

# FORUM ARPEA - Le chauffage à distance face aux enjeux énergétiques et environnementaux

1

## Améliorer l'efficacité des réseaux de chaleur en abaissant leur température et en condensant les fumées

**Séverine Scalia Giraud**

*Ingénieur civil dipl. spécialisation géotechnique, EMBA.*

*Administratrice et directrice du bureau*

Masai Conseils SA

2053 Cernier (NE)

[www.masai-conseils.com](http://www.masai-conseils.com)

# SOMMAIRE

2

1. Introduction : la chaleur latente
2. Le rendement des chaudières à plaquettes forestières et la condensation des fumées
3. Quelques exemples de configuration de chaufferies
4. Les déperditions thermiques des réseaux
5. Créer des retours froids sur le réseau
6. Pour conclure : quelques règles et bons principes pour améliorer l'efficacité des installations de chauffage au bois avec réseau à distance

### La condensation de la vapeur : un réservoir caché d'énergie

- Chaleur spécifique de la glace: 0.58 kWh/kg.K
- Chaleur spécifique de l'eau: 1.16 kWh/kg.K
- Chaleur latente de fusion de la glace: 0.93 kWh/kg
- Chaleur latente d'évaporation de l'eau: 6.27 kWh/kg

### Si l'on chauffe 1 kilo de glace puis d'eau de -20° à 100°C avec une puissance de 500 W

- -20° à 0°: 1.4 min. 2 %
- Fusion complète de la glace: 11 min. 11 %
- 0° à 100°: 14 min. 14 %
- Évaporation complète: 75 min. 73 %

## 2. Le rendement des chaudières à plaquettes forestières et la condensation des fumées

4

Rendement annuel moyen de chaufferie à plaquettes forestières dans le canton de Neuchâtel selon données de l'enquête Masai-SENE-Neuchâtel en 2015

	Rendement [kWh/m <sup>3</sup> pl.]
Chaudière mal réglée, service de maintenance négligeant et peu motivé	600 à 650
Exploitation standard sans optimisation particulière	700 à 800
Valeur communément admise comme référence	850
Chaudières bien réglées, à condensation et retour < 45°C	920 à 980

### Chaleur disponible sur PCS = Gain potentiel par récupération de la chaleur latente des fumées

Ex : 1 kg de bois frais humidité atro = 100 %

- Refroidissement des fumées de 150° à 40° : 0.15 kWh
- Condensation de l'eau contenue dans le bois : 0.30 kWh
- Refroidissement du condensat : négligeable
- Condensation de l'eau générée par la combustion (PCS) : 0.50 kWh
- TOTAL potentiel : 0.95 kWh
- Valeur énergétique potentielle du bois frais sur PCS : 3.1 kWh/kg
- Gain potentiel par condensation des fumées : 31 %
- Gain technique "raisonnablement envisageable" : 20 à 25 %

### L'efficacité et le rendement de la condensation s'améliorent avec l'abaissement de la température des fumées

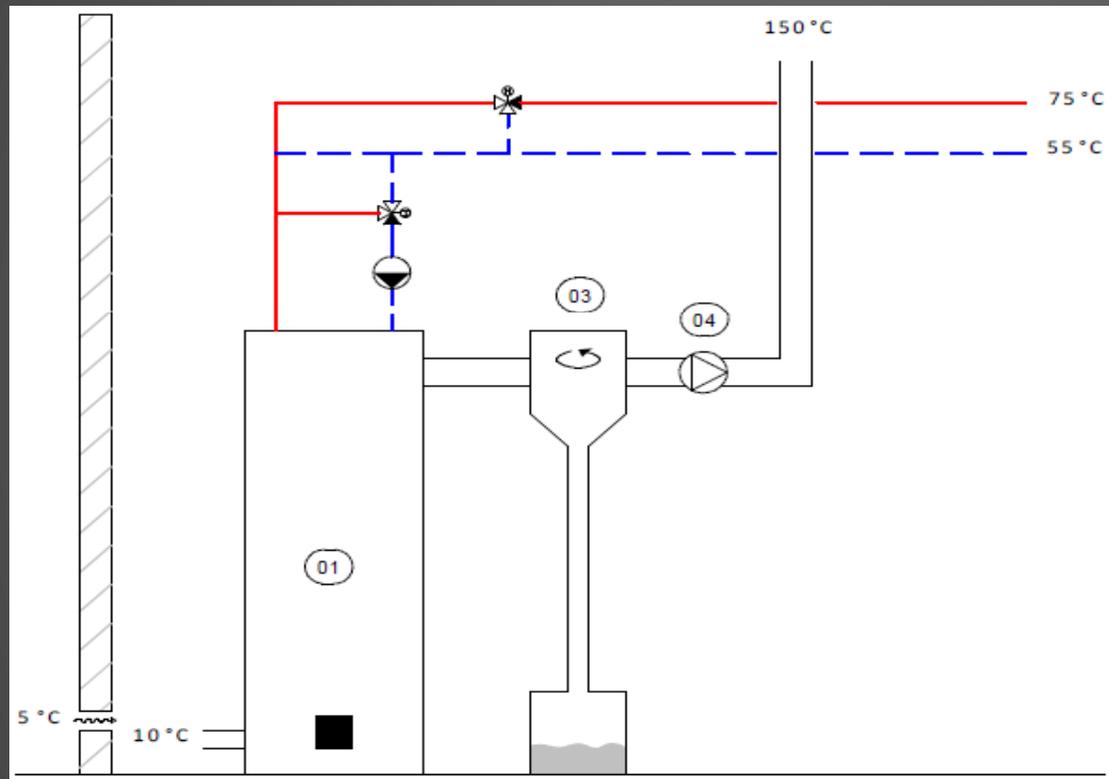
Ex : humidité bois 44% atro, excès d'air  $\lambda = 1.6$ , température fumée sortie chaudière = 150°C

T° des fumées après condenseur	Gain d'énergie	Part de l'énergie récupérable
[°C]	[%]	[%]
150	0	0
100	4	13
60	8	25
50	14	44
40	21	66
30	26	81
20	30	94
10	31	96
0	32	100

### 3. Quelques exemples de configuration de chaufferies

7

Conception standard d'une chaudière à plaquettes forestières



#### Légende :

01: chaudière à plaquettes

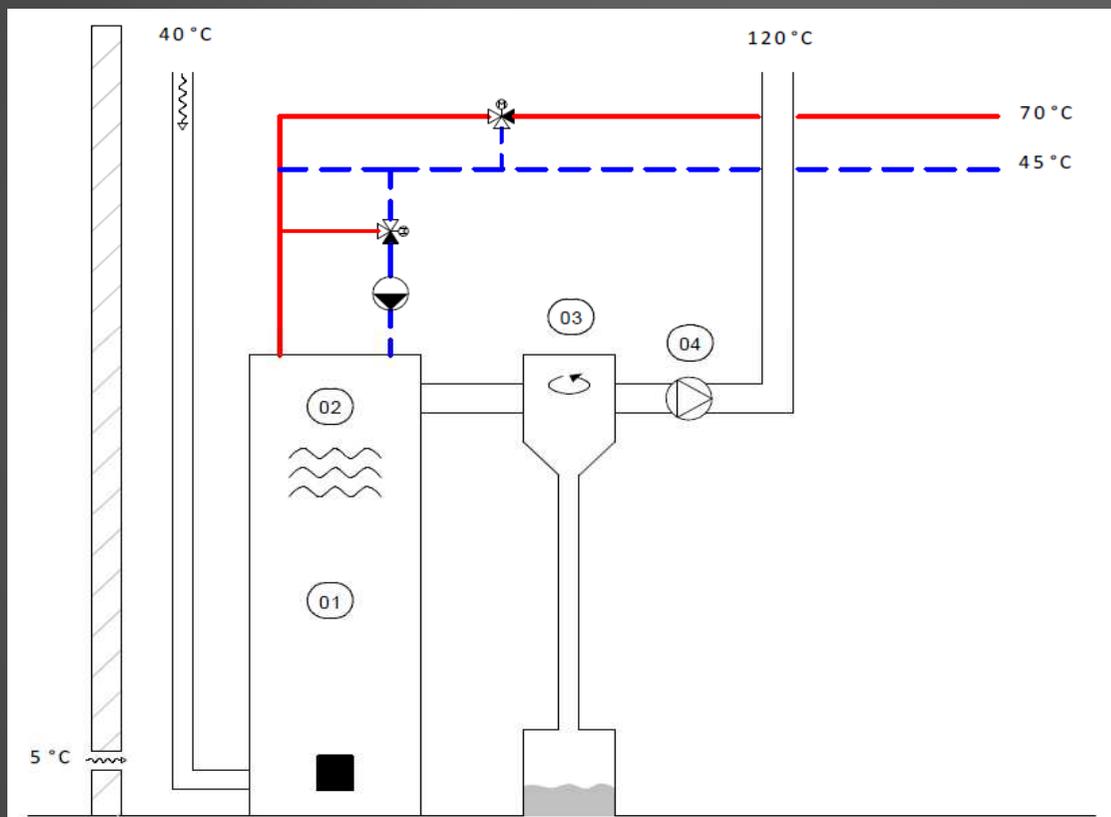
03: Filtre cyclone

04: Ventilateur d'extraction de fumées

### 3. Exemples de configuration

8

Conception standard d'une chaudière à plaquettes avec turbulateurs et préchauffage de l'air pris au plafond.



#### Légende :

01: chaudière à plaquettes

02: Turbulateur

03: Filtre cyclone

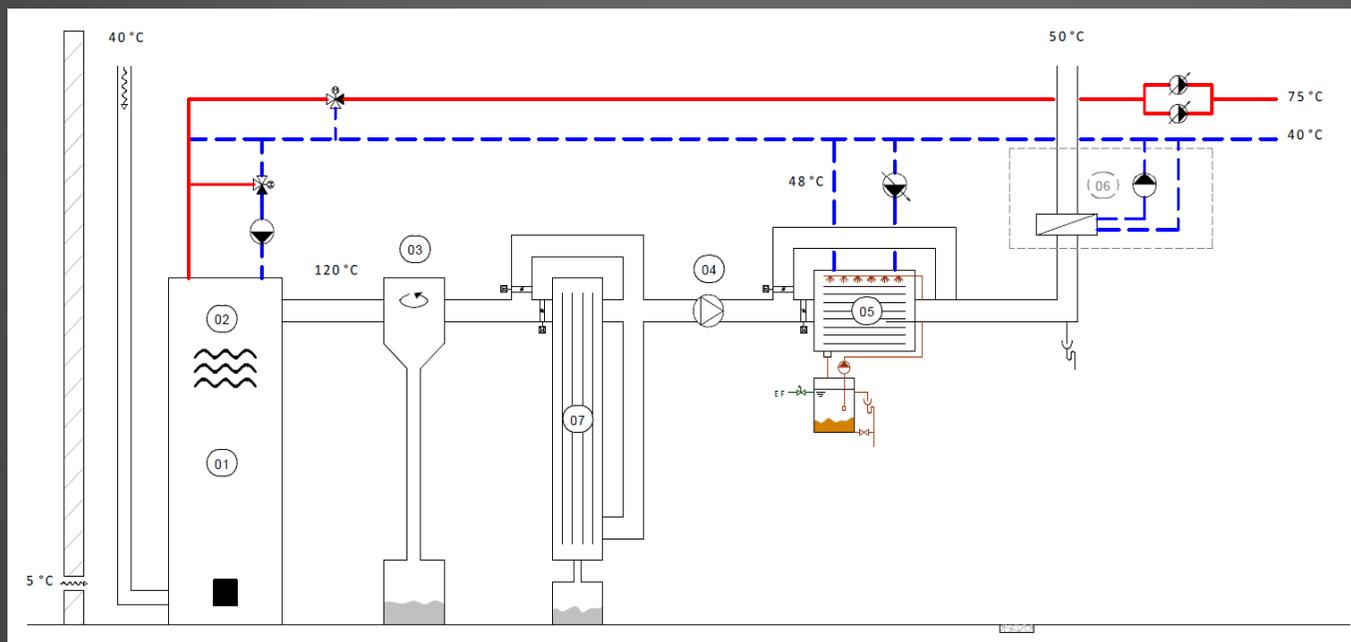
04: Ventilateur d'extraction de fumées

### 3. Exemples de configuration

9

Conception récente qui devrait être la norme, avec filtre électrostatique et condenseur. Post chauffage des fumées (Entschwadung) en option si vraiment cela est impératif.

Exemple de réalisation : chaufferie de Lanvoina à Couvet.



#### Légende :

- 01 :** chaudière à plaquettes
- 02 :** Turbulateur
- 03 :** Filtre cyclone
- 04 :** Ventilateur d'extraction de fumées
- 05 :** Condenseur
- 06 :** Entschwadung, élimination du panache
- 07 :** Dépoussiéreur électrostatique sec

### 3. Exemples de configuration

10

Chauffage à distance de Lavoina à Couvet – Val-de-Travers : le condenseur de 120 kW



17 novembre 2016

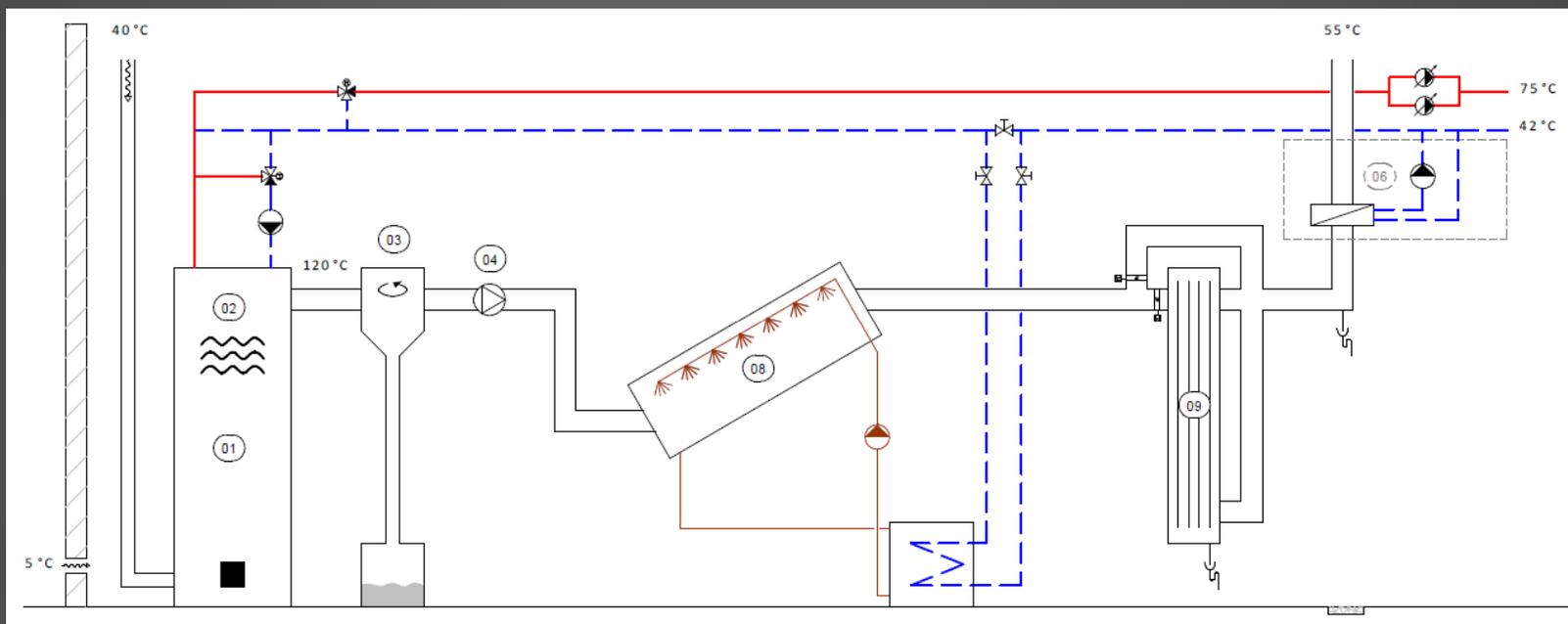
Forum ARPEA - Le chauffage à distance face  
aux enjeux énergétiques et environnementaux

**MASAI**  
CONSEILS

### 3. Exemples de configuration

11

Exemple d'installation telle que réalisée à Stans, avec laveur des fumées, filtre électrostatique humide et "Entschwadung".

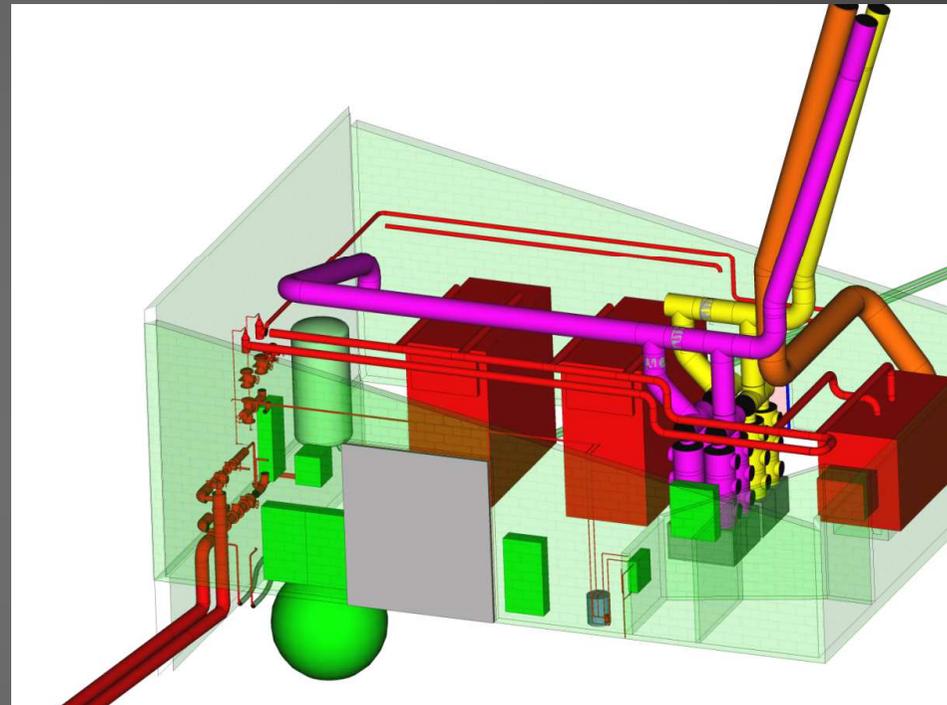


**Légende :** 01: Chaudière à plaquettes      02: Turbulateur      03: Filtre cyclone  
04: Ventilateur d'extraction de fumées      06: Entschwadung, élimination du panache  
08: Condenseur      09: Filtre électrostatique humide

### 3. Exemples de configuration

12

## Chauffage à distance de Lignières avec un laveur condenseur

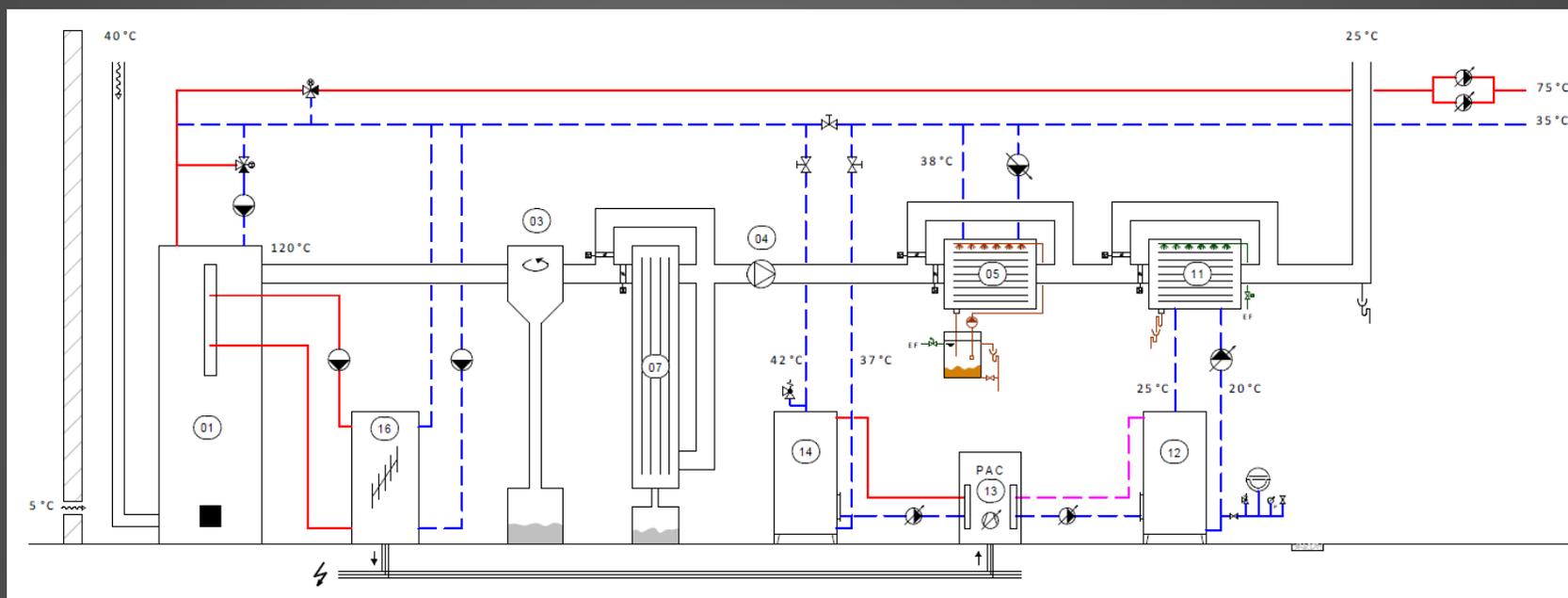


17 novembre 2016

Forum ARPEA - Le chauffage à distance face  
aux enjeux énergétiques et environnementaux

**MASAI**  
CONSEILS

Vers l'excellence avec groupe ORC générant de l'électricité et une pompe à chaleur pour refroidir les fumées (super condenseur)



**Légende :** 01: Chaudière à plaquettes    03: Filtre cyclone    04: Ventilateur d'extraction de fumées  
05: Condenseur    07: Dépoussiéreur électrostatique sec    11: Supercondenseur  
12: Accumulateur sur le circuit du supercondenseur    13: Pompe à chaleur sur les fumées  
14: Accumulateur alimenté par le condenseur de la PAC    16: Générateur électrique ORC

#### Les potentiels d'amélioration sont très importants :

- Chaudière moyennement réglée : 700 kWh/m<sup>3</sup> pl.
- Chaudière bien réglée : 850 kWh/m<sup>3</sup> pl.
- Chaudière avec condenseur : 920 à 980 kWh/m<sup>3</sup> pl.
- Et dans le futur ?
  - Super condensation : 1'050 à 1'100 kWh/m<sup>3</sup> pl.
  - Pompe à chaleur à bois : 1'500 kWh/m<sup>3</sup> pl.

**Accroissement surface forestière Suisse :** ~25 %

**Part de chaleur bois en Suisse aujourd'hui :** 10 %

#### Potentiel de la chaleur bois en Suisse :

- sans condensation : 20 %
- avec condensation : 25 %
- avec PAC bois : plus de 30 %

## 4. Les déperditions thermiques des réseaux

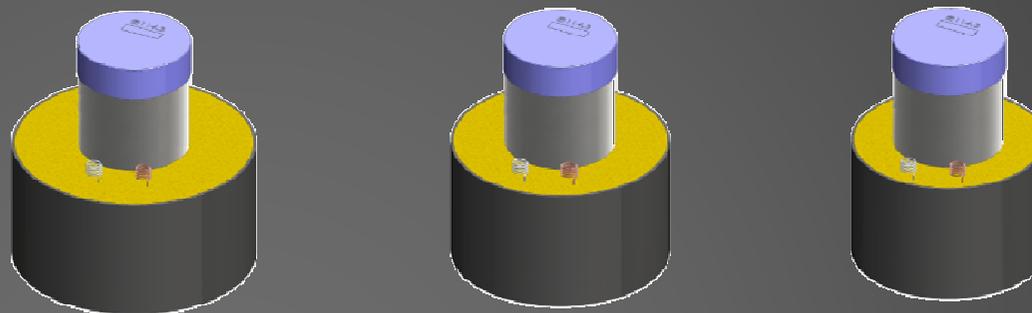
15

Quelques valeurs relevées sur des réseaux CAD-Bois dans le Canton de Neuchâtel

Référence	Déperdition de la chaleur délivrée		Puissance raccordée
	[kWh/m an]	[%]	[kW/m]
22	347	9.2	1.60
20 *	201	9.4	0.98
16 *	178	12.4	0.44
11 *	141	12.9	0.50
26 *	221	14.3	0.71
7 *	188	18.3	0.47
14	229	24.0	0.44
27 *	192	25.5	0.34

Source : Masai Conseils SA – Etude SENE – 2016

Déperditions du tube en acier préisolé, type Premant – Brugg selon l'épaisseur de l'isolation. Tube DN 100.



Type	Epaisseur 3 (DN 114-3-250)	Epaisseur 2 (DN 114-3-225)	Epaisseur 1 (DN 114-3-200)
Déperditions [W/m]	14.2 (10.1)	15.8 (12.2)	18.8 (14.2)
Déperditions [%]	76	86	100
Gains [%]	24	14	0

Température du fluide : 80 °C - Température du terrain : 10 °C

Source : documentation Brugg Rohrsystem AG – 2016

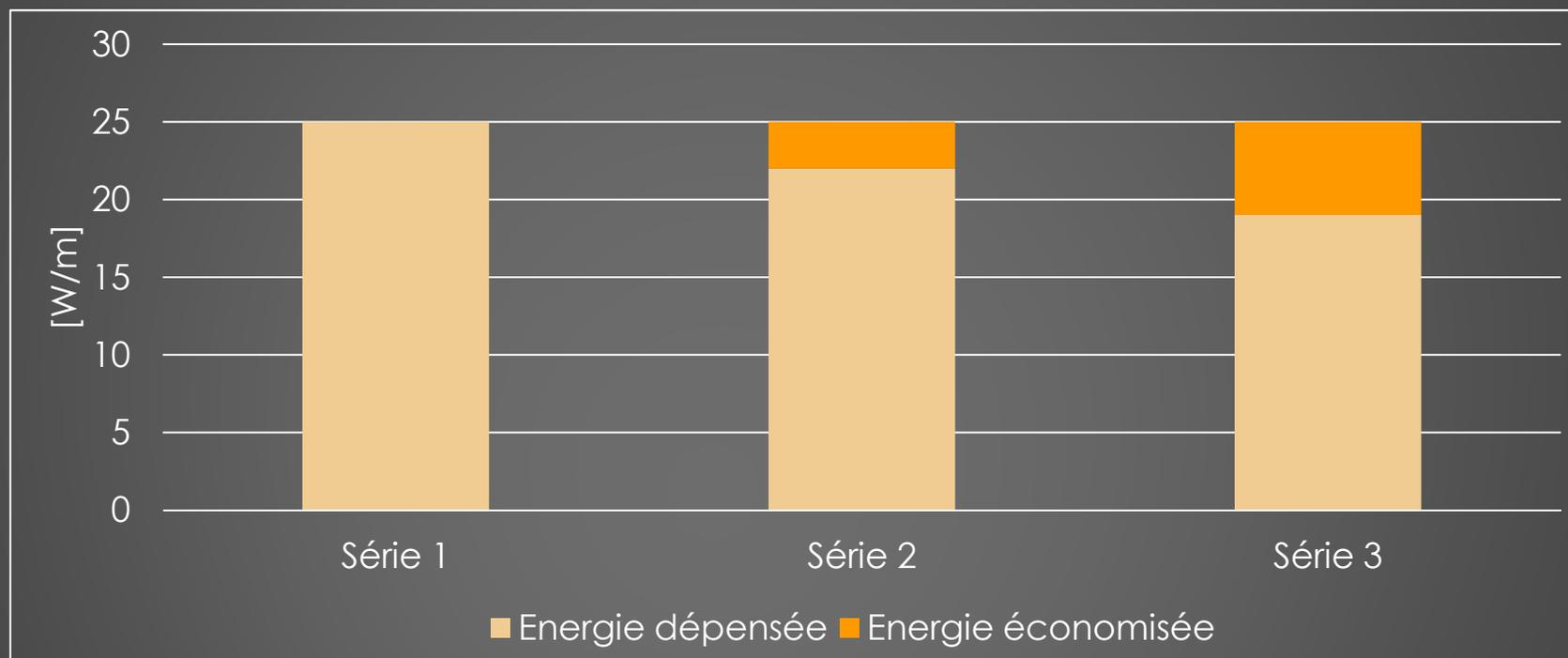
Déperditions thermiques annuelles en fonction de la température du fluide et de l'épaisseur de l'isolation. Cas d'un tube DN 100 en acier préisolé.

Tableau

Type	Epaisseur 3 (DN 114-3-250)			Epaisseur 2 (DN 114-3-225)			Epaisseur 1 (DN 114-3-200)		
	80	60	Δ 20	80	60	Δ 20	80	60	Δ 20
T° tube [°C]	80	60	Δ 20	80	60	Δ 20	80	60	Δ 20
Déperdition [W/m]	14.2	10.1	29 %	15.8	11.3	28 %	18.8	13.4	29 %
Déperdition annuelle [kWh/m an]	124	88	-	138	99	-	164	117	-

Données de base : Brugg Rohrsystem AG

### Déperdition thermique (calcul) d'un tube en acier préisolé DN 50 à 60 °C enterré.



Source : Logstor Schweiz AG – Document technique – 2015  
adapté par Masai Conseils SA - 2016

**Comparaison des déperditions thermiques annuelles selon la température du terrain et la qualité d'isolation des conduites.**

Base : Conduite enterrée de 40 mm DN 40  
Longueur de la conduite enterrée 2'200 m

Conduite	T° Terrain [°C]	Déperditions annuelles	
		[kWh/an]	[%]
Premant épaisseur 2	+ 10	255'000	100
Premant épaisseur 2	+ 5	280'000	110
Premant épaisseur 3	+ 10	230'000	90
Premant épaisseur 3	+ 5	255'000	100

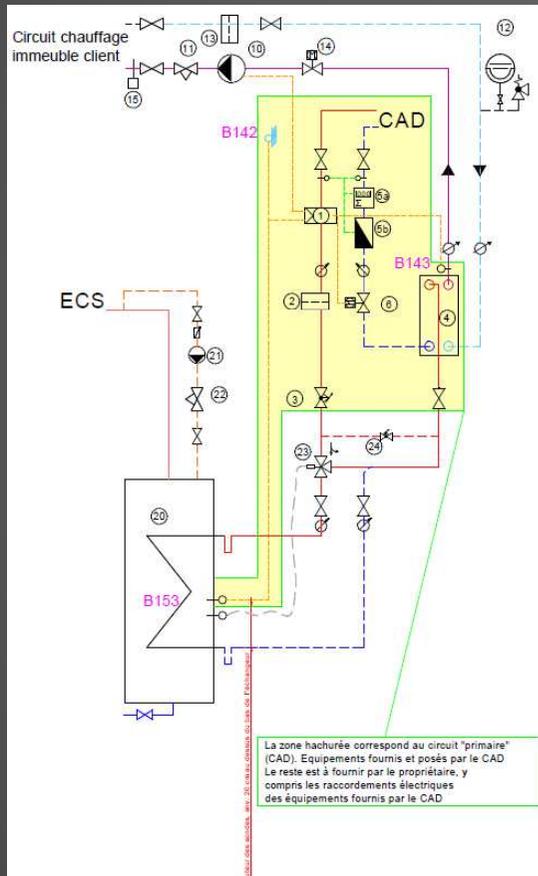
Les rendements de la conversion des plaquettes forestières en énergie utile demandant à être améliorés.

		Situation actuelle			Objectif
		☹️☹️	☹️	😊	😊😊
Valeur énergétique du bois	[kWh/m <sup>3</sup> pl.]	1'250			
Production de la chaudière à bois	[kWh/m <sup>3</sup> pl.]	650	780	950	1'200
Pertes de distribution réseau	[%]	20	15	12	8
	[kWh/m <sup>3</sup> pl.]	130	120	115	100
Energie finale délivrée au client	[kWh/m <sup>3</sup> pl.]	520	660	835	1'100
Rendement global de conversion : énergie utile/énergie finale	[%]	40	53	70	> 85

## 5. Créer des retours froids sur le réseau

21

Le système Masai de préparation de l'eau chaude sanitaire chez les clients pour abaisser au mieux les températures de retour



### CAD

- 1) Régulation N° de référence du schéma électrique N141
- 2) Filtre
- 3) Vanne d'équilibrage
- 4) Echangeur de chaleur
- 5) Compteur de chaleur
- 5a) Totalisateur P113
- 5b) Débitmètre
- 6) Vanne motorisé 2 voies Y148

### Chauffage client

- 10) Circulateur M167
- 11) Vanne d'équilibrage (ou circulateur à débit variable)
- 12) Système d'expansion
- 13) Filtre
- 14) Option, Vanne motorisée, commandée en parallèle avec la pompe pour éviter le thermosiphon en été
- 15) Thermostat de sécurité en cas de chauffage sol

### Eau chaude sanitaire

- 20) Boiler avec un échangeur immergé. Pression de service 6 Bar, Surface de chauffe supérieure au moins de 50% au minimum standard. Par exemple 3.0 m<sup>2</sup> pour un boiler de 200 à 300 litres. **Il faut absolument que les deux sondes ECS (Vanne thermostatique oventrop et régulation) soient à la même hauteur dans le réservoir ECS**
- 21) Circulateur M158
- 22) Vanne d'équilibrage
- 23) Vanne Oventrop TRI-D, thermostatique, plage de réglage 40-70°C, avec sonde plongeuse ( Attention Ø du doigt de gant = 14 mm )  
DN 25 kvs 6.5, jusqu'à 30 kW  
DN 40 kvs 9.5, au-dessus de 30 kW
- 24) Vanne d'équilibrage, Qitus (3/4", 1/2"), seulement sur certaine installation

17 novembre 2016

Forum ARPEA - Le chauffage à distance face aux enjeux énergétiques et environnementaux

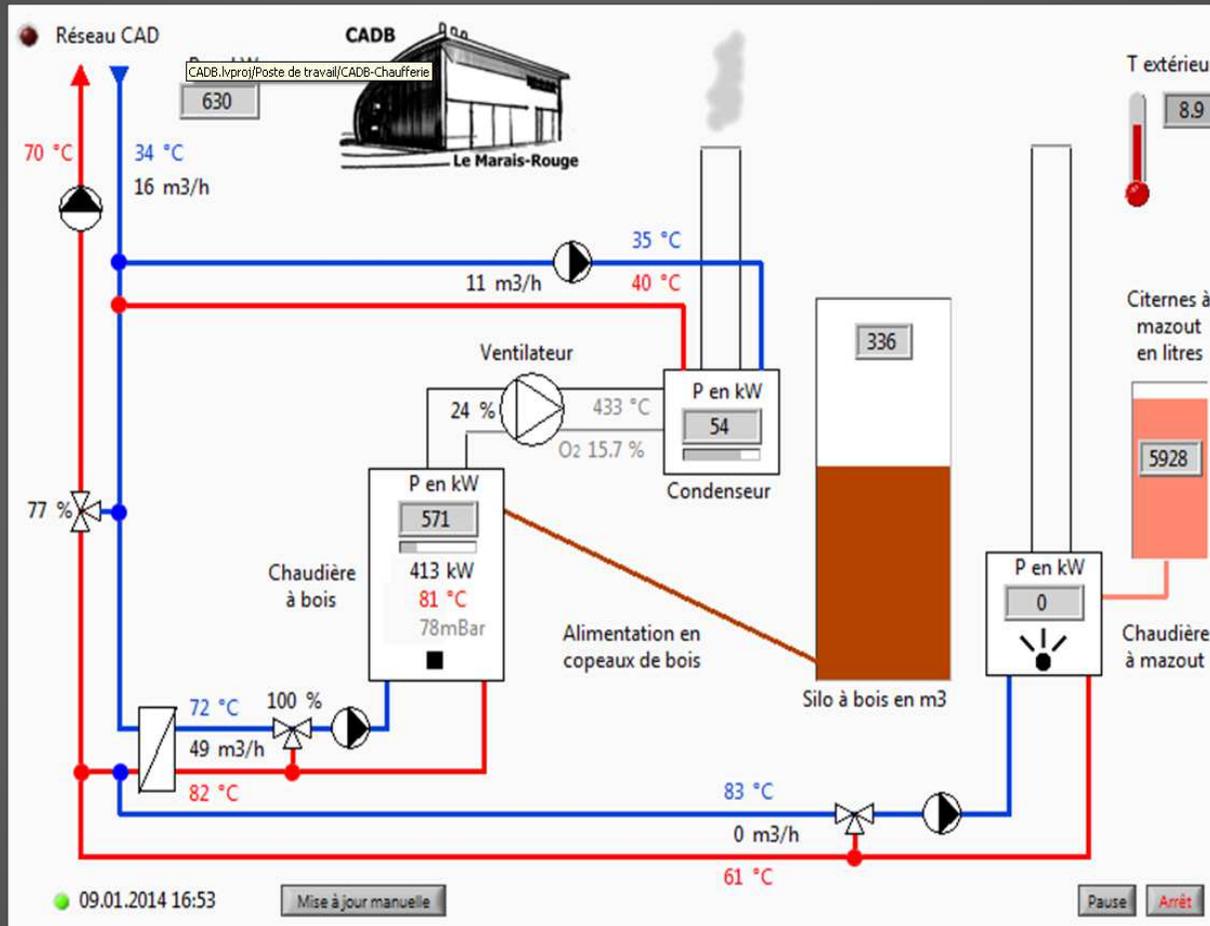
**MASAI**  
CONSEILS

### Sous-station type, avant isolation des conduites

- 1 Échangeur de chaleur
- 2 Boiler
- 3 Vanne 2 voies sur réseau CAD
- 4 Régulation
- 5 Arrivée CAD (Calpex Duo)
- 6 Compteur de chaleur
- 7 Expansion réseau immeuble
- 8 Vanne thermostatique 3 voies



## Chauffage à distance des Ponts-de-Martel



**En résumé, l'amélioration de l'efficacité des installations de chauffage raccordée à un CAD passe par :**

- la condensation des fumées de la chaudière et bientôt une supercondensation ;
- le renforcement de l'isolation des conduites ;
- l'organisation des sous-stations pour l'obtention de retours proches de 40°C passant par :
  - a. l'équilibrage des installations clients et le dimensionnement de l'échangeur réseau-client ( $\Delta T_{\text{moyen}} \leq 2 \text{ °C}$ ) ;
  - b. La préparation de l'eau chaude sanitaire instantanée.

- l'accroissement du différentiel de température aller-retour et la modulation des températures de départ en fonction de la demande (déperdition et frais de pompages réalisés) ;
- la densification des raccordements clients ;
- le branchement de clients sur le circuit de retour ;
- La proscription des by pass sur le réseau ;
- En plaine, arrêt du réseau en été la production d'eau chaude sanitaire renouvelable par les clients (boiler PAC, solaire).

Avez-vous des questions, des remarques... 26



... Merci de votre attention.

17 novembre 2016

Forum ARPEA - Le chauffage à distance face  
aux enjeux énergétiques et environnementaux

**MASAI**  
CONSEILS