

BATIMENT BOIS BELLEAU

Etude de faisabilité chaufferie biomasse



ALTEREA certifié par l'OPQIBI
Certificat de qualification N°13 06 25 86

Maîtrise d'ouvrage

Antoine LE LAY

Conducteur d'Opération - Sous-Direction
Investissements

SID Atlantique

BCRM de Brest – SID Atlantique

CC16 - 29240 Brest Cedex 9

@ : antoine.le-lay@intradef.gouv.fr

Tél : 02 98 22 97 36 - PNIA : 831 72 29 736

Assistant MOA

ALTEREA – Agence Lorient

14 rue du Sous-Marin Vénus

56100 Lorient

T 02 40 74 24 81

Kevin GOFF

Directeur Agence Lorient

T 02 40 74 24 81

P 07 79 67 61 62

@ : kgoff@alterea.fr

SUIVI DU DOCUMENT

Indice	Date	Modifications	Rédaction	Vérification	Validation
1	18/03/2026	1 ^{er} version	ABAR	KGOF	KGOF
2	26/03/2026	2 ^{ème} version	ABAR	KGOF	KGOF

SOMMAIRE

1. RESUME DE L'ETUDE.....	4
2. GENERALITES	5
2.1. Présentation du site	5
2.2. Plan du site et périmètre de l'étude.....	6
2.3. Informations détaillées d'occupation du site.....	6
2.4. Documents mis à disposition	7
2.5. Hypothèses posées dans le cadre de l'étude.....	7
2.6. Usages énergétiques du site.....	8
3. DESCRIPTIF DES SYSTEMES DE CHAUFFAGE	9
3.1. Chaufferie centrale	9
3.2. Schéma de principe de la chaufferie.....	11
3.3. Emetteurs	11
4. ETUDE ET ANALYSE DES BESOINS DE CHAUFFAGE.....	12
4.1. Analyse de la période de référence.....	12
4.2. Etat projeté et monotone de besoins.....	14
4.3. Etat référence	15
5. DEMARCHE DE L'ADEME - ENR CHOIX.....	16
6. LE COMBUSTIBLE BOIS	17
6.1. Ressources disponibles	17
6.2. Fournisseurs.....	17
6.3. Avantages et inconvénients à l'utilisation de la biomasse	18
7. PROJET DE CREATION D'UNE CHAUFFERIE BOIS	19
7.1. Emplacement de la chaufferie.....	19
7.2. Réseau de chauffage.....	20
7.3. Dimensionnement de la chaufferie bois	20
7.3.1. Evolution de la température extérieure.....	20
7.3.1. Evolution des besoins ECS	20
7.3.2. Courbe monotone	21
7.3.3. Principe de l'installation retenue	21
7.3.4. Règlementation chaufferie.....	23
7.4. Analyse des consommations et taux de couverture	24
7.5. Dimensionnement du silo.....	25
7.5.1. Consommation en bois	25
7.5.2. Solution retenue.....	25

7.5.3.	Dimensionnement du silo	26
7.5.4.	Approvisionnement en bois	26
7.5.5.	Accès silo	27
7.6.	Evacuation des cendres.....	28
8.	ANALYSE ENVIRONNEMENTALE	29
8.1.	Economie d'énergie TEP	29
8.2.	Réduction des émissions CO2.....	29
9.	ANALYSE FINANCIERE	30
9.1.	Coût des énergies.....	30
9.2.	Investissements	31
9.2.1.	Etat Référence	31
9.2.2.	Etats Projetés.....	32
9.3.	Exploitation	33
9.3.1.	Coût d'exploitation	33
10.	ANALYSE ECONOMIQUE	35
10.1.	Aides financières	35
10.1.1.	Aide de l'ADEME	35
10.1.2.	Certificat d'économie d'énergie (CEE)	36
10.2.	Coût global actualisé.....	37
11.	CONCLUSION	38

1. RESUME DE L'ETUDE

Le bâtiment Bois Belleau Est est situé sur le site de la base aéronautique navale de Lanvéoc-Poulmic. Celui-ci a été construit en 1940 et comprend 5 niveaux. Il a pour usage majoritaire l'hébergement du personnel militaire et une petite zone tertiaire (bureaux) au RDC.

Dans le cadre du programme de rénovation global du bâtiment Bois Belleau Est, il est prévu une réfection complète de la chaufferie fioul actuelle avec orientation vers une chaufferie biomasse. Cette étude a pour but de confirmer l'intérêt et d'étudier plus en détail la faisabilité technique de ce projet.

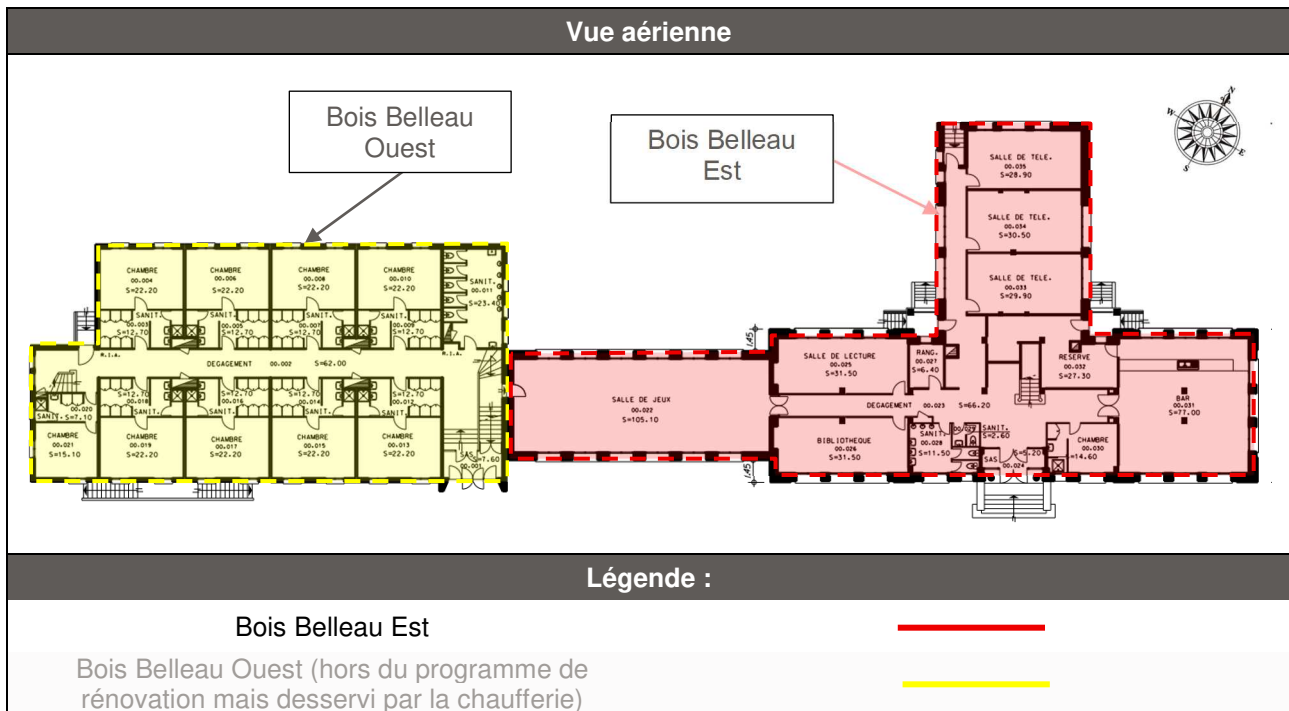
2. GENERALITES

2.1. Présentation du site

IDENTITE DU SITE	
Nom du site :	Bois Belleau
Adresse :	Base aéronautique navale de Lanvéoc-Poulmic
Année de construction :	1940
Année de rénovation :	1987 pour Bois Belleau Est et 2020 pour Bois Belleau Ouest
Nombre de bâtiments :	1
Nombre de niveaux :	4 + 1 sous-sol
Surface de plancher (SDP) :	2 055 m ² _{SDP} (BBE) + 1 540 m ² _{SDP} (BBO)
Usage du site :	Hébergements, Bureaux
Effectifs du site :	60 personnes
Horaires d'ouverture :	Hébergement : 24/24, 7J/7 Bureaux : du lundi au vendredi entre 8h00 et 17h00

CONCLUSION
Le bâtiment de Bois Belleau est un bâtiment construit en 1940 sur la base aéronautique navale de Lanvéoc-Poulmic. Celui-ci est divisé en deux parties : - Bois Belleau Est : zone du périmètre de la présente étude. Une rénovation globale a eu lieu en 1987. Le site est principalement utilisé pour de l'hébergement mais des bureaux sont également présents au RDC. - Bois Belleau Ouest : zone hors du périmètre du programme de rénovation. Le bâtiment a subi une réfection complète de l'enveloppe et des systèmes. Le bâtiment est aussi utilisé pour de l'hébergement. La chaufferie reste néanmoins partagée pour les deux bâtiments, il sera donc nécessaire d'étudier les documents de rénovation ainsi que d'estimer les consommations de l'ensemble des usages et des surfaces desservis par la chaufferie.

2.2. Plan du site et périmètre de l'étude



2.3. Informations détaillées d'occupation du site

Catégorie	Effectifs	Commentaires
Hébergements	BBE : 30 personnes BBO : 30 personnes	Peuvent être absents sur la journée selon missions.
Bureaux	4 personnes	-

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
Hébergements	0h00 24h00	0h00 24h00	0h00 24h00	0h00 24h00	0h00 24h00	0h00 24h00	0h00 24h00

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
Bureaux	07h00 18h00	07h00 18h00	07h00 18h00	07h00 18h00	07h00 18h00	- -	- -

Eléments d'explication et d'analyse

Un régiment de militaire restent en général un trimestre en hébergement sur le site puis sont remplacés le trimestre suivant par un autre. Le site est donc occupé en continu sur l'année.

2.4. Documents mis à disposition

Le tableau ci-dessous présente les documents demandés pour la réalisation de cette étude et l'état de la transmission documentaire :

Documents mis à disposition		
Plans et surfaces	Plans (masse, niveaux, coupes, évacuation, ...)	X
	Tableau de surface	X
Consommations et dépenses d'énergie	Factures d'énergie détaillées mensuelles – période 2022-2024	
	Consommations annuelles - période 2015-2024	
	Relevés de sous-comptage thermique en chaufferie	X
Exploitation / Maintenance	Contrats d'exploitation maintenance et annexes	
	Récapitulatif des dépenses annuelles P2 / P3	
	Fiche chaufferie	
Divers documents	Horaires d'ouvertures du site	X
	Données OPERAT	
	Programme de travaux de la réhabilitation prévue	X
	Etudes techniques et énergétiques antérieures : Pré-diagnostic, DPE, calculs thermiques	X

2.5. Hypothèses posées dans le cadre de l'étude

Certaines informations non disponibles, mais nécessaires à la réalisation de l'étude, ont fait l'objet d'hypothèses retranscrites ci-après :

Informations manquantes	Hypothèses considérée	Source
Isolation des toitures terrasses	5 cm de PSE	Basée selon période de rénovation
Isolation des murs	4 cm de PSE	Basée selon période de rénovation

2.6. Usages énergétiques du site

Bois Belleau Est :

Usage	Fioul	Electricité
Chauffage	X	
ECS		X
Auxiliaires		X
Eclairage		X
Usages spécifiques		X

Bois Belleau Ouest (**HORS** périmètre programme de rénovation) :

Usage	Fioul	Electricité
Chauffage	X	
ECS	X	
Auxiliaires		X
Eclairage		X
Usages spécifiques		X

3. DESCRIPTIF DES SYSTEMES DE CHAUFFAGE

3.1. Chaufferie centrale

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques techniques de l'installation existante.

PRODUCTION DE CHALEUR				
Chaudière		P	V	
	Ensemble du bâtiment (dont chauffage et ECS Bois Belleau ouest hors périmètre)	1	1	
	Locaux desservis :			
	Energie :			Fioul
	Classement ICPE :			Non
	Rendement :			92 %
	Technologie :			Standard
	Fonction :			Chaudière principale
	Cascade :			Oui
	Mode d'évacuation :			Conduit de fumées
	Position :			Au sol
	Marque :			GUILLLOT
	Nombre :			2
	Brûleur intégré :	Non		
Localisation : Chaufferie				

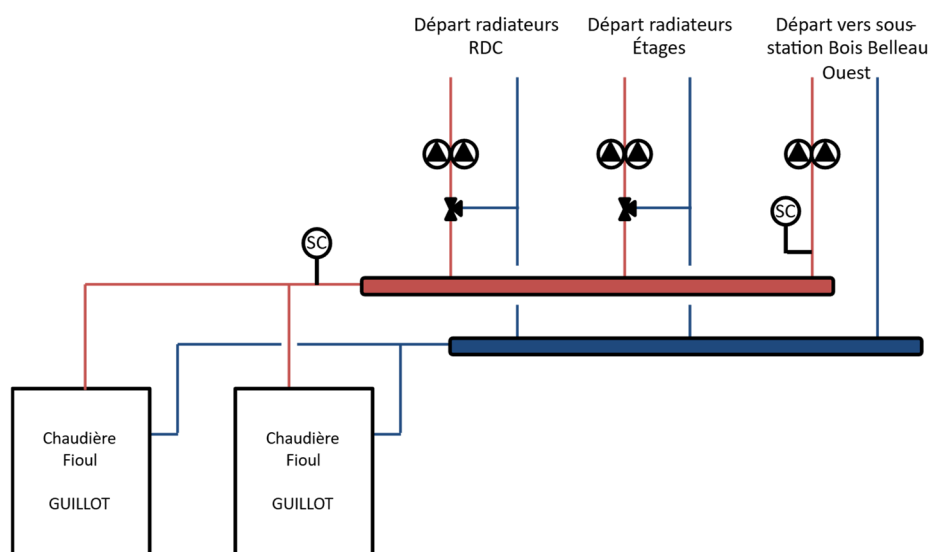
AUXILIAIRE DE CHAUFFAGE			
Pompe chauffage		P	V
	Technologie :	Pompe à débit variable	
	Type :	Pompe simple	
	Fonction :	Départ régulé	
	Nom du départ :	Départ 1 (RDC) et Départ 2 (Etages) + Départ 3 (Bois Belleau Ouest hors périmètres)	
	Nombre :	2	
	Localisation :	Chaufferie	
		3	2

DISTRIBUTION DE CHALEUR			
Réseaux de chauffage		P	V
	Nature :	2	1
	Technologie :		
	Mise en œuvre de l'isolation :		
	Epaisseur :		
	Localisation :		
	Longueur :		

REGULATION CENTRALE CHAUFFAGE			
Régulation centrale		P	V
	Technologie :	Loi d'eau avec horloge	
	Programmation :	Hebdomadaire	
		2	1

Commentaires
La production de chauffage actuelle est vieillissante et peu performante. Les rendements de chaudières sont faibles et le fioul est également très émetteur en CO2. La production est logiquement distribuée via les différents départs séparant les usages/occupations distinctes. L'isolation est néanmoins à revoir à certains endroits. Des sous-compteurs calorifiques sont présents en sortie de chaudières ainsi que sur le départ vers la sous-station Bois Belleau Ouest. Ceci permet de différencier la consommation par bâtiment. Les émetteurs de chaleur sont performants, permettant une diffusion lente de la chaleur et une bonne inertie de chauffage. Ils restent néanmoins vétustes. La régulation terminale en robinet manuel ne permet pas une régulation au plus proche des besoins pour réduire les consommations de chauffage. La régulation centrale prévoit un réduit de température cohérent à l'usage.

3.2. Schéma de principe de la chaufferie



La chaufferie actuelle ne présente pas de parois coupe-feu. De plus, des réseaux externes à la chaufferie non coupe-feu sont aussi présents.

3.3. Emetteurs

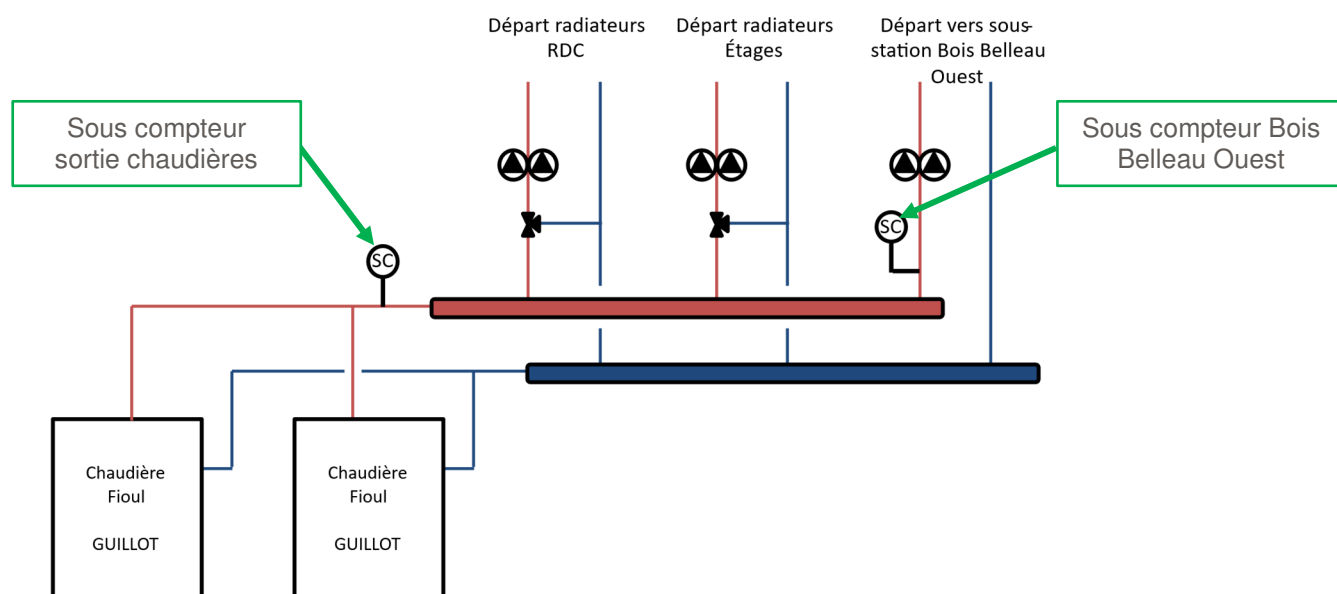
EMISSION DE CHALEUR			
Radiateur		P	V
	Energie :	Hydraulique	
	Technologie :	Radiateur	
	Matériau :	Acier	
	Température :	Haute	
	Pathologies :	Présence de corrosion sur l'équipement	
Localisation :		Ensemble du bâtiment	
		3	0

REGULATION TERMINALE CHAUFFAGE			
Robinet manuel		P	V
	Technologie :	Robinet manuel	
	Locaux desservis :	Ensemble du bâtiment	
	Localisation :	Ensemble du bâtiment	
		1	1

4. ETUDE ET ANALYSE DES BESOINS DE CHAUFFAGE

4.1. Analyse de la période de référence

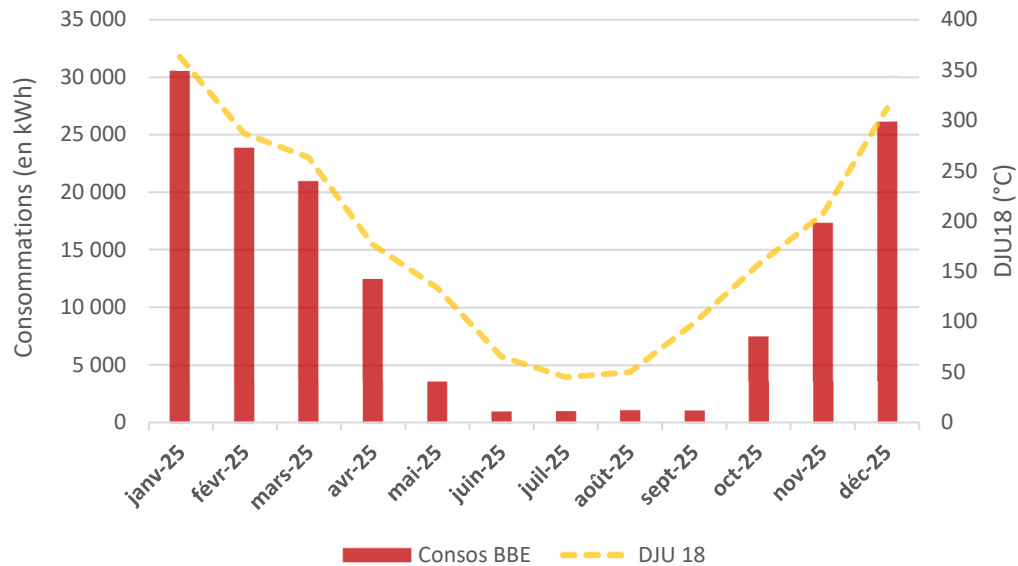
Les consommations d'énergie historiques du site sont présentées dans ce chapitre, sur la base des données de sous-comptage transmises par la MOA. En effet, les sous-compteurs en chaufferie permettent de différencier les consommations de Bois Belleau Est de Bois Belleau Ouest. Il est important de constater la position des sous-compteurs, représentés sur le schéma suivant de la chaufferie actuelle :



Au vu du comptage, il est donc possible d'estimer les consommations du bâtiment Bois Belleau Est en soustrayant les consommations de Bois Belleau Ouest aux consommations sorties de chaudières. Il est à noter que ces consommations prennent également en compte les pertes par réseaux en chaufferie, notamment en période estivale où les chaudières restent allumées pour l'ECS du bâtiment Bois Belleau Ouest. Le tableau ci-dessous présente les consommations de sous-comptage sur l'année 2025.

	Consos TOTAL	Consos BBO	Consos BBE
janv-25	47 120	16 630	30 490
févr-25	36 850	13 010	23 840
mars-25	33 570	12 620	20 950
avr-25	20 100	7 640	12 460
mai-25	8 900	5 290	3 610
juin-25	5 480	4 470	1 010
juil-25	5 590	4 550	1 040
août-25	5 820	4 700	1 120
sept-25	6 020	4 940	1 080
oct-25	13 480	6 020	7 460
nov-25	29 690	12 380	17 310
déc-25	41 790	15 690	26 100
Consos année 2025	254 410	107 940	146 470

Consommations du sous-comptage Bois Belleau Est



Les pertes par réseaux en chaufferie sont constatables en période estivale, avec des consommations relevées hors période de chauffe.

Les consommations de chauffage sont dépendantes des températures extérieures, comme le montre le graphique, avec des consommations étroitement liées aux DJU (degrés jours unifiés attestant de la rigueur climatique)

4.2. Etat projeté et monotone de besoins

Pour réaliser le dimensionnement de la chaufferie biomasse, le but est d'identifier les besoins de chauffage après les travaux de rénovation énergétique.

L'études des besoins se fera deux manières différentes car les deux ailes du bâtiment Bois Belleau ne sont pas concernés par le programme de travaux :

- Bois Belle Est : le programme de travaux vise à une réfection complète de l'enveloppe et de la chaufferie. La simulation énergétique dynamique de l'état projeté calculera les besoins de chaleur nécessaire au bon dimensionnement de la chaufferie.
- Bois Belleau Ouest : une réfection globale a déjà eu lieu et le programme de travaux ne concerne pas cette aile du bâtiment. Les besoins de chauffage seront estimés sur la base des déperditions actuelles du bâtiment (récupérées dans les DOE de la rénovation), de la régulation de chauffage, le tout projeté sur le fichier météo de la simulation énergétique dynamique utilisé pour Bois Belleau Est.

Ainsi, les besoins globaux du bâtiment Bois Belleau correspondront à la somme des besoins de chaleur des deux ailes.

Ce besoin représente en chaufferie une production thermique de **184 000 kWh**.

Production de chauffage				
Bâtiment		Bois Belleau Est	Bois Belle Ouest	TOTAL
Déperditions (température de base)		42 kW	31 kW	73 kW
		1,8 kW/°C	1,5 kW/°C	3,0 kW/°C
		25,9 W/m²	23,5 W/m²	24,8 W/m²
Energie chauffage	Fioul	272 g CO2/kWh		
		0,1108 €HT/kWh		
Consommations annuelles de chauffage	kWh (corrigé DJU)	63 218 ¹	82 000 ²	145 218
Performance thermique	kWh/m² chauffé	39	62	49
Consommations annuelles d'ECS	kWh	24 000	24 000	48 000
Puissance ECS estimée ³	kW	10	10	20

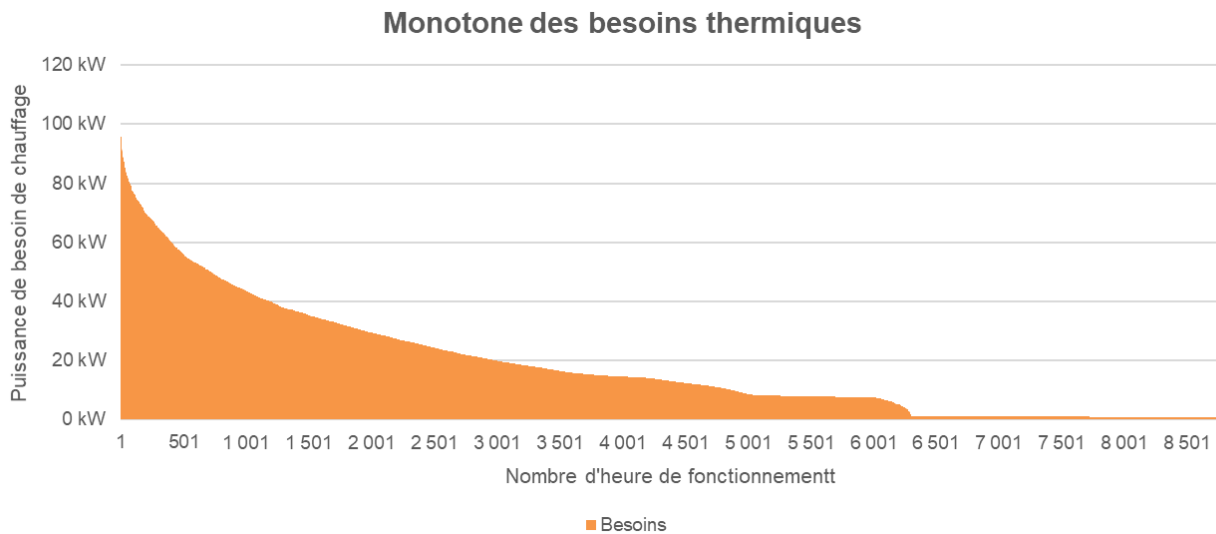
La performance thermique entre les deux bâtiments n'est pas comparable ici car les température de réduits ne sont pas les mêmes.

¹ Consommations calculées sur la base de simulation avec une température de réduit à 16°C.

² Consommations réelles sur la base du sous-comptage avec une température de réduit à 18°C.

³ La puissance ECS est estimée sur la base des relevés du sous-compteur volumétrique d'ECS du bâtiment Bois Belleau Ouest. Le nombre d'occupants est le même dans les deux ailes du bâtiment, les besoins sont donc considérés équivalents. Le sous-comptage révèle une consommation journalière moyenne d'environ 650 L d'ECS à 60°C. La puissance estimée est basée sur le réchauffage de 700 L en 4h.

Le graphique ci-dessous présente la monotone des besoins de la chaufferie. La puissance maximale appelée sur la monotone corrigée est de l'ordre de 100 kW.



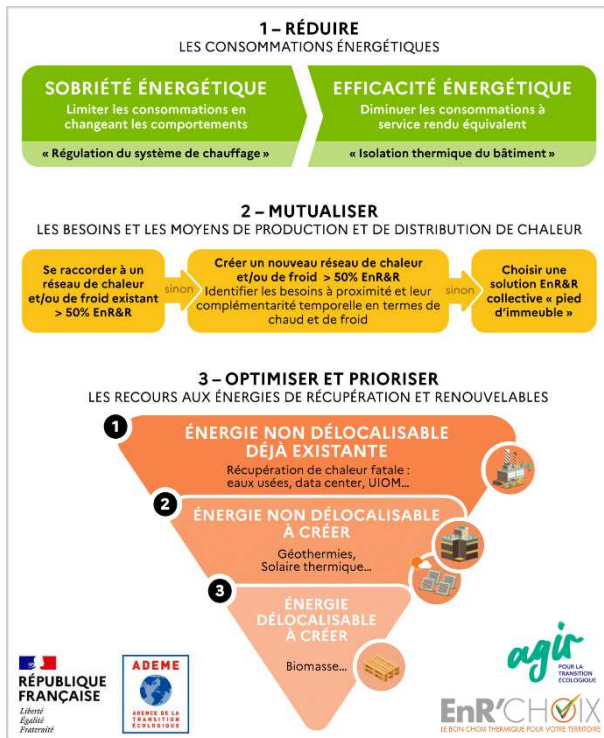
4.3. Etat référence

Dans le cahier des charges de l'ADEME il est spécifié que la solution biomasse doit être comparée à une solution concurrente (fioul, gaz). Dans notre cas, les bâtiments sont déjà chauffés par une chaufferie fioul.

La solution référence correspond à la solution « Etat Actuel ».

5. DEMARCHE DE L'ADEME - ENR CHOIX

L'ADEME met en avant pour les collectivités, gestionnaires de patrimoines, aménageurs, etc. La démarche EnR'Choix qui vise à les accompagner dans la création de leur stratégie énergétique en s'appuyant sur plusieurs piliers.



Cette démarche, portée originellement par la Direction régionale Ile-de-France de l'ADEME, part du postulat que le chauffage, le refroidissement et l'eau chaude sanitaire des bâtiments résidentiels et tertiaires représentent 45% des consommations d'énergies finales.

Il est donc important de traiter efficacement ce gisement d'économies potentielles.

Les premiers leviers d'action d'une stratégie énergétique doivent être

- La réduction des consommations, par la sobriété (réduction des besoins) et l'efficacité énergétique (réponse plus performante à ces besoins).
- La mutualisation des moyens de productions et de distribution.

C'est seulement après avoir agi sur ces deux leviers que le choix de l'énergie renouvelable à utiliser doit être fait.

L'ADEME classe les différentes énergies par ordre de priorité et l'énergie biomasse se place en dernière position car elle doit être considérée s'il n'y a aucune autre source d'énergie non délocalisable sur site.

Actuellement, la biomasse-énergie (bois énergie, bois déchet, déchets ménagers, boues de stations d'épurations...) représente plus de 55% de la production de chaleur renouvelable en France. Le nombre de projet biomasse est en forte augmentation et la tension sur la ressource augmente

6. LE COMBUSTIBLE BOIS

6.1. Ressources disponibles

Pour les faibles puissances de chaudière, la meilleure option est l'utilisation du granulé. En effet, le granulé présente un avantage à la livraison car il peut être livré par soufflage ce qui est adapté à la future localisation de la chaufferie. De plus, le granulé possède un faible volume de stockage, ce qui réduira l'investissement initial.

Le combustible retenu pour la suite de l'étude sera le granulé.

Le tableau suivant présente les caractéristiques retenues pour le granulé :

Granulés	
PCI	4 500 kWh/tonne
Masse volumique	650 kg/m ³
Humidité	<10%
Taux de cendre	<0,5%
Prix	8,23 c€TTC/kWh ⁴

6.2. Fournisseurs

Le tableau ci-dessous présente les distributeurs de granulés bois par camion souffleur dans le Finistère :

Société	Contact	Détails de livraison
Société SARL BRETAGNE MULTI-ENERGIES	E. LECLERC BRETAGNE MULTI-ENERGIES 42 Rue Jacques Anquetil, 29000 Quimper Tél. : 02 98 64 63 63	Minimum 1,7T de granulés
Société LOLLIER ENERGIE	LOLLIER (LOLLIER ENERGIE) 10 BOURG NEUF 29540 SPEZET Tél. : 02 98 93 80 59	Minimum 2T de granulés
Société TOTALENERGIES PROXI NORD OUEST	TOTALENERGIES PROXI NORD OUEST 11 ROUTE DE POMPIERRECS48612 44186 NANTES CEDEX 4 Tél. : 02 40 92 15 92	Minimum 2T de granulés
Société PELLETS VRAC FRANCE NÉGOCE	PELLETS VRAC FRANCE NÉGOCE 2 Tremegan 35190 Treverien Tél. : 07 66 90 79 11	Minimum 2T de granulés

⁴ Prix du dernier trimestre de 2025 issus du centre d'étude de l'économie du bois (CEEb).

6.3. Avantages et inconvénients à l'utilisation de la biomasse

Les avantages et inconvénients de la biomasse en comparaison des combustibles fossiles (fioul, gaz ...) sont les suivants :

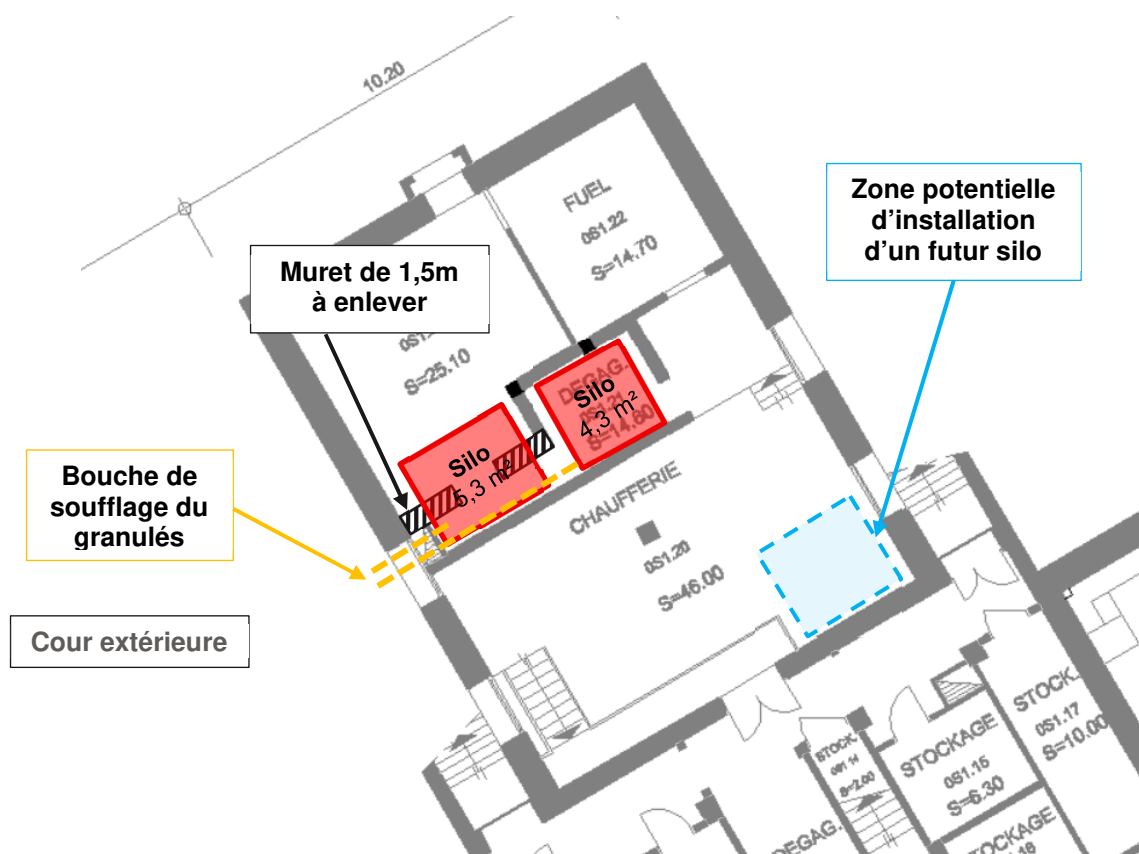
- Avantages :
 - Source d'énergie renouvelable si gérée correctement, locale et décarbonée.
 - Retombées financières locales / régionales pour l'achat du combustible.
 - Prix du combustible moins sujet à variation.
- Inconvénients :
 - Création d'une tension sur la ressource si la consommation au niveau local dépasse la capacité de renouvellement des forêts.
 - Forts enjeux sociétaux, les projets biomasse pouvant générer de fortes oppositions.

7. PROJET DE CREATION D'UNE CHAUFFERIE BOIS

7.1. Emplacement de la chaufferie

La création de la chaufferie bois est envisagée dans le local chaufferie actuelle qui possède une grande surface disponible permettant d'accueillir deux silos, le ballon d'hydro accumulation ainsi que le système ECS. La mise en place d'une chaufferie bois nécessite la création de silos pour le stockage du combustible. Le silo de stockage doit être situé à proximité directe de la chaudière.

Le schéma suivant présente la solution envisagée pour l'emplacement des silos textiles:



Les silos sont envisagés à ces emplacements (rouge) afin de permettre un passage des conduites de soufflage du granulé à travers sur la cour extérieure. *(Dans le cas de l'agrandissement de la chaufferie afin de raccorder d'autres bâtiment, d'autres emplacement sont disponibles. Il est également possible d'augmenter simplement le nombre de livraisons annuelles)*

Les chaudières fioul seront démontées et la cuve désossée. Il n'y aura plus de fioul sur le site.

Les bouches de soufflage du granulé pourront être implantées en façade du local de chaufferie et des conduites chemineront dans le local pour souffler dans les silos.

7.2. Réseau de chauffage

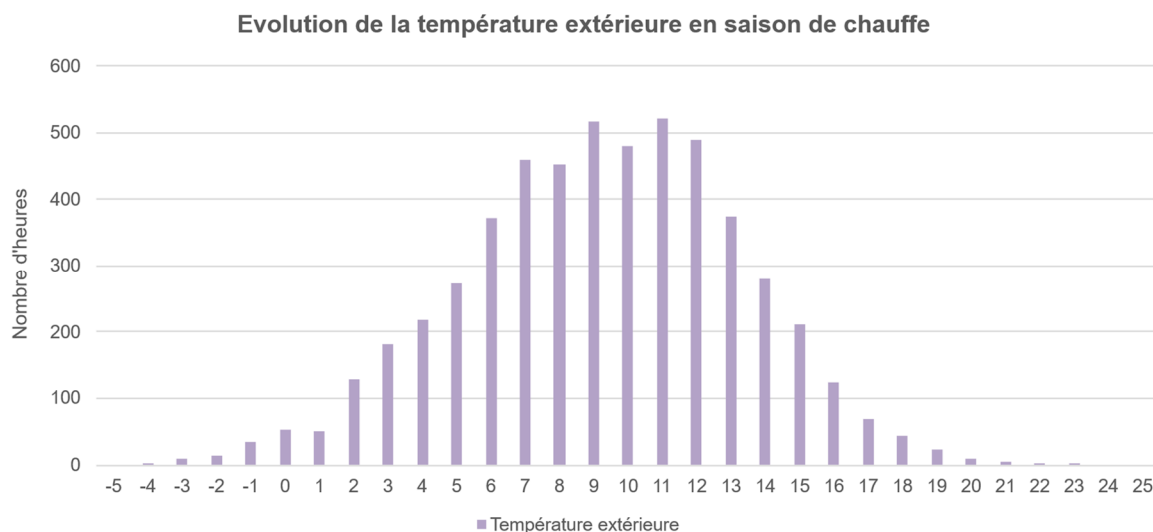
Le réseau de chauffage est déjà existant et permet d'alimenter tout le bâtiment Bois Belleau. Les réseaux de chauffage circulant dans le bâtiment seront conservés. Néanmoins, les chaudières biomasse doivent être situées au plus proche du silo, c'est-à-dire à l'emplacement des départs de chauffage actuels. La position des chaudières pourrait nécessiter le décalage des départs de chauffage. Le chiffrage du projet comprend la réfection globale et le déplacement des départs de chauffage.

7.3. Dimensionnement de la chaufferie bois

7.3.1. Evolution de la température extérieure

L'étude des déperditions a permis d'estimer la puissance prévisionnelle de chauffage autour de 68 kW pour le chauffage. Cette puissance est appelée lorsque la température de consigne est de 19°C en intérieure, que la température extérieure est de -2°C et qu'il n'y a aucun apport interne dans le bâtiment.

Le graphique ci-dessous présente le nombre d'heures pour chaque degré rencontré durant la période de chauffe prise en compte dans la simulation thermique dynamique.



La température extérieure de -2°C est très rarement atteinte. La puissance réelle nécessaire de chauffage est donc moindre.

7.3.1. Evolution des besoins ECS

L'étude du sous-compteur volumétrique d'ECS dans la sous-station Bois Belleau Ouest a permis d'identifier le besoin global à l'échelle du site (l'occupation de Bois Belleau Est est la même, les besoins sont donc considérés équivalents).

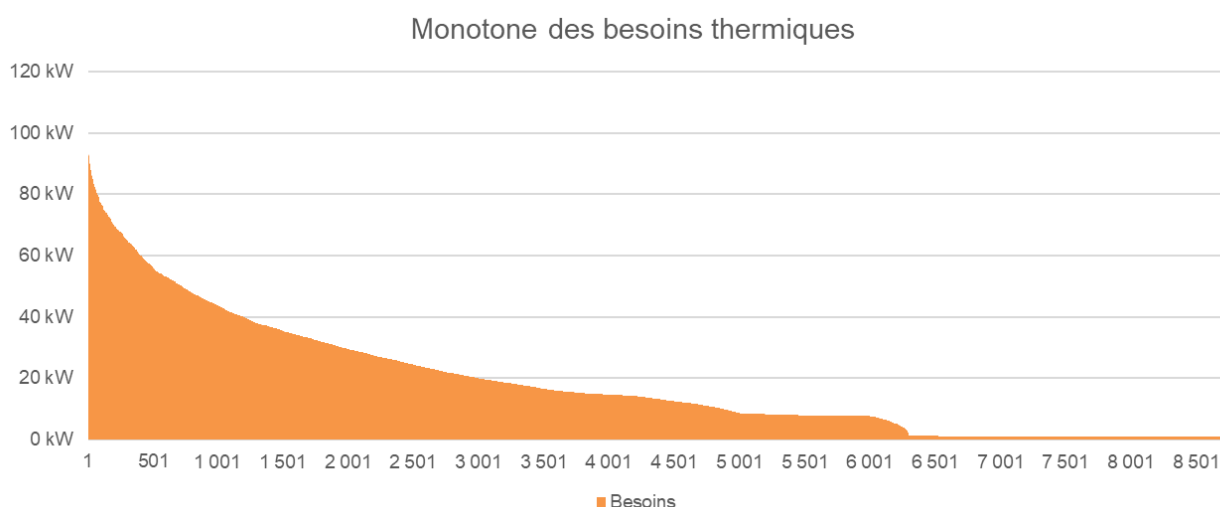
Le site est occupé toute l'année, et toute la semaine. Les besoins journaliers sont donc équivalents quelles que soit la période de l'année. Le sous-compteur a permis d'estimer une consommation journalière autour d'environ 650L d'ECS à 60°C par bâtiment. Un ballon de stockage ECS de 1000L est déjà présent dans la sous-station Bois Belleau Ouest, il est prévu la même chose pour Bois Belleau Est. Chaque ballon nécessitera 10 kW de puissance disponible permettant de le réchauffer en 4 heures de temps.

7.3.2. Courbe monotone

La répartition des appels de puissance sur l'année en fonction de la température extérieure a permis de tracer la monotone des besoins. Il s'agit d'une courbe dont les puissances sont classées de façon décroissante sur le nombre d'heures de chauffe. Ainsi, la monotone permet de visualiser le nombre d'heures pendant lesquelles les différents niveaux de puissance de la chaufferie sont appelés.

La monotone de puissance permet de déterminer la puissance bois optimale à installer afin de maximiser le nombre de jours de fonctionnement de la chaufferie à son meilleur rendement. En effet un surdimensionnement bois entraîne un fonctionnement à bas régime qui altère le rendement et la durée de vie de la chaudière et provoque une augmentation des polluants, du taux de cendres et des imbrulés.

Le graphique suivant présente la monotone des besoins sur l'année après **avec prise en compte des apports internes après réfection comme prévu dans le programme de travaux** :



7.3.3. Principe de l'installation retenue

Le tableau suivant présente les caractéristiques des équipements retenus dans la nouvelle chaufferie :

	État projet
Puissance chaudière	1 x 70 kW + 1 x 30 kW
Volume du silo	1 x 13 m ³ + 1 x 10 m ³
Volume ballon à hydro accumulation	1 x 1 500 L
Volume du ballon ECS (du bâtiment bois Belleau Est)	1 x 1 000 L
Taux de couverture bois	100 %

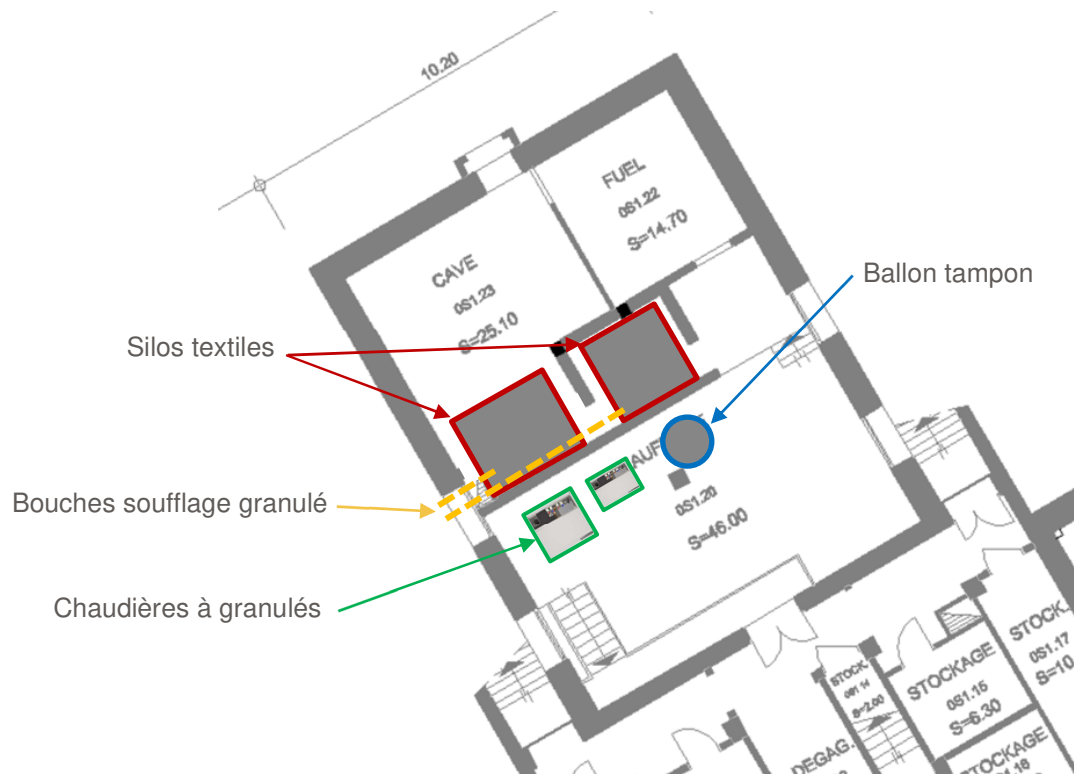
La chaufferie présente une surface suffisante pour envisager la mise en place de 2 chaudières à granulés en cascade (voir de supplémentaires dans le cas de raccordement d'autres bâtiments à la chaufferie biomasse). Ces chaudières seront couplées à un ballon tampon afin de pouvoir répondre aux faibles appels de puissance à la mi-saison.

En effet, il est préconisé que les chaudières bois ne fonctionnent pas en dessous de 30% de leur puissance maximale. En dessous de ce seuil, les performances des chaudières sont dégradées.

A la mi-saison, lorsque les besoins de chauffage sont trop faibles, les chaudières vont fonctionner à leur régime optimal (pleine charge) et chauffer le ballon tampon qui va restituer l'énergie sur le réseau, l'énergie non utilisée restera stockée et sera restituée plus tard.

Les chaudières à granulés couplées à leur ballon tampon permettront de couvrir l'ensemble des besoins de chauffage du site.

Le schéma suivant présente un exemple d'implantation des équipements de chauffage dans la chaufferie :



Les chaudières installées devront être référencées dans la « base de données des chaudières petites et moyennes puissances éligibles au fond chaleur ». Cette base de données permet de vérifier les performances annoncées des équipements disponibles sur le marché, tant en termes de rendement que du point de vue des émissions atmosphériques.

7.3.4. Règlements chaufferie

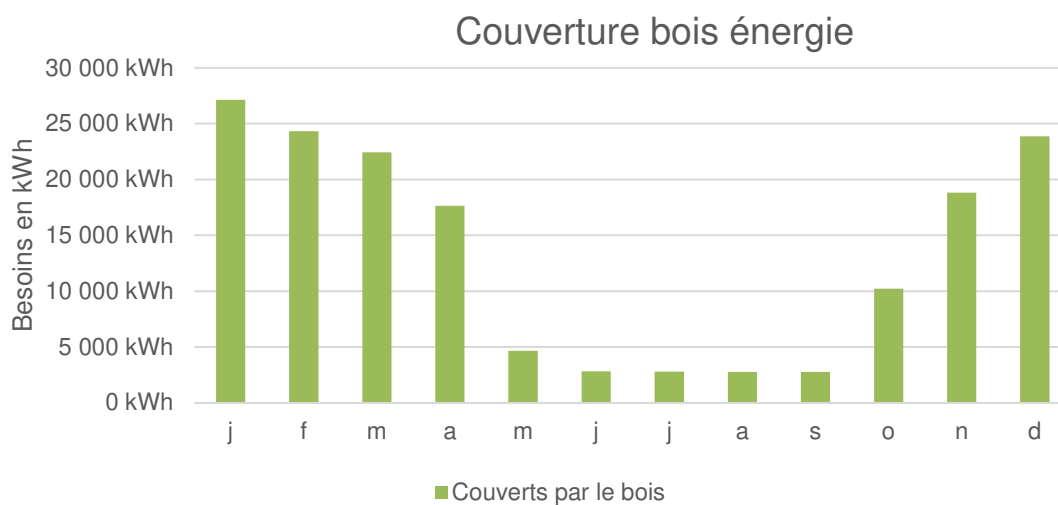
La future chaufferie est soumise en la réglementation des locaux de production d'énergie de puissance utile totale supérieure à 70 kW. Ceci impose à la chaufferie de respecter certains arrêtés résumés dans le tableau ci-dessous :

	Concerne	Observations
Arrêté du 23 juin 1978	- Implantation - Caractéristiques du local - Alimentation en gaz - Conduit de fumée	L'arrêté 13 renvoie à l'arrêté du 2 août 1977 modifié pour l'alimentation en gaz.
Arrêté du 23 février 2018 article 10.3	- Alimentation en gaz	L'arrêté renvoie aux solutions techniques du guide général « Installations de gaz » du chapitre « alimentation en gaz des sites de production d'énergie » dont le respect vaut présomption de respect de ses exigences essentielles.
Code du travail article R235-4-9	- Risques pour la santé et la sécurité des travailleurs	L'article renvoie, s'il y a lieu, aux règles propres aux bâtiments d'habitation, de bureaux ou recevant du public.

7.4. Analyse des consommations et taux de couverture

À la suite de la simulation des besoins annuels, la production d'énergie par le bois a été calculée à partir des puissances appelées tout au long de l'année. Le tableau suivant présente les résultats ainsi que le taux de couverture en bois énergie :

Couverture biomasse			
Mois	Besoins énergétiques	Couverts par le bois	% Bois
Janvier	27 179 kWh	27 179 kWh	100%
Février	24 345 kWh	24 345 kWh	100%
Mars	22 435 kWh	22 435 kWh	100%
Avril	17 646 kWh	17 646 kWh	100%
Mai	4 653 kWh	4 653 kWh	100%
Juin	2 826 kWh	2 826 kWh	100%
Juillet	2 798 kWh	2 798 kWh	100%
Août	2 773 kWh	2 773 kWh	100%
Septembre	2 769 kWh	2 769 kWh	100%
Octobre	10 204 kWh	10 204 kWh	100%
Novembre	18 823 kWh	18 823 kWh	100%
Décembre	23 894 kWh	23 894 kWh	100%
Année	160 346 kWh	160 346 kWh	100%



Dans le cas des bâtiments Bois Belleau, les puissances de chaudières sont faibles, la couverture bois est donc possible 100% du temps. Aucun appoint de chauffage n'est nécessaire. Il est néanmoins prévu la mise en place de deux chaudières permettant d'avoir toujours un système en marche en cas de panne ou de maintenance de la seconde chaudière.

7.5. Dimensionnement du silo

7.5.1. Consommation en bois

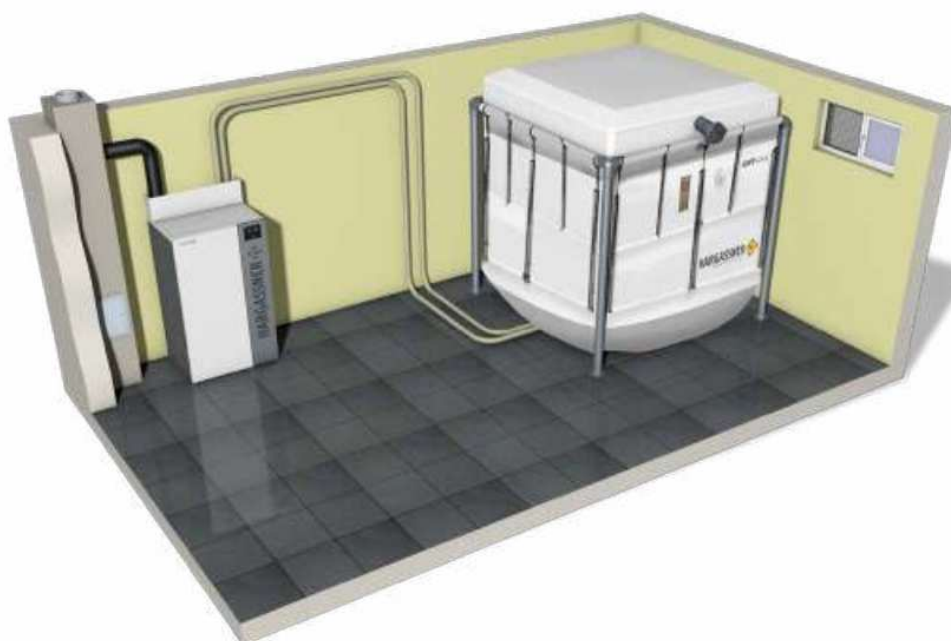
Le tableau suivant présente les besoins mensuels en chauffage pour le site :

Consommations biomasse			
Année	Consommation bois	Poids	Volume
Janvier	28 447 kWh	6 T	10 m ³
Février	25 517 kWh	6 T	9 m ³
Mars	23 565 kWh	5 T	8 m ³
Avril	18 544 kWh	4 T	6 m ³
Mai	4 910 kWh	1 T	2 m ³
Juin	2 987 kWh	1 T	1 m ³
Juillet	2 958 kWh	1 T	1 m ³
Août	2 931 kWh	1 T	1 m ³
Septembre	2 927 kWh	1 T	1 m ³
Octobre	10 738 kWh	2 T	4 m ³
Novembre	19 775 kWh	4 T	7 m ³
Décembre	25 058 kWh	6 T	9 m ³
TOTAL	168 357 kWh	37 T	58 m³

7.5.2. Solution retenue

Au vu de la faible puissance et des faibles consommations qui seront engendrées, la solution envisagée est la mise en place d'un silo textile équipé d'un extracteur de granulés avec fond incliné sur quatre côtés garantissant un vidage complet.

Plusieurs silos textiles peuvent être reliés à une unité de commutation selon les besoins. Ci-dessous, une illustration de ce type de silo.



7.5.3. Dimensionnement du silo

Les puissances de chaudières étant très faibles, la taille du silo textile est orientée sur les faibles volumes de stockage permettant une emprise minimale au sol dans la chaufferie afin de minimiser les coûts d'investissement tout en garantissant une autonomie minimale par période de grand froid. Le dimensionnement du silo est réalisé à partir de la puissance maximale de la chaudière pour une utilisation prolongée par grand froid.

Silo à granulés	Projet biomasse		
Volume minimal du silo	13,4 m ³	+	10,8 m ³
Nombre utilisé	1	+	1
Volume total de stockage	24,2 m ³		
Autonomie à pleine puissance	25 j		

Dans les périodes de grands froids, la contenance des silos permettrait une autonomie de près de 25 jours avec des chaudières en fonctionnement à pleine puissance. L'autonomie est largement suffisante.

7.5.4. Approvisionnement en bois

Le tableau suivant présente le volume de bois consommé par mois et le nombre de silos que cela représente :

Approvisionnement biomasse			
Année	Consommation bois	Volume granulés	Nb silo/mois
Janvier	28 447 kWh	10 m ³	0,5
Février	25 517 kWh	9 m ³	0,4
Mars	23 565 kWh	8 m ³	0,4
Avril	18 544 kWh	6 m ³	0,3
Mai	4 910 kWh	2 m ³	0,1
Juin	2 987 kWh	1 m ³	0,0
Juillet	2 958 kWh	1 m ³	0,0
Août	2 931 kWh	1 m ³	0,0
Septembre	2 927 kWh	1 m ³	0,0
Octobre	10 738 kWh	4 m ³	0,2
Novembre	19 775 kWh	7 m ³	0,3
Décembre	25 058 kWh	9 m ³	0,4
TOTAL	168 357 kWh	58 m³	2,8

Le dimensionnement des silos nécessitera environ **3 livraisons par an**.

La solution en granulés de bois avec mise en place d'un silo dans la chaufferie actuelle n'est possible que par camion souffleur. Le volume maximal d'un camion souffleur est de 30 m³, ce qui nécessite à minima deux livraisons par an. **Le projet de chaufferie biomasse sur le bâtiment Bois Belleau ne permet pas de réduire à une seule livraison annuelle.**

7.5.5. Accès silo

La livraison du combustible sera faite par un camion souffleur. Ce type de camion a une largeur de 2,5m, ce qui lui permet d'accéder à la chaufferie par la route circulant au nord du bâtiment.

Les petits camions souffleurs présentent un faible rayon de braquage. La route qui fait le tour du bâtiment permettra au camion de circuler et livrer le combustible sans manœuvre particulière. Ceci est faisable sous réserve que les véhicules garés ne permettent pas le passage au niveau des parkings devant le bâtiment Bois Belleau Ouest.

Les fournisseurs préconisent de limiter la distance entre le point de livraison et le silo à 20 m. Au-delà de cette limite le combustible ne sera plus utilisable car trop dégradé. En effet, les pellets sont un combustible sous forme de sciure compressée. Sur une distance de plus de 20 mètres, la rugosité des tuyaux entraînerait une trop forte dégradation des pellets, qui ne seraient plus alors sous forme de sciure compressée, les rendant inutilisables.

7.6. Evacuation des cendres

Le système de production de chaleur présenté est équipé d'un dispositif de décentrage automatique d'une capacité d'environ 26 litres par chaudière (soit 53 litres sur deux chaudières).

Gestion des cendres			
Année	Consommation bois	Volume de cendre	Poids de cendre
Janvier	28 447 kWh	44,3 L	28,8 kg
Février	25 517 kWh	39,7 L	25,8 kg
Mars	23 565 kWh	36,7 L	23,8 kg
Avril	18 544 kWh	28,8 L	18,8 kg
Mai	4 910 kWh	7,6 L	5,0 kg
Juin	2 987 kWh	4,6 L	3,0 kg
Juillet	2 958 kWh	4,6 L	3,0 kg
Août	2 931 kWh	4,6 L	3,0 kg
Septembre	2 927 kWh	4,6 L	3,0 kg
Octobre	10 738 kWh	16,7 L	10,9 kg
Novembre	19 775 kWh	30,8 L	20,0 kg
Décembre	25 058 kWh	39,0 L	25,3 kg
TOTAL	168 357 kWh	261,9 L	170,2 kg

Les calculs montrent que les **cendres devront être évacués environ 9 fois par an.**

Les cendres issues de la combustion du bois possèdent des caractéristiques intéressantes pour être valorisées sur des sols agricoles ou forestiers. En effet, elles contiennent du calcium, du potassium, du magnésium, du phosphore et ont un pouvoir basique très intéressant (pH de l'ordre de 12 - 13).

Les cendres peuvent ainsi être utilisées soit pour améliorer les sols (stabilité de la structure, redressement du pH), soit pour les fertiliser (par l'apport de potasse et de phosphore). La valorisation agronomique (sur des sols agricoles ou forestiers) doit donc s'envisager au cas par cas.

8. ANALYSE ENVIRONNEMENTALE

8.1. Economie d'énergie TEP

La tonne d'équivalent pétrole (tep) représente la quantité d'énergie contenue dans une tonne de pétrole brut (11 630 kWh). Cette unité est utilisée pour exprimer et comparer dans une unité commune la valeur énergétique des diverses sources d'énergie. Le tableau ci-dessous présente plusieurs facteurs de conversions utilisés notamment par l'Agence internationale de l'énergie :

ECONOMIE TEP		
Energie	Unité physique	TEP
Pétrole brut	1 tonne	1,000 TEP
GPL	1 tonne	1,095 TEP
Essence	1 tonne	1,048 TEP
Fioul lourd	1 tonne	0,952 TEP
Bois	1 tonne (PCI = 3,5)	0,3 TEP
Gaz	1 MWh	0,089 TEP

Le tableau suivant présente les économies réalisées en Tonnes Equivalent Pétrole (TEP) :

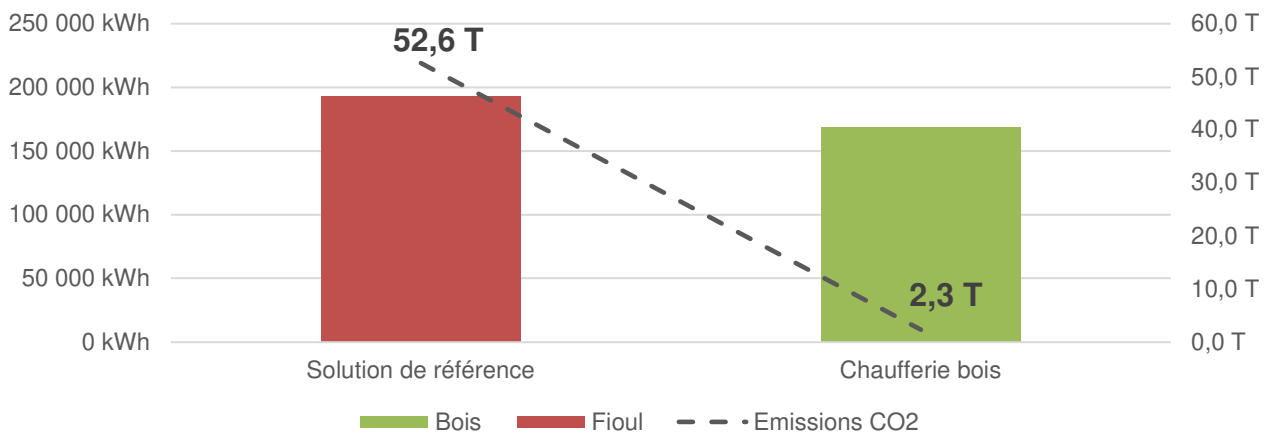
Emissions TEP	Référence	Projet biomasse
Emissions TEP	16,03	15,24
Economie TEP	-	0,79 (-4,93%)

8.2. Réduction des émissions CO2

Le tableau suivant présente l'impact du projet de chaufferie bois sur les émissions CO₂ du site :

Emissions CO2	Référence	Projet biomasse
Emissions CO2	52,6 T	2,3 T
Réduction émissions CO2 solution de référence	-	50,3 T (-96%)

Consommations et bilan carbone



9. ANALYSE FINANCIERE

9.1. Coût des énergies

Le tableau suivant présente les coûts des énergies retenus pour l'étude

Combustibles	Coûts
Granulés	8,23 c€TTC/kWh ⁵
Fioul	11,08 c€TTC/kWh ⁶
Electricité	26,49 c€TTC/kWh ⁴

⁵ La valeur du prix du granulé est basée sur les prix du dernier trimestre de 2025 issus du centre d'étude de l'économie du bois (CEEB : <https://ceeb-71.webself.net/nos-publications>). Le prix est à la tonne livrée par 5 tonnes jusqu'à 50 km.

⁶ Issu des Statistique publique de l'énergie, des transports et du logement et de l'environnement sur le mois de décembre 2025 pour le fioul et juin 2025 pour l'électricité (<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/catalogue?page=dataset&datasetId=631b03afb61e5c6479370169>)

9.2. Investissements

9.2.1. Etat Référence

L'investissement référence prend en compte le remplacement de la chaudière fioul existante par une chaudière fioul de même type avec le raccordement de la production d'ECS du bâtiment Bois Belleau Est.

CAPEX	Solution de référence
Dépose	2 000 €
Dépose et évacuation chaudière gaz existantes, des équipements en chaufferie, des conduits d'évacuation des fumées, compris déplacement des panoplies hydrauliques	2 000 €
Production thermique	7 600 €
Chaudières fioul / gaz	7 600 €
Equipements hydrauliques et électriques	13 300 €
Création départ et ballons ECS	10 800 €
Armoire électrique et système de régulation	2 500 €
Aléas (10%)	2 290 €
Total hors MOE	25 190 €
Etudes et ingénierie (8%)	2 015 €
Total dont MOE	27 205 €
Aide à l'investissement	
Total yc aides	27 205 € HT

9.2.2.Etats Projetés

Le tableau suivant présente les investissements estimés pour le projet de création d'une chaufferie à granulés :

CAPEX	Chaufferie bois
Dépose	2 000 €
Dépose et évacuation chaudière gaz existantes, des équipements en chaufferie, des conduits d'évacuation des fumées, compris déplacement des panoplies hydrauliques	2 000 €
Génie civil	5 000 €
Silo (génie civil)	7 000 €
Mise en conformité des parois existantes	5 000 €
Production thermique	56 000 €
Chaudière biomasse	41 000 €
Fumisterie	15 000 €
Traitement des fumées	6 000 €
Filtre cyclone	6 000 €
Equipements hydrauliques et électriques	33 300 €
Panoplie hydraulique	12 000 €
Ballon d'hydro-accumulation	3 000 €
Création départ et ballons ECS	10 800 €
Autres équipements chaufferie divers (vase d'expansion ...)	5 000 €
Armoire électrique et système de régulation	2 500 €
Aléas (10%)	10 930 €
Total hors MOE	120 230 €
Etudes et ingénierie (8%)	9 618 €
Total dont MOE	129 848 €
Aide à l'investissement	73 502 € HT
Total yc aides	56 346 € HT

9.3. Exploitation

9.3.1. Coût d'exploitation

Ce paragraphe présente les coûts liés à l'exploitation de la chaufferie.

- Le poste P1, correspondant à la consommation énergétique suivant le combustible utilisé ;
- Le poste P1', qui représente les consommations électriques liées à l'utilisation de la chaudière, évaluée à 0,5% de la consommation en combustible ;
- Le poste P2, correspondant aux coûts d'exploitation et de maintenance en petits entretiens. Le P2 a été estimé à 27 €TTC/kW installé pour la chaudière bois. Le tableau suivant présente les principaux travaux d'entretien liés à l'exploitation des chaudières biomasse :

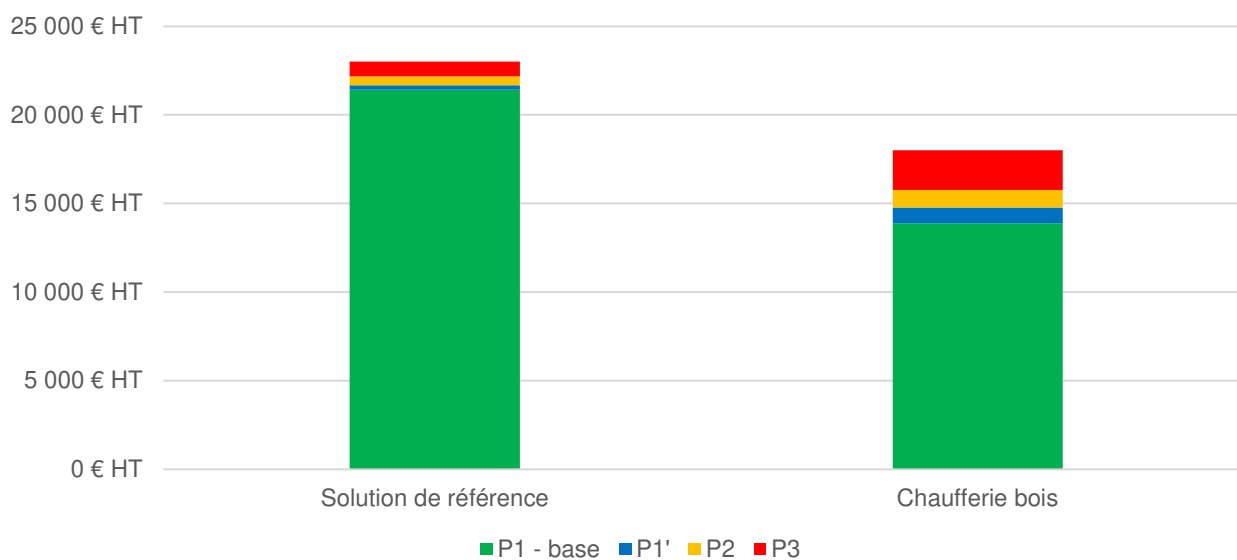
Opérations d'entretien/maintenance d'une chaufferie bois	
Silo de stockage du combustible et système de transfert	
Une fois par mois :	Graissage des paliers de transmission
Une fois par semestre :	Nettoyage des buses de pulvérisation sur le carénage du silo
Une fois par an :	Vérification du serrage des systèmes de fixation du système de dessilage et de transfert Contrôle du bon état des systèmes (vérification si présence de déformations, anomalies...) Vidange et remplacement de l'huile et filtre de la centrale hydraulique
Système d'alimentation en combustible de la chaudière	
Une fois par semestre :	Graissage des paliers du clapet Nettoyage de la buse d'extinction incendie du réservoir d'alimentation
Une fois par an :	Contrôle de l'étanchéité du clapet Vérification de l'état des joints de portes du réservoir Vidange et remplacement de l'huile du réducteur de la vis Systèmes d'extinction de départ de feu ou de sprinklage le cas échéants
Chaudière	
Une fois par mois :	Nettoyage de la sonde oxygène
Une fois par semestre :	Nettoyage des trous d'injection d'air dans le foyer
Une fois par an :	Nettoyage des turbines des ventilateurs d'air primaire et secondaire Vérification du fonctionnement des clapets d'admission d'air et/ou de recyclage des fumées Vidange, remplacement filtre et huile de la centrale hydraulique Nettoyage et ramonage des faisceaux des échangeurs
Conduits de fumée	
Une fois par semestre :	Ramonage complet des conduits de fumée
Une fois par an :	Ramonage des carneaux Ramonage des conduits de raccordement.

- Le poste P3, correspondant aux provisions pour les frais liés aux gros entretiens. Le P3 a été calculé sur la base du remboursement du prix des chaudières sur 20 ans.

	Solution de référence	Chaudière bois
P1 - base	21 415 € HT	13 884 € HT
P1'	256 € HT	874 € HT
P2	500 € HT	1 000 € HT
P3	836 € HT	2 240 € HT
Total (année 0)	23 007 € HT	17 998 € HT
Total sur 20 ans	730 082 € HT	563 159 € HT
Total sur 30 ans	1 350 089 € HT	1 034 613 € HT

La mise en place d'une chaudière biomasse engendrera **une diminution de 22% des dépenses annuelles.**

Comparaison des coûts d'énergie et d'exploitation maintenance



10. ANALYSE ECONOMIQUE

L'étude économique permet de déterminer la rentabilité du projet. Différents indicateurs économiques sont calculés avec des hypothèses d'inflation des prix des énergies.

Les hypothèses prises en compte dans l'étude sont :

- Augmentation annuelle du prix du fioul : 4%
- Augmentation annuelle du prix de l'électricité : 5%
- Augmentation annuelle du prix du bois : 4%

10.1. Aides financières

10.1.1. Aide de l'ADEME

L'investissement est éligible aux aides du fond chaleur de l'ADEME. Cette subvention est déterminée à partir de la production de chaleur bois produite sur 20 ans.

Les modalités et montants des aides peuvent varier chaque année. Les informations sont disponibles sur le site du Fonds Chaleur.

Un point d'attention est néanmoins à noter, le dimensionnement de la chaudière doit permettre un ratio de fonctionnement pleine puissance idéalement supérieur à 1500 heures. Dans le cas des petites installations couvrant 100% des besoins, il est très courant de ne pas atteindre cette valeur cible. Pour autant, le projet reste éligible aux subventions de par la faible puissance déployée.

Le montant de financement est défini pour l'année 2026 comme suit :

Tranche (MWh)		Aide collectif/tertiaire en € / MWhENR sortie sur 20ans	Aide process industriel/agricole* en € / MWhENR sortie sur 20ans
0	600	21	12
601	3 000	8,5	6
3 001	6 000	4	3
6 001	12 000	2,5	1

Le tableau suivant présente le montant d'aide envisageable pour le projet sous réserve du respect de l'ensemble des conditions d'éligibilité aux aides de l'ADEME :

	Subvention Fond chaleur
Montant de subvention	67 345 €
Taux de subvention	55 %

Les installations inférieures à 1 200 MWh/an (comme c'est le cas ici) peuvent être éligibles mais uniquement dans le cadre des Contrats Chaleur Renouvelable. Le contrat de chaleur renouvelable en Bretagne est disponible ce qui rend éligible le projet de chaudière biomasse de Bois Belleau.

Les chaudières installées devront être référencées dans la « base de données des chaudières petites et moyennes puissances éligibles au fond chaleur ». Cette base de données permet de vérifier les performances annoncées des équipements disponibles sur le marché, tant en termes de rendement que du point de vue des émissions atmosphériques.

Comme précisé dans les conditions d'éligibilité du fond chaleur, les CEE sont cumulables aux aides du fond chaleur dans le cas suivant :

Au-delà des autres conditions définies dans le § 3- MODALITES DE CALCUL DE L'AIDE, l'aide ADEME dédiée à l'installation biomasse énergie pourra être réduite, afin que le cumul « aide ADEME + CEE », ne dépasse pas 65% d'intensité d'aide sur les investissements éligibles. A l'appui d'une demande d'aide au Fonds Chaleur, un porteur de projet doit donc déclarer sur l'honneur : • Soit renoncer à l'obtention de CEE pour l'opération concernée, • Soit s'engager sur un volume et montant de CEE valorisé à 7,5 € TTC /MWh Cumac par défaut (valeur 2025, valeur actualisable chaque année), sauf justification apportée par le porteur de projet proposant de prendre pour hypothèse un prix inférieur sur la fiche prévue à cet effet. Le porteur des investissements devra remplir la fiche « Attestation déclaration CEE production EnR » qui fera partie des pièces nécessaires à l'instruction. Cette attestation doit être actualisée et fournie à l'ADEME par le porteur de projet après obtention des CEE en cours d'exécution du contrat.

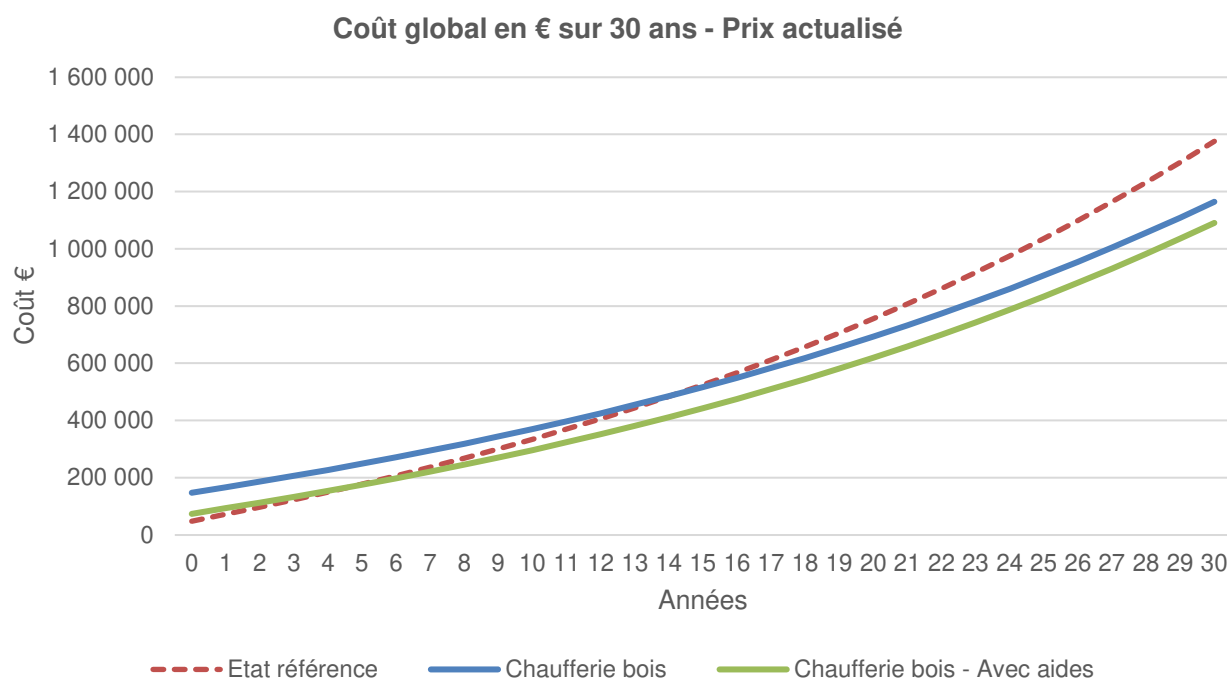
10.1.2. Certificat d'économie d'énergie (CEE)

Pour la chaufferie à granulé, le volume de CEE est calculable à partir de la fiche d'opération standardisée BAT-TH-157 « Chaudière collective biomasse ».

	Subvention CEE
Montant de subvention	6 157 €
Taux de subvention	5 %

10.2. Coût global actualisé

Les graphiques suivants présentent l'évolution en coût global actualisé sur les 30 prochaines années pour le scénario étudié :



Le coût global prend en compte l'évolution des coûts des énergies. Malgré un investissement important sur la chaufferie biomasse, les prix du kilowattheure du granulés reste plus faible que celui du fioul permettant de proposer un projet biomasse rentable après une quinzaine d'année sans aide à l'investissement. En prenant en compte les aides à l'investissement, le projet est rentable dès la troisième année d'installation.

Pour rappel, les hypothèses prises en compte dans l'étude sont les suivantes :

- Augmentation annuelle du prix du fioul : 4,0%
- Augmentation annuelle du prix de l'électricité : 5,0%
- Augmentation annuelle du prix du granulés : 4,0%
- Augmentation annuelle des coûts de maintenance : 2,5%

11. CONCLUSION

Le bâtiment Bois Belleau présente un potentiel très intéressant concernant la mise en place d'une chaufferie à granulés. L'espace disponible dans la chaufferie actuelle permet la mise en place de l'ensemble des systèmes chaudière/silo/ballon tampon. La localisation de la chaufferie et l'agencement des circulations pour les véhicules autour du bâtiment sont adaptés à une livraison par camion souffleur.

Les travaux de mise en place de la chaufferie à granulés sont basés sur les déperditions et les besoins futurs comme prévu au programme de réhabilitation du bâtiment Bois Belleau aile Est.

Le bâtiment Bois Belleau est actuellement chauffé par une chaudière fioul ancienne et peu performante, son remplacement est à prévoir à court terme. Depuis le 1^{er} juillet 2022, il n'est plus possible de remplacer une ancienne chaudière fioul par une nouvelle chaudière au fioul (ou au charbon). Il est nécessaire d'opter pour une source d'énergie moins carbonée (respectant un seuil maximal d'émission de gaz à effet de serre) pour se chauffer. La solution granulée semble la plus adaptée au remplacement de la chaufferie fioul.

La mise en place d'une chaufferie granulés présente des temps de retour sur investissement moyen à faible (avec prise en compte de l'inflation des prix des énergies) permettant de réduire la facture annuelle sur le poste de chauffage.

De plus, le projet importe aussi sur le plan environnemental. La mise en place d'une chaufferie à granulés permettrait de **réduire de 96% les émissions de CO2**.