

# Rapport

## Etude de faisabilité d'un petit chauffage à distance à plaquettes sèches à Saubraz

18 octobre 2022

<p><b>Client :</b> Commune de Saubraz M. le syndic Davide Marguccio Place du Village 2 1189 Saubraz Tél: 079 774 46 64 <a href="mailto:davide.marguccio@saubraz.ch">davide.marguccio@saubraz.ch</a></p>	<p><b>Prestataire de service:</b> Energie-bois Suisse Richard Golay Route de la Chocolatière 26 / CP 129 1026 Echandens Tél. 021 706 50 32 <a href="mailto:golay@energie-bois.ch">golay@energie-bois.ch</a> <a href="http://www.energie-bois.ch">www.energie-bois.ch</a></p>
---	--

# Table des matières

Table des matières.....	2
1. Introduction.....	3
2. Dimensionnement, remarques et choix du type d'installation.....	4
2.1. Bases de calcul énergétique et sources.....	4
2.2. Bases de calcul des coûts.....	5
3. Consommateurs de chaleur.....	6
3.1. Périmètre étudié et bâtiments raccordés.....	6
3.2. Premier relevé de la situation.....	6
4. Eléments du réseau de chaleur.....	8
4.1. Réseau de distribution.....	8
4.2. Centrale de chauffage.....	10
4.2.1. Localisation.....	10
4.2.2. Chaudières et taille de la centrale.....	10
4.2.3. Accumulateur.....	11
4.2.4. Silo à combustible.....	11
4.2.5. Récapitulatif.....	12
4.2.6. Filtre à poussières (particules) fines.....	12
4.2.7. Evacuation des cendres.....	12
5. Recommandations pour les plaquettes forestières.....	12
6. Calcul des coûts de production de la chaleur.....	14
7. Recommandations pour la facturation.....	15
8. Approvisionnement en bois.....	15
9. Aides financières.....	16
9.1. Contributions cantonales.....	16
9.2. Contribution pour la protection du climat et la compensation de CO <sub>2</sub> .....	16
10. Les formes d'organisation.....	17
11. Conclusion.....	18
12. Etapes suivantes.....	18

# 1. Introduction

La Commune de Saubraz souhaite étudier la réalisation d'un petit chauffage à distance à plaquettes forestières dans le centre du village.

M. Davide Marguccio, Syndic de la Commune, a contacté Energie-bois Suisse (EbS) et une réunion a été organisée sur place le 22 mars 2022. Un périmètre d'étude a été défini et un sondage a été transmis par la suite aux propriétaires concernés.

Début mai, 6 formulaires remplis et un document comprenant des données calculées par un bureau technique pour un bâtiment assaini mais non occupé ont été transmis à Energie-bois Suisse (EbS). Une première analyse rapide a été effectuée montrant une situation encourageante avec 4 bâtiments retenus. Pour espérer pouvoir réaliser le projet, il fallait encore convaincre au minimum un 5<sup>ème</sup> gros consommateur pour assurer une densité de raccordement suffisante. Le 10 août, M. Le Syndic informait EbS que c'était chose faite et le 23 août que 4 preneurs de chaleur supplémentaires pouvaient être comptabilisés.

Cette étude de faisabilité a pour but de réaliser un premier dimensionnement du réseau de chaleur à distance et de s'assurer d'un prix de revient de la chaleur compétitif. Une seule variante de réalisation est étudiée avec deux chaudières à plaquettes. Les besoins en combustible, le dimensionnement du silo à plaquettes, le dimensionnement des chaudières et de l'accumulateur sont présentés. Une première estimation détaillée du prix de revient de la chaleur est calculée.

Cette étude s'appuie sur les sources et documents suivants :

- Sondage effectué auprès de propriétaires et diverses informations qui ont suivi
- Manuel de planification QM-Chauffages au bois®(\*)
- Savoir-faire et données comparatives d'Energie-bois Suisse
- Visite et entretien sur site le 22 mars 2022, puis plusieurs échanges téléphoniques et par courriel.

(\*) Des experts de la Suisse, du Bade-Wurtemberg, de la Bavière, d'Autriche et d'Italie ont mis au point des standards de qualité communs pour le chauffage au bois et les mettent à disposition sous l'appellation QM Chauffages au bois®. Au centre de leurs préoccupations : le souci d'une conception, d'une planification et d'une exécution appropriées de l'installation de production de chaleur et du réseau de chaleur. L'objectif est d'obtenir une installation avec un bon rendement énergétique, un faible impact sur l'environnement et une exploitation économique. Site internet : <http://www.qmbois.ch>

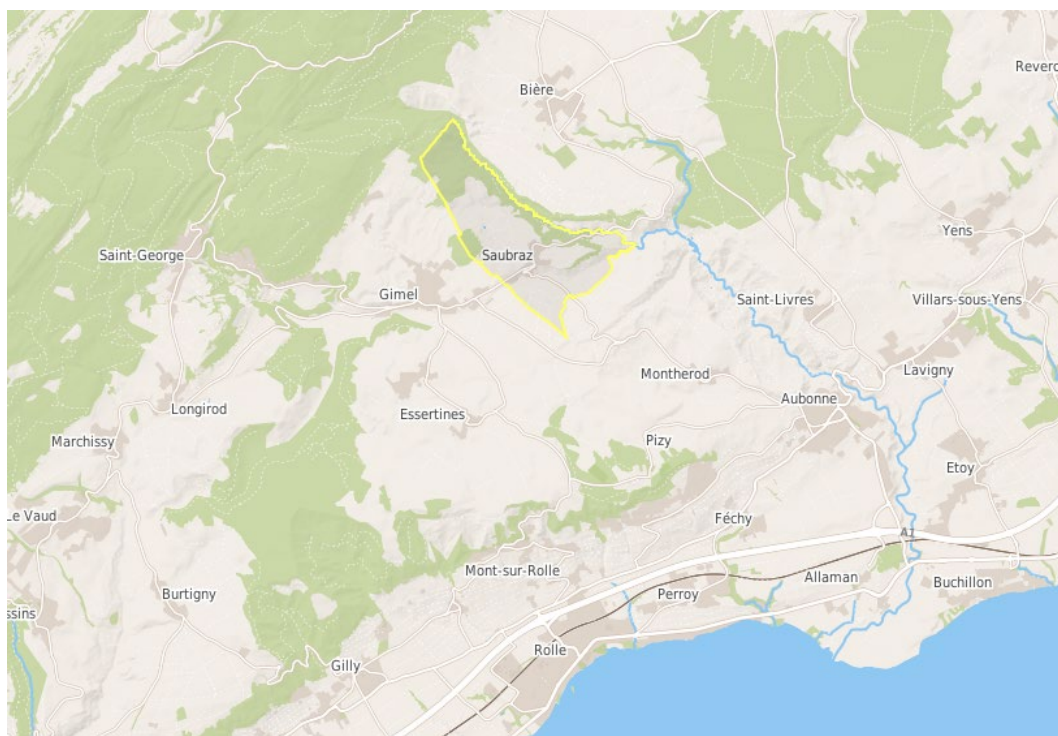


Figure 1 : situation de la Commune de Saubraz avec la visualisation de la surface forestière (Source : guichet cartographique cantonal)

## 2. Dimensionnement, remarques et choix du type d'installation

### 2.1. Bases de calcul énergétique et sources

**Energie finale** : La quantité d'énergie finale consommée par les bâtiments est déterminée sur la base de relevés ou d'un questionnaire. Lorsque la consommation de l'énergie finale d'un bâtiment n'est pas connue ainsi que la surface chauffée, le calcul s'effectue avec les valeurs de référence du QM : la consommation totale de chaleur est supposée modérée ( $80 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ ) et la surface de référence énergétique est estimée à  $120 \text{ m}^2$  pour les maisons individuelles si celle-ci est inconnue. Pour la conversion de la somme des énergies finales annuelles en kWh vers le volume de plaquettes sèches ( $\text{m}^3 \text{v}$ ), voir le tableau 1. On fait l'hypothèse que les plaquettes sèches (teneur en eau de 30%) se composent à 50% de feuillus durs et à 50% de résineux.

**Energie utile** : la quantité d'énergie utile de chaque bâtiment est calculée comme le produit de l'énergie finale consommée annuellement avec une estimation du rendement annuel du chauffage individuel. Quand l'énergie finale de chaque bâtiment est inconnue, on fait l'hypothèse d'une chaleur spécifique requise modérée ( $80 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ ) multipliée par la surface chauffée (voir tableau 2).

**Eau chaude sanitaire (ECS)** : une distinction est faite entre les bâtiments avec une préparation de l'ECS combinée à la chaleur des locaux de ceux où la préparation est séparée (concerne en règle générale les chauffe-eaux électriques). Dans les cas où l'énergie finale consommée pour l'ECS n'est pas connue, on utilise une valeur de référence tirée du QM (voir tableau 2).

**Puissance raccordée** : la conversion de la quantité d'énergie utile en puissance de raccordement s'effectue à partir du nombre d'heures à pleine charge (voir tableau 2).

**Rendement annuel** : pour la nouvelle solution de chauffage, le rendement est estimé à 80%. Il est déterminé par le rendement annuel des chaudières au bois (~90%) et les pertes du réseau (~10%).

1 m<sup>3</sup><sub>v</sub> signifie 1 mètre cube de plaquettes. 2,8 m<sup>3</sup><sub>v</sub> correspondent à 1 m<sup>3</sup> de bois plein (ou 1 m<sup>3</sup><sub>p</sub>).

1 mF signifie un mètre de fouille (2 mètres de conduites).

	Plaquettes sèches	Mazout	Gaz	Electricité
<b>Contenu énergétique</b>	900 kWh/m <sup>3</sup> <sub>v</sub>	10 kWh/l	10.1 kWh/m <sup>3</sup>	1 kWh/kWh
<b>Rendement chauffage &gt; 10 ans</b>		0.85	0.85	100%
<b>Rendement nouveau chauffage</b>	0.80	0.90	0.90	100%

Tableau 1 : Contenu énergétique et rendements de conversion par type de vecteur énergétique.

		Habitation	Restaurant et bureau	Hôtel
Chaleur spécifique requise	[kWh/m <sup>2</sup> a]	100	80	80
Chauffage : nombre d'heures à pleine charge	[h/a]	2000	1350	2000
ECS : nombre d'heures à pleine charge	[h/a]	4000	2000	2000

Tableau 2 : Valeurs énergétiques de référence (Source : QM).

## 2.2. Bases de calcul des coûts

**Prix du combustible** : l'estimation du prix du combustible prend en compte les évolutions toutes récentes des prix de l'énergie et l'expérience d'Energie-bois Suisse. Le prix est estimé à 6,7 cts/kWh sortie chaudière, hors TVA, récupération des cendres non-comprises (compter environ 0,3 cts/kWh pour les frais d'évacuation). Cela correspond à 54 CHF/m<sup>3</sup><sub>v</sub> franco-silo (sans l'évacuation des cendres). Vu la taille des chaudières (< 500 kW), le choix se porte sur des plaquettes sèches (teneur en eau moyenne de 30%). Se reporter au chapitre 5 pour plus de détails.

**Réseau de distribution de chaleur** : la conception et le dimensionnement du réseau, du fait des investissements très élevés, peuvent mettre en danger la réussite du projet s'ils ne sont pas soigneusement évalués. Le tableau 3 donne une estimation du prix de l'installation de conduites synthétiques en fonction du diamètre nominal valable dans le cas d'une route de village et tenant compte de l'inflation récente. Celui-ci comprend le prix des conduites, les travaux de fouille, le montage et la remise en état du lieu de travail et la pose du revêtement routier. Le choix de conduites en matière synthétique vient du fait que les coûts sont significativement inférieurs à celles en métal. Ces dernières sont plutôt réservées à des zones présentant des déclivités importantes, ce qui n'est pas le cas ici. Les coûts liés à la pose du réseau de distribution de chaleur font l'objet d'un calcul plus détaillé dans une phase ultérieure du projet.

Dimension	DN	Prix indicatif tube synthétique 2 mètres [CHF/mF]	Estimation coût de la fouille sur route [CHF/mF]	Estimation coût total pour fouille sur route [CHF/mF]
22/91	20	300	240	540
30/111	25	316	240	556
39/126	32	424	240	664
48/126	40	438	264	702
60/142	50	497	264	761
75/171	65	697	288	985
98/171	80	797	288	1085
98/220	80	902	360	1262
127/220	100	1034	360	1394
147/220	125	1129	360	1489

*Tableau 3: Coûts estimés pour l'installation de conduites synthétiques avec des fouilles sur route tenant compte de l'inflation récente.*

**Centrale de chauffage** : pour le bâtiment recevant la centrale de chauffage, nous partons du principe que le mètre cube coûte 400 CHF (nouveau bâtiment ou bâtiment transformé). Le volume de l'installation est estimé à partir des informations de divers fournisseurs. Le hauteur du plafond est définie ici à 3,5 mètres.

**Silo à combustible** : la construction d'un silo à combustible coûte selon notre expérience environ 450 CHF/m<sup>3</sup>. Son dimensionnement s'effectue à partir de la demande en énergie, du contenu énergétique des plaquettes de bois et d'une autonomie de production à puissance nominale sans ravitaillement de 5 jours plus un volume supplémentaire de 30 m<sup>3</sup> de plaquettes.

**Sécurité d'approvisionnement en chaleur** : il est recommandé de prévoir un branchement pour une chaudière mobile en cas de panne du système d'alimentation en plaquettes.

**Loyer** : dans le cas où la centrale de chauffage est située dans un bâtiment existant, on compte un prix de location de 40 CHF/m<sup>2</sup> et par an. Cette valeur est basée sur l'expérience d'études antérieures et des prix pratiqués en zone rurale. Dans le cas présent, le porteur de projet étant le propriétaire des lieux, le loyer n'est pas imputé.

**Amortissement** : pour les éléments de génie civil on compte un temps d'amortissement de 40 ans et de 20 ans pour les éléments techniques. Le taux d'intérêt est fixé à 2,5%. Les coûts annuels sont calculés selon la méthode de l'annuité conformément au QM.

### 3. Consommateurs de chaleur

#### 3.1. Périmètre étudié et bâtiments raccordés

Le périmètre étudié est le cœur du village de Saubraz. Par expérience, les zones de villas ne présentent pas une densité de raccordement suffisamment élevées pour justifier un raccordement.

#### 3.2. Premier relevé de la situation

Le tableau 4 présente les énergies et puissances thermiques calculées pour les 9 bâtiments sur la base des données recueillies et des critères définis au chapitre 2.1. 4 bâtiments avaient été sélectionnés sur la base du sondage (n°1 à 4). Courant août, l'information a été transmise que les propriétaires du bâtiment n°5, un très gros consommateur de chaleur, était retenu pour l'étude puis quelques jours plus tard de même pour les bâtiments n°6 à 9.

Le propriétaire de l'immeuble localisé à la route de Gimel n°1, relativement décentré par rapport aux autres bâtiments n'a pas répondu au sondage.

N°	Adresse	Energie utile totale [kWh/a]	E utile chaleur [kWh/a]	E utile ECS [kWh/a]	Puissance totale [kW]	Puissance chal. Amb. [kW]	Puissance ECS [kW]	Heures à pleine charge chaleur [h]	Heures à pleine charge ECS [h]
1	Route de Bière 2	20'710	17'604	3'107	9.6	8.8	0.8	2'000	4'000
2	Place du Village 8	42'500	36'125	6'375	19.7	18.1	1.6	2'000	4'000
3	Place du Village 4 - 4bis	42'500	36'125	6'375	19.7	18.1	1.6	2'000	4'000
4	Chanay 1	26'240	22'304	3'936	12.1	11.2	1.0	2'000	4'000
5	Pl. Village 3 (comprend Pl. Village 1 et Chanay 2)	153'000	130'050	22'950	70.8	65.0	5.7	2'000	4'000
6	Pl. Village 2	72'998	65'698	7'300	50.5	48.7	1.8	1'350	4'000
7	Pl. Village 5	53'686	45'633	8'053	37.8	33.8	4.0	1'350	2'000
8	Chanay 4	10'000	8'500	1'500	4.6	4.3	0.4	2'000	4'000
9	Pl. Village 6	16'200	13'770	2'430	7.5	6.9	0.6	2'000	4'000
	Totale	437'800	375'800	62'025	232.2	214.7	17.5		

Tableau 4 : Energies et puissances thermiques calculées pour les 9 bâtiments sur la base des données recueillies et des critères définis au chapitre 2.1.



Figure 2 : en jaune les 9 bâtiments retenus pour cette étude.

## 4. Eléments du réseau de chaleur

### 4.1. Réseau de distribution

La densité de raccordement est définie comme le rapport entre la somme des énergies utiles annuelles en MWh de chaque consommateur retenu divisée par la longueur totale du tracé du réseau de chauffage à distance (en mètres de fouille, abrégé mF):

$$\text{Densité de raccordement} = \frac{\sum \text{énergies utiles annuelles}}{\text{longueur tracé réseau}} [\text{MWh}/(\text{mF a})]$$

Le tableau 5 présente les recommandations du Manuel de planification QM Chauffages au bois pour la densité de raccordement minimale du premier niveau d'aménagement (à la mise en service) et pour l'aménagement final (trois ans après la mise en service). Il est recommandé de réaliser l'extension finale dans les 3 années après la mise en service pour assurer l'amortissement des installations conformément au cadre fixé. Les densités de raccordement recommandées varient au cas par cas suivant les conditions générales propres à chaque projet.

Degré d'extension	Conditions favorables	Conditions défavorables
Mise en service	> 0.7 MWh/(mF*an)	> 1.4 MWh/(mF*an)
Extension finale	> 1.2 MWh/(mF*an)	> 2.0 MWh/(mF*an)

Tableau 5 : recommandations du QM sur la densité de raccordement du réseau de chauffage suivant les conditions propres au projet.

Les conditions générales sont jugées favorables si par exemple les complications des constructions sont jugées faibles, le niveau des prix dans la région est bas, les aides à l'investissement relativement élevés et les recettes possibles élevées. C'est l'ensemble de ces considérations qui permettent de juger si les conditions pour le projet sont jugées favorables ou défavorables.

Dans le cas présent, on peut estimer les conditions générales dans l'ensemble comme plutôt défavorables vu le tracé du réseau sur des routes.

Le but de la réflexion est d'assurer la pérennité financière du projet sachant que la part des investissements pour le réseau de conduite avec les installations de raccordement peut atteindre suivant les cas une valeur supérieur à 50% du total des investissements. Une densité de raccordement suffisante permet également de limiter les pertes en chaleur dans les conduites et ainsi de limiter les frais de combustibles.

La figure 3 présente une première estimation du tracé du réseau de chauffage.





Figure 3 : première estimation grossière du tracé du réseau de chauffage.

Le tableau 6 présente la densité de raccordement. La longueur du réseau est mesurée avec le tracé auquel on ajoute 5 m pour la connexion final des bâtiments (non visible sur la figure 3). Il conviendra de préciser le calendrier des connexions, mais cette densité peut être jugée suffisante compte-tenu des critères précédemment définis.

Densité de raccordement	Longueur du réseau
2,3 MWh/mF*a	187 mF

Tableau 6 : densité de raccordement et longueur du tracé présenté dans la figure 3.

Le tableau 7 présente les longueurs suivant les diamètres nominaux et permet une première estimation du coût total du réseau de chauffage. Les diamètres des conduites permettant de délivrer la puissance de chauffage requise ont été estimés avec l'annexe 13.2 du Guide de planification QM Chauffage à distance et avec une perte en pression de 200 Pa/m. Comme précédemment mentionné au chapitre 2.2, les coûts liés à la pose du réseau de distribution de chaleur font l'objet d'un calcul plus détaillé dans une phase ultérieure du projet.

Tube synthétique	Estimation longueur fouille [mF]	Estimation coût par mètre avec fouille sur route H.T. [CHF/mF]	Estimation coût avec fouille sur route H.T. [CHF]
DN 20	20	540	10'800
DN 25	92	556	51'100
DN 32	42	664	27'900
DN 40	33	702	23'200
Total	187		113'000

Tableau 7 : première estimation du coût total du réseau de chauffage à distance avec des conduites en matière synthétique.

## 4.2. Centrale de chauffage

### 4.2.1. Localisation

Le lieu pour produire la chaleur prévu juxta à l'ouest le bâtiment n°5 (Pl. Village 5). Il s'agit d'une petite bâtisse à assainir. La surface de l'objet existant est estimée à environ 50 m<sup>2</sup>, ce qui est peut-être un peu faible pour recevoir les éléments. Il a été rajouté 10 m<sup>2</sup> dans le calcul pour tenir compte de la surface nécessaire aux accumulateur de chaleur qui peuvent être éventuellement placé à l'extérieur du bâtiment. La hauteur moyenne est estimée à 3,5 m, ce qui donne pour volume 210 m<sup>3</sup>.

L'adaptation du bâtiment en centrale de chauffe et l'estimation des coûts liés devraient être précisés rapidement pour lever les incertitudes.

### 4.2.2. Chaudières et taille de la centrale

Il y a encore dix ans environ, il était habituel pour des raisons de coûts, de frais de fonctionnement et pour limiter les émissions polluantes de considérer une chaudière à plaquettes couvrant 80% environ de la demande en chaleur couplée à une chaudière à mazout ou à gaz. Cette dernière couvrait les charges de pointes, assurait une sécurité d'approvisionnement en cas de panne et répondait à la faible demande en chaleur pendant l'été. Avec l'évolution de la technique, le renforcement des prescriptions environnementales et les soutiens financiers plus importants liés à la transition énergétique, la solution à deux chaudières à plaquettes tend à s'imposer. Elle permet de couvrir 100% de la demande en chaleur locale et neutre en CO<sub>2</sub> tout en maintenant un prix attractif de la chaleur livrée.

La puissance de chauffage varie au cours de l'année suivant la température extérieure et la demande pour le chauffage des locaux. C'est l'eau chaude sanitaire (ECS) qui détermine la demande en puissance indépendante des conditions météorologiques puisqu'en été comme pour le reste de l'année, elle est consommée quotidiennement. Elle détermine la puissance minimale de la chaudière la plus petite. L'ensemble accumulateur et chaudières permet d'assurer une combustion propre et complète, de limiter les phases d'arrêt et de redémarrage et ainsi de limiter les frais d'entretien et de combustibles grâce à un rendement global élevé.

Le résultat des calculs pour le dimensionnement des chaudières à plaquettes sèches est présenté dans le tableau 8. Réalisé à partir des données exposées au chapitre 3.2, on y ajoute par sécurité une réserve en énergie utile de 10%. La puissance de la première chaudière est de 200 kW et celle de la seconde de 70 kW ; soit une puissance totale (P<sub>n</sub>) de 270 kW.

Energie utile totale avec réserve de 10%	482	MWh/a/mF
Energie sortie chaudières	535	MWh/a
Energie finale	595	MWh/a
Altitude	680	m
Hypothèse nbre heures à Pnom	2000	h/a
Puissance totale arrondie 100% bois	270	kW
Puissance chaudière 1	200	kW
Puissance chaudière 2	70	kW
Volume d'accumulation arrondi sup.	7000	litres
Contenu énergétique plaquettes sèches	900	kWh/m <sup>3</sup> v
Volume de plaquettes arrondi sup.	700	m <sup>3</sup> v/a

Tableau 8 : dimensionnement des deux chaudières à plaquettes en tenant compte d'une réserve de 10% en énergie utile pour couvrir la demande en chaleur à 100% avec le bois.

#### 4.2.3. Accumulateur

Afin de garantir un fonctionnement optimal des chaudières à plaquettes sèches (régime stable limitant l'encrassement du système et favorisant un rendement élevé), un dispositif de stockage d'eau chaude est associé. Le volume nécessaire est défini par le QM pour répondre à une heure de demande à la puissance nominale. Le volume calculé arrondi est égal à 7 m<sup>3</sup>.

Volume accumulateur [m<sup>3</sup>] = Pn [kW] \* 1 [h] / (1.16 \* ΔT [K]) où ΔT=35 K

L'accumulateur permet également de couvrir les charges de pointe en hiver en apportant une puissance instantanée supplémentaire.

A noter que l'OPair permet d'envisager un volume d'accumulation inférieur à 25 litres/kW quand il y a plusieurs chaudières ou pour des raisons d'exploitation (voir l'annexe 3 au chapitre 523).

#### 4.2.4. Silo à combustible

Face aux exigences de la logistique d'approvisionnement, le coût du silo à combustible est optimisé par le QM chauffage au bois de la manière suivante : le volume de combustible est calculé pour répondre à une demande d'énergie de 5 à 7 jours pendant la période de demande maximale journalière. A cela on ajoute une réserve correspondant à une livraison de combustible (ici 30 m<sup>3</sup>). Enfin, le combustible n'occupant jamais plus de 70% à 80% du volume du silo, on en déduit le volume brut. La demande maximale journalière pour les plaquettes (Vj) est calculée selon la formule empirique suivante :

$V_j [m^3] = 16 * (P_n [kW]) / (\text{rendement} [-] * \text{contenu énergétique} [kWh/m^3_v])$

Vj calculé est égal 6,0 m<sup>3</sup>. En tenant compte de la réserve de 30 m<sup>3</sup>, on obtient une capacité de stockage de 60 m<sup>3</sup> de plaquettes pour un volume brut d'environ 70 m<sup>3</sup>.

Pour l'extraction des plaquettes forestières vers le bâtiment comprenant les chaudières, il existe une grande variété de configurations possibles en fonction des situations. Les plus courantes pour ce niveau de puissance sont celle avec un système rotatif. Ce point est à préciser dans une phase ultérieure du projet.

Du fait de son expérience et pour assurer le déchargement des plaquettes dans de bonnes conditions, il est fortement recommandé d'inclure lors des discussions pour la conception du silo l'entreprise prévue pour livrer les plaquettes.

#### 4.2.5. Récapitulatif

Puissance nominale totale des chaudières à plaquettes	Volume brut du silo à plaquettes sèches	Volume de l'accumulateur de chaleur	Volume du bâtiment de la centrale de chauffe
270 kW (200 + 70 kW)	70 m <sup>3</sup>	7 m <sup>3</sup>	210 m <sup>3</sup>

Tableau 9 : résultats du dimensionnement des éléments principaux de la centrale de chauffe.

#### 4.2.6. Filtre à poussières (particules) fines

Une anomalie de température appelée inversion se produit en hiver dans les régions au centre d'un anticyclone (haute pression et peu de vent) : la température de l'air augmente avec l'altitude, ce qui est l'inverse d'une situation normale. La conséquence est une importante concentration des polluants et particulièrement des particules fines, principal indicateur de la qualité de l'air.

L'ordonnance fédérale sur la protection de l'air (OPair) fixe une limite de niveau d'émission de poussières fines (particules solides totales) pour les chaudières automatiques à bois de 50 mg/Nm<sup>3</sup> jusqu'à 500 kW et de 20 mg/Nm<sup>3</sup> de 500 kW à 10 MW.

L'investissement dans deux électrofiltres est nécessaire pour respecter l'OPair. Bien que les filtres modernes occupent de moins en moins d'espace, il est nécessaire de bien en tenir compte lors de l'élaboration de la centrale de chauffe.

#### 4.2.7. Evacuation des cendres

Les cendres sont transportées automatiquement hors des chaudières et de l'électrofiltre dans des containers. Pour évacuer les cendres, il existe deux possibilités :

- les containers sont amenés vers le véhicule en charge de l'évacuation des cendres.
- les cendres sont aspirées des containers vers l'extérieur depuis le local de la centrale.

Suivant l'accès au local, il peut être très pratique d'utiliser le système d'évacuation par aspiration. Ce point doit figurer parmi les thèmes abordés lors de la planification.

Une estimation de la production annuelle de cendres pour une consommation en plaquettes d'environ 700 m<sup>3</sup>/a produit environ 4,7 t/a ce qui correspond à environ 6 m<sup>3</sup>/a.

Conformément à l'Ordonnance sur les déchets (OLED), les cendres doivent être stockées dans des décharges de type D ou E. Des études sont en cours pour permettre la valorisation des cendres de grille dans l'agriculture.

## 5. Recommandations pour les plaquettes forestières

Le niveau de puissance des chaudières détermine la qualité des plaquettes forestières ; plus une chaudière à plaquettes est de faible puissance, plus elle nécessite une teneur en eau basse, une petite granulométrie ainsi qu'une faible proportion de « fine » (ou « poussière de bois » ; granulométrie inférieure à 3.15 mm). Cela permet d'assurer une combustion complète du bois et ainsi de minimiser les frais d'entretien et de maintenance.

Pour cette installation, il est nécessaire d'utiliser des plaquettes sèches, c'est-à-dire fermentées dans un hangar très bien aéré. La teneur en eau maximale est de 35% (variation acceptée de 25% à 35%) et la teneur en fine maximale de 10%.

Energie-bois Suisse se tient à disposition pour donner des renseignements pratiques importants pour construire le hangar de stockage. L'expérience montre que pour optimiser les coûts et tenant compte des réalisations futures probables dans les communes du triage, un volume minimale de stockage de 1'500 m<sup>3</sup>v est nécessaire.

Pour le niveau de puissance calculé ici, l'utilisation de plaquettes tamisées et séchées écologiquement à environ 15% faciliterait l'exploitation mais implique de s'adresser à un fournisseur externe.

Le code pour assurer la qualité des plaquettes fermentées sous hangar est le suivant :

**PFS-P31S-M35(F10) ou PFS-P31S-M20(F05)**

“PFS” signifie « plaquettes forestières et de scieries », « M » pour « moisture » (humidité en anglais) et « F » pour fine (le nombre signifiant le pourcentage maximum de la fraction fine).

A noter qu'une granulométrie supérieure (P45S) ainsi qu'une fraction plus élevée de fine peut notablement perturber le fonctionnement de l'installation et générer des pannes.

La qualité régulière des plaquettes livrées et le respect des indications figurant ci-dessus est un point essentiel pour assurer la bonne exploitation de l'installation. Le bois utilisé devrait être constitué pour l'essentiel de bois ronds stockés moins d'un an et déchiquetés de manière adaptées à la granulométrie recherchée.

Voir pour plus de détails le document d'Energie-bois Suisse n°407 consultable en ligne "Triage et classification du bois-énergie".

## 6. Calcul des coûts de production de la chaleur

<b>Hypothèses de base</b>					
<b>Sauf mention, toutes les indications sont sans TVA</b>					
Taux d'intérêt	2.5%				
Energie utile totale livrée avec réserve 10%	481'600 kWh/a				
Energie produite par les chaudières	535'111 kWh/a				
Puissance thermique totale requise	270 kW				
Heures à pleine charge des chaudières	1'982 h/a				
	Coûts d'investissement [CHF]	Durée d'amortissement [a]	Facteur d'annuités	Coûts annuels [CHF/a]	Coût par kWh Energie utile [ct./kWh]
<b>Coût en capital</b>					
<b>Éléments de production de chaleur</b>					
2 chaudières à plaquettes de 70 et 200 kW avec électrofiltres (chauffage, décendrage, etc.)	127'000	20	0.0641	8'147	1.69
Couvercle de silo non-carrossable	16'000	20	0.0641	1'026	0.21
Alimentation combustible (Fonctionnement inclus hydraulique, conoyeur à vis, vannes papillon, extraction silo, protection anti-incendie)	19'000	20	0.0641	1'219	0.25
2 hydroaccumulateurs (total 7'000 litres)	14'000	20	0.0641	898	0.19
Commande (Régulation du nettoyage automatique de la chaudière, Liaisons en cascade, maintien de la température de retour élevée, sans pompes et appareils, modem analogique)	21'000	20	0.0641	1'347	0.28
Transport, installation, mise en service des chaudières et support	25'000	20	0.0641	1'604	0.33
Raccordement hydraulique, sanitaire, distributeur, pompes, isolation.	31'000	20	0.0641	1'989	0.41
Installation électrique	25'000	20	0.0641	1'604	0.33
<b>Total éléments de production de chaleur</b>	<b>278'000</b>			<b>17'833</b>	<b>3.70</b>
<b>Site de production de chaleur</b>					
Bâtiment central de chauffe (60 m2 x 3.5 m à 400 CHF/m3)	84'000	40	0.0398	3'346	0.69
Silo (70 m3 brut à 450 CHF/m3)	31'500	40	0.0398	1'255	0.26
Cheminée	20'000	20	0.0641	1'283	0.27
Travaux environnants, route d'accès	15'000	40	0.0398	598	0.12
Raccordement électricité, eau et eau usée	15'000	40	0.0398	598	0.12
<b>Total site de production de chaleur</b>	<b>150'500</b>			<b>7'079</b>	<b>1.47</b>
<b>Distribution de la chaleur</b>					
Fouille, conduites	113'000	40 ans	0.0398	4'501	0.93
9 Sous-stations avec échangeur, compteurs de chaleur, réglages et raccordement clients	90'000	20 ans	0.0641	5'773	1.20
<b>Total distribution de la chaleur</b>	<b>203'000</b>			<b>10'275</b>	<b>2.13</b>
<b>Honoraires et imprévus</b>					
Honoraires (15%)	95'000	20 ans	0.0641	6'094	1.27
Imprévus (10%)	63'000	20 ans	0.0641	4'041	0.84
<b>Total Honoraires et imprévus</b>	<b>158'000</b>			<b>10'135</b>	<b>2.10</b>
<b>TOTAL coût en capital</b>	<b>790'000</b>			<b>45'322</b>	<b>9.41</b>
<b>Coûts maintenance et électricité</b>					
Frais électricité				5'000	
Total maintenance				13'000	
Loyer local de chauffe				-	
<b>TOTAL coûts mainten. et électricité</b>				<b>18'000</b>	<b>3.74</b>
<b>Coûts pour le combustible</b>					
	Quantité annuelle				
Plaquettes avec évacuation des cendres	700 m3/va			37'460	
<b>TOTAL coûts pour les combustibles</b>				<b>37'460</b>	<b>7.78</b>
<b>Grand TOTAL hors TVA</b>				<b>100'782</b>	<b>20.93</b>
TVA (7.7%)				7'760	1.67
<b>Grand TOTAL avec TVA</b>				<b>108'542</b>	<b>22.60</b>

## 7. Recommandations pour la facturation

Pour le calcul de la facturation de la livraison de chaleur aux consommateurs, EbS recommande une structure tarifaire en trois parties selon le modèle suivant :

1. Taxe unique de raccordement [CHF/kW] : comprend en partie l'amortissement de la distribution de chaleur. Couvre proportionnellement les coûts de raccordement du bâtiment au réseau de conduites. Facturé une seule fois au moment de la connexion.
2. Taxe de base annuelle [CHF/(kW\*a)] : comprend en partie l'amortissement de la production de chaleur. Couvre proportionnellement le coût du capital pour la construction de la centrale de chauffage. Facturé chaque année suivant la puissance raccordée.
3. Taxe de consommation [CHF/(kWh\*a)] : comprend les frais liés à l'usage de combustibles et l'ensemble des frais de maintenance (service, nettoyage, réparations, contrôles, mesures). Facturé chaque année suivant la chaleur consommée.

Les coûts peuvent être redistribués différemment (p.ex. contribution unique de raccordement moins élevée mais avec une taxe de puissance raccordée plus élevée). Ci-dessous, un exemple de calcul.

Taxe de raccordement. Principe : couvre le capital de distribution de la chaleur

Coût en capital distribution de chaleur	203'000 CHF
Puissance thermique totale des preneurs de chaleur	232 kW
<b>Taxe de raccordement</b>	<b>875 CHF/kW</b>

Taxe de base annuelle. Principe : couvre le reste du capital (site et production de la chaleur)

Coût en capital total du projet	790'000 CHF
Coût en capital restant du projet	587'000 CHF
Facteur d'annuité moyen du projet	0.0610 1/an
Coût en capital total annuel	35'807 CHF
<b>Taxe de base annuelle</b>	<b>154 CHF/kW</b>

Taxe de consommation annuelle. Principe : somme des coûts par kWh de maintenance, électricité et combustibles

Coûts par kWh de maintenance et d'électricité	3,74 ct./kWh
Coûts pour les combustibles	7,78 ct./kWh
<b>Taxe de consommation annuelle</b>	<b>11,5 ct./kWh</b>

## 8. Approvisionnement en bois

La Commune de Saubraz est rattachée au Groupement forestier de la Saubrette. Il est composé de onze communes : Allaman, Aubonne, Bougy-Villars, Féchy, Gimel, Montherod, Mont-sur Rolle, Perroy, Saint-George, Saint-Oyens et Saubraz.

S'il existe déjà des chauffages à distance alimentés par le groupement forestier, vu les quantités relativement faibles estimées ici (700 m<sup>3</sup>/a), l'approvisionnement semble assuré.

Il se pose néanmoins la question du séchage des plaquettes au moyen d'un hangar de stockage à l'heure actuelle inexistant.

Comme précisé au chapitre 5, EbS se tient à disposition pour donner des renseignements pratiques importants pour construire le hangar de stockage. L'expérience montre que pour optimiser les coûts et tenant compte des réalisations futures probables dans les communes du groupement forestier, un volume minimale de stockage de 1'500 m<sup>3</sup> est nécessaire.

## 9. Aides financières

### 9.1. Contributions cantonales

Le canton de Vaud soutient activement le développement des chauffages à distance neutre en CO<sub>2</sub> avec le Programme Bâtiments mis en place par la Confédération. La mesure M04 (subvention pour une installation de chauffage à bois automatique, puissance calorifique > 70 kW) octroie un montant pour les installations de production de chaleur inférieures à 500 kW de 180 CHF/kW et pour la création d'un réseau de chauffage de 500 CHF/kW.

Un soutien estimé à environ 180'000 CHF est envisageable, soit une réduction d'environ 2,6 ct/kWh du prix de revient calculé précédemment.

A noter que les propriétaires preneurs de chaleur peuvent demander une subvention au Canton pour un raccordement (mesure M07) dont le montant est le suivant :

- Raccordement (P < 20 kW) : 6'000 fr.
- Raccordement (P > 20 kW) : 4'800 fr.- + 60 fr./kW

### 9.2. Contribution pour la protection du climat et la compensation de CO<sub>2</sub>

La Fondation pour la protection du climat et la compensation de CO<sub>2</sub> KliK est le groupement de compensation de CO<sub>2</sub> du secteur des carburants fossiles mis en place dans le cadre de la loi sur le CO<sub>2</sub>. Elle accomplit à la place des sociétés pétrolières responsables de la mise à la consommation de carburants fossiles l'obligation légale qui leur incombe de compenser une partie des émissions de CO<sub>2</sub> résultant de l'utilisation des carburants. A cet effet, elle encourage en Suisse des projets qui réduisent les émissions de gaz à effet de serre, contribuant ainsi de manière active à une protection durable du climat.

Pour les projets de réseaux de chauffage à distance permettant d'éviter l'émission d'ici 2030\* d'un volume de 1'000 tonnes de CO<sub>2</sub> et qui peuvent prouver que sans les montants versés annuellement par KliK le projet n'est pas rentable (principe d'additionnalité), KliK s'engage à racheter la tonne de CO<sub>2</sub> au prix de CHF 100.-. Les installations concernées sont celles qui peuvent justifier d'une puissance bois supérieure ou égale à environ 500 kW, ce qui n'est pas le cas ici.

---

\* Au-delà de 2030, une subvention est envisageable mais nécessite une décision politique de la Confédération dans ce sens.  
*Etude de faisabilité d'un petit chauffage à distance à plaquettes sèches à Saubraz*



## 10. Les formes d'organisation

Le Code suisse des obligations prévoit les formes organisationnelles suivantes :

- Société simple
- Société en commandite
- Société anonyme (SA)
- Société à responsabilité limitée (Sàrl)
- Coopérative

Les formes d'organisation sont listées dans le Tableau ci-dessous. Dans la pratique, ce sont la SA ou la Sàrl qui sont mises en place. Les raisons principales sont liées aux questions de responsabilité et de levée de capitaux. Pour les communes, la société simple ou la coopérative se sont avérées de bonnes solutions. Les institutions locales comme les bourgeoisies ou les entreprises électriques (contracting énergétique ; voir à titre d'information la description du principe en annexe) sont souvent intéressées à participer dans un réseau de chauffage de taille moyenne et grande. Elles disposent dans bien des cas d'une longue expérience, y compris administrative, et peuvent apporter un soutien apprécié au projet. Elles n'entrent souvent pas en matière cependant pour des puissances inférieures à 1'000 voire parfois à 500 kW.

Forme d'organisation	Société simple	Société en commandite	SA	Sàrl	Coopérative
<b>Responsabilité</b>	fortune personnelle + soldiratie	commandités: illimitée commanditaires: somme en commandite	aucune	solidaire jusqu'à concurrence du capital de base	responsabilité personnelle possible
<b>Représentation</b>	tous (chacun)	commandités: + commanditaires: -	selon l'inscription registre du commerce	Plusieurs formes possibles	par l'administration
<b>Direction</b>	accessible à tous	commandités: + commanditaires: -	autonome	autonome ou par les associés	autonome (min. 3 personnes)
<b>Capital/fortune propre</b>	aucun	commandités: fortune personnelle commanditaires: participation	au moins 100'000.- propre	Min. CHF 20'000. Max. CHF 2'000'000.-	cotisations, prêts, capital social
<b>Associés</b>	personnes physiques et corporations	commandités: personnes phys. commanditaires: personnes physiques et morales	personnes physiques et morales et collectivités	personnes physiques et sociétés commerciales	personnes physiques et morales (min. 7 personnes)
<b>Inscription registre commerce</b>	impossible	oui	obligatoire	obligatoire	obligatoire
<b>Avantages</b>	forme simple	responsabilité limitée du commanditaire	pas de responsabilité personnelle, qualité direction	flexibilité au niveau de la direction, entraide	entraide, forme simple
<b>Inconvénients</b>	représentation et direction	pas de personnalité juridique propre, représentation direction	formes à observer capital nécessaire	responsabilité des associés	droit de vote par tête
<b>Formes à observer</b>	aucune	aucune	acte authentique, publication	acte authentique	aucune
<b>Base</b>	contrat informel	contrat informel	statuts	statuts	statuts
<b>Personnalité juridique propre</b>	non	non	oui	oui	oui
<b>Fréquence</b>	grande	rare	grande	rare	assez grande

## 11. Conclusion

A l'aide du scénario de connexion présenté dans cette étude, la réalisation d'un petit réseau de chauffage à distance à plaquettes sèches au cœur du village de Saubraz paraît réaliste tant d'un point de vue technique que financier.

L'utilisation de plaquettes séchées par fermentation sous couvert de relativement petite taille nécessite une attention particulière. Le respect dans la durée de la qualité requise permet d'assurer de bonnes conditions d'exploitation. EbS est à disposition de la Commune ou du Groupement forestier pour la bonne réalisation du hangar de stockage.

## 12. Etapes suivantes

Les recommandations pour la suite sont les suivantes :

- Etude de la présente étude. Si nécessaire, procéder à des examens complémentaires.
- Information à toutes les parties prenantes, vérifier l'intérêt au raccordement.
- Appel d'offre auprès de plusieurs bureaux d'ingénieurs expérimentés.

Energie-bois Suisse

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'R. Golay', with a stylized flourish at the end.

Richard Golay

Ingénieur diplômé EPFL

Echandens, le 18 octobre 2022