

Habitat 70
Office Public de l'Habitat de la Haute-Saône

Projet de chaufferie au bois
Quartier du Montmarin - Vesoul
Etude de faisabilité

Habitat 70
26 rue Fleurier - BP 70309
70006 Vesoul Cedex
03 84 96 13 50 - orosat@oph70.fr
Contact : Monsieur Olivier ROSAT



Réalisé par Pierre ESCHBACH - Ingénieur INSA
Energie Concept 16, rue de la République - 68040 Ingersheim
Tél : 03 89 27 02 71 Email : energie.concept@wanadoo.fr

11 décembre 2015
MàJ 15/03/2016

SOMMAIRE

1 - CONTEXTE – SYNTHÈSE DU PROJET	3
2 - PETIT GLOSSAIRE	6
3 - CLIMATOLOGIE.....	7
4 - RESSOURCES BOIS	8
4.1 - CARACTERISTIQUES DU BOIS-ENERGIE	8
4.2 - PLAQUETTES FORESTIERES.....	9
4.3 - RESSOURCES HUMAINES ET MATERIELLES.....	9
5 - SOLUTION DE REFERENCE	10
5.1 - PRIX DES ENERGIES.....	10
5.1.1 - <i>Gaz naturel</i> :	10
5.1.2 - <i>Plaquettes forestières</i> :.....	10
5.2 - HLM MONTMARIN	11
5.3 - BATIMENTS VILLE DE VESOUL.....	12
5.4 - BATIMENTS DEPARTEMENT HAUTE-SAONE.....	13
5.4.1 - <i>Espace 70</i>	13
5.4.2 - <i>Collège Jacques Brel</i>	13
5.4.3 - <i>Récapitulatif bâtiment Département</i>	13
5.5 - BATIMENTS REGION FRANCHE-COMTE	14
5.5.1 - <i>Lycée agricole Munier</i>	14
5.5.2 - <i>Lycée technologique Belin</i>	14
5.5.3 - <i>Lycée hôtelier Pontarcher</i>	15
5.5.4 - <i>Récapitulatif bâtiment Région</i>	15
5.6 - IME - ADAPEI	16
5.6.1 - <i>IME</i>	16
5.6.2 - <i>ADAPEI « Les Grillons »</i>	16
5.6.3 - <i>Récapitulatif IME - ADAPEI</i>	16
5.7 - RECAPITULATIF SOLUTION DE REFERENCE	17
5.7.1 - <i>Répartition énergétique</i>	18
6 - PROJET DE CHAUFFERIE CENTRALE AU BOIS	19
6.1 - PUISSANCE CHAUFFERIE ET REPARTITION ENERGETIQUE	20
6.1.1 - <i>Puissance chaudières</i>	20
6.2 - PROJETS DE CHAUFFERIE CENTRALE	22
6.2.1 - <i>Chaudières au bois et au gaz, équipements annexes</i>	22
6.2.3 - <i>Bâtiment chaufferie et silo à bois</i>	24
6.3 - RESEAU DE CHALEUR	24
6.4 - SOUS-STATIONS D'IMMEUBLE	26
6.5 - CHARGES D'EXPLOITATION CHAUFFERIE AU BOIS	27
6.6 - SYNTHÈSE ECONOMIQUE	28
6.6.1 - <i>Subventions</i>	28
7.1.1 - <i>Synthèse économique – Projet 1 : chaufferie centrale bois 3500 kW + gaz</i>	29
7.1.2 - <i>Synthèse économique – Projet 2 : chaufferie centrale bois 3500 + 600 kW + gaz</i>	30
7.1.3 - <i>Synthèse économique – Projet 2 : chaufferie bois 3500 kW</i>	31
8 - BILAN ENVIRONNEMENTAL	32
9 - CHIFFRAGES ESTIMATIFS.....	33

1 - Contexte – Synthèse du projet

L'office public de l'habitat de Haute-Saône – Habitat 70 – gère deux sites proches à Vesoul : le Montmarin et le Grand Grésil, totalisant 1 370 logements.

L'intérêt économique de la mise en place d'une chaufferie biomasse, pour la fourniture de chaleur du groupe d'immeuble du Montmarin, a été mis en évidence dans une étude de faisabilité datée de janvier 2015.

De nombreux bâtiments publics, de la Ville Vesoul, du Département et de la Région, sont également présents sur ce quartier.

Dans ce cadre, l'office a souhaité étudier les conditions techniques et financières liées à la mise en place d'une chaufferie au bois, pour l'ensemble de ces bâtiments publics.

Synthèse des projets de chaufferie au bois

La puissance de chauffe (10 000 kW) nécessaire pour fournir la chaleur à l'ensemble de ces bâtiments nécessite à créer une nouvelle chaufferie, de 'grande' puissance. Cette chaufferie pourrait trouver sa place dans une friche industrielle, partiellement utilisée par le Département de Haute-Saône, en tant que garage de véhicules de chantier et des pompiers.

Un réseau de chaleur, d'une longueur totale développée de 3 500 ml, serait développé dans le quartier pour relier tous les bâtiments concernés à la nouvelle chaufferie centrale.

Pour l'équipement en chaudières de la chaufferie, trois solutions sont développées :

- La première solution consiste à créer une chaufferie centrale mixte bois/gaz, qui fournirait toute l'année la totalité de la chaleur aux bâtiments : le réseau de chaleur fonctionne toute l'année, y compris en été pour satisfaire la production de l'eau chaude sanitaire. Les chaufferies gaz installées dans chacun des établissements seraient alors inutiles, et les chaudières au gaz seraient démantelées. Dans ce 1^{er} projet, une seule chaudière au bois de puissance 3500 kW serait installée ; trois chaudières au gaz seraient déployées, totalisant 10 000 kW ; elles fourniraient l'appoint et le secours de la chaudière au bois. La chaudière au bois ne serait mise en service que durant la pleine saison de chauffe : sa puissance, trop importante, ne permettrait pas de fonctionner de manière satisfaisante en été pour la production de l'ECS ; la 'petite' chaudière au gaz serait alors utilisée.
- La deuxième solution est similaire, mais une 'petite' chaudière au bois de 600 kW est rajoutée, pour ce fonctionnement estival ; le taux de couverture énergétique par le bois serait plus important, passant de 75% pour le projet précédent, à 82%.
- Dans le troisième projet, la nouvelle chaufferie serait exclusivement biomasse : les chaufferies au gaz actuelles seraient conservées pour l'appoint, le secours, et le fonctionnement estival. Ce projet est moins onéreux en investissement, moins le moins intéressant en exploitation, car tous les points de production de chaleur doivent être entretenus et maintenus en état.

Du point de vue économique, malgré le faible prix conjoncturel du gaz naturel, la rentabilité de chacune de ces deux premières solutions semble avérée. Ceci provient du fait du montant des subventions allouées : ces projets rentreraient dans le cadre du dispositif Fonds Chaleur Biomasse de l'ADEME. Ces subventions sont sujettes à des limitations, et devront donc être confirmées par l'organisme.

En simulant une hausse du prix des énergies de 3% par année, la rentabilité de ces projets s'améliorerait d'année en année.

Tous ces projets permettraient la création d'un réseau 'classé', et ainsi de faire bénéficier l'ensemble des abonnés à un service relevant d'un taux de TVA réduit à 5,5%, le taux d'énergie renouvelable dans la chaleur distribuée étant supérieur à 60%.

En revanche, il sera nécessaire de créer une entité juridique exploitant cette installation, soit un porteur public ayant la compétence de fournir de la chaleur dans le cadre d'un SPIC, soit en déléguant le service dans le cadre d'une DSP. Le porteur du projet doit être défini.

Synthèses économiques et techniques

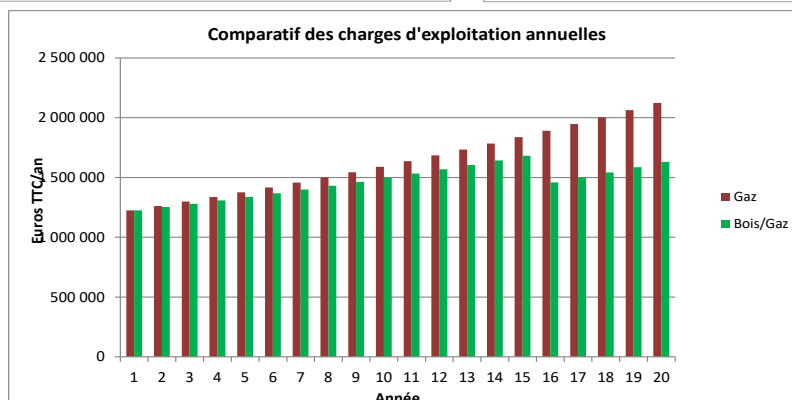
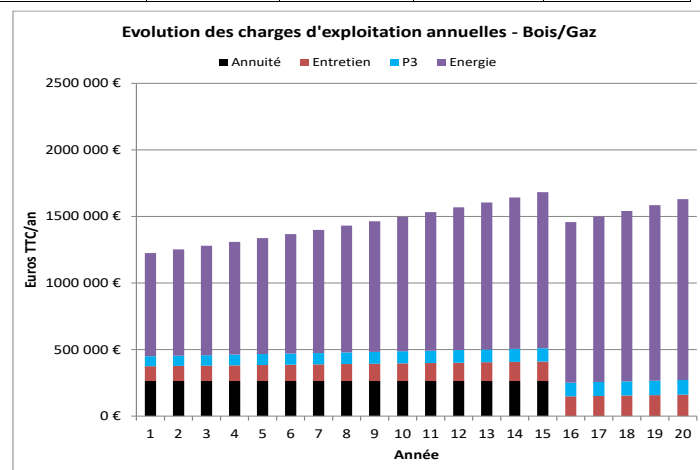
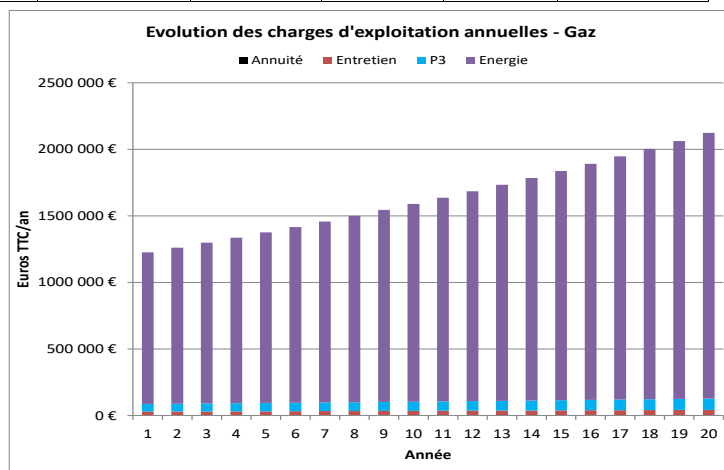
	Projet 1 : Chaufferie centrale Bois/Gaz	Projet 2 : Chaufferie centrale Bois/Gaz	Projet 3 : Chaufferie centrale Bois
Puissance bois	3 500 kW	3 000 kW + 600 kW	3 500 kW
Puissance gaz	2x4000 kW + 2000 kW	2x4000 kW + 2000 kW	existantes
Energie distribuée	18 490 MWh _{th}	18 490 MWh _{th}	14 530 MWh _{th}
Pertes réseau	880 MWh _{th}	880 MWh _{th}	610 MWh _{th}
Total énergie produite	19 370 MWh _{th}	19 370 MWh _{th}	15 140 MWh _{th}
Energie bois	14 530 MWh _{th}	15 880 MWh _{th}	14 530 MWh _{th}
Rendement bois	1 249 TEP	1 365 TEP	1 249 TEP
Tonnage bois	5 440 t	5 870 t	5 440 t
Volume bois	21 760 MAP	23 480 MAP	21 760 MAP
Coût bois	462 400 €TTC	498 950 €TTC	462 400 €TTC
Energie gaz	4 840 MWh _{PCS}	3 490 MWh _{PCS}	4 570 MWh _{PCS}
Coût gaz	285 120 €TTC		
Coût total exploitation	969 700 €TTC	949 370 €TTC	1 043 090 €TTC
Economie d'exploitation	237 650 €TTC	257 980 €TTC	164 260 €TTC
Investissements	4 998 000 €HT	5 331 000 €HT	4 419 000 €HT
Subventions (admis)	1 860 500 €	1 925 500 €	1 799 000 €
Taux subvention	37%	36%	41%
Reliquat à financer	3 137 500 €	3 405 500 €	2 620 000 €
Annuité 2% 15ans	244 177 €	265 035 €	203 903 €
TRB	13,2 ans	13,2 ans	16,0 ans
Emission CO2 évitée	-2 959 tonnes	-3 257 tonnes	-3 020 tonnes

L'évolution des coûts d'exploitation annuels du projet 2 (chaufferie centrale bois 3000 + 600kW + gaz) est simulée, avec une actualisation des prix des 4 postes principaux :

Résumé des coûts annuels d'exploitation	Actuel Gaz	Projet Bois/Gaz	Actualisation annuelle
Coût énergie	1 120 200 €	762 530 €	3%
Conduite, entretien	29 400 €	111 000 €	2%
Provisions réparations	57 750 €	75 840 €	2%
Annuité emprunt 15 ans 2%		264 179 €	0%
Total coût exploitation	1 207 350 €	1 214 405 €	

Coûts d'exploitation chaudière au gaz					
An	Energie	Entretien	P3	Annuité	Total
1	1 120 200 €	29 400 €	57 750 €	0 €	1 207 350 €
2	1 153 806 €	29 988 €	58 905 €	0 €	1 242 699 €
3	1 188 420 €	30 588 €	60 083 €	0 €	1 279 091 €
4	1 224 073 €	31 200 €	61 285 €	0 €	1 316 558 €
5	1 260 795 €	31 824 €	62 511 €	0 €	1 355 130 €
6	1 298 619 €	32 460 €	63 761 €	0 €	1 394 840 €
7	1 337 578 €	33 109 €	65 036 €	0 €	1 435 723 €
8	1 377 705 €	33 771 €	66 337 €	0 €	1 477 813 €
9	1 419 036 €	34 446 €	67 664 €	0 €	1 521 146 €
10	1 461 607 €	35 135 €	69 017 €	0 €	1 565 759 €
11	1 505 455 €	35 838 €	70 397 €	0 €	1 611 690 €
12	1 550 619 €	36 555 €	71 805 €	0 €	1 658 979 €
13	1 597 138 €	37 286 €	73 241 €	0 €	1 707 665 €
14	1 645 052 €	38 032 €	74 706 €	0 €	1 757 790 €
15	1 694 404 €	38 793 €	76 200 €	0 €	1 809 397 €
16	1 745 236 €	39 569 €	77 724 €		1 862 529 €
17	1 797 593 €	40 360 €	79 278 €		1 917 231 €
18	1 851 521 €	41 167 €	80 864 €		1 973 552 €
19	1 907 067 €	41 990 €	82 481 €		2 031 538 €
20	1 964 279 €	42 830 €	84 131 €		2 091 240 €

Coûts d'exploitation chaufferie bois				
Energie	Entretien	P3	Annuité	Total
762 530 €	111 000 €	75 840 €	265 035 €	1 214 405 €
785 406 €	113 220 €	77 357 €	265 035 €	1 241 018 €
808 968 €	115 484 €	78 904 €	265 035 €	1 268 391 €
833 237 €	117 794 €	80 482 €	265 035 €	1 296 548 €
858 234 €	120 150 €	82 092 €	265 035 €	1 325 511 €
883 981 €	122 553 €	83 734 €	265 035 €	1 355 303 €
910 500 €	125 004 €	85 409 €	265 035 €	1 385 948 €
937 815 €	127 504 €	87 117 €	265 035 €	1 417 471 €
965 949 €	130 054 €	88 859 €	265 035 €	1 449 897 €
994 927 €	132 655 €	90 636 €	265 035 €	1 483 253 €
1 024 775 €	135 308 €	92 449 €	265 035 €	1 517 567 €
1 055 518 €	138 014 €	94 298 €	265 035 €	1 552 865 €
1 087 184 €	140 774 €	96 184 €	265 035 €	1 589 177 €
1 119 800 €	143 589 €	98 108 €	265 035 €	1 626 532 €
1 153 394 €	146 461 €	100 070 €	265 035 €	1 664 960 €
1 187 996 €	149 390 €	102 071 €		1 439 457 €
1 223 636 €	152 378 €	104 112 €		1 480 126 €
1 260 345 €	155 426 €	106 194 €		1 521 965 €
1 298 155 €	158 535 €	108 318 €		1 565 008 €
1 337 100 €	161 706 €	110 484 €		1 609 290 €



Les coûts d'exploitation, intégrant le remboursement des annuités, sont favorables au bois dès la 3^{ème} année, et présentent une économie substantielle à terme.

2 - Petit glossaire

Unité d'énergie :

L'unité est le kilowattheure (kWh) : c'est la quantité d'énergie dégagée en 1 heure par un appareil de puissance 1 kW. Le multiple est le mégawattheure (MWh) = 1000 kWh.

Autre unité : la thermie (th) = 1 000 kilocalories (kcal) : une thermie est par définition la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1°C une tonne d'eau (ou 1 m³ d'eau).

Facteur de conversion : 1 th = 1 162,6 kWh = 1,1626 MWh 1 MWh = 0,860 th.

PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur

Le pouvoir calorifique d'un combustible est la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète de l'unité de masse (ou de volume) de celui-ci. On distingue le Pouvoir Calorifique Supérieur (PCS) pour lequel l'eau contenue dans les fumées de combustion est considérée sous forme liquide et le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) où l'eau des fumées est comptée sous forme vapeur. Le PCS présente un intérêt dans le cas des « chaudières à condensation » dans lesquelles les fumées sont descendues en température jusqu'à condensation. Ce type de chaudière existe essentiellement dans la gamme des chaudières utilisant du gaz naturel. En règle générale, les fumées de combustion sont à une température telle que l'eau y est contenue sous forme vapeur. Ainsi, le PCI est la valeur du pouvoir calorifique la plus représentative de la réalité. Le PCI est généralement exprimée en kWh par unité de masse (kWh/kg ou kWh/tonne) ou en kWh par unité de volume (kWh/L ou kWh/m³).

Puissance :

C'est la quantité de chaleur disponible ou émise par unité de temps :

- ° Pour une chaudière : chaleur transmise à l'eau en circulation.
- ° Pour un émetteur (radiateur, aérotherme...) : chaleur cédée à l'ambiance.

La puissance s'exprime en kW (unité légale). La quantité de chaleur émise en une heure par un appareil de puissance 1 kW est ainsi égale à 1 kWh.

Rendement chaudière :

C'est le rapport entre la quantité de chaleur utilisable et celle contenue dans le combustible. Il s'exprime en % ; généralement la quantité de chaleur du combustible est exprimée en valeur PCI : il s'agit alors d'un rendement sur PCI.

Les différentes pertes de chaleur sont principalement :

- ° Pertes par la chaleur des fumées chaudes envoyées à la cheminée (de 5% à 10%).
- ° Pertes par les imbrûlés (gazeux ou solides) (entre 0,5% et 1,5%).
- ° Pertes par rayonnement de la chaudière (< 1%).

Il convient également de distinguer le rendement instantané du rendement moyen annuel qui intègre les pertes à l'arrêt de la chaudière.

Humidité du bois :

La quantité d'eau contenue dans le bois - exprimée en % - est définie par 2 valeurs :

- ° Hygrométrie sur anhydre : masse d'eau que renferme 1 kg de bois sec
- ° Hygrométrie sur brut (ou Hygrométrie Relative - HR) : masse d'eau contenue dans 1 kg de bois humide

Exemple : un échantillon de 25 kg de bois humide, contient 5 kg d'eau

- ° Hygrométrie sur anhydre : 5 kg eau / 20 kg bois sec = 25%
- ° Hygrométrie sur brut (HR) : 5kg eau / 25kg bois brut = 20%

Degré Jour Unifié - DJU :

La quantité de chaleur à apporter à un bâtiment est théoriquement proportionnelle à la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur (18°C). Cet écart de température moyen pour une journée, est une donnée météorologique calculée par Météo France et appelée « DJU base 18°C » : si la température moyenne extérieure est de 2°C, le DJU de la journée est : 18 - 2 = 16. La quantité de chaleur nécessaire pour le chauffage d'un bâtiment durant une saison de chauffe est proportionnelle au DJU de la période.

3 - Climatologie

La ville de Vesoul est la préfecture de la Haute-Saône, et est située à 230 d'altitude.

La station météorologique nationale d'altitude équivalente la plus proche est celle de Luxeuil-les-Bains, située à 25 km.

Moyenne des DJU années 1989 à 2000

	1 Décade	2 Décade	3 Décade	Mois
Janvier	169,3	166,6	178,3	514,2
Février	154,1	157,2	120,7	432
Mars	134,3	118	119,8	372,1
Avril	98,7	99,6	82,1	280,4
Mai	64,4	51,5	49,5	165,4
Juin				0
Juillet				0
Août				0
Septembre	33,6	39,6	49,3	122,5
Octobre	62,2	74,9	101,7	238,8
Novembre	110,5	129,4	148,5	388,4
Décembre	154,2	154,4	175,2	483,8
				2997,6

La différence entre la température du local (18 °C) et la température extérieure moyenne d'une journée s'appelle degrés-jours. Les degrés-jours s'additionnent sur une saison de chauffe et sont représentatifs des consommations d'énergie pour le chauffage.

Pour la suite de l'étude, les calculs seront effectués avec une période de chauffage s'étendant du 20 septembre au 10 mai (232 jours), avec une 'rigueur climatique' de 2 572 DJU (base standard des contrats d'exploitation de l'Office d'HLM).

Température extérieure d base : -13°C

Zone climatique : H1c

4 - Ressources bois

4.1 - Caractéristiques du bois-énergie

- ° les **granulés**. Ils sont fabriqués à partir de sciures récupérées dans les scieries, séchées, tamisées, puis introduites dans une extrudeuse afin d'obtenir un produit ressemblant à un 'bouchon' de diamètre 6 à 10 mm. Le combustible est très sec, de forte valeur énergétique, de qualité constante et à faible teneur en cendres. Elaboré, avec une forte valeur ajoutée, il est le plus onéreux des combustibles bois, mais se contente d'équipements très simples ; il est bien adapté aux 'petits' projets.
- ° les **écorces**. Disponible dans les scieries, ce produit est actuellement peu valorisé. Les écorces sont généralement très humides (jusqu'à 65% d'hygrométrie relative), avec un taux de résidus (cendres, sable, graviers) important. Les chaudières possèdent une grille à avance automatique et sont onéreuses. Les écorces sont d'une granulométrie très hétérogène et grossière et sont transportées sur des tapis ou des racleurs à chaîne. Ce combustible est réservé aux installations relativement importantes, avec une forte présence de personnel.
- ° les **plaquettes forestières**. Ce sont des sous-produits de l'exploitation forestière : rémanents, coupes d'éclaircie ou de dépressage, connexes des bois de coupe. Les plaquettes sont calibrées et leur transport s'effectue par des vis d'Archimède. Les plaquettes forestières fraîches, résultat du broyage de bois vert, sont relativement humide (jusqu'à 45% d'hygrométrie relative). Pour ce type de combustible, il est préférable d'utiliser une chaudière à grille à avance automatique. Néanmoins, un foyer standard du type volcan peut convenir. Si le bois transite durant 4 à 6 mois dans un hangar de stockage abrité et aéré, il sèche naturellement ; l'hygrométrie résiduelle n'est plus que de 25% à 30%. Dans cette opération, le bois gagne en pouvoir calorifique, ses caractéristiques sont plus constantes ; une chaudière à foyer volcan est alors parfaitement indiquée.
- ° le **bois d'industrie** non valorisé. Il s'agit du bois de la filière des DIB (Déchets Industriels Banaux) : emballages, palettes, démolitions, sous-produits des industries de 1^{ère} et 2^{ème} transformation du bois. Il est exempt de traitement, peinture et revêtement mélaminé, à l'exclusion de panneaux de particules. Ses caractéristiques sont proches à celles des plaquettes forestières sèches : hygrométrie standard de 25%, plaquettes calibrées ; les inévitables différences d'humidité sont totalement prises en compte par la régulation d'une "bonne" chaudière à foyer volcan.

Caractéristiques standards Combustible bois		Granulés	Plaquettes sèches	Plaquettes fraîches	Ecorces humides
Hygrométrie	%HR	10%HR	30%HR	40%HR	60%HR
PCI/tonne	kWh _{PCI} /tonne	4 900	3 300	2 200	1 600
Densité MAP	kg/MAP	700	245	340	425
PCI/MAP	kWh _{PCI} /MAP	3 430	810	750	680
Rendit chaudière	%	84%	82%	76%	71%
Energie utile sortie chaudière	kWh _{th} /tonne	4 120	2 710	1 720	1 200
	kWh _{th} /MAP	2 880	660	590	510
Equivalent fioul	Lit FOD/t	470	310	200	140
	Lit FOD/MAP	330	80	70	60

- *bois plein = 400 kg/m³ à 0%HR (équivalent à mélange 50% feuillus – 50% résineux)*
- *1 MAP : m³ Apparent de Plaquette*
- *Le rendement chaudière s'entend 'moyen annuel' ; le rendement instantané est supérieur, de 75 à 90% en fonction de la chaudière et du combustible utilisé.*

4.2 - Plaquettes forestières

Le combustible envisagé est la plaquette forestière. Elle est obtenue par déchiquetage de sous-produits de l'exploitation forestière :

- Les fonds de coupe, constitués de produits abandonnés dans les exploitations (rémanents, branchages, houppiers...).
- Les perches coupées lors du dépressage des parcelles.

FOURNISSEURS POTENTIELS :

SA Billotte 24, Grande Rue 70400 Granges le Bourg Tél. : 03 84 20 23 28 Fax : 03 84 89 90 07 billotte.sa@wanadoo.fr	Loïc THIRIET Le bas des côtes 70320 AILLEVILLERS et LYAUMONT Tél. : 03 84 49 25 59
Entreprise Sundgauwald François PASQUIER 8, rue de Bâle 90100 Faverois Tél.: 03 84 56 20 05 sund.pasquier@wanadoo.fr	CNTB J.-P. GRANDJEAN 99, grande rue 88 340 VAL d'AJOL tél 06 22 11 24 01 Fax 03 29 30 60 16 cntb@laposte.net
Florent DELECRAY 9, route de Raze 70130 VY le FERROUX Tél : 03 84 68 42 10	ONF-Energie Jean-Luc FELDER 14, rue Plançon BP 329 25017 BESANCON Cedex Tél : (03) 81 65 08 62

Prix admis pour la suite de l'étude : **85 €TTC/tonne** livré à TVA 10% (77 €HT/tonne)
21 €TTC/MAP

Bois à 30%HR Densité : 250 kg/MAP PCI : 3 300 kWh/t - 825 kWh/MAP

Prix énergétique : **2,57 ct€TTC/kWh_{PCI}**.

4.3 - Ressources humaines et matérielles

Dans toute la chaîne de l'exploitation de la chaufferie, des ressources doivent être mobilisées, autant en personnel qu'en matériel.

L'office d'HLM a recours à des entreprises spécialisées pour toutes les opérations de conduite et d'entretien des équipements thermiques, dans le cadre d'un contrat d'exploitation avec garantie de résultat :

- Conduite des chaudières et des équipements techniques
- Gestion de la mise en service des chaudières, avec optimisation du coût énergétique
- Réglage des températures de confort dans les locaux
- Contrôle des approvisionnements de combustibles
- Gestion de l'évacuation des cendres
- Maintenance et réparation des installations

L'office n'a donc pas à mobiliser de moyens propres pour l'exploitation d'une chaufferie au bois, si ce n'est le contrôle de la bonne exécution du contrat d'exploitation et des charges.

5 - Solution de référence

5.1 - Prix des énergies

Notations utilisées pour les énergies :

- Energie utile sortie chaudière (énergie thermique) : kWh_{th}
- Energie primaire combustible PCI : kWh_{PCI}
- Energie primaire gaz naturel PCS : kWh_{PCS}
- Energie électrique : kWh_{e}
- Energie Primaire : kWh_{EP}

5.1.1 - Gaz naturel :

Facturé au kWh_{PCS} : coefficient de conversion : $1 \text{ kWh}_{\text{PCS}} = 0,9 \text{ kWh}_{\text{PCI}}$

Avec la disparition des tarifs réglementés, le gaz fait l'objet de contrat de fourniture selon les offres du marché.

Le prix du gaz n'étant plus issu d'un tarif encadré, il sera variable d'un site à l'autre.

Pour la suite de l'étude, en l'absence des prix réellement appliqués sur chaque site, et par soucis de simplification, il sera pris en compte un prix moyen constaté au 2^{ème} semestre 2015.

Prix de référence pour l'étude :

- Consommations > 2 000 MWh : **0,048 €TTC/kWh_{PCS}** - 0,0533 €TTC/kWh_{PCI}
- Consommations > 1 000 MWh : **0,052 €TTC/kWh_{PCS}** - 0,0577 €TTC/kWh_{PCI}
- Consommations < 1 000 MWh : **0,056 €TTC/kWh_{PCS}** - 0,0622 €TTC/kWh_{PCI}

5.1.2 - Plaquettes forestières :

Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) : 3 300 kWh_{PCI}/tonne

Prix de référence : **85 €TTC/tonne** Prix énergie primaire : 2,57 c€TTC/kWh_{PCI}.

5.2 - HLM Montmarin

Bilan thermique – P1

Le bilan thermique des immeubles HLM du quartier Montmarin a été détaillé dans la précédente étude de faisabilité, et seule la synthèse est présentée ci-dessous :

Montmarin		Etat actuel	Etat futur
Nb Logements		922	900
Surface		65 375 m ²	66 235 m ²
Consommation chauffage	2 572 DJU	7 459 MWh _{th}	6 292 MWh _{th}
Ratio conso chauffage		114 kWh/m ²	95 kWh/m ²
Puissance chauffage	-13°C	4 265 kW	3 876 kW
Ratio puissance		65 W/m ²	59 W/m ²
		4,6 kW/logt	4,3 kW/logt
Consommation ECS		22 581 m ³	22 581 m ³
Besoin énergie ECS		2 823 MWh _{th}	2 823 MWh _{th}
Surpuissance ECS		773 kW	773 kW
Pertes en ligne		845 MWh _{th}	854 MWh _{th}
Energie totale		11 127 MWh _{th}	9 939 MWh_{th}
Puissance totale		5 039 kW	4 650 kW
Rendement gaz / PCS		92%	92%
Consommation gaz		12 090 MWh _{PCS}	10 800 MWh_{PCS}
Prix du gaz		0,044 €/kWh _{PCS}	0,048 €/kWh _{PCS}
P1 – Coût gaz		531 960 €TTC	518 400 €TTC

Etat actuel : sur la base des consommations de 2013, ramenées à 2 572 DJU

Etat futur : le niveau d'isolation des bâtiments est inégal, des travaux d'isolation extérieure sont en cours sur certains bâtiments, et d'autres sont programmés à court terme.

Deux bâtiments sont voués à la démolition (1-2-3-4 cours Rabelais – 40 logements), avec une reconstruction de 18 logements BBC totalisant 2 402 m².

Le raccordement de 2 écoles est également prévu : une école en rénovation BBC de 454 m², et une école à construire de 750 m² en RT2012.

Equipements de production de chaleur – P2 et P3

Le site est chauffé par une chaufferie centrale enterrée au pied de la tour 1 cours Montaigne ; elle abrite 4 chaudière au gaz, les pompes du réseau de chaleur, et les équipements annexes.

			Coût matériel	P3	P2
N°1	Totaltub S (1991)	2 790 kW	80 000 €	4 000 €	
N°2	Totaltub S (2001)	3 840 kW	100 000 €	5 000 €	
N°3	Buderus SB 735 (2009)	970 kW	80 000 €		
N°4	Buderus SB 735 (2009)	970 kW	80 000 €		
	Total	8 570 kW	430 000 €	9 000 €	18 000 €

P3 : ne tient compte que du matériel qui devra être remplacé avant 15 ans.

P2 : exclusivement lié aux chaudières gaz ; les sous-stations ne sont pas comprises

5.3 - Bâtiments Ville de Vesoul

Bilan thermique – P1

Bilan établi à partir des consommations de gaz fournies par la Ville de Vesoul :

	Gaz MWh _{PCS}	Chaleur MWh _{th}	P. utile kW	Prix gaz ct€/TTC/kWh _{PCS}	P1 gaz €/TTC
Espace Villon	380	290	240	5,60 ct€/kWh	21 300 €
Complexe Pontarcher	1 070	800	730	5,20 ct€/kWh	55 600 €
Ecole Jean Morel	200	150	130	5,60 ct€/kWh	11 200 €
Ecole des Rêpes	300	230	190	5,60 ct€/kWh	16 800 €
Restaurant scolaire	160	120	100	5,60 ct€/kWh	9 000 €
Gymnase Roy					
Ecole Montmarin 2	150	110	90	5,60 ct€/kWh	8 400 €
Total Ville de Vesoul	2 260 MWh _{PCS}	1 700 MWh _{th}	1 480 kW		122 300 €

Equipements de production de chaleur – P2 et P3

Le site comporte une chaufferie au gaz :

	Puissance installée	Chaudières	Coût matériel	P3	P2
Espace Villon	700 kW	2 Rhoss 349kW	60 000 €	3 000 €	800 €
Complexe Pontarcher	900 kW	2 Guillot Modulinox 450kW	70 000 €	3 500 €	800 €
Ecole Jean Morel	230 kW	1 DeDietrich 230 kW	25 000 €	1 250 €	400 €
Ecole des Rêpes	400 kW	2 DeDietrich CFE407 209kW	50 000 €	2 500 €	800 €
Restaurant scolaire	190 kW	1 DeDietrich 190 kW 1 Styx 22 kW	40 000 €	2 000 €	600 €
Gymnase Roy	265 kW	1 Guillot N2 265kW			
Ecole Montmarin 2	150 kW	?	20 000 €	1 000 €	400 €
Total Ville de Vesoul	2 835 kW		290 000 €	13 250 €	3 800 €

P3 : ne tient compte que du matériel qui devra être remplacé avant 15 ans.

P2 : exclusivement lié aux chaudières gaz ; les équipements secondaires ne sont pas compris

5.4 - Bâtiments Département Haute-Saône

5.4.1 - Espace 70

Le site comporte 2 chaufferies gaz :

- Bâtiment A : 2 chaudières De Dietrich GTE 511 de puissance 580 à 638 kW, datant de 2003, avec brûleur Cuenod C75 ; 5 circuits de distribution de chauffage.
- Bâtiment C : 2 chaudières De Dietrich GTE 511 de puissance 580 à 638 kW, datant de 2003, avec brûleur Cuenod C75 ; 3 circuits de distribution de chauffage.

Consommations de gaz : non communiquées

5.4.2 - Collège Jacques Brel

L'établissement est chauffé par une chaufferie au gaz, avec 2 chaudières De Dietrich GTE 508 de puissance 406 à 464 kW, datant de 2003, avec brûleur Cuenod C54 ; 3 circuits de distribution de chauffage.

Historique des consommations mensuelles de gaz (kWh_{PCS}) fournies par le collège :

	2011	2012	2013	2014	Moyenne
Janvier	67 556	72 276	77 224	61 366	69 606
Février	64 649	112 757	82 810	56 339	79 139
Mars	52 873	46 808	57 228	35 522	48 108
Avril	14 535	24 989	36 366	17 157	23 262
Mai	3 146	6 578	15 618	5 939	7 820
Juin	2 143	0	3 203	11	1 340
Juillet	661	0	0	0	165
Août	0	0	0	0	0
Septembre	0	3 260	0	0	815
Octobre	12 380	9 713	9 530	5 062	9 171
Novembre	37 289	44 962	52 964	31 396	41 653
Décembre	53 443	70 646	76 357	54 093	63 635
Année	308 678	391 989	411 301	266 885	344 713

5.4.3 - Récapitulatif bâtiment Département

	Gaz MWh _{PCS}	Chaleur MWh _{th}	P. utile kW	Prix gaz ct€/TTC/kWh _{PCS}	P1 gaz €/TTC
Espace 70 - bât A	1 000	750	580	5,20 ct€/kWh	52 000 €
Espace 70 - bât C	600	450	350	5,20 ct€/kWh	31 200 €
Collège Jacques Brel	350	260	220	5,60 ct€/kWh	19 600 €
Total Département	1 950 MWh	1 460 MWh	1 150 kW		102 800 €

Equipements de production de chaleur – P2 et P3

	Puissance installée	Chaudières	Coût matériel	P3	P2
Espace 70 - bât A	1 200 kW	2 DeDietrich GTE511 600kW	80 000 €	4 000 €	800 €
Espace 70 - bât C	1 200 kW	2 DeDietrich GTE511 600kW	80 000 €	4 000 €	800 €
Collège J. Brel	900 kW	2 DeDietrich GTE408 450kW	70 000 €	3 500 €	800 €
Total	2 835 kW		230 000 €	11 500 €	2 400 €

P3 : ne tient compte que du matériel qui devra être remplacé avant 15 ans.

P2 : exclusivement lié aux chaudières gaz ; les équipements secondaires ne sont pas compris

5.5 - Bâtiments Région Franche-Comté

5.5.1 - Lycée agricole Munier

Le site comporte deux chaufferies gaz :

Chaufferie CFA - CFPPA :

- Chaudière N°1 : De Dietrich CFE808 de 406 à 464kW datant de 1987, avec brûleur Cuenod C80, avec condenseur additionnel Guillot Totaleco 400
- Chaudière N°2 : idem

Chaufferie Lycée :

- Chaudière N°1 : chaudière Buderus ancienne et vétuste
- Chaudière N°2 : De Dietrich de 645 kW datant de 2012

Consommations de gaz :

	Gaz kWh _{PCS}	Facture €TTC	Prix gaz ct€TTC/kWh _{PCS}
2008	586 601	26 887	4,58
2009	616 269	29 221	4,74
2010	600 773	39 222	6,53
2011	460 920	29 954	6,50
2012	549 077	40 565	7,39
2013	688 888	42 356	6,15
Moyenne	583 755	34 701	5,94

5.5.2 - Lycée technologique Belin

Le site comporte deux chaufferies, gaz et fioul :

Chaufferie gaz principale :

- Chaudière N°1 : Viessmann Paromat Duplex PD150 de 1500 à 1725 kW datant de 1994, avec brûleur Cuenod C200
- Chaudière N°2 : idem
- Chaudière N°3 : Viessmann Paromat Duplex PD76 de 760 à 875 kW datant de 1994, avec brûleur Cuenod C135

Le gymnase est chauffé par une chaudière au fioul, type De Dietrich CFE409 de 244 à 279kW datant de 1989

Consommations de gaz :

	Gaz kWh _{PCS}	Facture €TTC	Prix gaz ct€TTC/kWh _{PCS}
2008	3 902 288	171 393	4,39
2009	3 237 657	154 049	4,76
2010	3 181 245	148 695	4,67
2011	2 105 881	113 661	5,40
2012	2 173 385	166 719	7,67
2013	3 043 267	190 601	6,26
Moyenne	2 940 621	157 520	5,36

5.5.3 - Lycée hôtelier Pontarcher

Le site comporte une chaufferie gaz :

- Chaudière N°1 : De Dietrich GTE513 de 696 à 754kW datant de 2002, avec brûleur Cuenod C100
- Chaudière N°2 : idem

Consommations de gaz :

	Gaz kWh _{PCS}	Facture €TTC	Prix gaz ct€TTC/kWh _{PCS}
2008	1 338 475	60 043	4,49
2009	1 380 171	65 457	4,74
2010	1 462 055	67 597	4,62
2011	1 270 699	65 531	5,16
2012	1 439 820	86 875	6,03
2013	1 529 201	97 497	6,38
Moyenne	1 403 404	73 833	5,26

Le pôle hôtelier a été agrandi en 2013, l'incidence sur les consommations n'a pas été communiquée : sera prise en considération une augmentation des besoins de chauffage de 400 MWh_{PCS} (+28%), soit 1 800 MWh_{PCS} au total.

5.5.4 - Récapitulatif bâtiment Région**Bilan énergétique**

	Gaz MWh _{PCS}	Chaleur MWh _{th}	P. utile kW	Prix gaz ct€TTC/kWh _{PCS}	P1 gaz €TTC
Lycée Agricole	580	440	400	5,60 ct€/kWh	32 500 €
Lycée Techno Belin	2 940	2 210	2 010	4,80 ct€/kWh	141 100 €
Lycée Pontarcher	1 800	1 350	1 350	5,20 ct€/kWh	93 600 €
Total Région	5 320 MWh	4 000 MWh	3 760 kW		267 200 €

Equipements de production de chaleur – P2 et P3

	Puissance installée	Chaudières	Coût matériel	P3	P2
Lycée Agricole	2 000 kW	2 DeDietrich 400kW condenseur 1 DeDietrich 600kW + 1 Buderus	120 000 €	6 000 €	1 600 €
Lycée Techno Belin	3 800 kW	2 Viessmann Paromat 1500kW 1 Viessmann Paromat 800kW	140 000 €	7 000 €	1 200 €
Lycée Pontarcher	1 400 kW	2 DeDietrich GTE513 700 kW	80 000 €	4 000 €	800 €
Total Région	7 200 kW		340 000 €	17 000 €	3 600 €

P3 : ne tient compte que du matériel qui devra être remplacé avant 15 ans.

P2 : exclusivement lié aux chaudières gaz ; les équipements secondaires ne sont pas compris

5.6 - IME - ADAPEI

5.6.1 - IME

Chaufferie gaz centrale :

- 2 chaudières Guilloit LRP14 de 580 kW datant de 2004, brûleur Cuenod C60
- Production d'ECS semi-instantanée Magnum RU122D
- 3 départs chauffage

Consommations de gaz :

	Gaz kWh _{PCS}
sept-14	37 172
oct-14	55 516
nov-14	105 530
déc-14	138 814
janv-15	175 300
févr-15	186 643
mars-15	120 638
avr-15	93 793
mai-15	47 555
juin-15	34 361
juil-15	26 309
août-15	27 364
Année	1 048 995

5.6.2 - ADAPEI « Les Grillons »

Chaufferie gaz centrale : non visitée

Consommations de gaz : non communiquées

5.6.3 - Récapitulatif IME - ADAPEI

Bilan énergétique

	Gaz MWh _{PCS}	Chaleur MWh _{th}	P. utile kW	Prix gaz ct€TTC/kWh _{PCS}	P1 gaz €TTC
IME	1 050	790	610	5,20 ct€/kWh	54 600 €
ADAPEI	800	600	460	5,60 ct€/kWh	44 800 €
Total	1 850 MWh	1 390 MWh	1 070 kW		99 400 €

Equipements de production de chaleur – P2 et P3

	Puissance installée	Chaudières	Coût matériel	P3	P2
IME	1 100 kW	2 Guilloit LRP14 580kW	80 000 €	4 000 €	800 €
ADAPEI	800 kW	?	60 000 €	3 000 €	800 €
Total Région	1 900 kW		140 000 €	7 000 €	1 600 €

P3 : ne tient compte que du matériel qui devra être remplacé avant 15 ans.

P2 : exclusivement lié aux chaudières gaz ; les équipements secondaires ne sont pas compris

5.7 - Récapitulatif solution de référence

HLM	Gaz - MWh _{PCS}	Chaleur - MWh _{th}	P. utile	P1 gaz - €TTC	P2	P3
Montmarin	10 800	9 940	4 650	518 400	18 000	9 000
Paquerettes Géranium	0	0	0	0	0	0
Myosotis	0	0	0	0	0	0
Total HLM	10 800 MWh	9 940 MWh	4 650 kW	518 400 €	18 000 €	9 000 €

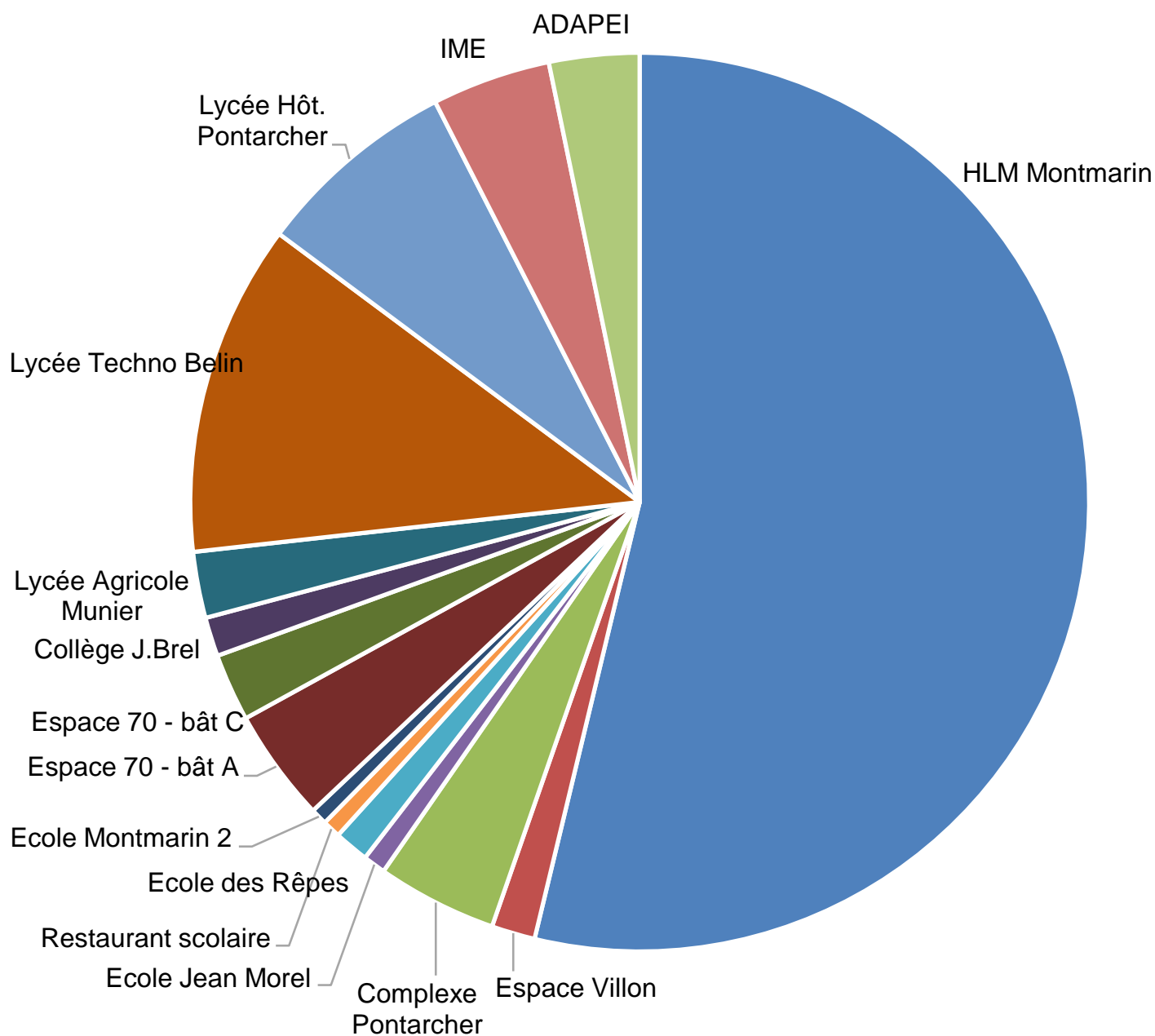
Ville de Vesoul	Gaz - MWh _{PCS}	Chaleur - MWh _{th}	P. utile	P1 gaz - €TTC	P2	P3
Espace Villon	380	290	240	21 300	800	3 000
Complexe Pontarcher	1 070	800	730	55 600	800	3 500
Ecole Jean Morel	200	150	130	11 200	400	1 250
Ecole des Rêpes	300	230	190	16 800	800	2 500
Restaurant scolaire	160	120	100	9 000	600	2 000
Gymnase Roy						
Ecole Montmarin 2	150	110	90	8 400	400	1 000
Total Ville de Vesoul	2 260 MWh	1 700 MWh	1 480 kW	122 300 €	3 800 €	13 250 €

Département	Gaz - MWh _{PCS}	Chaleur - MWh _{th}	P. utile	P1 gaz - €TTC	P2	P3
Espace 70 - bât A	1 000	750	580	52 000	800	4000
Espace 70 - bât C	600	450	350	31 200	800	4000
Collège J.Brel	350	260	220	19 600	800	3500
Total Département	1 950 MWh	1 460 MWh	1 150 kW	102 800 €	2 400 €	11 500 €

Région	Gaz - MWh _{PCS}	Chaleur - MWh _{th}	P. utile	P1 gaz - €TTC	P2	P3
Lycée Agricole Munier	580	440	400	32 500	1600	6000
Lycée Techno Belin	2 940	2 210	2 010	141 100	1200	7000
Gymnase Lycée Belin	0	0	0	0	0	0
Lycée Hôt. Pontarcher	1 800	1 350	1 350	93 600	800	4000
Total Région	5 320 MWh	4 000 MWh	3 760 kW	267 200 €	3 600 €	17 000 €

IME - ADAPEI	Gaz - MWh _{PCS}	Chaleur - MWh _{th}	P. utile	P1 gaz - €TTC	P2	P3
IME	1 050	790	610	54 600	800	4000
ADAPEI	800	600	460	44 800	800	3000
Total ARS	1 850 MWh	1 390 MWh	1 070 kW	99 400 €	1 600 €	7 000 €

	Gaz - MWh _{PCS}	Chaleur - MWh _{th}	P. utile	P1 gaz - €TTC	P2	P3
Total général	22 590 MWh	18 790 MWh	11 730 kW	1 128 200 €	29 400 €	57 750 €

5.7.1 - Répartition énergétique

6 - Projet de chaufferie centrale au bois

Le projet consiste à créer une chaufferie centrale, installée dans un ancien hangar du Conseil Général, et à alimenter tous les bâtiments publics ou assimilés par un réseau de chaleur.

Pour vérifier quelle solution est la plus intéressante, trois projets de chaufferies intégrant de la biomasse sont envisagés :

Les deux premiers sont des chaufferies mixtes, biomasse/gaz, qui fourniraient la totalité de l'énergie calorifique toute l'année ; les chaufferies installées dans chaque établissement seront inutiles, et pourront être démantelées après avoir été transformées en sous-stations.

- **Projet 1 :** la chaufferie centrale comporte une chaudière biomasse de grande puissance d'environ 3 500 kW, et des chaudières gaz en appoint et secours ; la chaudière biomasse n'est en service que durant la pleine saison de chauffe ; en été et demi-saison, la chaleur est fournie par le gaz (qui fournit également l'appoint par grand froid)
- **Projet 2 :** la chaufferie centrale, outre les chaudières gaz précitées, comporte deux chaudières biomasse de puissances étagées, 3 000 kW et 600 kW ; la biomasse assure la production de chaleur toute l'année, même en été ; le gaz ne fournit plus que l'appoint par grand froid

Pour le dernier projet, la nouvelle chaufferie ne comporte qu'une seule chaudière biomasse ; les chaufferies installées dans chaque établissement sont conservées pour fournir l'appoint et le secours du réseau de chaleur, ainsi que la fourniture en été.

- **Projet 3 :** la chaufferie ne comporte qu'une seule chaudière biomasse de grande puissance d'environ 3 500 kW ; cette chaudière n'est en service que durant la pleine saison de chauffe ; le complément est assuré par les chaudières gaz installées dans chaque établissement

CADRE REGLEMENTAIRE

La puissance de feu installée sera supérieure à 2 MW, la chaufferie sera soumise aux dispositions régissant les installations classées pour la protection de l'environnement (rubrique 2910 – Petites Installations de Combustion), et notamment celles de l'arrêté du 25/07/1997 modifié le 26/08/2013, qui fixe entre autre :

- L'obligation de présenter un dossier de déclaration
- Des règles d'implantation et de comportement au feu des bâtiments
- Des règles d'exploitation, avec des vérifications et contrôles périodiques
- Une hauteur minimale pour les cheminées afin de faciliter la dispersion
- Des valeurs limites pour le rejet de polluants dans les gaz de combustion :

en mg/m ³	SO ₂	NO _x	Poussières
Gaz	35	100	5
Bois	225	525	50

6.1 - Puissance chaufferie et répartition énergétique

6.1.1 - Puissance chaudières

La somme des puissances appelées par chaque bâtiment est d'environ 12 MW.

La puissance maximale appelée foisonnée sera légèrement inférieure : tous les bâtiments n'appellent pas leur puissance maximale simultanément.

Néanmoins, pour assurer le service à tout moment, même en cas de panne (notamment de la chaudière au bois), il convient d'installer une puissance gaz proche de cette puissance foisonnée, soit environ 10 MW.

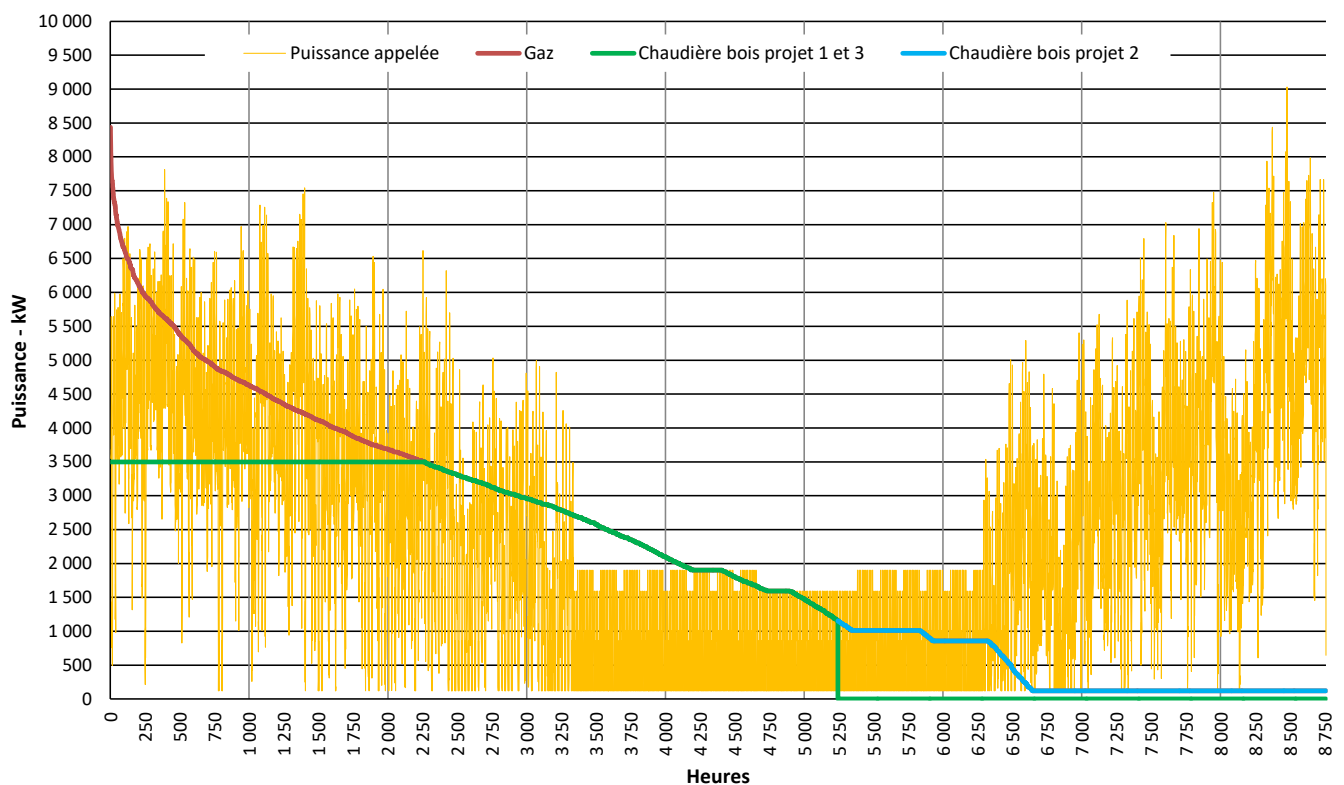
- ETAGEMENT DE LA PUISSANCE DES CHAUDIERES

	Projet 1	Projet 2	Projet 3
Puissance maxi appelée	10 000 kW	10 000 kW	10 000 kW
Puissance bois	3500 kW	3000 kW + 600 kW	3500 kW
Puissance gaz	2 x 4000 kW + 2000 kW	2 x 4000 kW + 2 000 kW	existantes

- COURBE MONOTONE

Pour les projets 1 et 3 : l'énergie estivale est procurée par les chaudières gaz

Pour le projet 2 : l'énergie estivale est fournie par la 'petite' chaudière au bois



	Projet 1	Projet 2	Projet 3
Energie distribuée	18 490 MWh	18 490 MWh	14 530 MWh
Pertes réseau	880 MWh	880 MWh	610 MWh
Total énergie produite	19 370 MWh	19 370 MWh	15 140 MWh
Energie bois	14 530 MWh 75%	15 880 MWh 82%	14 530 MWh 79%
Energie gaz	4 840 MWh	3 490 MWh	4 570 MWh

- REPARTITION ENERGETIQUE**Energie bois**Rappel des données relatives au bois : **Plaquettes sèches**

Hygrométrie : 30%HR Densité : 250 kg/MAP PCI : 3 300 kWh/t - 825 kWh/MAP

Rendement moyen chaudière bois : 81 ou 82% selon projet

	Projet 1	Projet 2	Projet 3
Puissance bois	3 500 kW	3 000 kW + 600 kW	3 500 kW
Energie bois	14 530 MWh _{th} 1 249 TEP	15 880 MWh _{th} 1 365 TEP	14 530 MWh _{th} 1 249 TEP
Rendement bois	81%	82%	82%
Tonnage bois	5 440 t	5 870 t	5 440 t
Volume bois	21 760 MAP	23 480 MAP	21 760 MAP

Energie Gaz

Les chaudières gaz produiront le complément d'énergie, avec un rendement moyen annuel de 82%/PCS (rendement avec des chaudières 'à haut rendement' – sans condensation)

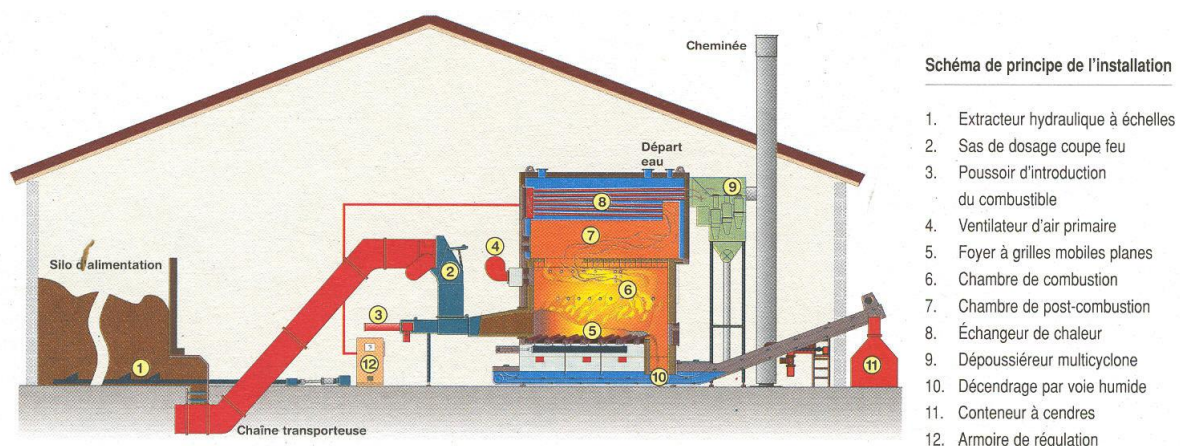
	Projet 1	Projet 2	Projet 3
Energie gaz	4 840 MWh _{th}	3 490 MWh _{th}	4 570 MWh _{th}
Rendement gaz / PCI	92%	92%	92%
Quantité gaz	5 850 MWh_{PCS}	4 210 MWh_{PCS}	5 520 MWh_{PCS}

6.2 - Projets de chaufferie centrale

6.2.1 - Chaudières au bois et au gaz, équipements annexes

La (ou les) chaudière au bois est du type à 'grilles mouvantes' ou à 'gradins', adaptée aux combustibles secs et moyennement humides. Les flammes se développent dans le foyer garni de réfractaire, puis les produits de combustion (les fumées chaudes) passent dans les tubes de l'échangeur de la chaudière, et cèdent la chaleur à l'eau des circuits de chauffage.

- alimentation en bois : les plaquettes sont introduites dans la chaudière par une vis d'Archimède ou vérin poussoir qui pousse le bois sur la grille du foyer
- l'air primaire et l'air secondaire sont introduits séparément dans la chaudière, afin de contrôler la bonne combustion du bois
- les fumées sont extraites par un ventilateur à débit variable contrôlant la dépression du foyer ; les fumées sont épurées dans un dépoussiéreur cyclonique avant d'être évacuées par la cheminée
- automatismes : la chaudière est placée sous le contrôle d'un automate qui gère l'ensemble des équipements. L'automate règle tous les paramètres de combustion en fonction de la qualité du bois et la demande en énergie : introduction du combustible, air primaire et secondaire, extraction des fumées. La chaudière s'adapte automatiquement aux inévitables variations de qualité de bois. Tous les paramètres de marche de la chaudière sont visualisés sur un poste informatique.



RECUPERATION DES CENDRES

Les cendres sont extraites automatiquement sous le foyer et le dépoussiéreur, et dirigées dans une benne extérieure d'environ 15 m³ ; les cendres sont préférentiellement extraite par sèche, pour pouvoir être aisément revalorisée (après analyse) dans une filière agricole.

La quantité annuelle produite est estimée à **40 à 60 tonnes** (1 à 1,5% sur bois sec).

EXTRACTION DU SILO ET CHAÎNE DE TRANSPORT DU COMBUSTIBLE

Le bois est extrait du fond du silo au moyen d'extracteurs à échelles actionnés par des vérins hydrauliques. Le bois tombe dans une goulotte transversale, et est acheminé vers la chaudière par des convoyeurs à chaînes.

DEPOUSSIÉRAGE DES FUMÉES

Les fumées sont épurées avant d'être évacuées à la cheminée ; la réglementation impose actuellement un degré de filtration actuel de 50 mg/Nm³ ; cette valeur est susceptible d'évoluer, et pour ces projets, un électrofiltre d'efficacité minimale de **20 mg/Nm³** sera installé. La hauteur minimale de la cheminée est de 14 m, mais une étude particulière devra être menée afin de prendre en compte les obstacles éventuels.

RAMONAGE AUTOMATIQUE

Pour augmenter et conserver les performances de la chaudière, les tubes de fumées sont ramonées régulièrement et automatiquement par un système par air comprimé.

EQUIPEMENTS HYDRAULIQUES CHAUDIERE AU BOIS

Le circuit hydraulique de la chaudière au bois comprend :

- une pompe de charge assurant l'irrigation permanente de la chaudière
- un compteur de chaleur
- une vanne de contrôle de température d'entrée d'eau dans la chaudière
- un ballon tampon d'environ 30 m³ pour limiter le fonctionnement au ralenti de la chaudière

Chiffrage estimatif :

	Projet 1	Projet 2	Projet 3
Puissance bois	3 500 kW	3 000 kW + 600 kW	3 500 kW
Coût chaudière bois	840 000 €HT	1 080 000 €HT	840 000 €HT

CHAUDIERES GAZ

Dans les deux premiers projets, des chaudières au gaz sont installées pour assurer l'appoint et le secours de la chaudière au bois.

Un automate pilote la mise en service en cascade de ces chaudières, pour optimiser la gestion de l'énergie et limiter les consommations de gaz.

Pour le dernier projet, les chaufferies existantes sont conservées, et chaque établissement assure lui-même l'appoint et le secours par ses propres moyens.

Chiffrage estimatif :

	Projet 1	Projet 2	Projet 3
Puissance gaz	2 x 4000 kW + 2000 kW	2 x 4000 kW + 2000 kW	existantes
Coût chaudière bois	280 000 €HT	280 000 €HT	-

EQUIPEMENTS GENERAUX CHAUFFERIE

Les équipements hydrauliques généraux comprennent :

- Des tuyauteries de liaison
- Un système d'expansion
- Le traitement de l'eau

Le départ de réseau de chaleur est équipé par des pompes à débit variable, et d'une vanne mélangeuse réalisant une régulation primaire de la température de départ.

Les chaudières sont mises en service en cascade par un automate de chaufferie.

L'ensemble de l'installation, y compris les sous-stations, sont placés sous la surveillance d'un système de télégestion.

Les appareillages électriques sont protégés et commandés depuis une armoire électrique.

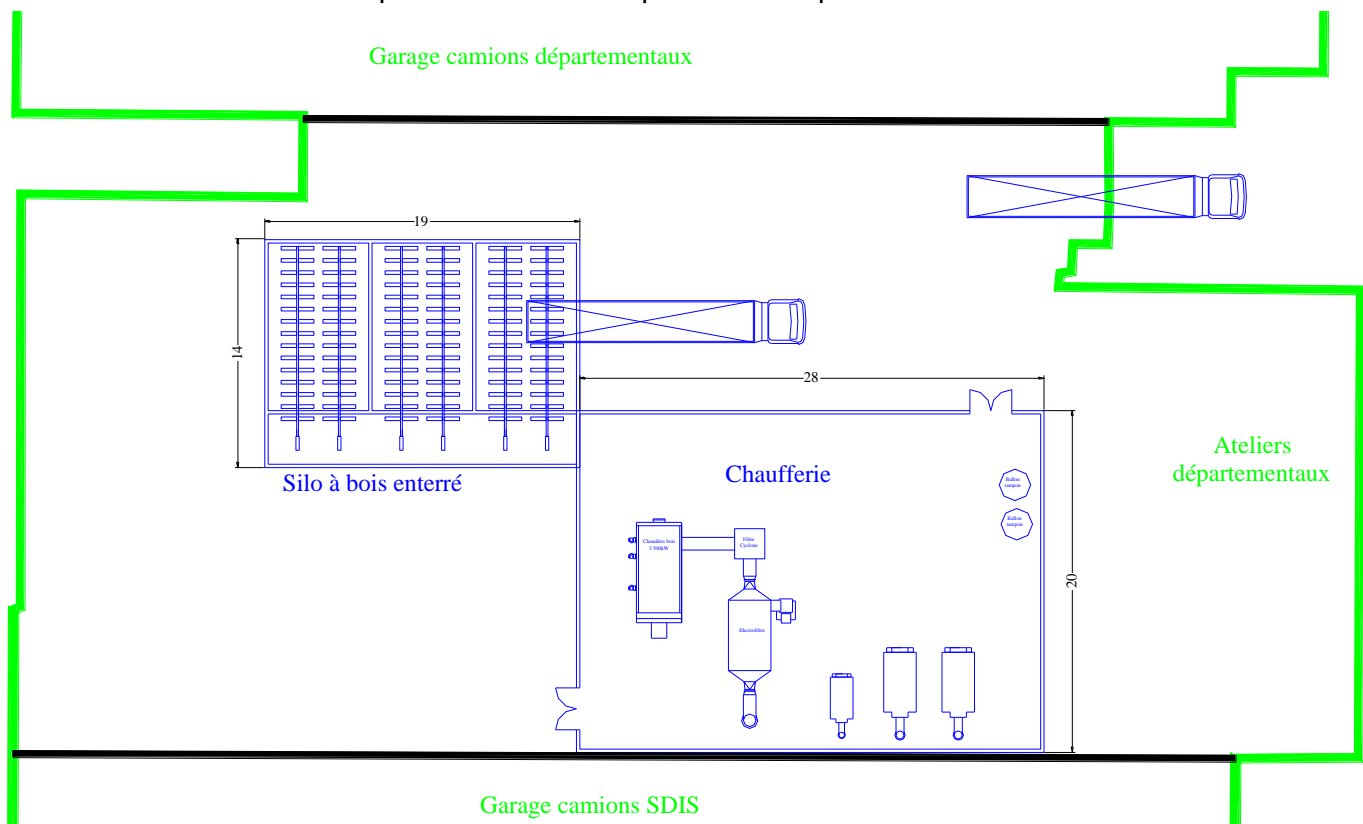
Chiffrage estimatif :

	Projet 1	Projet 2	Projet 3
Equipements généraux	110 000 €HT	110 000 €HT	110 000 €HT

6.2.3 - Bâtiment chaufferie et silo à bois

CHAUFFERIE

La chaufferie est créée dans un bâtiment industriel appartenant au Département de Haute-Saône ; une travée large de 30 m est inoccupée, et pourrait être aménagée, moyennant la démolition de toute la superstructure en charpente métallique :



Chiffrage estimatif	Projet 1	Projet 2	Projet 3
Dimensions chaufferie	20m00 x 30m00	20m00 x 35m00	20m00 x 20m00
Surface	600 m ²	700 m ²	400 m ²
Coût chaufferie	620 000 €HT	670 000 €HT	520 000 €HT

SILO A BOIS

Les consommations annuelles de plaquettes sont d'environ 5 500 tonnes, 22 000 MAP.

Une chaudière de 3 500 kW en pleine charge consomme chaque jour près de 30 tonnes de bois – 120 MAP, 800 MAP par semaine

Pour atteindre une autonomie de 4 jours, le volume du silo devra être de 500 MAP au minimum.

Les livraisons sont effectuées préférentiellement par des semi-remorques, qui transportent au maximum 90 m³ de plaquettes, soit ~250 livraisons par année, 10 livraisons par semaine.

Le silo est enterré, le bois est déversé par les camions directement dans le silo. Une plateforme est aménagée à l'avant de la fosse, pour pouvoir benner le bois proche du centre du silo.

Les plaquettes sont extraites du fond du silo par des extracteurs à échelles actionnées par des vérins hydrauliques ; les plaquettes tombent dans un convoyeur de collecte installé au bout du silo, puis dirigées vers la chaudière au bois.

Dimensions du silo : 3 x 6m00 x 10m00 à une profondeur de 5m00

Volume utile : 3 x 200 m³ : l'autonomie du silo est de 4 à 5 jours

Pour atteindre un volume plus important, il faudrait utiliser un remplissage du silo au moyen d'un grappin automatique.

Chiffrage estimatif	Projet 1	Projet 2	Projet 3
Volume utile silo	600 MAP	600 MAP	600 MAP
Coût silo	545 000 €HT	545 000 €HT	545 000 €HT

6.3 - Réseau de chaleur

Un réseau de chaleur est le système de distribution d'eau chaude installé dans la voirie urbaine, qui achemine à chaque bâtiment la chaleur produite par la chaufferie centrale. Il est constitué de deux tubes efficacement isolés et conçus spécifiquement pour être enterrés directement dans le sol :

- Les tubes caloporteurs sont en acier ou en matière plastique. Ils sont enfermés dans une coquille en plastique.
- L'espace entre le tube caloporteur et l'enveloppe extérieure est comblé par une mousse isolante en polyuréthane.

Chiffrage estimatif :	Projet 1 et 2	Projet 3
Tube DN250	1 200 ml	
Tube DN200	200 ml	
Tube DN150	460 ml	1 400 ml
Tube DN125	1 480 ml	460 ml
Tube DN100	1 640 ml	1 480 ml
Tube DN80	1 170 ml	1 640 ml
Tube DN65	320 ml	1 170 ml
Tube DN50	190 ml	320 ml
Tube DN40	320 ml	510 ml
Coût tubes	955 000 €HT	832 000 €HT
Coût VRD	606 000 €HT	606 000 €HT
Coût total réseau	1 561 000 €HT	1 438 000 €HT
Longueur réseau	3 490 ml	3 490 ml
Coût du ml réseau	447 €/ml	412 €/ml

Dans le projet 3, la chaufferie centrale au bois n'assure que l'apport de chaleur 'de base', produite par la chaudière au bois ; l'appoint est assuré par les chaufferies de chaque établissement, et ne sera donc pas acheminé via le réseau de chaleur : les sections des canalisations du projet 3 sont réduites par rapport aux 2 premiers projets.

6.4 - Sous-stations d'immeuble

Le réseau de chaleur débouche dans les actuelles chaufferies au gaz de chaque établissement. Une sous-station est créée, avec interposition d'un échangeur à plaques entre le réseau de chaleur et les circuits des établissements. Chaque sous-station comporte :

- Echangeur à plaques de séparation de circuits
- Compteur de chaleur avec télérelevé
- Vanne de régulation primaire
- Les organes de liaison entre secondaire de l'échangeur et les circuits de distribution de chaleur dans l'établissement, avec une pompe de charge

Pour les projets 1 et 2, les chaudières gaz sont rendues inutiles, et seront déconnectées des installations de distribution de chaleur.

Pour le projet 3, ces chaudières continuent de servir pour la fourniture de l'appoint et secours du réseau de chaleur : l'échangeur de la nouvelle sous-station sera raccordé sur les collecteurs des chaudières au gaz, et constituera une production de chaleur supplémentaire fonctionnant en priorité. Les automatismes de mise en service en cascade des chaudières au gaz seront complétés pour assurer ce mode de fonctionnement.

Chiffrage estimatif :

Sous-station HLM Montmarin	4 650 kW	95 000
Paquerettes Géranium		
Myosotis		
Espace Villon	240 kW	12 000
Complexe Pontarcher	730 kW	25 000
Ecole Jean Morel	130 kW	10 000
Ecole des Rêpes	190 kW	10 000
Restaurant scolaire	100 kW	10 000
Gymnase Roy		
Ecole Montmarin 2	90 kW	8 000
Espace 70 - bât A	580 kW	25 000
Espace 70 - bât C	350 kW	25 000
Collège J.Brel	220 kW	15 000
Lycée Agricole Munier	400 kW	30 000
Lycée Techno Belin	2 010 kW	60 000
Gymnase Lycée Belin		
Lycée Hôt. Pontarcher	1 350 kW	25 000
IME	610 kW	20 000
ADAPEI	460 kW	20 000
Total sous-stations		390 000 €HT

Nota : ces chiffrages ne comprennent pas le démantèlement des chaufferies gaz dans chaque établissement

6.5 - Charges d'exploitation chaufferie au bois

P1 BOIS - COMBUSTIBLE BOIS

Le prix des plaquettes de bois est de 85 €/TTC/tonne, avec une TVA à 10%.

	Projet 1 Chaudière bois 3500 kW	Projet 2 Chaudière bois 3000 + 600 kW	Projet 3 Chaudière bois 3500 kW
Tonnage bois	5 440 tonnes	5 870 tonnes	5 440 tonnes
P1 Bois	462 400 €TTC	498 950 €TTC	462 400 €TTC

P1 GAZ

Le prix du gaz est variable selon les quantités et le lieu de consommation :

Prix gaz	4,8 ct€/TTC/kWh _{PCS}	4,8 ct€/TTC/kWh _{PCS}	5,2 ct€/TTC/kWh _{PCS}
Conso gaz	5 850 MWh _{PCS}	4 210 MWh _{PCS}	5 520 MWh _{PCS}
P1 Gaz	280 800 €TTC	202 080 €TTC	287 040 €TTC

P'1 - ELECTRICITE

L'électricité nécessaire pour le fonctionnement des chaudières et du réseau de chaleur est estimée à :

- 3 kWh_e par MWh_{th} de chaleur produite pour les chaudières au gaz
- 20 kWh_e par MWh_{th} de chaleur produite pour la chaudière au bois, avec l'électrofiltre
- 5 kWh_e par MWh_{th} de chaleur transportée pour le réseau de chaleur

Prix de l'électricité : 15 ct€/TTC/kWh_e

Conso électricité	381 000 kWh _e	410 000 kWh _e	380 000 kWh _e
P'1 Electricité	57 200 €TTC	61 500 €TTC	57 000 €TTC

P2 - CONDUITE ET ENTRETIEN

La conduite et la surveillance quotidienne de la chaufferie au bois, seraient réalisées par une société spécialisée, dans le cadre d'un contrat d'exploitation :

Coût personnel	48 000 €	54 000 €	45 000 €
Gestion cendres	20 000 €	20 000 €	20 000 €
Contrôles annuels	15 000 €	17 000 €	15 000 €
P2 sous-stations	15 000 €	15 000 €	15 000 €
P2 gaz	5 000 €	5 000 €	29 400 €
Total P2	103 000 €	111 000 €	124 400 €

Nota : hors P2 secondaires

P3 - PROVISIONS POUR REPARATIONS

Les provisions pour réparation sont estimées au % du coût des matériels (voir annexe) :

P3 bois + réseau	387 000 kWh _e	416 000 kWh _e	866 000 kWh _e
P3 gaz	58 100 €TTC	62 400 €TTC	57 900 €TTC

6.6 - Synthèse économique

6.6.1 - Subventions

○ ADEME – DISPOSITIF FONDS CHALEUR

Subvention chaufferie biomasse

Le 1^{er} projet concerne 410 TEP, et le second projet 642 TEP.

Pour les projets de chauffage par biomasse, l'ADEME intervient à cette date (2014) dans le cadre du dispositif Fonds chaleur ; les principales clauses sont (actuellement) les suivantes :

- Projet > 100 TEP sortie chaudière bois
- Grille : 1750 €/TEP pour secteur collectif <250 TEP
- Réseau de chaleur : aide 60% - mini 1,5 MWh/ml
- Analyse économique : $P1 + P2 + P3 + P4 < \text{Référence} - 5\%$
- Mini plaquettes forestières : 40% (projet > 500 TEP) ou 50% (projet > 1000TEP)
- Emission poussière < 50 mg/Nm³
- Télérélevé du compteur de chaleur chaudière bois
- Suivi + rapport durant 10 ans
- Le montant de l'aide est de
 - 87,5 €/TEP sur 20 ans (1 750 €/TEP) part énergie < 250 TEP
 - 62,5 €/TEP sur 20 ans (1 250 €/TEP) part énergie < 500 TEP.
 - 30 €/TEP sur 20 ans (600 €/TEP) part énergie < 500 TEP.

Subvention réseau de chaleur

Par ailleurs, une aide est également allouée dans le cadre de la création d'un réseau de chaleur, alimenté à au moins 50% d'énergie renouvelable :

- Longueur minimale : 200 ml
- Densité thermique : mini 1,5 MWh_{th}/ml
- Le montant de l'aide est de 55%, limité à une assiette de 520 €/ml pour des tubes de diamètres de DN80 à DN125

Nota : l'aide est plafonnée sur des critères économiques ; l'étude mentionne un plafonnement de manière à atteindre un TRB de 7 ans.

Le montant exact des subventions doit être calculé et confirmé par l'ADEME. Pour la suite de l'étude, et à titre 'conservatoire', il sera admis :

Pour la partie biomasse : le montant par TEP tel que décrit ci-dessus, diminué de 10%

Pour le réseau de chaleur : 50% des investissements

7.1.1 - Synthèse économique – Projet 1 : chaufferie centrale bois 3500 kW + gaz

Exploitation chaufferie	Gaz	Plaquettes/gaz	
Chaleur livrée	18 490 MWh	18 490 MWh	
Chaleur bois		14 530 MWh	1 250 TEP
Consommations bois		5 440 t	
Prix bois		85 €/t	
Coût bois		462 400 €	
Consommations gaz	22 180 MWh	5 850 MWh	
Prix gaz	5,00 ct€/kWh	4,80 ct€/kWh	
Coût gaz	1 110 100 €	280 800 €	
Consommations électricité	67 000 kWh	381 000 kWh	
Prix électricité	15 ct€/kWh	15 ct€/kWh	
Coût électricité	10 100 €	57 200 €	
Total énergie	1 120 200 €	800 400 €	-319 800 €
Conduite, entretien	29 400 €	103 000 €	
Provisions réparations	57 750 €	66 300 €	
Total exploitation	1 207 350 €TTC	969 700 €TTC	-237 650 €TTC
	65,3 €/MWh	52,4 €/MWh	

Investissements	Montants en €HT	
Génie civil chaufferie et silo	1 165 000	
Chaudière bois	840 000	
Hydraulique chaufferie bois	110 000	
Chaudières gaz	280 000	
Réseau de chaleur	1 561 000	
Sous-stations	390 000	
MOE, AMO 15%	652 000	
Total investissements	4 998 000 €HT	4 998 000 €
Subvention biomasse	1 080 000 €	864 €/TEP
Subvention réseau chaleur	780 500 €	50%
Subvention	1 860 500 €	37%

Reste à financer		3 137 500 €	3 137 500 €
Annuité emprunt 15 ans 2%		244 177 €	
TRB avant subv.		21,0 ans	
TRB après subv.		13,2 ans	
Coût global d'exploitation	1 207 350 €	1 213 877 €	6 527 €
Ratio investiss'/MWh bois		344 €/MWh	

7.1.2 - Synthèse économique – Projet 2 : chaufferie centrale bois 3500 + 600 kW + gaz

Exploitation chaufferie	Gaz	Plaquettes/gaz	
Chaleur livrée	18 490 MWh	18 490 MWh	
Chaleur bois		15 880 MWh	1 370 TEP
Consommations bois		5 870 t	
Prix bois		85 €/t	
Coût bois		498 950 €	
Consommations gaz	22 180 MWh	4 210 MWh	
Prix gaz	5,00 ct€/kWh	4,80 ct€/kWh	
Coût gaz	1 110 100 €	202 080 €	
Consommations électricité	67 000 kWh	410 000 kWh	
Prix électricité	15 ct€/kWh	15 ct€/kWh	
Coût électricité	10 100 €	61 500 €	
Total énergie	1 120 200 €	762 530 €	-357 670 €
Conduite, entretien	29 400 €	111 000 €	
Provisions réparations	57 750 €	75 840 €	
Total exploitation	1 207 350 €TTC	949 370 €TTC	-257 980 €TTC
	65,3 €/MWh	51,3 €/MWh	

Investissements	Montants en €HT	
Génie civil chaufferie et silo	1 215 000	
Chaudière bois	1 080 000	
Hydraulique chaufferie bois	110 000	
Chaudières gaz	280 000	
Réseau de chaleur	1 561 000	
Sous-stations	390 000	
MOE, AMO 15%	695 000	
Total investissements	5 331 000 €HT	5 331 000 €
Subvention biomasse	1 145 000 €	836 €/TEP
Subvention réseau chaleur	780 500 €	50%
Subvention	1 925 500 €	36%

Reste à financer		3 405 500 €	3 405 500 €
Annuité emprunt 15 ans 2%		265 035 €	
TRB avant subv.		20,7 ans	
TRB après subv.		13,2 ans	
Coût global d'exploitation	1 207 350 €	1 214 405 €	7 055 €
Ratio investiss'/MWh bois		336 €/MWh	

7.1.3 - Synthèse économique – Projet 2 : chaufferie bois 3500 kW

Exploitation chaufferie	Gaz	Plaquettes/gaz	
Chaleur livrée	18 490 MWh	18 490 MWh	
Chaleur bois		14 530 MWh	1 250 TEP
Consommations bois		5 440 t	
Prix bois		85 €/t	
Coût bois		462 400 €	
Consommations gaz	22 180 MWh	5 520 MWh	
Prix gaz	5,00 ct€/kWh	5,20 ct€/kWh	
Coût gaz	1 110 100 €	287 040 €	
Consommations électricité	67 000 kWh	380 000 kWh	
Prix électricité	15 ct€/kWh	15 ct€/kWh	
Coût électricité	10 100 €	57 000 €	
Total énergie	1 120 200 €	806 440 €	-313 760 €
Conduite, entretien	29 400 €	124 400 €	
Provisions réparations	57 750 €	112 250 €	
Total exploitation	1 207 350 € TTC	1 043 090 € TTC	-164 260 € TTC
	65,3 €/MWh	56,4 €/MWh	

Investissements	Montants en € HT	
Génie civil chaufferie et silo	1 065 000	
Chaudière bois	840 000	
Hydraulique chaufferie bois	110 000	
Chaudières gaz		
Réseau de chaleur	1 438 000	
Sous-stations	390 000	
MOE, AMO 15%	576 000	
Total investissements	4 419 000 € HT	4 419 000 €
Subvention biomasse	1 080 000 €	864 €/TEP
Subvention réseau chaleur	719 000 €	50%
Subvention	1 799 000 €	41%

Reste à financer		2 620 000 €	2 620 000 €
Annuité emprunt 15 ans 2%		203 903 €	
TRB avant subv.		26,9 ans	
TRB après subv.		16,0 ans	
Coût global d'exploitation	1 207 350 €	1 246 993 €	39 643 €
Ratio investiss'/MWh bois		304 €/MWh	

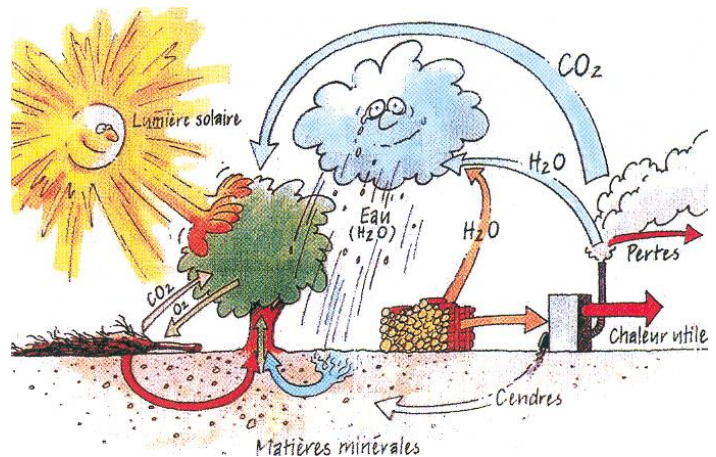
8 - Bilan environnemental

L'énergie bois présente un impact différent sur l'environnement par rapport aux énergies fossiles (ou fissile).

Le bois est une énergie renouvelable et sa combustion est neutre par rapport au bilan du CO₂ ; ainsi, le bois n'aggrave pas les risques liés à l'effet de serre avec la menace du changement climatique.

Contrairement aux combustibles fossiles, le bois ne contient pas de soufre et sa combustion n'émettra pas de dioxyde de soufre (SO₂).

En revanche, la combustion du bois peut produire plus d'oxydes d'azote, de monoxyde de carbone, de poussières, éventuellement de COV que certaines énergies fossiles. L'impact est considérablement réduit lorsque la combustion est réalisée dans des chaudières performantes, avec contrôle de combustion et en respect des normes en vigueur.



Base calcul :	Fioul	Gaz	Electricité	Bois
Fumées	1,05 Nm ³ /kWh _{PCI}	1,00 Nm ³ /kWh _{PCI}		2,25 Nm ³ /kWh _{PCI}
CO ₂	3 076 kg/TEP	2 343 kg/TEP	80 g/kWh	-
SO ₂	5,874 kg/TEP	1,226 kg/TEP	-	-

- PROJET 1 : CHAUFFERIE CENTRALE BOIS 3500 kW + GAZ

Emissions	Référence	Solution Bois			Ecart
Energie	Gaz	Plaquette	Gaz	Total	
	22 180 MWh _{PCS}	5 440 tonnes	5 850 MWh _{PCS}		
	1 716 TEP/an	1 544 TEP/an	453 TEP/an	1 997 TEP/an	
CO ₂	4 021 t		1 061 t	1 061 t	-2 959 t
SO ₂	2 104 kg		555 kg	555 kg	-1 548 kg

- PROJET 2 : CHAUFFERIE CENTRALE BOIS 3000 +600 kW + GAZ

Emissions	Référence	Solution Bois			Ecart
Energie	Gaz	Plaquette	Gaz	Total	
	22 180 MWh _{PCS}	5 870 tonnes	4 210 MWh _{PCS}		
	1 716 TEP/an	1 666 TEP/an	326 TEP/an	1 992 TEP/an	
CO ₂	4 021 t		764 t	764 t	-3 257 t
SO ₂	2 104 kg		400 kg	400 kg	-1 704 kg

- PROJET 3 : CHAUFFERIE BOIS 3500 kW

Emissions	Référence	Solution Bois			Ecart
Energie	Gaz	Plaquette	Gaz	Total	
	22 180 MWh _{PCS}	5 440 tonnes	5 520 MWh _{PCS}		
	1 716 TEP/an	1 544 TEP/an	427 TEP/an	1 971 TEP/an	
CO ₂	4 021 t		1 000 t	1 000 t	-3 020 t
SO ₂	2 104 kg		524 kg	524 kg	-1 580 kg

9 - Chiffrages estimatifs

Génie civil chaufferie - Projet 1	620 000 €HT			
Installation chantier	5 000			
Démolitions	50 000			
Fondations	15 000	ml	100	150
Dallage	84 000	m ²	600	140
Murs verticaux	100 000	m ²	800	125
Dalle haute	102 000	m ²	600	170
Etanchéité	54 000	m ²	600	90
Réfection murs hangars camions	18 000	m ²	600	30
Bardage	48 000	m ²	600	80
Serrurerie	15 000			
Electricité	10 000			
AEP	2 000			
Assainissement	4 000			
Peinture	20 000			
Réfection voirie	48 000	m ²	1200	40
Divers, aléas 7%	45 000	7%		
Génie civil silo	545 000 €HT			
Installation chantier	5 000			
Terrassements	54 000	m3	1800	30
Fondations	13 500	ml	90	150
Dallage	42 000	m ²	300	140
Murs verticaux	54 000	m ²	450	120
Dalle haute	51 000	m ²	300	170
Etanchéité	40 500	m ²	450	90
Escalier	12 500	u	25	500
Toiture silo	150 000	m ²	750	200
3 couvercles silo	60 000	u	3	20 000
Serrurerie	20 000			
Electricité	500			
Divers, aléas 7%	42 000	8%		
Chaudières gaz	280 000 €HT			11 800
Chaudière gaz 4 000 kW, brûleur	40 000	5,00%		2 000
Chaudière gaz 4 000 kW, brûleur	40 000	5,00%		2 000
Chaudière gaz 2 000 kW, brûleur	30 000	5,00%		1 500
Pompes et hydraulique chaudières gaz	35 000	8,00%		2 800
Cheminées	60 000	2,00%		1 200
Alimentation gaz	25 000	2,00%		500
Armoire et câblage électrique	30 000	5,00%		1 500
Sécurité gaz	6 000	5,00%		300
Divers, aléas 5%	14 000			

		Taux P3	P3
Chaudière à plaquettes de bois 3500 kW	840 000 €HT		34 100
Chaudière plaquettes 3500 kW	280 000	6,00%	16 800
Décendrage + ramonage automatiques	25 000	5,00%	1 250
Benne + convoyeur cendres	30 000	3,00%	900
Dépoussiéreur cyclonique	20 000	3,00%	600
Electrofiltre	140 000	3,00%	4 200
Système d'extraction de plaquettes	60 000	3,00%	1 800
Convoyeur bois	40 000	5,00%	2 000
Aspirateur centralisé	15 000	5,00%	750
Armoire et câblage électrique	60 000	5,00%	3 000
Montage, mise en service	50 000		
Cheminée autoportante 15m	35 000	2,00%	700
Pompe et hydraulique chaudière au bois	15 000	8,00%	1 200
Compteur de chaleur	3 000	5,00%	150
Ballon tampon 2 x 15000 litres	25 000	3,00%	750
Divers, aléas 5%	42 000		
Chaudières bois 3000kW + 600 kW	1 080 000 €HT		43 640
Chaudière plaquettes 3000 kW	260 000	6,00%	15 600
Décendrage + ramonage automatiques	25 000	5,00%	1 250
Benne + convoyeur cendres	30 000	3,00%	900
Dépoussiéreur cyclonique	20 000	3,00%	600
Electrofiltre	140 000	3,00%	4 200
Chaudière plaquettes 600 kW	80 000	6,00%	4 800
Décendrage + ramonage automatiques	10 000	5,00%	500
Dépoussiéreur cyclonique	8 000	3,00%	240
Electrofiltre	80 000	3,00%	2 400
Système d'extraction de plaquettes	60 000	3,00%	1 800
Convoyeur bois	50 000	5,00%	2 500
Aspirateur centralisé	15 000	5,00%	750
Armoire et câblage électrique	80 000	5,00%	4 000
Montage, mise en service	70 000		
Cheminée autoportante 15m	55 000	2,00%	1 100
Pompe et hydraulique chaudière au bois	25 000	8,00%	2 000
Compteur de chaleur	5 000	5,00%	250
Ballon tampon 2 x 15000 litres	25 000	3,00%	750
Divers, aléas 5%	42 000		
Equipements généraux	110 000 €HT		5 400
Tuyauteries chaufferie	15 000	3,00%	450
Départ réseau de chaleur	30 000	8,00%	2 400
Expansion, remplissage	18 000	5,00%	900
Traitement d'eau	8 000	5,00%	400
Armoire et câblage électrique	25 000	5,00%	1 250
Sécurité incendie	2 000		
Sanitaires, douche	4 000		
Divers, aléas 5%	8 000		

VRD - Terrassements

		U	PU	PT
Signalisation et protection du chantier	F	1	25 000	25 000
Tranchées sous chaussée	ml	2 990	60	179 400
Tranchées sous espace vert	ml	500	50	25 000
Couche de sable	m ³	1 750	30	52 500
Remblais de fouilles sous chaussée	ml	2 990	30	89 700
Remblais de fouilles sous espaces verts	ml	500	20	10 000
Réfection d'enrobés	ml	2 990	50	149 500
Gaine TPC, chambres tirage	ml	3 490	10	34 900
Divers, aléas 7%				40 000

TOTAL VRD - H.T.	<u>ml</u>	3 490	174 €/ml	606 000 €HT
-------------------------	-----------	-------	----------	--------------------

Tubes préisolés - Projets 1 et 2

		U	PU	PT
Tube DN250	ml	1 200	180	216 000
Tube DN200	ml	200	150	30 000
Tube DN150	ml	460	130	59 800
Tube DN125	ml	1 480	120	177 600
Tube DN100	ml	1 640	110	180 400
Tube DN80	ml	1 170	100	117 000
Tube DN65	ml	320	90	28 800
Tube DN50	ml	190	80	15 200
Tube DN40	ml	320	75	24 000
Système de détection de fuites	F	1	15 000	15 000
Equipement chambre à vannes	u	2	4 000	8 000
Calculs, plan de récolement	F	3 490	2	6 980
Contrôles, essais, épreuves	F	3 490	4	13 960
Divers, aléas 7%				62 260

TOTAL Tubes - H.T.		3 490	274 €/ml	955 000 €HT
---------------------------	--	-------	----------	--------------------

Tubes préisolés - Projet 3

		U	PU	PT
Tube DN150	ml	1 400	130	182 000
Tube DN125	ml	460	120	55 200
Tube DN100	ml	1 480	110	162 800
Tube DN80	ml	1 640	100	164 000
Tube DN65	ml	1 170	90	105 300
Tube DN50	ml	320	80	25 600
Tube DN40	ml	510	75	38 250
Système de détection de fuites	F	1	15 000	15 000
Equipement chambre à vannes	u	2	4 000	8 000
Calculs, plan de récolement	F	3 490	2	6 980
Contrôles, essais, épreuves	F	3 490	4	13 960
Divers, aléas 7%				54 910

TOTAL Tubes - H.T.		3 490	238 €/ml	832 000 €HT
---------------------------	--	-------	----------	--------------------