses annuelles (€) et cumul des gains



## 12. CONCLUSION

L'étude de faisabilité portant sur 15 bâtiments montrent qu'il est techniquement possible d'implanter une chaufferie bois-gaz de 3 MW équipée d'un silo de stockage permettant une autonomie de 5 jours à pleine puissance. Le taux de couverture bois est calculé à près de 92%, permettant d'éviter l'émission de 620 tonne de CO<sub>2</sub> par an. En fonction du scénario d'implantation de la chaufferie, les trois scénarios présentent un linéaire de réseau sensiblement équivalent. Les chaufferies actuelles des bâtiments sont d'une surface assez importante pour y implanter un échangeur thermique et une bouteille de mélange. Chaque sous station devront faire l'objet d'une adaptation hydraulique pour pouvoir se raccorder au réseau secondaire existant.

D'un point de vue économique, le coût d'investissement de l'ensemble du projet est estimé à 3 300 000 €HT (maîtrise d'œuvre inclus). Les aides financières apportées par le fonds chaleur ont été calculées à hauteur de 37,8%, soit 1 086 000 €. Le temps de retour sur investissement s'opère au bout de la 15<sup>ème</sup> année de fonctionnement selon les différentes hypothèses retenues (taux d'emprunt, évolution du coût des énergies...).