

Rapport final février 2002

# **Bilan énergétique de la fromagerie et avant-projet d'installation de biogaz**

Richard Bettex – 1487 Champtauroz (VD)

Rédigé par  
Yves Membrez  
Arthur Wellinger  
Bernard Bonjour

EREP SA  
Chemin du Coteau 28  
1123 Aclens

## **Mandant**

Programme de recherche énergétique Biomasse  
Office fédéral de l'énergie

## **Mandataire**

EREP SA  
Chemin du Coteau 28, 1123 Aclens

## **Auteurs**

Yves Membrez, ing. dipl. HES/UTS	(EREP SA)
Dr Arthur Wellinger	(NOVA ENERGIE GmbH)
Bernard Bonjour, ing. méc. dipl. EPF	(SORANE SA)

Cette étude a été accomplie sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie.  
Les auteurs sont seuls responsables du contenu et des conclusions.

## **Office fédéral de l'énergie**

Worblentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Adresse postale : 3003 Berne  
Tél. 031 322 56 11 • Fax 031 323 25 00 • office@bfe.admin.ch/bfe • www.admin.ch/bfe

## **Distribution**

ENET  
Egnacherstrasse 69, CH-9320 Arbon  
Tél. 071 440 02 55 • Fax 071 440 02 56 • enet@temas.ch

---

# **BILAN ENERGETIQUE DE LA FROMAGERIE ET AVANT-PROJET D'INSTALLATION DE BIOGAZ**

---

## **RICHARD BETTEX – 1487 CHAMPTAUROZ (VD)**

---

Projet n° 42'300  
Contrat n° 82'228

# **RAPPORT**

### **Présenté par :**

EREP SA  
Chemin du Coteau 28  
1123 ACLENS

*Responsable* : Yves MEMBREZ, ing. dipl. HES/UTS  
*Collaborateur* : Dr Arthur WELLINGER  
NOVA ENERGIE GmbH. 8356 AADORF

SORANE SA  
Route du Châtelard 52  
1018 LAUSANNE

*Responsable* : Bernard BONJOUR, ing. méc. dipl. EPF

Février 2002.

## **SOMMAIRE**

**Partie A.** Avant-projet d'installation de biogaz

**Partie B.** Bilan énergétique de la fromagerie

**Partie C.** Synthèse et conclusions

**Annexes**

---

# **BILAN ENERGETIQUE DE LA FROMAGERIE ET AVANT-PROJET D'INSTALLATION DE BIOGAZ**

---

**RICHARD BETTEX – 1487 CHAMPTAUROZ (VD)**

---

Projet n° 42'300  
Contrat n° 82'228

## **RAPPORT**

### **PARTIE A. AVANT-PROJET D'INSTALLATION DE BIOGAZ**



**erep**

Traitement et valorisation  
de déchets et  
d'effluents organiques

## **TABLE DES MATIERES**

<b>I.</b>	Introduction _____	<b>A/3</b>
<b>II.</b>	Inventaire des substrats méthanisables _____	<b>A/4</b>
<b>III.</b>	Évaluation de la production de biogaz _____	<b>A/5</b>
<b>IV.</b>	Description de l'unité de méthanisation _____	<b>A/5</b>
<b>V.</b>	Budget d'investissement _____	<b>A/8</b>

## I. INTRODUCTION

---

Monsieur Richard BETTEX exploite en parallèle deux entreprises implantées sur la commune de CHAMPTAUROZ (VD) :

- **une ferme** de 40 hectares avec environ 600 chèvres (production laitière), 500 porcs à l'engrais sous label et une trentaine de bovins. En plus, l'exploitation agricole compte 500 porcs à l'engrais en plein air. Suite à l'incendie, en septembre 2001, de l'étable abritant une partie des chèvres, M. BETTEX a entrepris la construction d'une nouvelle chèvrerie pouvant, à terme, abriter 1000 bêtes.
- **une fromagerie** transformant du lait de chèvres provenant de la ferme, ainsi que d'autres producteurs romands et alémaniques. En 2001, l'entreprise a traité plus de 2 millions de litres de lait.

Distantes de moins d'un kilomètre, les deux entreprises constituent un site particulièrement propice pour une valorisation bioénergétique des fumiers et pour la substitution d'une partie des consommations énergétiques de la fromagerie par une source renouvelable et décentralisée : **le biogaz**.

Dans le cadre d'une étude de faisabilité commandée par l'État de Vaud, Service de l'Environnement et de l'Énergie – Division Énergie (rapport EREP SA "Étude de faisabilité – Projet d'installation de méthanisation de fumiers et autres cosubstrats", juillet 2000), les éléments suivants ont été mis en évidence :

- s'agissant d'un projet de méthanisation de fumier, d'autres technologies que celles désormais couramment mises en œuvre pour la digestion de purins et de lisiers doivent être envisagées;
- deux filières sont à considérer : les systèmes à alimentation discontinue (ou procédés "batch") et le système ANACOM (ANaerobic COMposting) développé au cours des années huitante et dont certains éléments ont servi à la mise au point du procédé KOMPOGAS, pour le traitement de la fraction fermentescible des ordures ménagères;
- deux types de cosubstrats pourraient être considérés dans le cadre d'un projet de codigestion : les gazons et herbes de l'Institut Équestre National d'Avenches (IENA) et les contenus de panses de l'Abattoir MARMY SA à ESTAVAYER-LE-LAC (FR).

Mettant à profit les contacts établis avec l'IENA à Avenches, M. BETTEX a conclu avec cet établissement un accord au terme duquel il s'engage contre rémunération à reprendre et à traiter la totalité des **fumiers des chevaux** de l'IENA.

Afin d'actualiser les données relatives au projet de méthanisation compte tenu de l'option consistant à retenir un système à alimentation continue (ANACOM/KOMPOGAS), d'établir le bilan énergétique de la fromagerie et d'évaluer les possibilités d'y valoriser le biogaz produit, l'OFEN a chargé EREP SA de la présente étude.

## 2. INVENTAIRE DES SUBSTRATS METHANISABLES

### 2.1 Données de base

#### Bétail

- porcs : 500 ppe, en plein air  
500 ppe, en stabulation libre
- chèvres : 600 chèvres laitières
- bovins : 30 vaches laitières (seront à terme remplacées par des bufflones)

#### Litières

- a)** porcs et bovins : le fumier de cheval de l'IENA (12 tonnes/jour) est utilisé comme litière à raison de 4 t/j pour les bovins et 8 t/j pour les porcs. Au total, ce substrat représente environ 5000 tonnes par an.
- b)** chèvres : paille. Achetée à raison d'environ 400 tonnes par an.

La quantité de fumier ainsi produite est estimée par M. BETTEX à 6000 t/a pour les porcs et les bovins et 1500-2000 t/a pour les chèvres.

### 2.2 Calcul

Le tableau qui suit présente notre estimation des productions de fumier sur l'exploitation.

Espèce	Litière [t/a]	Purin [t/a]	Fumier [t/a]
Bovins	1500 (fumier IENA)	650	2150
Porcs	3500 (fumier IENA)	720	4220
Chèvres	400 (paille)	—	*1200
<b>TOTAL</b>	<b>5400</b>		<b>7570</b>

(\* évaluation selon SRVA : 1 place de chèvre laitière produit environ 2 t fumier par an.)

### 2.3 Caractéristiques

Les caractéristiques des divers fumiers de l'exploitation ont été déterminées à partir d'échantillons prélevés et pesés le 20.8.2001 et analysés par le laboratoire SOL-CONSEIL à Changins (VD). Le tableau qui suit présente les résultats obtenus :

Substrat	Matière sèche (MS) (% mat. fraîche)	Matière organique (MO) (% MS)	Poids volumique [kg/m <sup>3</sup> ]
Fumier cheval IENA	42,4	89,2	200
Fumier bovins	36,7	85,6	455
Fumier porcs	22,5	82,7	455
Fumier chèvres	34,4	75,0	485

### 3. EVALUATION DE LA PRODUCTION DE BIOGAZ

A partir des estimations relatives aux quantités de fumiers produits et des analyses réalisées sur ceux-ci, on peut évaluer comme suit le potentiel biogaz de la ferme :

Fumier	Matière organique [t/a]	Production spécifique [m <sup>3</sup> biogaz/t MO]	Production totale [m <sup>3</sup> biogaz/a]
Bovins	675	300	202'500
Porcs	785	350	274'750
Chèvres	310	250	77'500
<b>TOTAL</b>	<b>1770</b>		<b>554'750</b>

Au gisement de biogaz constitué par les fumiers actuellement disponibles sur l'exploitation pourraient, à moyen terme, s'ajouter les quantités suivantes :

- extension à 1000 têtes de la chèvrerie : — fumier : + 800 t/a  
— biogaz : + 50'000 m<sup>3</sup>/a
- déchets d'entretien paysager de l'ENEA : — gazon : 3 t/j d'avril à septembre, soit (approximation) 450 t  
— biogaz : + 7000 m<sup>3</sup>/a
- contenus de panses, Abattoir MARMY SA : — contenus de panses : 800 t/a  
— biogaz : + 29'000 m<sup>3</sup>/a

Le tableau qui suit résume l'évaluation du potentiel biogaz de l'exploitation agricole :

Situation	BIOGAZ PRODUCTION BRUTE	BIOGAZ NET VALORISABLE	PRODUCTION ENERGETIQUE MOYENNE JOURNALIERE	
	[m <sup>3</sup> /a]	[m <sup>3</sup> /a]	[MJ brut/j]	[MJ net/j]
"Actuelle"	554'750	416'000	32'677	24'504
"Future"	640'750	480'500	37'743	28'303

### 4. DESCRIPTION DE L'UNITE DE METHANISATION

Deux paramètres dictent le choix de la technologie à mettre en œuvre :

- l'option consistant à retenir un système à **alimentation continue** afin de réduire les coûts d'exploitation (manutention des fumiers);
- la **capacité de traitement** envisagée.

Compte tenu de la taille plus industrielle qu'agricole du projet et du faible développement des systèmes de méthanisation en continu pour des fumiers, la solution pouvant être préconisée dans le cadre de ce projet est celle d'une unité "KOMPOGAS-Kompakt".

#### 4.1 Principe de fonctionnement

Le système KOMPOGAS-Kompakt constitue une version modulaire et adaptée aux besoins de sites de compostage existants. Il se caractérise par une exécution ne nécessitant pas la réalisation de bâtiments destinés à abriter les équipements. A ce titre, il convient aux exigences d'implantation d'un site agricole.

Le procédé KOMPOGAS propose une digestion de type "piston" à température thermophile dans un réacteur cylindrique disposé horizontalement. Le substrat frais est réchauffé au moyen d'un échangeur externe durant l'alimentation ainsi que par une paroi chauffante. Un brassage modéré du contenu du digesteur est effectué par un mélangeur à rayons perpendiculaires à l'axe d'avancement de la matière. L'introduction et l'extraction se font au moyen de pompes à pistons. Afin d'inoculer le substrat frais, on recycle une partie de matière digérée en tête d'installation.

L'illustration suivante présente l'installation KOMPOGAS-Kompakt de VOLKETSCHWIL (ZH) :



Conçu pour traiter des déchets organiques ménagers, le système a fait l'objet d'un test visant à définir les conditions d'incorporation de fumier pailleux.

En décembre 2001, sur l'installation de BACHENBÜLACH, 3 séries d'essais ont été effectuées :

- mélange de fumier de cheval et de jus de presse provenant du substrat sortant du digesteur;
- préhumidification à l'eau de fumier de cheval, suivie de mélange avec du jus de pressage;
- mélange de fumier haché avec du jus de pressage.

Les conclusions de ces tests indiquent que le fumier de cheval à pailles longues n'est pas bien adapté pour une incorporation dans une digestion de solides. Par contre, le même fumier préalablement haché permet, après mélange avec du jus de pressage, d'obtenir un substrat particulièrement bien adapté pour la digestion.

Si dans le premier cas la paille ne parvient pas à absorber le liquide, ce qui conduit à la formation d'une couche flottante durant la digestion, tel n'est plus le cas dans la seconde préparation, où en cassant la structure des tiges de paille on obtient une absorption complète du jus de pressage.

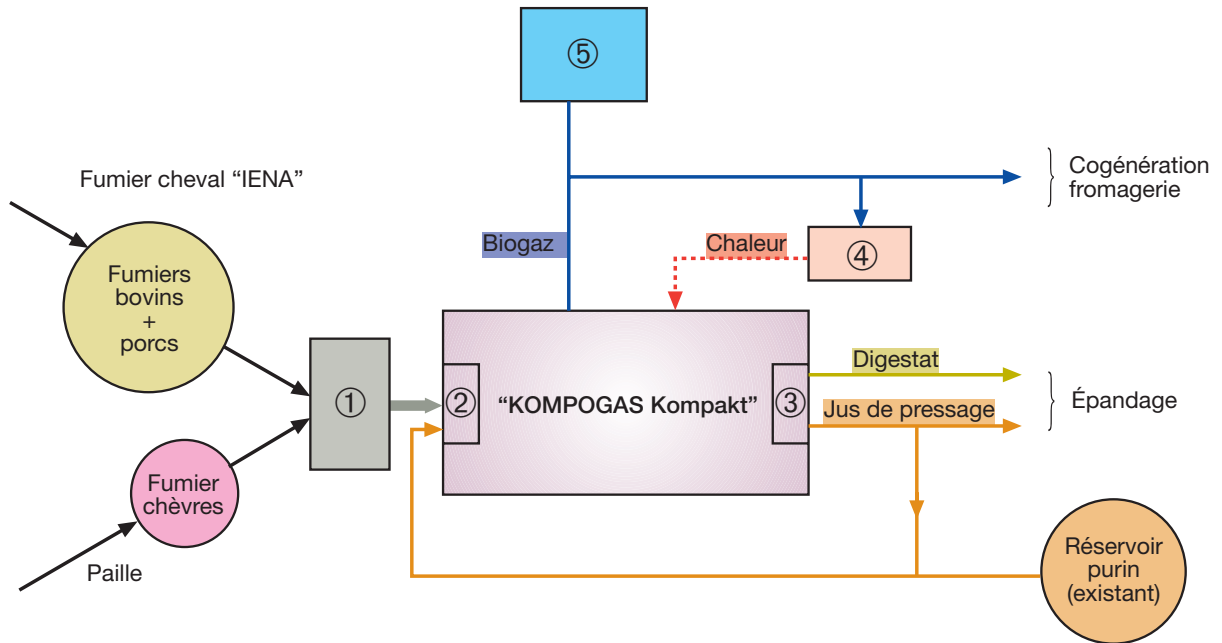
Pour le projet de M. BETTEX, on peut considérer que le fumier de cheval mis en litière sous les porcs est certainement suffisamment déstructuré pour être considéré comme adapté pour la digestion. Quant au fumier de cheval mis en litière sous les bovins laitiers au moyen d'un épandeur, il est probablement ainsi grossièrement broyé et comparable au précédent.

## 4.2 Description des équipements KOMPOGAS

Les prestations KOMPOGAS concernent la livraison, le montage et la mise en service des équipements électromécaniques, à savoir :

- **unité de fermentation** : réservoir de préparation, pompe d'introduction/inoculation, échangeur de chaleur, fermenteur en acier complet y c. accessoires; conduites de substrat y compris vannes, supports, etc.; isolation du fermenteur et des conduites.
- **unité de pressage** : équipement d'extraction et déshydratation, pompe de reprise du jus de pressage y compris conduites.
- **ligne biogaz** : conduites, organes de sécurité (filtre à gravier, dispositif anti-retour de flamme, pots de condensation), débitmètre, torchère.
- **utilités** : distribution de chaleur pour l'autoconsommation du procédé (en conteneur); système hydraulique pour les vannes et les pompes d'introduction et d'extraction.
- **unité de commande** (en conteneur) : armoire de commande et de régulation y compris SPS et écran de visualisation; distribution principale basse tension de l'installation (hors transformateur); installation équipotentielle et de mise à terre.
- **installation électrique** : câblage des machines et appareils et raccordement à l'unité de commande; interrupteur principal de sécurité.

### 4.3 Schéma de fonctionnement



A sa sortie des stabulations ou en reprise des aires de stockage, les fumiers sont déversés dans un mélangeur à fumier stationnaire ① afin de broyer grossièrement les longues fibres de paille. Le substrat ainsi prétraité est transféré dans le réservoir de préparation ② où il est mélangé avec le jus de pressage qui sert à l'humidifier, à le réchauffer et à l'inoculer. Ce mélange homogène et pompable est introduit dans le digesteur après passage dans un échangeur de chaleur. Après avoir transité 15 à 20 jours dans le réacteur anaérobie, le substrat digéré est séparé en un digestat (solide) et en jus de pressage dans l'unité d'extraction et de déshydratation ③. Ces deux sous-produits peuvent être épandus après stockage dans les infrastructures existantes sur le site de la ferme (fumière et réservoir à purin). Une cuve intermédiaire équipée d'une pompe de reprise permet le recyclage du jus de pressage en tête d'installation ou son transfert vers le réservoir à purin. Le biogaz produit est conduit vers une chaudière destinée à assurer le réchauffage du substrat et le maintien en température du digesteur ④. Un gazomètre souple sans pression est prévu pour réaliser un stockage-tampon ⑤ correspondant à un peu moins de deux heures de production de biogaz.

## 5. BUDGET D'INVESTISSEMENT

L'évaluation du coût de l'unité de méthanisation, de ses ouvrages périphériques (voir schéma de fonctionnement) et du transfert du biogaz depuis le site de production jusqu'au couplage chaleur-force à implanter dans la fromagerie, se présente comme suit :

<p><b>a) unité de préparation</b>, comprenant un mélangeur stationnaire de fumier, KNIGHT, modèle Reel Auggie Mixer 3042, capacité de mélange 11,9 m<sup>3</sup>, puissance installée 25 kW; vis d'extraction et de transport. Aménagements de surface et fondations</p>	Fr. 40'000.–
<p><b>b) unité de méthanisation</b>, comprenant les fournitures et prestations relatives aux équipements électromécaniques KOMPOGAS (voir sous 4.3), à savoir : fermenteur complètement équipé, y c. réservoir de préparation; dispositif de pressage du substrat digéré; ligne biogaz, y c. torchère de sécurité; utilités, y c. distribution de chaleur pour réchauffage; équipements de contrôle et commande; installations électriques</p>	Fr. 2'860'000.–
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Génie civil : fondations, socles, conduites et aménagement d'aires de circulation</li> </ul>	Fr. 200'000.–
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chaudière à vapeur, puissance 220 kW, pour démarrage de l'installation et réchauffage, y c. brûleurs à biogaz/mazout, régulation et montage</li> </ul>	Fr. 60'000.–
<p><b>c) unité de biogaz</b>, comprenant un gazomètre souple sans pression, système LIPP : capacité 100 m<sup>3</sup>, installé dans une structure cylindrique en acier, y c. équipements de sécurité contre la surpression et la sous-pression et indicateur de niveau de remplissage</p>	Fr. 55'000.–
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Surpresseur biogaz pour le transfert du biogaz et l'alimentation du cogénérateur et de la chaudière, pression 40 mbar, y c. raccords</li> </ul>	Fr. 6'000.–
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conduite biogaz en polyéthylène soudé DN 100 mm, en fouille profondeur 0,7 m, y c. regards de contrôle et pots de purge; traversée de la route cantonale et du ruisseau; longueur admise 850 m<sup>1</sup></li> </ul>	Fr. 102'000.–
<p><b>d) travaux divers et imprévus</b>, consistant notamment en ouvrages de génie civil, locaux et aménagements. Estimation : 5% sur les positions a) à c)</p>	Fr. 166'000.–
<p><b>e) honoraires</b>, consistant en l'élaboration du projet définitif, mise à l'enquête, consultation de fournisseurs et maîtres d'état, suivi et coordination du chantier. Estimation : 5% sur les positions a) à d)</p>	Fr. 172'000.–
<p><b>Total investissement "production"</b></p>	<p><b>Fr. 3'611'000.–</b></p>

L'estimation du coût à investir pour valoriser le biogaz au moyen d'un groupe chaleur-force installé dans les bâtiments de la fromagerie figure en Partie B. "Bilan énergétique et étude d'un groupe chaleur-force".

---

**BILAN ENERGETIQUE DE LA FROMAGERIE  
ET AVANT-PROJET D'INSTALLATION DE BIOGAZ**

---

**RICHARD BETTEX – 1487 CHAMPTAUROZ (VD)**

---

Projet n° 42'300  
Contrat n° 82'228

**RAPPORT**

**PARTIE B.  
BILAN ENERGETIQUE DE LA FROMAGERIE ET  
ETUDE D'UN GROUPE CHALEUR-FORCE**

## **TABLE DES MATIERES**

<b>I.</b>	Introduction _____	<b>B/3</b>
<b>II.</b>	Description succincte de l'exploitation de M. BETTEX _____	<b>B/3</b>
<b>III.</b>	Campagne de mesures sur site _____	<b>B/4</b>
<b>IV.</b>	Besoins de l'exploitation _____	<b>B/12</b>
<b>V.</b>	Installation d'un groupe chaleur-force _____	<b>B/13</b>
<b>VI.</b>	Aspects financiers _____	<b>B/17</b>
<b>VII.</b>	Synthèse des résultats _____	<b>B/19</b>

## **I. INTRODUCTION**

---

La partie B. de ce rapport, réalisée par le bureau SORANE SA à partir des données fournies par EREP SA, doit démontrer la faisabilité de l'installation d'un groupe chaleur-force alimenté au biogaz ainsi qu'évaluer les investissements nécessaires à une telle réalisation.

Dans ce but, des mesures de consommations thermique et électrique de l'exploitation ont été conduites, ceci afin de définir les besoins énergétiques du site et de vérifier leur adéquation avec la production d'un groupe chaleur-force dimensionné à partir des données de production de biogaz. A l'aide des indications de M. BETTEX sur sa production et des mesures sur site, on met en évidence l'influence de l'activité de son exploitation ainsi que l'influence saisonnière (température extérieure) sur ses consommations énergétiques.

On présente également un bilan annuel sous la forme d'un diagramme de flux énergétiques ainsi qu'une estimation des aspects financiers : investissement et frais d'entretien pour le groupe chaleur-force, économie des frais énergétiques et gains réalisables par la vente du surplus électrique.

## **II. DESCRIPTION SUCCINCTE DE L'EXPLOITATION DE M. BETTEX**

---

L'exploitation fonctionne 7 jours sur 7, 365 jours par année de façon identique ou presque. La vente de fromages étant stable toute l'année, la production est donc elle aussi stable tout au long de l'année. Afin de compenser la production de lait de chèvres supérieure en été, une partie de ce lait est congelé en été pour être utilisé en hiver lorsque les chèvres ne produisent plus de lait.

Actuellement, la chaleur nécessaire au fonctionnement de l'exploitation (essentiellement pour les procédés et peu pour le chauffage des locaux) est produite par une chaudière à mazout Viessmann de 285 kW. Cette chaudière est équipée d'un brûleur 2 allures, petite et grande flamme. Actuellement seule la petite flamme est utilisée, la demande de chaleur pouvant être satisfaite sans faire appel à la grande flamme. La température maximale nécessaire pour le bon déroulement des procédés est d'environ 95°C, notamment pour la pasteurisation.

Pour l'électricité, M. BETTEX est raccordé sur le réseau de distribution (Romande Energie), avec un tarif interruptible pour la production d'eau glacée (par un groupe froid) et avec un tarif normal pour le reste des besoins de l'exploitation.

La figure ci-après illustre le schéma de principe de l'installation de chauffage de l'exploitation de M. BETTEX.

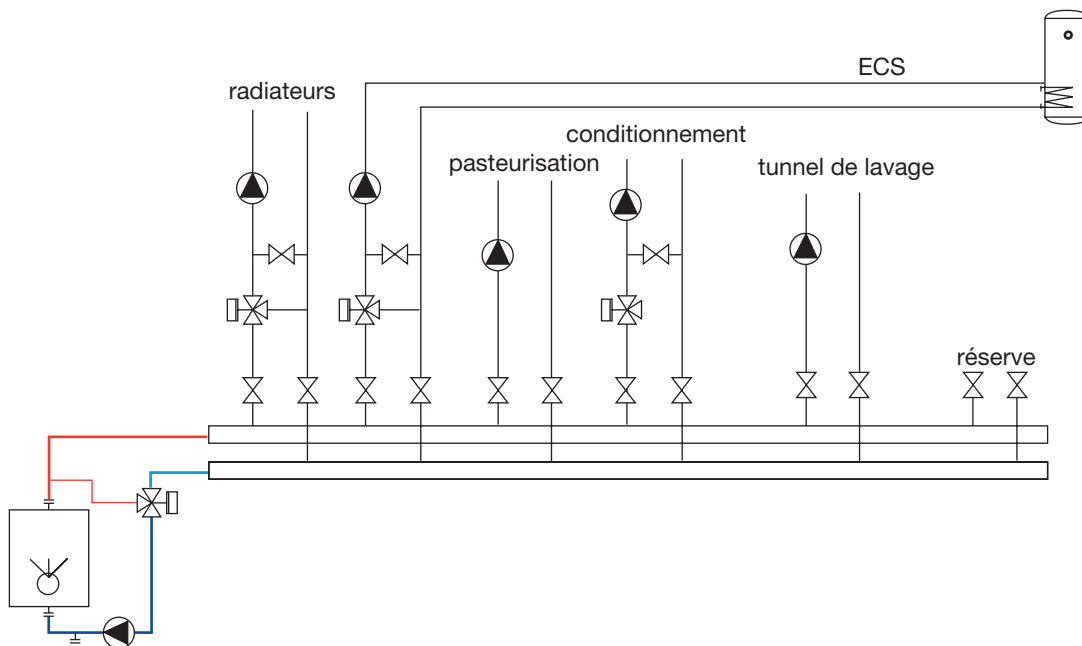


Figure 1. Schéma de principe de la chaufferie actuelle.

### III. CAMPAGNE DE MESURES SUR SITE

#### 3.1 Description des mesures réalisées

La période de mesure s'est étendue du 8 novembre au 27 décembre 2001.

Les mesures qui ont été installées sont les suivantes :

- mesure de la température extérieure;
- mesure du taux de charge et du nombre d'enclenchements petite flamme;
- mesure du taux de charge et du nombre d'enclenchements grande flamme;
- nombre d'impulsions compteur électrique eau glacée;
- nombre d'impulsions compteur électrique exploitation.

Les mesures de température et sur la chaudière sont des mesures horaires, alors que les mesures électriques sont des mesures quart-horaires.

La figure qui suit présente de façon schématique les mesures installées sur le site.

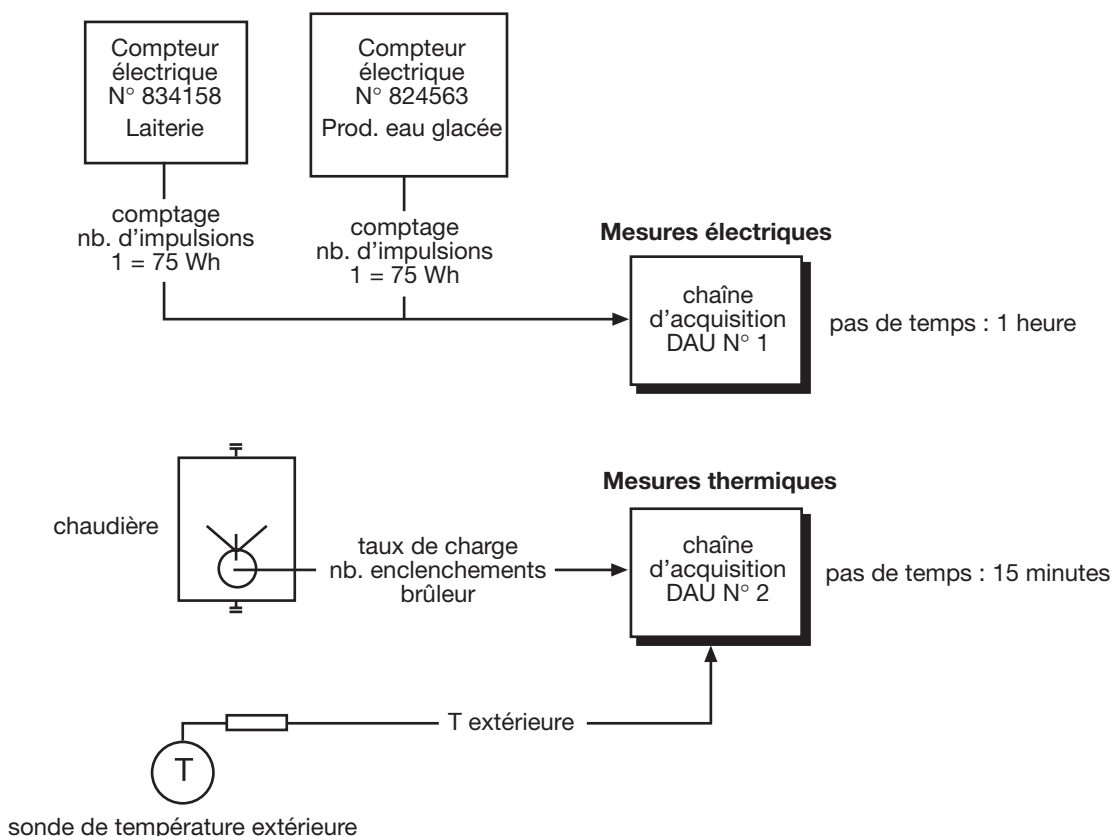
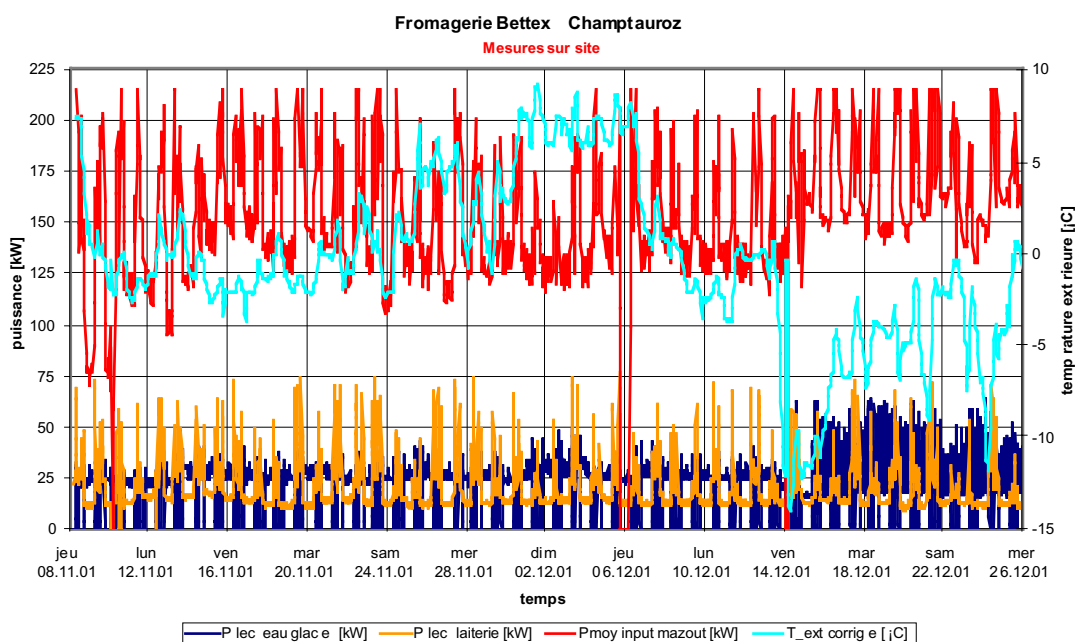


Figure 2. Mesures installées sur site - principe.

### 3.2 Mesures

Le graphique qui suit montre les profils de puissances thermique et électrique ainsi que la température extérieure durant la période de mesure.

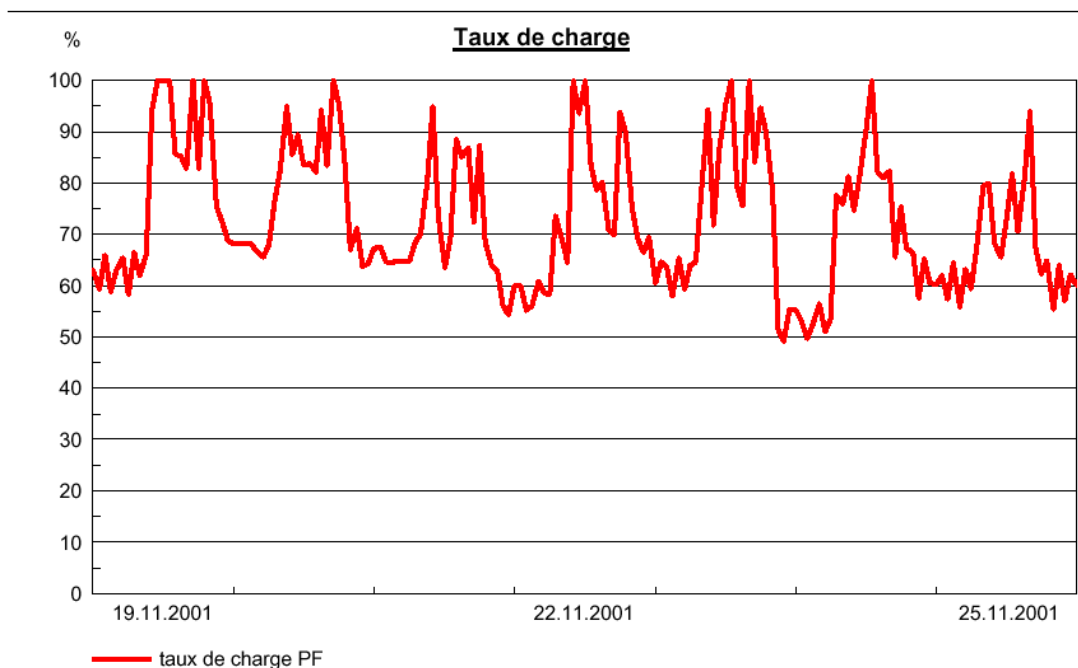


Graphique 1. Mesures sur site - puissances thermique et électrique et température extérieure.

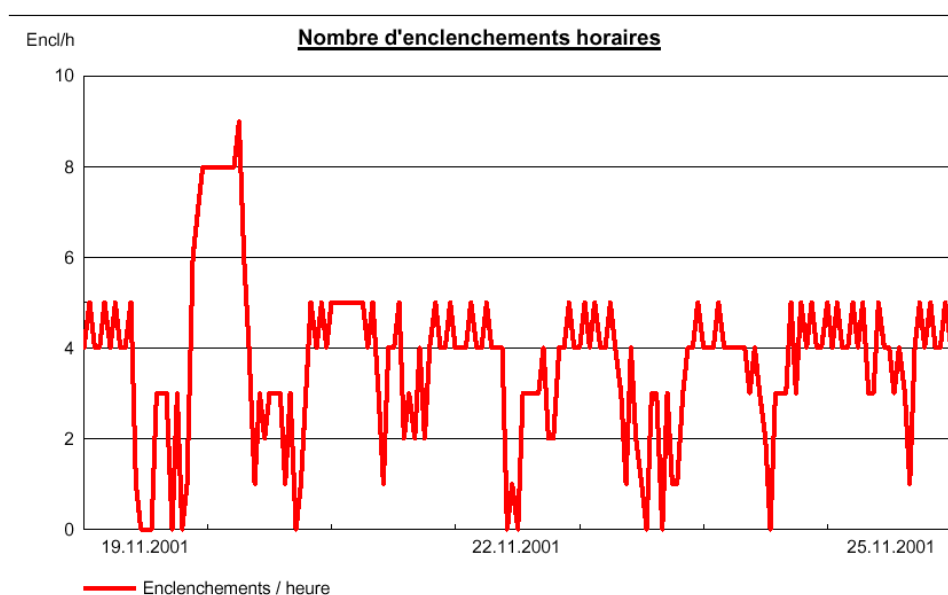
On remarque que la plage de températures rencontrées sur la période de mesure est relativement importante puisqu'elle s'étend de -15°C à 10°C. On a ainsi une bonne idée de la dépendance de la consommation en fonction de la saison (cf. paragraphe 3.3 "Analyse paramétrique"), sans toutefois avoir d'indications pour des périodes chaudes.

### 3.2.1 Consommation thermique

Les graphiques qui suivent illustrent les mesures réalisées sur la chaudière, c'est-à-dire le taux de charge de la petite flamme ainsi que le nombre d'enclenchements horaires; ceci sur une semaine.



Graphique 2. Taux de charge de la chaudière.

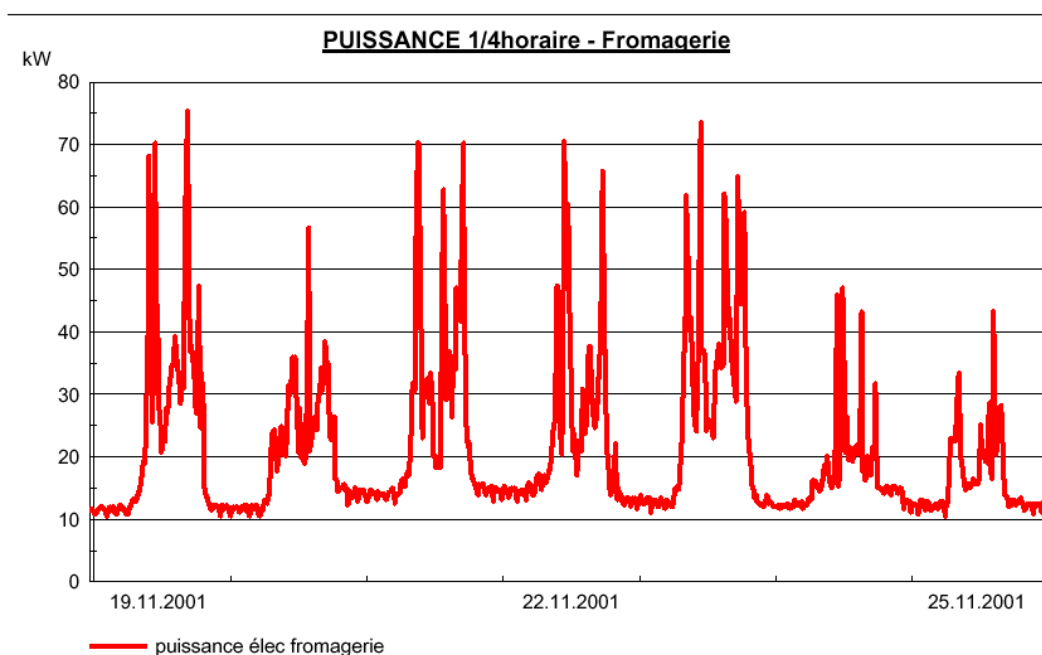


Graphique 3. Nombre d'enclenchements de la petite flamme.

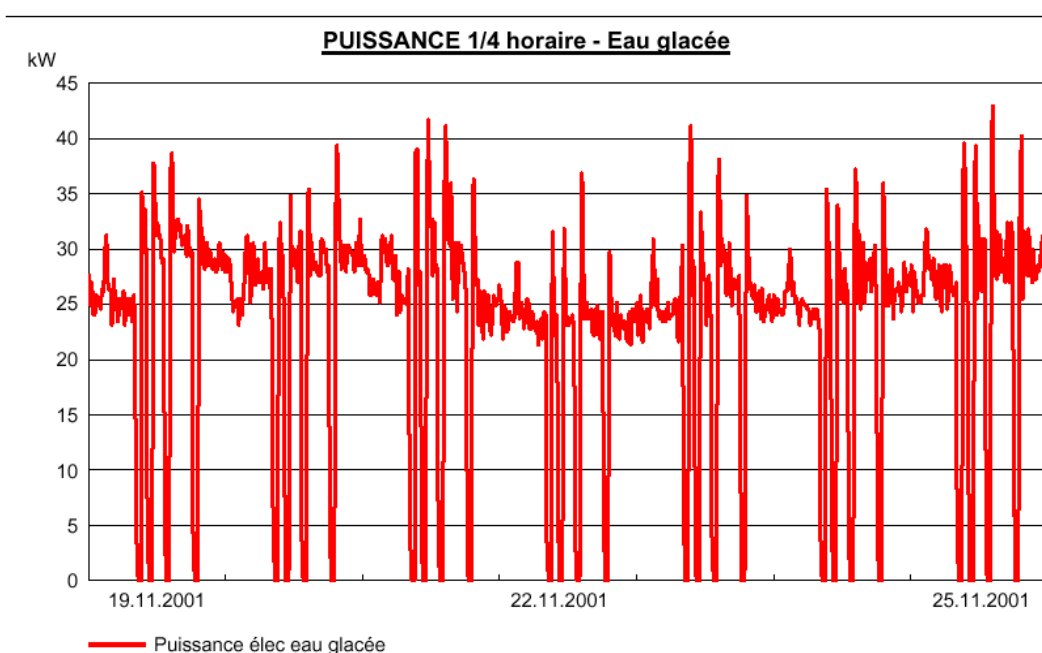
On constate que le taux de charge de la petite flamme est élevé, avec un taux moyen aux environs de 80%. On atteint régulièrement 100% de charge à la relance. Ceci nous indique que la chaudière n'a pas été trop surdimensionnée et qu'il reste un peu de marge avec la grande flamme qui n'est pas encore en service. Si l'exploitation de M. BETTEX devait encore s'agrandir et que la demande de chaleur augmente, il faudrait alors mettre en service la grande flamme.

### 3.2.2 Consommation électrique

Les graphiques qui suivent illustrent les puissances électriques (pour l'exploitation et pour la production d'eau glacée) selon les mesures réalisées sur site, ceci sur une semaine.



Graphique 4. Puissance électrique exploitation.



Graphique 5. Puissance électrique production eau glacée.

Sur le graphique 4, on observe une puissance électrique de base de 12 kW environ et un profil journalier répétitif tout au long de la semaine, avec toutefois une demande moindre le mardi, samedi et dimanche. Il y a d'importantes pointes, jusqu'à 75 kW vers 9h et vers 17h, avec éventuellement des pointes moins importantes entre deux. Il serait intéressant de déterminer ce que représente les 12 kW de ruban et si cette consommation résiduelle lorsqu'il n'y a pas de production pourrait être supprimée ou tout au moins réduite ? On peut aussi se poser la question s'il était possible, afin de réduire l'importance des pointes, de démarrer les machines ou les installations de façon progressive et non pas simultanée ?

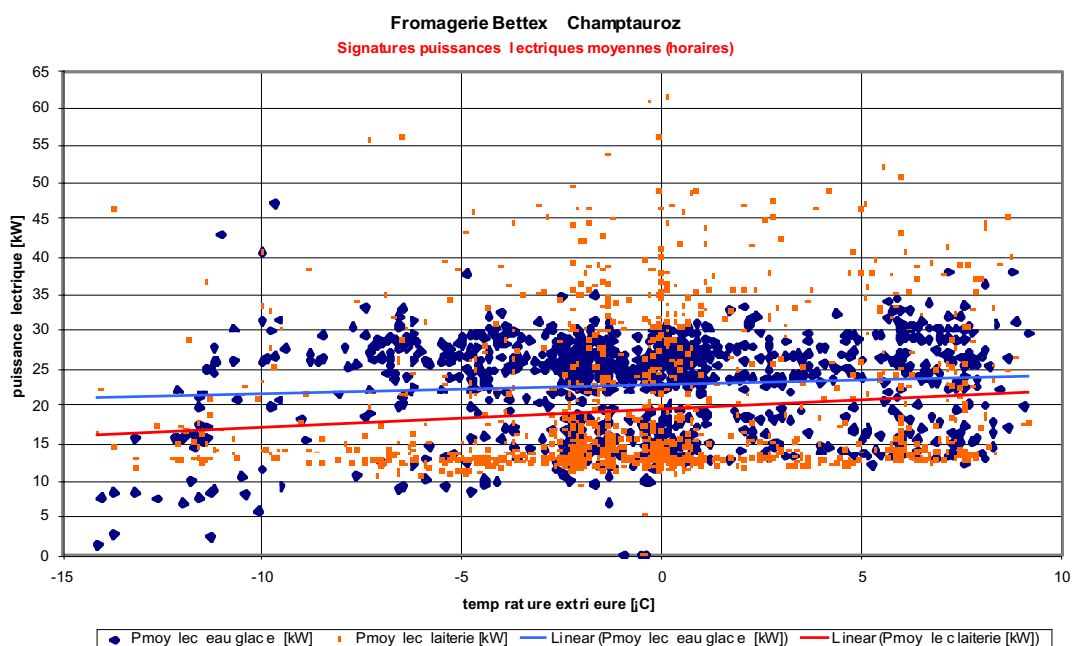
Sur le graphique 5, on remarque les interruptions d'alimentation électrique vu que la production d'eau glacée est en tarif interruptible. Les interruptions d'alimentation ont toujours lieu durant les mêmes périodes (du moins lors de cette semaine), c'est-à-dire de 8h30 à 9h, de 10h30 à 11h, de 13h30 à 14h et de 18h30 à 19h, soit un total de 2 heures par jour. On peut également remarquer l'appel de puissance suite à chaque interruption, avec des pointes jusqu'à 42 kW environ. Hormis ces pointes, la puissance électrique pour la production d'eau glacée est assez stable avec une puissance moyenne d'environ 27 kW.

### 3.3 Analyse paramétrique

#### 3.3.1 En fonction de la saison

Comme nous l'avons déjà mentionné, la plage de températures rencontrées durant la période de mesure est assez large (de -15°C à 10°C) pour nous donner une idée de la dépendance des consommations électrique et thermique en fonction de la température extérieure, autrement dit selon la saison.

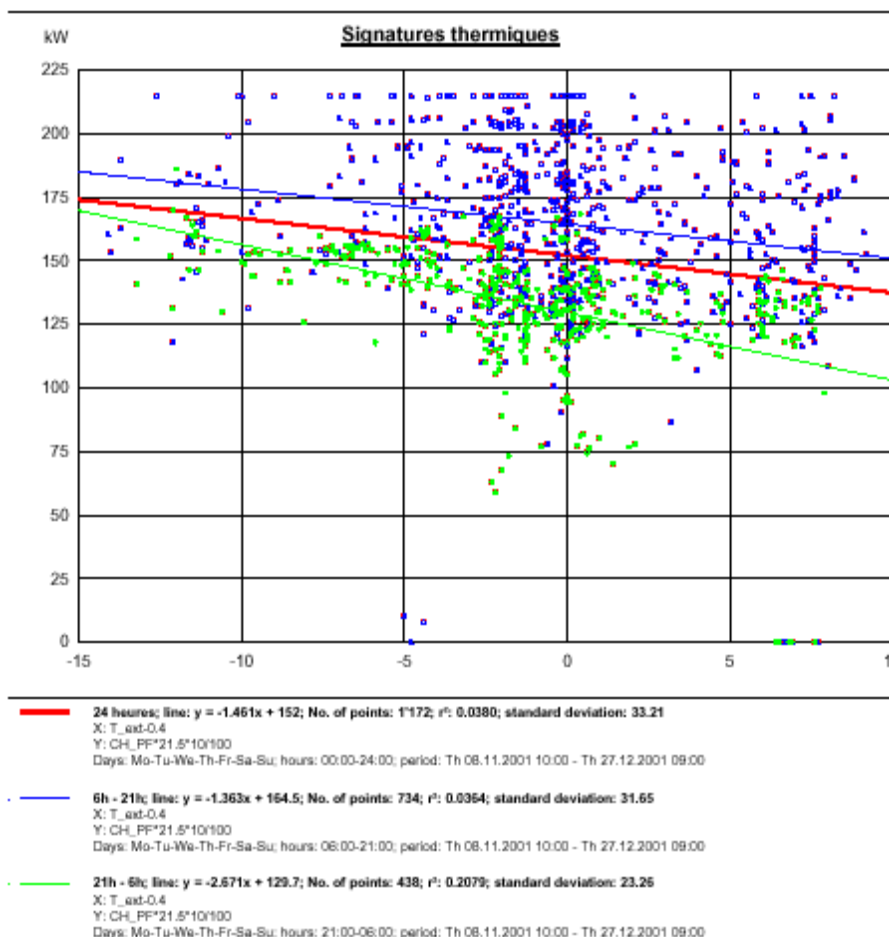
Le graphique qui suit présente la signature des puissances électriques, pour l'exploitation d'une part et pour la production d'eau glacée d'autre part. Pour disposer du même pas de temps horaire que pour les mesures de température, nous avons calculé une puissance électrique horaire moyenne à partir des mesures quart-horaires.



Graphique 6. Signatures horaires des puissances électriques moyennes.

Malgré l'importante dispersion des points, on note aisément que la température extérieure n'a pas ou presque d'influence sur la demande électrique, du moins sur cette plage de températures. Afin de réduire la dispersion des points, on présente au graphique 8 les mêmes signatures, mais en terme de consommations journalières selon la température moyenne journalière. On constate que les points s'alignent très bien sur une horizontale, ce qui confirme que la consommation électrique est indépendante de la température extérieure sur la plage concernée. De plus, on observe que la consommation journalière est d'environ 500 kWh pour la production d'eau glacée comme pour l'exploitation.

Le graphique qui suit présente la signature thermique de l'exploitation, c'est-à-dire la puissance thermique consommée par la chaudière (input mazout) en fonction de la température extérieure (valeurs horaires).

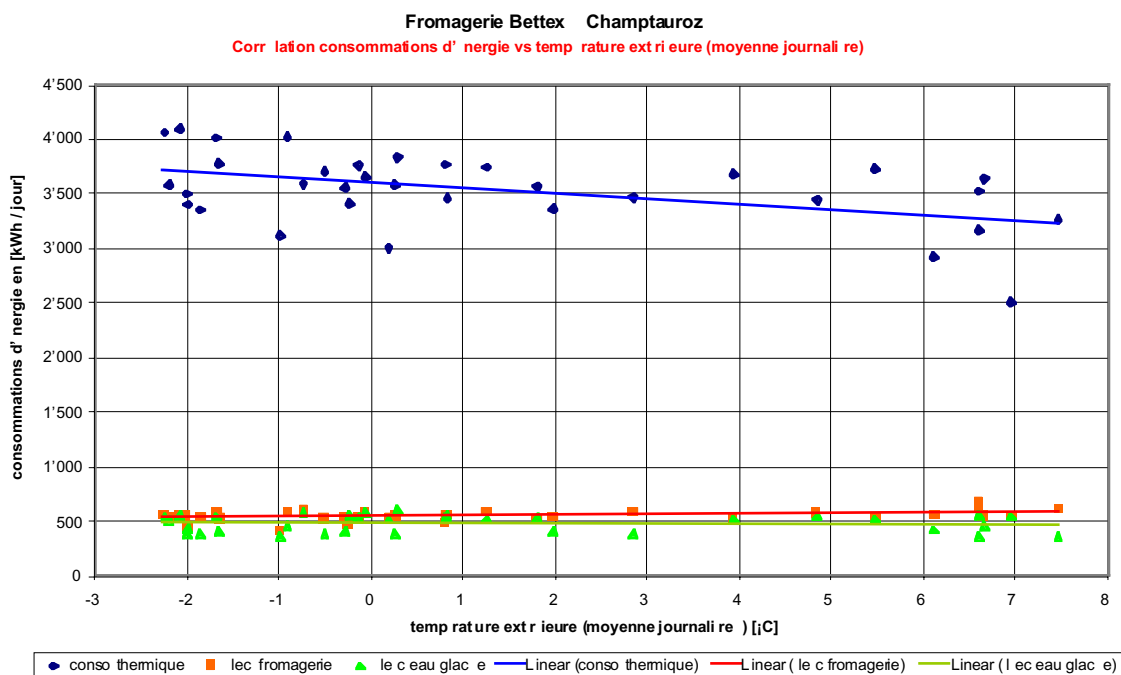


**Graphique 7. Signature puissance thermique horaire.**

Tout comme pour l'électricité, on observe une importante dispersion des points (valeurs horaires), mais on constate tout de même une très faible dépendance de la demande thermique en fonction de la température extérieure. La courbe rouge tient compte de toutes les valeurs (sur 24 heures), la courbe bleue considère les mesures entre 6h et 21h (durant la production de l'exploitation) alors que la courbe verte considère les mesures entre 21h et 6h (lorsqu'il n'y a plus d'activités de production). On constate que la courbe verte est plus inclinée, ce qui signifie que la demande de chaleur est fonction de la température extérieure lorsqu'il n'y a pas de production puisque à ce moment la part de chauffage est proportionnellement plus importante. Lorsque la

production fonctionne, la courbe est plus plate, indiquant ainsi une plus faible dépendance avec la température extérieure.

Afin de réduire la dispersion des points, on présente au graphique 8 la même signature, mais en terme de consommation journalière selon la température moyenne journalière. On constate que les points s'alignent très bien sur une droite de faible pente, ce qui confirme que la consommation thermique est quasi indépendante de la température extérieure sur la plage concernée. De plus, on observe que la consommation journalière est d'environ 3500 kWh sous forme de mazout.



**Graphique 8. Signatures énergétiques en fonction de la température extérieure (moyennes journalières).**

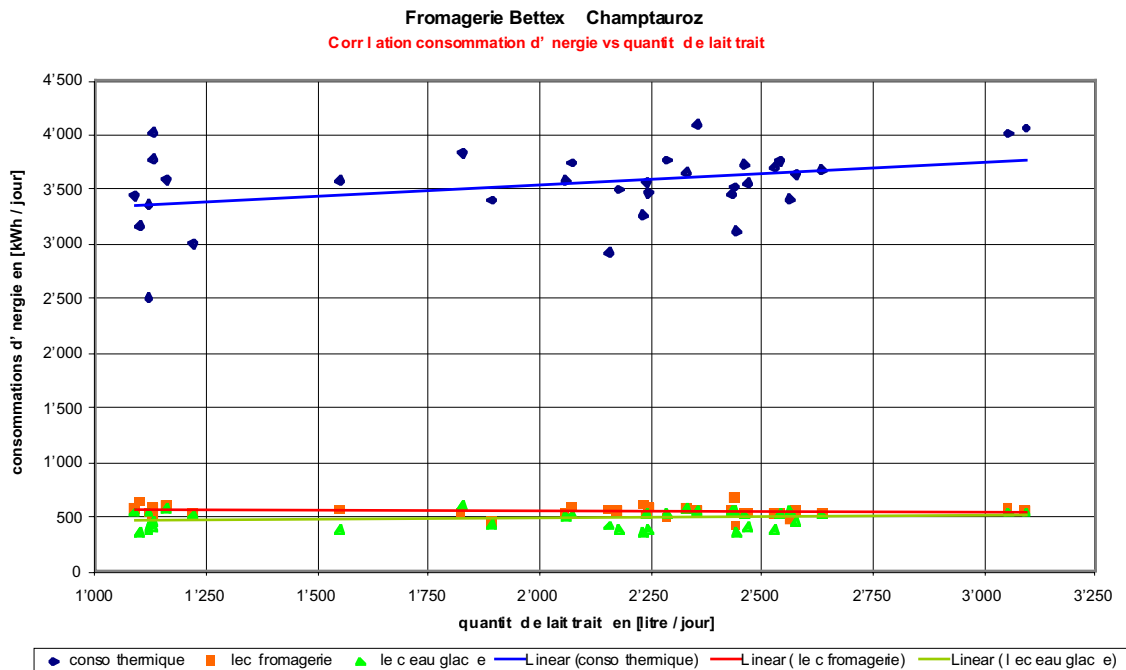
Avec les mesures réalisées sur site, nous avons à présent une bonne connaissance des besoins de l'exploitation et de l'influence saisonnière sur ces derniers. Ainsi, la consommation de chaleur semble stable quelle que soit la température extérieure, et les consommations électriques également pour des températures extérieures jusqu'à 10°C environ. Il nous manque encore des indications pour des températures élevées, mais pour ceci il faudrait refaire une campagne de mesure en été.

### 3.3.2 En fonction de la production

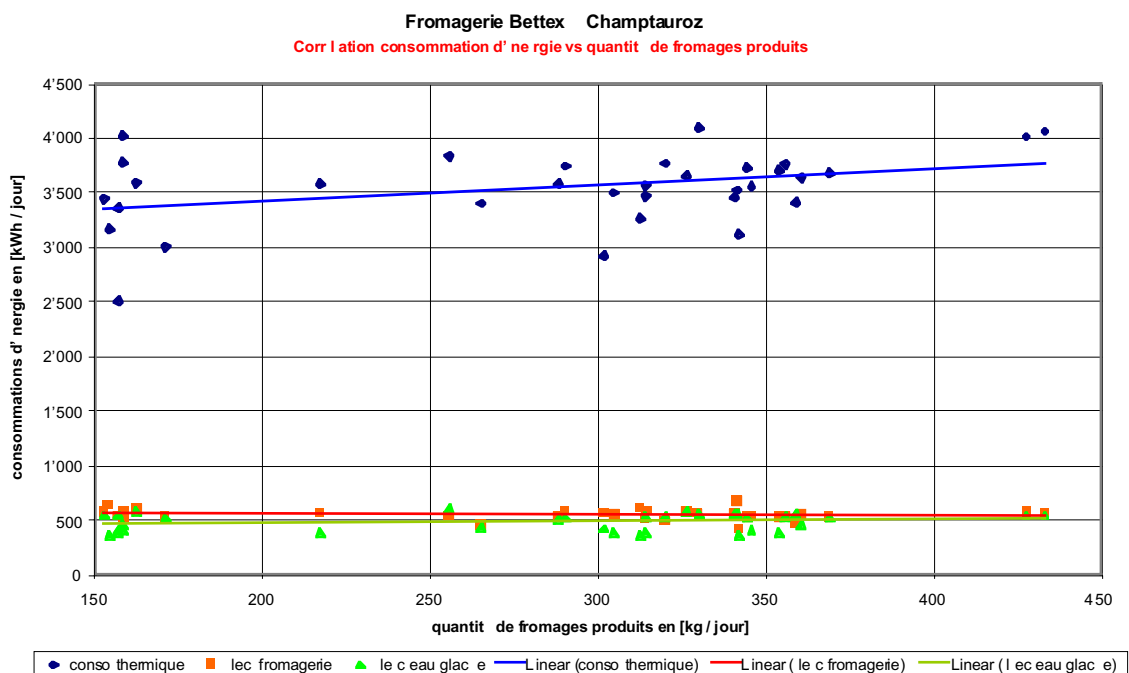
Sur la période de mesure, M. BETTEX nous a fourni des indications sur la production journalière de l'exploitation :

- quantité de lait frais;
- quantité de lait congelé introduit;
- quantité de fromage produit.

Comme avec la température extérieure, nous avons étudié l'influence des quantités de lait traité et de fromage produit sur les consommations énergétiques de l'exploitation. Ne disposant que de valeurs journalières pour l'activité de l'exploitation, nous avons calculé des consommations thermique et électriques journalières. Les graphiques qui suivent présentent les courbes ainsi obtenues.



**Graphique 9. Influence de la quantité de lait traité.**



**Graphique 10. Influence de la quantité de fromages produits.**

Sur ces deux graphiques, on observe que les consommations électriques (production d'eau glacée et exploitation) ne sont pas dépendantes de la production de l'exploitation. En effet, quelle que soit la quantité de lait traité (entre 1000 et 3000 litres) ou de fromages produits (entre 150 et 450 kg), la consommation électrique est stable. Quant à la consommation de chaleur, elle augmente légèrement avec la production de l'exploitation, mais cette tendance n'est pas tellement marquée.

Avec une telle indépendance de la consommation énergétique en fonction de la production, on peut se poser la question quant à l'efficacité de la production et de la distribution des énergies ? En effet, une aussi faible dépendance de la consommation avec la production (notamment de la chaleur) nous indique que les pertes représentent une bonne partie de cette consommation.

## **IV. BESOINS DE L'EXPLOITATION**

---

### **4.1 Hypothèses de calcul**

Comme nous l'avons déjà mentionné, il nous manque des mesures de la consommation pour des périodes chaudes, donc en été. Pour avoir des profils annuels de consommation, nous sommes obligés de faire quelques hypothèses sur les consommations estivales.

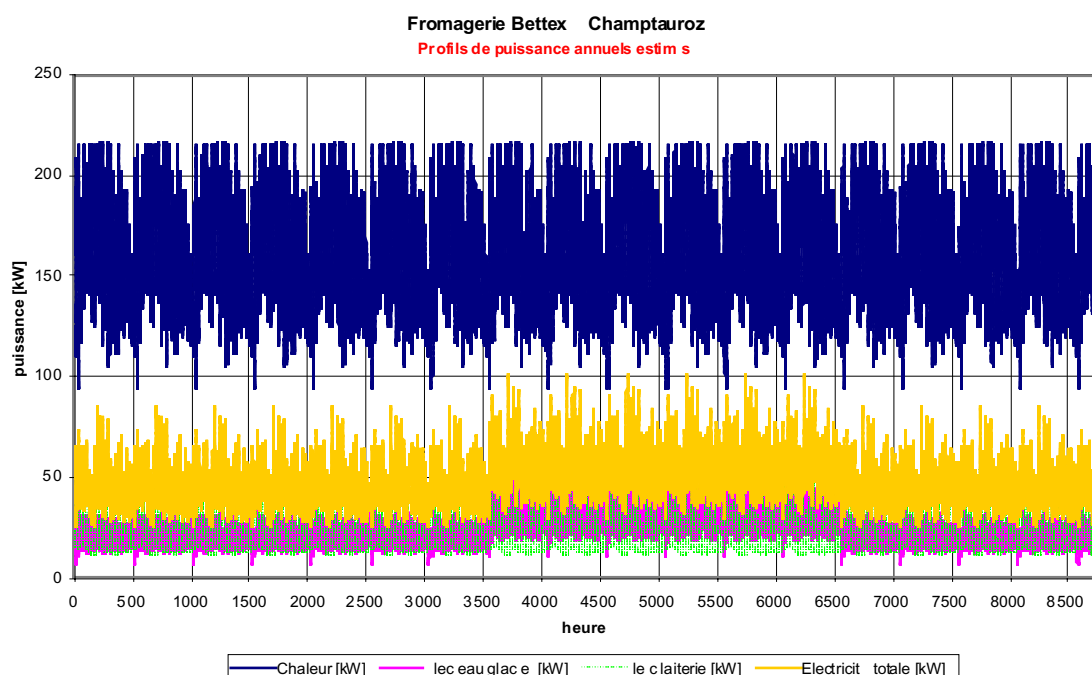
Selon les informations recueillies auprès de M. BETTEX et selon son expérience de l'exploitation, on peut admettre que la demande de chaleur est constante tout au long de l'année. Pour la demande d'électricité, les besoins de l'exploitation sont également constants tout au long de l'année, par contre les besoins pour la production de l'eau glacée sont plus élevés en été lors de périodes chaudes. D'après M. BETTEX et selon les relevés d'électricité des années précédentes (avec une installation consommant moins de froid), on peut estimer l'augmentation de consommation électrique pour la production de froid à 50 % environ.

### **4.2 Profils annuels de consommation**

Selon les mesures réalisées sur site et avec les hypothèses émises au paragraphe 4.1 "Hypothèses de calcul", on a établi les profils annuels de consommations énergétiques qui sont présentés au graphique qui suit.

Pour les consommations thermique et électrique pour l'exploitation, on a répété les mesures sur site sur une année.

Pour la consommation électrique pour la production d'eau glacée, on a répété les mesures sur site de janvier à mai et d'octobre à décembre, et on a augmenté cette consommation de 50 % de juin à septembre.



**Graphique 11. Profils annuels de consommations.**

### 4.3 Consommations annuelles

Avec les profils annuels de consommations présentés au paragraphe précédent, on peut établir le bilan annuel de consommations énergétiques de l'exploitation de M. BETTEX.

Les consommations annuelles sont les suivantes (avec les hypothèses exposées précédemment) :

- chaleur : 1334 MWh/an avec une pointe de 215 kW;
- électricité exploitation : 181 MWh/an avec une pointe de 62 kW;
- électricité production d'eau glacée : 237 MWh/an avec une pointe de 52 kW;

## V. INSTALLATION D'UN GROUPE CHALEUR-FORCE

---

### 5.1 Production du biogaz

L'étude de production de biogaz à partir des fumiers disponibles, réalisée par le bureau EREP, donne les chiffres suivants :

- tonnage de fumier traité : 7570 tonnes par an;
- production brute de biogaz : 554'750 m<sup>3</sup> par an à 60% de méthane;

- autoconsommation du procédé de production de biogaz : 2270 kWh thermique par jour (fournis par une chaudière à gaz installée à proximité), soit 95 kW moyens; 622 kWh électrique par jour (30 kWh/tonne de déchet traité), soit 26 kW moyens;
- production nette de biogaz disponible pour alimenter le groupe chaleur-force : 416'000 m<sup>3</sup> par an à 60% de méthane;
- pouvoir calorifique inférieur du biogaz : 21.5 MJ/m<sup>3</sup>, soit 5,97 kWh/m<sup>3</sup>.

L'alimentation du digesteur devant être aussi régulière que possible, on peut admettre que la production de biogaz se répartit de façon uniforme tout au long de l'année.

Quant à l'autoconsommation de l'installation de production du biogaz, les données dont nous disposons sont insuffisantes pour une analyse fine. En effet, les consommations annoncées sont les données du fabricant, soit les puissances de pointe. Nous avons donc très peu d'éléments pour estimer la répartition de ces consommations dans le temps. Par un calcul rapide de l'appel de puissance thermique lors de l'introduction des fumiers (19 tonnes en 4 heures), représentant 140 kW de pointe, et une estimation des pertes à entretenir le reste du temps (environ 20 kW), on obtient une consommation annuelle de chaleur d'environ 370 MWh (ce qui représente une consommation de 62'000 m<sup>3</sup> de biogaz par année), soit une puissance moyenne de 42 kW au lieu des 95 kW donnés par le fabricant. Ces besoins de chaleur variables ont une influence directe sur la quantité de biogaz disponible pour alimenter le GCF.

Quant aux besoins en électricité, une incertitude subsiste encore pour les mêmes raisons. Ne disposant que de peu d'informations, il est difficile d'estimer un profil de consommation. Par analogie avec la demande de chaleur, on peut estimer que les besoins électriques du procédé représentent entre 26 kW et 12 kW moyens. Il faudra donc tenir compte de cette fourchette de besoins électriques de l'installation de production de biogaz pour apprécier réellement le potentiel de récupération sur la production du GCF. Ces aspects sont présentés au paragraphe 5.3.

Afin d'évaluer au mieux le potentiel de récupération sur le biogaz, nous allons présenter une fourchette de valeurs pour tenir compte de l'incertitude sur les valeurs transmises. On va donc dimensionner un groupe chaleur-force à partir des deux scénarios suivants :

- 1)** biogaz disponible 416'000 m<sup>3</sup> par an, consommation électrique du procédé de production 26 kW moyens;
- 2)** biogaz disponible 490'000 m<sup>3</sup> par an, consommation électrique du procédé de production 12 kW moyens.

## **5.2 Dimensionnement et caractéristiques du GCF**

Selon les estimations présentées au paragraphe précédent, on dispose entre 416'000 et 490'000 m<sup>3</sup> de biogaz par an pour alimenter un groupe chaleur-force, soit une énergie disponible entre 2500 et 2940 MWh/an.

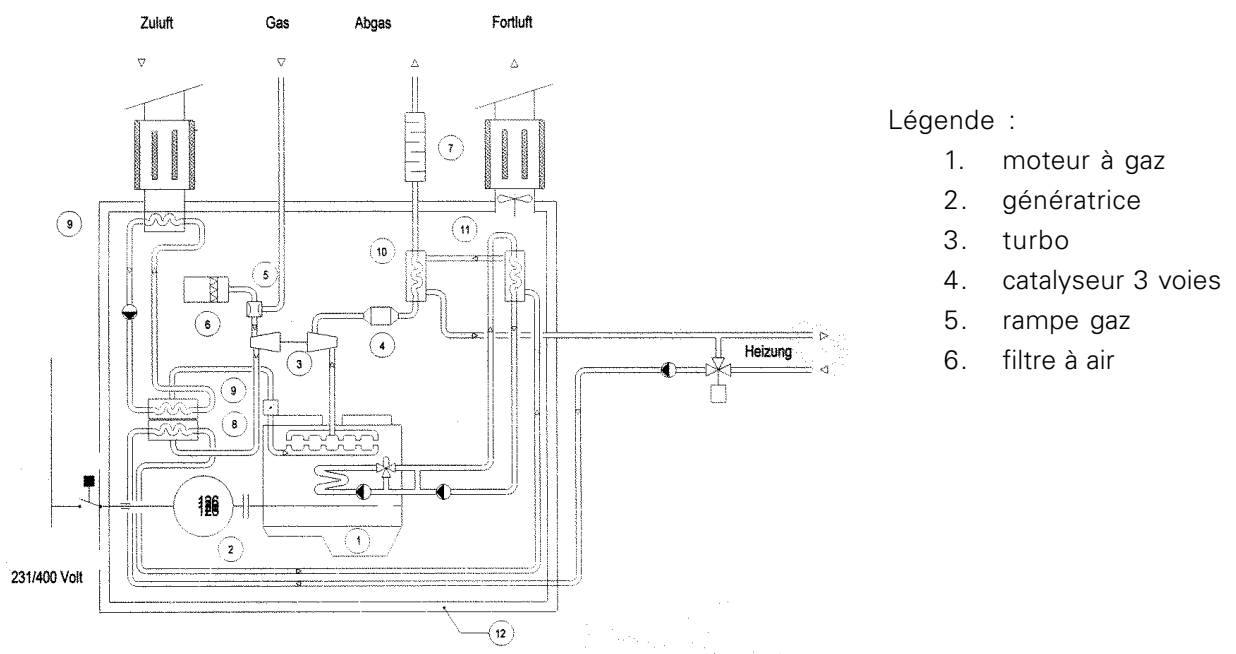
Le procédé de digestion devant être le plus régulier possible et le stockage du biogaz étant limité à 100 m<sup>3</sup> pour des raisons de coûts, la solution technique la plus simple et la plus réaliste consiste à installer un GCF qui fonctionne en permanence afin de consommer tout le biogaz

produit. Il s'agira par la suite de vérifier l'adéquation de la production de chaleur et d'électricité du groupe avec les besoins de l'exploitation de M. BETTEX.

Avec ces divers éléments, il est donc possible d'alimenter en continu un GCF avec une puissance absorbée (puissance nominale, énergie primaire biogaz) située entre 284 et 334 kW. En considérant des rendements standards, soit 60% thermique, 30% électrique et 10% de pertes, on peut déduire les caractéristiques approximatives du GCF suivantes :

- puissance absorbée sous forme de gaz : 284 à 334 kW;
- puissance thermique fournie : 170 à 200 kW;
- puissance électrique fournie : 85 à 100 kW.

La figure ci-dessous illustre le schéma de principe d'un groupe chaleur-force similaire.



**Figure 3. Schéma de principe GCF.**

### **5.3 Adéquation avec les besoins de l'exploitation**

Maintenant que l'on connaît les caractéristiques approximatives du GCF que l'on peut alimenter avec le biogaz produit, il s'agit de vérifier l'adéquation de l'énergie produite par le GCF avec les besoins de l'exploitation de M. BETTEX.

Au paragraphe 4, "Besoins de l'exploitation", on a présenté les besoins de l'exploitation. Les consommations annuelles sont les suivantes :

- chaleur : 1334 MWh/an avec une pointe de 215 kW;
- électricité (total exploitation et eau glacée) : 418 MWh avec une pointe de 101 kW.

Avec un GCF dimensionné au paragraphe précédent, les productions de chaleur et d'électricité annuelles seraient les suivantes :

- chaleur : 1491 à 1'756 MWh, soit 170 ou 200 kW en continu;
- électricité : 745 à 878 MWh, soit 85 ou 100 kW en continu.

On constate que l'on a un surplus de production du GCF, par contre la puissance de pointe fournie par le GCF est trop juste, que ce soit en chaleur ou en électricité.

Pour les besoins en chaleur, comme M. BETTEX a besoin d'eau à haute température pour la pasteurisation (soit environ 95-100°C) et que ce niveau de température est difficilement atteignable avec un GCF, le principe de production de chaleur serait le suivant :

- 1.** on utilise en priorité la chaleur produite par le GCF;
- 2.** on fournit l'appoint nécessaire avec la chaudière à mazout existante pour satisfaire la pointe ou encore la demande à haute température;
- 3.** l'excédent de chaleur produite par le GCF pourrait être utilisé pour chauffer la maison d'habitation toute proche de l'exploitation (conduite à distance à créer sur environ 30 m) ou en dernier recours être refroidi dans l'atmosphère.

Pour l'électricité, en supprimant la pointe de puissance pour la production d'eau glacée due actuellement au courant interruptible (appel de puissance suite à chaque interruption), il serait possible de satisfaire les besoins de l'exploitation avec la production du GCF, tant en consommation qu'en puissance de pointe. Le surplus d'électricité produite par le GCF serait reprise par la Romande Energie (fournisseur actuel de M. BETTEX) et injectée sur le réseau.

Mais il ne faut pas oublier les besoins propres à la production du biogaz en électricité, qui viendraient s'ajouter à la consommation de l'exploitation de M. BETTEX. Selon les données d'EREP et une estimation grossière de la plage d'incertitude, l'autoconsommation du procédé de digestion et de production du biogaz représente une puissance entre 26 et 12 kW en continu. Ceci représente une consommation annuelle entre 227 et 105 MWh. Ce besoin supplémentaire en électricité dû à l'installation de production du biogaz doit être considéré afin de définir plus précisément la quantité d'électricité qui pourrait être injectée sur le réseau. Avec ce nouveau consommateur, le GCF ne parvient plus à satisfaire les pointes de consommation. Le principe de fonctionnement serait donc le suivant :

- 1.** on utilise en priorité l'électricité produite par le GCF;
- 2.** lorsque l'on ne parvient pas à satisfaire la demande avec le GCF, le réseau fournit l'appoint nécessaire;
- 3.** lorsqu'il y a un surplus de production du GCF, ce surplus est injecté sur le réseau.

## VI. ASPECTS FINANCIERS

### 6.1 Frais énergétiques annuels

En considérant un coût moyen pour la chaleur de 5 cts/kWh (combustible mazout), les frais de M. BETTEX en chaleur sont de 67'000 CHF/an environ.

Le tableau ci-dessous présente les tarifs de M. BETTEX pour l'électricité ainsi que les périodes correspondantes aux différents tarifs.

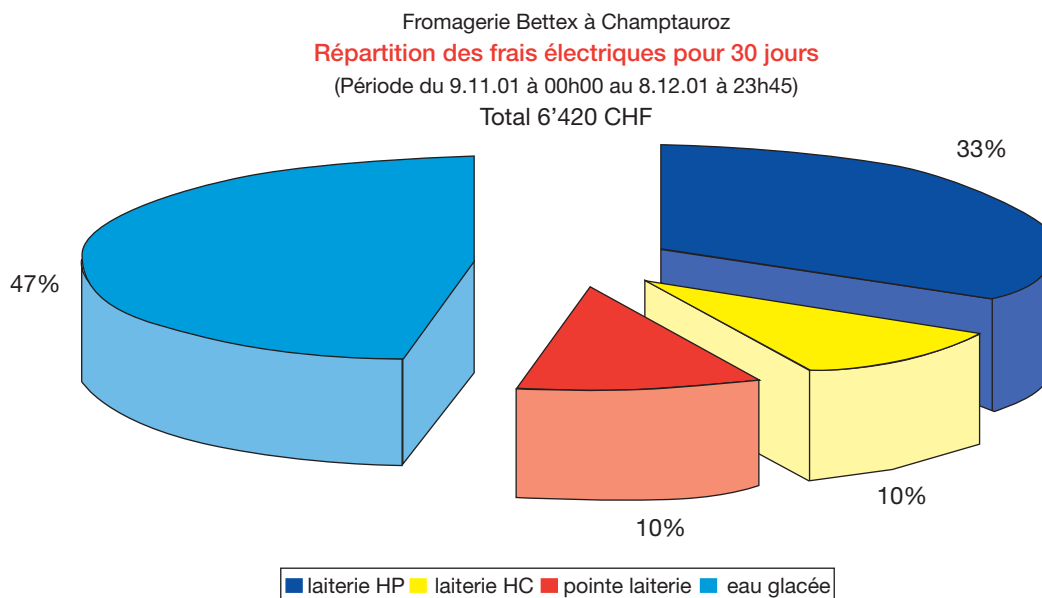
tarif électricité payé par M. Bettex	
HP	21.62 cts/kWh
HC	12.93 cts/kWh
pointe	8.59 CHF/kW
tarif interruptible	18.19 cts/kWh

t : avril septembre  
 hiver : octobre mars  
 HP : Lu-Ve 7h-20h, Sa-Di 10h-13h et 17h-21h  
 HC : Lu-Ve 20h-7h, Sa-Di 13h-17h et 21h-10h

**Tableau 1. Tarifs électricité consommée par M. Bettex et périodes tarifaires.**

Selon ces tarifs, les frais annuels d'électricité de M. BETTEX se montent à 83'000 CHF/an, soit 34'000 CHF pour les kWh pour l'exploitation, 43'000 CHF pour les kWh pour la production d'eau glacée et 6000 CHF pour les pointes mensuelles de l'exploitation.

Pour la période du 9 novembre au 8 décembre 2001 (30 jours) et selon les mesures sur site, les frais mensuels d'électricité se répartissent selon les proportions présentées par le graphique qui suit.



**Graphique 12. Répartition des frais mensuels d'électricité.**

On constate que les frais électriques pour la production d'eau glacée représentent près de 50% des frais électriques mensuels (pour une période froide).

Les frais énergétiques annuels de M. BETTEX (avec l'exploitation actuelle), se montent donc à environ 150'000 CHF/an, montant qu'il pourrait économiser avec l'installation d'un groupe chaleur-force puisque, dans ces conditions, l'énergie qu'il consommerait serait fournie par la combustion du biogaz.

## 6.2 Vente du surplus d'électricité

Avec l'installation d'un groupe chaleur-force décrit au paragraphe précédent et d'après le profil annuel de consommations électriques (en tenant compte des besoins propres pour la production du biogaz), il serait possible d'injecter le surplus électrique sur le réseau de distribution. Il est donc intéressant de connaître les gains possibles par la vente de cette électricité.

Selon les informations fournies par la Romande Energie, on présente dans le tableau suivant les tarifs pratiqués pour l'électricité reprise sur le réseau pour une installation alimentée par une source d'énergie renouvelable et mise en service après 1999, ce qui serait le cas pour l'installation de M. BETTEX.

tarif l'electricité reprise par Romande Energie		
t - HP	14.93	cts/kWh
t - HC	12.82	cts/kWh
hiver - HP	22.39	cts/kWh
hiver - HC	14.93	cts/kWh

**Tableau 2. Tarifs pour l'électricité injectée sur le réseau.**

Selon ces tarifs et la quantité d'électricité injectée sur le réseau (différence entre l'électricité produite par le GCF et la consommation de l'exploitation), la vente de ce surplus pourrait rapporter entre 17'000 et 59'000 CHF/an à M. BETTEX.

## 6.3 Coûts d'un groupe chaleur-force

A ce stade de l'étude et en considérant que les investissements pour l'installation d'un groupe chaleur-force ne représentent qu'environ 7% des investissements nécessaires à l'installation de la production du biogaz, on présente ici qu'une estimation grossière des coûts pour l'installation d'un GCF.

Selon l'offre dont on dispose pour l'installation d'un GCF de 100 kW électrique, l'investissement pour une telle installation se monte à quelques 250'000 CHF HT. Dans ce prix sont inclus le raccordement au chauffage, le refroidissement de secours, le transport et le montage.

Les coûts d'entretien et de maintenance du groupe peuvent être calculés de la façon suivante. Pour un service d'entretien total, c'est-à-dire une garantie de fonctionnement pour une durée de vie d'environ 20 ans, les frais du service se montent à 3,6 cts/kWh électrique produit. Ce qui signifie, pour le groupe chaleur-force en question, de frais annuels entre 27'000 et 32'000 CHF.

## **VII. SYNTHÈSE DES RESULTATS**

---

### **7.1 Résumé des principaux résultats**

Les tableaux des pages qui suivent présentent de façon résumée les principales caractéristiques de l'exploitation de M. BETTEX ainsi que les principaux résultats de l'étude, ceci pour les deux scénarios considérés (cf. paragraphe 5.1).

Potentiel de récupération sur le biogaz

quantité annuelle	416'000	m <sup>3</sup> /an
pouvoir calorifique du biogaz	5.97	kWh/m <sup>3</sup>
quantité d'énergie disponible	2'484	MWh/an

Caractéristiques du groupe chaleur-force

nb. heures de fonctionnement annuelles	8'760	h/an
puissance input combustible	284	kW
rendement électrique	30%	
rendement thermique	60%	
pertes	10%	
puissance électrique fournie par le groupe	85	kW
puissance thermique fournie par le groupe	170	kW

Données de consommations actuelles selon mesures et hypothèses sur distribution annuelle

consommation thermique	1'334'075	kWh/an
puissance thermique maximum	215	kW
Hyp : conso stable toute l'année, idem que lors période de mesures		
consommation électrique fromagerie	180'817	kWh/an
puissance électrique fromagerie maximum	61	kW
Hyp : conso stable toute l'année, idem que lors période de mesures		
consommation électrique eau glacée	237'324	kWh/an
puissance électrique eau glacée maximum	52	kW
Hyp : augmentation de 50% par rapport aux mesures pour juin-septembre, sinon idem mesures		

Données économiques - prix des différentes énergies

tarif pour la chaleur (mazout)	5	cts/kWh
tarif électricité payée par M. Bettex		
HP	21.62	cts/kWh
HC	12.93	cts/kWh
pointe	8.59	CHF/kWh
tarif interruptible	18.19	cts/kWh
tarif électricité reprise par Romande Energie		
t - HP	14.93	cts/kWh
t - HC	12.82	cts/kWh
hiver - HP	22.39	cts/kWh
hiver - HC	14.93	cts/kWh

Production du groupe chaleur-force

chaleur totale	1'490'667
chaleur dissipée (surplus par rapport à la consommation du site)	156'592
électricité totale	745'333
électricité injectée sur le réseau (surplus de la conso du site)	100'092

Aspects financiers

frais actuels en énergie de M. Bettex	
chaleur	66'704
électricité fromagerie (y compris pointe)	40'496
électricité eau glacée	43'169
TOTAL frais actuels en énergie	150'369
frais liés au groupe chaleur-force	
coûts investissement groupe chaleur-force	220'000
coûts de maintenance du GCF	26'832
gains liés au groupe chaleur-force	
gains réalisables par la vente du surplus d'électricité	16'789
économies des frais actuels d'énergie	150'369
TOTAL gains réalisables	167'158

t : avril - septembre

hiver : octobre - mars

HP : Lu-Ve 7h-20h, Sa-Di 10h-13h et 17h-21h

HC : Lu-Ve 20h-7h, Sa-Di 13h-17h et 21h-10h

**Tableau 3. Résumé des principaux résultats – scénario N° 1 (autoconsommation prod. biogaz selon données EREP (cf. 5.1)).**

Potentiel de récupération sur le biogaz

quantité annuelle	490'000	m <sup>3</sup> /an
pouvoir calorifique du biogaz	5.97	kWh/m <sup>3</sup>
quantité d'énergie disponible	2'926	MWh/an

Caractéristiques du groupe chaleur-force

nb. heures de fonctionnement annuelles	8'760	h/an
puissance input combustible	334	kW
rendement électrique	30%	
rendement thermique	60%	
pertes	10%	
puissance électrique fournie par le groupe	100	kW
puissance thermique fournie par le groupe	200	kW

Données de consommations actuelles selon mesures et hypothèses sur distribution annuelle

consommation thermique	1'334'075	kWh/an
puissance thermique maximum	215	kW
Hyp : conso stable toute l'année, idem que lors période de mesures		
consommation électrique fromagerie	180'817	kWh/an
puissance électrique fromagerie maximum	61	kW
Hyp : conso stable toute l'année, idem que lors période de mesures		
consommation électrique eau glacée	237'324	kWh/an
puissance électrique eau glacée maximum	52	kW
Hyp : augmentation de 50% par rapport aux mesures pour juin-septembre, sinon idem mesures		

Données économiques - prix des différentes énergies

tarif pour la chaleur (mazout)	5	cts/kWh
tarif Électricité payée par M. Bettex		
HP	21.62	cts/kWh
HC	12.93	cts/kWh
pointe	8.59	CHF/kW
tarif interruptible	18.19	cts/kWh
tarif Électricité reprise par Romande Energie		
t - HP	14.93	cts/kWh
t - HC	12.82	cts/kWh
hiver - HP	22.39	cts/kWh
hiver - HC	14.93	cts/kWh

Production du groupe chaleur-force

chaleur totale	1'755'833
chaleur dissipée (surplus par rapport à la consommation du site)	421'758
électricité totale	877'917
électricité injectée sur le réseau (surplus de la conso du site)	354'655

Aspects financiers

frais actuels en énergie de M. Bettex	
chaleur	66'704
électricité fromagerie (y compris pointe)	40'496
électricité eau glacée	43'169
TOTAL frais actuels en énergie	150'369
frais liés au groupe chaleur-force	
coûts investissement groupe chaleur-force	237'000
coûts de maintenance du GCF	31'605
gains liés au groupe chaleur-force	
gains réalisables par la vente du surplus d'électricité	58'845
économies des frais actuels d'énergie	150'369
TOTAL gains réalisables	209'215

t : avril - septembre  
 hiver : octobre - mars  
 HP : Lu-Ve 7h-20h, Sa-Di 10h-13h et 17h-21h  
 HC : Lu-Ve 20h-7h, Sa-Di 13h-17h et 21h-10h

Tableau 4. Résumé des principaux résultats – scénario N° 2 (autoconsommation prod. biogaz réduite selon estimation (cf. 5.1)).

## 7.2 Bilan énergétique - diagramme de flux

Afin d'avoir une vue plus synthétique des résultats, on présente un bilan énergétique sous la forme d'un diagramme de Sankey. Les figures qui suivent présentent ce diagramme de flux, ceci pour les deux scénarios considérés.

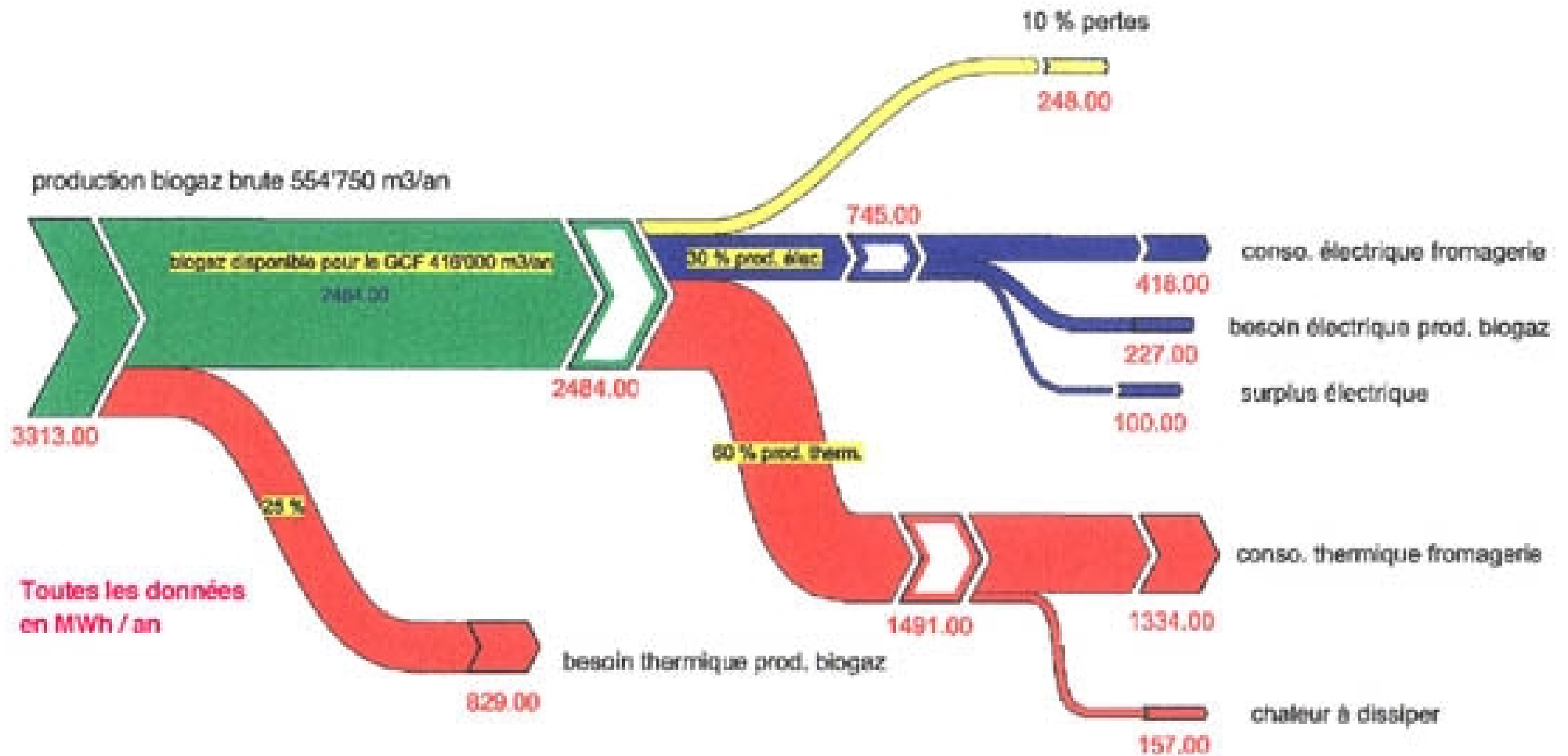


Figure 4. Diagramme de flux énergétique – scénario N° 1 (autoconsommation prod. biogaz selon données EREP (cf. 5.1)).

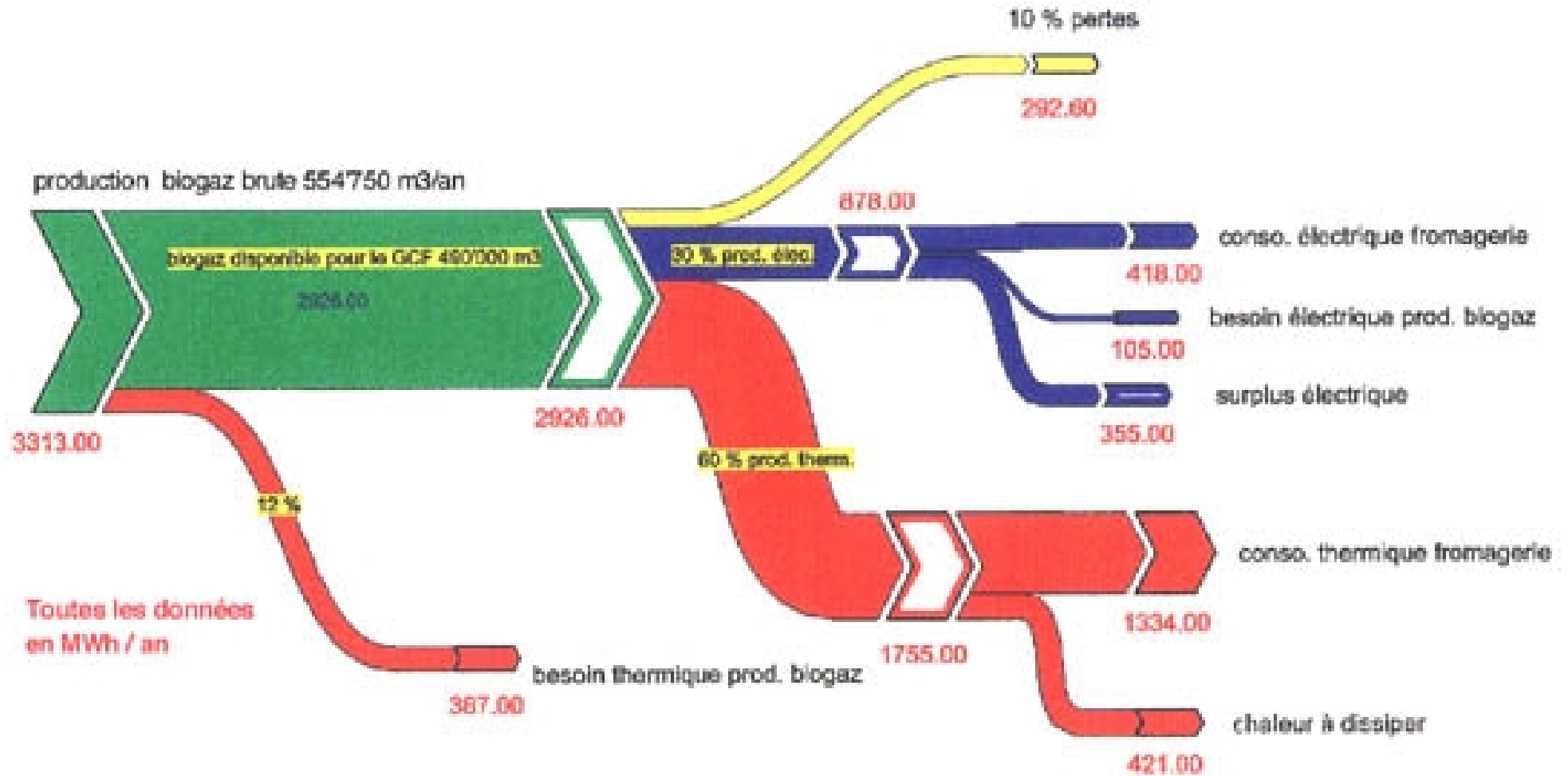


Figure 5. Diagramme de flux énergétique – scénario N° 2 (autoconsommation prod. biogaz réduite selon estimation (cf. 5.1))

### **7.3 Descriptif des installations de la fromagerie**

Il existe deux réseaux "énergétiques" dans la fromagerie :

- un réseau d'eau chaude à 95°C produite par une chaudière à mazout de 285 kW;
- un réseau d'eau glycolée à -10°C produite par un groupe de 180 kW froid.

Les principaux consommateurs de chaleur sont les suivants :

- tunnel de lavage;
- pasteurisation;
- eau chaude pour divers nettoyages;
- production de mozzarella;
- chauffage de certaines zones du bâtiment.

Les principaux consommateurs de froid sont les suivants :

- diverses chambres frigorifiques de stockage des produits finis;
- unité de refroidissement rapide;
- unités d'affinage (hâloirs);
- cuves de stockage du lait.

Le groupe froid est une machine à trois compresseurs reliés sur un seul circuit.

En ce qui concerne les consommateurs électriques, à part le groupe froid pour la production d'eau glycolée, il y a différentes machines – embouteillage, emballage, conditionnement – ainsi que diverses pompes d'alimentation, pour la plupart fonctionnant non-stop.

On présente aux pages suivantes un schéma de principe général des installations et un diagramme des flux énergétiques.

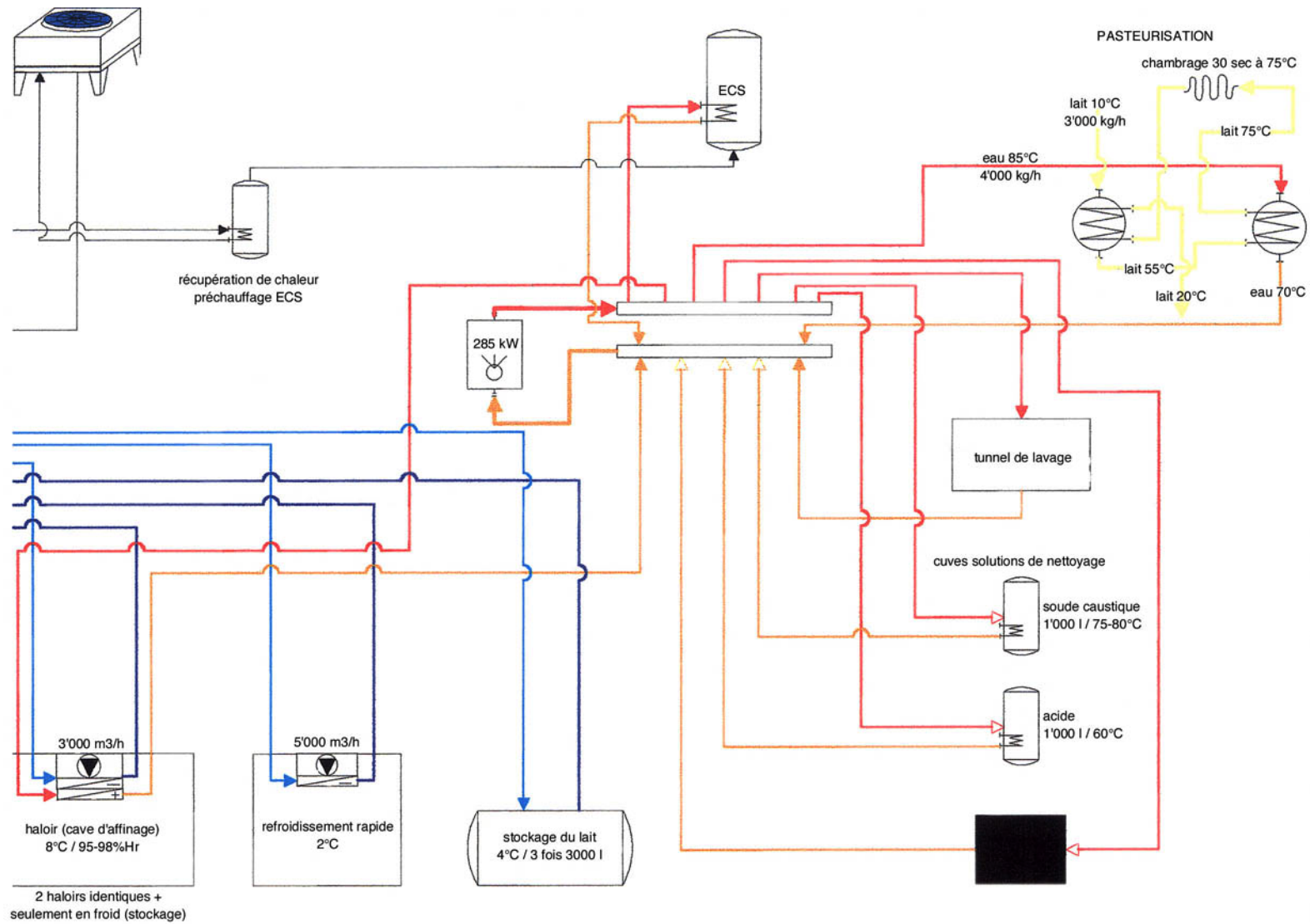


Figure 6. Schéma de principe général des installations de la fromagerie.

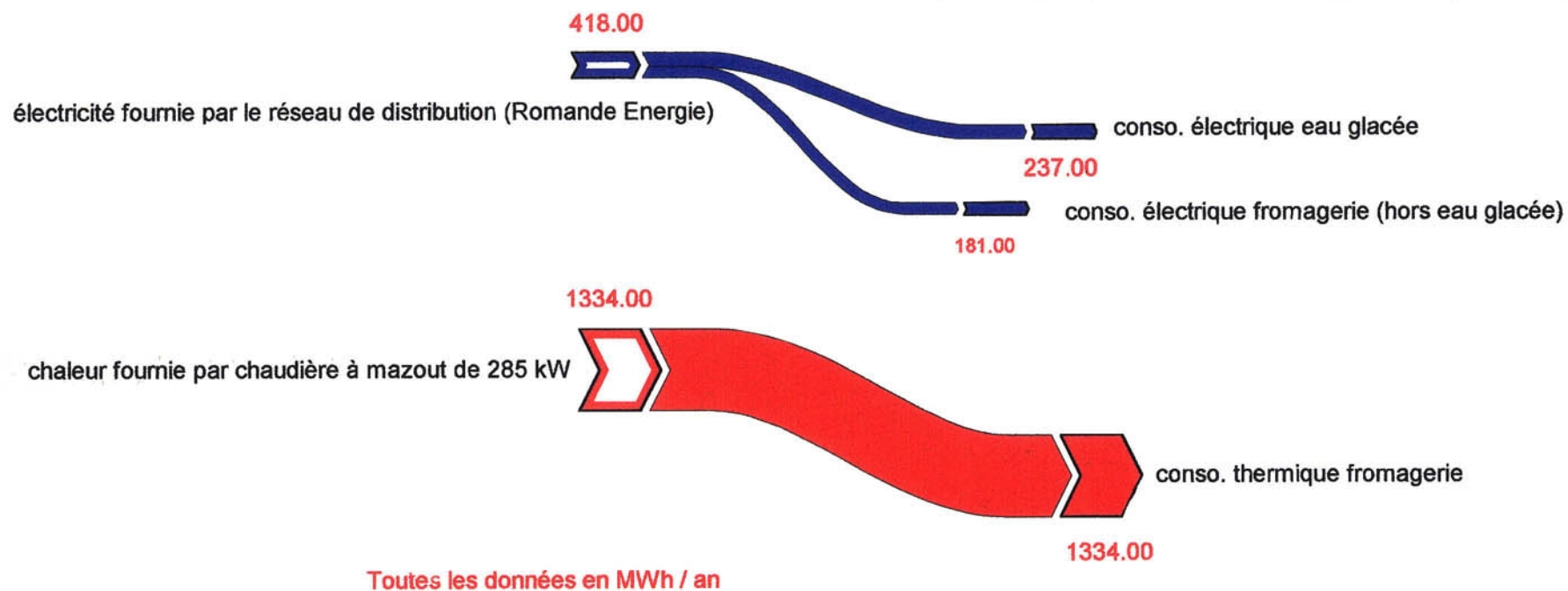


Figure 7. Situation actuelle de la fromagerie – Flux énergétique

On décrit seulement les installations principales, en considérant les principaux consommateurs de chaleur et de froid. Il y a encore des petits consommateurs comme diverses ventilations ainsi que la zone de moulage qui demande du froid et du chaud pour maintenir une ambiance de 18°C à 22°C.

Les puissances données par le constructeur pour les divers ventilo-convecteurs sont les suivantes :

- chambre froide expédition : 7,5 kW froid;
- hâloirs : deux modules de 4,6 kW froid et 2,9 kW chaud chacun;
- refroidissement rapide : 5,8 kW froid;
- hâloirs (utilisés comme stockage) : deux modules de 4,6 kW froid chacun.

#### 7.4 Mesures d'optimisation énergétique de la fromagerie

Il est important de remarquer que la fromagerie de M. BETTEX est actuellement en sous-production par rapport au dimensionnement des installations. En effet, vu la croissance importante de l'activité fromagère et la vue à long terme, M. BETTEX a opté pour des installations qui permettent une augmentation considérable du volume de lait traité afin d'éviter de nouveaux investissements pour un nouvel agrandissement à court terme. Ainsi, les équipements installés aujourd'hui ont été dimensionnés pour traiter un volume de lait environ **trois fois plus important** que le volume traité actuellement.

Sur la période de mesures des consommations, le volume de lait traité a varié entre 1000 et 3000 litres environ, c'est-à-dire entre 10 et 30% environ des capacités de la fromagerie. Ce taux de charge est approximatif car la capacité de production de la fromagerie est difficile à définir puisqu'elle dépend fortement de la nature des produits finis. En effet, la ligne d'embouteillage a une capacité de production importante, alors que si l'on produit des fromages affinés, la quantité de lait qu'il est possible de traiter en un jour est beaucoup moins importante.

**La consommation électrique** pour la production d'eau glacée est constante quelle que soit la production sur la période de mesures. Ceci peut être expliqué en raison du très faible taux d'occupation des locaux refroidis (chambre froide d'expédition, hâloirs, refroidissement rapide, cuves de stockage), prévus pour accueillir trois fois plus de volume. En effet, avec un taux de remplissage entre 10 et 30%, la consommation de froid varie très peu car les pertes pour le maintien en température de la chambre vide sont du même ordre de grandeur. De plus, les températures extérieures lors des mesures sont restées relativement basses (ne dépassant pas 8°C), donc les besoins en froid sont restés faibles.

**La consommation de chaleur** est également quasiment constante quelle que soit la production sur la période de mesures, avec toutefois une très légère augmentation avec l'augmentation de la quantité de lait traité. On peut faire une première remarque à ce propos : toutes les conduites du réseau d'eau chaude ne sont pas encore isolées. Avec des différences de températures élevées entre les conduites et la température des locaux (environ 90°C pour les conduites et 15°C pour les locaux), les pertes du réseau sont extrêmement importantes. Il est donc primordial d'isoler ces conduites dans les meilleurs délais. Afin de mieux comprendre la nature des besoins de chaleur, nous allons passer en revue les principaux consommateurs :

- pasteurisation : il s'agit d'un échangeur à plaques (non-isolé !) en deux parties distinctes. La première est un échangeur lait – lait qui sert à récupérer la chaleur du lait servant à la pasteurisation du lait. La demande de chaleur principale réside dans la montée en température de l'appareillage, soit aux environs de 75°C. Ensuite, que l'on pasteurise 1000 ou 4000 l de lait, la consommation supplémentaire de chaleur pour le maintien en température ne varie que faiblement.
- tunnel de lavage : son fonctionnement est en cours d'optimisation par M. BETTEX afin de limiter les pertes par des échanges en milieu chaud et froid. En effet, lors des mesures, son fonctionnement était loin d'être optimal puisque nous avons des pertes considérables. La consommation de chaleur pour le tunnel de lavage devrait ainsi être diminuée.
- cuves de solutions de nettoyage (deux) : chaque cuve contient environ 1000 litres, l'une de l'acide et l'autre de la soude caustique. Les besoins en chaleur de la cuve de soude correspondent à la montée en température de 20°C à 80°C ainsi qu'au maintien de la soude entre 60°C et 80°C durant environ deux heures, ceci tous les jours. La cuve d'acide a besoin de moins de chaleur puisqu'il s'agit simplement de monter la solution de 20°C à 60°C environ deux fois par semaine. Cette consommation de chaleur ne dépend pas ou peu de la production.
- eau chaude sanitaire : une grande quantité d'eau chaude est utilisée pour le nettoyage des locaux. Cette quantité ne dépend pas de la quantité de produits, puisqu'il faut nettoyer tous les locaux que l'on produise 100 ou 1000 kg de fromages.

En conclusion, on peut dire qu'il y a deux raisons principales qui peuvent expliquer l'indépendance des consommations énergétiques en fonction de la production de la fromagerie.

1. Les installations sont largement surdimensionnées par rapport au volume traité à ce jour, ceci afin de permettre une augmentation de la production à plus ou moins long terme sans diminuer le confort ou la qualité de travail (espace de stockage, réserve de puissance tant en froid qu'en chaud). En utilisant les installations entre 10 et 30% de leur capacité maximale lors de nos mesures, il est clair que les consommations varient peu, l'importance des pertes de maintien des réseaux étant à ce moment significatives dans le bilan global (qui plus est avec un réseau de chauffage non-isolé).
2. Les principaux consommateurs de chaleur (pasteurisation, nettoyages), de par leur principe même de fonctionnement, ont des besoins qui dépendent peu de la quantité de lait traité ou de fromages produits. Il en est de même pour la consommation de froid, puisqu'il n'est pas possible de fragmenter les volumes des chambres froides en fonction de la quantité de produits stockés afin de limiter le volume à refroidir.

Il est donc relativement **difficile de proposer des mesures d'optimisation des installations** à ce stade de l'exploitation. Il s'agit surtout d'augmenter la production afin de diminuer l'importance des pertes dans le système. On peut néanmoins formuler les points suivants :

- **isoler le réseau d'eau chaude;**
- **limiter autant que possible les heures de marche** des pompes, ventilations et autres moteurs électriques en les adaptant aux besoins réels (éviter de laisser fonctionner en continu);

- **contrôler le facteur de surdimensionnement** (pompes, moteurs, etc.) qui ont un mauvais rendement à faible charge. De façon générale, un appareil trop surdimensionné acheté d'occasion à un bon prix sera rapidement coûteux en frais énergétiques.

Quant à d'éventuelles interventions sur l'enveloppe du bâtiment, il faut considérer que dans la mesure où celui-ci n'abrite que des locaux techniques, où les critères de température sont plus liés à l'exploitation qu'au confort, de telles mesures n'apparaissent pas nécessaires en priorité.

## **VIII. CONCLUSION**

---

A l'aide des mesures de consommations thermique et électriques effectuées sur l'exploitation de M. BETTEX en novembre et décembre 2001 et grâce à ses informations sur l'évolution de ces consommations en période chaude, nous avons pu établir le bilan annuel des besoins de son exploitation en énergie thermique et électrique ; soit 1334 MWh/an thermique et 418 MWh/an électrique.

Le potentiel de production de biogaz à partir des fumiers de l'IANA et des fumiers de la ferme de M. BETTEX est important. En effet, les chiffres transmis par le bureau EREP montrent une quantité de biogaz disponible pour alimenter un groupe chaleur-force d'environ 450'000 m<sup>3</sup>/an.

A partir du biogaz ainsi produit, il serait possible d'alimenter en continu un groupe chaleur-force produisant quelques 90 kW électriques ainsi qu'environ 180 kW thermiques. Cette énergie produite par le groupe chaleur-force suffirait à satisfaire les besoins actuels de l'exploitation de M. BETTEX (ainsi qu'à alimenter l'installation de production du biogaz), fournissant même plus de chaleur et d'électricité qu'il n'en est consommé sur le site. Toutefois, les puissances de pointe, tant thermique qu'électrique, ne pourraient pas être fournies par le groupe, nécessitant pour cela l'appoint d'une chaudière existante ou du réseau. Il serait néanmoins possible d'injecter le surplus d'électricité sur le réseau, et d'utiliser le surplus de chaleur d'une façon ou d'une autre (conduite à distance pour la maison d'habitation, etc.).

Ainsi, cette étude préalable met en évidence le potentiel intéressant représenté par l'installation d'un groupe chaleur-force sur l'exploitation de M. BETTEX. En plus de fournir l'énergie nécessaire au bon fonctionnement de l'exploitation à partir d'une énergie renouvelable, le groupe chaleur-force produirait un surplus d'électricité injecté sur le réseau comme courant vert. Cela permettrait à M. BETTEX de faire des économies substantielles en frais énergétiques, qui plus est en diminuant de façon considérable les émissions de CO<sub>2</sub>.

---

**BILAN ENERGETIQUE DE LA FROMAGERIE  
ET AVANT-PROJET D'INSTALLATION DE BIOGAZ**

---

**RICHARD BETTEX – 1487 CHAMPTAUROZ (VD)**

---

Projet n° 42'300  
Contrat n° 82'228

## **LISTE DES ANNEXES**

- Proposition d'implantation de l'installation de biogaz
  
- Photos



**erep**

Traitement et valorisation  
de déchets et  
d'effluents organiques

### Légendes

- 1 Mélangeur
- 2 Trémie de réception
- 3 Digesteur
- 4 Container "chaleur"
- 5 Container "contrôle"

### Dimensions

L(m) x B(m)

- 5,2 2,7
- 6,6 2,6
- 41,3 9,0 (hors-tout)
- 2,5 3,7
- 2,5 6,0

- 6 Déshydratation 2,0 5,7
- 7 Stockage biogaz Ø 5,0
- 8 Torchère 6,6 2,6

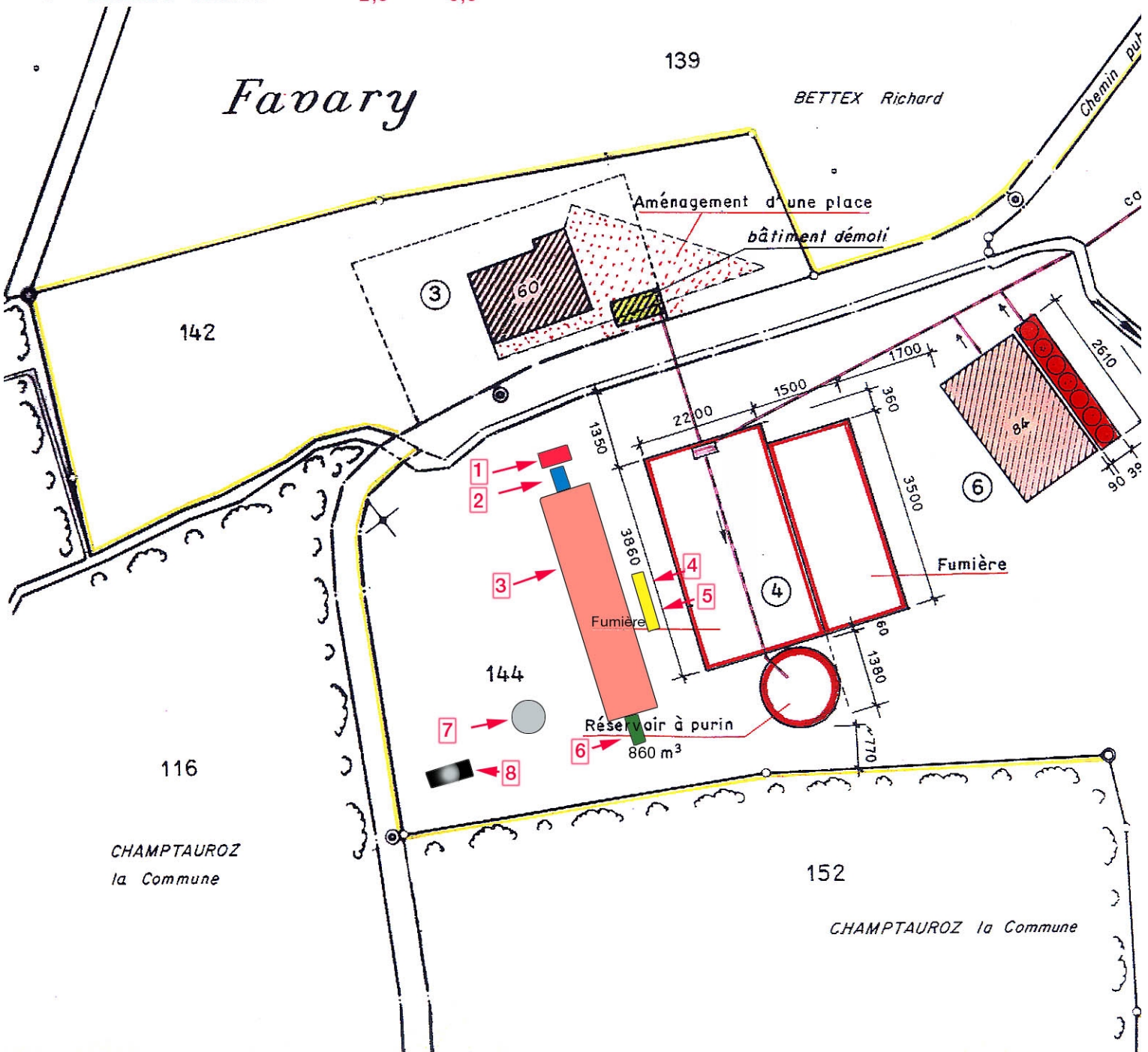
### Légendes

- 1 Mélangeur
- 2 Trémie de réception
- 3 Digesteur
- 4 Container "chaleur"
- 5 Container "contrôle"

### Dimensions

L(m) x B(m)

- 5,2 2,7
- 6,6 2,6
- 41,3 9,0 (hors-tout)
- 2,5 3,7
- 2,5 6,0



## **Légendes des photos**

- 1.** Fumier IENA
- 2.** Cuve de stockage de purin
- 3.** Stabulation porcs
- 4.** Porcs en plein air
- 5.** Stabulation bovins
- 6.** Zone d'implantation de l'unité de méthanisation



1



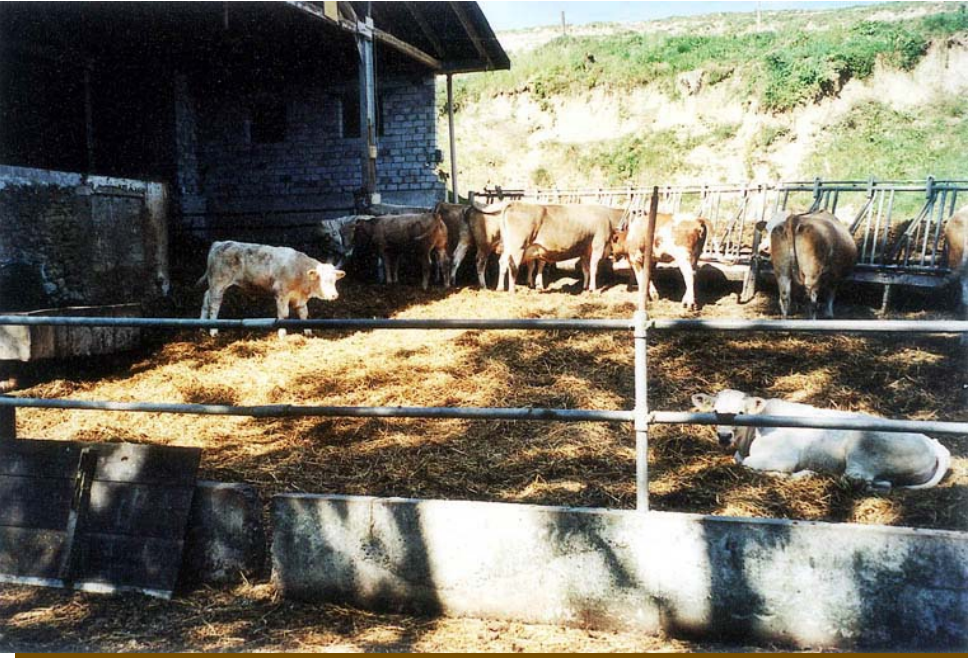
2



3



4



5



6