



# Etude de Faisabilité en énergie bois

## Hôtel de ville Bénévent l'Abbaye (23)



Etat des lieux – Bilan énergétique – Etude technique – Analyse financière

Décembre 2018

Rédacteur : Karim TOULI

<b>1 - Contexte et objectifs de l'étude.....</b>	<b>2</b>
1.a - Présentation du site.....	3
1.b - Vue aérienne.....	4
1.c - Photos.....	5
1.d - Plans.....	6
1.e - Données météorologiques.....	9
1.f - Occupation.....	11



<b>2 - Caractéristiques techniques du site.....</b>	<b>13</b>
2.a - Niveau d'isolation thermique.....	14
2.b - Equipements de chauffage.....	29
2.c - Equipements de ventilation.....	36
2.d - Déperditions thermiques.....	40
2.e - Situation énergétique initiale.....	43
2.f - Définition des besoins thermiques.....	47



<b>3- analyse technique du projet de chaufferie biomasse.....</b>	<b>52</b>
3.a - Combustible biomasse.....	53
3.b - Accessibilité en chaufferie.....	55
3.c - Accessibilité pour l'approvisionnement.....	56
3.d - Point réglementaire.....	58
3.e - Chaufferie biomasse.....	59
3.f - Schéma de principe chaufferie.....	62
3.g - silo de stockage et périphériques.....	63
3.h - Consommation en combustible bois.....	68
3.i - Autonomie.....	72
3.j - Données environnementales.....	73
3.k - Exploitation.....	74
3.l - Montage juridique.....	75
3.m - Planning prévisionnel d'études et de travaux.....	76
3.n - Situation énergétique projet biomasse.....	77



<b>4- Etude économique, financière et environnementale.....</b>	<b>78</b>
4.a - Chiffrage.....	80
4.b - Analyse des coûts d'exploitation.....	82
4.c - Temps de retour sur investissement.....	91
4.d - Analyse environnementale.....	93
4.e - Aide financière.....	96



<b>5- Conclusion.....</b>	<b>98</b>
<b>6- Annexes.....</b>	<b>100</b>



## Contexte et objectifs de l'étude

---

### Contexte de l'étude

Dans le cadre de la rénovation de l'Hôtel de Ville de la commune de Bénévent L'Abbaye, le syndicat départemental d'énergie de la Creuse (SDEC23) aide la commune dans le choix d'une nouvelle source d'énergie renouvelable.

Le bâtiment est situé au cœur de la commune de Bénévent L'Abbaye. Bénévent L'Abbaye est située dans le département de La Creuse en région Nouvelle-Aquitaine. La commune comporte environ 839 habitants (donnée INSEE 2014).

Après d'importants travaux de rénovation énergétique qui se sont terminés au cours de l'année 2018, la rénovation du système de production de chauffage amène à étudier une solution au bois.

### Objectifs poursuivis

Cette étude a pour objectif de mettre en évidence la faisabilité technique et financière d'une chaufferie biomasse pour la commune de Bénévent l'abbaye.

### Contenu du rapport

Les objectifs de cette étude sont :

- D'évaluer les consommations énergétiques globales du site ;
- De déterminer l'état de la ressource en bois-énergie disponible sur le territoire et de valider son adéquation avec les consommations prévisionnelles de la chaufferie bois ;
- De définir les solutions techniques globales et particulières pour la réalisation d'une chaufferie bois (chaufferie, silo, réseau hydraulique, etc.) ;
- Comparer le projet d'ENR à une solution de référence en termes d'investissement, d'exploitation et d'impact environnemental ;
- De réaliser le chiffrage de chaque solution technique retenue et d'évaluer la rentabilité financière des investissements ;
- De mettre en évidence les gains environnementaux d'un programme d'énergie renouvelable au bois énergie.



# 01.a

## Contexte et objectifs de l'étude

### Présentation du site

---

Le site est véritablement composé de deux typologies de bâtiment avec un accès intérieur :

Ancien bâtiment sur trois niveaux :

- Au rez-de-chaussée : l'hôtel de ville
- Au premier étage : Local associatif (bureaux)
- et second étage : Local associatif

Bâtiment plus récent sur deux niveaux :

- Au rez-de-chaussée : le trésor public
- Au premier étage : la salle de réunion du conseil municipal

Les deux bâtiments disposent d'un sous-sol avec une unique chaufferie située sous le trésor public. L'ensemble est situé au cœur de la commune de Bénévent l'Abbaye.

**Surface Hors Œuvre Nette : 1 047 m<sup>2</sup>**

**Surface chauffée : 982 m<sup>2</sup>**

## 01.b

### Contexte et objectifs de l'étude

#### Vue aérienne

---

La photo ci-dessous présente la vue aérienne avec en encadré rouge l'hôtel de ville et le trésor public (vue aérienne orientée au Nord) :



L'hôtel de ville est principalement orienté à l'Est tandis que le bâtiment du trésor public est orienté au Nord. La façade sud est exposée sur des parcelles de privés et est en partie accolée à d'autres bâtiments.

# 01.c

## Contexte et objectifs de l'étude

### Photos

---

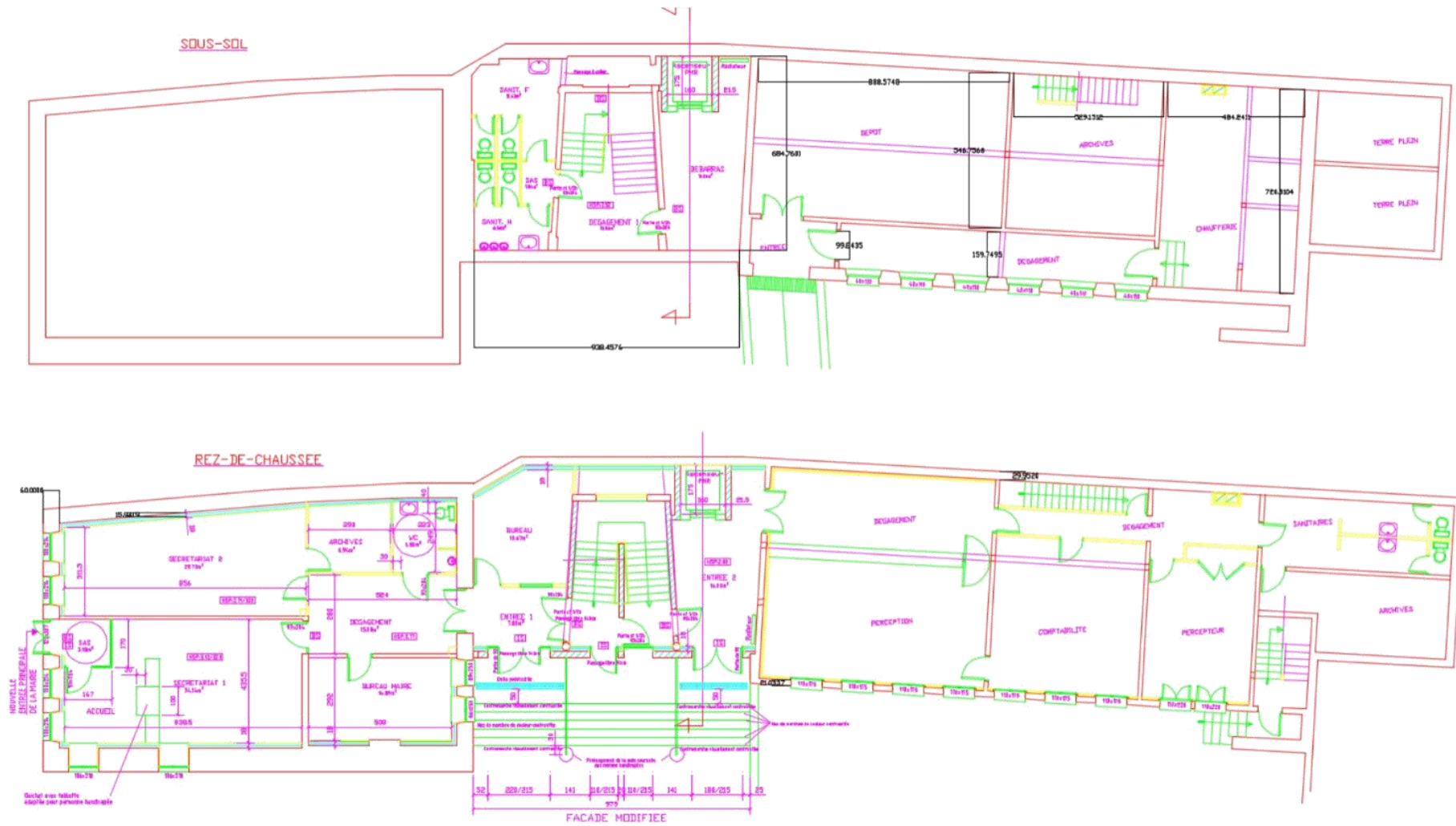
Hôtel de ville (RDC) – Locaux associatifs (R+1 et R+2)

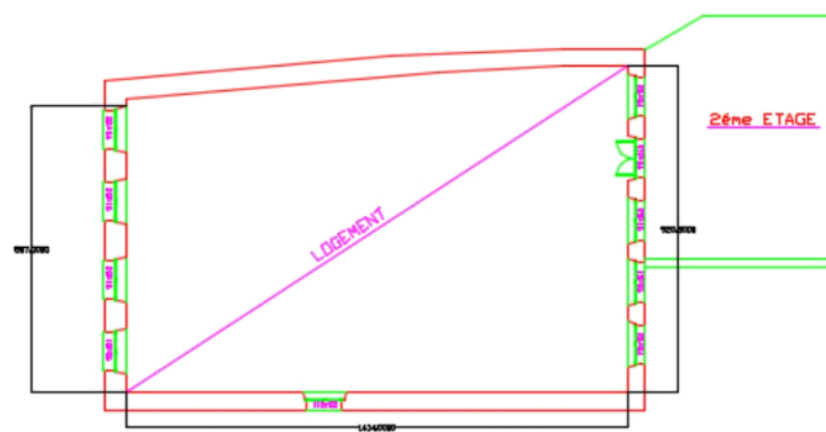
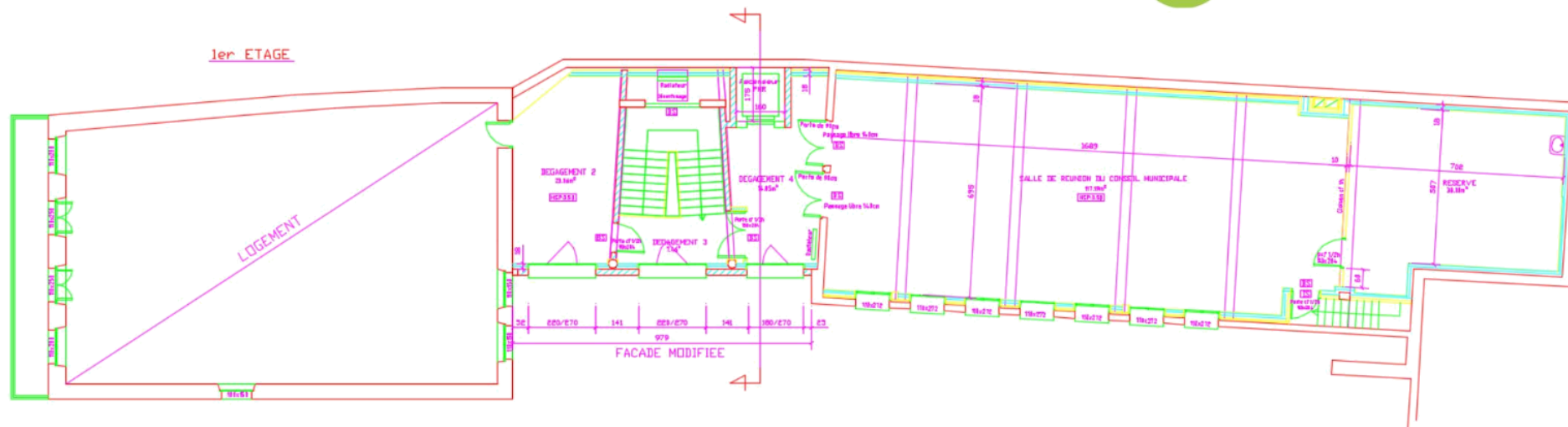


Trésor public (RDC) et salle de conseil municipal (R+1)











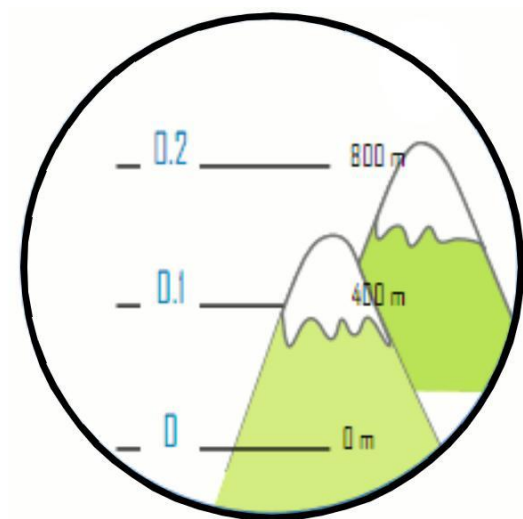
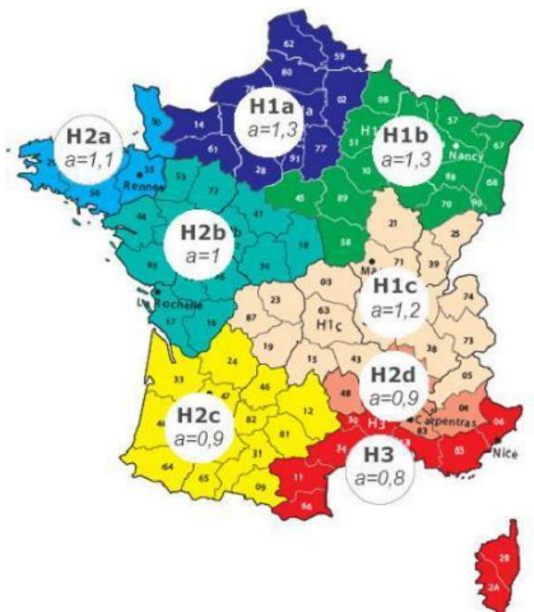
# 01.e

## Contexte et objectifs de l'étude

### Données météorologiques

Zone climatique : H1C

Altitude : 480m



Température extérieure de base : -9°C

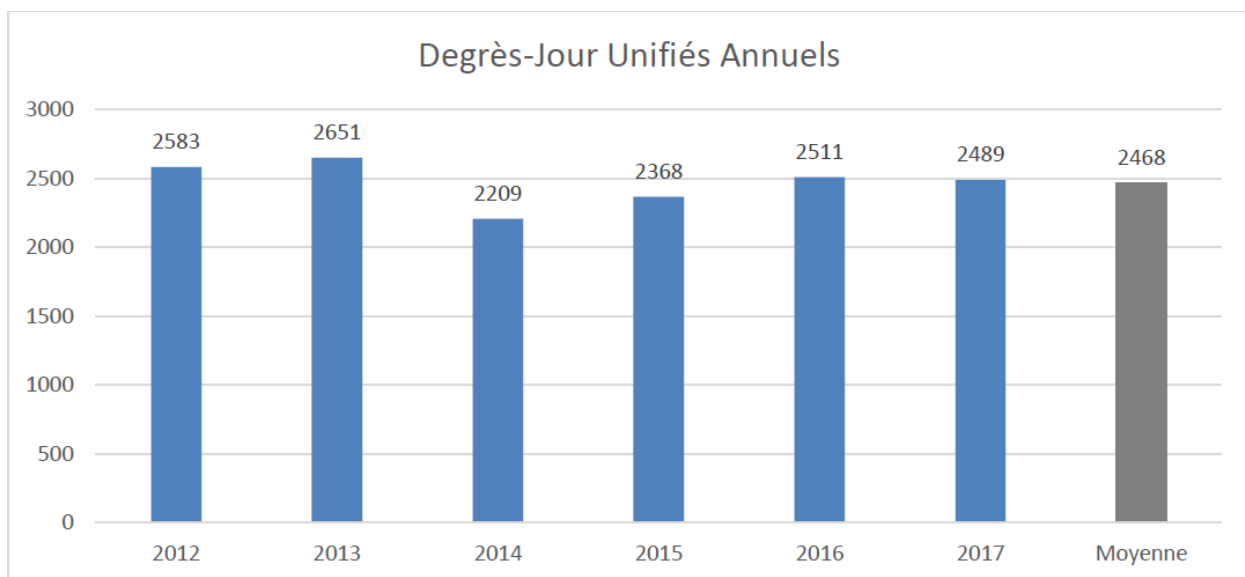
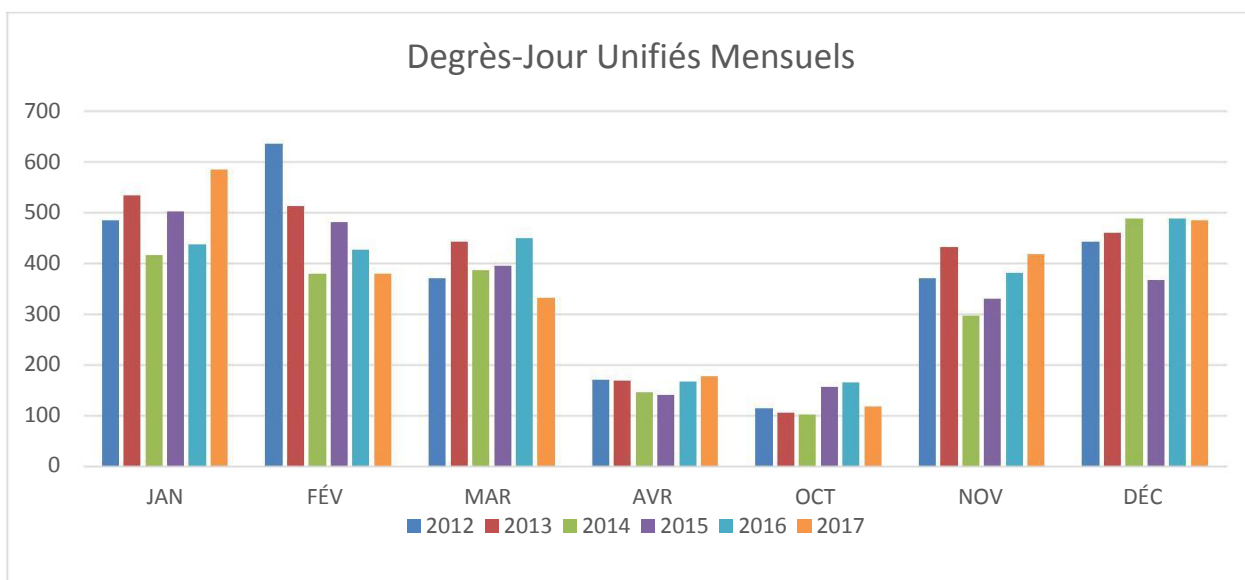


	Moy	1973 - 2016
Température moyenne annuelle [°C]	12,5 °C	11,6 °C
Température Minimale moyenne annuelle [°C]	8,1 °C	7,7 °C
Température Maximale moyenne annuelle [°C]	16,6 °C	16,2 °C
Pluviométrie annuelle moyen [mm]	715	514
Ensoleillement	1853 h	1849 h

Afin de prendre en considération la rigueur climatique, nous utilisons les Degrès Jours Unifiés (DJU). Les degrés Jours Unifiés (DJU) sont utilisés pour qualifier la rigueur d'un climat et caractériser ainsi une consommation de chauffage.

Les DJUs représentent l'écart de température entre une température intérieure de chauffage et la température extérieure moyenne de la journée.

Les graphiques suivants présentent les DJUs relevés de 2012 à 2017 sur la station météorologique Météo France de Guéret. Il est plus opportun de s'appuyer sur des DJUs récents plutôt que sur des DJUs trentenaires en raison du changement climatique.



La saison de chauffage s'étend du 15 octobre au 15 avril. Nous considérerons un DJU moyen de 2 468 °C/Jour dans cette étude pour une température intérieure de chauffage de 20°C.

# 01.f

## Contexte et objectifs de l'étude

### Occupation

---

Le bâtiment présente trois plannings d'occupation différents correspondant à chaque type d'usage :

	Hôtel de ville	Trésor public
Lundi	8h30-12h 14h-17h	8h30-12h 14h-17h
Mardi	8h30-12h 14h-17h	8h30-12h 14h-17h
Mercredi	8h30-12h 14h-17h	8h30-12h 14h-17h
Jeudi	8h30-12h 14h-17h	8h30-12h 14h-17h
Vendredi	8h30-12h 14h-17h	8h30-12h 14h-17h
Samedi	-	-
Dimanche	-	-

La salle de réunion du conseil municipal est occupée à fréquence d'une fois par mois en soirée.  
Les deux logements seront considérés avec un niveau d'occupation type habitation.

## Planning d'occupation par zone

## Mairie et trésor public

[illegible]

### Local Associatif R+1 et R+2

	0h		6h		6h		7h		8h		9h		10h		11h		12h		13h		14h		15h		16h		17h		18h		19h		20h		21h		22h		23h																																									
	00:00	00:15	00:30	00:45	06:00	06:15	06:30	06:45	06:00	06:15	06:30	06:45	07:00	07:15	07:30	07:45	08:00	08:15	08:30	08:45	09:00	09:15	09:30	09:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00	21:15	21:30	21:45	22:00	22:15	22:30	22:45	23:00	23:15	23:30	23:45
Lundi																																																																																
Mardi																																																																																
Mercredi																																																																																
Jeudi																																																																																
Vendredi																																																																																
Samedi																																																																																
Dimanche																																																																																

# 02

## Caractéristiques techniques du site

---

Ce chapitre présente un descriptif détaillé du bâtiment :

- Niveau d'isolation thermique et d'étanchéité à l'air du bâtiment :
  - Menuiseries extérieures
  - Parois verticales : murs exposés sur l'extérieur et des locaux non chauffés
  - Plafonds : combles et toitures terrasses
  - Planchers : plancher sur terre-plein, plancher sur extérieur ou sur locaux non chauffés
  - Le type de ventilation

Ce descriptif permettra d'évaluer le niveau de déperdition thermique du bâtiment.

- Détail des équipements techniques impactant les consommations en chauffage :
  - Le système de chauffage (production, distribution, émission, régulation)

Ce descriptif permettra d'évaluer le rendement global de l'installation de chauffage du bâtiment.



## Niveau d'isolation thermique

---

Chaque paroi composant le bâtiment est décrite de telle façon à qualifier le niveau de performance thermique global de l'enveloppe du bâtiment. L'objectif est ici de comparer chaque paroi par rapport aux exigences de la réglementation thermique en rénovation. A titre de comparaison, la performance thermique exigée avec les standards d'isolation actuels est présentée à travers les certificats d'économie d'énergie (C2E).

La performance des parois dit « opaques » (murs, plafonds et planchers) est représentée par l'indicateur « résistance thermique de paroi –  $R_p$  ». Il s'exprime en  $m^2.K/W$ . Plus la valeur est élevée et plus la paroi est performante. Il ne faut pas confondre avec le « R isolant » qui traduit la résistance thermique de l'isolant seul.

La performance des parois dit « vitrées » (fenêtres, portes vitrées, baies ...) est représentée par l'indicateur « conductivité thermique de la menuiserie –  $U_w$  (U window) ». Il s'exprime en  $W/m^2.K$ . Plus la valeur est faible et plus la menuiserie est performante. Lors de la présence d'une protection nocturne, on qualifie la performance thermique de la menuiserie et des volets. On utilise alors le  $U_{jn}$  (U jour/U nuit).

Les surfaces présentées sont données à titre indicatif. Elles sont arrondies et ne peuvent servir de base de chiffrage pour l'élaboration des travaux de rénovation. Pour rappel, cette étude est réalisée pour évaluer la faisabilité des travaux de rénovation. C'est la mission de maîtrise d'œuvre qui établira le quantitatif exact.

Légende :



Niveau de performance adapté. Il n'est pas conseillé d'intervenir sur ce poste.



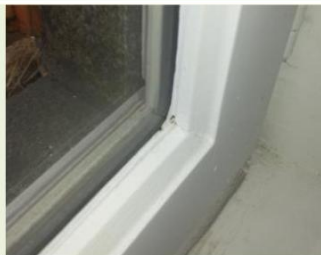
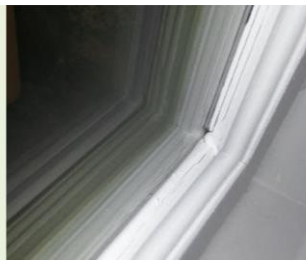
Niveau de performance acceptable compte tenu de la réglementation thermique existante mais il est possible de renforcer l'isolation pour générer des économies supplémentaires et atteindre un objectif énergétique plus ambitieux.



Faible niveau de performance obligeant à la réalisation de travaux de rénovation.



## FENETRES & PORTES

Type/Protection	Surface /Part	Uw	Ujn	Etanchéité	Performance	Avis de l'expert	Photo
<b>Bois Double Vitrage 6mm avec lame d'air</b> Hôtel de ville : accueil/secrétariat <span>✗</span> Etanchéité à l'air partielle car absence de joint d'étanchéité entre les ouvrants et la menuiserie.	8 m <sup>2</sup> 6,3 %	2,80	2,80	Médiocre	Médiocre	<b>A remplacer</b>	
Type/Protection	Surface /Part	Uw	Ujn	Etanchéité	Performance	Avis de l'expert	Photo
<b>Bois Double Vitrage 16mm avec lame d'argon</b> Hôtel de ville, trésor public et local associatif <span>✓</span> Bonne étanchéité à l'air avec présence d'un joint d'étanchéité.	118 m <sup>2</sup> 93,7 %	1,50	1,50	Très bonne	Très bonne	<b>A conserver</b>	



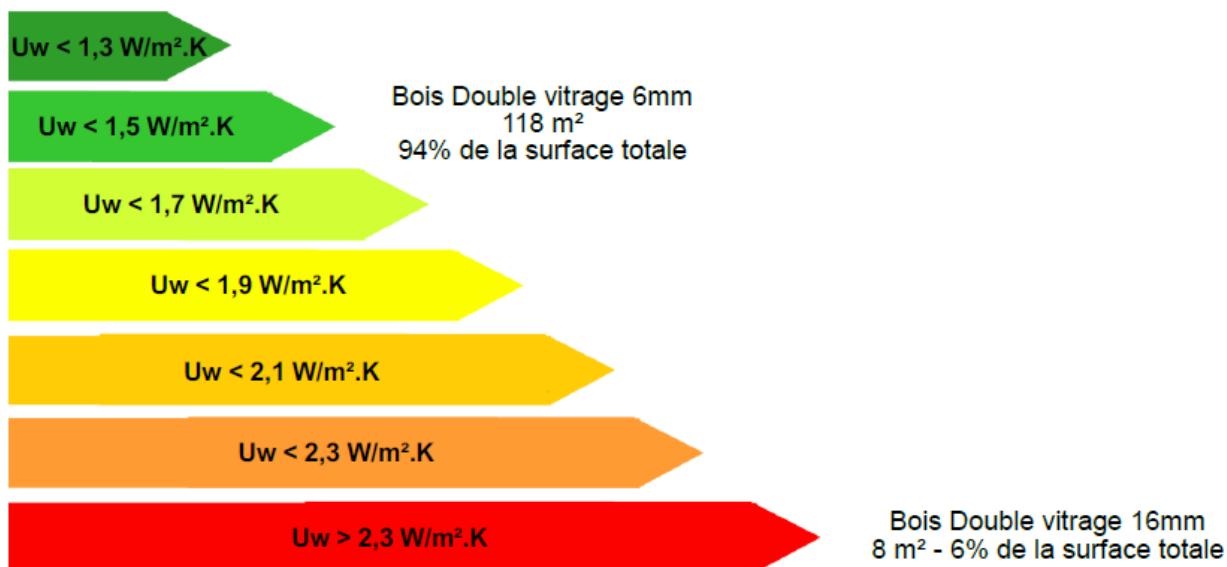
RT Rénovation  
Réglementation  
Thermique

Objectif RT Rénovation :  $U_w < 1,9 \text{ W/m}^2\text{.K}$

Objectif\* C2E :  $U_w < 1,3 \text{ W/m}^2\text{.K}$



## Echelle de performance



### ANALYSE DES MENUISERIES EXTERIEURES









94% des menuiseries ont été remplacées en 2017/2018 ce qui permet d'afficher de bonnes performances thermiques et d'offrir un bon niveau de confort dans le bâtiment.


En revanche, les autres menuiseries en bois (6% des vitrages) présentent de faibles performances thermiques et engendrent des déperditions de chaleur (déperditions surfaciques et déperditions volumiques liées aux infiltrations d'air). Elles sont situées au secrétariat ce qui n'est pas cohérent puisqu'il s'agit d'une des pièces de l'hôtel de ville la plus occupée. Cette faible performance induit également un effet de paroi froide, créant de l'inconfort thermique.

De par leur faible performance, le remplacement de ces équipements par des doubles vitrages performants est primordial du point de vue thermique. Les vitrages devront comporter un traitement solaire pour le confort d'été ( $S_w \geq 0,36$ ). La rénovation des fenêtres permettra de supprimer les courants d'air et de maîtriser les débits de renouvellement d'air avec la ventilation mécanique.

Suivant les avis techniques des fabricants, un  $U_w$  de  $1,3 \text{ W/m}^2.K$  peut être atteint avec une menuiserie double vitrage en bois ou en PVC de 16mm avec remplissage air ou argon. Un  $U_w$  de  $1,7 \text{ W/m}^2.K$  peut être atteint avec une menuiserie double vitrage en aluminium de 18mm avec remplissage argon et un rupteur de pont thermique.

# MURS


Type	Surface Part totale	Résistance thermique paroi	Performance	Avis de l'expert	Photo
 <p>Mur isolé par l'intérieur : Mur en pierre avec doublage intérieur en laine de roche de 16cm avec parement en plaque de plâtre</p> <p><u>Localisation : Hôtel de ville</u></p>	99 m <sup>2</sup> 16 %	5,26 m <sup>2</sup> .K/W	Très bonne	RAS	
 <p>Mur isolé par l'intérieur : Mur en agglo. avec doublage intérieur en laine de roche de 16cm avec parement en plaque de plâtre</p> <p><u>Localisation : Hôtel de ville et salle de réunion</u></p>	57 m <sup>2</sup> 9 %	5,32 m <sup>2</sup> .K/W	Très bonne	RAS	
 <p>Mur non isolé : Mur en agglo. de 30cm avec doublage en brique creuse de 5cm intégrant une lame d'air de 4cm</p> <p><u>Localisation : Trésor public</u></p>	288 m <sup>2</sup> 46 %	0,85 m <sup>2</sup> .K/W	Médiocre	A isoler	
 <p>Mur non isolé en pierre.</p> <p><u>Localisation : Locaux associatifs</u></p>	180 m <sup>2</sup> 29 %	0,38 m <sup>2</sup> .K/W	Médiocre	A isoler	



RT Rénovation  
Réglementation  
Thermique

Objectif RT Rénovation :  $R_{\text{paroi}} > 3,2 \text{ m}^2.\text{K/W}$

Objectif\* C2E :  $R_{\text{isolant}} > 3,7 \text{ m}^2.\text{K/W}$

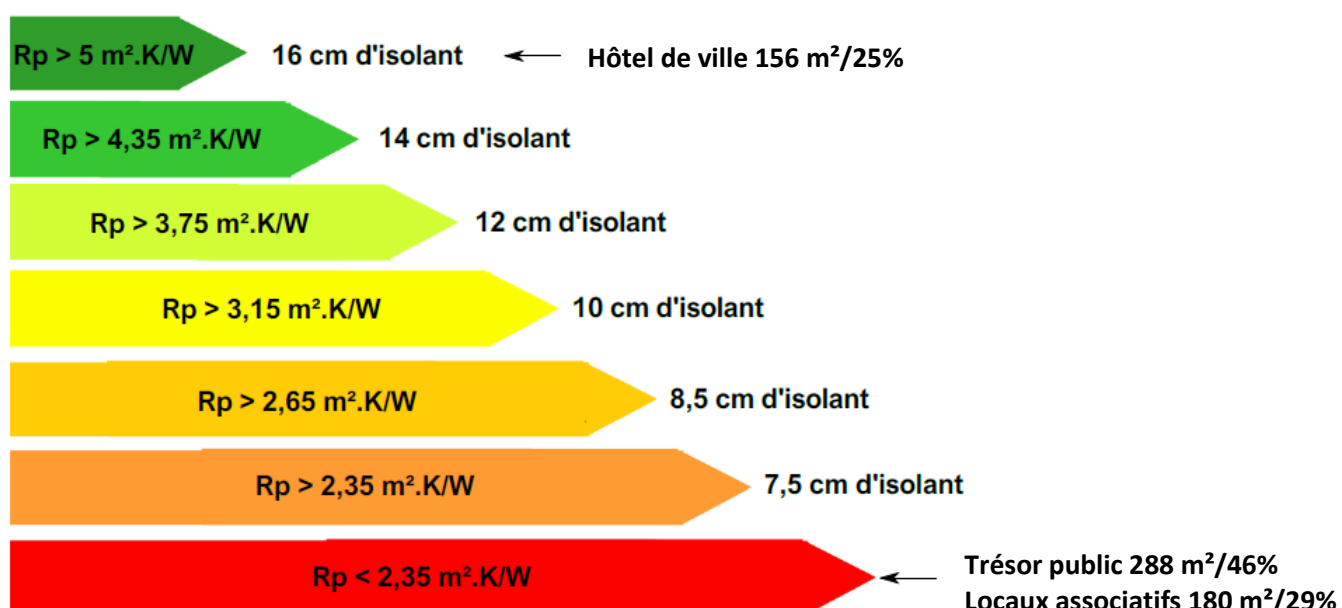


**Performance conseillée : Résistance Thermique isolant  $> 5 \text{ m}^2.\text{K/W}$**

Isolant biosourcé : Panneau fibre de bois 20cm –  $R = 5 \text{ m}^2.\text{K/W}$

Isolant classique : Polystyrène Expansé/Laine minérale 16cm –  $R = 5 \text{ m}^2.\text{K/W}$

## Echelle de performance



*Isolant présenté : Polystyrène expansé nouvelle génération (conductivité thermique de  $0,032 \text{ W/m}^2.\text{K}$ )*

## ANALYSE

Pour 75% des murs de ce site, le niveau d'isolation thermique global des parois reste très faible puisque les murs ne sont pas isolés et comportent une résistance thermique **R inférieure à 0,85** m<sup>2</sup>.K/W. Ce qui est insuffisant au regard de la Nouvelle Réglementation Thermique en Rénovation ( $R_{\min} = 3,2$  m<sup>2</sup>.K/W) et des standards dans le neuf (Risolant > 3,7 m<sup>2</sup>.K/W).

Seuls les murs de l'Hôtel de ville sont correctement isolés mais ils ne représentent que 25% de la surface totale des murs du site.

Il est conseillé de cibler, une résistance thermique R de 5 m<sup>2</sup>.K/W ce qui représente 16cm de laine de verre ou 19cm de fibre de bois. Contre 12 cm et 14 cm pour un R de 3,7 m<sup>2</sup>.K/W. On conseillera d'isoler avec des niveaux élevés puisque le coût de l'isolant ne représente qu'environ 31% de la facture. Le surcoût représente alors 12%.

Afin de conserver l'inertie thermique tout en améliorant l'isolation thermique, il est conseillé d'isoler les murs par l'extérieur. Dans certains cas contraignants où l'isolation thermique des murs par l'intérieur est plus simple à réaliser il peut tout de même être opportun d'isoler quelques murs par l'extérieur afin d'offrir de l'inertie thermique. Cependant, il faudra alors être vigilant aux ponts thermiques.

L'isolation thermique par l'extérieur (ITE) à elle seule est plus coûteuse que l'isolation par l'intérieur (ITI) mais l'ITE présente de nombreux atouts :

- Pas de réduction de la surface utile ;
- Réduction des ponts thermiques ;
- Meilleures inerties thermiques ;
- Il n'est pas nécessaire de modifier les installations électriques (prises de courants, prises réseau, interrupteurs, radiateurs électriques...) ;
- Il n'est pas nécessaire de déplacer le système de chauffage, surtout lorsqu'il s'agit d'un chauffage central (radiateurs à eau, tuyauteries ...) ;
- Les travaux peuvent être réalisés en site occupé ;
- Léger surcoût lorsqu'il s'agit d'un ravalement de façade.




Globalement, l'isolation thermique par l'extérieur présente plus d'avantages que l'isolation par l'intérieur. En revanche, l'ITI s'avère être une solution incontournable en cas de façade protégée architecturalement.

Un isolant classique type laine minérale permettra de renforcer le niveau d'isolation des murs à moindre coût (€) mais d'un point de vue environnemental l'énergie grise nécessaire à la fabrication de la laine de verre est 7,8 fois plus importante que celle nécessaire pour la laine de bois. Ces isolants comportent des allergènes réduits et sont naturels. L'utilisation d'isolants biosourcés peut bénéficier d'une aide financière spécifique et les bâtiments qui utilisent des isolants biosourcés peuvent être labélisés « bâtiment biosourcé ».


Les isolants biosourcés sont des isolants naturels qui offrent un meilleur confort en été puisque la température extérieure pénètre plus lentement dans le bâtiment.


Notion de déphasage thermique : Si la température extérieure est de 35°C, alors l'importance d'avoir une excellente isolation est primordiale. En effet, si dans le bâtiment la température est à ce moment-là de 21 °C, il y a de fortes chances que celle-ci augmente. Mais si l'isolation est performante, le déphasage thermique fera que la température ne pourra augmenter que lentement, voire pas du tout, pendant quelques heures. Parallèlement, la nuit, l'isolant restituera la chaleur emmagasinée dans la journée dans le bâtiment, limitant ainsi la fraîcheur pour un confort thermique irréprochable.

## PLAFONDS

Type	Surface Part totale	Résistance thermique de la paroi	Performance	Avis de l'expert	Photo
<p><b>Toiture terrasse :</b></p> <p>Membrane d'étanchéité avec isolant extérieur en verre cellulaire. Faux plafond avec dalle en laine de roche 4cm et lame d'air</p> <p>Localisation : Salle de réunion</p>	232 m <sup>2</sup> 66,3 %	4,5 m <sup>2</sup> .K/W	Moyenne	<b>Isolation à renforcer</b>	
<p><b>Combles perdus :</b></p> <p>Plancher de combles en bois (3cm) avec rouleaux de laine de verre de 18cm posés sur le plancher.</p> <p>Localisation : Local associatif R+2</p>	118 m <sup>2</sup> 33,7 %	4,90 m <sup>2</sup> .K/W	Très moyenne	<b>Isolation à renforcer</b>	 








RT Rénovation  
Réglementation  
Thermique

**Objectif RT Rénovation :  $R_{\text{paroi}} > 5,2 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  (combles perdus)**  
 **$R_{\text{paroi}} > 4,5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  (toiture terrasse)**


**Objectif C2E :  $R_{\text{isolant}} > 7 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  (combles perdus logement)**  
 **$R_{\text{isolant}} > 6 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  (rampants de toiture et combles perdus tertiaire)**  
 **$R_{\text{isolant}} > 4,5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  (toiture terrasse)**  
**Faux plafond non éligibles**



**Performance conseillée : Résistance Thermique isolant =  $10 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$**

Isolant biosourcé : Ouate de cellulose en flocon 45cm –  $R = 9,5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$


Isolant classique : Laine minérale en flocon 47cm –  $R = 10 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$



RT Rénovation  
Réglementation  
Thermique

**Objectif RT Rénovation :  $R_{\text{paroi}} > 5,2 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  (combles perdus)**  
 **$R_{\text{paroi}} > 4,5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  (toiture terrasse)**

**Objectif C2E :  $R_{\text{isolant}} > 7 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  (combles perdus logement)**  
 **$R_{\text{isolant}} > 6 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  (rampants de toiture et combles perdus tertiaire)**  
 **$R_{\text{isolant}} > 4,5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  (toiture terrasse)**  
**Faux plafond non éligibles**

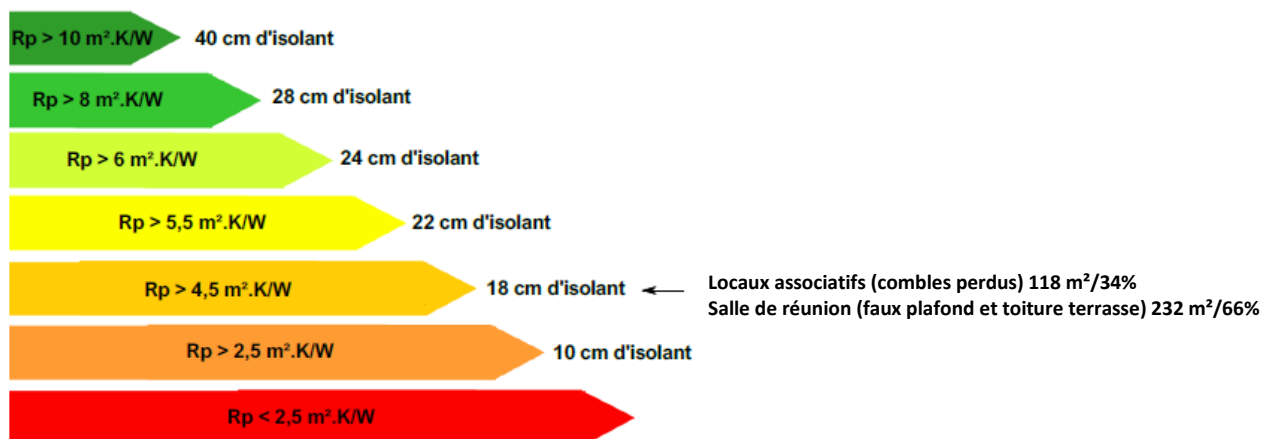


**Performance conseillée : Résistance Thermique isolant =  $10 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$**

Isolant biosourcé : Ouate de cellulose en flocon 45cm –  $R = 9,5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

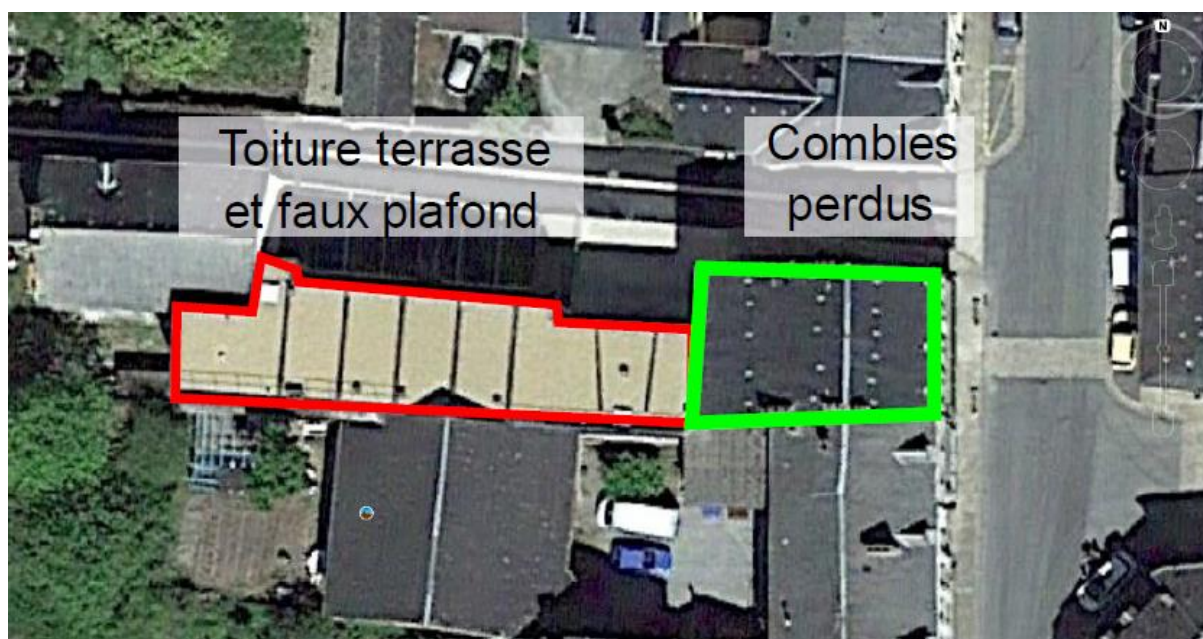
Isolant classique : Laine minérale en flocon 47cm –  $R = 10 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

## Echelle de performance



Isolant présenté : Laine de verre (conductivité thermique 0,035 W/m².K)

## Localisation des types de plafond



## ANALYSE

**Descriptif des toitures terrasses :** Le plafond de la salle de réunion bénéficie d'un unique isolant de type verre cellulaire sur dalle de toiture terrasse mais sans isolant en faux plafond ce qui amène à un niveau de performance relativement moyen (Résistance thermique de paroi de  $4,5 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$ ).

Il pourrait être disposé des rouleaux d'isolant en faux plafond ce qui permettrait d'améliorer l'isolation thermique et acoustique. La pose de rouleaux de 18cm d'épaisseur (soit une résistance thermique équivalente de  $4,5 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$ ) permettrait d'atteindre un niveau global d'au moins  $9 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ce qui serait excellent.

**Descriptif des combles perdus accessibles :** Le logement situé au dernier étage est isolé avec 18cm de laine de verre en rouleau ce qui amène à une résistance thermique de  $4,9 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ce qui est très moyen. La Nouvelle Réglementation Thermique dans l'existant exige au minimum un coefficient de  $5,2 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$ .










Le renforcement de l'isolation dans les combles peut facilement être réalisé avec un nouvel isolant rapporter sur l'ancien en rouleau ou en flocon. L'ancien isolant peut être conservé mais il peut parfois être judicieux de le déposer afin de réaliser un diagnostic de l'état du plancher des combles notamment s'il est composé de bois (diagnostic termite et structurel).

L'isolant projeté permet d'isoler plus facilement les zones difficiles d'accès tout en bénéficiant d'un coût de pose relativement bas tandis qu'en rouleau ou en panneau les coûts de la main d'œuvre sont plus importants. On veillera à isoler ou à relever les installations sensibles telles que les boîtiers électriques, les équipements d'éclairage et les caissons de ventilation qui ne doivent pas être en contact avec l'isolant. On posera un platelage de circulation pour éviter de tasser l'isolant lors d'opérations de maintenance. La trappe d'accès devra être isolée et relevée en son pourtour. Dans le cas d'un isolant en rouleau, il faudra veiller à ne pas poser de membrane pare-vapeur sur un ancien isolant. Cela risquant d'emprisonner de l'humidité dans l'isolant. Dans le cas d'un isolant en flocon, on veillera à éviter que l'isolant puisse « s'envoler » dans les combles en posant si besoin une membrane sous couverture.

D'un point de vue environnemental, l'énergie grise nécessaire à la fabrication de la laine de verre est 7,8 fois plus importante que celle nécessaire pour la laine de coton ou de la ouate de cellulose. Ces isolants naturels comportent des allergènes réduits et sont naturels. L'utilisation d'isolants biosourcés peut permettre de bénéficier d'une aide financière spécifique et les bâtiments qui utilisent des isolants biosourcés peuvent être labélisés « bâtiment biosourcé ».

Les isolants biosourcés sont des isolants naturels qui offrent un meilleur confort en été puisqu'ils disposent d'une meilleure capacité thermique. Ainsi, un pic de chaleur en été entre 12h et 14h avec une laine de verre se fera ressentir dans le bâtiment en plein après-midi tandis qu'avec une ouate de cellulose le déphasage thermique ne pénétrera qu'en milieu de nuit là où les températures sont déjà les plus fraîches.

Concernant les standards de rénovation, il est préconisé d'atteindre une résistance thermique globale d'au moins  $9 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ce qui équivaut à 36cm d'isolant (conductivité thermique de  $0,04 \text{ W}/\text{m.K}$ ).

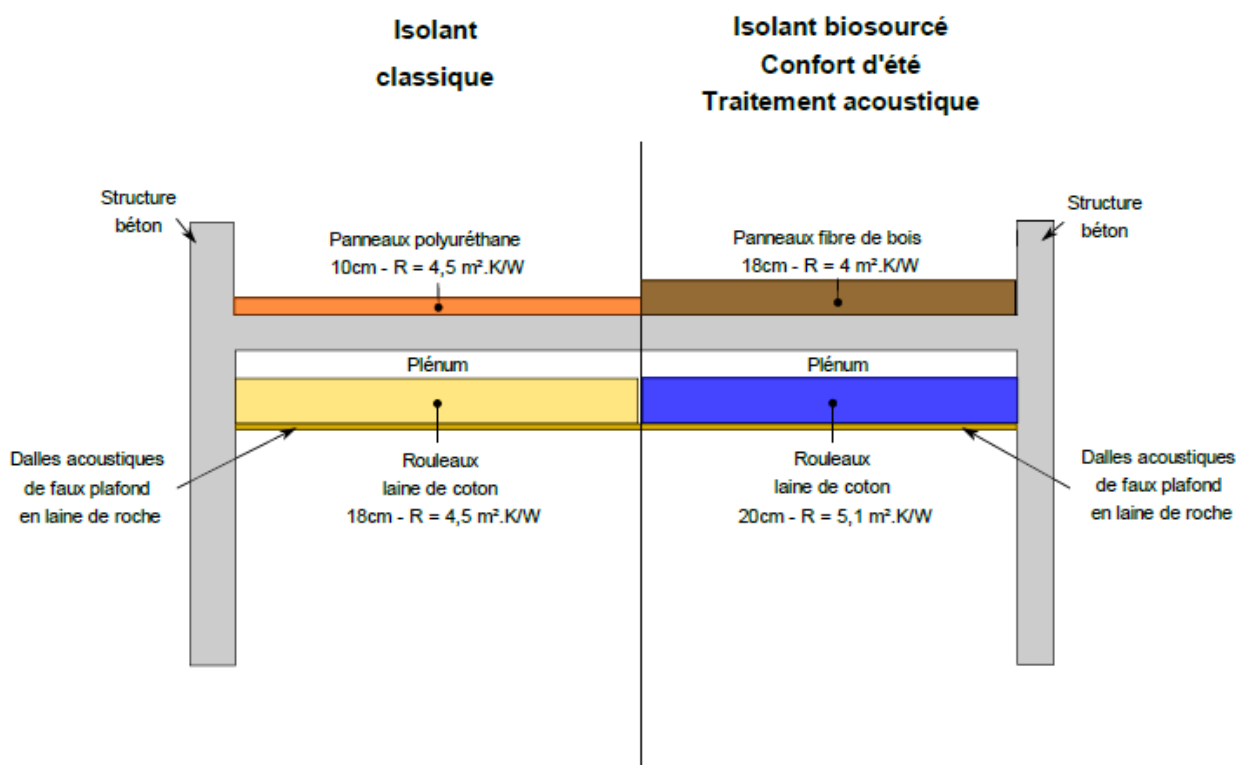
			Rouleau	Panneau semi-rigide	Panneau rigide	Flocon soufflage	Flocon insufflation	Flocon projection humide
TOITURE TERRASSE	Isolation Extérieure en sur face de dalle		✓	✓	✓	✗	✗	✗
	Isolation Intérieure en sous face de dalle		✓	✓	✓	✗	✗	✓
COMBLES	Isolation par l'intérieur des combles aménagés		✓	✓	✓	✗	✓	✓
	Isolation par l'extérieur des combles aménagés		✗	✗	✓	✗	✗	✗
	Isolation des combles perdus		✓	✓	✓	✓	✗	✗
TOITURE METALLIQUE	Isolation par l'extérieur		✗	✗	✓	✗	✗	✗
	Isolation par l'intérieur		✓	✓	✓	✗	✗	✓
	Faux plafond démontable		✓	✓	✗	✗	✗	✗
	Faux plafond non démontable		✓	✓	✗	✓	✓	✗

Selon les configurations, il est possible de combiner plusieurs systèmes d'isolation :






Exemple avec une **TOITURE TERRASSE** :

**Version isolant classique** : Isolation par l'extérieur avec 10cm de mousse polyuréthane de résistance thermique R de  $4,5 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ( $\text{l}=0,022 \text{ W}/\text{m.K}$ ) et isolation thermique par l'intérieur avec un faux plafond démontable en dalle acoustique (laine de roche de 3cm) comprenant 18cm de laine minérale de résistance thermique R de  $4,5 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ( $\text{l}=0,04 \text{ W}/\text{m.K}$ ). La résistance thermique globale de la parois atteint alors  $10,2 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$ .

**Version isolant biosourcé** : Isolation par l'extérieur avec 18cm de panneaux de fibre de bois de résistance thermique R de  $4 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ( $\text{l}=0,041 \text{ W}/\text{m.K}$ ) et isolation thermique par l'intérieur avec un faux plafond démontable en dalle acoustique (laine de roche de 3cm) comprenant 20cm de laine de coton recyclé de résistance thermique R de  $5,1 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  ( $\text{l}=0,039 \text{ W}/\text{m.K}$ ). La résistance thermique globale de la parois atteint alors  $10,3 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$ .



## PLANCHERS

Type	Surface Part totale	Résistance thermique	Performance Photo	paroi
 Plancher sur sous-sol non isolé <u>Localisation : Hôtel de ville</u>	36 m <sup>2</sup> 10,3 %	0,81 m <sup>2</sup> .K/W	Médiocre	
 Plancher sur sous-sol non isolé <u>Localisation : Trésor public</u>	167 m <sup>2</sup> 48 %	0,80 m <sup>2</sup> .K/W	Médiocre	
 Plancher sur terre-plein non isolé <u>Localisation : Hôtel de ville</u>	145 m <sup>2</sup> 41,7 %	2 ,46 m <sup>2</sup> .K/W	Médiocre	-



Objectif RT Rénovation : R paroi > 3 m<sup>2</sup>.K/W

Objectif\* C2E : R isolant > 3 m<sup>2</sup>.K/W



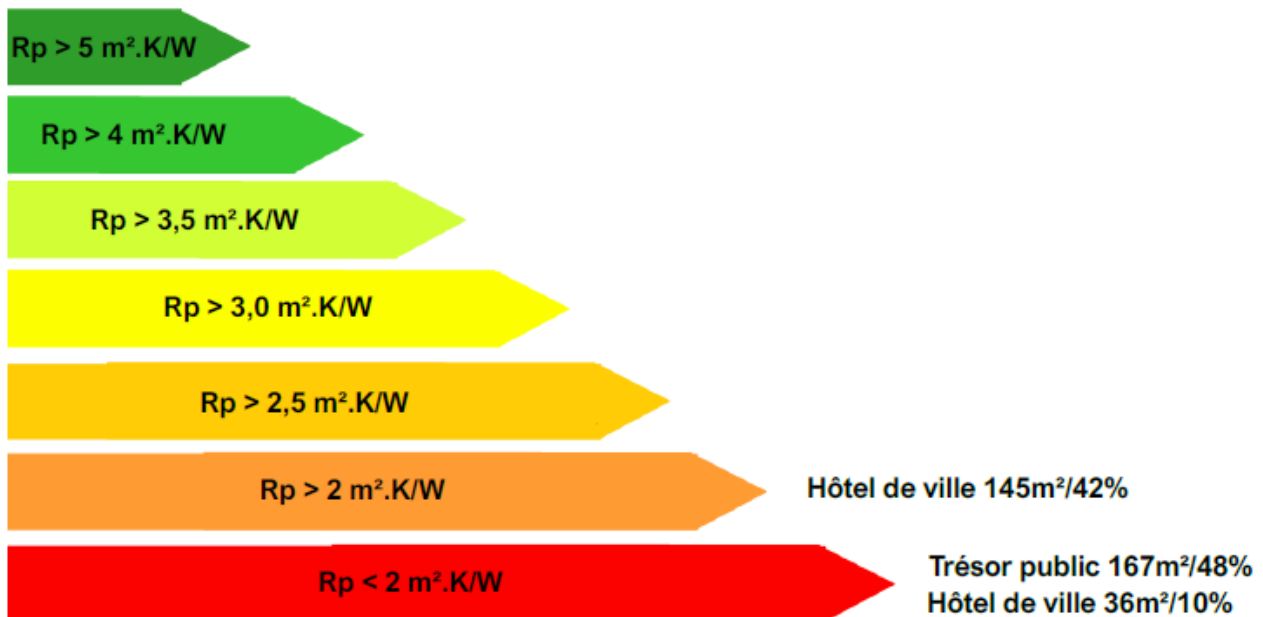
**Performance conseillée : Résistance Thermique isolant > 5 m<sup>2</sup>.K/W**

Isolant biosourcé : Ouate de cellulose 20cm – R = 5 m<sup>2</sup>.K/W

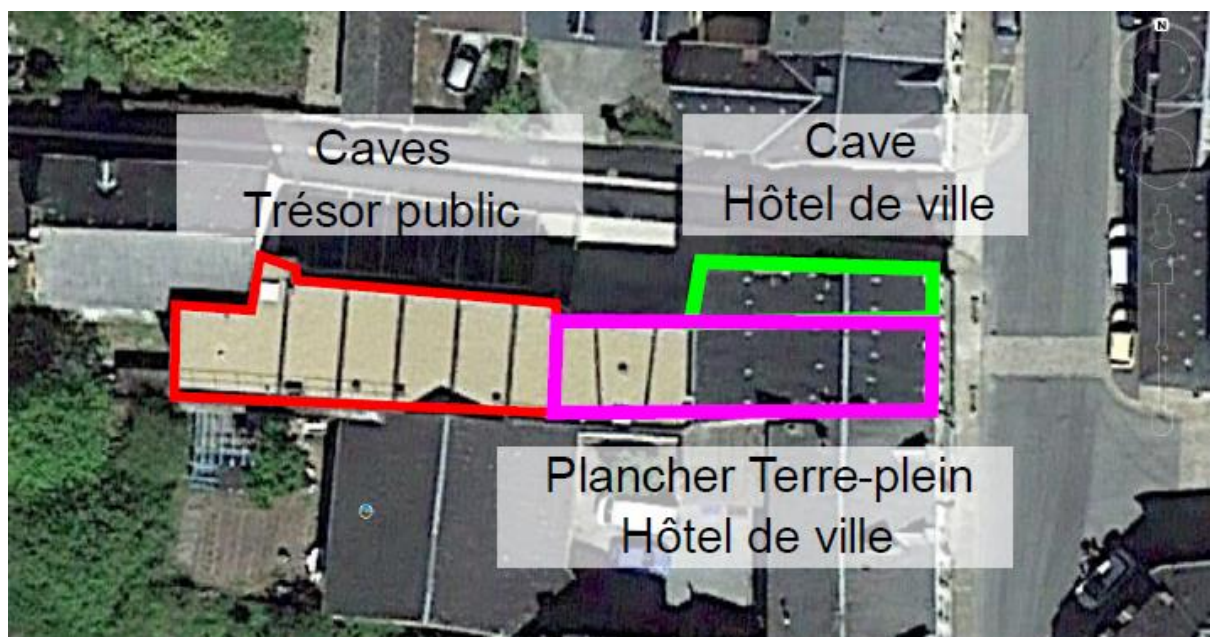
Isolant classique : Polystyrène Expansé/Laine minérale 16cm – R = 5 m<sup>2</sup>.K/W



## Echelle de performance



## Localisation des types de plancher



**Descriptif plancher sur local non chauffé (caves) :**

58% des planchers sont exposés sur des caves. Ils ne sont pas isolés ce qui amène à une résistance thermique de  $0,80 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ . La Nouvelle Réglementation Thermique dans l'existant exige au minimum une résistance thermique d'isolant  $R$  de  $3 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ .

L'isolation de tels planchers peut être facilement réalisée et dépend du type de surface :

- Surface non isolée : projection d'un isolant humide en sous face (polyuréthane, laine de roche, ouate de cellulose)

Selon les configurations, l'isolant devra comporter un comportement au feu adapté.

Il est conseillé d'isoler le plancher avec un isolant atteignant une résistance thermique  $R$  de  $4 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  ce qui équivaut à 12cm de polyuréthane projeté, à 15cm de panneaux en laine de verre ou de ouate de cellulose projetée.

Les planchers en béton pourront être isolés avec un polyuréthane projeté, une laine de roche ou une ouate de cellulose humide.

Les planchers en pierre ou tous matériaux naturels doivent être isolés avec des matériaux respirants comportant un coefficient de diffusion à la vapeur d'eau adapté. Les isolants biosourcés sont d'ailleurs plus adaptés.

Il est conseillé d'utiliser des isolants comportant une énergie grise réduite. A titre de comparaison, un polyuréthane nécessite  $1\,000 \text{ kWh}/\text{m}^3$  contre  $150 \text{ kWh}/\text{m}^3$  pour une laine de roche et seulement  $50 \text{ kWh}/\text{m}^3$  pour une ouate de cellulose.

**Descriptif plancher sur terre-plein :**

Les planchers sur terre-plein anciens sont très rarement isolés. Le site comporte 42% de plancher sur terre-plein non isolé. Les planchers sur terre-plein représentent un poste difficile à isoler puisque les travaux sont lourds, coûteux et imposent d'immobiliser le bâtiment. En effet, l'isolation d'un tel plancher impose de rehausser le plancher bas : pose de panneaux d'isolant (12cm d'épaisseur environ) avec création d'une nouvelle chape en béton de 5cm.

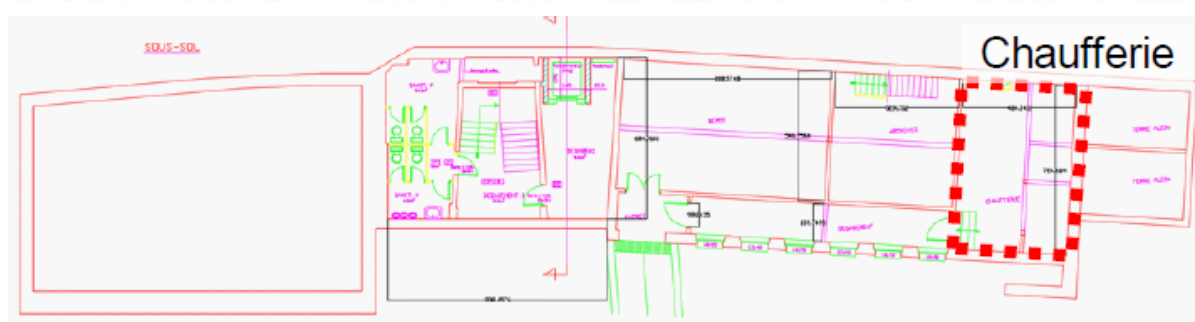
D'importantes modifications sont alors à prévoir au niveau des menuiseries intérieures et extérieures (hauteur de passage, hauteur de seuil, accessibilité pour les personnes à mobilité réduite). Les équipements techniques tels que les radiateurs, le réseau de chauffage et les prises électriques doivent être rehaussés en conséquence. Il est important de noter que les déperditions par le sol (terrestre) sont moins importantes qu'avec l'air extérieur puisque la terre est un isolant naturel.

## 02.b

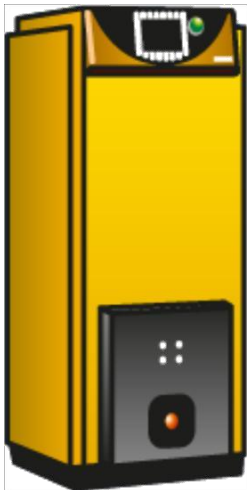
### Caractéristiques techniques du site

## Equipements de chauffage

Le site dispose d'une chaufferie fonctionnant au fioul située en sous-sol du trésor public.



## Production de chauffage



Chaudière basse température – De Dietrich modèle GT308



Fioul



Puissance unitaire : 230 kW



Rendement à charge 100% : 91,7%

Rendement à charge partielle : 93,5%

Rendements mesurés moyens : 93,1%



Fabrication : 2000

Durée de vie théorique atteinte : 72% (sur la base de 25ans)



Puissance électrique absorbée à charge 100% : 207W

Puissance électrique absorbée à charge 30% : 69W

Pertes à l'arrêt : 241 W



Température de service : 70°C

### ANALYSE DU SYSTEME DE PRODUCTION DE CHAUFFAGE

La chaudière est de type « basse-température » mais fonctionne en régime haute température (70°C). Elle offre 230 kW de puissance calorifique. Les performances affichées sont très moyennes puisque les rendements s'élèvent environ à 93%. Elle est à 72% de sa durée de vie théorique et semble être en bon état.



## Distribution du chauffage

On comptabilise 2 départs de chauffage à température constante. Les réseaux de distribution ne sont pas identifiés mais il semblerait qu'un réseau desserve l'hôtel de ville et les deux logements, et que l'autre réseau desserve le trésor public et la salle de conseil municipale. Il a été identifié une vanne 3 voies motorisée sur l'un des deux réseaux de distribution avec un ancien régulateur mais il semblerait qu'il soit hors service.

La chaufferie compte une pompe de charge chaudière (pompe simple tout ou rien ancienne) et deux pompes pour chaque départ de chauffage (pompes doubles tout ou rien anciennes). Aucun des éléments de chaufferie n'est calorifugé. Des essais devront être opérés afin de déterminer les départs desservants chaque réseau.



## Emission du chauffage

Le site est en majorité équipé de **radiateurs fontes**. Ils sont installés sur un **réseau bi-tube** et sont équipés de **robinets thermostatiques**. L'ensemble est fonctionnel. La durée de vie théorique d'un robinet thermostatique est évaluée à 15 ans environ.

Radiateurs en fonte avec robinet thermostatique



Robinet thermostatique



## ANALYSE DES EMETEURS DE CHAUFFAGE

Les radiateurs sont équipés de robinets thermostatiques et permettent d'ajuster le chauffage en fonction des conditions internes (apports de chaleur solaire ou par les occupants). En effet, le système actuel permet de tenir compte des apports de chaleur gratuits.

Pour assurer le bon fonctionnement de la distribution du chauffage, la commande des pompes sera modifiée pour mettre en place une variation électronique de vitesse adaptant le débit au besoin.



Il existe plusieurs modèles de radiateurs à eau, les plus répandus sont les suivants : le radiateur en fonte, le radiateur en acier et le radiateur en aluminium :

- Les radiateurs en fonte prennent du temps à chauffer et à refroidir car très massifs, ils emmagasinent beaucoup d'énergie et possèdent une grande inertie de chauffage. Robustes, ils auront une durée de vie assez longue. Sa durée de vie théorique est d'environ 40ans.



- Les radiateurs en aciers, eux, sont moins imposants, plus discrets. Ils se réchauffent très rapidement mais se refroidissent également très vite. Leur inertie est faible, ils cessent de chauffer dès que la chaudière a arrêté de fonctionner. Sa durée de vie théorique est d'environ 20ans.



- Les radiateurs en aluminium chauffent très rapidement et conservent assez longtemps la chaleur. Leur inconvénient principal est qu'ils ne pourront pas être associés à un système de radiateurs utilisant un autre matériel que l'aluminium (incompatible avec les réseaux en cuivre).



Afin de prolonger la durée de vie de radiateurs, il est impératif de :



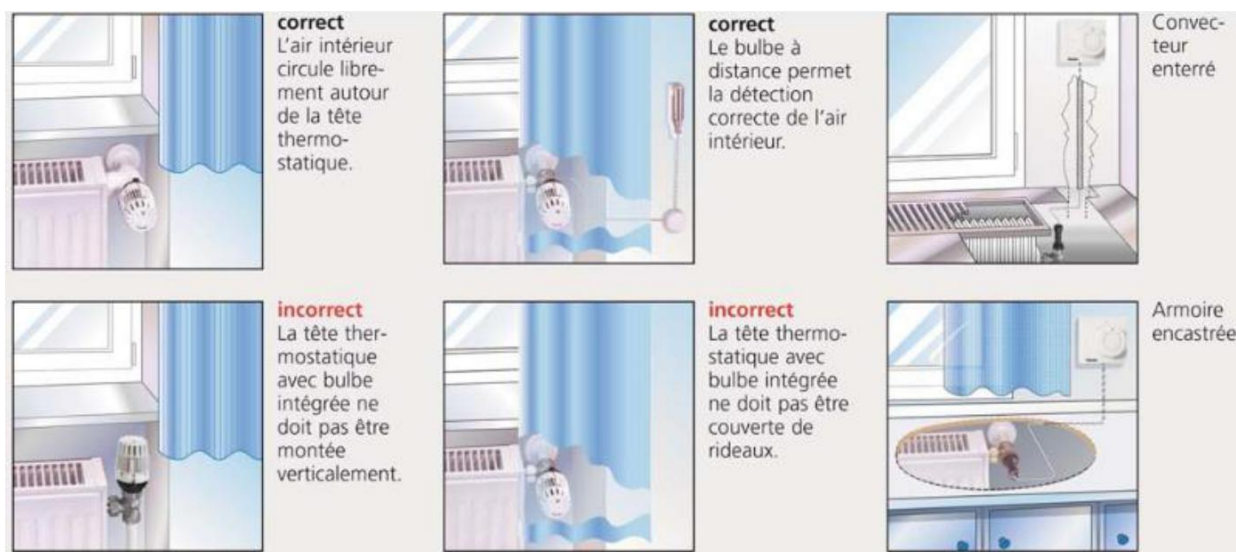
- ✓ Purger régulièrement les radiateurs afin d'éliminer l'air à l'origine de bruits, de corrosion, de baisse de rendement de l'installation, et de la formation de boues. Une eau très noire ou très orangée nécessite l'intervention d'un professionnel afin d'en déterminer l'origine et de faire les opérations correctives nécessaires.
- ✓ Vérifier régulièrement la pression du circuit d'eau chaude. Pour un bâtiment d'un étage, sa valeur doit être comprise entre 1 et 1.5 bar.
- ✓ Il est judicieux de ne pas recouvrir ni habiller les radiateurs. Cela prive les occupants de la chaleur radiative qui participe au confort et diminue les échanges thermiques.

## Fonctionnement d'un robinet thermostatique

Les robinets thermostatiques sont utilisés pour le réglage de la température pièce par pièce généralement pour des corps de chauffe avec circuit hydraulique, convecteurs et radiateurs. Les têtes thermostatiques permettent d'exploiter les apports gratuits de sources de chaleur internes et externes, comme par exemple la chaleur des rayons du soleil, l'apport calorifique des personnes et des appareils électriques etc...

Les têtes thermostatiques gardent la température de l'air ambiant à un niveau constant, de sorte que le gaspillage de l'énergie peut être évité.

Un réglage précis par le moyen de ces têtes thermostatiques avec élément sensible intégré n'est pas possible, si celles-ci sont couvertes par les rideaux, des revêtements de radiateurs, etc, ou bien si elles sont montées dans des niches ou en position verticale. Dans ce cas le montage d'une sonde ou d'un régulateur à distance est nécessaire.



## Régulation du chauffage

Le site ne dispose d'aucun système de régulation du chauffage en chaufferie. Le chauffage est maintenu 24h sur 24 et 7 jours sur 7. Le site dispose donc d'un **système de régulation du chauffage médiocre**.

La rénovation de la chaufferie permettra d'intégrer des régulateurs permettant de :

- Programmer des plannings de chauffage caler sur les plannings d'occupation
- Programmer des températures de consigne en chauffage : 20°C
- Programmer des températures de réduit en chauffage : 18°C
- De régler une loi d'eau et un décalage de consigne
- De distribuer du chauffage en fonction de la température extérieure.

## Maintenance du chauffage

La maintenance de la chaufferie comprend deux interventions d'un chauffagiste par an afin de réaliser le démarrage de la chaudière en début de saison de chauffage, le réglage du brûleur, l'arrêt de la chaudière en fin de saison de chauffage et le ramonage de la cheminée.

## Equipements de ventilation

---

Les équipements de ventilation représentent un des postes de consommation les plus importants puisque le renouvellement d'air influe sur les consommations en chauffage et les auxiliaires de ventilation (ventilateurs) impactent les consommations en électricité.

Le renouvellement d'air lié à la ventilation mécanique représente **20%** des consommations en chauffage et **8%** sur la facture de chauffage. Les auxiliaires de ventilation représentent quant à eux **5%** des consommations en électricité et **12%** de la facture d'électricité.

Le bâtiment est équipé d'un système de ventilation mécanique contrôlé simple flux non réglable. Lors de notre visite, les caissons de ventilation étaient arrêtés (disjoncteur en position off).

Grille de ventilation en plafond :



L'hôtel de ville et le trésor public (bureaux) pourraient être équipés d'une ventilation mécanique contrôlée simple flux autoréglable avec une régulation des débits de ventilation en fonction du niveau d'occupation (voir fiche préconisation en page suivante).

Les locaux associatifs pourraient être équipés d'une ventilation mécanique contrôlée simple flux hygroréglable de type B (voir fiche préconisation en page suivante).

## VMC simple flux modulée dans les bureaux

### Principe de la ventilation mécanique contrôlée simple flux autoréglable par extraction :

Le système de ventilation simple flux assure le renouvellement de l'air au sein de chaque pièce. Il évacue efficacement les polluants et l'humidité et assure également un appoint d'air neuf permanent. L'air pollué est aspiré à travers des bouches situées au plafond et est rejeté à l'extérieur par l'intermédiaire d'un réseau de gaines situés dans les combles. L'air neuf est introduit à travers des grilles d'entrée d'air généralement situées dans les menuiseries des fenêtres.

### Régulation des débits de ventilation :

Le débit est maîtrisé grâce à des modules de régulation autoréglables. Avec la ventilation modulée, le fonctionnement du système de ventilation des locaux sera asservi à des détecteurs optiques de mouvement placés dans les différentes pièces, ou à une mesure du taux de CO<sub>2</sub>. Les débits de ventilation seront ainsi optimisés en fonction de la réelle occupation des locaux dans le but de limiter les déperditions par renouvellement d'air.

### Caisson de ventilation basse-consommation :

Le caisson de ventilation devra être compatible avec la modulation des débits et sera de type basse-consommation afin de ne pas générer une importante surconsommation en électricité.

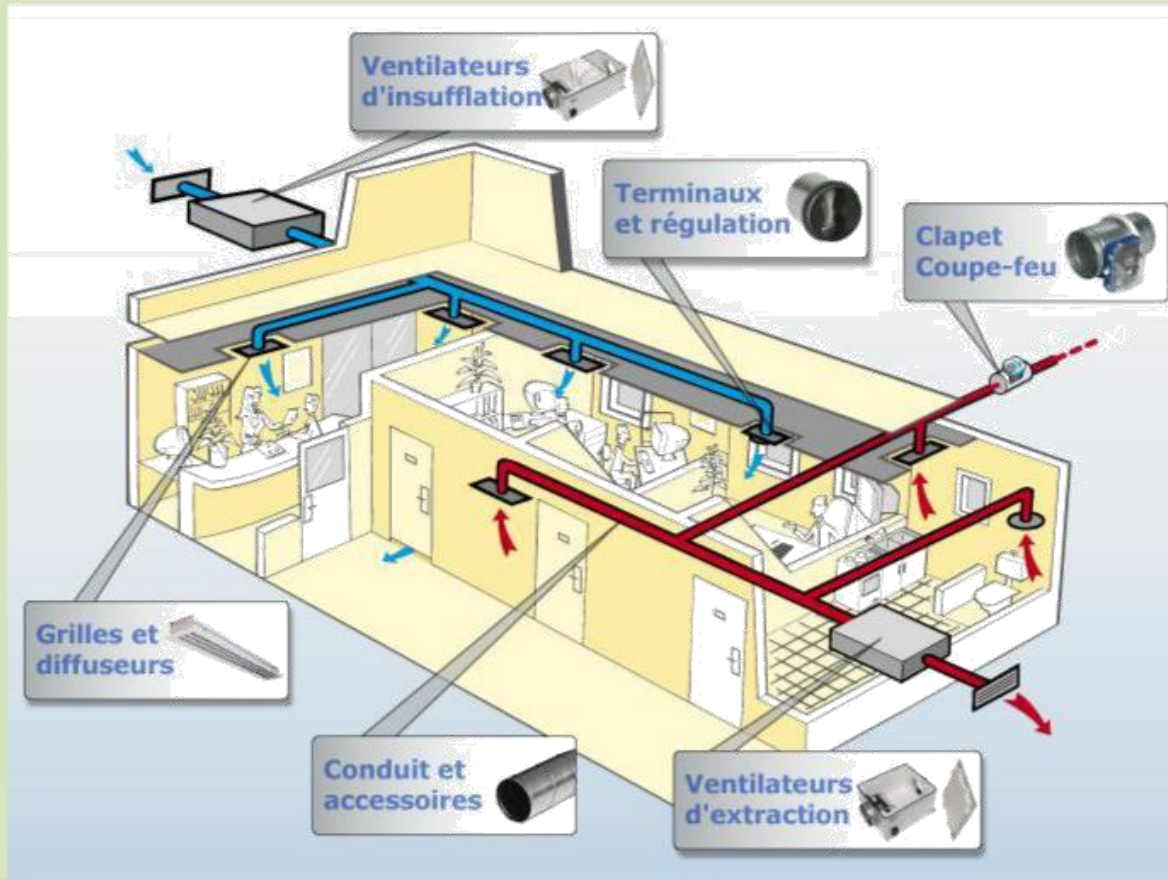
### Régulation spécifique en période d'inoccupation :

L'installation de ventilation pourra être équipée d'un système de régulation (horloge par exemple) permettant l'arrêt de la ventilation en dehors des périodes d'occupation (quelques heures après le départ du dernier occupant). Cela permettant d'éviter de renouveler l'air inutilement (consommations en chauffage) et de faire fonctionner les ventilateurs (consommations en électricité).

La solution consiste à conserver le réseau aéraulique existant, les grilles d'entrée d'air situées dans les menuiseries des fenêtres et les bouches d'extraction d'air dans les faux plafonds mais à positionner des capteurs de présence (bureaux) ou des sondes CO<sub>2</sub> (salles de réunions). Le caisson de ventilation devra être compatible avec une telle configuration.

### Observation

- Des travaux de rénovation rendant l'enveloppe du bâtiment étanche et l'absence de système de ventilation peuvent poser des problèmes d'humidité dans les pièces. L'installation d'une VMC permet de traiter efficacement ce phénomène.
- Les débits minimums à extraire sont fixés par les arrêtés du 24 mars 1982 et du 28 octobre 1983 pour l'habitat, et le Code du Travail pour le tertiaire.



Configuration multizone : la modulation des débits est adaptée à chaque pièce Ventilation en mode pression constante –  $C_{ndbnr} = 0,57$

#### Avantages

- Maîtrise des débits de renouvellement d'air.
- Renouvellement d'air adapté en fonction du niveau d'occupation et du taux de pollution intérieur.
- Diminution des consommations en chauffage.
- Meilleurs confort intérieur.

#### Inconvénients

- Nécessite un bâtiment comportant une enveloppe étanche à l'air afin de ne pas générer de surconsommation en chauffage (maîtrise des débits). Attention aux anciennes fenêtres dans le secrétariat !

## VMC simple flux Hygroréglable B dans les locaux associatifs

### Description

La VMC simple flux hygro B régule le débit d'air en fonction du taux d'humidité intérieure (hygrométrie), à la fois par les bouches d'extraction et les entrées d'air. Ces dernières se ferment plus ou moins en fonction de l'hygrométrie : elles sont hygroréglables. Cela permet d'avoir une meilleure régulation et ainsi d'évacuer au mieux l'humidité et de limiter les déperditions de chaleur par renouvellement d'air.

Les bouches d'extraction constituent l'élément majeur d'un système hygroréglable. Les bouches hygroréglables sont équipées d'un clapet relié mécaniquement à un ruban hygrostatique. Ce ruban va se tendre ou se détendre selon qu'il soit chargé ou non d'humidité, et ainsi faire varier le degré d'ouverture du clapet et donc du débit d'air sortant. Elles ont toutes en commun ce système de régulation mécanique, mais les bouches de la cuisine et des toilettes ont des particularités qui optimisent encore davantage la gestion du débit en fonction des besoins.



L'ouverture de la bouche d'extraction de la cuisine peut être forcée pour un besoin ponctuel (odeurs, condensation, fumées). Pour accroître le débit d'air et donc forcer l'ouverture maximum du clapet, la bouche sera selon le fabricant munie d'une tirette ou reliée à un bouton poussoir. Une pression sur le bouton poussoir ou commande sur la tirette lancera une temporisation intégrée à la bouche d'extraction (de l'ordre de 30mn), durée pendant laquelle le débit d'air sera plus important.

La bouche des toilettes est quant à elle équipée d'un détecteur de présence la rendant totalement autonome. Son clapet s'ouvre dès qu'une présence est détectée, là-encore pour une durée de l'ordre de 30mn. Elle ne nécessite par conséquent aucun matériel ni câblage supplémentaire. Ces bouches peuvent fonctionner soit à piles, soit électriquement ou soit mécaniquement.

### Observation

- Des travaux de rénovation rendant l'enveloppe du bâtiment étanche et l'absence de système de ventilation peuvent poser des problèmes d'humidité dans les pièces. L'installation d'une VMC permet de traiter efficacement ce phénomène.
- Pour être conforme à la réglementation, la VMC hygroréglable doit disposer d'un Avis Technique attribué par le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment).
- Les débits minimums à extraire sont fixés par les arrêtés du 24 mars 1982 et du 28 octobre 1983 pour l'habitat, et le Code du Travail pour le tertiaire.

### Avantages

- Diminution des consommations en chauffage.
- Débit de renouvellement d'air adapté aux besoins.
- Meilleure efficacité du renouvellement d'air.
- Temps de retour intéressant.
- Gains énergétique et environnemental intéressants.

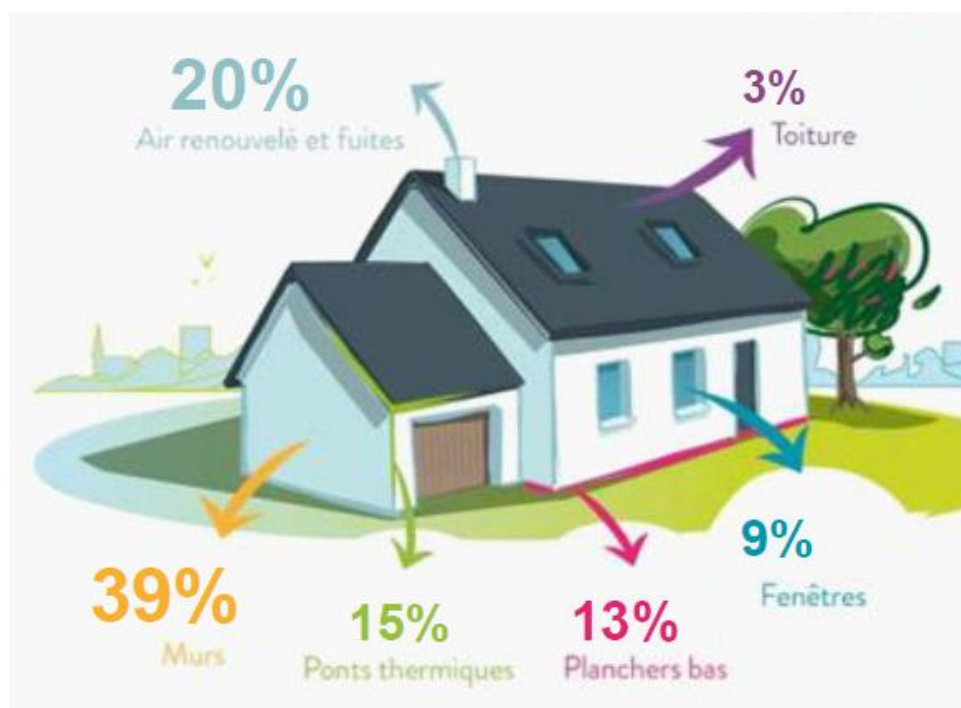
### Inconvénients



## 02.d Caractéristiques techniques du site

### Déperditions thermiques

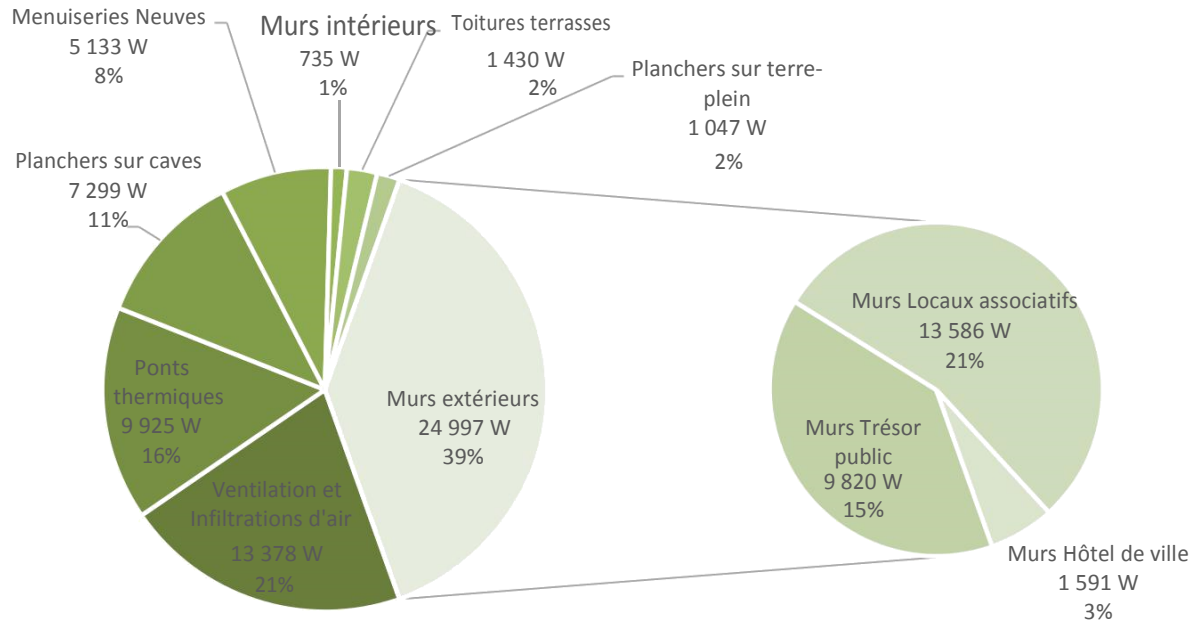
Les relevés sur le bâtiment ont permis de réaliser une étude thermique et de mettre en évidence les postes les plus déperditifs. Le bâtiment a été mis en situation de totale occupation et avec le système de ventilation mécanique en fonctionnement. Vous trouverez ci-dessous la répartition des déperditions et un détail par poste plus précis dans la page suivante.



Classement des parois les plus déperditives aux moins déperditives :

	Postes de déperdition	Déperditions thermiques Isolation actuelle	
1	Murs	25 732	39%
2	Ventilation et Infiltrations d'air	13 378	20%
3	Ponts thermiques	9 925	15%
4	Planchers	8 346	13%
5	Menuiseries extérieures	5 783	9%
6	Plafonds	2 128	3%
	<b>TOTAL</b>	<b>65 292 W</b>	

## Répartition détaillée des déperditions thermiques



Postes de déperdition	Déperditions thermiques Isolation actuelle	
Murs locaux associatifs	13 586 W	21%
Ventilation et Infiltrations d'air	13 378 W	20%
Ponts thermiques	9 925 W	15%
Murs Trésor public	9 820 W	15%
Planchers sur caves	7 299 W	11%
Menuiseries Neuves	5 133 W	8%
Murs Hôtel de ville	1 591 W	2%
Toitures terrasses	1 430 W	2%
Planchers sur terre-plein	1 047 W	2%
Murs Intérieurs	735 W	1%
Combles	698 W	1%
Menuiseries Anciennes	650 W	1%
<b>TOTAL</b>	<b>65292 W</b>	<b>100%</b>

## ANALYSE DES DEPERDITIONS THERMIQUES

Compte tenu de l'isolation général du bâtiment, il est attendu un certain niveau de déperdition. Le poste de déperdition le plus élevé est observé au niveau des murs avec 39% des déperditions totales. Les murs non isolés (logements et trésor public) représentent à eux seuls 36% des déperditions totales !

Le système de ventilation et les infiltrations d'air représentent eux aussi 20% des déperditions totales. Elles pourraient être réduites en installant une régulation des débits de ventilation (VMC hygroréglable type B pour les logements et des sondes de présence dans les bureaux).

Les ponts thermiques représentent eux aussi un poste de déperditions très importants (15%) car l'isolation thermique par l'intérieur des murs (hôtel de ville et salle de conseil) et l'isolation thermique de la toiture terrasse accentuent ce phénomène. Une isolation thermique des murs par l'extérieur et le traitement des points singuliers (retour d'acrotère en toiture) auraient permis de réduire les ponts thermiques. Dans l'état, au niveau des murs isolés par l'intérieur, les ponts thermiques ne pourront pas être traités.

Les déperditions des planchers exposés sur les caves représentent 11% des déperditions. L'isolation des planchers en sous face de plancher (côté caves) permettrait de réduire facilement les déperditions.

Le tableau suivant présente la réduction des déperditions thermiques si des travaux d'isolation complémentaires sont entrepris avec :

- L'isolation de l'ensemble des murs (isolation des murs des locaux associatifs et du trésor public)
- L'isolation de l'ensemble des plafonds (isolation du faux plafond de la salle de réunion et des combles du local associatif)
- L'isolation de l'ensemble des planchers (planchers sur caves)
- L'isolation de l'ensemble des menuiseries extérieures (menuiseries bois double vitrage 6mm)

	Déperditions thermiques Isolation actuelle		Déperditions thermiques Isolation optimale		Ecart/ Gain
Murs locaux associatifs	13 586 W	21%	1 190 W	3%	91%
Ponts thermiques	9 925 W	15%	9 925 W	27%	0%
Murs Trésor public	9 820 W	15%	1 720 W	5%	82%
Planchers sur caves	7 299 W	11%	1 225 W	3%	83%
Ventilation et Infiltrations d'air	13 378 W	20%	13 378 W	36%	0%
Menuiseries Neuves	5 133 W	8%	5 133 W	14%	0%
Murs Hôtel de ville	1 591 W	2%	1 591 W	4%	0%
Toitures terrasses	1 430 W	2%	732 W	2%	49%
Planchers sur terre-plein	1 047 W	2%	1 047 W	3%	0%
Murs Intérieurs	735 W	1%	735 W	2%	0%
Combles	698 W	1%	363 W	1%	48%
Menuiseries Anciennes	650 W	1%	348 W	1%	46%
<b>TOTAL</b>	<b>65292 W</b>	<b>100%</b>	<b>37 387 W</b>	<b>100%</b>	<b>43%</b>

Le renforcement de l'isolation thermique des autres parois permettrait de s'orienter vers 3 modèles de puissance de chaufferie en dessous (70 kW à 40 kW) !

## 02.e Caractéristiques techniques du site

### Situation énergétique initiale

#### Mixte énergétique

Le tableau suivant présente le mixte énergétique et les usages associés pour le bâtiment :

		Electricité	Fioul
Usages principaux	Chauffage		X
	Rafrachissement		
	Eau Chaude Sanitaire	X	
	Eclairage	X	
	Auxiliaires de ventilation	X	
	Auxiliaires de chauffage	X	

Rappelons que la chaufferie bois permettra de répondre uniquement aux besoins en chauffage. La production en eau chaude sanitaire étant faible, elle sera assurée par des ballons accumulateurs électriques.

## Analyse et simulation énergétique initiale

Le tableau suivant présente la répartition de la consommation actuelle. Cette consommation a été établie sur la base d'un calcul théorique car le bâtiment a subi d'importants travaux de rénovation touchant les menuiseries extérieures, certains murs, les toitures, des transformations de parois vitrées en parois opaques et l'installation d'un système de ventilation mécanique. Les travaux ont été finalisés lors du second semestre 2018. Il aurait donc été inadapté de se baser sur les consommations réelles (factures) des années précédentes en termes de consommation initiale de référence.

	Consommation Energie finale		Consommation Energie primaire		Emissions de CO2		Dépenses en énergie	
	kWh ef	%	kWh ep	%	kg CO2	%	€ TTC	%
<b>Chauffage</b>	<b>173 517</b>	<b>88%</b>	<b>173 517</b>	<b>74%</b>	<b>52 055</b>	<b>97%</b>	<b>13 240</b>	<b>79%</b>
Eau Chaude Sanitaire	6 005	3%	15 493	7%	240	0%	899	5%
Eclairage	13 257	7%	34 203	15%	1 326	2%	1 985	12%
Auxiliaires de chauffage	1 039	1%	2 681	1%	62	0%	156	1%
Auxiliaires de ventilation	3 422	2%	8 829	4%	205	0%	512	3%
<b>TOTAL</b>	<b>197 240</b>	<b>100%</b>	<b>234 722</b>	<b>100%</b>	<b>53 889</b>	<b>100%</b>	<b>16 791</b>	<b>100%</b>

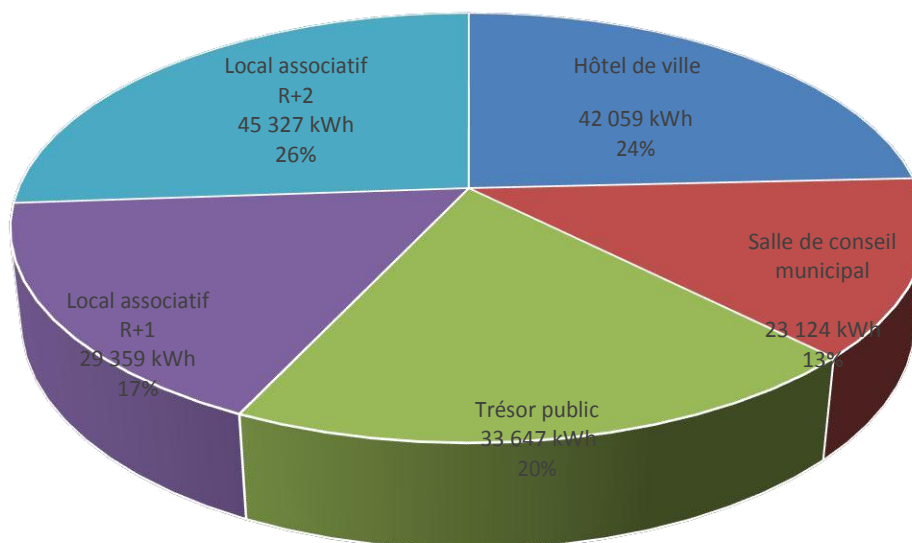
### ANALYSE

Le poste chauffage représente la majeure partie des consommations (88%), des dépenses (79%) et des émissions de gaz à effet de serre (97%). La consommation totale en énergie actuelle est estimée à 197 200 kWh/an pour une dépense moyenne de 16 800 €TTC/an.

Le tableau et le graphique suivants présentent la répartition des consommations en énergie par zone :

	Hôtel de ville	Salle de conseil municipal	Trésor public	Local associatif R+1	Local associatif R+2	TOTAL
<b>Chauffage</b>	42 059	23 124	33 647	29 359	45 327	173 516
Eau Chaude Sanitaire				2 930	3 075	6 005
Eclairage	4 248	2 275	5 413	609	712	13 257
Auxiliaire de chauffage	202	138	216	194	289	1 039
Auxiliaire de ventilation	1 221	540	540	517	604	3 422

## Répartition des consommations en chauffage



### ANALYSE

Le graphique précédent montre que, bien que les surfaces chauffées soient différentes, chacune des zones présente des niveaux de consommations (hormis la salle de conseil municipal) du même ordre de grandeur.

Le tableau suivant présente les niveaux de consommations et de dépenses en chauffage rapportés à la surface de chaque zone :

	Hôtel de ville	Salle de conseil municipal	Trésor public	Local associatif R+1	Local associatif R+2	TOTAL (*moyenne)
Consommation en chauffage [kWh/m²]	42059	23124	33647	29359	45327	173516
Surface [m²]	312	167	167	118	118	882
Ratios [kWh/m²]	135	138	201	249	384	197
Ratios [€TTC/m²]	10	11	15	19	29	85

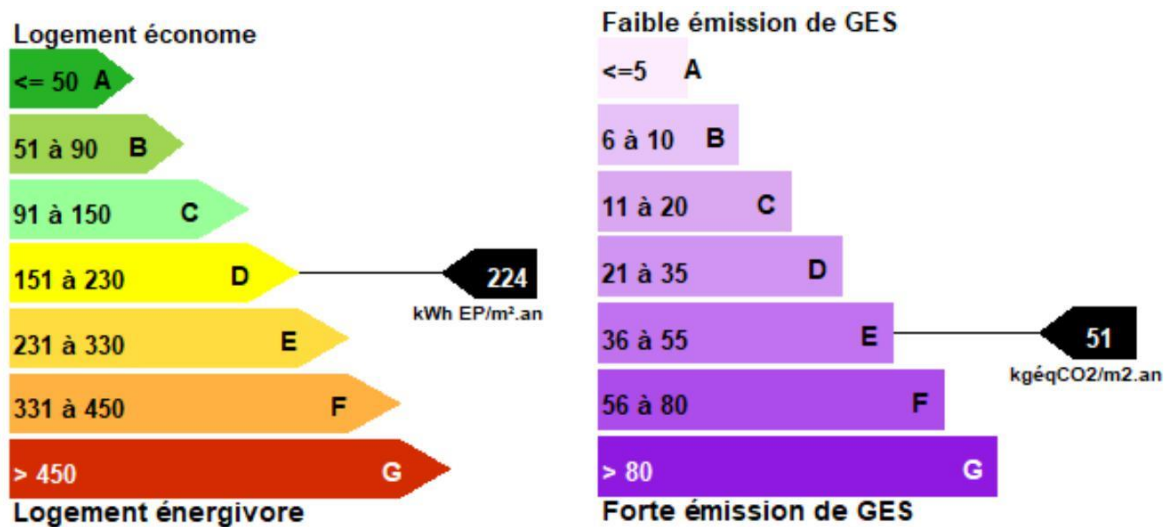
### ANALYSE

Les consommations et dépenses unitaires montrent que les zones non isolées (trésor public, locaux associatif) représentent respectivement +47%, +82% et +181% de surconsommations en chauffage par rapport aux zones les mieux isolées (hôtel de ville et salle de conseil municipal).

## Etiquette DPE équivalente de la situation initiale

A titre d'information, une étiquette énergie type « étiquette DPE » a été établie afin de positionner la performance énergétique et environnementale du bâtiment. En aucun cas, cette étiquette n'a de valeur de DPE.

### Etiquette Energétique situation initiale



Nota : La performance du bâtiment établie en équivalent DPE est donnée à titre indicatif. Il ne peut en aucun cas remplacer un Diagnostic de Performance Energétique réalisé par un diagnostiqueur agréé.



## Définition des besoins thermiques

L'évaluation des besoins thermiques fait intervenir dans le calcul les paramètres suivants :

- Degrés-jour Unifiés : 2 468 °C/Jour
- Température extérieure de base : -9°C
- Température intérieure de chauffage : 20°C

Les **besoins en chauffage** sont alors évalués à **133 395 kWh/an**.

La consommation en chauffage correspond à la quantité d'énergie nécessaire pour produire ces 133 395 kWh. Il est donc fait notion du rendement global des installations de chauffage, à savoir :

	Chaudière Fioul actuelle
Rendement de production <sup>(1)</sup>	93%
Rendement de distribution <sup>(2)</sup>	92%
Rendement d'émission <sup>(3)</sup>	96%
Rendement de régulation <sup>(4)</sup>	94%
Rendement de global	77%

En considérant les besoins en chauffage et le rendement global de l'installation, la **consommation en chauffage actuelle** est évaluée à **173 500 kWh**.

(1) Le rendement de production dépend des caractéristiques de la chaudière.

(2) Le rendement de distribution dépend des caractéristiques des tuyauteries de chauffage et des pompes de circulation.

(3) Le rendement d'émission dépend des caractéristiques des radiateurs et du type de robinet présent sur les radiateurs.

(4) Le rendement de régulation dépend des caractéristiques de la programmation du chauffage et du mode de production du chauffage (à température constante/en fonction de la température extérieure).

## Situation de référence



Ce scénario sert de base de comparaison. Il s'agit d'évaluer ici les coûts de rénovation du matériel existant si une chaufferie au bois n'était pas retenue. Il s'agit d'un projet hypothétique permettant d'évaluer la rentabilité de l'installation biomasse. Des descriptifs détaillés de certains travaux sont présents dans les pages suivantes.

Les travaux de rénovation intègrent :

- Le remplacement de l'ancienne chaudière au fioul par une chaudière à condensation offrant un rendement de production de 98% ;

Les travaux suivants sont à intégrer dans la rénovation de la chaufferie qu'elle soit au fioul ou au bois :

- Adapter le réseau de chauffage primaire et les départs de chauffage (distributeur/collecteur, vannes 3 voies, pompes de circulations doubles électroniques ...) ;
- Installer un système de régulation du chauffage (planning de chauffage avec réduit, régulateur) ;
- Remplacement des équipements en chaufferie (vase d'expansion, soupape de sécurité, pressostat manque d'eau, compteur d'eau, etc) ;
- Calorifuger les tuyauteries et les éléments de chaufferie (pompes et vannes) ;
- Installer des compteurs d'énergie en départ de chaque départ de chauffage (surveillance de la consommation, refacturation ...) ;
- Mettre aux normes la chaufferie (sécurité incendie, électricité ...).

Le tableau suivant présente la consommation en chauffage de référence avec la chaufferie au fioul rénovée :

	Chaufferie Fioul actuelle	Chaufferie Fioul rénovée
Besoins en chauffage [kWh]	133 395 kWh	
Rendement Chaudière	93%	98%
Rendement Global	77%	92%
Consommations [kWh]	173 517 kWh	<b>144 623 kWh</b>
Quantité combustible	17 421 Litres	14 520 Litres

La **consommation en chauffage** du scénario de **référence** s'élève à **144 623 kWh/an**.

## POMPES DE CIRCULATION

Les pompes actuelles sont très anciennes. Il est à prévoir le remplacement des deux pompes de circulation des circuits de chauffage par des modèles électroniques à débits variables ce qui permettra de réduire les consommations électriques, de réduire les déperditions calorifiques par tuyauterie et de réduire la maintenance des auxiliaires de chauffage puisqu'ils seront moins sollicités.

Dans un contexte réglementaire toujours plus exigeant en matière d'économie d'énergie, de rendement énergétique, et de protection de l'environnement, l'utilisation de pompe et de circulateur à débit variable ce justifie pleinement. D'autant que les pompes sont de gros consommateurs d'énergie dans un bâtiment.

Le **fonctionnement des pompes en continu** et à plein régime dans une installation de chauffage ou de climatisation **n'est nécessaire que 6 à 7 % du temps**, tandis que 44% du temps on utilise que **25 % des besoins maximums** ce qui laisse une énorme place aux économies.

La réduction ou l'augmentation de débit par variation de vitesse permet d'adapter le débit de la pompe aux pertes de charges réelles de l'installation en permanence. Les performances de l'électronique et des moteurs de ces pompes sont assez importantes, suffisamment pour obtenir des rendements, jamais atteints avec des pompes à débit constant. Et qui dit meilleur rendement dit économies d'énergie.



## CALORIFUGE

**Les tuyauteries de chauffage et les éléments de chaufferie ne sont pas isolés.**

Des **tuyaux non isolés** peuvent représenter **entre 5 à 10% de déperditions en énergie** si le réseau est important et en grande majorité dans une zone non chauffée.

Il n'est pas nécessaire d'isoler les tuyauteries de chauffage transitant dans les zones chauffées puisque la chaleur perdue chauffera les volumes.



Les corps de pompe et les éléments qui composent la distribution ne sont pas non plus isolés. Les corps de pompes pourront être équipés d'une coquille d'isolation. Les autres éléments pourront être enveloppés par des matelas d'isolant qui sont amovibles permettant ainsi de manipuler les vannes ou de réaliser un contrôle.

Technique d'isolation des tuyaux de chauffage :R

- La bande isolante : une bande d'isolation est assez facile à mettre en place, mais moins efficace que d'autres solutions.
- Les manchons rigides : on trouve différents manchons à enfiler autour des tuyaux de chauffage. Les plus fréquents sont la mousse de polyéthylène ou l'élastomère. Il existe des manchons d'isolation en coin, idéaux pour les courbures.
- La laine minérale : pour une protection complète, mais plus délicate à mettre en place, vous pouvez opter pour la laine minérale.



Chaufferie équipée de matelas d'isolant :



## REGULATION DU CHAUFFAGE

La chaufferie actuelle ne dispose d'aucun équipement de régulation du chauffage. Le chauffage est maintenu 24h/24. Seuls les radiateurs à eau chaude sont équipés de robinets thermostatiques récents.

La régulation du chauffage est l'équipement permettant d'améliorer le confort thermique tout en générant des économies d'énergie. Pour rappel, **chaque degré supplémentaire au-dessus de 19°C engendre 7% de plus sur la facture énergétique !**

La régulation gère tous les organes électriques ou de combustion de l'installation. On retrouve principalement 4 types de régulations, utilisés seuls ou de manière combinée :

- L'**aquastat** : une loi d'eau est fixée et donne la consigne de température de production chaudière. Elle peut être à haute température (régime 90/70°C), moyenne température (75/65°C) ou basse température (35/27°C).
- le **thermostat d'ambiance** : il permet de maintenir une température ambiante constante selon une température de consigne choisie, le générateur adaptant son fonctionnement suivant les ordres qu'elle reçoit du thermostat ; il peut être mécanique ou électronique, programmable ou non, disposer d'un pilotage à distance (thermostat dit « connecté ») avec un fonctionnement « tout ou rien », « modulant » ou « PID », monozone ou multizone.
- la **régulation en fonction de la température extérieure** : en complément ou non d'un thermostat d'ambiance, elle complète le système de chauffage en mesurant la température extérieure afin de prendre en compte les variations météorologiques et permettre au générateur (telle une chaudière ou une pompe à chaleur) de réagir avant que le bâtiment n'ait eu le temps de se refroidir.
- le robinet ou **vanne thermostatique** fixé sur les radiateurs : il permet d'ajuster la température pièce par pièce en fonction de l'usage et de valoriser les apports de chaleur gratuits dans le bâtiment ; il peut être mécanique ou électronique et être alors programmable ou piloté à distance.



(Régulateurs de chauffage)

# 03

## Analyse technique du projet de chaufferie biomasse

---

Le projet consiste à remplacer la chaudière au fioul par une chaudière au granulé de bois. Afin de limiter les coûts d'investissement, il est nécessaire d'implanter la chaufferie dans le bâtiment. Le bâtiment dispose en cave d'un local à proximité de la chaufferie et d'une chaufferie de taille importante ce qui permet d'étudier l'intérêt d'une installation au bois.





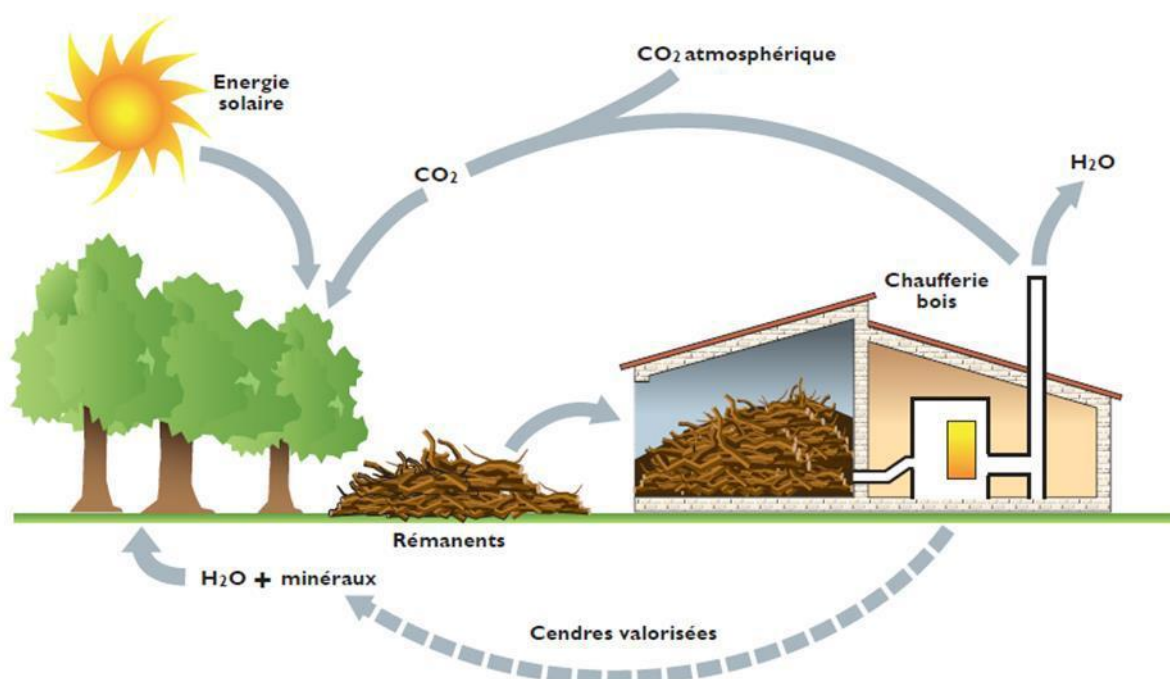


## 03.a

## Projet biomasse

### Combustible biomasse

Le bois représente 4% de la consommation énergétique en France. Importante source renouvelable, une utilisation plus intensive comme combustible ne porterait pas atteinte à l'équilibre des forêts ; au contraire, l'impact sur la forêt en est plutôt bénéfique : une bonne gestion des surfaces boisées exige un prélèvement supérieur à 1/3 à ce qu'il est actuellement. De plus l'utilisation du bois contribue à la lutte contre l'effet de serre puisque, à la différence des énergies fossiles, elle contribue au recyclage dans l'atmosphère du gaz carbonique qui est absorbé par les forêts replantées.



Le bois est un combustible compétitif. Son prix n'est pas soumis aux fluctuations des cours internationaux des monnaies et des carburants.

En tant qu'énergie propre, il n'est pas soumis à l'application de l'écotaxe sur l'énergie. De plus le bois-énergie est créateur d'emplois locaux.



## Caractéristiques du combustible bois.

On distingue plusieurs familles de combustible bois :

Issus de la forêt		<b>Les bûches</b> Unité : stère PCI : 1500 à 2000 kWh/stère *
		<b>Les plaquettes forestières</b> Unité : MAP ou tonne PCI : 2200 à 3900 kWh/tonne *
Issus de l'industrie du bois		<b>Les écorces</b> Unité : tonne PCI : 1600 à 2800 kWh/tonne *
		<b>Les copeaux et les sciures</b> Unité : tonne PCI : 1600 à 4400 kWh/tonne *
		<b>Les plaquettes industrielles</b> Unité : MAP ou tonne PCI : 2200 à 3400 kWh/tonne *
		<b>Les granulés</b> Unité : tonne PCI : 4600 à 5100 kWh/tonne *
		<b>Les briquettes reconstituées</b> Unité : tonne PCI : 3600 à 5100 kWh/tonne *
Issus de la filière déchets		<b>Les broyats (bois de rebut)</b> Unité : tonne PCI : 2800 à 3800 kWh/tonne *

\*PCI variable selon le taux d'humidité.

Caractéristiques courantes entre le granulé de bois et la plaquette forestière (à titre de comparaison) :

	Granulé de bois	Plaquette forestière
PCI	entre 4,4 et 5,3 kWh/kg	entre 2,8 et 4,5 kWh/kg
Masse volumique	> 600 kg/m <sup>3</sup>	entre 250 et 350 kg/m <sup>3</sup>
Humidité	< 10%	< 55%
Cendres	< 0,7%	< 2% (type C1 et C2)

Nous avons utilisé dans cette étude les caractéristiques de combustible suivant :

	Granulé de bois
PCI	4 500 kWh/tonne
Masse volumique	650 kg/m <sup>3</sup>
Humidité	< 10%
Cendres	0,7%

Le **prix moyen du granulé de bois** est fixé à **245 € HT/tonne livré**.

## 03.b Projet biomasse

### Accessibilité en chaufferie

---

L'actuelle chaufferie est située en sous-sol du bâtiment. Il convient alors de vérifier si la configuration du sous-sol permet l'installation des équipements. Le sous-sol est légèrement enterré. L'accès au sous-sol s'effectue par une double porte de 1,9 m de haut par 2,1 m de large avec une rampe d'inclinaison de 10,8°. Un couloir de 12m de long et de 1,59m de large permet d'accéder à la chaufferie. Le couloir et la chaufferie comporte une porte de 1m de large.

Le local chaufferie mesure 4,85m par 7,22m. Il accueille le réseau de distribution de chauffage, un socle chaudière, un système d'évacuation des fumées et une armoire électrique.



## Accessibilité pour approvisionnement en pellet

La chaufferie et le silo de stockage des granulés seront situés dans la rue Sarrazine et disposent d'un parking à proximité ce qui permet le stationnement d'un camion d'approvisionnement. La largeur de la rue est comprise entre 6,7 m et 10,3 m. Les camions d'approvisionnement pourront emprunter la départementale D914. Il n'y a donc aucune contrainte d'accessibilité au silo de stockage.





## Charte de livraison du granulé de bois en vrac avec camion souffleur

La livraison du granulé de bois en vrac est réalisée avec des camions souffleurs pouvant offrir une charge de 32 tonnes mais le plus souvent il s'agit de camion de 19 tonnes (camion en photo ci-dessous). A titre indicatif, la livraison de 5 tonnes de granulé dure de 30 à parfois plus de 60 minutes selon la longueur des tuyaux à installer pour la livraison et selon la facilité d'accès.



Critères d'accès :	Projet
Largeur du véhicule hors tout : 3,10m	Vérifié
Longueur du véhicule : 7,50m	Vérifié
Hauteur du véhicule : 3,5m	Vérifié
Pression du camion : Entre 0,2 et 0,4 bars	Vérifié
Distance au silo inférieure à 20m	Vérifié
Accessibilité pour camion de 19 tonnes (équivalent camion fioul)	Vérifié
Quantité minimum d'approvisionnement : 3 tonnes	Vérifié

## Point réglementaire



L'arrêté du 23 juin 1978 relatif aux installations fixes destinées au chauffage et à l'alimentation en eau chaude sanitaire des bâtiments d'habitation, de bureaux ou recevant du public (ERP) et le règlement de sécurité contre l'incendie relatif aux établissements recevant du public impose des contraintes au niveau de la résistance au feu des parois de chaufferie.

Pour les **installations de puissances supérieures à 70 kW**, les caractéristiques des parois sont les suivantes :

Implantation de la chaufferie		Caractéristiques des parois*			
		Murs latéraux	Plancher haut	Plancher bas	Couverture
En terrasse		MO	-	MO – CF 2 h	MO
À l'intérieur d'un bâtiment		MO – CF 2 h	MO – CF 2 h	MO – CF 2 h	-
À l'extérieur d'un bâtiment	D < 10 m	MO – CF 2 h	-	-	MO – CF 2 h
	D > 10 m	MO	-	-	MO
D : distance de la chaufferie au bâtiment MO : matériaux incombustibles - CF 2 h : coupe-feu de degré 2 heures					
* À l'exception des ouvertures indispensables à la ventilation de la chaufferie.					

Tandis que pour les **installations de puissances comprises entre 30 et 70 kW** les parois doivent être construites en matériau classé M0 et coupe-feu de degré 1h.

## Chaudière biomasse



Il est préconisé d'installer une chaudière de puissance équivalente aux déperditions. La puissance de chauffage correspondant au coefficient de surpuissance (habituellement pris à 15%) sera allouée à un ballon tampon.

L'intérêt est multiple :

- Minimiser les coûts de la chaudière en restant sous le seuil des 70 kW (réglementation chaudière). Fréquemment, le passage à 70 kW signifie le passage à une nouvelle gamme de chaudière plus couteuse.
- Minimiser les coûts qui impose des contraintes au niveau de la résistance au feu des parois de chaudière.
- Les 20% de déperditions en chauffage (approximativement 13kW) représentent moins de 5% des besoins annuels en chauffage. Il est donc plus pertinent d'allouer cette surpuissance de chauffage à un ballon accumulateur plutôt que de l'appliquer directement à la chaudière.
- Le ballon tampon permet d'améliorer le rendement de production en lissant les plages de fonctionnement de la chaudière biomasse. Cette réserve d'eau chaude permet d'éviter les cycles courts de fonctionnement de la chaudière.
- La surpuissance en chauffage est tout de même nécessaire pour une montée rapide en température dans le bâtiment. Le ballon accumulateur jouera ce rôle.

Il sera installé une chaudière biomasse de 60 kW avec un ballon tampon de 800 L. Les caractéristiques principales de la chaudière au granulé de bois à installer sont présentées ci-après :

Critères	Caractéristiques	Unité
Puissance maxi	60,0	kW
Puissance mini	13,4	kW
Rendement de combustion	> à 93%	
Hauteur maxi	1720	mm
Largeur (mini pour montage)	1450 (840)	mm
Profondeur (mini pour montage)	1500 (1420)	mm
Régulation	Sur loi d'eau + sonde lambda	
Nettoyage de l'échangeur	Automatique	
Grille de décendrage	Automatique	
Caractéristiques du combustible	Conforme charte qualité	



Profondeur maxi	1,62 m
Largeur maxi	1,125 m
Hauteur maxi	1,597 m
Hauteur chaufferie minimum	2,1 m
Poids chaudière	518 kg

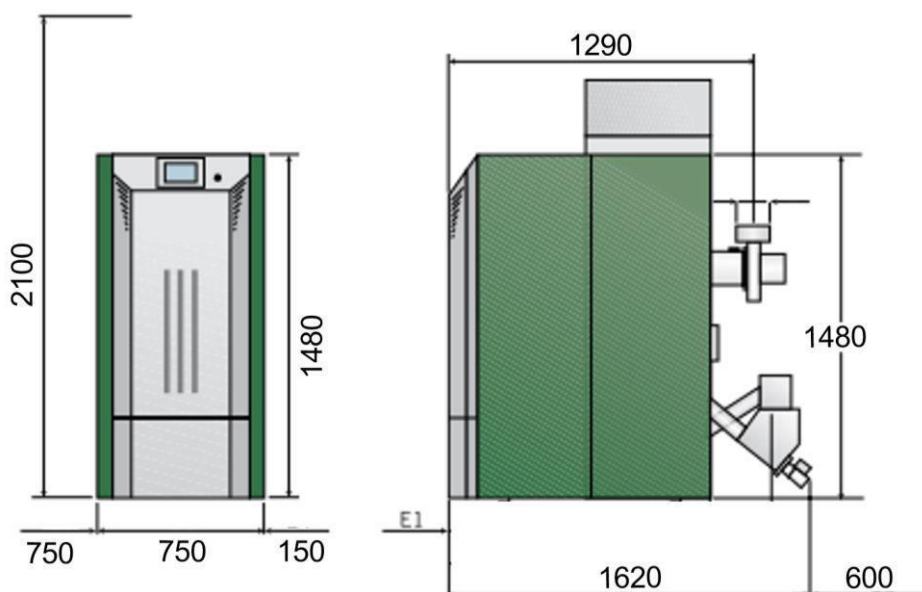


(Nettoyage automatique par grille basculante)

Cette chaudière est automatique et programmable. L'allumage, le décendrage et le nettoyage de l'échangeur seront automatiques.

La chaudière préconisée est capable de moduler sa puissance entre 14% et 100% de la puissance nominale tout en garantissant des rendements supérieurs à 93%. Elle est systématiquement équipée d'une sonde lambda qui contrôle en continu la qualité de combustion.

Voici les dimensions de la chaudière préconisée :



(Côtes en mm)

## Régulation



La régulation gère le processus de combustion et d'alimentation en combustible en fonction de la différence de température de sortie et de retour, le taux d'oxygène résiduel et la température programmée. La régulation de la quantité de combustible s'effectue en fonction de la température par la commande de charge par paliers. Cette dernière adapte la puissance de la chaudière et la quantité de combustible en fonction du rendement énergétique de ce dernier. Une indication de rendement externe n'est pas nécessaire. On obtient ainsi une combustion optimale avec une quantité d'imbrûlés et des valeurs d'émissions négligeables.

## Bâtiment chaufferie

Le silo et la chaufferie bois seront implantés dans un local en conformité avec la réglementation en vigueur concernant les chaufferies (arrêté interministériel du 23 juin 1978). En général de conception en béton ou en maçonnerie courante, la chaufferie devra être suffisamment spacieuse pour permettre une maintenance aisée de l'ensemble des équipements.

## Ballon Tampon



L'installation d'un ballon accumulateur permet d'augmenter encore le rendement de l'installation de chauffage. Un ballon accumulateur n'est pas absolument indispensable mais représente une valeur sûre pour toutes les installations de chauffage.

Dans les installations avec ballon accumulateur, la production de chaleur se fait durant une plus longue période. Ainsi, le nombre de démarrages de la chaudière est diminué et le rendement global de l'installation est augmenté.

Le ballon accumulateur assure de façon régulière les demandes de chaleur des différents circuits de chauffage et garantit ainsi des conditions d'exploitation optimales.

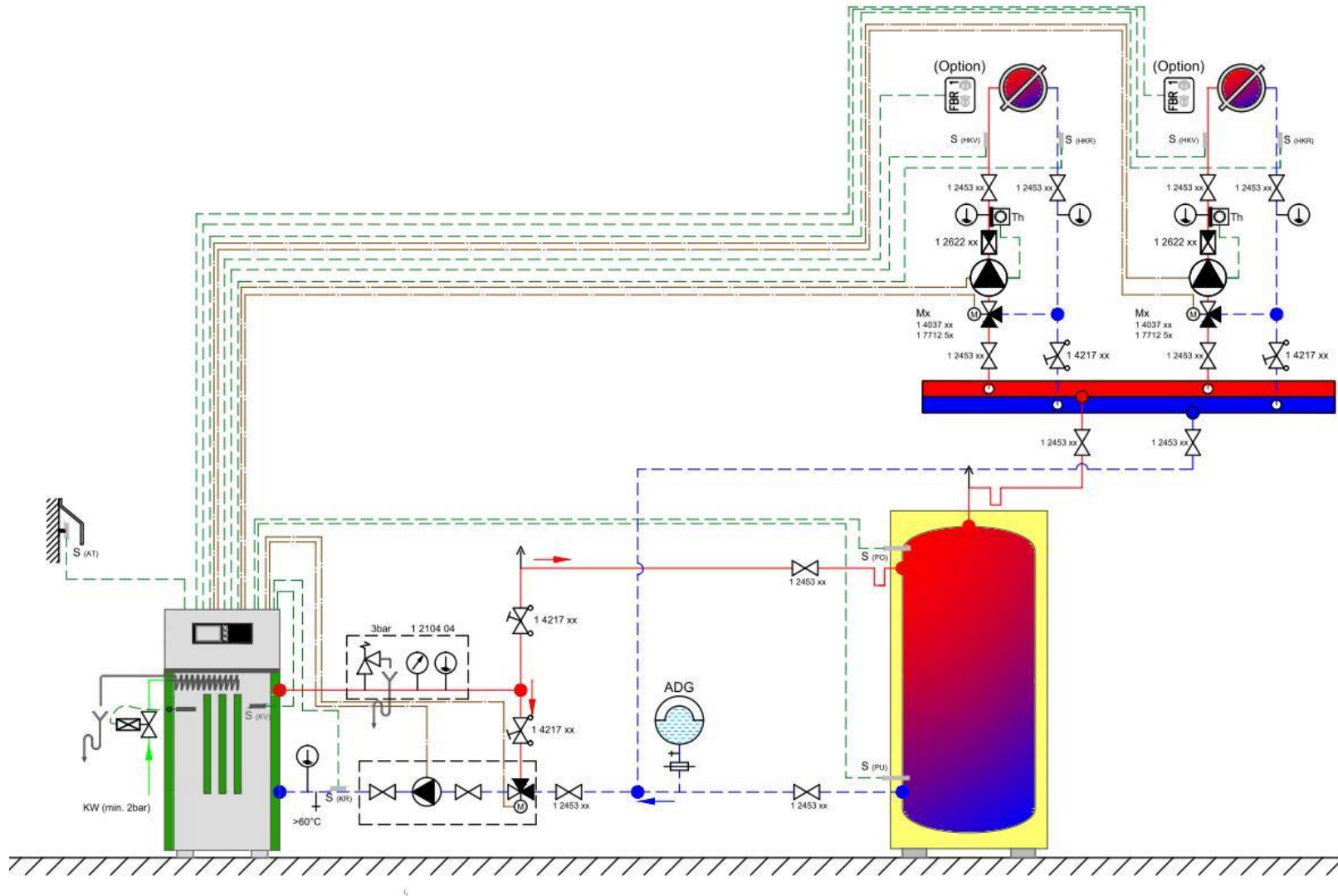
Pour un ballon de 800L couplé à une chaudière de 60kW le temps d'accumulation est d'environ 1h.

(Température moyenne eau froide 5,6°C, température eau chaude 70°C, Cp eau : 4185 J/(kg.K)). Ce qui représente aussi une réserve d'énergie de 59,9 kWh.

## 03.f Projet biomasse

### Schéma de principe chaufferie

Schéma de principe chaufferie présentant une chaudière biomasse, un ballon tampon, 2 départs de chauffage, les réseaux primaire et secondaire, et le système de régulation (pointillés vert et pointillés rouge).

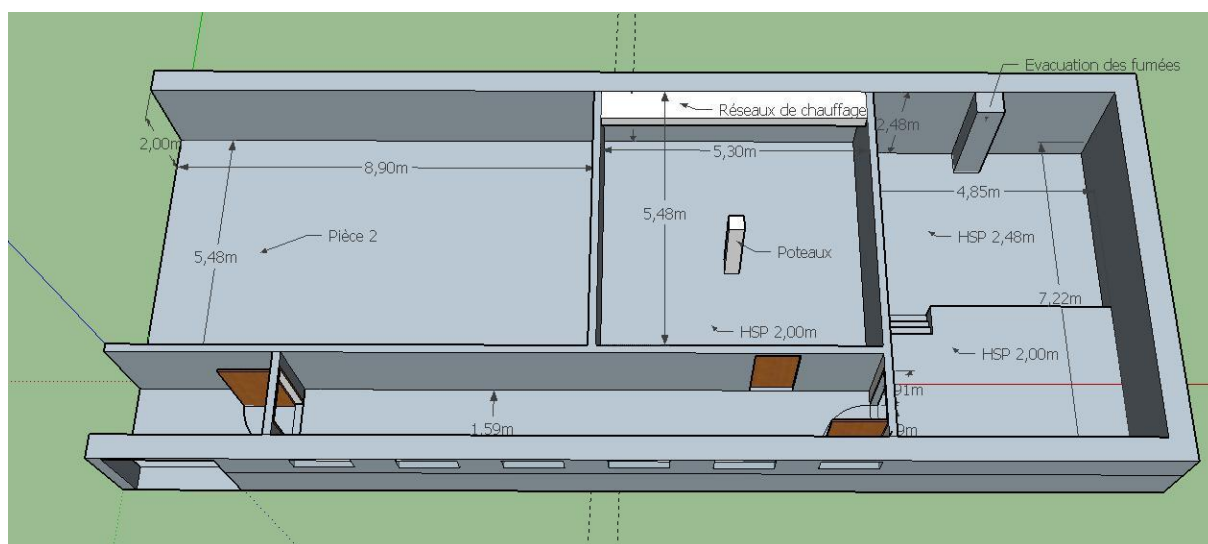


## 03.g Projet biomasse

### Silo de stockage et périphériques

#### Description du local à destination du silo de stockage :

Le silo de stockage du granulé de bois sera situé au même niveau que la chaufferie dans le sous-sol. Le local abrite actuellement des archives de l'Hôtel de ville et mesure 5,3m par 5,48m pour une hauteur de 2,00m. Soit un volume brut de 58 m<sup>3</sup>. Les parois sont composées de parpaings en maçonnerie courante. Un poteau porteur est implanté au centre de la pièce et des réseaux de chauffage transitent au plafond au fond de la pièce. Des luminaires et des réseaux électriques transitent également dans le local. La pièce est pourvue d'une porte d'accès côté couloir.

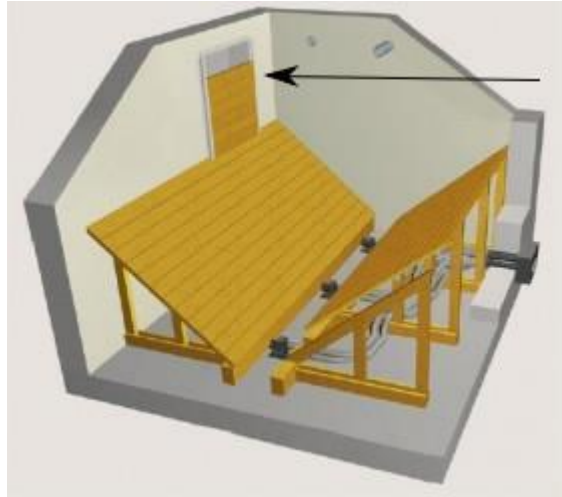


Les **parois** doivent être **lisses, propres et non humides** afin de ne pas détériorer les granulés de bois. Par conséquent, elles pourront être recouvertes d'un matériau lisse et résistant (de type OSB) ou panneaux de bois renforcés de chevrons.



Les matériels électriques et canalisations d'eau sont proscrits dans le local (lampe, prise, commutateur, boîte de dérivation...).

Le silo doit comporter une porte ou une **trappe de visite** protégée de la pression des granulés.



Afin de limiter la poussière pendant les phases de remplissage du silo, il est conseillé de renforcer le niveau d'étanchéité à l'air de la porte et/ou de la trappe de visite et de s'assurer de l'étanchéité des parois.

Un **tapis de protection** d'impact positionné à l'opposé des bouches de remplissage permettra d'amortir les granulés lors du soufflage.







Le remplissage du silo sera réalisé par un ou plusieurs **raccords de remplissage** composé d'un tube en métal le plus court possible (variable selon la longueur de la pièce), relié à la terre (électricité statique), pointé vers le tapis d'impact, à 25 cm minimum du plafond et à 50 cm minimum de la bouche d'aspiration.

L'extrémité à l'extérieur du silo est un raccord pompier diamètre 10 cm avec bouchon d'obturation. La taille du silo est supérieure à 2,5m ce qui impose de positionner 2 raccords afin de répartir équitablement le granulé dans le silo lors des phases de remplissage. Les raccords doivent être à hauteur d'homme pour être accessibles directement par le livreur sans échelle et ne doivent pas être trop bas (neige, salissures).

Le silo devra inclure un **raccord d'aspiration** pour connecter l'aspirateur du livreur ou évent (tube métal) avec une manchette de filtration des poussières fixe ou mise en place par le livreur. Le raccord d'aspiration sera placé à 50 cm minimum de l'extrémité intérieure du raccord de remplissage et idéalement, 5 à 10 cm au-dessus de ce dernier (pour éviter une aspiration des granulés). Ce raccord ou cet évent évite une mise en pression du silo et préserve le granulé lors de la livraison. Il a été intégré 3 raccords pour un remplissage uniforme du combustible dans le silo.



La surveillance du niveau du stock de granulé peut être réalisé par des œilletons, des bandes plexiglas dans la trappe d'accès ou des panneaux translucides dans les parois du silo.



Deux typologies d'extracteur de silo peuvent être envisagé :

- Extraction par vis flexible
- Extraction par dessileur et vis rigide

### Extraction par vis flexible

L'extraction par vis flexible depuis un silo maçonné est la solution la plus simple et la moins consommatrice d'énergie pour convoier le granulé vers la chaudière. Ce type d'extraction nécessite des pans inclinés en V avec un angle minimum de 40°C par rapport au sol pour faciliter le glissement des granulés et permettre une vidange complète du silo. Avec des panneaux lisses de type mélaminé l'angle peut même être réduit à 30°C. L'inconvénient est qu'une partie importante du volume de la pièce est perdue sous le pan incliné (perte de volume utile).

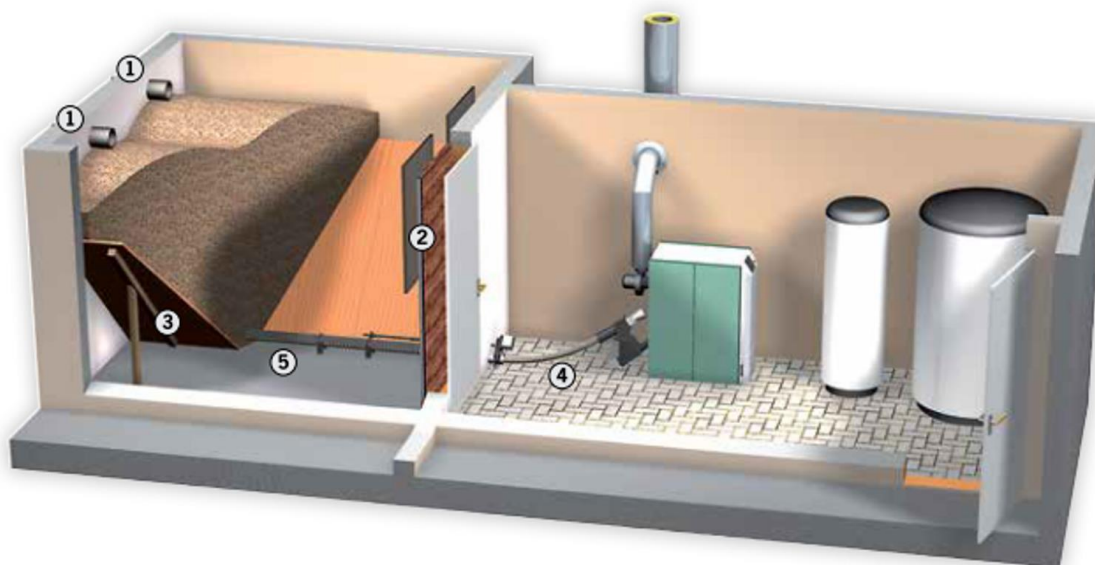


Image : sbthermique

**1. Raccords de remplissage :** Les granulés sont soufflés dans le silo via les raccords de remplissage. Au moins 1 raccord de remplissage et 1 raccord pour la dépression sont nécessaires pour une livraison conforme du granulé. Le raccord non utilisé pour le remplissage sert à la récupération des poussières générées par le soufflage du granulé.

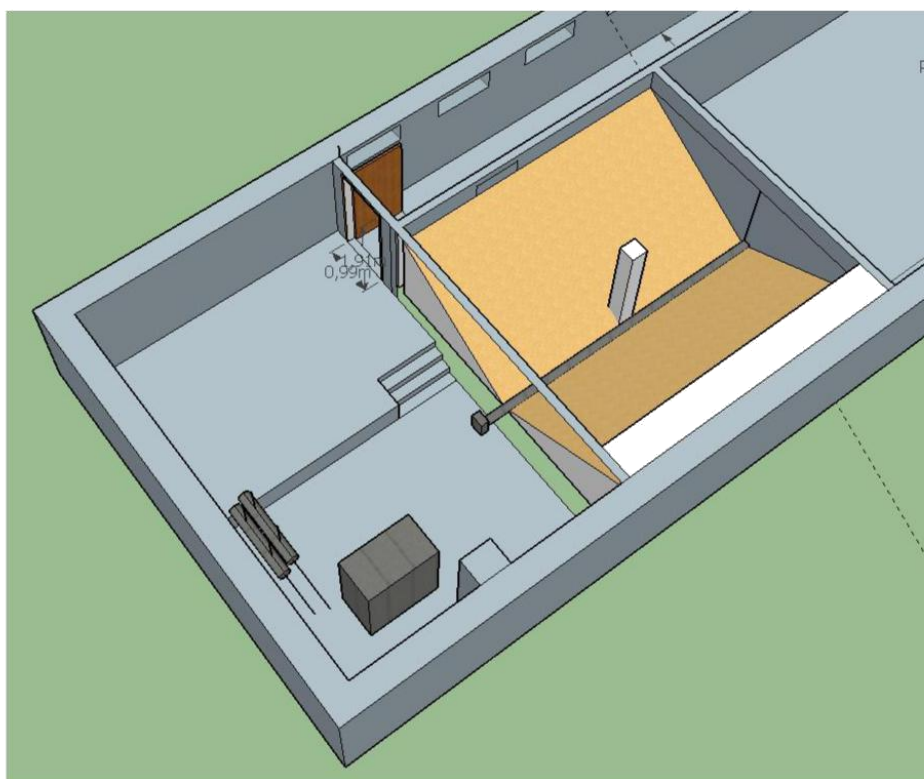
**2. Tapis anti-écrasement :** Le tapis anti-écrasement sert à éviter de détériorer les granulés lors de la livraison.

**3. Pans inclinés :** Afin de vider efficacement le silo des pans inclinés sont conseillés.

**4. Vis flexible :** La vis flexible est une vis sans âme souple qui permet de convoier le granulé jusqu'à la chaudière sans le détériorer.

**5. Système par vis flexible** depuis un silo maçonné.

## Vue de l'installation avec pans inclinés et vis flexible



## Consommation en combustible bois

Le tableau suivant présente la consommation prévisionnelle en chauffage du projet biomasse :

	Chaufferie Fioul actuelle	Chaufferie Fioul rénovée	Chaufferie Bois
Besoins en Chauffage [kWh]	133 395 kWh		
Rendement Chaudière	93%	98%	93%
Rendement Global	77%	92%	88%
Consommations [kWh]	176 517 kWh	144 623 kWh	<b>152 398 kWh</b>
Quantité combustible	17 421 Litres	14 520 Litres	<b>33 866 kg</b> 52,1 m <sup>3</sup>

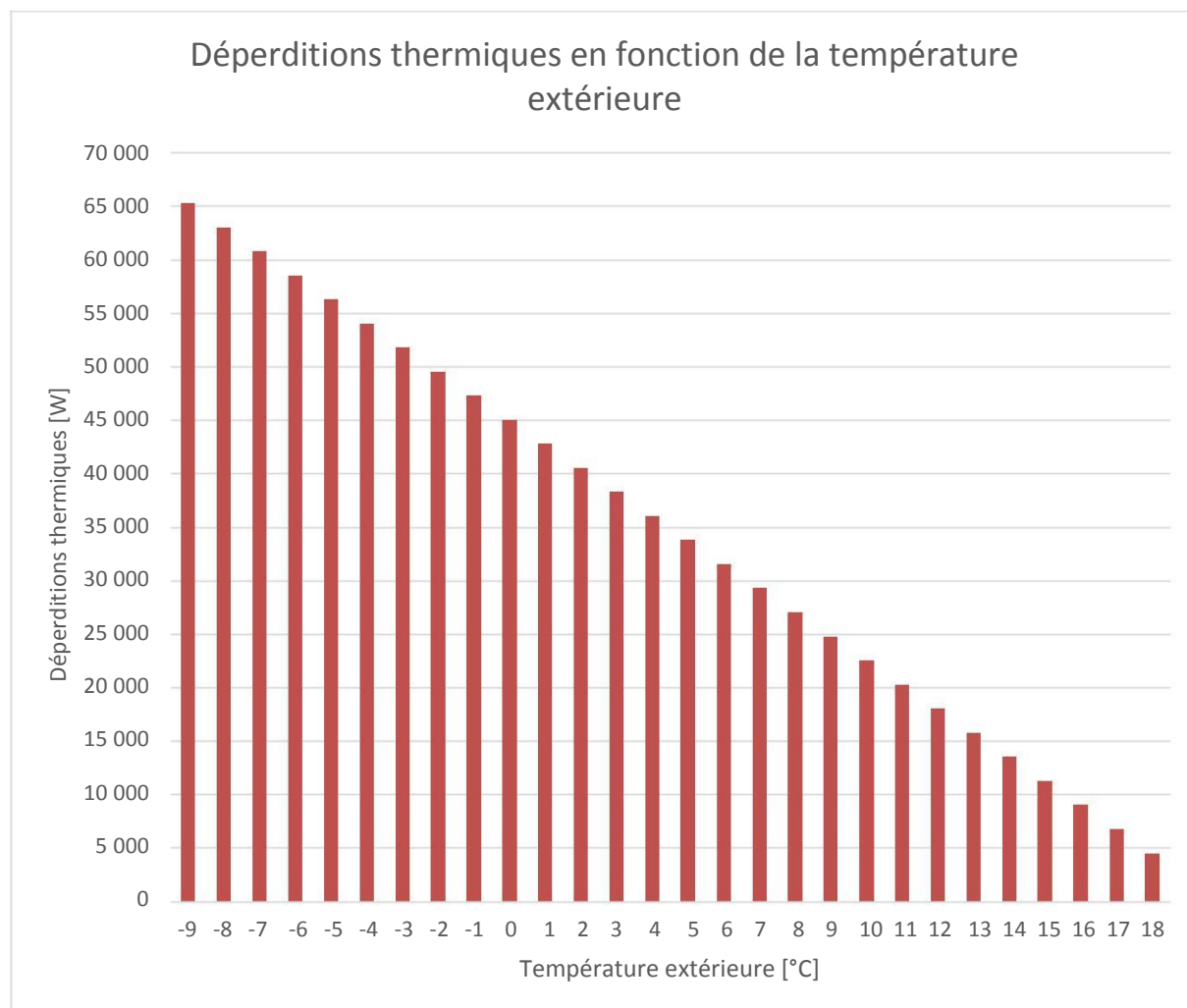
Caractéristiques du granulé :

Pouvoir calorifique granulé : 4 500 kWh/tonne

Densité : 0,65 tonne/m<sup>3</sup>

La nouvelle **consommation prévisionnelle en chauffage bois** est évalué à **152 400 kWh/an** ce qui représente approximativement **33,9 tonnes de granulés** de bois (à savoir 52,1 m<sup>3</sup>).

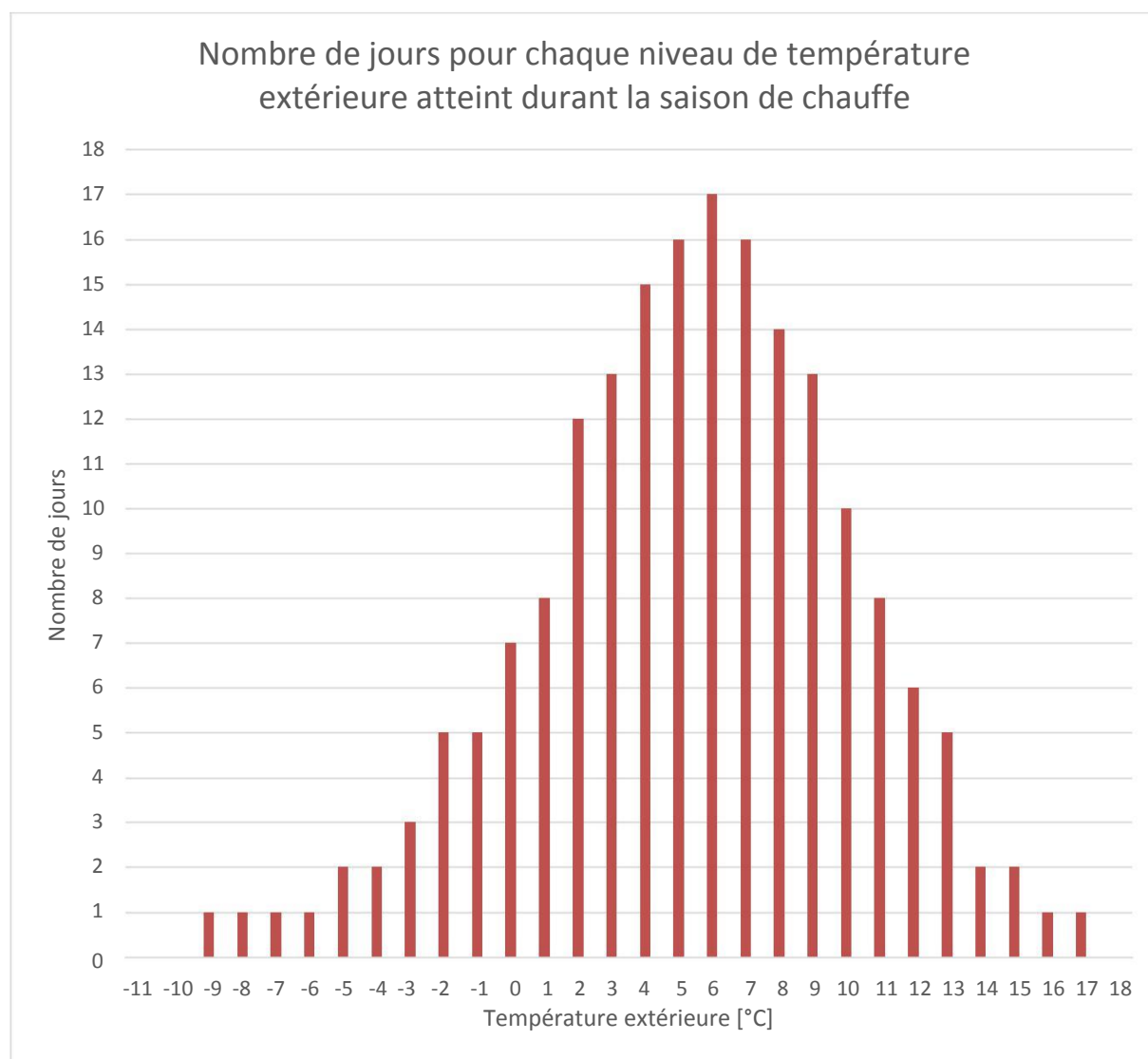
Le dimensionnement de la puissance de chaufferie dépend du niveau d'isolation du bâtiment mais aussi du niveau de température extérieure maximum qui peut être atteint. Le tableau suivant présente les différents niveaux de déperdition en fonction de la température extérieure. A savoir que lorsque la température de consigne en chauffage est fixée à 20°C, il est considéré que les apports gratuits (apports internes et extérieurs) en mi-saison suffisent à chauffer le bâtiment même pour une température d'air extérieure de 18°C.



## ANALYSE

On observe ainsi que le niveau de déperdition maximum est d'environ 65 kW pour une température extérieure de -9°C et que pour -7°C le niveau de déperdition est réduit de 5 kW. Approximativement, pour chaque degré extérieur cela correspond à une amplitude de 5 kW sur le niveau des déperditions thermiques.

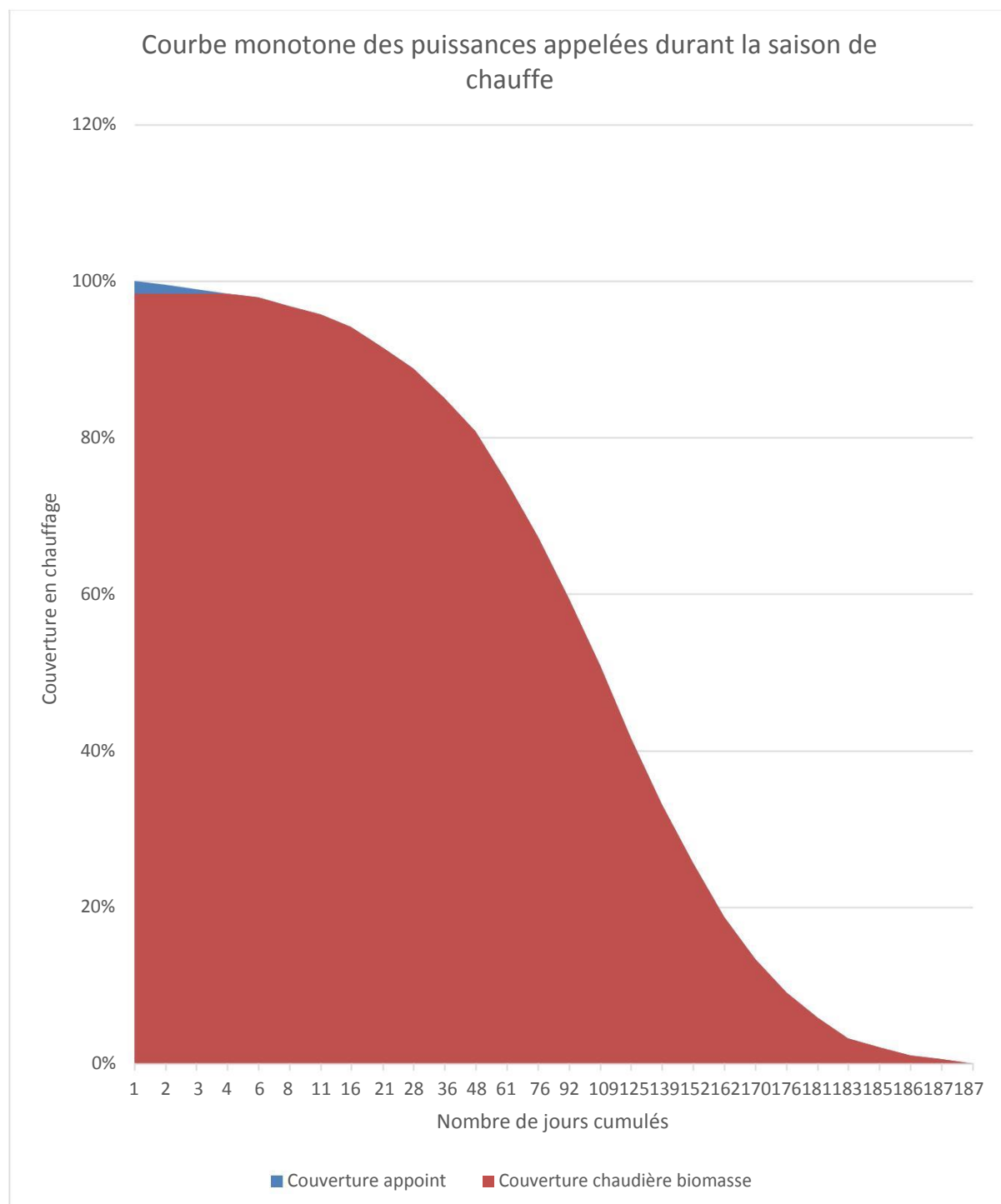
L'affectation des niveaux de puissance entre la chaudière principale et les équipements en appoint peut être optimisée en visualisant la fréquence d'apparition de chaque niveau de température extérieure. Le graphique suivant présente le nombre de jours pour chaque niveau de température atteint pendant la saison de chauffe.



#### ANALYSE

On observe que 80% de la saison de chauffe correspond à des températures supérieures à 2°C. La température moyenne pendant la saison de chauffe est de 5,6°C ce qui correspond à 55% du temps total.

Dans le cas d'une installation biomasse avec existence d'un appoint, l'optimisation du fonctionnement futur de la chaufferie bois se traduit par la recherche du meilleur compromis Puissance de l'équipement / Energie délivrée sur l'année. Ceci est réalisé à partir de la courbe monotone de besoins thermiques, qui exprime la fréquence des besoins thermiques en puissance appelée (graphique suivant). Dans notre cas, la chaudière au granulé de bois est couplée à un ballon tampon de 800L qui permet de compléter les 5 kW de puissance manquants de la chaudière de 60kW.





## Autonomie

Le tableau suivant présente le volume utile de chaque configuration de silo et le nombre d'approvisionnement annuel prévisionnel :

<b>Volume brut du silo [m<sup>3</sup>]</b>	58,1
<b>Volume utile du silo [m<sup>3</sup>]</b>	27,9
<b>Pourcentage sur volume brut</b>	48%
<b>Consommation annuelle en biomasse</b>	152 398 kWh
	33,9 Tonnes
	52 m <sup>3</sup>
<b>Nombre d'approvisionnements</b>	1,9

Pour les deux configurations de silo, il est à **prévoir au moins 2 approvisionnements** par saison de chauffe.

A partir de la puissance de chaudière bois, il est possible de déterminer l'autonomie minimale du silo, qui correspondrait à une utilisation prolongée à pleine puissance pendant la période la plus froide de la saison de chauffe.

<b>Volume utile du silo [m<sup>3</sup>]</b>	27,9
<b>Consommation maximale de granulé de bois pour une température extérieure de -9°C</b>	1 567 kWh
	348 kg
	0,536 m <sup>3</sup>

En période hivernale extrême la consommation prévisionnelle en granulé de bois s'élèverait à environ 348 kg par jour ce qui génèrerait environ 3,48 kg de cendre par jour

## Données environnementales

---

Les fumées sont extraites par un ventilateur à débit variable contrôlant la dépression du foyer.

Traitement des fumées selon respect de l'Arrêté du 26/08/2013 – Valeurs à 6% d'O<sub>2</sub> sur gaz secs :

		A Puissance mini	A Puissance maxi	Arrêté du 26/08/2013
Emissions de CO	[Mg/Nm <sup>3</sup> ]	89	147	250
Emissions de Nox	[Mg/Nm <sup>3</sup> ]	163	234	400
Emissions de poussières	[Mg/Nm <sup>3</sup> ]	11	25	50



### Exploitation

---

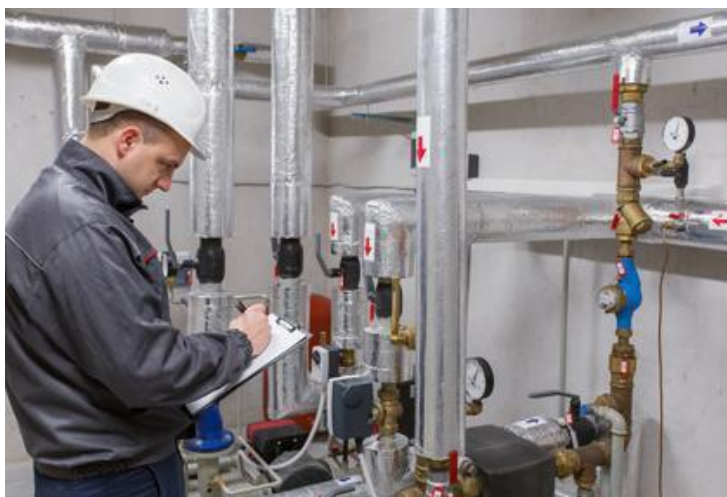
L'exploitation comprend un suivi général de l'installation et des travaux qui doivent être effectués périodiquement :

Par un technicien non spécialisé avec une formation peu approfondie :

- ✓ Approvisionnement du silo : commande du combustible et réception lors des livraisons (contrôle de la qualité) « il ne faut pas hésiter à refuser un déchargement si les caractéristiques du combustible (calibrage, humidité) ne correspondent pas aux exigences souhaitées »,
- ✓ Surveillance quotidienne : surveillance rapide et quotidienne du bon fonctionnement de la chaudière, notamment vis à vis du transfert du combustible, contrôle des températures, contrôle du niveau de bois dans le silo, tenue d'un cahier en chaufferie, nettoyage mensuel de la chaudière (tubes de fumées), intervention annuelle : nettoyage général.

Par un technicien spécialisé :

- ✓ Interventions mensuelles : assistance à la vérification et au nettoyage des foyers de combustion, réglage et contrôle de la combustion,
- ✓ Intervention annuelle : Ramonage des conduits de fumées,
- ✓ Interventions ponctuelles : dépannage suite aux défauts de fonctionnement, remplacement des pièces d'usures.





### Montage juridique

---

La chaudière bois dessert uniquement un bâtiment du maître d'ouvrage. Il n'y a donc pas de contrainte spécifique pour la réalisation d'un statut ou d'un établissement particulier. A ce titre, il appartient au maître d'ouvrage de prendre en charge le financement des ouvrages. Celui-ci optera pour une exploitation soit en régie directe, soit en gestion privée avec intéressement (partenariat, concession, affermage, ...).

La maîtrise d'ouvrage peut décider de gérer son équipement :

- Dans le cadre d'une régie à personnalité morale et/ou autonomie financière et conclure des marchés de travaux et/ou d'exploitation,
- Elle a aussi la possibilité de procéder à une délégation de service public : pour un contrat de concession ou d'affermage.

Les installations et les réseaux donneront lieu à des amortissements. Les durées préconisées par l'administration pour les installations de chauffage sont de 10 à 20 ans.

Si la maîtrise d'ouvrage choisit une gestion en régie, le service devra être géré en conformité avec les règles financières et comptables publiques. Les marchés de travaux, de fournitures ou de prestations doivent être conclus selon des procédures applicables aux marchés publics.

Il est fortement conseillé de former du personnel compétent pour la gestion de la chaufferie bois et du réseau, ainsi que d'assurer le suivi des compétences en cas de départs/relais/absence.

Dans une régie, la maîtrise d'ouvrage prend en charge l'ensemble de la gestion du service avec ses moyens humains et matériels. Elle peut aussi s'appuyer sur une entreprise prestataire de services pour réaliser l'exploitation (actions soumises au code des marchés publics). Cette option est recommandée si la maîtrise d'ouvrage ne possède pas le personnel adéquat. A l'exception du directeur et du comptable public, le personnel est soumis au droit privé.

## Planning prévisionnel d'études et de travaux

A la suite de la présente étude de faisabilité, un marché de maîtrise d'œuvre pourra être lancé afin de réaliser la future chaufferie bois.

La réalisation du projet sera réalisée dans un délai qu'il conviendra de définir lors de la contractualisation de l'étude entre la commune et l'équipe de maîtrise d'œuvre.

Toutefois un planning prévisionnel de réalisation des phases d'études et de travaux est proposé ci-après :

- Phase ESQ : 2 semaines,
- Phases APS : 4 semaines,
- Phase APD : 3 semaines,
- Phases PRO et DCE : 4 semaines,
- Phase ACT : 2 semaines,
- Phase DET : 11 semaines,
- Phase OPC : 3 semaines,
- Phase AOR : 1 semaine.

Phases du projet	Mois 1	Mois 2	Mois 3	Mois 4	Mois 5	Mois 6	Mois 7
ESQ	x						
APS	x	x					
APD		x	x				
PRO/DCE			x	x			
Consultation des entreprises							
ACT				x	x		
Lancement des travaux							
DET					x	x	
OPC						x	x
AOR							x

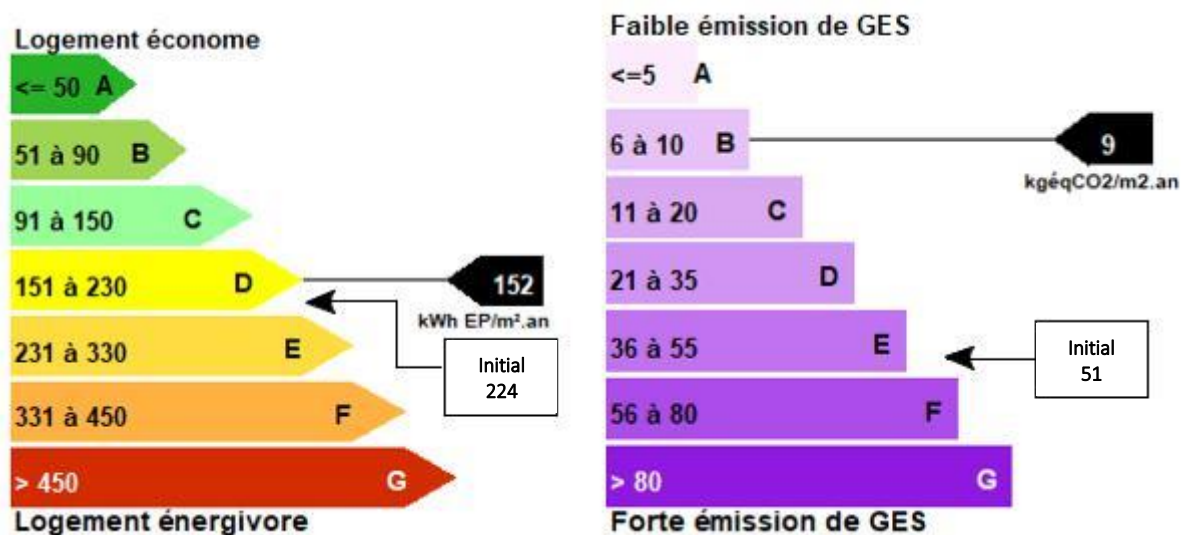
### Situation énergétique projet biomasse

Le tableau suivant présente les consommations en énergie prévisionnelles pour le projet biomasse :

	Consommation Energie primaire		Consommation Energie finale		Emissions de CO2		Dépenses en énergie	
	kWh ep	%	kWh ef	%	kg CO2	%	€ TTC	%
<b>Chauffage (granulé de bois)</b>	152 398	85%	91 439	57%	7 772	80%	9 127	70%
Eau Chaude Sanitaire	6 005	3%	15 493	10%	240	2%	899	7%
Eclairage	13 257	7%	34 203	21%	1 326	14%	1 985	15%
Auxiliaires de chauffage	3 752	2%	9 679	6%	225	2%	562	4%
Auxiliaires de ventilation	3 422	2%	8 829	6%	205	2%	512	4%
<b>TOTAL</b>	<b>178 834</b>	<b>100%</b>	<b>159 643</b>	<b>100%</b>	<b>9 768</b>	<b>100%</b>	<b>13 085</b>	<b>100%</b>

A titre d'information, une étiquette énergie type « étiquette DPE » a été établie afin de positionner la performance énergétique et environnementale du bâtiment. En aucun cas, cette étiquette n'a de valeur de DPE.

### Etiquette Energétique théorique projet biomasse



Nota : La performance du bâtiment établie en équivalent DPE est donnée à titre indicatif. Il ne peut en aucun cas remplacer un Diagnostic de Performance Energétique réalisé par un diagnostiqueur agréé.

Le projet biomasse ne permet pas de changer de classe énergétique (classe D) car les besoins en chauffage restent importants (déperditions thermiques élevées) mais il permet de réduire de 72 points l'étiquette énergétique et de 42 points l'étiquette climatique en gagnant 3 classes climatiques en passant de E à B.



# 04

## Etude économique, financière et environnementale

Cette partie a pour objectif de déterminer la faisabilité économique et financière du projet. Elle servira d'aide à la décision.

### Hypothèses de calcul

L'analyse sera effectuée en coût global avec et sans P3. Les solutions bois seront comparées par rapport à la solution actuelle et à la solution de référence.

#### ➤ Evolution des prix

Le prix du **granulé bois** est pris à un tarif moyen de référence de **59,9 € TTC/MWh**.

Le prix de l'énergie **fioul** est basé sur le prix de l'année 2018. Soit **76,3 € TTC/MWh**.

Le prix du kWh **électrique** est basé sur le prix de l'année 2018. Soit **149,7 € TTC/MWh**.

Avec une TVA sur le prix du fioul et de l'électricité de 20% et de 10% pour les granulés de bois.

### Coûts d'exploitation

Afin d'effectuer les prévisions de coût d'exploitation de la chaufferie, il faut prendre en compte les postes suivants :

**Le poste P1** correspond à l'achat annuel d'énergies. Il prend en compte les consommations en bois ou en fioul.

**Le poste P'1**, prend en compte les consommations en électricité des différents équipements associés au fonctionnement des chaufferies.

**Le poste P2** correspond aux coûts d'exploitation et de maintenance en petits entretiens (contrôle des paramètres chaudière, gestion des cendres, ramonage des tubes de fumées, ...). Le montant P2 a été évalué sur base de contrats de maintenance proposé par les fournisseurs de chaudière bois (granulés et plaquettes).

**Le poste P3** correspond aux provisions réalisées en cas de grosses réparations des équipements constituant l'installation. Nous avons considéré ici un contrat négocié sur 30 ans pour le reste des calculs. Nous l'avons évalué par ratio et s'élève à 2% du montant total de l'investissement.

**Le poste P4** correspond aux annuités. Le taux d'emprunt simulé ici est de 2 % et le remboursement du projet est effectué sur 20 ans.

## Coût du MWh utile

Il s'agit d'exprimer la dépense liée au fonctionnement de la chaudière en coût global, ramenée au besoin de chaleur du site (en TTC/kWh utile). Elle correspond à la somme des postes annuels de dépense liés :

- Au combustible
- A l'entretien courant
- Aux provisions pour renouvellement
- Au financement des investissements (intérêts d'emprunt) [en fonction des cas]

## 04.a Etude économique, financière et environnementale

### Chiffrage

Le tableau suivant synthétise les coûts d'investissement de l'installation au fioul (référence) et de l'installation au bois. Le détail du chiffrage est présenté en page suivante :

	Fioul	Biomasse	
Chaudières et périphériques			
Installation fioul	10 200		€ HT
Installation biomasse		24 160	€ HT
Rénovation chaufferie	28 100	28 100	€ HT
Démantèlement	3 000	3 000	€ HT
Création du silo de granulé de bois		2 400	€ HT
<b>TOTAL Investissement travaux</b>	<b>41 300</b>	<b>57 660</b>	<b>€ HT</b>
Ingénierie, contrôle	3 300	4 600	€ HT
Imprévus	1 200	1 700	€ HT
<b>TOTAL</b>			
<b>Total HT</b>	<b>45 800</b>	<b>63 960</b>	<b>€ HT</b>
TVA 20%	9 160	12 792	€
<b>TOTAL TTC</b>	<b>54 960</b>	<b>76 752</b>	<b>€ TTC</b>

L'installation au granulé de bois est 18 200 € plus couteuse que l'installation au fioul ce qui représente un surcoût de 39,65%. Le surcoût provient de la chaudière biomasse qui est 14 000 € plus couteuse qu'une chaudière au fioul et de la création du silo (2 400 € HT).

Ce qui représente environ 654 € HT/kW de puissance fioul installée contre 1 066 € HT/kW de puissance bois installée soit un écart de 63%.

	Référence	Scénario	
<b>Chaudières et périphériques</b>	<b>Fioul</b>	<b>Biomasse</b>	
<b>Installation fioul</b>			
Chaudière (70 kW)	8 000		€ HT
Fumisterie	2 000		€ HT
Divers - Mise en service	200		€ HT
Sous-total installation fioul	10 200		€ HT
<b>Installation biomasse</b>			
Chaudière au granulé de bois (60 kW)		14 630	€ HT
Extraction silo et transfert du combustible		2 151	€ HT
Remplissage silo		1 514	€ HT
Fumisterie		2 900	€ HT
Ballon tampon 800L calorifugé		870	€ HT
Télégestion		1 125	€ HT
Divers - Mise en service		970	€ HT
Sous-total installation biomasse		24 160	€ HT
<b>Rénovation chaufferie</b>			
Création boucle primaire	4900	4 900	€ HT
Boucle secondaire (réseau, pompes, vannes...)	9100	9 100	€ HT
Electricité (tableau, câble, protections...)	8400	8 400	€ HT
Vase d'expansion	700	700	€ HT
Calorifuge	2200	2 200	€ HT
Porte coupe-feu	1700	1 700	€ HT
Divers (extincteur, vidange et remplissage réseau...)	1100	1 100	€ HT
<i>Sous-total HT</i>	28 100	28 100	€ HT
<b>Démantèlement</b>			
<i>Chaudières fioul et équipements existants</i>	3 000	3 000	€ HT
<b>Création du silo de granulé de bois</b>			
<i>Structure à pans inclinés</i>		1 400	€ HT
<i>Nettoyage et préparation de la pièce (protection des réseaux de chauffage et d'électricité)</i>		1 000	€ HT
<i>Sous-total</i>		2 400	€ HT
<b>Investissement travaux</b>			
<i>Sous-total</i>	41 300	57 660	€ HT
<b>Ingénierie, contrôle</b>			
<i>(8% du matériel)</i>	3 300	4 600	€ HT
<b>Imprévus</b>			
<i>3% des travaux</i>	1 200	1 700	€ HT
<b>TOTAL</b>			
<b>Total HT</b>	<b>45 800</b>	<b>63 960</b>	<b>€ HT</b>
<b>TVA 20 %</b>	9 160	12 792	€
<b>TOTAL TTC</b>	<b>54 960</b>	<b>76 751</b>	<b>€ TTC</b>

## 04.b Etude économique, financière et environnementale

### Analyse des coûts d'exploitation

#### Sans aides financières

Il est important d'intégrer les taxes appliquées sur l'achat du combustible car les niveaux de TVA sont différents entre le fioul et le bois.

TVA combustible fioul : 20%  
TVA combustible granulé de bois : 10%

✓ Coûts d'exploitation des différents scénarios (**P1, P'1 et P2**) :

	Fioul existant	Fioul rénové	Biomasse	Unités
P1 - Achat combustibles	13 200	11 040	9 130	€ TTC
Combustible biomasse	0	0	9 130	€ TTC
Combustible fioul	13 200	11 040	0	€ TTC
P1 - Conso. Auxiliaires électriques	156	156	564	€ TTC
P2 - Entretien et petites réparations	264	264	360	€ TTC
<b>Total P1, P'1 et P2</b>	<b>13 620</b>	<b>11 460</b>	<b>10 054</b>	<b>€ TTC</b>
Economies annuelles d'exploitation	-	-	1 406	€
	-	2 160	3 566	€
Coût du MWh	102,1	85,9	75,4	€ TTC/MWh
Ecart	-	-	-12.3%	
	-	-15.9%	-26.2%	

✓ Coûts d'exploitation avec P3 des différents scénarios (P1, P'1, P2 et P3) :

	Fioul existant	Fioul rénové	Biomasse	Unités
P1 - Achat combustibles	13 200	11 040	9 130	€ TTC
Combustible biomasse	0	0	9 130	€ TTC
Combustible fioul	13 200	11 040	0	€ TTC
P1 - Conso. Auxiliaires électriques	156	156	564	€ TTC
P2 - Entretien et petites réparations	264	264	360	€ TTC
P3 - Provisions grosses réparations	0	1 080	1 560	€ TTC
<b>Total P1, P1', P2 et P3</b>	<b>13 620</b>	<b>12 540</b>	<b>11 614</b>	<b>€ TTC</b>
Economies annuelles d'exploitation	-	-	926	€
	-	1 080	2 006	€
Coût du MWh	85,1	78,3	87,1	€ TTC/MWh
Ecart	-	-	-7.4%	
	-	-7.9%	-14.7%	

✓ Coûts d'exploitation avec P4 des différents scénarios (P1, P'1, P2, P3 et P4) :

	Fioul existant	Fioul rénové	Biomasse	Unités
P1 - Achat combustibles	13 200	11 040	9 130	€ TTC
Combustible biomasse	0	0	9 130	€ TTC
Combustible fioul	13 200	11 040	0	€ TTC
P1 - Conso. Auxiliaires électriques	156	156	564	€ TTC
P2 - Entretien et petites réparations	264	264	360	€ TTC
P3 - Provisions grosses réparations	0	1 080	1 560	€ TTC
P4 - Annuités (sans aides financières)	0	3 360	4 690	€ TTC
Intérêts annuités	0	612	852	€ TTC
<b>Total exploitation 1ère année sans subventions (P1, P1', P2, P3 et P4)</b>	<b>13 620</b>	<b>15 900</b>	<b>16 304</b>	<b>€ TTC</b>
Economies annuelles d'exploitation	-	-	-404	€
	-	-2 280	-2 684	€
Coût du MWh	102,1	119,2	122,2	€ TTC/MWh
Ecart	-	-	2,5%	
	-	16,7%	19,7%	



## Avec 30% d'aides financières

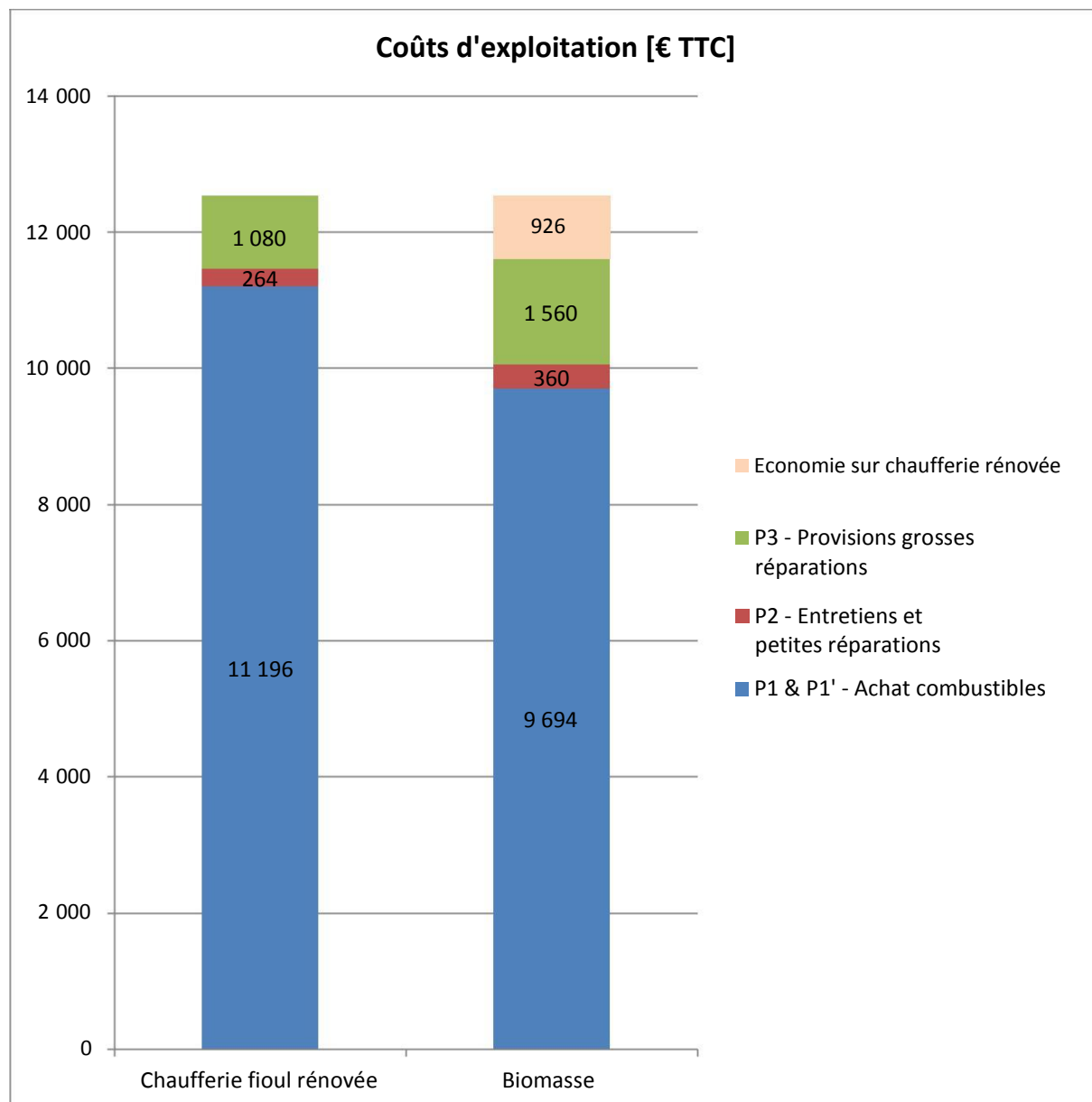
L'intégration des aides financières impacte uniquement les annuités de l'emprunt - P4.

	Fioul existant	Fioul rénové	Biomasse	Unités
P1 - Achat combustibles	13 200	11 040	9 130	€ TTC
Combustible biomasse	0	0	9 130	€ TTC
Combustible fioul	13 200	11 040	0	€ TTC
P1 - Conso. Auxiliaires électriques	156	156	564	€ TTC
P2 - Entretien et petites réparations	264	264	360	€ TTC
P3 - Provisions grosses réparations	0	1 080	1 560	€ TTC
P4 - Annuités (sans aides financières)	0	3 360	3 290	€ TTC
Intérêts annuités	0	612	604	€ TTC
<b>Total exploitation 1ère année sans subventions (P1, P1', P2, P3 et P4)</b>	<b>13 620</b>	<b>15 900</b>	<b>14 904</b>	<b>€ TTC</b>
Economies annuelles d'exploitation	-	-	996	€
	-	-2 280	-1 284	€
Coût du MWh	102,1	119,2	111,7	€ TTC/MWh
Ecart	-	-	-6,3%	
	-	16,7%	9,4%	

Les subventions permettraient de réduire le coût unitaire de la chaleur de 10,5 € / MWh en passant de 122,2 € TTC /MWh à 111,7 € TTC /MWh. Soit 8,6% de réduction.

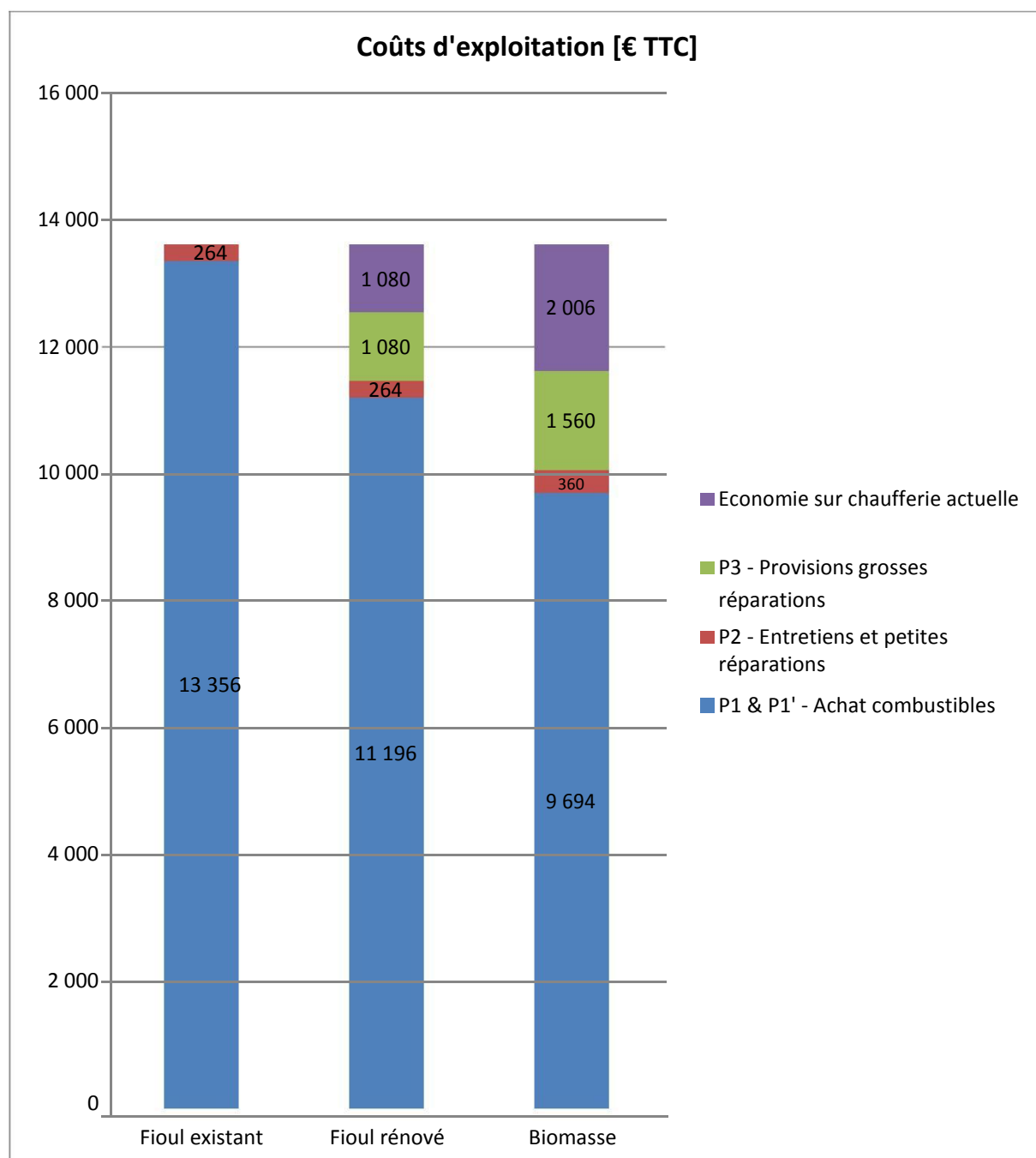
## Synthèse

Le graphique suivant présente les coûts d'exploitation P1, P'1, P2 et P3 de la situation de référence (chaufferie fioul renouvelée) et de la situation biomasse :



On visualise aisément les économies sur la facture du combustible bois (P1) qui représente 83% de la facture totale en projet biomasse contre 89% de la facture en projet fioul. En revanche, la part P3 est plus lourde en projet biomasse puisqu'elle représente 13% de la facture contre 9% en projet fioul. Les économies du projet biomasse représentent environ 930 € par rapport à la situation au fioul.

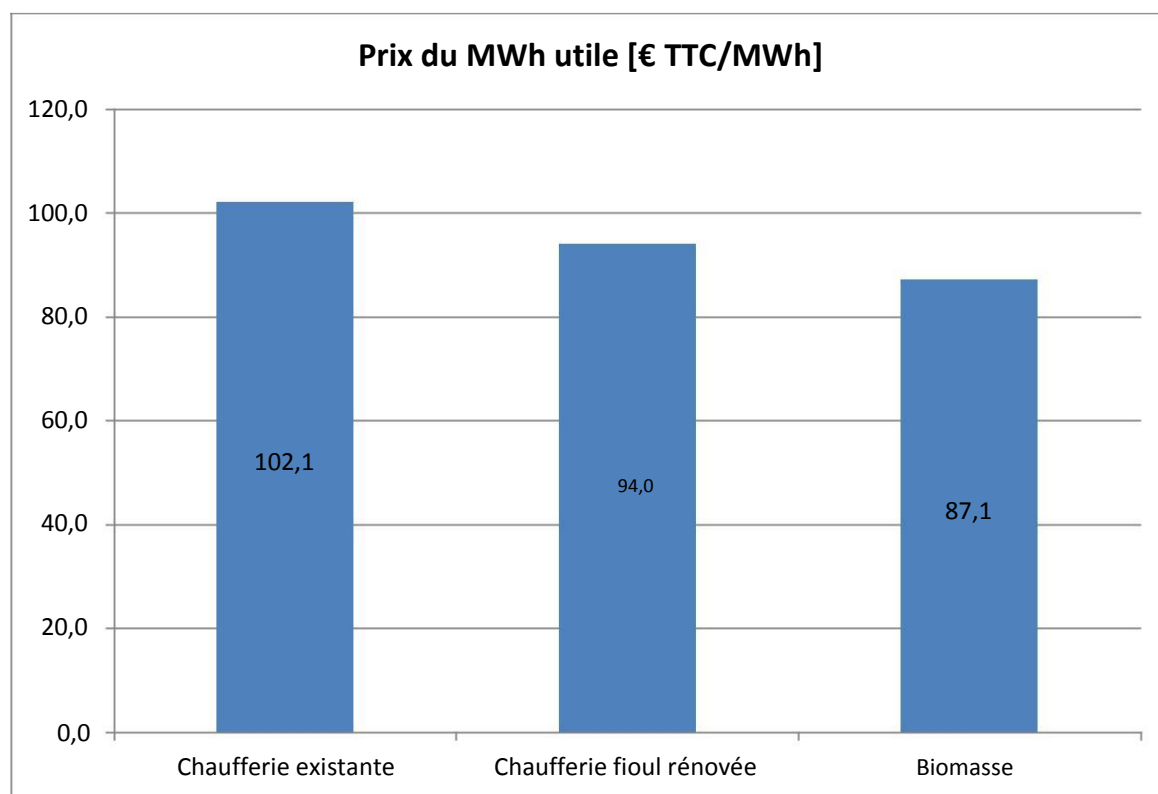
Le graphique suivant présente les coûts d'exploitation P1, P'1, P2 et P3 de la situation de référence (chaufferie fioul rénovée) et de la situation biomasse ainsi que de la situation actuelle :



On visualise aisément les économies sur la facture du combustible bois (P1) qui représente 83% de la facture totale en projet biomasse contre 98% du P1 sur la facture actuelle en fioul. La réduction de la dépense liée au combustible représente alors 27%.

Les économies du projet biomasse représentent environ 2 006 € par rapport à la situation actuelle au fioul.

Le graphique suivant compare le prix du MWh utile entre la situation actuelle, la situation avec la chaufferie au fioul renouvelée et la situation avec la nouvelle chaufferie au bois :



*Coûts d'exploitation intégrés : P1, P'1, P2 et P3.*

La solution au bois permet de réduire le coût de la chaleur de 6,9 €/MWh en passant de 94,0 € TTC/MWh (fioul) à 87,1 € TTC/MWh (bois).

Par rapport à la situation actuelle, le gain est encore plus important puisqu'il est de 14,9 €/MWh en passant de 102 € TTC/MWh (fioul) à 87,1 € TTC/MWh (bois).

**Coût du MWh utile du projet biomasse : 87,1 € TTC / MWh**

**Réduction de 7,3 % par rapport au fioul (référence)**

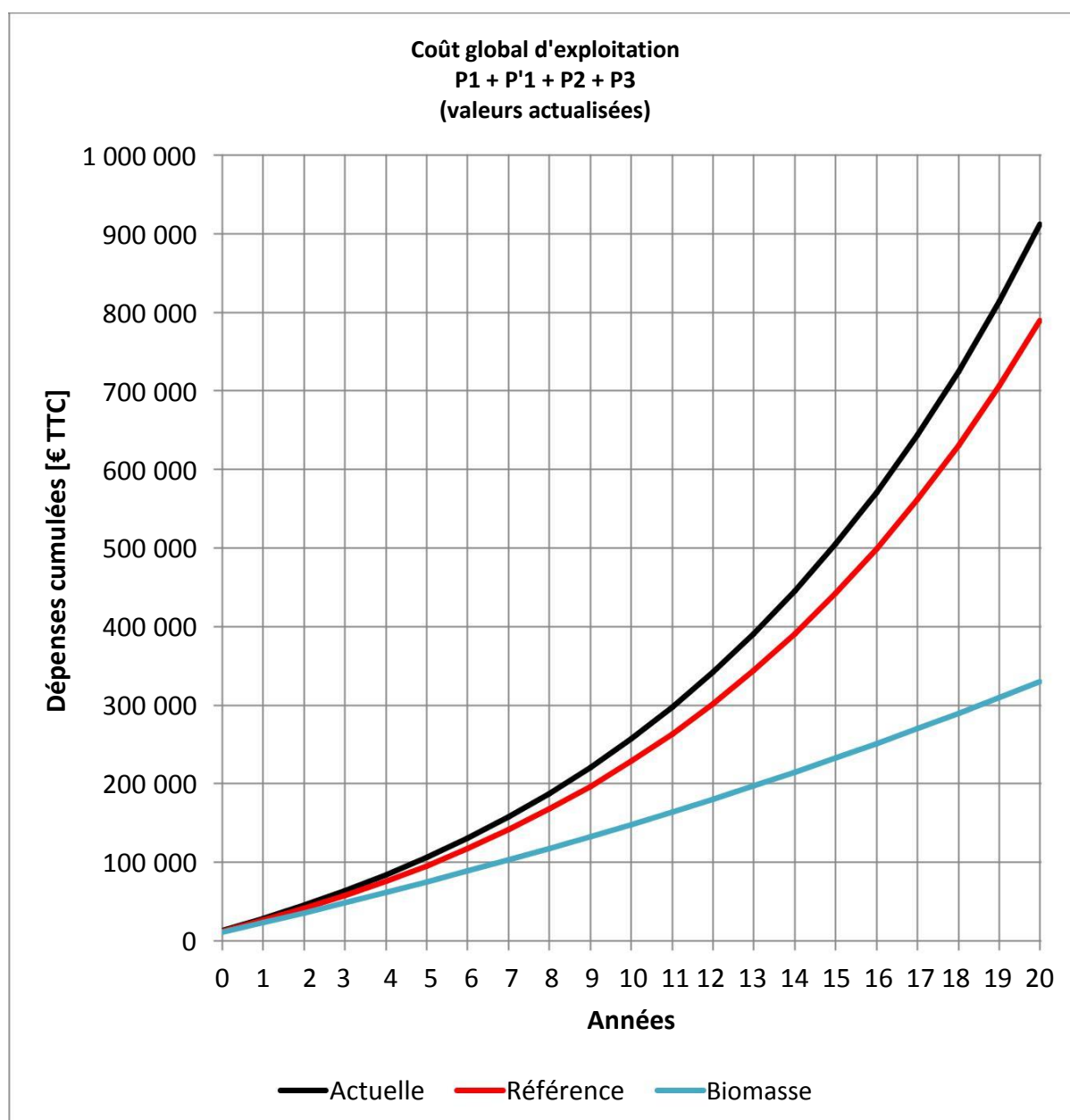
## Coût global actualisé

Le tableau suivant présente le coût global actualisé [€ TTC] de chaque situation sur différentes échelles de temps.

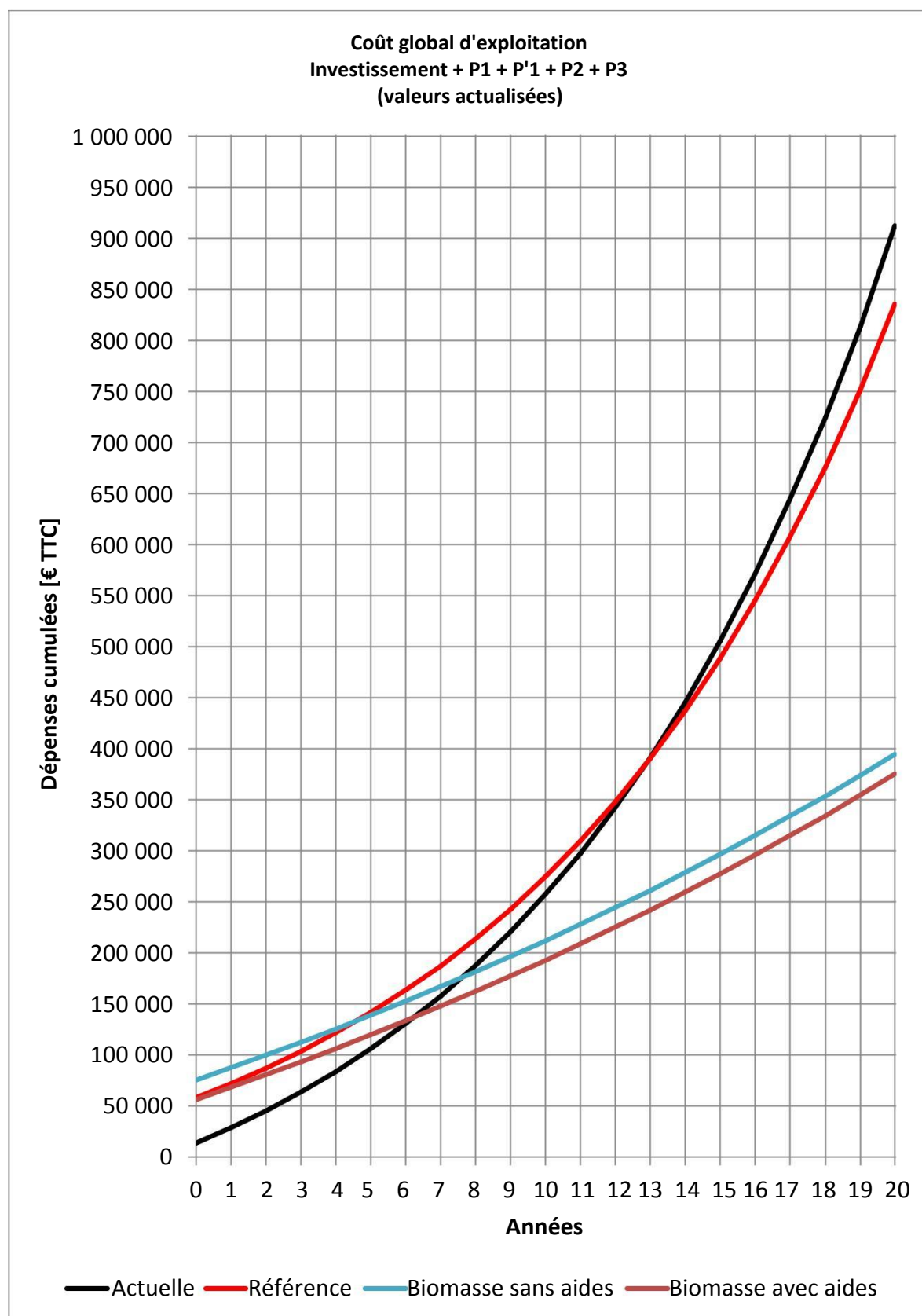
	Actuelle	Référence	Biomasse
1 <sup>ère</sup> année	13 659 €	12 534 €	11 609 €
10 <sup>ième</sup> année	220 859 €	196 695 €	132 593 €
15 <sup>ième</sup> année	445 305 €	391 096 €	214 702 €
20 <sup>ième</sup> année	813 618 €	706 189 €	309 611 €

Coûts d'exploitation intégrés : P1, P'1, P2 et P3.

Au bout de la 20<sup>ième</sup> année, les économies (actualisées) s'élèveront à 396 500 € soit une réduction de 56% par rapport au projet de référence. Le graphique suivant permet de visualiser cette réduction :

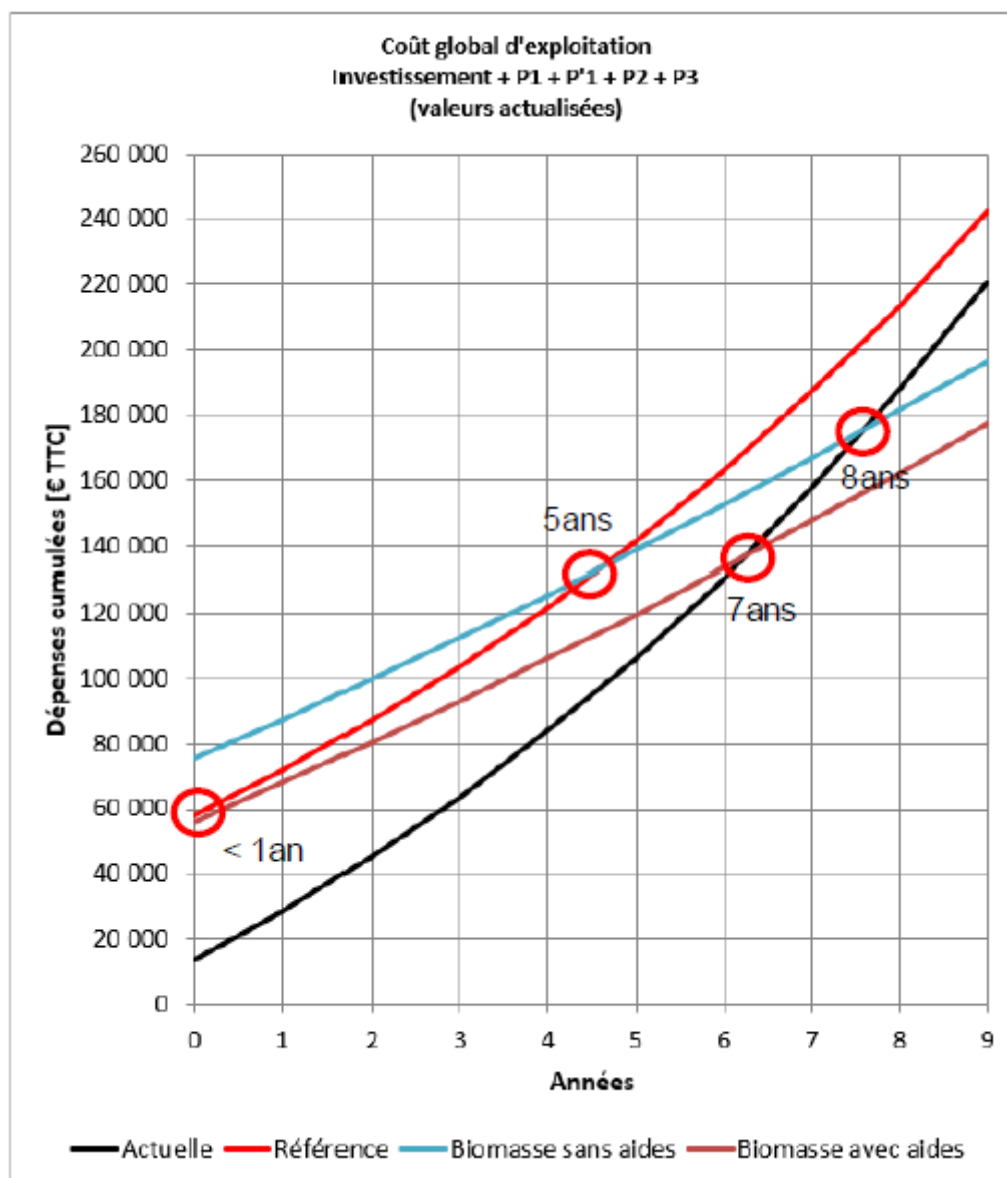


Un projet est amorti lorsque la courbe correspondante passe sous celle du projet de référence :





Focus sur les 10<sup>ière</sup> années :



L'analyse de ce graphique est reprise dans le chapitre suivant.

## 04.C Etude économique, financière et environnementale

### Temps de retour sur investissement

Temps de Retour Brut (TRB) : C'est le temps nécessaire pour que le cumul des économies annuelles équilibre le surcoût d'investissement : il ne prend pas en compte la notion d'actualisation, ni l'évolution des coûts des énergies.

$$\text{TRB} = \text{Surinvestissement} / \text{Economie annuelle sur P1+P1'+P2+P3}$$

Le tableau suivant compare les projets biomasse avec la situation de référence :

	Chaudière fioul rénovée	Biomasse (sans aides)	Biomasse (30% d'aides)	Biomasse (45% d'aides)	Biomasse (70% d'aides)	Biomasse (80% d'aides)
Coût d'exploitation P1+P1'+P2+P3 [€TTC]	12 540	11 614				
Economie [€]	-	926				
Coût d'investissement [€ HT]	45 800	63 960	44 772	35 178	19 188	12 792
Surcoût d'investissement [€]	-	18 160	0	0	0	0
Temps de retour brut [ans]	-	20 ans	< 1 an	< 1 an	< 1 an	< 1 an

**Temps de retour brut sur le SUR-INVESTISSEMENT (sans aides) : 20 ans**

**Temps de retour brut sur le SUR-INVESTISSEMENT (avec 30% d'aides) : < 1an**

Le tableau suivant compare les projets biomasse et le projet de référence avec la situation actuelle :

	Chaudière fioul existante	Chaudière fioul rénovée	Biomasse (sans aides)	Biomasse (30% d'aides)	Biomasse (45% d'aides)	Biomasse (70% d'aides)	Biomasse (80% d'aides)
Coût d'exploitation P1+P1'+P2+P3 [€TTC]	13 620	12 540	11 614				
Economie [€]	-	1 080	2 006				
Coût d'investissement [€ HT]	-	45 800	63 960	44 772	35 178	19 188	12 792
Temps de retour brut [ans]	-	42 ans	32 ans	22 ans	17 ans	9 ans	6 ans

**Temps de retour brut sur INVESTISSEMENT (sans aides) : 32 ans**

**Temps de retour brut sur INVESTISSEMENT (avec 30% d'aides) : 22 ans**

Temps de Retour Actualisé (TRA) : c'est le temps nécessaire pour que la valeur actuelle nette du projet s'annule. En d'autres termes, c'est le temps au bout duquel les décaissements et les encaissements relatifs au projet, sont égalisés. Cet indicateur prend donc en considération la notion d'actualisation, ainsi que l'évolution du coût de l'énergie (pour le poste de dépense P1).

Les graphiques présentés sur les pages précédentes permettent d'évaluer le temps de retour actualisé. Les tableaux suivants synthétisent ces temps de retour :

Investissement Sans aides : 63 960 € HT	Brut	Actualisé
Temps de retour sur le SUR-investissement*	20 ans	<b>5 ans</b>
Temps de retour sur investissement**	32 ans	8 ans

Investissement avec 30% d'aides : 44 770 € HT	Brut	Actualisé
Temps de retour sur le SUR-investissement*	< 1an	< 1an
Temps de retour sur investissement**	22 ans	7 ans

Investissement avec 45% d'aides : 35 178 € HT	Brut	Actualisé
Temps de retour sur le SUR-investissement*	< 1an	< 1an
Temps de retour sur investissement**	17 ans	6 ans

Investissement avec 70% d'aides : 19 188 € HT	Brut	Actualisé
Temps de retour sur le SUR-investissement*	< 1an	< 1an
Temps de retour sur investissement**	9 ans	4 ans

Investissement avec 80% d'aides : 12 792 € HT	Brut	Actualisé
Temps de retour sur le SUR-investissement*	< 1an	< 1an
Temps de retour sur investissement**	6 ans	2 ans

\*Par rapport à la chaufferie fioul rénoverée

\*\*Par rapport à la situation actuelle

Les temps de retour actualisés sont très bons puisque même sans aides financières le projet biomasse permet d'atteindre un temps de retour sur le sur-investissement de 5ans et de 8ans par rapport à la situation actuelle. Les temps de retour bruts et actualisés sont très espacés puisque l'on compare l'énergie fioul qui est soumise au prix du marché mondial du baril de pétrole très fluctuant et une énergie bois produite localement.

## 04.d Etude économique, financière et environnementale

### Analyse environnementale

#### Gestion des cendres

Pour les puissances étudiées ici, les chaudières sont équipées de cendriers amovibles qu'il faut vider occasionnellement et manuellement. La quantité de cendres produite dépend directement du volume de combustible consommé, mais aussi de sa qualité. Pour un bois sec et une chaudière bien réglée, la masse de cendres est inférieure à 1% de la masse consommée, soit :

	Projet biomasse	
Consommation annuelle en granulés de bois	33,87	Tonne
	52,1	m <sup>3</sup>
Quantité de cendres	<b>237</b>	kg
Volume équivalent de cendres	0,455	m <sup>3</sup>

*Sur la base d'un taux de cendre de 0,7%.*

Actuellement, la valorisation des cendres en France n'est pas très développée. Avec des quantités si faibles, 2 options se présentent :

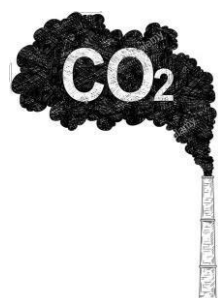
- Déchetterie,
- Épandage agricole : 3 à 8 t/ha

Une étude peut être réalisée pour définir les possibilités de valorisation locales. Il est également possible d'intégrer la récupération des cendres dans le contrat établi par le fournisseur de bois.



## Rejets et pollution

Bien qu'étant les plus médiatisés, les rejets de CO<sub>2</sub> ne sont pas les seuls éléments à prendre en compte. Différentes études permettent de quantifier les rejets dans les fumées en fonction de l'énergie utilisée.



### ➤ Gaz à effet de serre :

A partir des consommations actuelles en fioul et en comparant avec les consommations des scénarios étudiés, il est possible d'évaluer en première approche l'impact environnemental de ceux-ci. Pour chaque énergie, il est possible de quantifier la quantité de gaz à effet de serre (en équivalent CO<sub>2</sub>) émise par kWh :

Type d'énergie	Facteur d'émission en kg équivalent CO <sub>2</sub> par kWh
Fioul	0,300
Bois	0,013

*Impact environnemental en CO<sub>2</sub> par énergie*

	Rejet de CO2	Emissions de GES évitées par rapport à la situation ACTUELLE		Emissions de GES évitées par rapport à la situation REFERENCE	
	Tonne CO2 équivalent/an				
Situation actuelle	52 TCO2	-	-	-	-
Référence	43 TCO2	9	-17%	-	-
Scénario biomasse	2 TCO2	50	-98%	41	-95%

Par rapport au projet de référence, le projet biomasse permettra d'éviter 95% d'émission de CO<sub>2</sub> contre seulement 17% pour le projet de référence par rapport à la situation actuelle.

**Emissions de CO<sub>2</sub> projet biomasse : 2 Tonnes CO<sub>2</sub>/an**  
**Réduction des émissions de CO<sub>2</sub> (/référence) : 95%**



➤ **Acidification atmosphérique :**

Il s'agit de l'augmentation de la quantité de substances acides dans la basse atmosphère, à l'origine des pluies acides. L'unité retenue est le gramme d'équivalent SO<sub>2</sub> :

Type d'énergie	Acidification de l'air en kgSO <sub>2</sub> /MWh utile
Fioul	4,814
Bois	0,697

*Impact environnemental en SO<sub>2</sub> par énergie*

	Rejet de SO2 équivalent	Emissions de SO2 évitées par rapport à la situation ACTUELLE		Emissions de SO2 évitées par rapport à la situation de REFERENCE	
	kg SO2 équivalent/an				
Situation actuelle	835 kgCO2	-	-	-	-
Référence	696 kgCO2	139	-17%	-	-
Scénario biomasse	106 kgCO2	729	-87%	590	-85%

Par rapport au projet de référence, le projet biomasse permettra d'éviter 85% d'émission de SO<sub>2</sub> ce qui représente 590 kg de SO<sub>2</sub> émis en moins, contre seulement 17% pour le projet de référence par rapport à la situation actuelle.

**Emissions de SO<sub>2</sub> projet biomasse : 106 kg SO<sub>2</sub>/an**  
**Réduction des émissions de SO<sub>2</sub> (/référence) : 85%**



## 04.e Etude économique, financière et environnementale

### Aide financière

Plusieurs aides existent pour le financement de projets utilisant la biomasse mais elles tendent à se réduire. On distingue principalement deux aides : le fond chaleur qui est géré par l'ADEME et les certificats d'économies.

- Le fond chaleur est destiné aux projets dont la production minimum est de 1 200 MWh/an. Ce projet n'est donc pas éligible.
- Les certificats d'économies ne financent plus les opérations avec chaudière biomasse pour les bâtiments tertiaires. Cette aide est en revanche toujours d'actualité pour le résidentiel.

Concernant les collectivités, elles peuvent intégrer ce type d'investissement dans la Dotation d'équipement des territoires ruraux (DETR).

### Dotation d'Équipement des Territoires Ruraux

Extrait du règlement DETR 2019 disponible en ligne sur : <http://www.creuse.gouv.fr/Politiques-publiques/Collectivites-territoriales/Concours-financiers-et-dotations/Dotation-d-Equipement-des-Territoires-Ruraux/Reglement-DETR-2019>

La Dotation d'Équipement des Territoires Ruraux (DETR) est régie par les articles R. 2334-19 à R. 2334-35 du Code Général des Collectivités Territoriales (CGCT).

Les aides au titre de la DETR sont attribuées par décision du Préfet après examen des dossiers présentés par les collectivités éligibles (article L. 2334-33).

Dans le département de la Creuse, sont éligibles :

- toutes les communes ;
- tous les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) à fiscalité propre ;
- les autres EPCI qui étaient éligibles en 2010 à la Dotation Globale d'Équipement (DGE) des communes ou à la Dotation de Développement Rural (DDR) ;
- les syndicats mixtes créés en application de l'article L. 5711-1 du CGCT et les syndicats de communes créés en application de l'article L. 5212-1 du CGCT dont la population n'excède pas 60 000 habitants.

Les catégories d'opérations d'investissement éligibles et les taux de subvention sont fixés par une commission composée de représentants des maires et présidents de communauté de communes éligibles à la DETR dont la liste figure en page 3.

Ce guide présente, entre autres, les catégories d'opérations ainsi que les taux de subvention retenus pour 2019, sur décision de la commission des élus réunie le 24 septembre 2018.

**MAIRIES – BUREAUX ADMINISTRATIFS DES EPCI**

Taux de subvention DETR maximum : 50%.

Cumul des aides : cumul possible avec d'autres aides publiques dans la limite de 80% du montant HT ou dans la limite du taux maximum prévu par le programme régional en cas de subvention européenne.

Type de travaux subventionnables	Type de travaux EXCLUS
<ul style="list-style-type: none"> <li>Grosses réparations, construction ou extension, mise aux normes</li> <li>Accessibilité aux handicapés</li> <li>Mobilier, informatique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Matériel d'occasion</li> </ul>

Service pouvant être consulté pour conseil en amont de la constitution du dossier :

✓ Direction Départementale des Territoires (pour la partie accessibilité).

Pièces complémentaires à fournir :

✓ Photos.

Ainsi, pour ce projet biomasse, l'aide maximale pourrait atteindre 32 980 € (sur la base du montant hors taxe de 63 960 € HT).

Le bâtiment de l'hôtel de ville présente de bonnes performances thermiques grâce aux travaux d'isolation qui ont été entrepris ces dernières années. En revanche, les logements et le trésor public sont très peu isolés. En effet, la consommation en chauffage de ces zones non isolées représente 63% de la consommation en chauffage alors qu'elles ne représentent que 46% de la surface chauffée.

Le niveau de performance initiale du bâtiment peut être exprimé à l'aide d'une étiquette DPE et situe le bâtiment en classe énergétique D avec 224 kWhep/m<sup>2</sup>.an et en classe climatique E avec 51 kg Co2/m<sup>2</sup>.an. A titre de comparaison, les constructions existantes en France se situe à 270 kWhep/m<sup>2</sup>.an et les objectifs environnementaux fixent un objectif après rénovation de 150 kWhep/m<sup>2</sup>.an.

Les caves situées sous le trésor public présentent de bonnes perspectives pour l'installation d'une chaufferie biomasse. L'actuelle chaufferie au fioul est suffisamment spacieuse pour accueillir une chaudière biomasse et ses périphériques (vis de transfert du granulé de bois et ballon tampon). La pièce mitoyenne est adaptée pour être transformée en silo de stockage. Malheureusement, un pilier central n'autorisera qu'une seule configuration de silo : silo avec 2 pans inclinés. Un système avec dessileur rotatif n'est pas adapté. La pièce devra être aménagée pour le stockage du granulé de bois. Elle comportera une structure en bois avec panneaux de bois type osb incliné à 45° (voir 30° si la surface des panneaux est très lisse) et une vis de transfert à la chaudière. D'autres éléments sont à prévoir et sont décrits dans ce rapport. La capacité de stockage est estimée à 28 m<sup>3</sup> ce qui représente 18 Tonnes de granulés de bois.

La chaudière au granulé de bois affichera un rendement de production de 93% et sera couplée à un ballon tampon (800 L par exemple) permettant d'éviter les cycles courts de production et améliorant ainsi le rendement global de l'installation et l'encrassement de la chaudière. Les besoins en chauffage ont été évalué à 65 kW. La chaudière de 60 kW et la réserve d'eau chaude dans le ballon tampon permettront de répondre aux besoins même pendant les périodes les plus froides.

La chaufferie devra être totalement rénovée (réseaux de distribution, pompes, vannes de régulation, calorifuge, éléments de sécurité électriques et de chaufferie, installation électrique ...). Ces éléments viennent alourdir l'investissement mais ils seraient également à prévoir avec une nouvelle chaudière au fioul.

La consommation annuelle en granulé de bois est évaluée à 33,9 Tonnes soit l'équivalent de 52 m<sup>3</sup>, ce qui représente deux approvisionnements par an. La consommation énergétique diminue de 173 MWh à 152 MWh soit une réduction de 12%. L'étiquette énergétique reste en D mais diminue de 224 kWhep/m<sup>2</sup>.an à 152 kWhep/m<sup>2</sup>.an. En revanche, l'étiquette climatique diminue de 3 classes en passant de E (51 kg CO2/m<sup>2</sup>.an) à B (9 kg CO2/m<sup>2</sup>.an).

Le prix du combustible diminue de 7,6 c€ TTC/kWh avec le fioul à un peu moins de 6 c€ TTC/kWh avec le granulé de bois soit 21% de réduction. La facture de chauffage diminue de 13 200 € TTC/an à 9 100 €TTC/an soit une économie de 31%. Le niveau des émissions de CO2 s'élevant à 52 T CO2/an est réduit à 7,7 T CO2/an soit une réduction de 85% de gaz à effet de serre et l'équivalent de 17 voitures parcourant 20 000 km/an en moins.

Le coût d'investissement total s'élève à 64 000 € HT soit un surcoût d'investissement de 18 000 € par rapport à une nouvelle chaufferie au fioul. Le temps de retour actualisé sur le sur-investissement (par rapport à une nouvelle chaufferie au fioul) est de 5 ans ce qui est très bon. Le temps de retour actualisé sur investissement (par rapport à l'installation existante) est de 8 ans ce qui est également très bon.

Le coût du MWh utile du projet biomasse s'élève à 87,1 € TTC/MWh contre 94 € TTC/MWh pour la une chaufferie au fioul rénovée et 102,1 € TTC/MWh pour l'installation existante. Le coût du MWh utile est donc réduit de 7,3 % par rapport au projet de référence (chaufferie fioul rénovée).

Le projet biomasse est donc viable et rentable.

# 06

## Annexes

### Facteurs de conversion des gaz à effet de serre

#### 2 Contenu des énergies en kg d'équivalent CO<sub>2</sub>

En kilogramme de CO<sub>2</sub> par kilowattheure PCI d'énergie finale :

	TOUS USAGES CONFONDUS (consommations relevées par factures ou mesures)	Consommations par usage (estimées au moyen d'une méthode de calcul)				
		CHAUFFAGE	ECS	REFROIDISSEMENT	ECLAIRAGE	AUTRES USAGES
Bois, biomasse	0,013	0,013	0,013			
Gaz naturel	0,234	0,234	0,234	0,234		
Fioul domestique	0,300	0,300	0,300	0,300		
Charbon,	0,384	0,384	0,384			
Gaz propane ou butane	0,274	0,274	0,274	0,274		
Autres combustibles fossiles	0,320	0,320	0,320			
Electricité d'origine renouvelable utilisée dans le bâtiment	0	0	0	0	0	0
Electricité (hors électricité d'origine renouvelable utilisée dans le bâtiment)	0,084	0,180	0,040	0,040	0,100	0,060

Taux de croissance annuel moyen utilisés pour le calcul des temps de retour actualisés

	Pétrole, \$2008/Baril	Fioul, €2008/hl	Gaz, €2008/100kW h PCI	Gazole, €2008/hl	Super, €2008/hl	Electricité, c€2008/kW h	Bois, €2008/bois bûches 50 cm
<b>2010</b>	<b>78</b>	<b>82</b>	<b>5,95</b>	<b>116</b>	<b>130</b>	<b>12,12</b>	<b>56,9</b>
2011	81	84	6,06	118	131	12,33	57,3
2012	84	87	6,16	120	133	12,54	57,6
2013	87	89	6,26	123	134	12,75	57,9
2014	90	91	6,36	125	136	12,96	58,2
<b>2015</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>6,45</b>	<b>127</b>	<b>137</b>	<b>13,18</b>	<b>58,5</b>
2016	95	96	6,55	129	138	13,39	58,8
2017	98	98	6,63	131	139	13,60	59,1
2018	100	100	6,72	133	140	13,81	59,3
2019	103	102	6,80	135	142	14,02	59,6
<b>2020</b>	<b>105</b>	<b>103</b>	<b>6,89</b>	<b>137</b>	<b>143</b>	<b>14,23</b>	<b>59,8</b>
2021	107	105	6,97	138	144	14,45	60,1
2022	110	107	7,04	140	145	14,66	60,3
2023	112	109	7,12	142	146	14,87	60,6
2024	114	111	7,19	144	147	15,08	60,8
<b>2025</b>	<b>116</b>	<b>112</b>	<b>7,27</b>	<b>145</b>	<b>148</b>	<b>15,29</b>	<b>61,0</b>
2026	118	114	7,34	147	149	15,51	61,3
2027	120	115	7,41	148	150	15,72	61,5
2028	122	117	7,48	150	151	15,93	61,7
2029	124	119	7,54	151	152	16,14	61,9
<b>2030</b>	<b>126</b>	<b>120</b>	<b>7,61</b>	<b>153</b>	<b>153</b>	<b>16,35</b>	<b>62,1</b>
<b>TCAM 2010-2020</b>	<b>3,0%</b>	<b>2,4%</b>	<b>1,5%</b>	<b>1,7%</b>	<b>0,9%</b>	<b>1,6%</b>	<b>0,5%</b>
<b>TCAM 2020-2030</b>	<b>1,8%</b>	<b>1,5%</b>	<b>1,0%</b>	<b>1,1%</b>	<b>0,7%</b>	<b>1,4%</b>	<b>0,4%</b>

Source: AIE et calculs ADEME-SEP