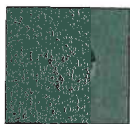


**ADEME**



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Energie

DIRECTION RÉGIONALE  
BOURGOGNE  
FRANCHE-COMTÉ

région **BOURGOGNE  
FRANCHE-COMTÉ**

## Étude d'opportunité d'une chaufferie automatique au bois pour le Centre national de ski de Prémanon (39)

**Demandeur de l'étude d'opportunité :  
Centre national de ski nordique (CNSNMM)**



CNSNMM, 18848 route des Passettes, 39220 PREMANON  
Tel. : 03 84 60 78 37, [nicolas.michaud@ensm.sports.gouv.fr](mailto:nicolas.michaud@ensm.sports.gouv.fr)  
Contact : MICHAUD Nicolas (Adjoint au Directeur du CNSNMM)

**Etude d'opportunité réalisée par :**



**AJENA**

**AJENA Energie et Environnement**

28, Boulevard Gambetta  
39000 LONS-LE-SAUNIER

Tél. : 03 84 47 81 10

Fax. : 03 84 47 81 18

Courriel : [ltraore@ajena.org](mailto:ltraore@ajena.org)

---

## Sommaire

<b>Synthèse de l'étude</b>	<b>3</b>
<b>Préambule</b>	<b>7</b>
La maîtrise de l'énergie	7
Le Bois Énergie	9
<b>Etude du projet</b>	<b>12</b>
1) Contexte du projet	12
a) Vue d'ensemble des bâtiments concernés	13
b) Description des besoins énergétiques	13
2) Maîtrise de l'énergie	16
a) Hypothèses d'améliorations énergétiques des bâtiments	16
b) Total des besoins thermiques du projet	18
c) Solution bois énergie envisagée	19
d) Solution de référence	19
3) Projet de chaufferie au bois	20
a) Choix de la chaudière à bois	20
b) Qualité de l'air et traitement des fumées	21
c) Description des solutions techniques	22
d) Implantations du silo et de la chaufferie	22
e) Consommation totale de bois en chaufferies	25
f) Investissements pour les hypothèses étudiées	25
4) Evaluation des coûts d'exploitation de la chaufferie bois	27
a) Achat du combustible	27
b) La fourniture en eau et électricité – poste P'1	28
c) La conduite et l'entretien – postes P2 et P3	28
d) Coût d'exploitation de la chaufferie bois : Récapitulatif global	29
e) Coût d'exploitation de la solution de référence	29
5) Bilan économique du projet de chaufferie au bois	31
a) Montage financier de la solution de chaufferie bois	31
b) Temps de retour brut	31
c) Amortissements des investissements	31
d) Courbes de dépenses annuelles en Coût global	34
<b>Conclusion</b>	<b>35</b>

# Synthèse de l'étude

## CONTEXTE DE L'ETUDE

---

Dans le cadre de son projet de maîtrise de l'énergie, le centre national de ski nordique de Prémanon (CNSNMM) situé dans le département du Jura, souhaite vérifier l'intérêt que pourrait présenter la mise en place d'une chaufferie bois collective pour le chauffage des bâtiments.

Le combustible bois retenu sera comparé à la solution de référence utilisant des chaudières existantes au fioul et au gaz propane. Deux scénarios de chaufferie collective seront étudiés : le bois déchiqueté et le bois granulé.

## L'étude d'opportunité : Un outil d'évaluation d'un projet

---

L'étude d'opportunité, dont le coût est pris en charge à 80 % par l'ADEME et le Conseil Régional de Bourgogne-Franche-Comté et autofinancé à hauteur de 20 % par AJENA, permet d'évaluer de façon générale l'intérêt d'un projet bois-énergie, en donnant les premiers éléments techniques et financiers nécessaires. Ceux-ci sont établis à partir de ratios issus d'opérations de référence. **L'étude d'opportunité ne constitue donc en aucun cas, un document permettant l'exécution de travaux**, mais permet une première approche afin d'évaluer la pertinence du projet et de mobiliser les acteurs concernés, en confortant les bases des premières réflexions du maître d'ouvrage.

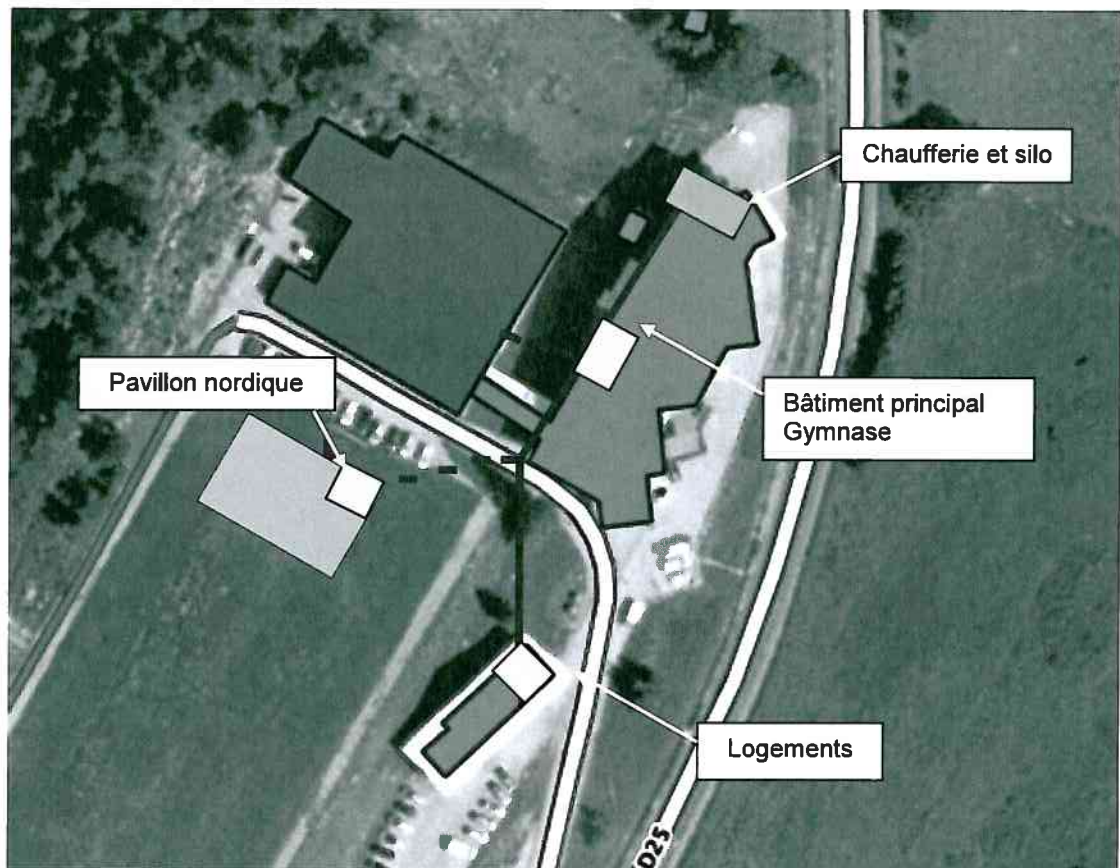
Pour la poursuite de la démarche, **les hypothèses et solutions retenues doivent être nécessairement validées par un bureau d'études**. Pour cela, une étude de faisabilité réalisée par un bureau d'études peut être financée à hauteur de 70 % par l'ADEME et le Département du Jura après approbation. Cette étude comprend alors tous les éléments techniques et économiques validés, répondant à un cahier des charges précis, afin d'aboutir à la programmation des travaux.

## Résumé des données techniques et financières

Les bâtiments du CNSNMM concernés d'une surface totale chauffée de **4 226 m<sup>2</sup>** sont :

1. Bâtiment principal (2 591 m<sup>2</sup>)
2. Gymnase (875 m<sup>2</sup>)
3. Pavillon nordique (560 m<sup>2</sup>)
4. Logements de fonction (200 m<sup>2</sup>)

### Réseau de chaleur et sous-stations

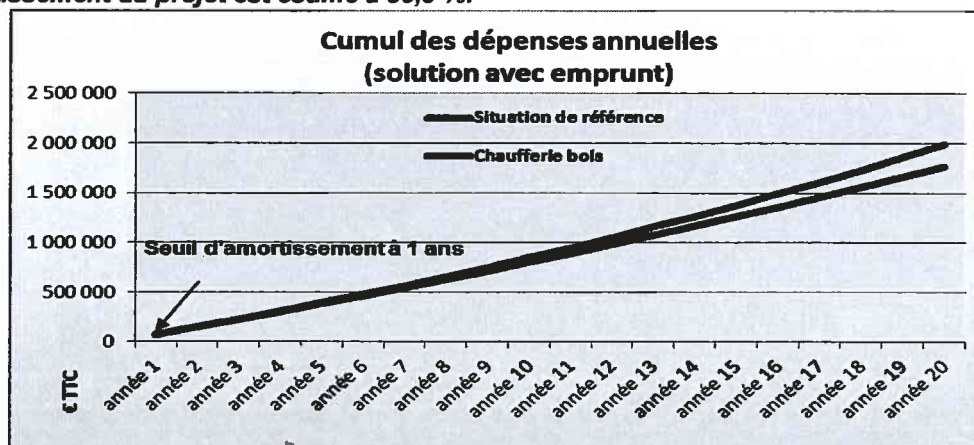


— Réseau hydraulique  
□ Sous-station chaufferie

## Chaudière bois granulé

Comparatif économique			
Postes	Chaudière bois granulé	Situation de référence	
Description succincte des équipements	Silo de 50 m3, Chaudière, 2 chaudières bois granulé de 220 kW, réseau de 70 m	Chaudière fioul, Chaudières propane,	
Consommation énergétique annuelle (P1 et P'1)	989 879 kWh / an	834 958 kWh / an	
Coût total avec subvention	210 510 € HT	88 000 € HT	Surcoût HT 122 510 € / HT
Dépenses énergétiques annuelles (P1 et P'1)	58 366 € TTC	65 765 € TTC	
Poste P2 - Entretien	500 € TTC	1 000 € TTC	Bilan de fonctionnement
Poste P3 - Renouvellement gros matériels	300 € TTC	800 € TTC	Gain financier P1+P'1+P2+P3 8 399 €
			Temps de retour brut 14,6 ans
Poste P4 - Remboursement annuités d'emprunt	14 714 € TTC	6 774 € TTC	
Coût global année 1 P1+P'1+P2+P3+P4	73 880 € TTC	74 339 € TTC	
Prix moyen de l'énergie	0,075 € TTC/kWh	0,089 € TTC/kWh	
Dépense totale cumulée sur 20 ans	1 768 339 € TTC	1 990 600 € TTC	

**Le coût global sur 20 ans intègre les hypothèses d'inflations des prix. Le taux d'aide sur l'investissement du projet est estimé à 38,3 %.**

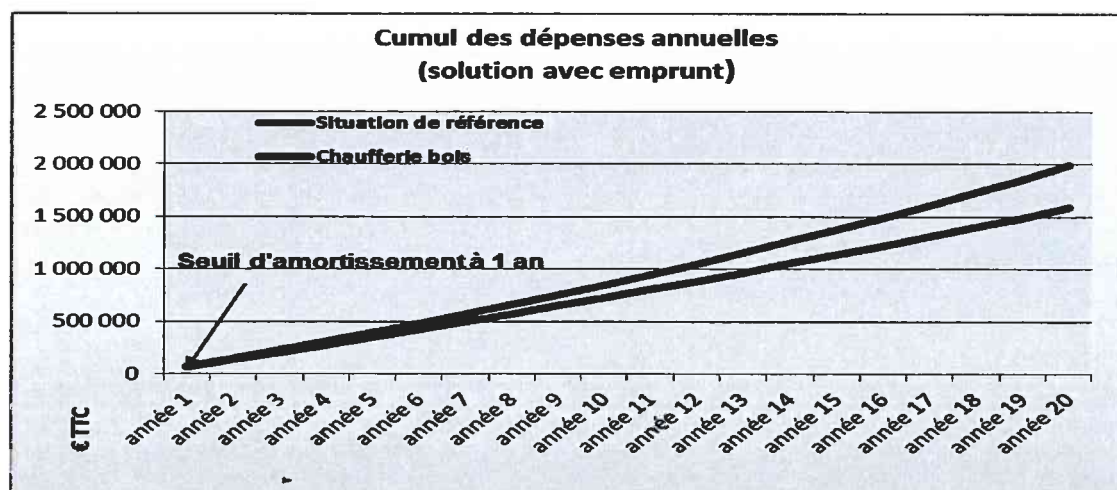




## Chaudière bois déchiqueté

Comparatif économique			
Postes	Chaudière bois déchiqueté	Situation de référence	
Description succincte des équipements	Silo de 150 m <sup>3</sup> , Chaudière, 2 chaudières bois déchiqueté de 220 kW, réseau de 70 m	Chaudière fioul, Chaudières propane,	
Consommation énergétique annuelle (P1 et P'1)	990 612 kWh / an	834 958 kWh / an	
Coût total avec subvention	38 061 € HT	65 765 € HT	Surcoût HT 225 285 € / HT
Dépenses énergétiques annuelles (P1 et P'1)	313 285 € TTC	88 000 € TTC	
Poste P2 - Entretien	5 000 € TTC	1 000 € TTC	Bilan de fonctionnement
Poste P3 - Renouvellement gros matériels	3 000 € TTC	1 000 € TTC	Gain financier P1+P'1+P2+P3
			21 505 €
			10,5 ans
Poste P4 - Remboursement annuités d'emprunt	21 897 € TTC	6 774 € TTC	
Coût global année 1 P1+P'1+P2+P3+P4	67 958 € TTC	74 339 € TTC	
Prix moyen de l'énergie	0,069 € TTC/kWh	0,089 € TTC/kWh	
Dépense totale cumulée sur 20 ans	1 593 575 € TTC	1 990 600 € TTC	

Le coût global sur 20 ans intègre les hypothèses d'inflations des prix. Le taux d'aide sur l'investissement du projet est estimé à 42,7 %.



# Préambule

## La maîtrise de l'énergie

Réduire la consommation d'énergie est une nécessité pour répondre aux défis du dérèglement climatique et de l'augmentation des charges énergétiques des Francs-comtois.

En Franche-Comté, les objectifs du schéma régional climat air énergie (SRCAE) dit « 20 – 20 – 32 » sont ambitieux pour une politique volontariste permettant d'atteindre en 2020 : 20% de gain d'efficacité énergétique, une réduction des émissions de gaz à effet de serre de 20 % en 2020 et un objectif de 32 % de la consommation d'énergie finale fournie par les énergies renouvelables.

Le secteur du bâtiment est le premier consommateur d'énergie (40%) et le second producteur de gaz à effet de serre (25%). L'ensemble des professionnels de l'immobilier et de la construction doit se mobiliser d'urgence pour économiser l'énergie, utiliser les énergies renouvelables et limiter ainsi les conséquences dues au changement climatique.

## La réglementation thermique 2012

Initiée en 1974 et revue par période d'environ 5 ans, la Réglementation Thermique est actuellement datée de 2012. Elle impose aux maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre de prendre en compte toutes les possibilités d'amélioration de la performance énergétique globale du bâtiment dans un cadre technique précisé par un guide réglementaire.

Elle permet, dans le neuf ou dans l'existant depuis 2007, d'encadrer l'impact qu'aura le bâtiment en termes de consommations d'énergie, de température de confort intérieur, etc. Cela par le biais de garde fous, d'exigences en termes d'efficacité énergétique du bâtiment, des matériaux et des appareils de production d'énergie, de ventilation, d'éclairage, d'utilisation des énergies renouvelables, etc.

## Les bâtiments à basse consommation d'énergie

Afin de proposer des solutions plus performantes sur la maîtrise de l'énergie dans les bâtiments et d'anticiper ce que seront les prochaines réglementations thermiques, l'ADEME et la Région Franche Comté accompagnent les acteurs du bâtiment grâce à un programme ambitieux de promotion de la basse énergie (EFFILOGIS). Pour agir prioritairement sur les bâtiments existants gros consommateurs d'énergie, un appel à projets a été lancé chaque année depuis 2006, dans différents secteurs tels que le résidentiel et le tertiaire.

## **Qu'est ce qu'un bâtiment basse consommation d'énergie ?**

Un bâtiment rénové économe en énergie ou « Bâtiment Basse Consommation » (BBC) est un ouvrage dont la performance énergétique est largement supérieure au niveau imposé par la Réglementation thermique en vigueur.

La loi du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement fixe les principales orientations en matière de performance énergétique des bâtiments. Ainsi, tous les bâtiments neufs doivent respecter le niveau de RT 2012 dès le 1<sup>er</sup> janvier 2013.

A l'horizon 2020, les constructions neuves devraient présenter une consommation d'énergie primaire inférieure à la quantité d'énergie renouvelable produite dans ces constructions, et notamment le bois-énergie : il s'agit de bâtiments dits à « énergie positive ».

En matière de rénovation du parc de bâtiments existants, l'objectif est de réduire les consommations d'énergie d'au moins 38 % d'ici 2020.

Par ailleurs, la France adhère aux objectifs de l'Union Européenne dits des « 3 x 20% », en fixant en particulier à 23 % la part d'énergies renouvelables qui devront entrer dans la consommation d'énergie finale en 2020. Cela se traduira notamment, par rapport à la situation 2006, par une multiplication par 2 environ de l'utilisation du bois et du solaire collectif pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire dans les bâtiments (hors maisons individuelles).

A plus long terme, l'engagement national à l'horizon 2050 est une diminution d'un « facteur 4 » des émissions de gaz à effet de serre, tous secteurs d'activités confondus.

Le Schéma Régional Climat - Air – Energie en Franche Comté prévoit une augmentation à 32% de la part des énergies renouvelables dans les énergies finales à l'horizon de 2020.

### **BBC – Effinergie : les objectifs de performances du référentiel :**

#### **Résidentiel :**

En Franche-Comté, en fonction du département et de l'altitude du projet, le seuil maximal de consommation énergétique (Cep) est compris entre :

- 96 et 120 kWhep / m<sup>2</sup>. an pour un projet de rénovation
- 60 et 75 kWhep / m<sup>2</sup>. an pour un projet de construction neuve

#### **Tertiaire :**

- En rénovation, les consommations du bâtiment doivent être au minimum 40 % en-dessous de la consommation de référence (RT globale sur l'existant), soit  $C_{projet} \leq C_{ref} - 40 \%$

Le calcul de la performance énergétique attendue s'appuie sur la réglementation thermique globale sur l'existant ou sur la RT 2012 selon le type de projet. Les usages énergétiques pris en compte sont le chauffage, l'eau chaude sanitaire, les auxiliaires de chauffage et de ventilation, le refroidissement et l'éclairage.



## Le Bois Énergie

Le bois est un combustible dont l'utilisation est automatisable. Son fractionnement permet de le convoier mécaniquement dans la chaudière et de réguler précisément sa combustion. Le bois fractionné peut se présenter sous plusieurs formes :

- *La plaquette forestière*

C'est un combustible de qualité issu du déchetage des résidants habituellement abandonnés en forêt ou brûlés sur place. C'est la ressource la plus abondante qui est aujourd'hui peu mobilisée.

- *Les sous-produits des industries de transformation du bois*

Ecorces, sciures, copeaux, plaquettes, dosses et délinures représentent souvent plus de 50 % du volume de bois travaillé. Une grande partie de ces produits est destinée à la fabrication des panneaux agglomérés ou du papier mais certaines catégories ne trouvent pas preneur et peuvent constituer, ponctuellement selon le contexte local, un combustible dans des chaufferies.

- *Le bois de rebut*

Cette dénomination concerne principalement les emballages en bois non réutilisables. Ils peuvent être broyés sous forme de plaquettes et valorisés en énergie dans des chaudières à bois adaptées. Leur mise en décharge et leur brûlage à l'air libre sont interdits. Seul le bois sain à l'état naturel, c'est-à-dire non traité, non peint, non pollué, non plastifié ou non encollé peut être utilisé dans certaines installations de chauffage, après déferrailage.

- *Le granulé de bois*

C'est le combustible bois haut de gamme par définition. Très sec, dense, riche en énergie, il est fabriqué par compression de sciures ou de copeaux, sans adjuvant artificiel. Il permet de valoriser des produits sans débouché tels que les sciures de bois rouges ou les sciures mélangées. C'est un combustible très facile à utiliser, propre et peu encombrant. Il est d'une grande facilité de manutention, et sa combustion est généralement excellente.

**Un combustible en accord avec l'environnement s'il est utilisé dans des chaudières avec des systèmes de filtration performants.**

- *Le bilan de production du combustible*

La mise à disposition du bois décheté (exploitation, déchetage et transport) dans une filière de proximité<sup>1</sup> consomme de l'énergie fossile. Elle ne représente que 3 % de la quantité d'énergie livrée à l'utilisateur, contre 12 % (hors extraction) pour le fuel. De la même façon le granulé de bois<sup>2</sup> issu d'une filière régionale ne mobilise que 5 % de l'énergie livrée.

---

<sup>1</sup> Ces chiffres proviennent de l'AJENA-Contat n°53, consultable en ligne sur [www.ajena.org](http://www.ajena.org).

<sup>2</sup> Hors séchage qui est réalisé à partir de déchets de bois de qualité moindre.

- *L'effet de serre*

Le dioxyde de carbone produit lors de la combustion du bois ne contribue pas à l'effet de serre. L'équivalent des quantités libérées par la combustion est en effet réabsorbé par la croissance des arbres de remplacement. Par conséquent toute substitution d'un combustible fossile (fuel, gaz, charbon) par le bois d'une forêt gérée durablement<sup>3</sup>, contribue à limiter l'effet de serre.

- *La suppression de la pollution due au brûlage à l'air libre*

Les déchets de bois issus des travaux forestiers ou des industries de transformation, brûlés à l'air libre, produisent de grandes quantités de polluants. Ceux-ci, principalement du monoxyde de carbone et des composés organiques volatils (hydrocarbures, acides organiques, aromatiques,...) sont produits à très faible quantité lors d'une bonne combustion en chaudière.

- *La suppression des pollutions graves*

Le bois contient considérablement moins de soufre que la plupart des combustibles fossiles (fuel, charbon). Les émissions d'anhydride sulfureux (pluies acides) produites lors de sa combustion sont négligeables. De plus, le bois contient très peu de métaux lourds (plomb, zinc, cadmium,...), polluants qui s'accumulent de manière irréversible dans le sol et les organismes. Enfin la filière bois-énergie ne produit pas de déchets ultimes, les cendres pouvant généralement être valorisées en agriculture.

- *L'enrichissement du patrimoine forestier et l'entretien des espaces ruraux*

La valorisation énergétique des déchets forestiers

- améliore l'état sanitaire des forêts (bostryches...), facilite les replantations, encourage les travaux sylvicoles (dépressage, éclaircies) et entretient le paysage,
- améliore la qualité des bois d'avenir et contribue donc à enrichir le capital forestier,
- abaisse le coût d'exploitation du bois d'œuvre,
- facilite la commercialisation du bois d'œuvre (vente de lots sans houppiers...).

- *Une ressource durable*

Le bois est un combustible renouvelable par photosynthèse. Sa consommation raisonnée n'entame pas le patrimoine des générations futures.

## **Un combustible local**

- *Des activités locales confortées*

Les combustibles bois sont des combustibles consommés dans leur région de production. Leur utilisation dynamise par conséquent directement les acteurs locaux (forestiers, entrepreneurs, agriculteurs, transporteurs) en leur offrant une possibilité de diversification. Les dépenses de chauffage des usagers sont ainsi réinjectées dans l'économie locale.

- *Un combustible compétitif*

---

<sup>3</sup> Une forêt gérée est une forêt dont le capital sur pied est globalement constant.

Le bois fait actuellement partie des combustibles les moins chers du marché. La proximité de l'approvisionnement permet de plus, de limiter les risques d'inflation liés aux crises internationales. Son utilisation économise les ressources fossiles dont les stocks sont limités (pétrole, gaz, charbon, uranium).

- *La conversion d'une chaufferie de 1 000 kW de puissance en bois-énergie représente :*
  - la création globale d'un emploi permanent de plus qu'avec le gaz ou le fuel et pour un coût d'exploitation moindre ou équivalent,
  - la création de dix emplois pendant trois mois pour la construction de la chaufferie,

# Etude du projet

## 1) Contexte du projet

Le centre national de ski nordique (CNSNMM) est situé à Prémanon dans le département du Jura à une altitude de 1145 mètres. Il est constitué de trois bâtiments qui sont :

- Le bâtiment principal
- Le gymnase
- Le pavillon nordique
- Les logements de fonction

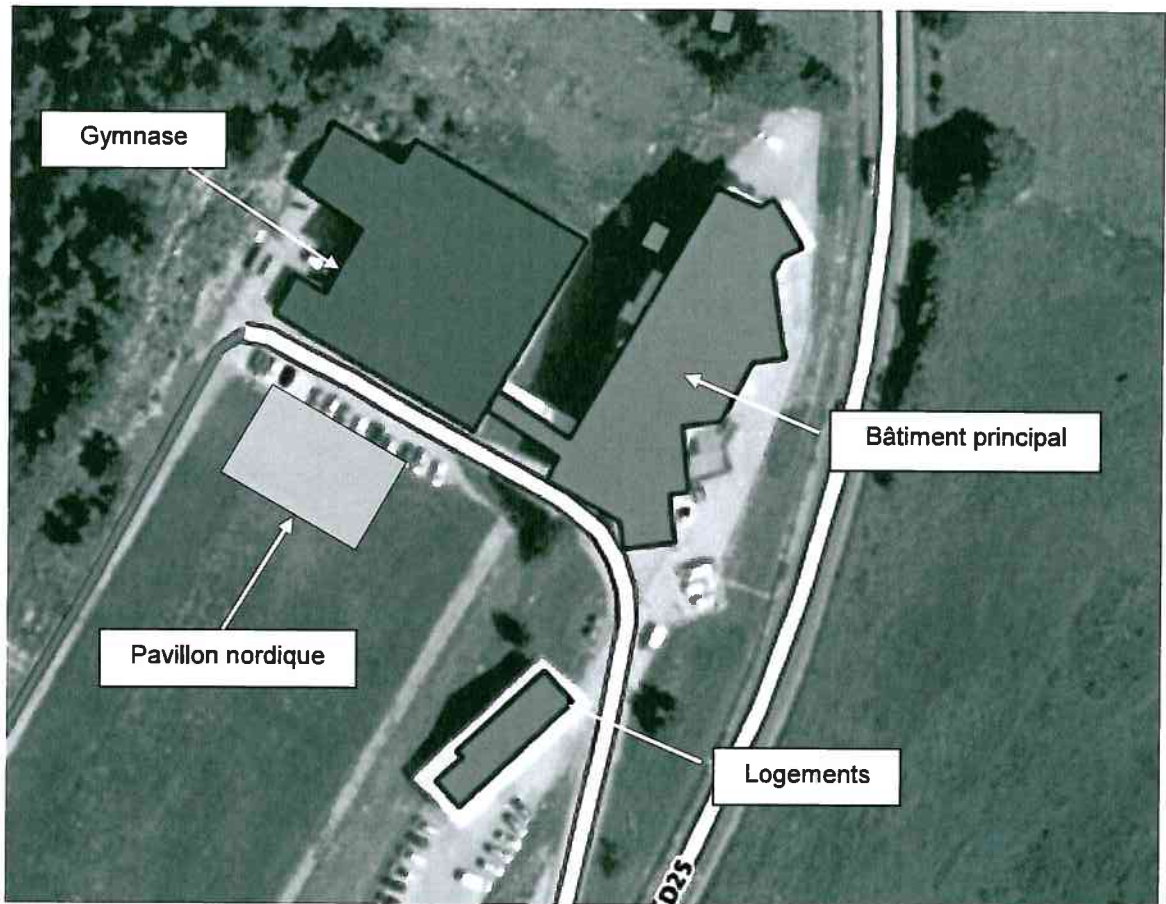
Dans le cadre de son projet de maîtrise de l'énergie, le centre souhaite vérifier l'intérêt que pourrait présenter la mise en place d'une chaufferie bois pour assurer le chauffage et la production de l'eau chaude sanitaire.

La solution bois analysée sera comparée à une solution de référence utilisant les systèmes de chauffage existants et en intégrant leur coût de rénovation à terme sur la durée de vie du projet. Deux scénarios seront étudiés :

- Scénario 1 : Chaufferie bois déchiquetée
- Scénario 2 : Chaufferie bois granulé

L'objectif de cette étude est d'apporter les premiers éléments techniques et économiques au maître d'ouvrage et de l'aider dans ses prises de décisions.

### a) Vue d'ensemble des bâtiments concernés



### b) Description des besoins énergétiques

#### 1. Bâtiment principal

Le bâtiment construit sur 6 niveaux est composé de locaux administratifs et d'hébergements. La surface chauffée totale est de **2 591 m<sup>2</sup>**.

Les murs extérieurs sont composés de blocs de béton et isolés. Le plancher haut en dalle béton est isolé par 20 cm de laine de verre.

Le plancher bas en béton est sur terre-plein et n'est pas isolé. La partie extension est en ossature bois. Les fenêtres sont en menuiseries PVC munies de doubles vitrages.



La ventilation est une VMC simple flux  
Le chauffage est assuré par deux chaudières fioul installées en 1984, de marque DE Dietrich, type CF412, d'une puissance individuelle de 435 kW. Les émetteurs



sont des radiateurs, des ventilo-convecteurs et des aérothermes. L'eau chaude sanitaire est produite de façon instantanée par les chaudières à travers un échangeur à plaque relié à un ballon de stockage. Le réseau hydraulique est calorifugé en chaufferie.

**La consommation réelle annuelle est de 589 350 kWh soit 58 935 litres de fioul (source étude thermique).**

## **2. Gymnase**

Le bâtiment construit sur un niveau est composé de sales, de vestiaires et de sanitaires. La surface totale chauffée est de **875 m<sup>2</sup>**.

Les murs sont en blocs de béton faiblement isolés tout comme la toiture. Le plancher bas en dalle béton est sur terre-plein et n'est pas isolé. Les fenêtres sont en PVC munies de simple vitrage.



Une ventilation mécanique contrôlée simple flux assure le renouvellement d'air. Le chauffage est assuré par aérothermes alimentés par la chaudière fioul du bâtiment principal.

**La consommation annuelle de chauffage 151 440 kWh soit 15 144 litres de fioul (source étude thermique).**

## **3. Logements**

Le bâtiment est en ossature bois et composé de deux logements de fonction. Il a été rénové en 1995. **La surface chauffée totale est de 200 m<sup>2</sup>**.

Les murs extérieurs sont en bois et isolés par 12 cm d'isolant, tout comme le plancher haut par 20 cm de laine de verre. Le plancher bas est en bois sur locaux non chauffés.



Le chauffage est assuré par des chaudières individuelles murales au gaz propane. Les émetteurs de chaleur sont des radiateurs en acier munis de robinets thermostatiques. La ventilation est naturelle.

**La consommation annuelle de chauffage est estimée à 23 747 kWh/an (source étude thermique).**

#### 4. Pavillon nordique

C'est un nouveau bâtiment construit en 2015 selon la réglementation 2012. Il est composé d'hébergements, de locaux de services et d'animation. **La surface totale chauffée est de 580 m<sup>2</sup>.**



Le chauffage est assuré par une chaudière au gaz propane qui alimente des radiateurs en aciers munis de vannes thermostatiques. L'eau chaude est produite par accumulation dans un ballon relié à la chaudière.

Une ventilation mécanique contrôlée simple flux assure le renouvellement d'air.



**La consommation de chauffage estimée est de 68 000 kWh** (source étude thermique).

## 2) Maîtrise de l'énergie

Pour répondre aux objectifs du Grenelle de l'environnement puis de la loi sur la transition énergétique pour la croissance verte, les collectivités devront engager un programme d'économie d'énergie et de rénovation de leurs bâtiments. Au niveau national et tous secteurs confondus, l'objectif est de réduire les consommations d'énergie finale de 20% d'ici 2030 (par rapport à 2012) et les émissions de gaz à effet de serre de 40% entre 1990 et 2030.

Des actions simples sans investissement majeur peuvent à cet effet être mises en place par la collectivité. Seulement, elles ne sont d'aucune utilité si elles ne suivent pas une démarche structurée.

Les retours d'expérience montrent qu'une part d'économie majeure réside dans le suivi et la gestion.

Ces actions peuvent porter sur la sensibilisation des utilisateurs des bâtiments et sur les régulations et programmation des systèmes en place (chauffage) et l'amélioration énergétique du bâti (isolation).

### a) Hypothèses d'améliorations énergétiques des bâtiments

Les actions d'améliorations d'économies d'énergies qui pourraient être entreprises sur les bâtiments sont les suivantes :

#### Niveau « RT dans l'existant ».

Priorité	Nature des interventions
1	Isolation des murs extérieurs non isolés
1	Isolation des planchers hauts non isolés
1	Renforcement de l'isolation des murs extérieurs faiblement isolés
1	Renforcement de l'isolation des planchers hauts faiblement isolés
1	Remplacement des fenêtres par des menuiseries plus performantes avec ( $U_w \leq 1,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ )
1	Traitement de l'étanchéité à l'air
1	Traitement des ponts thermiques
2	Mise en place d'une ventilation mécanique simple flux hygro B
2	Mise en place de systèmes de chauffage performants
3	Mise en place d'un éclairage économe en énergie

## Niveau BBC.

Priorité	Nature des interventions
1	Isolation des murs extérieurs non isolés ( $R \geq 4 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ )
1	Isolation des planchers hauts non isolés ( $R \geq 6,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ )
1	Isolation des planchers bas non isolés ( $R \geq 3,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ )
1	Renforcement de l'isolation des murs isolés avec ( $R \geq 4 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ )
1	Renforcement de l'isolation des murs extérieurs faiblement isolés avec ( $R \geq 4 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ )
1	Remplacement des fenêtres par des menuiseries plus performantes avec ( $U_w \leq 1,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ )
1	Traitement de l'étanchéité à l'air
1	Traitement des ponts thermiques
2	Mise en place d'une ventilation mécanique simple flux hygro B
2	Optimisation de la régulation de chauffage en fonction de l'utilisation des locaux
2	Mise en place d'une chaudière collective performante (bois énergie)
3	Mise en place d'un éclairage économe en énergie

Certaines actions de ce type conduisent aux résultats modélisés dans les tableaux suivants :

### Simulation d'amélioration énergétique des bâtiments

Bilan - maintenance de l'énergie finale					
	Unités	Bâtiment principal	Gymnase	Pavillon nordique	Logements
Consommations annuelles (chauffage)	kWh/an	589 350	151 440	66 214	23 800
Surface chauffée	m <sup>2</sup>	2 591	875	560	200
Consommation au m <sup>2</sup> et par an par bâtiment (chauffage)	kWh/m <sup>2</sup> .an	227	173	118	119
Consommations RT dans l'existant	kWh/an	494 884	127 334	52 971	21 392
Ratio consommation de chauffage RT dans l'existant par m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup> .an	191	146	95	107
Puissance RT dans l'existant	kW	266	160	31	11
Baisse des consommations de chauffage en RT dans l'existant	%	16%	16%	20%	10%
Consommations BBC	kWh/an	329 923	89 134	39 728	19 100
Ratio consommation de chauffage BBC par m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup> .an	127	102	71	96
Puissance BBC	kW	177	112	23	10
Baisse des consommations de chauffage en BBC	%	44%	41%	40%	20%

Les efforts et les investissements à engager en matière de maîtrise de l'énergie sur le patrimoine pour arriver à ces résultats sont importants, cependant ils permettent d'économiser significativement l'énergie consommée tout en augmentant le confort d'utilisation des bâtiments (confort d'été et d'hiver selon la température intérieure).

Ils dépendent évidemment de la volonté du maître d'ouvrage et de son budget. L'investissement global d'un projet Bâtiment Basse Consommation est en effet très important et reste difficilement accessible en une seule série de travaux. Il est donc important de se fixer un calendrier de travaux sur plusieurs années, avec un ordre de priorités, où chaque partie sera traitée selon les objectifs d'un projet BBC.

Concernant la rénovation complète de bâtiments, lors de la programmation de ces travaux il est très pertinent de viser directement l'objectif de consommation BBC. C'est en effet lors des rénovations les plus importantes que cet objectif peut être atteint le plus aisément.

### b) Total des besoins thermiques du projet

Nous prendrons comme hypothèse que le rendement global annuel de l'installation de chaufferie bois est de 85%.

Les besoins de chaleur théorique de la situation actuelle sans travaux d'amélioration énergétique sont alors :

Besoins thermiques des bâtiments					
	Unités	Bâtiment principal	Gymnase	Pavillon nordique	Logements
Puissances chauffage bâtiment	kW	325	351	38	23
Besoins de chaleur en sous- stations	kWh/an	500 948	128 724	56 282	20 230
Rendement des réseaux de chaleur	%	85%	85%	85%	85%
Besoins totaux de chaleur sortie chaufferie	kWh/an	589 350	151 440	66 214	23 800
TOTAL Puissances en sous- stations		737 kW			
TOTAL Besoins de chaleur en sous stations		706 184 kW			
TOTAL Besoins de chaleur sortie chaufferie		830 804 kW			



### **c) Solution bois énergie envisagée**

Le projet d'ensemble consiste à l'installation d'une chaufferie collective bois avec un réseau de chaleur pour assurer la production du chauffage et de l'eau chaude sanitaire en saison de chauffe. Hors saison l'eau chaude sanitaire sera produite par la chaudière d'appoint fioul.

Maintenir une chaudière bois de cette puissance en été pour les besoins d'eau chaude sanitaire n'est pas rentable, du fait d'un mauvais rendement pour de faibles puissances appelées par rapport à la puissance nominale de la chaudière.

### **d) Solution de référence**

La solution bois sera comparée à une solution de référence qui comprend :

- L'utilisation des chaudières fioul et propanes actuelles ;
- L'investissement pour la rénovation à terme des systèmes de chauffage existants durant la vie du projet.

***La présente étude est réalisée avec les consommations réelles et estimés***

### 3) Projet de chaufferie au bois.

#### a) Choix de la chaudière à bois

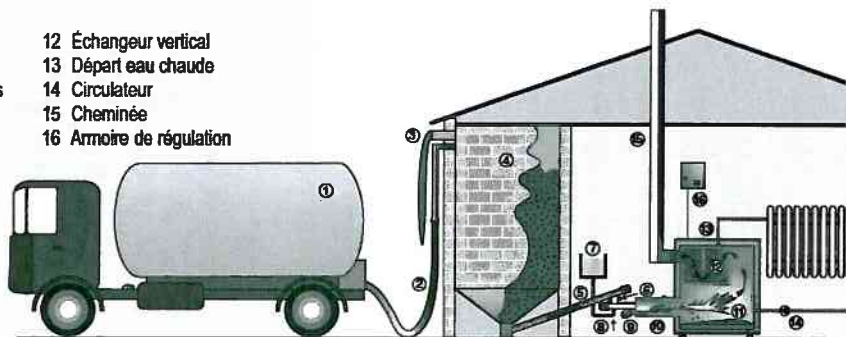
##### ➤ Chaudière au bois granulé

Les chaudières automatiques aux bois granulés sont compactes et faciles à intégrer au bâtiment. Elles sont munies d'une alimentation automatique en granulés de bois et la combustion est régulée et optimisée en permanence par une régulation poussée. Ces chaudières brûlent des granulés de sciures compactées : un combustible bois à haut pouvoir calorifique et faible taux d'humidité, d'une qualité constante et normalisé sans poussières. Le combustible est livré par camion-souffleur dans un silo de petite taille. Le volume du silo peut être dimensionné pour assurer un an d'autonomie. Les granulés descendent au fond du silo et une vis sans fin ou un tuyau d'aspiration les conduit vers le foyer de la chaudière.

*Exemple : schéma de principe d'une chaufferie bois granulé avec silo vertical*

Schéma de principe :

- |                       |                          |
|-----------------------|--------------------------|
| 1 Camion-pompe        | 12 Échangeur vertical    |
| 2 Raccord pompier     | 13 Départ eau chaude     |
| 3 Manche à poussières | 14 Circulateur           |
| 4 Silo de stockage    | 15 Cheminée              |
| 5 Vis d'alimentation  | 16 Armoire de régulation |
| 6 Sonde de niveau     |                          |
| 7 Réserve d'eau       |                          |
| 8 Jet anti-incendie   |                          |
| 9 Ventilateur         |                          |
| 10 Brûleur à granulés |                          |
| 11 Cendres            |                          |



#### Carte d'identité de ce combustible (source : Propellet)

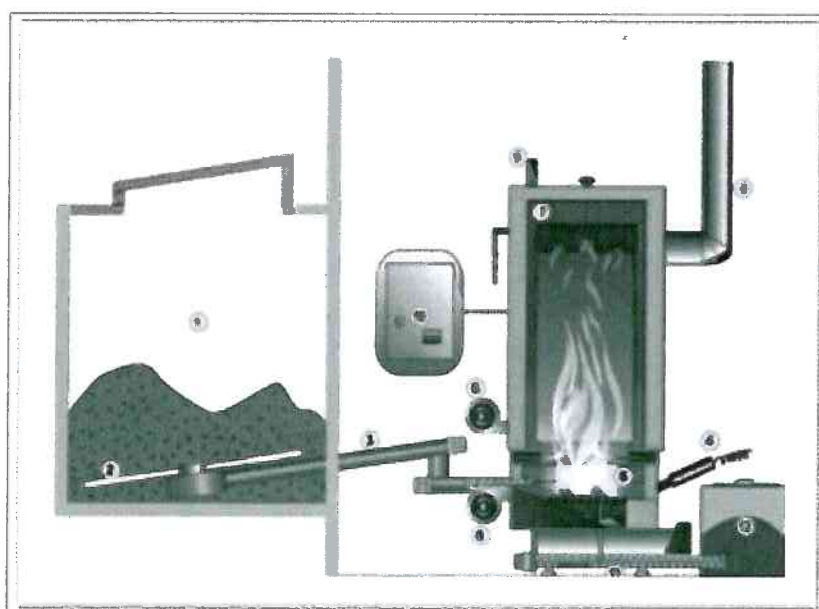
- **Nom** : Pellet
- **Profession** : Biocombustible moderne
- **Né (e) le** : années 1970
- **Lieu** : France
- **Description** : petit cylindre de sciure de bois compressée sans aucun agent de liaison (la lignine et les résines naturellement contenues dans le bois en assurent la cohésion)
- **Diamètre** : 6 à 8 mm
- **Longueur** : environ 3 cm
- **Pouvoir calorifique** : Environ 4600 kWh/t (1t pellets = 500l de fioul)
- **Taux d'humidité** : < 10%
- **Masse volumique** : > 650 kg au m3
- **Taux de cendre** : < 0,7 %

### ➤ Chaufferie bois déchiqueté

Les chaudières automatiques au bois déchiqueté, appropriées à la taille de ce projet, comportent un foyer à grilles fixes ou un foyer volcan et exigent du bois sec (entre 25 % et 30 % d'humidité) et bien calibré.

Le bois est transporté du silo jusqu'au foyer de la chaudière par l'intermédiaire d'une vis sans fin. Il est introduit dans la chaudière par une seconde vis sans fin ou un poussoir. Des ventilateurs permettent d'amener l'air comburant nécessaire pour garantir une combustion optimale du bois sans aucun goudronnage de la chaudière. Les cendres issues de la combustion du bois et les poussières sont collectées automatiquement dans un conteneur étanche.

Schéma de principe d'une chaufferie bois déchiqueté



1- Silo d'alimentation	5- Chambre de combustion	9- Départ réseau de chaleur
2- Désilage rotatif à lames souples	6- Ventilateur d'air de combustion	10- Armoire de régulation
3- Vis d'alimentation	7- Échangeur de chaleur	11- Vis de décendrage
4- Allumage automatique	8- Cheminée	12- Conteneur à cendres

### b) Qualité de l'air et traitement des fumées

Il est ainsi nécessaire, que le matériel (chaudière) mis en place permette d'assurer de faibles niveaux de rejet de particules. Pour obtenir les subventions, les équipements devront être constitués par des matériels couverts par les normes en vigueur et répondant aux limites d'émission de poussières en fonction de la puissance installée (NF EN 303.5 pour les chaudières  $\leq 500$  kW).

Cette norme définit actuellement cinq classes (classe 1 à 5) en fonction des niveaux de rendement et d'émissions des appareils de chauffage. Il faut des équipements au minimum de classe 3, mais les classes 4 ou 5 sont fortement recommandées.

### c) Description des solutions techniques

#### **Dimensionnement de la chaudière bois**

En cas de chaufferie bois avec appoint (autre source d'énergie), la puissance de la chaudière bois doit se situer entre 50 et 60 % de la puissance totale nécessaire. Ce dimensionnement permet une importante couverture des besoins annuels par le bois (minimum 85 %) tout en optimisant les investissements et le fonctionnement de la chaudière bois.

Le coût du kWh produit ne diminue pas en fonction de l'augmentation de la puissance de la chaufferie, mais baisse en fonction du temps de fonctionnement de celle-ci à pleine puissance. Surdimensionner une chaudière bois est donc techniquement mauvais et pas rentable: baisse des rendements, augmentation des consommations, mauvaise combustion, encrassement...

Dans cette étude, la chaudière bois sera dimensionnée à 50 % de la puissance totale nécessaire et couvrirait environ 85% des besoins de chauffage.

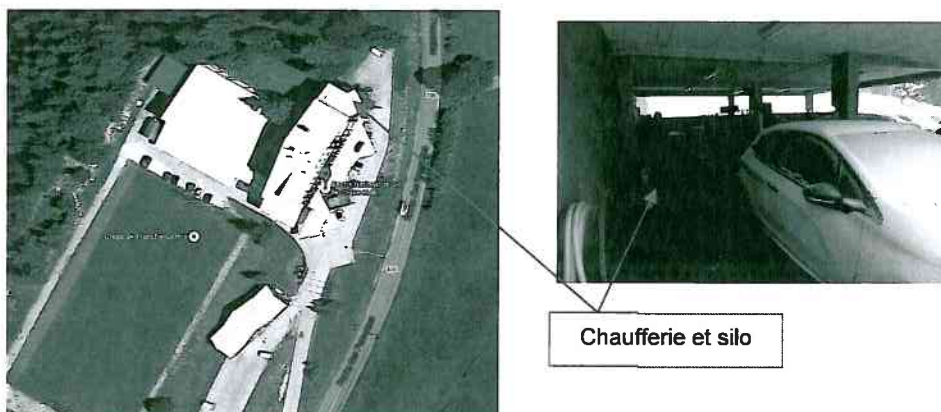
Une chaudière d'appoint fioul sera installée en chaufferie en secours et pour compléter ce taux de couverture si nécessaire par temps de grand froid.

Chaufferie bois		
	Bois	Fioul
Puissance de la chaudière	440 kW	860 kW
Besoins totaux de chaleurs sortie chaufferie	706 184 kWh/an	124 621 kWh/an
Taux de couverture	85%	15%

*Pour optimiser l'utilisation et la rentabilité du réseau de chaleur, Il est proposé deux chaudières bois de 220 kW avec un fonctionnement en cascade.*

### d) Implantations du silo et de la chaufferie

Pour ce projet, il est proposé d'utiliser le parking au bout du bâtiment principal pour implanter la chaufferie et le silo. L'emplacement est facilement.



➤ **Chaudière au bois granulé**

- **Silo de plain-pied**

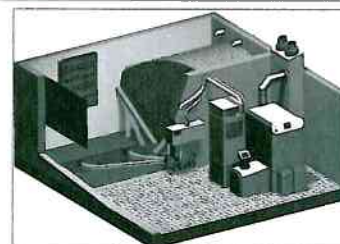
Le silo peut être construit sous forme textile ou maçonné prêt à poser. Il se compose d'une toile textile renforcée fixée sur des armatures en bois ou métalliques avec une forme en pyramide inversée à la base. Il permet une mise en œuvre simple dans le local et à moindre coût. Le volume du silo est défini par le fabricant qui peut proposer d'autres dimensions sur demande en fonction de l'espace disponible en chaufferie.



- **Extraction des granulés par vis :** L'extraction des granulés peut se faire par une vis sans fin inclinée (35°) ou de préférence horizontale permettant l'écoulement par gravité des granulés jusqu'à la vis qui les achemine ensuite vers le foyer.



- **Extraction des granulés par aspiration :** Le système de transfert pneumatique permet le transfert du combustible du stockage à la chaufferie dès lors que la solution par vis n'est plus envisageable en fonction de la distance de convoyage et des différences de niveau.



- **Chaufferie bois**

La chaufferie sera construite près du silo permettant ainsi un convoyage rapide et facile. Pour faciliter les opérations de maintenance, il faut prévoir de la place suffisante.

➤ **Chaufferie bois déchiqueté**

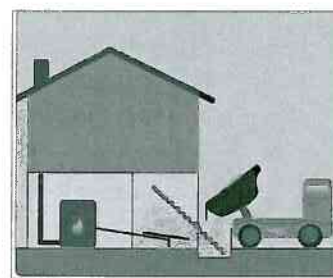
- **Silo de plain-pied**

Une fosse de livraison extérieure doit être construite sur la façade du local pour servir de trémie intermédiaire pour l'acheminement du bois livré vers le silo.

Elle peut être constituée d'une assise en béton; enterrée à environ 50 cm de profondeur (dimensions minimales : 3 x 2,5 m) et d'un couvercle à ouverture verticale (incliné de 30° environ et reposant sur un socle maçonné avec des murs latéraux construits en biais). La surface du silo au sol serait de (25 m<sup>2</sup>).

**Avantages :** Réduction du coût de génie civil

**Inconvénients :** Livraisons longues et donc plus coûteuses



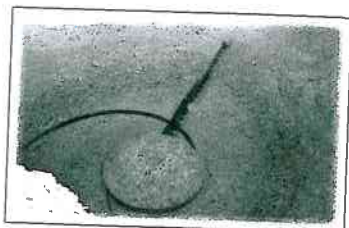
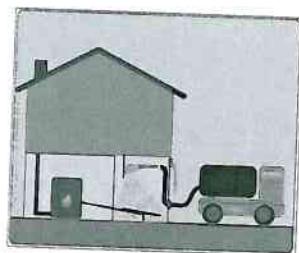
Une vis dite de remplissage, sera implantée dans la fosse et le silo. Un interrupteur devra être positionné à l'extérieur du silo, à côté de la fosse de déchargement, afin de permettre l'arrêt des vis de remplissage.

Il faudra prévoir une vis horizontale en fond de trémie, puis une vis inclinée ou verticale avec éjecteur, ou alors directement une vis inclinée si la trémie est suffisamment haute.



- **Silo pour camions souffleurs**

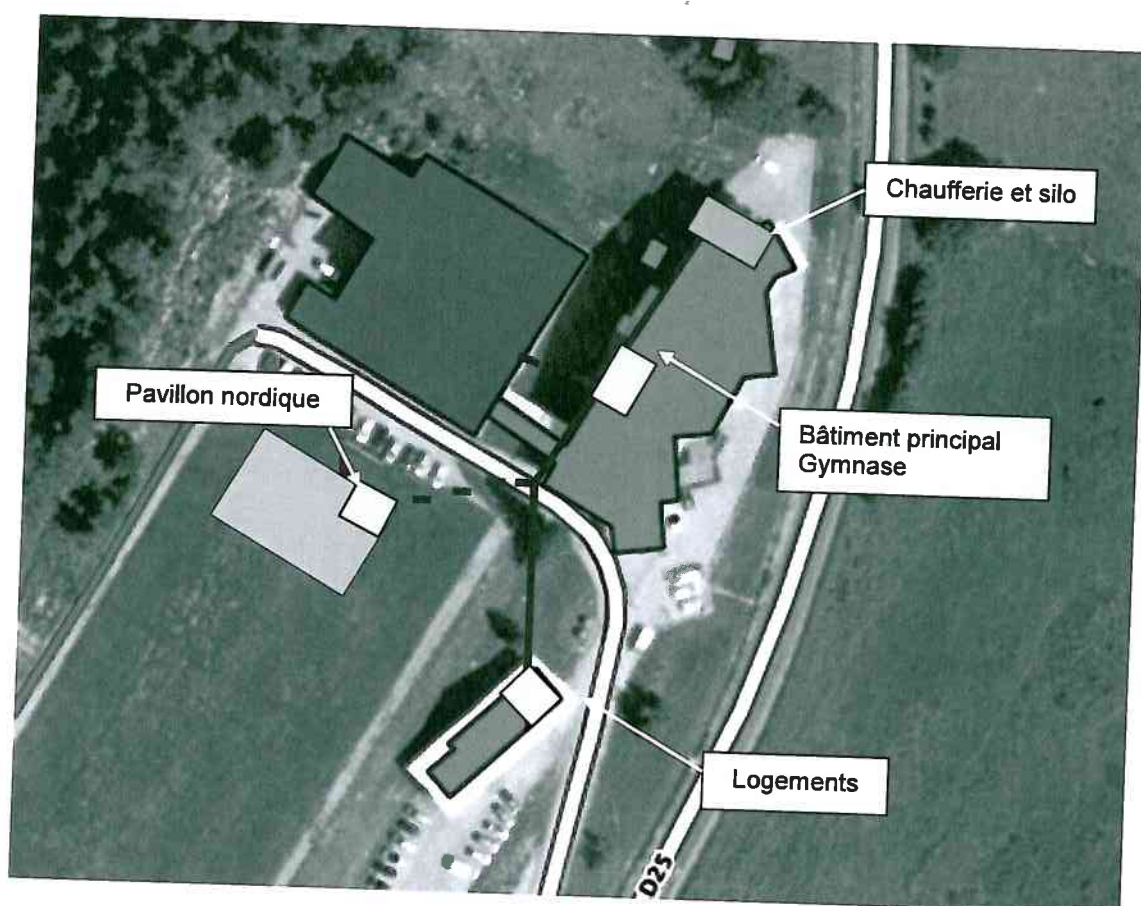
Une solution alternative serait une livraison par camion souffleur qui peut livrer jusqu'à 40 m de distance du camion (cela suppose un accord avec la ville de Besançon qui en est dotée.)



- **Dessilleur rotatif**

Le désilage associé sera un système par pâles rotatives qui tournent en fond de silo pour apporter le combustible sur la vis de dessilage. Ce système impose l'utilisation d'un combustible sec et calibré. Le diamètre de l'extracteur est de 5 m.

➤ **Réseau de chaleur et sous-stations**



— Réseau hydraulique  
 □ Sous-station chaufferie

**e) Consommation totale de bois en chaufferies**

Consommation de bois en chaufferie	Chaufferie bois granulé	Chaufferies bois
Quantité de bois consommée	181 tonnes / an	237 tonnes / an
Volume de bois consommé	278 m <sup>3</sup> / an	807 m <sup>3</sup> / an
Volume utile du silo d'alimentation	50 m <sup>3</sup>	150 m <sup>3</sup>
Nombre de livraisons par an	6 livraisons	9 livraisons
Taux de remplissage	100%	66%
Autonomie du silo par grand froid	23 jours	11 jours

**Livraisons du bois**

- Bois déchiqueté : livraison par camion benne de 90 m<sup>3</sup>
- Bois granulée : livraison par camion-citerne de 32 tonnes

**Il est important de vérifier la faisabilité des solutions retenues pour de telles installations dans le cadre d'une étude de faisabilité faite par un bureau d'étude.**

**f) Investissements pour les hypothèses étudiées**

Chaufferie bois granulé	
Terrassement et VRD chaufferie et silo	5 000 € HT
Génie civil du silo d'alimentation de 50 m <sup>3</sup>	20 000 € HT
Génie civil de la chaufferie bois	20 000 € HT
Hydraulique en chaufferie, conduits de fumées, électricité, régulation, compteur thermique	30 000 € HT
Chaudières bois granulé 2 x 220 kW avec équipements d'alimentation	125 000 € HT
Réseau enterré de 70 mètres et 3 sous-stations	34 000 € HT
Aléas de chantier	7 020 € HT
Ingénierie - maîtrise d'œuvre (8%)	20 000 € HT
<b>Total investissements bois énergie</b>	<b>261 020 € HT</b>
Chaudière fioul pour appoint et secours	80 000 € HT
<b>Total investissements projet</b>	<b>341 020 € HT</b>

Chaudière bois déchiqueté	
Terrassement et VRD chaudière et silo	5 000 € HT
Génie civil du silo d'alimentation de 150 m3	50 000 € HT
Génie civil de la chaudière bois	30 000 € HT
Hydraulique en chaudière, conduits de fumées, électricité, régulation, compteur thermique	50 000 € HT
Chaudières bois déchiqueté 2 x 220 kW avec équipements d'alimentation	250 000 € HT
Réseau enterré de 70 mètres et 3 sous-stations	34 000 € HT
Aléas de chantier	12 570 € HT
Ingénierie - maîtrise d'œuvre (8%)	35 000 € HT
<b>Total investissements bois énergie</b>	<b>466 570 € HT</b>
Chaudière fioul pour appoint et secours	80 000 € HT
<b>Total investissements projet</b>	<b>546 570 € HT</b>

**e) Consommation totale de bois en chaufferies**

Consommation de bois en chaufferie	Chaufferie bois granulé	Chaufferies bois
Quantité de bois consommée	181 tonnes / an	237 tonnes / an
Volume de bois consommé	278 m3 / an	807 m3 / an
Volume utile du silo d'alimentation	50 m3	150 m3
Nombre de livraisons par an	6 livraisons	9 livraisons
Taux de remplissage	100%	66%
Autonomie du silo par grand froid	23 jours	11 jours

**Livraisons du bois**

- Bois déchiqueté : livraison par camion benne de 90 m<sup>3</sup>
- Bois granulée : livraison par camion-citerne de 32 tonnes

**Il est important de vérifier la faisabilité des solutions retenues pour de telles installations dans le cadre d'une étude de faisabilité faite par un bureau d'étude.**

**f) Investissements pour les hypothèses étudiées**

Chaufferie bois granulé	
Terrassement et VRD chaufferie et silo	5 000 € HT
Génie civil du silo d'alimentation de 50 m3	20 000 € HT
Génie civil de la chaufferie bois	20 000 € HT
Hydraulique en chaufferie, conduits de fumées, électricité, régulation, compteur thermique	30 000 € HT
Chaudières bois granulé 2 x 220 kW avec équipements d'alimentation	125 000 € HT
Réseau enterré de 70 mètres et 3 sous-stations	34 000 € HT
Aléas de chantier	7 020 € HT
Ingénierie - maîtrise d'œuvre (8%)	20 000 € HT
<b>Total investissements bois énergie</b>	<b>261 020 € HT</b>
Chaudière fioul pour appoint et secours	80 000 € HT
<b>Total investissements projet</b>	<b>341 020 € HT</b>



Chaufferie bois déchiqueté	
Terrassement et VRD chaufferie et silo	5 000 € HT
Génie civil du silo d'alimentation de 150 m3	50 000 € HT
Génie civil de la chaufferie bois	30 000 € HT
Hydraulique en chaufferie, conduits de fumées, électricité, régulation, compteur thermique	50 000 € HT
Chaudières bois déchiqueté 2 x 220 kW avec équipements d'alimentation	250 000 € HT
Réseau enterré de 70 mètres et 3 sous-stations	34 000 € HT
Aléas de chantier	12 570 € HT
Ingénierie - maîtrise d'œuvre (8%)	35 000 € HT
<b>Total investissements bois énergie</b>	<b>466 570 € HT</b>
Chaudière fioul pour appoint et secours	80 000 € HT
<b>Total investissements projet</b>	<b>546 570 € HT</b>



#### 4) Evaluation des coûts d'exploitation de la chaufferie bois

##### a) Achat du combustible

##### Caractéristiques des combustibles en présence

Combustibles	Pouvoir calorifique	Prix moyen	Coût de l'énergie
Bois déchiqueté	3 500 kWh/tonne	110 €TTC/tonne	3,14 cts € TTC/kWh
Granulés de bois	4 600 kWh/tonne	257 €TTC/tonne	5,59 cts € TTC/kWh
Fioul	10 kWh/litre	0,68 € TTC /litre	6,80 cts € TTC/kWh
Gaz propane	11 960 kWh/tonne	1 960 € TTC / tonne	16,39 cts € TTC/kWh
Electricité	1 kWh/kWh élec	0,150 €TTC/kWh élec	15,00 cts € TTC/kWh

**Prix Argus AJENA d'octobre 2016. Le prix du bois déchiqueté est celui de la plateforme de production installée à la Mouille. Le coût de l'abonnement est compris dans le prix du kWh.**

##### Calcul du poste P1 (achat de combustible)

Achat des combustibles - P1	Chaufferie bois granulé	Chaufferie bois déchiqueté
Besoins totaux de chaleur sortie chaufferie couverts par le bois	706 184 kWh/an	706 184 kWh/an
Rendement de la chaudière bois	85% %	85%
Energie bois consommée (P1)	830 804 kWh/an	830 804 kWh/an
Quantité de bois consommée en tonnes	181 tonnes/an	237 tonnes/an
Quantité bois sortie chaudière en tep	60,7 tep/an	60,7 tep/an
Coût moyen du bois	257 € TTC/tonne	110 € TTC/tonne
Pouvoir calorifique moyen du bois	4 600 kWh/tonne	3 500 kWh/tonne
<b>Achat annuel en bois</b>	<b>46 417 € TTC/an</b>	<b>26 111 € TTC/an</b>
Besoins totaux de chaleur sortie chaufferie couverts par l'appoint fioul	124 621 kWh/an	124 621 kWh/an
Rendement chaudière fioul	85% %	85%
Quantité énergie consommée (P1)	146 612 kWh/an	146 612 kWh/an
Coût moyen énergie	0,680 € TTC/litres	0,680 € TTC/litres
Contenu énergétique	10,0 kWh/litre	10,0 kWh/litres
Coût de l'abonnement	0,000 € TTC/an	0,000 € TTC/an
<b>Achat annuel énergie appoint</b>	<b>9 970 € TTC/an</b>	<b>9 970 € TTC/an</b>
Total consommation énergétique (P1)	977 417 kWh/an	977 417 kWh/an
<b>Total achat combustibles + appoint</b>	<b>56 386 € TTC/an</b>	<b>36 081 € TTC/an</b>

#### **b) La fourniture en eau et électricité – poste P'1**

Ce poste correspond à la consommation d'électricité spécifique des chaudières (moteurs, ventilateurs) et du réseau hydraulique en chaufferie (pompes).

#### **c) La conduite et l'entretien – postes P2 et P3**

Les dépenses annuelles hors factures énergétiques correspondent à l'entretien, à la maintenance et au renouvellement du matériel.

- P2: Prestations d'entretien
- P3: Prestations de renouvellement du matériel

#### **P2 : Surveillance et maintenance des chaufferies et des réseaux de chaleur**

- **Opérations pouvant être effectuées par un employé :**
  - Présence lors de livraisons de combustible ;
  - Visite régulières des chaufferies pour vérifier le bon fonctionnement de l'installation (contrôle visuel).
  - Vidage du bac à cendres (une fois par semaine pour les chaudières bois déchiquetés ou une fois par mois pour les chaudières bois granulés)

Le décentrage est automatique pour la plupart des chaudières modernes. Dans les chaudières actuelles, le volume des cendres représente environ de 1 % à 2 % (en matière sèche) quand il s'agit de plaquettes forestières.

- **Opération effectuées par une société d'exploitation spécialisée ou par un chauffagiste local :**
  - Décentrage et ramonage des tubes de fumée (partie échangeur de la chaudière), automatique ou une demi-journée par mois. - Nettoyage et ramonage complet de l'intérieur de la chaudière une à deux fois par an, vérification selon les modèles de chaudières de l'état des briques réfractaires et de l'usure des grilles (2 journées d'ouvrier / an) ;
  - Surveillance de la régulation :
  - Suivi des données du réseau
  - Relevé de paramètres permettant l'analyse du fonctionnement de l'équipement et des coûts : date, T° extérieure, puissance instantanée, nbr de MWh...

Le coût P2 est chiffré en fonction du nombre d'heure passé pour l'entretien.

#### **P3 : renouvellement du matériel.**

Le poste P3 correspond aux provisions réalisées en cas de grosses réparations des équipements de l'installation.

#### d) Coût d'exploitation de la chaufferie bois : Récapitulatif global

Coûts d'exploitation de la chaufferie bois	Chaufferie bois granulé	Chaufferie bois déchiqueté
P1 - Achat des combustibles	56 386 € TTC/an	36 081 € TTC/an
P'1 - Eau et électricité	1 980 € TTC/an	1 980 € TTC/an
P2 - Entretien et petites réparations	500 € TTC/an	5 000 € TTC/an
P3 - Provision pour grosses réparations	300 € TTC/an	3 000 € TTC/an
<b>TOTAL</b>	<b>59 166 € TTC/an</b>	<b>46 061 € TTC/an</b>

#### e) Coût d'exploitation de la solution de référence

Il s'agit ici de déterminer quels seraient les coûts de chauffage des installations existantes en absence de projet bois. Il a été tenu compte :

- des consommations réelles ou estimées de chauffage ;
- des prix Argus **Ajena** d'octobre 2016 pour le gaz propane, le fioul, le bois granulé et de l'électricité ;
- du prix du bois déchiqueté de la plateforme de production de la Mouille ;
- des coûts estimés pour l'entretien (P2, P3) annuel des systèmes de chauffages ;
- de l'investissement estimé pour la rénovation à terme des systèmes de chauffage actuels durant la vie du projet.

Coût d'exploitation de la solution de référence					
Poste	Unités	Bâtiment principal	Gymnase	Pavillon nordique	Logements
Energie		Fioul	Fioul	Gaz propane	Gaz propane
Besoins annuels des bâtiments	kWh/an	500 948	128 724	56 282	20 230
Rendements en chaufferie	%	85%	85%	85%	85%
Consommations annuelles (chauffage)	kWh/an	589 350,0	151 440,0	66 213,7	23 800,4
P1 - Achat des combustibles	€ TTC/an	40 076	10 298	10 851	3 900
P1' - Eau et électricité	€ TTC/an	450	120	50	20
P2 - Entretien et petites réparations	€ TTC/an	250	250	250	250
P3 - Provisions pour réparations	€ TTC/an	200	200	200	200
Coût d'exploitation (P1+P1'+P2+P3)	€ TTC/an	40 976	10 868	11 351	4 370
Investissements nécessaires	€ HT	80 000	0	3 000	5 000
P4 - Annuités de remboursement	€ TTC/an	6 158	0	231	385
Coût de l'énergie (conso + abt + inv)	€ TTC/kWh	0,080	0,071	0,174	0,199

## **5) Bilan économique du projet de chaufferie au bois**

### **a) Montage financier de la solution de chaufferie bois**

Pour une telle opération, le CNSNMM peut bénéficier d'aide financière de l'Europe (FEDER). Pour connaître les taux d'aide possible, il est nécessaire de consulter les financeurs avec un dossier technique (études, plans) et financier basé sur les chiffrages des travaux par des entreprises.

*Les équipements subventionnés devront faire l'objet de limitation des rejets de poussières (à minima respecter les normes en vigueur, soit en 2015 : 50 mg/Nm3 à 11% d'O2. Le Temps de retour brut après subventions devra supérieur ou égal à 7 et inférieur à 30 ans.*

Il est aussi possible de mobiliser des Certificats d'Economie d'Energie (CEE). Ce dispositif repose sur une obligation de réalisation d'économies d'énergie imposée par les pouvoirs publics aux vendeurs d'énergie appelés les « obligés » (électricité, gaz, chaleur, froid, fioul domestique et nouvellement les carburants pour automobiles). Ceux-ci sont ainsi incités à promouvoir activement l'efficacité énergétique auprès de leurs clients.

Les certificats d'économies d'énergie sont attribués, sous certaines conditions, par les services du ministère chargé de l'énergie, aux acteurs éligibles (obligés mais aussi d'autres personnes morales non obligées) réalisant des opérations d'économies d'énergie.

Cette aide est estimée à environ à ce jour à **19 597 €** en attendant la publication des fiches standardisées de la 3ème période des CEE relatives aux chaufferies bois dans les bâtiments tertiaires.

**Pour plus d'information :** <http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Certificats-d-economies-d-energie.188-.html>

### **b) Temps de retour brut**

Il est calculé en divisant le surcoût de l'investissement pour la chaufferie bois déduit des subventions par l'économie annuelle d'exploitation.

### **c) Amortissements des investissements**

Les annuités de remboursement sont calculées sur la base de taux de financement suivants :

- solution bois : taux d'emprunt de 1,5% sur 20 ans
- solution de référence : taux d'emprunt de 2,5% sur 20 ans

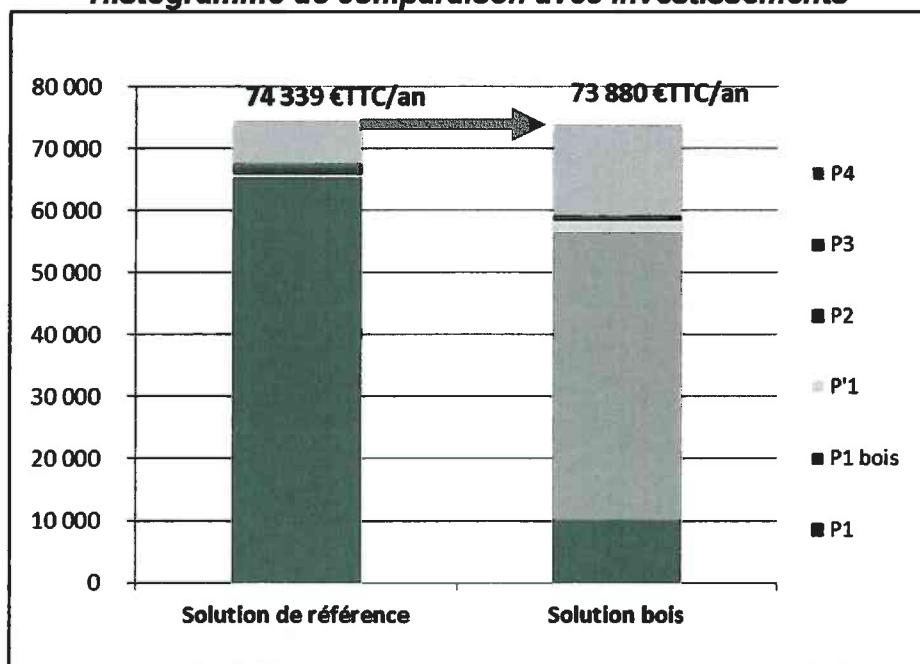


- **Chaudières bois granulé**

Coûts d'exploitation comparés		
Poste	Solution bois	Solution de référence
P1 - Achat des combustibles	56 386 € TTC/an	65 125 € TTC/an
P'1 - Eau et électricité	1 980 € TTC/an	640 € TTC/an
P2 - Entretien et petites réparations	500 € TTC/an	1 000 € TTC/an
P3 - Provisions pour renouvellement de matériel	300 € TTC/an	800 € TTC/an
Coût d'exploitation (P1+P'1+P2+P3)	59 166 € TTC/an	67 565 € TTC/an
Investissements du projet (HT)	341 020 € HT	88 000 € HT
Aides estimées du FEDER	130 510 €	0 €
Investissements à amortir ( HT)	210 510 € HT	88 000 € HT
P4 - Annuités de remboursement	14 714 € HT	6 774 € HT
Coût d'exploitation avec investissement	73 880 € TTC/an	74 339 € TTC/an
Coût de l'énergie (conso + invt)	0,075 € TTC/kWh	0,089 € TTC/kWh
Temps de retour brut	14,6 ans	référence

**Remarque :** L'économie d'exploitation (hors investissements) par rapport à la situation de référence représente une somme de **8 399 €TTC** par an, soit **167 978 €TTC** sur 20 ans.

**Histogramme de comparaison avec investissements**

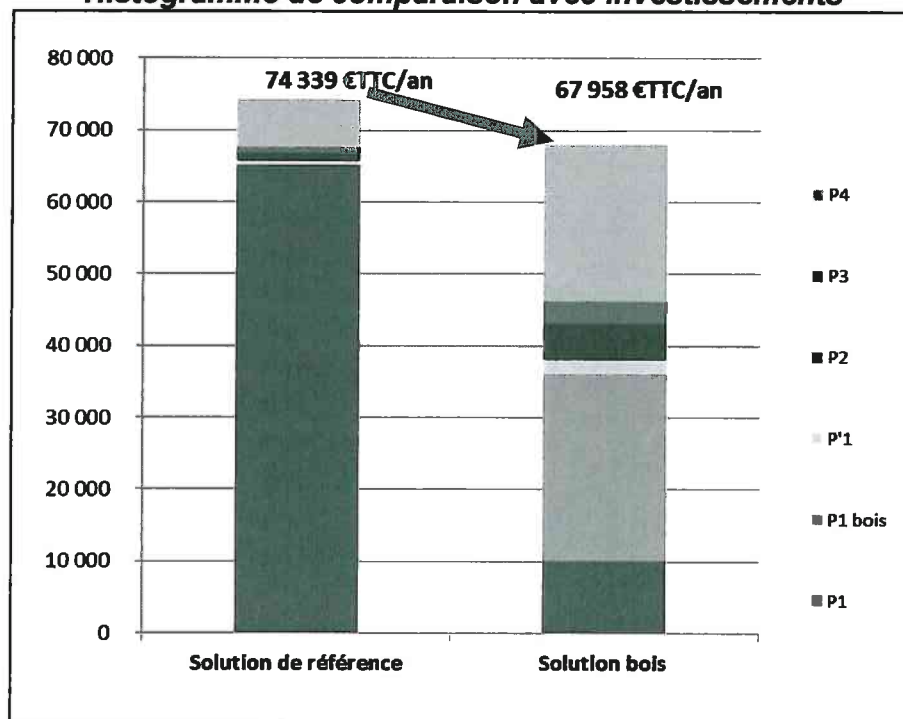


- **Chaudières bois déchiqueté**

Coûts d'exploitation comparés		
Poste	Solution bois	Solution de référence
P1 - Achat des combustibles	36 081 € TTC/an	65 125 € TTC/an
P'1 - Eau et électricité	1 980 € TTC/an	640 € TTC/an
P2 - Entretien et petites réparations	5 000 € TTC/an	1 000 € TTC/an
P3 - Provisions pour renouvellement de matériel	3 000 € TTC/an	800 € TTC/an
Coût d'exploitation (P1+P'1+P2+P3)	46 061 € TTC/an	67 565 € TTC/an
Investissements du projet (HT)	546 570 € HT	88 000 € HT
Aides estimées du FEDER	233 285 €	0 €
Investissements à amortir (I)	313 285 € HT	88 000 € HT
P4 - Annuités de remboursement	21 897 € TTC/an	6 774 € TTC/an
Coût d'exploitation avec investissement	67 958 € TTC/an	74 339 € TTC/an
Coût de l'énergie (conso + invt)	0,069 € TTC/kWh	0,089 € TTC/kWh
Temps de retour brut	10,5 ans	référence

**Remarque :** L'économie d'exploitation (hors investissements) par rapport à la situation de référence représente une somme de **21 505 €TTC** par an, soit **430 091 €TTC** sur 20 ans.

**Histogramme de comparaison avec investissements**

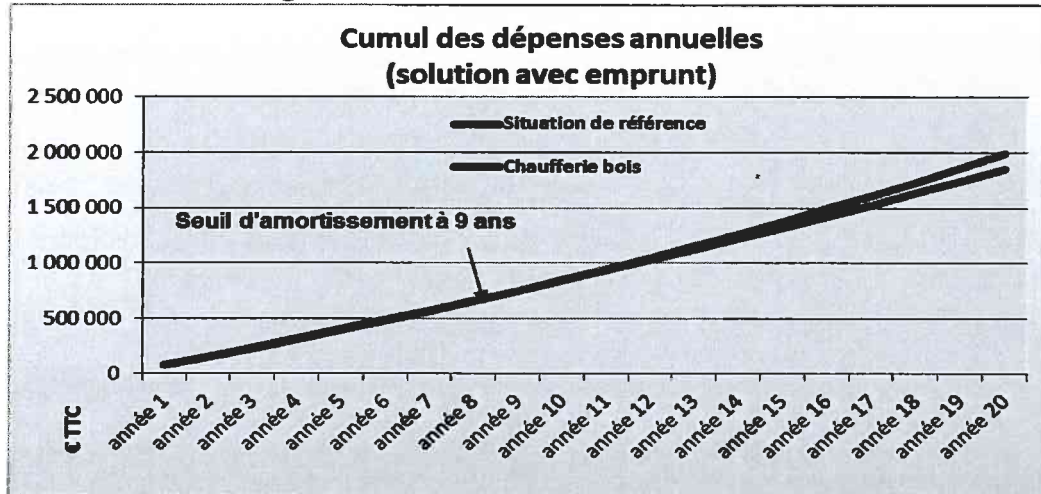


#### d) Courbes de dépenses annuelles en Coût global

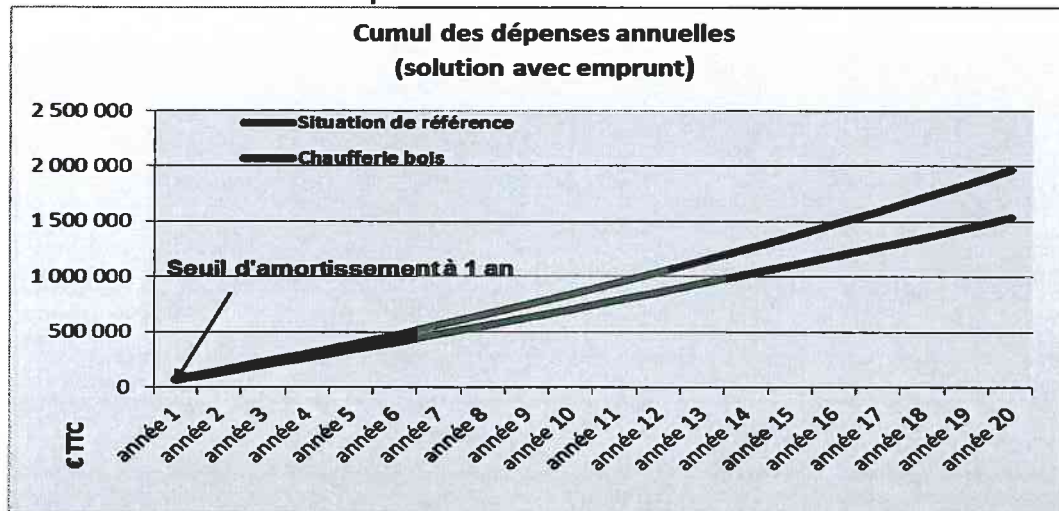
Hypothèses de hausse du coût des énergies et prestations d'entretien

- augmentation du prix de l'électricité 4% par an
- augmentation du prix du propane 4% par an
- augmentation du prix du fioul 3% par an
- augmentation du prix du bois de 2% par an
- augmentation des prix du P2 de 2% par an
- augmentation des prix du P3 de 2% par an

##### • Chauffage bois granulé



##### • Chauffage bois déchiqueté



Les courbes des dépenses annuelles en coût global (P1, P'1, P2, P3, P4) montrent que les rentabilités des projets bois sont immédiates dès la première année. Cette rentabilité augmente d'autant plus que l'écart entre la solution de référence et la solution bois sera important. Cet écart se confirme dans la durée étant donné la demande mondiale d'énergie toujours croissante.

## Conclusion

Le projet de chaufferie bois est tout à fait viable aussi bien sur le plan financier que sur le plan environnemental. Suivant le montage financier, le temps de retour brut est **14,5 ou 10.5 ans** suivant la solution de chaufferie bois.

Si on tient compte des dépenses globales annuelles sur 20 ans, le projet est rentable dès la première année pour le bois déchiqueté avec un financement à emprunt (sous réserve que les taux de subvention, d'emprunt et l'évolution des prix des énergies, plus particulièrement celui du propane et du fioul, soient ceux prévus dans l'étude).

Il apparaît donc intéressant pour le maître d'ouvrage de mener une réflexion plus approfondie sur le chauffage des bâtiments à l'aide d'une chaufferie bois automatique, source d'économie financière et énergie contribuant à limiter l'impact environnemental. La suite à donner est de mener une étude de faisabilité réalisée par un bureau d'étude.

La réalisation d'actions de maîtrise d'énergie permettrait de générer des économies financières sur le coût du combustible.

Nous invitons par ailleurs les responsables de l'établissement pour mieux s'imprégner des réalités, à visiter la chaufferie bois pour la piscine de SIVOM à Morbier.

## Suites à donner au projet

		Opérateur	Aides publiques (informations indicatives)
<b>Etape 1</b>	■ Etude de faisabilité afin de connaître plus précisément l'intérêt et les contraintes techniques d'un projet chauffage au bois ainsi que de maîtrise de l'énergie sur l'ensemble des bâtiments présentés dans cette étude.	■ Bureau d'études spécialisées	■ Etude aidée par l'ADEME et le Département du Jura à 70 % du montant HT.  ■ Accompagnement par AJENA
<b>Etape 2</b>	■ Investissements travaux	■ Maître d'Œuvre	■ FEDER ■ CEE ■ Accompagnement par AJENA