

BREST

CONSTRUCTION DE L'ESPACE FROUTVEN

ETUDE APPROVISIONNEMENT EN ENERGIE

PHASE APD

Mise à jour V4 du 21/06/2024

Document non joint à l'Appel d'Offres Entreprises Générales

Maître d'ouvrage

SAS HOLDISPORT
CHEZ ETS LE SAINT
160, RUE ROBERTO CABANAS
29490 GUIPAVAS

Maîtrise d'œuvre

Architecte

SARL François de Laserre
Architecte DPLG
2, rue François Neveux
ZAC de Trenque – 47550 BOE
Tel : 05.53.48.14.22

Bureau d'Études

Egis Bâtiments Centre-Ouest
3, rue Louis Braille – TSA 50851
35208 Rennes cédex 2
T. 02 99 85 70 30 - egis.batiments-rennes@egis.fr



Rédacteur : Gaël Coquil
Chef de Projet : François Anguis

Juin 2024
BAOI038-EGI-APD4-14-EAE-
NTE.docx

SOMMAIRE

1	OBJET	5
2	SOLUTIONS ETUDIEES	5
3	DESCRIPTION TECHNIQUE DES SOLUTIONS	6
3.1	SOLUTION DE BASE – CHAUFFERIE GAZ + POMPES A CHALEUR REVERSIBLES TYPE DRV	6
3.2	VARIANTE 1 – POMPE A CHALEUR GEOTHERMIQUE REVERSIBLE	7
3.3	VARIANTE 2 – POMPE A CHALEUR AIR/EAU REVERSIBLE	7
3.4	VARIANTE 3 – CHAUDIERE BOIS+ POMPES A CHALEUR REVERSIBLES TYPE DRV	8
4	COMPARATIF DES SOLUTIONS	9
4.1	COUT D'INVESTISSEMENT	9
4.2	CONSOMMATIONS ENERGETIQUES EN ENERGIE PRIMAIRE	10
4.3	COUT DE CONSOMMATION ENERGETIQUE (P1)	10
4.4	COUT D'ENTRETIEN MAINTENANCE (P2+P3)	11
4.5	EMISSIONS C02	11
4.6	EMISSION S02	12
4.7	PRODUCTION DECHETS NUCLEAIRES	12
4.8	ANALYSE DES SOLUTIONS	12
5	CONCLUSION	13

1 OBJET

Le maître d'ouvrage d'une opération de surface œuvre nette supérieure à 1000m² doit réaliser avant le dépôt du permis de construire, une étude de faisabilité technique et économique des diverses solutions d'approvisionnement en énergie de la construction.

Cette mesure est destinée à favoriser les recours aux énergies renouvelables et aux systèmes les plus performants. Le maître d'ouvrage a la liberté de choisir la ou les sources d'énergie de la construction, guidé par les conclusions de cette étude qui visent notamment à raisonner selon des indicateurs énergétiques, environnementaux et économiques.

Les modalités d'application de ces études de faisabilité sont définies par le décret n°2007-63 du 19 mars 2007 et l'arrêté du 18 décembre 2007

Cette étude permet d'approcher au mieux la production de chaleur qui serait la plus adaptée pour le projet, en comparant les paramètres suivants :

- Consommation d'énergie primaire,
- Emission de GES en tonnes équivalent CO₂,
- Coût global sur 30 ans, comprenant :
- Coût d'investissement,
- Coût d'exploitation maintenance,
- Coût d'énergie,
- Coût de remplacement des installations.

Cette étude a pour but de guider le choix de la production de chaleur, et d'échanger avec la maîtrise d'ouvrage pour aboutir sur la solution la plus adaptée au projet.

Le comparatif de ces solutions suivant les critères ci-dessus, est réalisé à partir des résultats donnés dans la note d'approche des consommations pour les usages réglementaires :

- Chauffage,
- Climatisation,
- ECS,
- Ventilation,
- Eclairage

2 SOLUTIONS ETUDIEES

Les solutions suivantes sont étudiées dans le cadre du projet :

- Solution de base : Production Chauffage et ECS centralisée partir d'une chaufferie gaz + Pompes à chaleur type DRV réversible pour les locaux rafraichis,
- Variante 1 : Production Chauffage et ECS par pompe à chaleur sur géothermie + Appoint chaudières gaz pour l'ECS,
- Variante 2 : Production Chauffage et climatisation par pompe à chaleur aérothermique + Appoint chaudières gaz pour l'ECS
- Variante 3 : Production Chauffage et ECS par chaudières bois + Pompes à chaleur type DRV réversible pour les locaux rafraichis,

Solutions non étudiées :

- Réseau urbain : Pas de réseau de chaleur urbain de disponible à proximité du site.
- Solaire thermique : Besoins ECS irréguliers et plus important hors période estivale lorsque le potentiel est le plus intéressant

3 DESCRIPTION TECHNIQUE DES SOLUTIONS

3.1 SOLUTION DE BASE – CHAUFFERIE GAZ + POMPES A CHALEUR REVERSIBLES TYPE DRV

Mise en place de 2 chaudières gaz à condensation (2x150 kW) pour les besoins ECS des douches, ainsi que le chauffage de la partie vestiaires et annexes sportives.

En parallèle, il sera mis en place une solution par pompes à chaleur type décentralisée DRV pour le chauffage et la climatisation des autres locaux (loges, salons, hall, etc...).

Chaudière gaz à condensation fonctionne de la manière suivante :

La vapeur d'eau est alors utilisée pour chauffer l'eau de retour - plus froide – des émetteurs qui arrive dans la chaudière permettant ainsi de limiter la sollicitation directe de la chaudière. La vapeur d'eau qui a transmis sa chaleur se refroidit et se condense; elle est ensuite évacuée via le circuit des eaux usées.

Les chaudières à condensation atteignent leur meilleure performance si elles sont associées à des émetteurs basse températures de type radiateurs basse température.

La solution de chauffage/climatisation décentralisée par système DRV, permet d'avoir une solution adaptée aux besoins des différents avec de bonnes performances (COP et EER >3). De plus cela permet d'avoir un système réversible sans plus-value significative par rapport à un système en chauffage seul.

Le chauffage des locaux climatisé est donc assuré par le système DRV.



CHAUDIERE A CONDENSATION ET UNITE EXTERIEURE DRV

- Avantages :
 - Coûts d'entretien et investissement,
 - Fiabilité de fonctionnement,
 - Rendement globalement performant,
 - Grande plage de fonctionnement de la cascade de 2 chaudières qui couvre 10 à 100% des besoins.
 - Facilité de l'installation type DRV par rapports un une installation 4 tubes à eau,
- Inconvénients :
 - Emission de gaz à effet de serre (CO2 et NOx) importants,
 - Coût de l'énergie fluctuant et difficile à prévoir,
 - Convient de bien appréhender dans la conception les conditions de livraison du bois et la gestion de l'évacuation des cendres.
 - Impact architectural (conduits d'évacuation des fumées, unités extérieures),
 - Solution DRV moins-flexible en termes d'évolutivité qu'une solution à eau,
 - Pas de réversibilité possible, installation d'un système de climatisation en parallèle,

3.2 VARIANTE 1 – POMPE A CHALEUR GEOTHERMIQUE REVERSIBLE

Dans cette variante, mise en place d'une pompe à chaleur sur puit géothermique pour les besoins calorifiques et climatisation du projet.

Les pompes à chaleur sur géothermie (eau/eau) présentent des performances intéressantes lorsque le potentiel géothermique est suffisant (point à confirmer). Celle-ci utilise les calories naturellement présentes dans le sol pour réchauffer l'eau nécessaire aux besoins calorifique du bâtiment.

Ces pompes à chaleurs disposent d'un coefficient de performance (COP) compris entre 4 et 5 dans les conditions optimales. Elle peut ainsi restituer jusqu'à 5 kilowattheures de chaleur pour 1 kilowattheures électrique consommé.

Dans le cas de notre projet, avec un pic de consommation ECS, il est conseillé d'associer la géothermie à une chaudière gaz en parallèle. Cela permet de ne pas surdimensionner la PAC pour les pointes et d'éviter l'installation d'un modèle haute température plus onéreux. De plus cela permet de l'utiliser en mode froid l'été si l'ECS est produit par un autre moyen et par l'occasion régénérer le sol en inversant le cycle l'été (injection de calories).



POMPE A CHALEUR EAU/EAU

- Avantages :
 - Installation en intérieur (peut être installée en chaufferie),
 - Consommation énergétique faible liée au rendement,
 - Impact CO2 faible du au recourt à l'énergie électrique,
 - Réversibilité (chaud/froid) possible,
- Inconvénients :
 - Coût d'installation élevé,
 - Nécessite de plus gros émetteurs de chauffage du au régime d'eau plus faible
 - Version haute température pour l'ECS plus coûteuse et avec un COP plus faible,
 - Dépend du potentiel géothermique du site,
 - Nécessité de places pour l'intégration des sondes géothermiques verticales,

3.3 VARIANTE 2 – POMPE A CHALEUR AIR/EAU REVERSIBLE

Dans cette variante, les besoins en eau chaude chauffage et climatisation pour le bâtiment sont assurés par une pompe à chaleur réversible sur air extrait prélevant les calories présentes dans l'air extérieur. La pompe à chaleur est positionnée à l'extérieur du bâtiment.

Les pompes à chaleur présentent des performances intéressantes, puisque, pour un kilowattheure d'énergie électrique consommé, elle restitue 3 kilowattheures de chaleur dans des conditions extérieures optimales de 7°C et une température d'eau de 45°C environ.

Une bonne partie du chauffage peut donc être assurée par une énergie gratuite, renouvelable et non polluante prélevée dans l'air.

Comme pour la géothermie, cette solution peut nécessiter l'installation d'une chaudière gaz en parallèle pour assurer les pointes de consommation et pour produire l'ECS. Cela permet de ne pas surdimensionner la PAC

pour les pointes et éviter l'installation d'un modèle haute température plus onéreux et de pouvoir l'utiliser en mode froid l'été (l'ECS étant chauffée par la chaudière).



POMPE A CHALEUR AIR/EAU

- Avantages :
 - Ensemble monobloc installé en terrasse en extérieur ne nécessitant pas de local technique,
 - Consommation énergétique faible liée au rendement,
 - Impact CO2 faible du au recours à l'énergie électrique,
 - Réversibilité (chaud/froid) possible,
- Inconvénients :
 - Coût d'installation élevé,
 - Rendement médiocre en période de grand froid,
 - Intégration extérieure à prévoir (acoustique et architecturale)
 - Nécessite de plus gros émetteurs de chauffage du au régime d'eau plus faible
 - Version haute température pour l'ECS plus coûteuse et avec un COP plus faible,

3.4 VARIANTE 3 – CHAUDIERE BOIS+ POMPES A CHALEUR REVERSIBLES TYPE DRV

Dans cette variante, mise en en place d'une chaudière bois pour les besoins ECS des douches, ainsi que le chauffage de la partie vestiaires et annexes sportives.

Comme pour la solution de base, il sera mis en place en parallèle une solution par pompes à chaleur type décentralisée DRV pour le chauffage et la climatisation des autres locaux (loges, salons, hall, etc...).

La chaudière bois est associée aux équipements suivants :

- Transfert silo-foyer : Le combustible est extrait du silo à l'aide d'un dessileur, son transfert vers la chaudière est assuré par une vis sans fin ;
- Type de silo : Silo enterré de section carrée avec une trappe de remplissage centrale pour un remplissage maximum et ne réduisant pas l'autonomie ;
- Décendrage : Système comprenant un collecteur de cendres, avec vis de décendrage automatique pour l'acheminement vers un container ;
- Automatismes, régulation : Le système d'introduction du combustible dans le foyer est commandé par le régulateur de charge de la chaudière. Régulation automatique en fonction des conditions atmosphériques. Tableau de base et module relié par câble bus, avec sondes de température.



CHAUDIERE BOIS ET UNITE EXTERIEURE DRV

- **Avantage :**
 - Emission de gaz à effet de serre (combustion de biomasse s’inscrit dans le cycle naturel du carbone),
 - Energies renouvelables,
 - Possibilité d’utiliser d’une filière locale d’approvisionnement du bois,
 - Coût de l’énergie intéressant,
- **Inconvénients :**
 - Coûts d’investissement et de maintenance élevé,
 - Intégration du silo à prévoir,
 - Plage de modulation plus faible,
 - Impact architectural (conduits d’évacuation des fumées et unités extérieures),
 - Solution DRV moins-flexible en termes d’évolutivité qu’une solution à eau,
 - Pas de réversibilité possible, installation d’un système de climatisation en parallèle,

4 COMPARATIF DES SOLUTIONS

4.1 COÛT D’INVESTISSEMENT

Le tableau suivant indique les coûts d’investissement estimés de chaque solution :

	Solution de Base	Variante 1	Variante 2	Variante 3
COÛT D’INVESTISSEMENT	Chauffage : Chaudière gaz Froid : DRV réversible ECS : Chaudière gaz	Chauffage : PAC géothermie Froid : PAC géothermie ECS : Chaudière gaz	Chauffage : PAC sur air Froid : PAC sur air ECS : Chaudière gaz	Chauffage : Chaudière bois Froid : DRV réversible ECS : Chaudière bois
Coût d’investissement				
Chaufferie Gaz à condensation	150 000	80 000	80 000	
Chaufferie Bois + Silo				350 000
Pompe à chaleur réversible air/eau			250 000	
Pompes à chaleur réversible type DRV	940 000			940 000
Pompe à chaleur réversible sur sondes géothermiques		1 530 000		
Réseaux hydrauliques EC/EG + Emetteurs		1 100 000	1 100 000	
Total (€ HT)	1 090 000	2 710 000	1 430 000	1 290 000

Nota : Le coût des réseaux hydraulique est le surcoût par rapport à la solution de base en DRV où les liaisons en tubes frigorifiques et les émetteurs sont compris dans le coût des pompes à chaleur.

4.2 CONSOMMATIONS ENERGETIQUES EN ENERGIE PRIMAIRE

Les tableaux suivants indiquent les consommations énergétiques en énergie primaire estimés de chaque solution :

CONSOMMATIONS ENERGIE PRIMAIRE	<u>Solution de Base</u> Chauffage : Chaudière gaz Froid : DRV réversible ECS : Chaudière gaz	<u>Variante 1</u> Chauffage : PAC géothermie Froid : PAC géothermie ECS : Chaudière gaz	<u>Variante 2</u> Chauffage : PAC sur air Froid : PAC sur air ECS : Chaudière gaz	<u>Variante 3</u> Chauffage : Chaudière bois Froid : DRV réversible ECS : Chaudière bois
Consommations énergétiques en énergie primaire				
Chauffage (kWhEP/an)	1 059 068	873 975	1 165 300	1 194 568
Climatisation (kWhEP/an)	160 820	150 769	201 025	160 820
ECS (kWhEP/an)	441 000	441 000	441 000	551 250
Eclairage (kWhEP/an)	1 511 880	1 511 880	1 511 880	1 511 880
Auxiliaires de ventilation (kWhEP/an)	619 667	619 667	619 667	619 667
Total (kWhEP/an)	3 792 435	3 597 291	3 938 872	4 038 185

4.3 COUT DE CONSOMMATION ENERGETIQUE (P1)

Pour l'évaluation du coût des énergies, nous sommes partis sur les coûts suivants :

- Electricité : 0,156 €/kWh EF,
- Gaz : 0,115 €/kWh EF,
- Bois : 0,0353 €/kWh EF.

Les tableaux suivants indiquent les coûts de consommation énergétique de chaque solution :

CONSOMMATIONS ENERGETIQUES (P1)	<u>Solution de Base</u> Chauffage : Chaudière gaz Froid : DRV réversible ECS : Chaudière gaz	<u>Variante 1</u> Chauffage : PAC géothermie Froid : PAC géothermie ECS : Chaudière gaz	<u>Variante 2</u> Chauffage : PAC sur air Froid : PAC sur air ECS : Chaudière gaz	<u>Variante 3</u> Chauffage : Chaudière bois Froid : DRV réversible ECS : Chaudière bois
Estimations des coûts des consommations énergétiques (P1)				
Energie Bois :				
Consommation finale bois (kWhEF/an)				984 850
Coût unitaire bois (€/kWhEF)				0,0353
Consommation bois (€/an)				34 765
Evolution annuelle coût énergie				5,0%
Energie Gaz :				
Consommation finale gaz (kWhEF/an)	766 200	441 000	441 000	
Coût unitaire gaz propane (€/kWhEF)	0,115	0,115	0,115	
Consommation gaz (€/an)	88 036	50 671	50 671	
Evolution annuelle coût énergie	3,0%	3,0%	3,0%	
Energie Electrique :				
Consom. finale élec(kWhEF/an)	1 141 448	1 223 369	1 355 764	1 141 448
Coût unitaire élec (€/kWhEF)	0,156	0,156	0,156	0,156
Consommation élec (€/an)	177 495	190 234	210 821	177 495
Evolution annuelle coût énergie	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%
Total (€ HT/an)	265 531	240 905	261 492	212 260
Total sur 30 ans (€ HT/an)	12 632 771	11 461 141	12 440 603	10 754 164

4.4 COUT D'ENTRETIEN MAINTENANCE (P2+P3)

Les tableaux suivants indiquent les coûts d'entretien maintenance de chaque solution. Les coûts d'entretien ont été établis à partir des fréquences de maintenance usuelles sur les équipements de ce type.

Les coûts liés au remplacement du matériel sont basés sur les durées de vie moyennes des équipements.

COÛTS ENTRETIEN MAINTENANCE (P2+P3)	Solution de Base				Variante 1				Variante 2				Variante 3			
	Chauffage : Chaudière gaz Froid : DRV réversible ECS : Chaudière gaz				Chauffage : PAC géothermie Froid : PAC géothermie ECS : Chaudière gaz				Chauffage : PAC sur air Froid : PAC sur air ECS : Chaudière gaz				Chauffage : Chaudière bois Froid : DRV réversible ECS : Chaudière bois			
Estimation des coûts d'entretien maintenance (P2+P3)																
<u>Entretien annuel</u>																
Chaufferie Gaz	5 880				5 880				5 880				-			
Chaufferie Bois	-				-				-				23 520			
PAC sur air	-				-				8 820				-			
PAC sur sondes	-				5 880				-				-			
DRV	8 820				-				-				8 820			
<u>Remplacement gros matériel</u>																
Chaudière Gaz - durée de vie 25 ans	6 000				3 200				3 200				-			
Chaudière Bois - durée de vie 25 ans	-				-				-				14 000			
DRV - durée de vie 15 ans	15 667				-				-				15 667			
PAC sur air - durée de vie 15 ans	-				-				16 667				-			
PAC sur sondes - durée de vie 15 ans	-				16 000				-				-			
Chaufferie Mixte bois/Gaz	-				-				-				-			
Panneaux solaire thermiques - durée de vie	-				-				-				-			
Total (€ HT/an)	36 367				30 960				34 567				62 007			
Evolution annuelle coût maintenance	5,0%				5,0%				5,0%				5,0%			
Total sur 30 ans (€ HT/an)	2 416 159				2 056 947				2 296 569				4 119 651			

4.5 EMISSIONS CO2

Les tableaux suivants indiquent les émissions de CO2 de chaque solution.

EMISSIONS DE CO2	Solution de Base				Variante 1				Variante 2				Variante 3			
	Chauffage : Chaudière gaz Froid : DRV réversible ECS : Chaudière gaz				Chauffage : PAC géothermie Froid : PAC géothermie ECS : Chaudière gaz				Chauffage : PAC sur air Froid : PAC sur air ECS : Chaudière gaz				Chauffage : Chaudière bois Froid : DRV réversible ECS : Chaudière bois			
Emission de CO2																
<u>Bois :</u>																
Consommation EF (kWhEF/an)	-				-				-				984 850			
CO2 (kg/kWhEF)	0,024				0,024				0,024				0,024			
Emission CO2 (kg/an)	-				-				-				23 636			
<u>Fioul :</u>																
Consommation EF (kWhEF/an)	-				-				-				-			
CO2 (kg/kWhEF)	0,300				0,300				0,300				0,300			
Emission CO2 (kg/an)	-				-				-				-			
<u>Gaz :</u>																
Consommation EF (kWhEF/an)	766 200				441 000				441 000				-			
CO2 (kg/kWhEF)	0,272				0,272				0,272				0,272			
Emission CO2 (kg/an)	208 406				119 952				119 952				-			
<u>Electricité :</u>																
Consommation EF (kWhEF/an)	1 141 448				1 223 369				1 355 764				1 141 448			
CO2 (kg/kWhEF)	0,079				0,079				0,079				0,079			
Emission CO2 (kg/an)	90 174				96 646				107 105				90 174			
Total (kg CO2/an)	298 581				216 598				227 057				113 811			

4.6 EMISSION SO2

Les tableaux suivants indiquent les émissions de SO2 de chaque solution.

	Solution de Base Chauffage : Chaudière gaz Froid : DRV réversible ECS : Chaudière gaz	Variante 1 Chauffage : PAC géothermie Froid : PAC géothermie ECS : Chaudière gaz	Variante 2 Chauffage : PAC sur air Froid : PAC sur air ECS : Chaudière gaz	Variante 3 Chauffage : Chaudière bois Froid : DRV réversible ECS : Chaudière bois
EMISSIONS DE SO2				
Emission de SO2				
Bois :				
Consommation EF (kWhEF/an)	-	-	-	984 850
SO2 (g/kWhEF)	0,220	0,220	0,220	0,220
Emission SO2 (g/an)	-	-	-	216 667
Gaz :				
Consommation EF (kWhEF/an)	766 200	441 000	441 000	-
SO2 (g/kWhEF)	0,120	0,120	0,120	0,120
Emission SO2 (g/an)	91 944	52 920	52 920	-
Electrique :				
Consommation EF (kWhEF/an)	1 141 448	1 223 369	1 355 764	1 141 448
SO2 (g/kWhEF)	1,220	1,220	1,220	1,220
Emission SO2 (g/an)	1 392 566	1 492 510	1 654 032	1 392 566
Total (g SO2/an)	1 484 510	1 545 430	1 706 952	1 609 233

4.7 PRODUCTION DÉCHETS NUCLÉAIRES

Les tableaux suivants indiquent les productions de déchets nucléaires de chaque solution.

	Solution de Base Chauffage : Chaudière gaz Froid : DRV réversible ECS : Chaudière gaz	Variante 1 Chauffage : PAC géothermie Froid : PAC géothermie ECS : Chaudière gaz	Variante 2 Chauffage : PAC sur air Froid : PAC sur air ECS : Chaudière gaz	Variante 3 Chauffage : Chaudière bois Froid : DRV réversible ECS : Chaudière bois
DECHETS NUCLEAIRES				
Déchets nucléaires				
Consommation électrique :				
Consommation EF (kWhEF/an)	1 141 448	1 223 369	1 355 764	1 141 448
Déchets nucléaires (durées faibles et moyennes) (g/kWh EF)	0,050	0,050	0,050	0,050
Déchets nucléaires (durées fortes et très fortes) (g/kWh EF)	0,010	0,010	0,010	0,010
Déchets nucléaires (durées faibles et moyennes) (g/an)	57 072	61 168	67 788	57 072
Déchets nucléaires (durées fortes et très fortes) (g/an)	11 414	12 234	13 558	11 414
Total déchets nucléaires (durées de vie faible et moyenne) (g /an)	57 072	61 168	67 788	57 072
Total déchets nucléaires (durées de vie fortes et très fortes) (g /an)	11 414	12 234	13 558	11 414

4.8 ANALYSE DES SOLUTIONS

Le tableau suivant présente la synthèse des classements de chaque solution en fonction des critères des tableaux précédents (sans pondération de ces critères).

	Solution de Base Chauffage : Chaudière gaz Froid : DRV réversible ECS : Chaudière gaz	Variante 1 Chauffage : PAC géothermie Froid : PAC géothermie ECS : Chaudière gaz	Variante 2 Chauffage : PAC sur air Froid : PAC sur air ECS : Chaudière gaz	Variante 3 Chauffage : Chaudière bois Froid : DRV réversible ECS : Chaudière bois
CLASSEMENT DES SOLUTIONS				
Classement des solutions				
Investissement	1	4	3	2
Coût global sur 30 ans (€ HT)	1	4	3	2
Consommations énergétiques en énergie primaire	2	1	3	4
Emission de CO2	4	2	3	1
Emission de SO2	1	2	4	3
Déchets nucléaires - durées de vie faibles et moyennes	1	3	4	1
Déchets nucléaires - durées de vie fortes et très fortes	1	3	4	1
TOTAL CLASSEMENT SANS COEFFICIENT	11	19	24	14

La solution de base est celle qui sort en premier de ce classement notamment grâce à un coût d'investissement et global sur 30 ans plus faible que les autres solutions. Elle est cependant pénalisée au niveau des émissions CO2 car elle est la solution qui a le plus recours au gaz.

La variante 1 est pénalisée à cause de l'investissement nécessaire pour la mise en place des sondes géothermiques notamment. En revanche elle est celle qui présente la consommation énergétique la plus faible de part les performances élevées des PAC eau/eau.

La variante 2 est pénalisée au niveau des émissions SO2 et déchets nucléaires car c'est celle avec la consommation d'énergie électrique la plus élevée.

La variante 3 est celle dont la consommation énergétique est la plus élevée de part le rendement de la chaudière bois qui est inférieur à une chaufferie gaz, elle est également pénalisée par le coût de maintenance qui est important. Elle présente cependant l'emprunte carbone la plus faible de part le recours à la biomasse.

5 CONCLUSION

En conclusion, nous proposons de retenir la solution de base qui paraît la plus pertinente pour l'opération en terme d'investissement et coût global.