

Mandant :

Auteur du rapport :

Date :

Commune de Rochefort
Rue du Collège 4
2019 Rochefort

Masai Conseils SA
Rue Frédéric Soguel 4
2053 Cernier
SSG/SL/swe T-1410.13

Cernier, le 31 décembre 2022

CHAUFFAGE À DISTANCE – 2019 ROCHEFORT

Mise en conformité et renforcement des installations techniques en chaufferie

RAPPORT DE PROJET

Distribution :

- Commune de Rochefort, à l'att. de M. François Beutler
- Commune de Rochefort, à l'att. de M. Nicolas Merz
- Masai Conseils SA

Quantité :

- 1 ex. pdf
- 1 ex. pdf
- 1 ex. pdf

I. CONFIDENTIALITE

La présente étude est réservée à l'usage du mandataire et des personnes ou institutions concernées par le projet.

Les choix et propositions techniques originaux contenus dans le présent dossier ne seront pas communiqués à des entreprises concurrentes et restent la propriété intellectuelle de ses auteurs.

II. REMERCIEMENTS

Le projet que la commune de Rochefort a confié au bureau B. Matthey Ingénieurs-Conseils SA de planification et d'ingénierie d'un réseau de chaleur à distance, alimenté par des installations techniques fournissant de la chaleur par combustion de biomasse, était en 2004, une belle opportunité de mettre en place une économie de proximité ainsi qu'un avenir plus durable. Ce réseau, depuis, n'a pas cessé de s'étendre, preuve de sa bonne gestion technique et financière.

Près de 20 ans plus tard, la Commune de Rochefort confirme sa confiance en notre bureau, devenu depuis lors Masai Conseils SA en nous confiant la délicate mission d'étudier la rénovation et la mise en conformité des installations techniques de production de chaleur. Les solutions tant administratives que techniques et financières n'ont pas été simples à trouver ! Nous remercions les autorités et l'administrateur communal, pour leur confiance, leur patience, leur soutien qui a conduit à proposer une solution adéquate pour que le CAD de Rochefort puisse poursuivre son exploitation dans les meilleures conditions.

TABLE DES MATIÈRES

1.	CONTEXTE	2
1.1.	Description de l'installation technique.....	2
1.2.	Description de la problématique	3
2.	ETUDES MENÉES QUANT À LA STRATÉGIE DE DÉPLOIEMENT DU RÉSEAU CAD ET DE MISE EN CONFORMITÉ DES INSTALLATIONS TECHNIQUES.	3
2.1.	Cadre général	3
2.2.	Réflexions quant à l'emplacement des installations techniques.....	4
2.3.	Synthèse des variantes étudiées et conclusions préliminaires.....	5
3.	DIMENSIONNEMENT DES INSTALLATIONS, TRAVAUX DE MISE EN CONFORMITÉ À PRÉVOIR ET PRINCIPES FINANCIERS	8
3.1.	Intervention sur les installations techniques : consommation et puissance à installer	8
3.2.	Intervention sur les locaux : chaufferie et silo	9
3.3.	Intervention sur le réseau et les sous-stations	9
3.4.	Principes financiers.....	9
4.	REPLACEMENT DE LA CHAUDIÈRE EXISTANTE PAR UNE CHAUDIÈRE À BOIS DÉCHIQUETÉE ET UN ÉLECTROFILTRE – SOLUTION STANDARD	10
4.1.	Aspects techniques.....	10
4.2.	Aspects financiers.....	11
4.3.	Aspects d'exploitation	12
5.	REPLACEMENT DE LA CHAUDIÈRE EXISTANTE PAR UNE CHAUDIÈRE À BOIS DÉCHIQUETÉE DE TECHNOLOGIE FIREFORCE	12
5.1.	Aspects techniques.....	12
5.2.	Aspects financiers.....	13
5.3.	Aspects d'exploitation	14
6.	REMARQUES FINALES	14
6.1.	Conclusion	14
6.2.	Suites à prévoir.....	15
ANNEXES	16	
Annexe 1.	Le chauffage au bois de Rochefort et son réseau en quelques chiffres.....	16
Annexe 2.	Prix de vente de la chaleur 2012-2021	21
Annexe 3.	Conclusion du rapport de faisabilité du 08.06.2012	24
Annexe 4.	Projet de modification de chaufferie	26
Annexe 5.	Plaquette FireForce Technology	28
Annexe 6.	Mesures FireForce - SENE	32
Annexe 7.	Disposition proposée pour la chaudière FireForce.....	35
Annexe 8.	Calcul des coûts d'investissement – Version standard	37
Annexe 9.	Calcul des coûts de l'énergie – Version standard	39
Annexe 10.	FireForce 700 kW – accumulateur en remplacement actuelle	41
Annexe 11.	Calcul des coûts d'investissement - FireForce	43
Annexe 12.	Calcul des coûts de l'énergie - FireForce	45

1. CONTEXTE

1.1. Description de l'installation technique

1.1.1. Du point de vue technique

La commune de Rochefort possède une chaufferie à bois et un réseau de distribution de chaleur à distance qui ont été mis en service en 2004. Cette installation fonctionne bien et de nouveaux bâtiments sont régulièrement raccordés sur le réseau.

Ces derniers sont présentés en quelques chiffres à l'annexe 1.

41 bâtiments sont actuellement consommateurs de la chaleur du CAD de Rochefort. Cela représente une puissance effective de 680 kW, soit une consommation annuelle moyenne de 1 800 000 kWh

La puissance nominale de la chaudière bois à grille mobile Müller actuelle, avec condenseur est de 440 kW. A cela s'ajoutent 650 kW qui peuvent être fournis par la chaudière à mazout du BCP. Cette chaudière à bois n'est pas équipée d'un filtre à particule et ne répond donc plus aux nouvelles normes OPair.

M. Bernard Matthey établit chaque année un "bilan de l'exploitation de la chaufferie à plaquettes forestières de la commune et de son réseau", document qui fournit de précieux renseignements.

Le CAD actuel fonctionne à satisfaction d'un point de vue technique.

Le suivi régulier des installations permet un entretien adapté et le maintien de performances que l'on peut qualifier de bonnes en regard, notamment de l'ancienneté des installations.

On constate que, dans l'état actuel du réseau, la part de mazout de secours et d'appoint n'excède pas 10% de la chaleur produite, ce qui reste acceptable.

Le volume de la chaufferie actuelle est de 170 m³, ce qui ne permet pas de placer un filtre à particules. De plus, si la puissance des installations doit être renforcée, ces dernières seront plus volumineuses et là encore, la place à disposition ne sera pas suffisante.

Le silo à bois a un volume utile 130 m³. Il a été dimensionné à l'époque de la construction de la chaufferie pour tenir 15 jours lorsque la demande était maximum.

1.1.2. Du point de vue financier

L'énergie est facturée au client comme suit :

- Une part fixe qui varie entre CHF 30.- et 45.- HT par kW de puissance raccordée, en fonction que l'on n'ait pas de panneaux solaires thermique ou que l'on en ait.
- Une part variable de 9.8 cts HT par kWh de chaleur consommée relevée au compteur.

Sur cette base, un calcul du prix de vente moyen de la chaleur a été établi depuis la mise en service de l'installation. Ce dernier est compris entre 12.3 et 13.5 cts TTC / kWh – Voir analyse en annexe 2.

1.1.3. Du point de vue de l'exploitation

A l'heure actuelle, l'approvisionnement en bois est entièrement assuré par le Service forestier communal. Les prestations en personnel nécessaire sont incluses dans le prix d'achat du bois qui est actuellement de CHF 37.-/m³ TTC de plaquettes. (CHF 35.- /stère HT + CHF 17.25/m³ TTC). Avec 1 stère de bois équivalent à 1.8 m³ de plaquettes déchetées.

L'exploitation quotidienne : service de piquet et dépannage, ramonage et nettoyage des installations techniques en chaufferie, relevé des compteurs, est assurée par l'équipe forestière, le collaborateur technique et le voyer communal selon la répartition suivante :

- Dépannages et alarmes :	40 heures
- Ramonage et nettoyages :	260 heures
- Relevé des compteurs :	20 heures,
- Ramassage branches et nettoyage places de déchetage :	47 heures
- Divers :	33 heures

Ce qui correspond environ à un 20% équivalent plein temps.

Il convient de souligner que les 260 heures de ramonage et nettoyages représentent une situation d'exploitation particulière liée à l'ancienneté d'une chaudière qui est, de plus, surexploitée.

1.2. Description de la problématique

L'Ordonnance sur la protection de l'air (OPair) a été modifiée le 01.07.2007, les normes d'émission de particules fines ayant été rendues plus sévères, la chaudière à bois actuelle ne répond plus aux limites légales en la matière.

Le Service de l'énergie et de l'environnement (SENE) a demandé à la Commune de Rochefort une mise en conformité de son installation au plus tard à fin 2022.

2. ETUDES MENÉES QUANT À LA STRATÉGIE DE DÉPLOIEMENT DU RÉSEAU CAD ET DE MISE EN CONFORMITÉ DES INSTALLATIONS TECHNIQUES

2.1. Cadre général

En 2012, la commune de Rochefort a sollicité le bureau Masai Conseils SA – alors B. Matthey Ingénieurs-Conseils SA, afin d'étudier la faisabilité d'une extension du réseau de chauffage à tout le village. Les conclusions de cette étude figurent en annexe 3.

Sur cette base, l'autorité en place a pris les positions suivantes :

L'extension du réseau continuera à être gérée au cas par cas en fonction des demandes qui parviennent à la commune.

- La mise en conformité et le renforcement des installations techniques en chaufferie seront concrétisés en même temps, en 2022.

Pour ce second point, plusieurs emplacements pour ces installations techniques ont été suggérés en fonction des alternatives étudiées : filtre à particules sur la chaudière existante, remplacement de la chaudière à bois actuelle par une chaudière plus puissante équipée d'un filtre à particule, pose d'une seconde chaudière à bois équipée d'un filtre à particule.

2.2. Réflexions quant à l'emplacement des installations techniques

2.2.1. La chaufferie

Le volume actuel de la chaufferie ne permet ni la mise en conformité de l'existant, ni le renforcement des installations techniques. Aussi, plusieurs discussions, rencontres, réflexions ont été menées avec les autorités communales à ce sujet afin de savoir quelles surfaces pourraient être disponibles pour les installations du CAD. Ces réflexions ne sont pas triviales et relèvent un peu du jeu des chaises musicales à mesure où l'utilisation de certains locaux, par exemple cantonaux, pourraient être remis en question, libérant ainsi des surfaces, mais que tout n'est pour l'instant qu'au conditionnel.

Une première idée avait été de créer une "fosse" atteignant le niveau de la chaufferie pour y placer les dispositifs de traitement des fumées. Cette extension aurait été située sous l'aire d'arrivée de la piste de saut en longueur à l'Ouest du BCP. Il aurait fallu prévoir une surface au sol d'environ 6 x 7,5 m². Cette idée a été rapidement écartée : en effet, le volume construit aurait été très onéreux et, dans ces conditions, il n'aurait pas été possible de conserver le prix de l'énergie actuel.

L'idée de créer une nouvelle chaufferie ailleurs dans le village a été également rapidement écartée pour des questions de faisabilité technique de raccordement au réseau existant et de coûts. D'autre part, créer deux sites différents pour accueillir des installations techniques n'est pas non plus cohérent en termes d'exploitation.

La variante la plus simple parce qu'elle ne nécessite pas de construction de nouveau bâtiment, est celle qui prévoit d'utiliser le garage actuel des travaux publics pour y placer toutes les installations nécessaires.

En définitive, lors de sa séance du 8 novembre 2011, le Conseil communal a validé le principe de mettre à disposition du CAD la moitié de la surface de l'actuel garage des travaux publics.

2.2.2. Le silo à bois

Avec un réseau encore densifié et étendu, la demande journalière en pointe pourrait atteindre 25 m³ par jour par temps très froid, ce qui porte la réserve de bois avec le silo plein à 6 jours environ.

Dans la mesure où l'entreprise forestière qui ravitaille l'installation peut maintenir sa prestation en augmentant la fréquence de ses passages, la réserve constituée par le silo est faible mais encore acceptable.

En cas d'événement exceptionnel (fortes chutes de neige, panne de la déchiqueteuse), un approvisionnement depuis le stockage de Montmollin reste tout à fait possible.

Rappelons qu'en condition normale, il faut à l'entreprise forestière, à peine une demi-journée pour remplir le silo à partir d'un dépôt forestier.

D'autre part, les équipes fournissant le bois ont proposé de retourner la trappe de remplissage afin de rationaliser l'exploitation. Ce travail pourrait être entrepris si la benne de livraison utilisée était plus grande.

2.3. Synthèse des variantes étudiées et conclusions préliminaires

Comme nous l'avons précédemment expliqué, les réflexions stratégiques de mise en conformité et renforcement des installations techniques du CAD de Rochefort ont été menées pendant plus de 10 ans, évoluant en fonction des avancées techniques, de l'agrandissement du réseau et des adaptations dans l'organisation administrative et d'exploitation des Services techniques du village.

L'objet du présent chapitre est d'effectuer une revue exhaustive des différentes variantes possibles en précisant les réflexions ayant mené à conserver ou écarter telle ou telle autre option.

2.3.1. Mise en place d'un électrofiltre sur la chaudière existante

Une première option serait de conserver l'installation existante et de l'adapter en lui adjoignant un filtre électrostatique. Dans cette configuration, le système de décendrage pourrait également être optimisé.

Afin de placer ce filtre, il serait nécessaire de pouvoir bénéficier du volume d'une partie du garage des TP attenant la chaufferie actuelle, ce qui a été accepté par l'autorité.

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none">• Conservation de l'installation existante.	<ul style="list-style-type: none">• L'installation existante fonctionne depuis 18 ans avec un entretien de plus en plus lourd.• Pas de renforcement des installations : limitation de la puissance bois donc des nouveaux raccordements.• Utilisation accrue du mazout.

Il est apparu rapidement que cette façon de procéder ne serait ni crédible ni raisonnable car la chaudière est trop ancienne. Son exploitation nécessitera de plus en plus d'interventions qui seront de plus en plus lourdes. En outre, les pannes interviennent bien entendu pendant l'exploitation, donc en période de chauffe, ce qui signifie une utilisation accrue de la chaudière de secours alimentée par du mazout. De plus, la question de l'implantation d'un tel appareil ne serait pas envisageable dans le volume actuel de la chaufferie et il serait de toute façon nécessaire d'utiliser une partie de l'actuel garage des travaux publics.

En définitive, cette option n'en est pas une, **elle a été écartée**.

2.3.2. Conservation de la chaudière existante et ajout d'une chaudière à bois déchetée avec un électrofiltre – solution standard

Une autre option serait de conserver les installations existantes qui pourraient alors être utilisées comme secours, appoint ou durant l'été. Resterait alors la question de leur mise en conformité. Nous avons posé la question à M. Gretillat, chef de section bruit air chauffages et industries (BACI) au SENE qui nous a indiqué que la norme

autoriserait à ne pas équiper l'actuelle chaudière à bois d'une filtre à particule pour autant qu'elle ne soit pas utilisée plus de 100 heures par année.... Autant dire rien !

Cette option n'en est pas une, **elle a été écartée**.

2.3.3. Conservation de la chaudière existante et ajout d'une chaudière à bois déchiquetée avec deux électrofiltres – solution standard

Ainsi, s'il est décidé de conserver la chaudière existante, il faudrait alors l'équiper d'un filtre à particule. Une nouvelle installation technique lui serait ajoutée : chaudière à bois + filtre à particules sur un modèle similaire à celui en place, dans le volume de l'actuel garage des travaux publics – voir annexe 4.

Similaire car la maison Müller n'existe plus : il faudrait alors prévoir d'utiliser par exemple une machine du fabricant Schmid.

La pose d'une seconde chaudière avec condenseur implique de modifier profondément le circuit de distribution hydraulique. La pose de nouvelles pompes pour l'alimentation du réseau sera également nécessaire.

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none">• Installation neuve en partie.• Dimensionnement adéquat.• Possibilité de minimiser l'utilisation du mazout comme secours et appoint.• Fonctionnement bivalent permettant de gérer différents niveaux de consommation (été – hiver)	<ul style="list-style-type: none">• L'installation existante fonctionne depuis 18 ans avec un entretien de plus en plus lourd.• Modifications importantes du circuit hydraulique et des pompes.• Gestion de deux installations de fournisseurs et d'années différents.• Nécessité d'étendre le volume de la chaufferie à toute la surface du garage actuel des TP.• Coûts des investissements importants.

Cette option n'a pas été retenue, étant entendu que d'une part, elle ne permettrait pas de maintenir le prix de l'énergie, d'autre part, elle implique de conserver une installation dont **l'exploitation** exigera de plus en plus d'interventions qui seront de plus en plus lourdes et enfin qu'elle nécessite de pouvoir occuper l'entier du volume actuellement dédié au garage des travaux publics, ce qui n'est pas acceptable du point de vue des autorités.

2.3.4. Remplacement de la chaudière existante par une chaudière à bois déchiquetée et un électrofiltre – solution standard

La quatrième option envisagée a été celle de changer l'actuelle chaudière à bois et de la remplacer par une installation technique : chaudière à bois (700 kW + filtre à particules) sur un modèle similaire à celui en place. Similaire car la maison Müller n'existe plus : il faudrait alors prévoir d'utiliser par exemple une machine du fabricant Schmid. Cette option est valable techniquement, mais elle nécessite d'étendre la chaufferie actuelle sur une grande part du garage attendant des travaux publics, car la

chaufferie actuelle ne présente pas les volumes suffisants pour accueillir cette installation.

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none">• Installation neuve.• Dimensionnement adéquat.	<ul style="list-style-type: none">• Nécessité d'étendre le volume de la chaufferie à une grande partie de la surface du garage actuel des TP.• Système statique (pas de modularité en termes de Puissance à moyen terme)• Coût des investissements importants

Cette option **a été retenue** et développée, même si elle nécessite de pouvoir occuper une grande partie du volume actuellement dédié au garage des travaux publics.

2.3.5. Remplacement de la chaudière existante par une chaudière à bois déchiquetée de technologie FireForce

Depuis 2012, la société FireForce développe un système de combustion à bois déchiqueté qui a la particularité de répondre aux normes OPair sans nécessiter l'installation d'un électrofiltre. Ces installations présentent d'une part l'avantage d'être nettement moins volumineuses que les chaudières à bois déchiquetées du marché actuel et d'autre part sont extrêmement performantes du point de vue du rendement de combustion. Voir plaquette de présentation en annexe 5.

La société FireForce développe son procédé à Fleurier et le SENE suit ce développement. En novembre 2020, la section nuisances sonores et pollution atmosphérique du SENE a établi un rapport présenté en annexe 6.

Les mesures de poussières ont été effectuées par le SENE et les mesures de gaz ont été relevées sur l'appareil de mesure des gaz de FireForce, étant entendu que le SENE a aussi ce genre d'analyseur qu'il utilise également dans ce contexte. La mesure montre que les rejets en poussières sont très faibles, même en fonctionnant à plein régime, et sont très largement en-dessous des normes OPair.

Cette technologie a été développée à Moiry et alimente un réseau de 250 kW. Une seconde installation est en service à Champagne pour 500 kW et une autre est prévue pour le début de l'année 2023 aux Bayards pour remplacer des installations existantes (500 kW).

Masai Conseils SA a vu là l'opportunité d'un remplacement des installations techniques actuelles du CAD de Rochefort par une nouvelle technologie qui répond en tout point aux impératifs du projet, soit le respect des normes et la possibilité d'implanter ces installations techniques dans le volume à disposition, (à l'exception, peut-être, de l'accumulateur; celui-ci pourrait aussi trouver sa place dans un autre local).

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none">• Installation neuve.• Dimensionnement adéquat.• Le volume prévu est suffisant.• Modularité du système (adaptation aisée de la Puissance à moyen terme).• Souplesse quant au montage financier.	<ul style="list-style-type: none">• Changement de paradigme dans le financement des installations

Cette variante, qui présente de nombreux avantages, **a été retenue** et développée en collaboration avec l'entreprise FireForce.

3. DIMENSIONNEMENT DES INSTALLATIONS, TRAVAUX DE MISE EN CONFORMITÉ À PRÉVOIR ET PRINCIPES FINANCIERS

Le projet qui se décide ici doit permettre une révision complète du CAD : installations techniques, évidemment, mais également réseau et sous-stations.

3.1. Intervention sur les installations techniques : consommation et puissance à installer

Les installations techniques en chaufferie doivent être mises en conformité et également renforcées afin de répondre aux besoins actuels et, si possible futurs du réseau.

41 bâtiments sont actuellement consommateurs de la chaleur du CAD de Rochefort.

Cela représente une puissance effective de 680 kW, soit une consommation annuelle moyenne de 1'800'000 kWh.

La tendance, nettement démontrée à Rochefort, est que lorsque les systèmes de chauffage des immeubles du village arrivent en fin de vie, les propriétaires s'orientent de manière assez systématique vers un raccordement au CAD. De plus, la nouvelle loi sur l'énergie, entrée en vigueur le 1^{er} mai 2021 a nettement péjoré les conditions financières liées à l'utilisation des énergies fossiles.

https://www.ne.ch/autorites/DDTE/SENE/energie/Documents/RELCEn_2021.pdf

Il est donc tout à fait raisonnable de prévoir qu'à moyen terme, la puissance effective raccordée pourrait doubler.

Dans un premier temps et afin de répondre aux besoins actuels du réseau, nous proposons l'installation d'une chaudière de 700 kW ou de 650 kW avec accumulateur tampon de 6m³. Ce dimensionnement sera repris afin d'être optimisé lors du développement du projet d'exécution.

3.2. Intervention sur les locaux : chaufferie et silo

Le silo est actuellement situé à côté de la chaufferie, cet emplacement doit être conservé.

L'option de retourner la trappe de remplissage, qui apporterait un plus grand confort en termes d'exploitation notamment lors des livraisons de bois, n'est pas indispensable, mais pourrait être discutée avec les fournisseurs de bois en fonction de l'augmentation de la puissance du réseau. Pour l'instant, nous proposons de ne pas chiffrer ces travaux.

Une amélioration de la gestion des cendres de combustion sera effective avec le changement de la chaudière, quel que soit la variante finalement retenue.

3.3. Intervention sur le réseau et les sous-stations

Le réseau ne présente pas de signe de faiblesse : les exploitants ne nous ont pas signalé qu'ils devaient régulièrement rajouter du liquide caloporteur. Aucune intervention n'est donc à prévoir sur le réseau.

Les exploitants nous ont également confirmé que les sous-stations fonctionnent à satisfaction et que les compteurs ont été changés, il n'y a donc pas de raison de les remplacer.

Nous proposons toutefois d'effectuer un travail d'optimisation et mise à jour des 21 premières sous-stations, posées et mises en service en 2004, afin de permettre d'améliorer les températures de retour en les abaissant autant que possible.

Pour ce faire, nous prévoyons de procéder par étapes successives : réglages, entretien des divers éléments et, si nécessaire, adaptations hydrauliques. Un montant de travaux sera prévu dans ce sens, qui devrait permettre d'intervenir également, cas échéant, sur les autres sous-stations qui présenteraient des températures de retour trop élevées.

Soulignons que cet investissement devrait être prévu quelle que soit l'option de renforcement et mise en conformité de l'installation en chaufferie qui sera retenue.

3.4. Principes financiers

Ces travaux de mise en conformité, quelle que soit la variante retenue, ne peuvent prétendre à aucune subvention. Une demande de soutien exceptionnelle pourrait tout de même être déposée auprès du SENE. De même, les participations au raccordement ont déjà été payées par les propriétaires des bâtiments raccordés et nous proposons qu'aucun complément ne soit demandé dans ce cadre, même s'il est décidé de réviser les sous-stations les plus anciennes.

3.4.1. Investissements

Le projet étant décrit et ses dimensions fixées, il a été procédé à une estimation des investissements à prévoir. Les prix unitaires ont été établis sur la base d'offres auprès de fournisseurs ou d'entreprises, ainsi qu'en utilisant des prix unitaires calculés à partir d'ouvrages comparables récents que les auteurs du présent rapport ont réalisés, notamment à Couvet.

Masai Conseils SA a établi des tableaux Excel dont l'exploitation, en travaillant sur les paramètres d'entrée (investissements, taux d'intérêts bancaires, subvention, coûts d'exploitation, etc.) permettent une analyse de sensibilité. Un outil très précieux qu'il conviendra d'utiliser pour optimiser les efforts de maintien du prix de revient de l'énergie dans le cadre du développement du projet d'exécution.

10% de divers et imprévus ont été considérés.

3.4.2. Calcul du prix de l'énergie

Précisons encore une fois que le compte du CAD est autoporteur, ce qui signifie que l'entier de l'investissement et des montants liés à l'exploitation est à la charge des preneurs d'énergie par le paiement de la participation au raccordement et de l'énergie. L'impôt ne finance en aucune manière le projet CAD.

Le calcul du prix de l'énergie se compose de trois volets :

- les frais financiers subséquents aux investissements consentis depuis la mise en place du projet, soit y compris les amortissements actuels,
- les frais d'exploitation du réseau,
- les frais d'exploitation, soit d'achat de l'énergie sortie chaufferie incluant l'exploitation de la chaufferie et du réseau ainsi que l'achat des combustibles.

Ces montants ont été consolidés avec M. Nicolas Merz, administrateur communal que nous remercions encore pour son soutien.

Il faut souligner que les hypothèses prises sont conservatrices : augmentation de la surface louée, taux d'intérêt moyen à 2%, montants liés aux frais d'exploitation, etc...

4. **REMPLACEMENT DE LA CHAUDIÈRE EXISTANTE PAR UNE CHAUDIÈRE À BOIS DÉCHIQUETÉE ET UN ÉLECTROFILTRE – SOLUTION STANDARD**

4.1. **Aspects techniques**

Nous avons dimensionné l'installation d'une nouvelle chaudière à bois d'une puissance nominale de 700 kW et d'un condenseur de 70 kW. Ces équipements pourraient prendre place dans le volume de la chaufferie actuelle où la chaudière Müller aura été démontée, le filtre à particules, quant à lui serait placé au fond du garage des travaux publics.

NB : Nous tenons à souligner que la fiche technique de la chaudière UTSK 700 de la maison Schmid comporte une erreur : en hauteur, nous sommes à 3090 mm et non à 2090 m ! Ce qui nous a été confirmé par M. Koehl de la maison Schmid. Ce dernier nous a dit avoir vérifié que cette machine pouvait prendre place dans la chaufferie à quelques centimètres près. Le risque existe donc, si cette option est retenue, qu'il faille passer à une chaudière plus petite pour qu'elle puisse être placée dans la chaufferie actuelle. En tout état de cause une demande de confirmation écrite devra être sollicitée auprès de la maison Schmid.

L'installation à mazout de secours et d'appoint existante serait conservée.

L'opportunité d'installer un système d'accumulation a été évaluée. Ce dernier permettrait de lisser la courbe de fonctionnement de la chaudière à bois, en diminuant la sensibilité des installations aux enclenchements, notamment lors de la demande matinale sur le réseau. En revanche, dans la configuration du projet, c'est une installation qui mobiliserait encore plus de place.

Au vu de la taille du réseau, il faut souligner que le volume d'eau de distribution primaire fait déjà office d'accumulation. De plus, ces installations ont un coût très important. A ce stade, nous avons donc choisi d'écarter cette option.

Voir en annexe 7 un plan d'implantation des nouvelles installations techniques.

4.2. Aspects financiers

4.2.1. Investissement - Voir annexe 8

Production de chaleur : les installations techniques en chaufferie, comprenant une chaudière à bois de 700 kW, un système de traitement des fumées avec condenseur, les équipements électriques, tous les travaux de raccordements électriques sont estimés à CHF 685'500.- HT.

NB : nous avons augmenté de 7% le prix offert par la maison Schmid le 15.11.2022 pour tenir compte de l'augmentation des tarifs au 01.01.2023.

Le réseau: l'intervention prévue d'optimisation des sous-stations, a été estimée à de CHF 92'400.- HT.

Honoraires et frais : au montant total des travaux, il faut ajouter les frais d'étude et de conduite des travaux ainsi que divers frais et taxes.

Le montant total des investissements, se monte à (valeur arrondie):

CHF HT : 894'600.-

CHF TTC : 963'500.-

4.2.2. Prix de l'énergie - Voir Annexe 9

Frais financiers : partant d'un taux d'intérêt bancaire moyen de 2.0%, des durées d'amortissement par objet conformes à l'annexe art. annexe 2, art.46 RLFinEC, on calcule les annuités.

Le montant des frais financiers annuels estimés est donc de CHF 111'350.- HT.

Frais de maintenance

L'estimation des frais de maintenance s'est basée sur les frais effectifs consolidés avec M. Nicolas Merz, administrateur communal que nous remercions encore pour son soutien. Cela représente CHF 46'800.- HT annuels.

Frais de combustible

Les coûts d'achat de combustible ont été évalués en prenant en compte les hypothèses suivantes:

- 15 % de pertes sur le réseau,

- 8 % de chaleur produite avec le mazout afin de couvrir les pointes ainsi que les périodes d'interruption pour ramonage,
- rendement actuel de la chaudière bois, y compris condenseur: 900 kWh/m³ plaquettes.

L'achat de combustible représente donc un montant annuel CHF de 101'527.- HT.

Prix de la chaleur : TTC 14.43 cts/kWh.

Pour mémoire, le prix de la chaleur est actuellement de 13.5 cts TTC /kWh.

4.3. Aspects d'exploitation

Avec cette variante, l'exploitation serait poursuivie à l'identique, en termes d'occupation des collaborateurs et de système de rémunération de ces derniers : service forestier dans le prix du bois et heures dédiées au CAD dans les frais de maintenance. Le nombre d'heure à consacrer aux ramonage et à l'entretien devrait baisser de manière significative avec une installation neuve..

5. REMPLACEMENT DE LA CHAUDIÈRE EXISTANTE PAR UNE CHAUDIÈRE À BOIS DÉCHIQUETÉE DE TECHNOLOGIE FIREFORCE

5.1. Aspects techniques

L'implantation de l'installation proposée est présentée en annexe 10.

Après analyse des consommations actuelles du réseau, l'entreprise FireForce propose l'installation d'une chaudière à bois de 650 kW avec un accumulateur tampon de 6 m³.

Ce dernier permettra le stockage d'énergie lorsque la puissance du réseau est plus faible que la puissance délivrée par la chaudière; ou à fournir une puissance d'environ 100 kW supplémentaire lors d'une demande importante des consommateurs.

Dans son business modèle, Fire Force prend la responsabilité de la puissance installée et s'engage de manière contractuelle sur une couverture de l'énergie par du bois supérieure à 90% sur l'année.

Un dimensionnement plus précis sera mené afin d'évaluer s'il n'est pas plus judicieux de prévoir un accumulateur plus petit et une chaudière légèrement plus puissante. Ce qui pourrait également permettre de positionner l'entier des appareils dans l'espace actuel de la chaufferie.

Le fait de placer dans un premier temps une chaudière à même de répondre uniquement aux besoins du CAD existant permet de minimiser les investissements et de conserver un prix de l'énergie concurrentiel.

Cela laisse également la porte ouverte à l'installation, à futur et en fonction du développement du réseau et de l'organisation des locaux communaux, d'une deuxième source de production de chaleur : renforcement de l'installation prévue, seconde chaudière ou couplage chaleur force fonctionnant au bois.

Soulignons que la technologie Fire Force permet, dans une certaine mesure, le renforcement de la puissance par adaptation de la chaudière existante et non mise ne place d'un autre vecteur de chaleur.

5.2. Aspects financiers

5.2.1. Principe

Cette option entraîne un changement de paradigme dans l'exploitation du CAD dans la mesure où la société FireForce propose la mise à disposition des installations techniques y compris leur exploitation. Ainsi, durant 20 ans, ces dernières ne seraient pas directement propriété de la Commune.

La Commune resterait toutefois propriétaire et exploitante du réseau, y compris des sous-stations, gardant également l'exclusivité des contacts avec les clients et la responsabilité des éléments administratifs (facturation, comptabilité). A la fin du contrat, les installations techniques deviendraient propriété de la Commune qui pourra alors les reprendre, sauf décision contraire.

L'offre de la société FireForce est la suivante :

- l'entier de l'investissement pour une production annuelle garantie de 2'000'000 kWh : installations techniques en chaufferie : chaudière bois, ballon, chaudière mazout, raccordements électriques, changement des pompes, adaptation éventuelle du transport de bois, décendrage, commande...
- ainsi que des coûts d'exploitation : réparations nécessaires et la gestion complète de l'installation, y compris évacuation des cendres,

sont pris en charge par FireForce qui facture au CAD de Rochefort la chaleur sortie chaudière.

5.2.2. Investissement - Voir annexe 11

La Commune de Rochefort peut décider de la valeur du prépaiement qu'elle souhaite investir, sachant que le prix de l'énergie décroît avec l'augmentation de la valeur de ce dernier.

Nous avons donc calculé, à rebours, le prépaiement nécessaire afin de conserver le prix de l'énergie actuel. Soulignons que le calcul de la participation financière optimale à consentir pourra être repris avec l'administration communale avant signature du contrat.

Ainsi, l'investissement nécessaire serait de **CHF 430'000 HT**.

Dans ce cas de figure, la chaleur injectée dans le réseau serait facturée : 5.92 cts HT / kWh.

Il n'y a pas d'autres frais à prévoir pour la commune.

Si le besoin en énergie augmente un prépaiement est à prévoir de CHF 150'000.- HT par tranche de 500'000 kWh. C'est la commune qui sollicite, cas échéant, une augmentation de puissance.

5.2.3. Prix de l'énergie – Voir annexe 12

Aux frais financiers liés à l'investissement ci-avant, nous avons ajouté les frais d'exploitation pour le réseau et tous les aspects administratifs du CAD ainsi que le prix de l'énergie

Le calcul ayant été mené à rebours, le prix de l'énergie est conservé à son niveau actuel de **13.5 cts TTC /kWh**.

5.3. Aspects d'exploitation

5.3.1. Achat des combustibles : bois et mazout

Le business modèle de FireForce prévoit que l'achat des combustibles : bois et mazout est inclus dans le prix de l'énergie mise à disposition du réseau.

Les responsables de l'entreprise FireForce souhaitent poursuivre l'achat du bois auprès de la Commune. Les solutions administratives de facturation, pour tenir compte des contingences TVA notamment sont ouvertes.

Le prix proposé est de CHF 34.- HT par m³ de plaquettes, livré dans le silo, ce qui correspond à CHF 36.60 TTC par m³ de plaquettes, ce qui est comparable à la situation actuelle.

5.3.2. Collaboration avec le personnel communal

Le personnel communal est aujourd'hui très impliqué dans l'exploitation du CAD et en particulier des installations techniques qui, les années aidant, demandent toujours plus d'attention et de soins 😊

Cette implication est garante du bon fonctionnement de ce projet qui a été souligné à plusieurs reprises.

Fire Force, dans le cadre d'un contrat de confidentialité confierait l'entretien hebdomadaire ainsi que le soutien lors de dépannage à l'équipe communale pour l'équivalent de 100 heures par an.

6. REMARQUES FINALES

6.1. Conclusion

Les intérêts ayant guidé la présente proposition étaient nombreux :

- nécessité de mise en conformité des installations,
- nécessité de changer une installations vieillissante qui donne de plus en plus de fil à retordre à ses exploitants,
- opportunité de mettre en adéquation la puissance des installations techniques avec celle du réseau actuel,
- opportunité de prévoir le renforcement et la densification de ce réseau qui est une tendance forte et inéluctable à court, moyen et long terme,
- maintien du prix de l'énergie pour les clients du CAD,
- nouvelles installations dans les volumes à disposition,
- poursuite de la fourniture du bois-énergie par les équipes forestières communales,
- poursuite de l'implication du personnel communal dans l'exploitation du CAD,
- maintien, voire augmentation des rendements techniques et financiers du projet...

Le présent dossier fait la synthèse des réflexions menées depuis une dizaine d'années et met en parallèle deux options.

A notre sens, la variante Fire Force est celle qui présente le plus d'avantages : techniques, d'exploitation et financiers. Elle répond à chacun des objectifs fixés.

Le fait que l'exploitation soit garantie par le fournisseur de la chaudière nous semble plutôt un avantage dans le contexte d'emploi du personnel communal qui est proposé.

6.2. Suites à prévoir

À la suite de cette étude, nous proposons de travailler selon les étapes suivantes:

Étape 1	:	Note de M. Beutler au Conseil communal pour présenter les résultats du projet. Discussion du contrat avec FireForce : achat de la chaleur, livraison du bois et exploitation. Présentation aux commissions et collaborateurs concernés. Visite d'une installation FireForce existante et discussion avec les mandataires (Commissions et/ou Conseil Général).
Étape 2	:	Information et vote du crédit d'investissement, Conseil général, délai référendaire.
Étape 3	:	Changement des installations techniques en chaufferie
Étape 4	:	Phase d'exploitation, éventuellement densification du réseau

Nous espérons, par le présent, avoir apporté au maître de l'ouvrage une vision exhaustive et tous les éléments nécessaires à sa prise de décision quant à l'entretien et au développement de son réseau de chauffage à distance de Rochefort et qu'il aura à cœur de porter ce projet. Masai Conseils SA mettra ses compétences et son enthousiasme à l'accompagner dans cette tâche.

Masai Conseils SA



Séverine Scalia Giraud



Sylvain Langel

Cernier, le 31 décembre 2022

ANNEXES

Annexe 1. Le chauffage au bois de Rochefort et son réseau en quelques chiffres

Le chauffage au bois de Rochefort et son réseau en quelques chiffres

- **La production de chaleur**

- Puissance de la chaudière à bois	
• Humidité du bois 10% ATRO	450 kW
• Humidité du bois 100% ATRO	350 kW
- Type de chaudière	à grille mobile
- Fournisseur de la chaudière	Müller Holzfeueurungen AG
- Puissance du récupérateur-condenseur Powercondens.	30 - 60 kW
- Puissance de la chaudière mazout (BCP) pour couvrir les pointes et en cas de secours	180 kW
- Puissance de la chaufferie du bâtiment route des Grattes 4 utilisable en secours	120 kW
- Volume du silo à bois déchiqueté	130 m ³
- Volume de la chaufferie	170 m ³
- Hauteur de la cheminée	7.5 m
- Début des travaux	août 2003
- Mise en service chaudière bois	septembre 2004

- **Le réseau**

- Nombre de bâtiments raccordés à fin 2004 ; 2016	20 ; 40
- Longueur totale du réseau (raccordements compris)	1140 m
- Longueur des conduites enterrées (BruggrohreystemeAG)	
• en acier isolé	340 m
• en plastique souple isolé	525 m
- Longueur totale des conduites passant au travers des bâtiments (acier seulement)	275 m
- Somme des puissances thermiques des bâtiments raccordés	
• contractuelle	625 kW
• effective par -10°C ext.	470 kW
- Puissance thermique maximum disponible sur le réseau avec chaufferie d'appoint du BCP et route des Grattes 4	750 kW
- Température de départ du réseau - 10 °C ext.	+ 75°C
- Température de retour sur le réseau par - 10 °C ext.	+ 40 à 50°C
- Température minimum du réseau au départ de la chaufferie	+ 65°C

- **Données complémentaires**

- Puissance contractuelle raccordée par mètre de réseau (y compris raccordements intérieurs)	0.55 kW/m
- Energie délivrée par mètre de réseau	880 kWh/m an
- Consommation moyenne par client	47'000 kWh/an
- Prix d'achat de l'énergie contenue dans le bois déchiqueté	3.5 cts/kWh
- Prix d'achat du mazout (secours et appoints) soit	50 cts/l 5 cts/kWh
- Prix de revient de la chaleur vendue (sans aides financières)	16,7 cts/kWh
- Prix de revient de la chaleur après déduction des aides financières	11,7 cts/kwh

Rochefort
Novembre 2004

- **Les acteurs principaux**

- Maître de l'ouvrage
Commune de Rochefort et à
2019 Rochefort
- Ingénieur chauffage, direction du projet
Masai conseils
2053 Cernier
- Architecte du bâtiment
Eric Repele
2000 Neuchâtel
- Ingénieur civil
AJS
2000 Neuchâtel
- Installateur en chauffage
Climax
2000 Neuchâtel
- Maçonnerie bâtiment
Paci Bâtiment - Génie civil
2300 La Chaux-de-Fonds
- Génie civil réseau
Consortium Walo - Batigroup - Marti
2000 Neuchâtel
- Electricien
Elexa
2000 Neuchâtel

Rochefort
Novembre 2004
Set 2017

Annexe 2. Prix de vente de la chaleur 2012-2021

Annexe 8

CAD Rochefort

Prix de vente annuel moyen de la chaleur aux clients années 2012 - 2021

Années	2012	2103	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Nbre kWh	1'711'850	1'747'960	1'616'380	1'857'880	1'423'900	1'981'430	1'677'260	1'761'430	1'680'500	1'983'600
Facturation CHF HT	196'070	200'730	188'880	220'890	170'320	226'370	191'530	202'140	201'380	229'940
Prix HT Frs/kWh	0.1145	0.1148	0.1169	0.1189	0.1196	0.1142	0.1142	0.1148	0.1198	0.1159
Prix TTC Cts/kWh*	12.4	12.4	13.5	12.4	12.9	12.3	12.3	12.4	12.9	12.5

Prix de la chaleur mazout pour comparaison

Prix moyen CHF/100 l	104.1	101.1	99.7	75.6	71.6	80.3	96.3	90.9	70.2	(113.0) ⁺
Chaleur prix moyen cts/KWh**	13.6	13.3	13.1	9.9	9.4	10.6	12.6	11.9	9.2	(14.8) ⁺
Chaleur prix moyen cts/KWh***	15.0	14.7	14.5	11.3	10.8	12.0	14.0	13.3	10.6	(16.2) ⁺

*Prix moyen TTC facturé aux clients, taxe de base comprise

** Prix CHF TTC pour 3000 à 6000 litres de mazout selon "Statistique suisse de l'énergie 2020".
Rendement de conversion mazout - chaleur sur PCI considéré : 0.75.

*** Y compris frais de ramonage + abonnement et électricité du brûleur : CHF 500.-/an pour 4500 litres de mazout produisant 34'425 kWh soit TTC 1.4 cts / kWh

+ Prix du mazout en février 2022

Sources : "Commune de Rochefort" et "Statistique suisse de l'énergie 2020" - OFEN 2021

Masai Conseils, mars 2022

Calcul du prix de revient de la chaleur mazout chez un client : méthode utilisée

EXEMPLE avec le prix du mazout le 7 février 2022

- Prix du mazout : 115.- CHF / par 100 litres pour une consommation comprise entre 3000 et 6000 litres par an (OFEN 2021)
- Energie potentielle sur PCI de 100 litres : $100 \text{ l} \times 10.2 \text{ kWh/litre} = 1020 \text{ kWh}$
- Prix de l'énergie potentielle du mazout à 115 CHF/100 l : $115 / 1020 = 0.113 \text{ CHF/kWh}$
- Rendement de conversion mazout- chaleur, valeur usuelle vérifiée empiriquement : 0.75 (75%)
- Prix de la chaleur mazout après transformation en chaleur : $0.113/0.75 = 0.150 \text{ CHF/kWh}$
- Coûts annexes :
 - Abonnement brûleur CHF 300.-/an
 - Electricité brûleur CHF 50.-/an
 - Ramoneur CHF 150.-/an
 - Total coûts annexes CHF 500.-/an
- Coûts annexes rapportés à 4500 l par an : $500 / (4500 \times 10,2 \times 0.75) = 0.0145 \text{ CHF/kWh}$
- Prix de la chaleur mazout : $0.150 + 0,0145 = 0.164 \text{ CHF/kWh}$
soit 16,4 cts /kWh

Hypothèse concernant les investissements initiaux :

La taxe de base et les frais pour le raccordement à un CAD correspondent à l'investissement pour une nouvelle chaudière mazout avec son brûleur. Une hypothèse plutôt en faveur du mazout, particulièrement sur les bâtiments neufs.

Annexe 3. Conclusion du rapport de faisabilité du 08.06.2012

Annexe 1

7. CONCLUSIONS

Le présent rapport est une étude de faisabilité qui démontre qu'une extension du réseau de chauffage à distance de Rochefort à tout le village est possible sous certaines conditions qui ont été évoquées.

Si le maître de l'ouvrage entre en matière pour une extension qui se déroulera sur une décennie voire davantage, il considèrera également les éléments suivants :

- Une amélioration du rendement de la combustion bois pourrait être obtenue en ajoutant un condenseur raccordé à une pompe à chaleur. Gain de puissance ~ 10%. On retarderait ainsi la pose d'une 2^{ème} chaudière à bois
- Des bâtiments existants seront certainement progressivement isolés thermiquement et les prévisions de consommations données dans le présent rapport pourront être revues "à la baisse".
- Les grands principes de l'extension du réseau sont donnés. En revanche à l'exécution, certains tracés seront modifiés et le plan du réseau (figure 5, annexe 2) n'ont pas la contrainte d'un plan directeur absolu.
- La création d'un local enterré pour le traitement des fumées en Ouest du bâtiment est à étudier.
- Le système de récupération et d'évacuation des cendres dans la nouvelle configuration devra être développée en collaboration avec le responsable de l'exploitation.
- Le moment où l'on transforme la chaufferie sera arrêté en fonction de l'évolution du réseau et du raccordement des consommateurs. Cette réalisation devrait intervenir dans un délai de 4 à 6 ans en fonction de l'évolution du nombre de raccordements. D'ici là, la consommation de mazout d'appoint augmentera progressivement mais dans une mesure raisonnable au fur et à mesure des nouveaux raccordements.

Les auteurs du rapport encouragent la Commune de Rochefort à poursuivre l'extension de son réseau et sont à disposition des Autorités communales pour y contribuer par leur expérience.

Montezillon, le 28 juin 2012

Sylvain Langel

Séverine Scalia Giraud

Annexe 4. Projet de modification de chaufferie

Annexe 5. Plaquette FireForce Technology



Fireforce Technology

Procédés de combustion de biomasse
ultra-basses émissions de polluants
hautes efficacités

Le procédé de combustion propre Fireforce convertit la biomasse en énergie-chaleur de manière efficace et avec des taux d'émission de polluants gazeux et particulaires extrêmement bas, ne requérant donc aucune filtration des fumées. Il permet notamment la combustion propre de pellets de bois et de plaquettes forestières et ouvre la voie vers des chaudières et des procédés de cogénération à partir de bois plus propres, plus simples, et plus économiques.



Notre histoire

Fireforce Technology est née de l'invention d'un procédé de combustion de biomasse ne générant que très peu d'émissions de polluants. Ce procédé a été inventé en 2012 par André Van der Veken, alors qu'il développait une installation de production de biochar au sein de sa compagnie Carboforce. Le procédé a été amélioré et développé depuis lors. Démontrant les bons résultats du procédé, Carboforce a séparé ses activités en 2016 et a transféré la propriété intellectuelle brevetée du procédé à une nouvelle compagnie, Fireforce Technology, créée officiellement mi-2018 pour continuer le développement puis intégrer la technologie dans des chaudières et des machines de cogénération à partir de bois.



À partir de 2015, de nouveaux talents ont intégré le développement technique et industriel de la compagnie, alors qu'étaient reconnus les avantages et le potentiel de la technologie à l'extérieur de la compagnie. Au fil des années, Fireforce Technology a développé en son sein une solide culture des processus de combustion et des différentes phases qui les composent, ce qui permet à nos machines d'atteindre les meilleures performances énergétiques et environnementales, avec des émissions de polluants au plus bas, voire quasi-nulles.

Notre projet

Notre but est d'équiper chaque chaudière ou machine qui brûle du bois avec notre technologie et par conséquent, de limiter drastiquement leurs émissions de polluants, tout en substituant nos solutions à leurs prédécesseurs fonctionnant aux énergies fossiles. Nos prototypes ont jusqu'ici été testés de 10 à 100 kW et notre procédé de combustion semble pouvoir être mis à l'échelle de quelques kilowatts à plusieurs mégawatts de puissance-chaleur sans obstacle majeur. Alors que nous ciblons le secteur des chaufferies de réseaux de chauffage à distance et les industries employant des machines de plus de 500 kW, nous développons actuellement une chaudière pour plaquettes forestières de 500 kW, sous la forme d'un module autonome raccordé directement sur le procédé industriel ou le réseau de chauffage. Nous offrons aussi nos services dans le cadre de projets de développement de produits et de projets pour votre compagnie, vous aidant à développer le brûleur ou le procédé de combustion dont vous avez besoin pour votre application.

Notre technologie

Notre brûleur pour biomasse et notre procédé de combustion permettent de concevoir et construire des machines typiquement :

- moins volumineuses et plus économiques, car ne nécessitant pas de filtration des fumées ;
- avec de meilleures efficacités thermiques, fonctionnant avec des facteurs d'air très proches de 1 ;
- avec une plus grande flexibilité sur le combustible, notamment en ce qui concerne sa composition, son type, et son humidité (humidités supérieures à 55% admises) ;
- avec de plus grandes plages de modulation de puissance (de l'ordre de 1 pour 8, voire 1 pour 10).
- avec moins de maintenance ;
- qui permettent une cogénération d'énergie-chaleur et d'électricité plus facilement et simplement qu'avec un procédé classique ;
- qui permettent facilement la condensation des fumées.

Les avantages uniques de notre technologie sont attestés par nos résultats préliminaires, mesurés sur nos démonstrateurs, issus de mesures externes et indépendantes de notre entreprise.

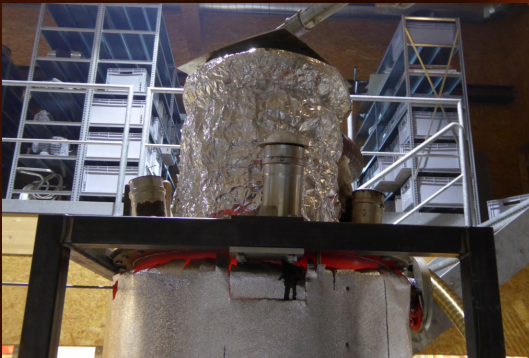
Dispositif de mesure	Testo 330-2LL F			Wöhler SM 500			Testo 330+380		
Combustible	Pellets			Plaquettes forestières					
Humidité [%W _r]	8%			25%			50%		
Puissance-chaleur [kW]	15	40	55	10	30	50	42	42	42
O ₂ [%]	0.5	0.3	0.8	0.7	0.7	0.8	1.7	1.4	1.2
CO [mg.Nm ⁻³ @ 13%O ₂]	26	14	43	35	13	16	4	8	12
NO _x [mg.Nm ⁻³ @ 13%O ₂]	77	68	72	-	-	-	83	68	63
Particules fines [mg.Nm ⁻³ @ 13%O ₂]	<5	5	6	<5	5	<5	<5	<5	<5





Notre Équipe

Fireforce Technology est dirigée par André Van der Veken, inventeur de la technologie. Actuellement, l'équipe Fireforce est composée de 6 ingénieurs et/ou spécialistes de la combustion de biomasse et des procédés de combustion.



Nous sommes ouverts à collaborer avec des institutions et des compagnies pour développer plus loin notre projet et les vôtres.


Rencontrons-nous !

FIREFORCE TECHNOLOGY SÀRL
Rue des Ducats, 4B
1350 Orbe
SUISSE
+41 (0)76 426 94 10
info@fireforce-technology.ch



Annexe 6. Mesures FireForce - SENE

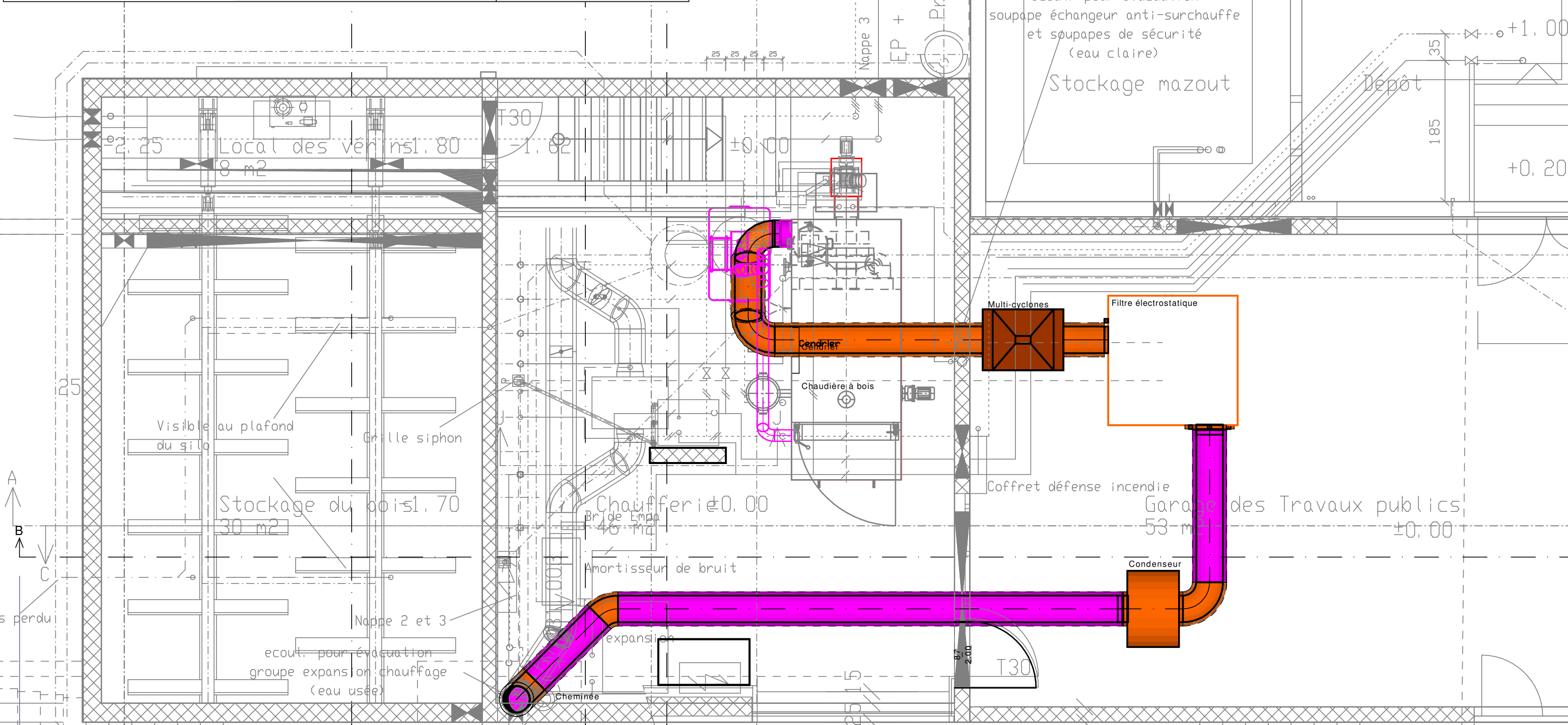
Annexe 6

 Rue du Tombet 24 2034 Peseux RÉPUBLIQUE ET CANTON DE NEUCHÂTEL		Rapport de contrôle d'une installation de chauffage au bois		
Service de l'énergie et de l'environnement Section nuisance sonores et atmosphériques		N° de rapport :		
N° installation SENE :		Adresse du propriétaire : Firefore Technology Rue des Ducats 40 b 1350 Orbe		
Adresse de l'installation :		Téléphone : 076 426 94 10		
Responsable : André Van der Veken		Date de contrôle : 25.11.2020		
Type de contrôle : Sur demande		Technicien de mesure : F. Gretillat		
Caractéristiques chaudière :		Année :		
Marque : Fireforce Technology		Alimentation : Automatique		
Type :		Puissance calorifique : 130 kW		
Année : 2020		Heures de service : h		
Caractéristiques filtre :		Année :		
Marque :		Technique :		
Type :		Heures de service :		
		Fonctionnement % :		
Combustible :		Taux d'humidité (atro) : 54 %		
Type de bois : Plaquettes		Taux d'humidité (relatif) : 35 %		
Fournisseur :				
Accumulateur de chaleur : (Opair, annexe 3, chiffre 523)				
Volume : 0 litres				
Résumé des résultats et appréciation :				
Moyenne semi-horaire régime puissance 50 %				
Monoxyde de carbone (CO)	[mg/m3]*	mes 1 + mes 2	mes 2 + mes 3	VLE ⁽¹⁾
Oxydes d'azote (NO ₂)	[mg/m3]*	123 ± 9	123 ± 9	500
Débit massique NO ₂	[g/h]**	19 ± 3	19 ± 3	250
Teneur en poussières	[mg/m3]*	2 ± 1	2 ± 1	2500
Exigences remplies :		OUI		OUI
Moyenne semi-horaire régime puissance 100 %				
Monoxyde de carbone (CO)	[mg/m3]*	mes 4 + mes 5	mes 5 + mes 6	VLE ⁽¹⁾
Oxydes d'azote (NO ₂)	[mg/m3]*	10 ± 1	10 ± 1	500
Débit massique NO ₂	[g/h]**	145 ± 10	145 ± 10	250
Teneur en poussières	[mg/m3]*	47 ± 6	47 ± 6	2500
Exigences remplies :		OUI		OUI
⁽¹⁾ : VLE = Valeur limite d'émission de l'OPair (annexe 3, chiffre 522)				
Conformité de l'installation :		OUI		
Peseux	Date : 25.11.2020	Resp. mesure :	François Gretillat	
Remarques:				
Méthodes de mesure et incertitudes :				
Paramètres	Méthode ⁽³⁾	Incertitude	Instrument de mesure	
Monoxyde de carbone (CO)	chap. 6	± 10 % min. 10 mg/m ³	Analyseur Horiba PG 350, Absorption IR Gaz étalon : CO = ppm	
Oxydes d'azote (NO ₂)	chap. 6	± 10 % min. 10 mg/m ³	Analyseur Horiba PG 350, chimieluminescence Gaz étalon : NO = ppm dans N ₂	
Poussières	chap. 4.2	± 15 % min. 1 mg/m ³	Tête filtrante interne équipée de douilles filtrantes	
Oxygène (O ₂)	chap. 6	± 0.2 %vol	Analyseur Horiba PG 350, paramagnétisme Gaz étalon : O ₂ = % vol	
Dioxyde de carbone (CO ₂)	chap. 6	± 0.2 %vol	Analyseur Horiba PG 350, Absorption IR Gaz étalon : CO ₂ = % vol	
Vitesse des effluents	chap. 3	± 10 % min. 0.5 m/s	Estimation basée sur la puissance mesurée de la chau	
Pression barométrique	chap. 3	± 3 mbar	Baromètre	
Température	chap. 3	± 5°C	PT100 couplée à l'anémomètre	
⁽³⁾ : Méthode selon "Recommandations sur la mesure des émissions" de l'OFEV de 2018, cf. chapitre correspondant.				

Résultats des mesures :							
Mesure		1	1	1	2	2	2
Conditions d'exploitation puissance %		50	50	50	100	100	100
Filtre à poussières	n°	1	1	1	2	2	2
Heure début mesure	[h:min.]	10h11	10h11	10h11	11h10	11h10	11h10
Durée mesure	[min.]	43	43	43	47	47	47
Puissance calorifique calculée	kW	71 ± 16	71 ± 16	71 ± 16	135 ± 31	135 ± 31	135 ± 31
Température des effluents	[°C]	37	37	37	40	40	40
Vitesse moyenne des effluents	[m/s]	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0
Pression statique	mbar	0	0	0	0	0	0
Pression barométrique	mbar	940	940	940	940	940	940
Débit volumique des effluents	[m ³ /h]**	65 ± 16	65 ± 16	65 ± 16	133 ± 31	133 ± 31	133 ± 31
Oxygène mesuré (O₂)	[% vol.]	1.7 ± 0.2	1.7 ± 0.2	1.7 ± 0.2	1.8 ± 0.2	1.8 ± 0.2	1.8 ± 0.2
Dioxyde de carbone (CO₂)	[% vol.]	20 ± 0.2	20 ± 0.2	20 ± 0.2	18.5 ± 0.2	18.5 ± 0.2	18.5 ± 0.2
Monoxyde de carbone (CO)	[mg/m³]*	3 ± 10	3 ± 10	3 ± 10	10 ± 10	10 ± 10	10 ± 10
Monoxyde de carbone (CO)	[ppm]	5	5	5	20	20	20
Débit massique CO	[g/h]**	6 ± 1	6 ± 1	6 ± 1	25 ± 3	25 ± 3	25 ± 3
Oxydes d'azote (NO₂)	[mg/m³]*	123 ± 12	123 ± 12	123 ± 12	145 ± 15	145 ± 15	145 ± 15
Oxydes d'azote (NO ₂)	[ppm]	145	145	145	170	170	170
Débit massique NOx	[g/h]**	19 ± 4	19 ± 4	19 ± 4	47 ± 9	47 ± 9	47 ± 9
Teneur en poussières	[mg/m³]*	2 ± 1	2 ± 1	2 ± 1	3 ± 1	3 ± 1	3 ± 1
Débit massique poussières	[g/h]**	0 ± 1	0 ± 1	0 ± 1	1 ± 1	1 ± 1	1 ± 1
Rendement	[%]	99	99	99	98	98	98
		* : normalisé 0°C, 1013 mbar, sec et rapporté à [% O ₂]					13
		** : normalisé à 0°C, 1013 mbar, sec					

Annexe 7. Disposition proposée pour la chaudière FireForce

Rev. f	
Rev. e	
Rev. d	
Rev. c	
Rev. b	
Rev. a	
Objet / Installation	
Commune de Rochefort Chauffage à distance au bois	
Projet de modification de chaufferie	
Pose d'un électrofiltre pour être en conformité avec le SENE	
MASAI	
CONSEILS	
Frédéric-Soguel 4 2053 Cernier Tél. 032 731 53 53 Info@masai-conseils.com www.masai-conseils.com	
Échelle 1/50	
Date 28.02.2022	
Dossier / Plan No. T-1410	



Annexe 8. Calcul des coûts d'investissement – Version standard

T-1410 - CAD de Rochefort

Projet de mise en conformité et de renforcement des installations techniques

Remplacement de la chaudière existante par une chaudière à bois déchiqueté équipée d'un électrofiltre, solution standard

Mise en conformité des installations techniques		Montant	Remarques
chaudière à bois 700 kW (Schmid)		340 260	chaudière 700 kW, filtre ES, adaptation transp. bois, décendrage, commande, livraison et pose - +7% sur offre augmentation au 01.01.2023
condenseur bois 70 kW		85 100	fourniture et pose
adaptations en chaufferie		97 217	nouvelles pompes chaudière
régulation (Elfero)		32 000	selon offre
électricité		68 600	
optimisation décendrage et porte silo		0	
interventions sur les sous-stations		84 000	adaptation anciennes sous-stations (21*4000)
divers et imprévus	10%	70 718	
Sous-total mise en conformité installations techniques		777 895	
honoraires Masai	15%	116 700	
Total HT		894 595	
TVA	7.7%	68 884	
Total TTC		963 500	

Annexe 9. Calcul des coûts de l'énergie – Version standard

T-1410 - CAD de Rochefort

Projet de mise en conformité et de renforcement des installations techniques

Calcul du prix de revient de l'énergie

Consommation CAD considérée :

41 bâtiments actuellement raccordés

1 800 000 kWh/an

Frais financiers		111 350	Frs/an
Investissement bâtiment		0	Frs TTC
Investissement installations techniques		963 479	Frs TTC
Investissement réseau CAD		0	Frs TTC
Subventions et aides		0	Frs
Participation au raccordement		0	Frs TTC
Investissement net adaptation bâtiment		0	Frs TTC
Investissement net installations techniques		963 479	Frs TTC
Investissement net réseau		0	Frs TTC
Annuités	Durée d'amortissement*		
2.00% bâtiment	80 ans	0	Frs/an
2.00% installations techniques	25 ans	49 350	Frs/an
2.00% réseau	33 ans	0	Frs/an
augmentation location bâtiment (surface en +)		6 000	Frs/an
location bâtiment		16 000	Frs/an
amortissement actuel réseau		40 000	Frs/an
amortissement actuel installations techniques		0	Frs/an

* selon l'annexe 2, art.46 RLFinEC

Frais d'exploitation réseau		46 800	Frs/an
personnel, entretien chaufferie, réseau, sous-stations et c	0.026 Frs/kWh vendu	46 800	Frs/an

Frais de combustible		101 527	Frs/an
Besoin en énergie chaufferie (y c pertes réseau 15 %)		2 070 000	kWh/an
Consommation de chaleur copeaux		1 904 400	kWh/an
Consommation de chaleur mazout (8%)		165 600	kWh/an
Consommation de copeaux (900 kWh/m ³)		2 116	m ³ /an
Consommation de mazout (9 kWh/l)		18 400	l/an
Coût des copeaux		37	FrsTTC/m ³
Coût du mazout		130	ctsTTC/l
Coût combustible copeaux par an		77 607	Frs TTC
Coût combustible mazout par an		23 920	Frs TTC
Total combustible		101 527	Frs TTC

Total des frais annuels		259 677	Frs/an
Vente d'énergie prévisible		1 800 000	kWh/an
Prix de l'énergie TTC		14.43	cts/kWh

Annexe 10. FireForce 700 kW – accumulateur en remplacement actuelle

type TMU/TMV 13
 10% Atro (9% H. rel.) 500 kW
 60% Atro (40% H. rel.) 425 kW
 100% Atro (50% H. rel.) 400 kW
 120% Atro (55% H. rel.) 370 kW
 150% Atro (60% H. rel.) 350 kW

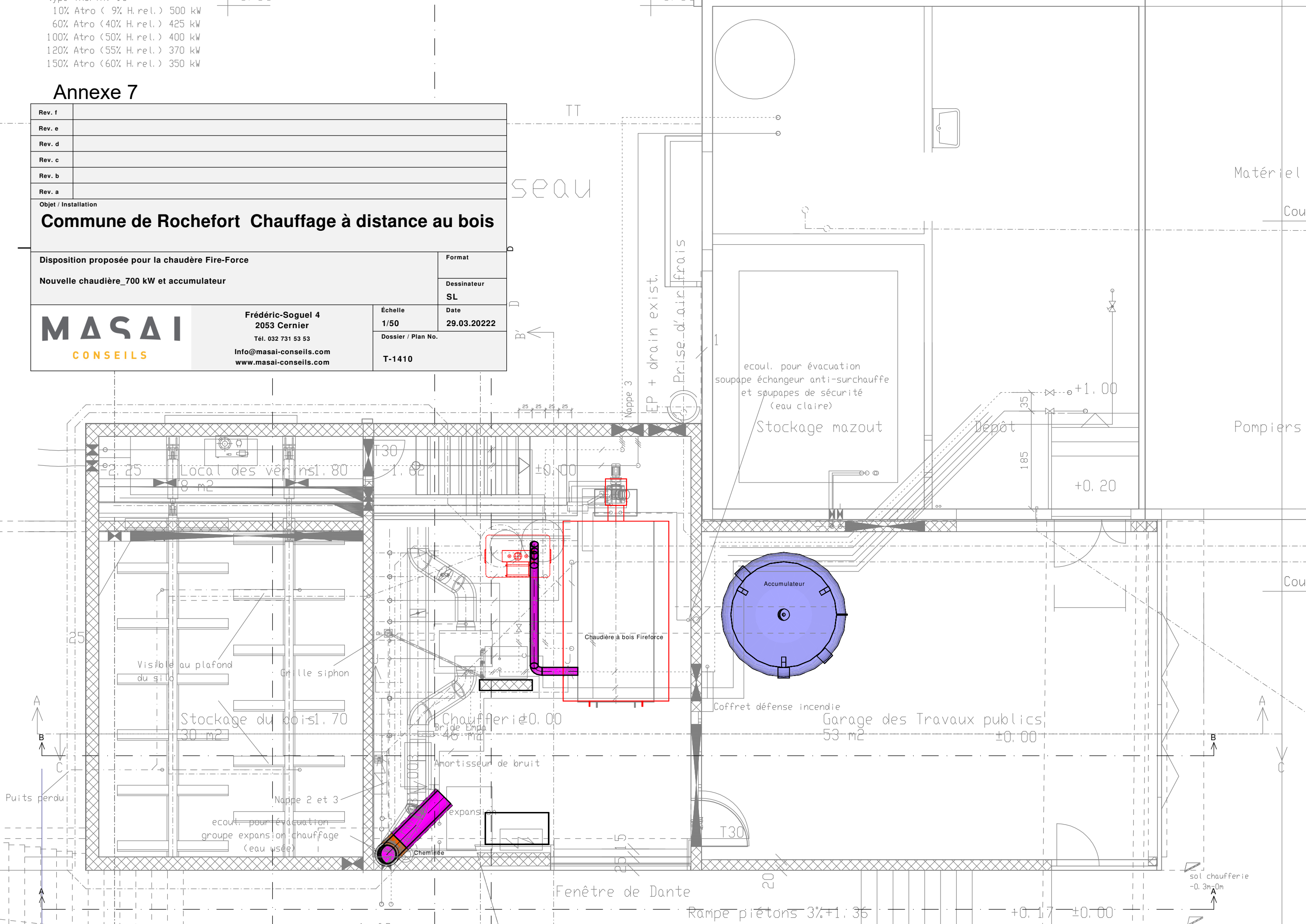
Annexe 7

Rev. f	
Rev. e	
Rev. d	
Rev. c	
Rev. b	
Rev. a	
Objet / Installation	
Commune de Rochefort Chauffage à distance au bois	
Disposition proposée pour la chaudière Fire-Force	
Nouvelle chaudière_700 kW et accumulateur	
Format	
Dessinateur	
SL	
Echelle	
Date	
Dossier / Plan No.	
T-1410	

MASAI
 CONSEILS

Frédéric-Soguel 4
 2053 Cernier
 Tél. 032 731 53 53
 Info@masai-conseils.com
 www.masai-conseils.com

Echelle
 1/50
 Date
 29.03.20222
 Dossier / Plan No.
 T-1410



Matériel P

Coupe

Pompiers

Coupe

sol chaufferie
 -0.3m.0m

sol silo

Annexe 11. Calcul des coûts d'investissement - FireForce

T-1410 - CAD de Rochefort

Projet de mise en conformité et de renforcement des installations techniques



		Entreprise	Montant	Remarques
Mise en conformité des installations techniques				
participation aux installations	4.3	Fire Force	430 000	
optimisation décadage et porte silo			0	
interventions sur les sous-stations			84 000	adaptation anciennes sous-stations (21*4000)
divers et imprévus		10%	8 400	
Sous-total mise en conformité installations techniques			522 400	
honoraires Masai (travaux + FF)	15%	60'000 FF	72 600	
Total HT			595 000	
TVA		7.7%	45 815	
Total TTC			640 800	

Annexe 12. Calcul des coûts de l'énergie - FireForce

T-1410 - CAD de Rochefort

Projet de mise en conformité et de renforcement des installations techniques

Calcul du prix de revient de l'énergie

Consommation CAD considérée :

41 bâtiments actuellement raccordés

1 800 000 kWh/an

Frais financiers		92 823	Frs/an
Investissement bâtiment		0	Frs TTC
Investissement installations techniques		640 815	Frs TTC
Investissement réseau CAD		0	Frs TTC
Subventions et aides		0	Frs
Participation au raccordement		0	Frs TTC
Investissement net adaptation bâtiment		0	Frs TTC
Investissement net installations techniques		640 815	Frs TTC
Investissement net réseau		0	Frs TTC
Annuités	Durée d'amortissement*		
2.00% bâtiment	80 ans	0	Frs/an
2.00% installations techniques	25 ans	32 823	Frs/an
2.00% réseau	33 ans	0	Frs/an
augmentation location bâtiment (surface en +)		4 000	Frs/an
location bâtiment		16 000	Frs/an
amortissement actuel réseau		40 000	Frs/an
amortissement actuel installations techniques		0	Frs/an

* selon l'annexe 2, art.46 RLFinEC

Frais d'exploitation réseau		18 000	Frs/an
personnel, entretien réseau, sous-stations et compteurs	0.010 Frs/kWh vendu	18 000	Frs/an

Frais d'énergie et d'exploitation chaufferie		131 980	Frs/an
besoin en énergie chaufferie (y c pertes réseau 15 %)		2 070 000	kWh/an
achat des kWh Fire force sortie chaufferie		6.4	cts TTC/kWh
total frais énergie et exploitation chaufferie		131 980	Frs TTC

Total des frais annuels		242 803	Frs/an
Vente d'énergie prévisible		1 800 000	kWh/an
Prix de l'énergie TTC		13.49	cts/kWh