



Journée technique  
Forbach-Farebersviller,  
1<sup>er</sup> avril 2014

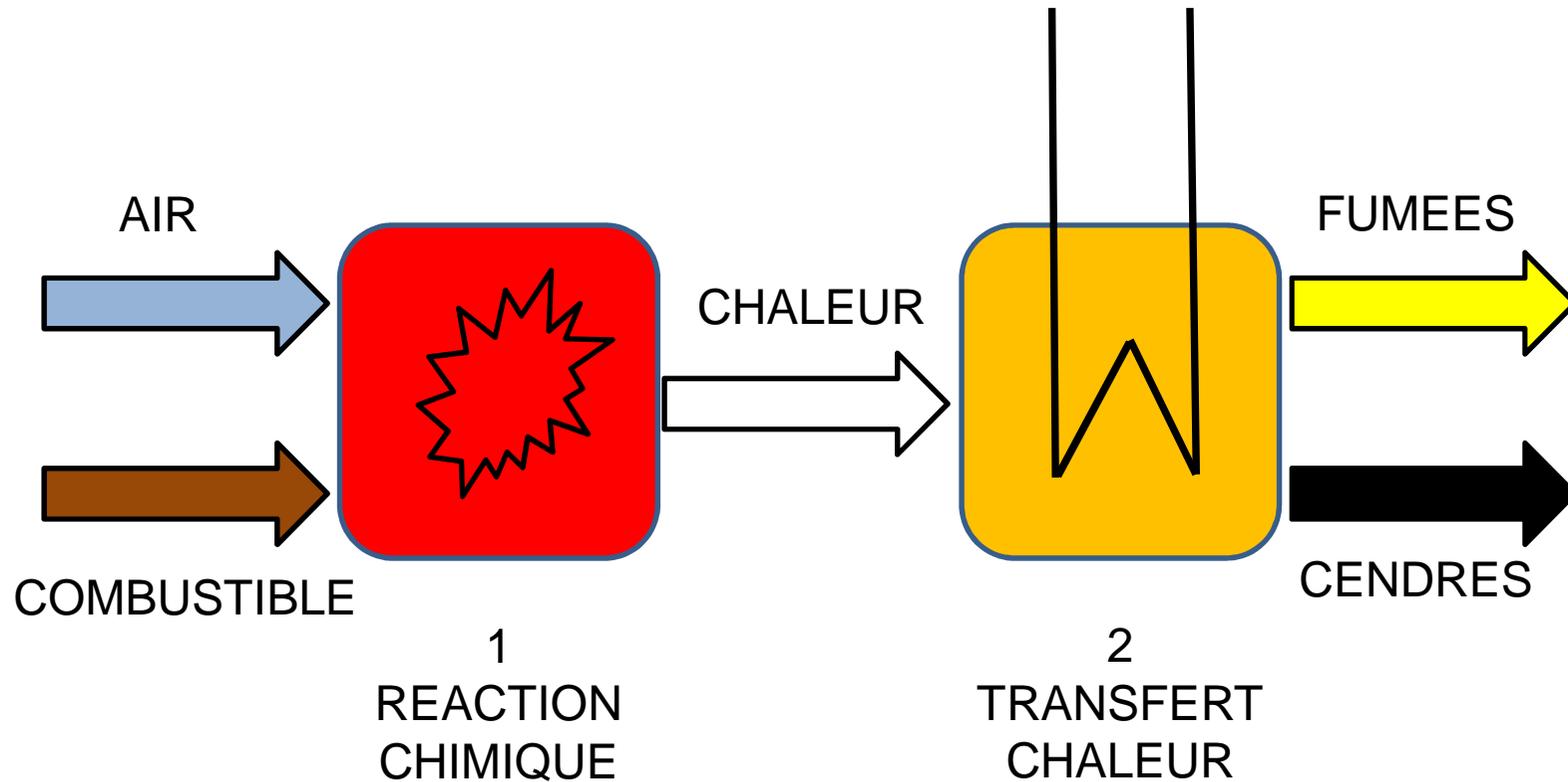


## Condensation des fumées sur des installations bois énergie

Jean-Pierre TACHET, Conseiller technique du CIBE, animateur de la commission « REX »

Comité Interprofessionnel du Bois-Energie  
E-mail : [contact@cibe.fr](mailto:contact@cibe.fr) - Site Internet : [www.cibe.fr](http://www.cibe.fr)

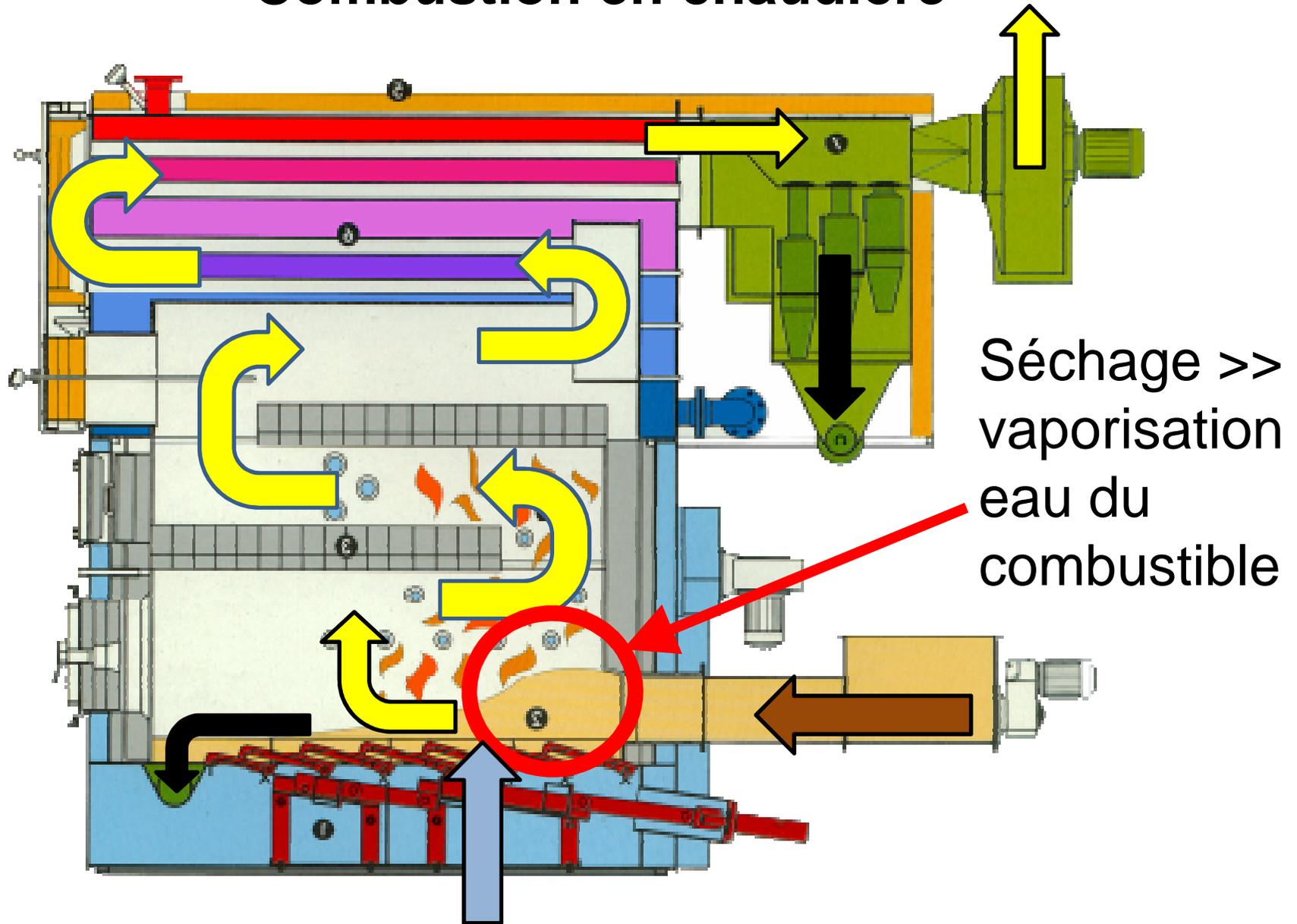
# Principes de la combustion



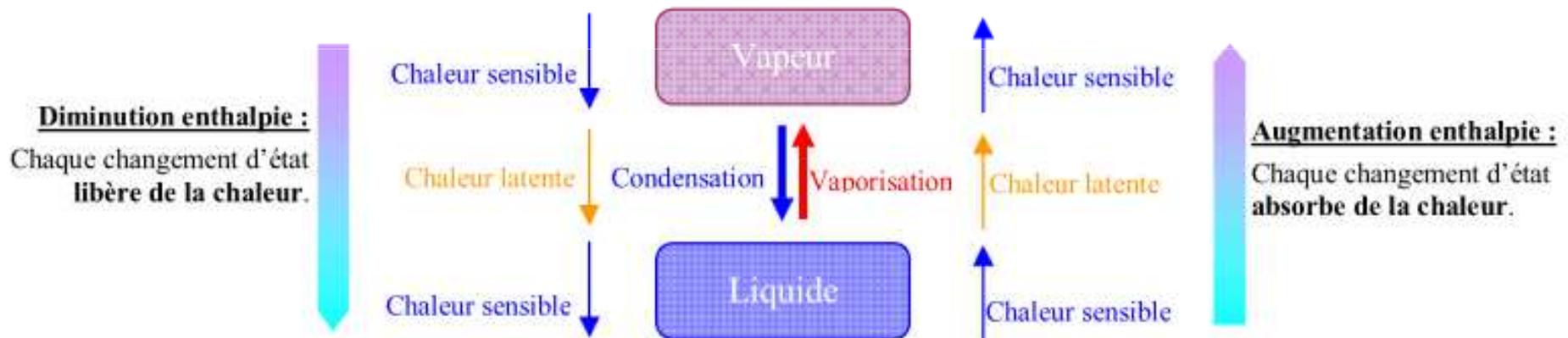
# Etapes de la combustion du bois

- Introduction combustible et air de combustion
- Chauffage du combustible
- Séchage du combustible (**évaporation de l'eau**) 100°+
- Pyrolyse (décomposition du bois: carbone + gaz combustible) 200° ... 500°
- Gazéification du carbone (>> CO<sub>2</sub>, **vapeur eau**), 500°+
- Oxydation gaz (>> CO<sub>2</sub>, **vapeur eau**) 700° ... 1500°
- Transfert de chaleur (flammes > parois et combustible frais, gaz chauds > échangeurs chaleur)
- Évacuation des gaz (refroidis)
- Évacuation des cendres

# Combustion en chaudière



# Schéma simplifié du cycle de changement d'état de l'eau : chaleur sensible et chaleur latente



# Condensation des fumées: principe

Condenser la vapeur d'eau contenue dans les fumées de combustion et **recupérer la chaleur latente** libérée lors du changement d'état, en abaissant leur température au-delà du point de rosée.

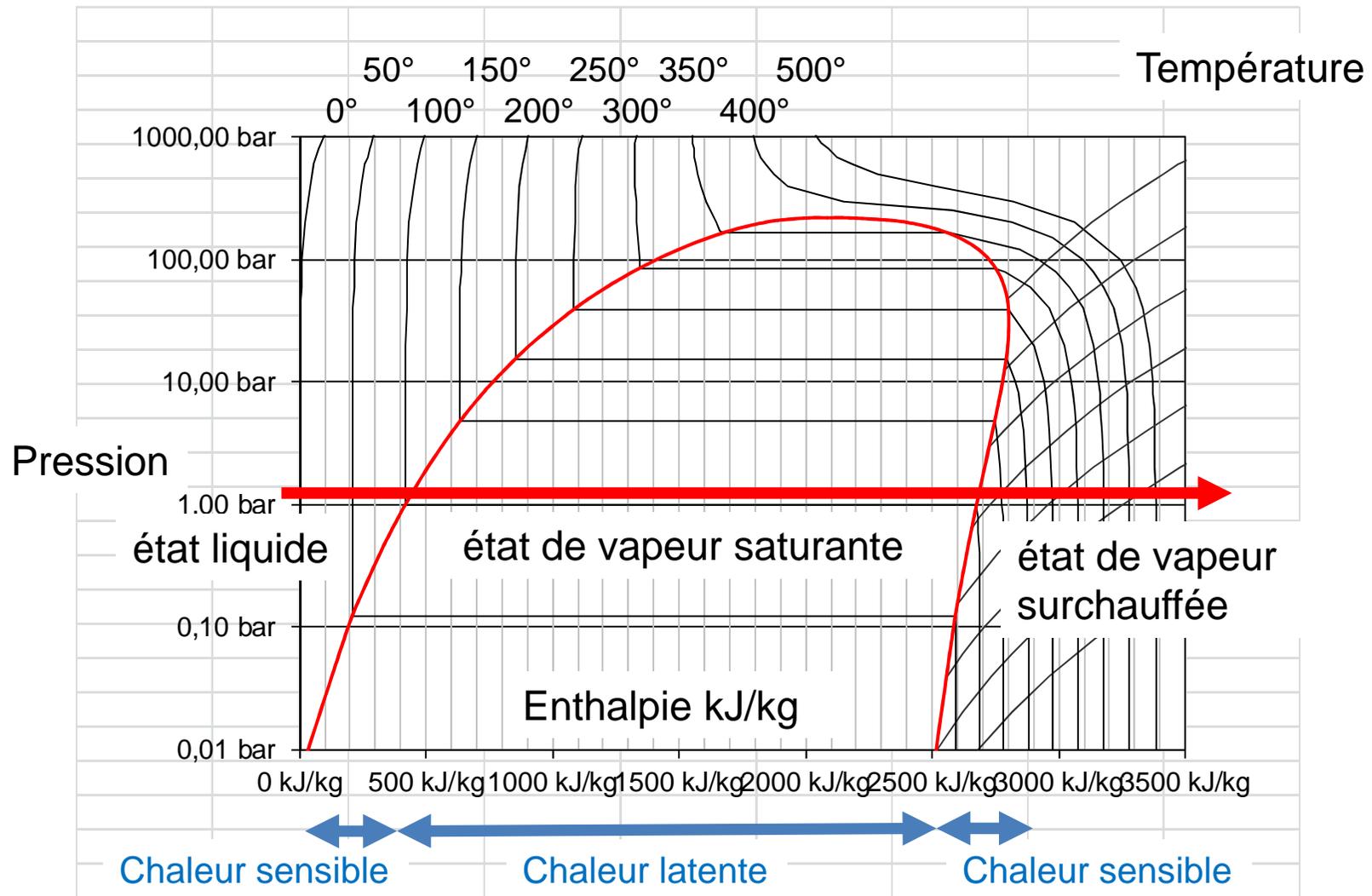
*Intérêt : récupérer une quantité de chaleur très importante qui sinon est dispersée à l'atmosphère*

# Pouvoirs calorifiques(\*) inférieur et supérieur d'un combustible

$$\begin{aligned} &\text{Pouvoir calorifique supérieur (PCS)} \\ &= \\ &\text{Pouvoir calorifique inférieur (PCI)} \\ &+ \text{Chaleur latente de vaporisation} \end{aligned}$$

(\*) exprimés en quantité d'énergie par  
unité de masse :  
(Kcal/Kg, KWh/t, KJ/Kg, etc...)

# Diagramme de Mollier (ou d'Enthalpie) de l'eau



# Diagramme de Mollier (ou d'Enthalpie) de l'eau

Exemple, lu sur le diagramme :

- Chaleur sensible (eau) entre 80 et 100°C : 23 KWh/t
- Chaleur latente vaporisation/condensation : 626 KWh/t
- Chaleur sensible (vapeur) entre 100 et 200°C : 58 KWh/t

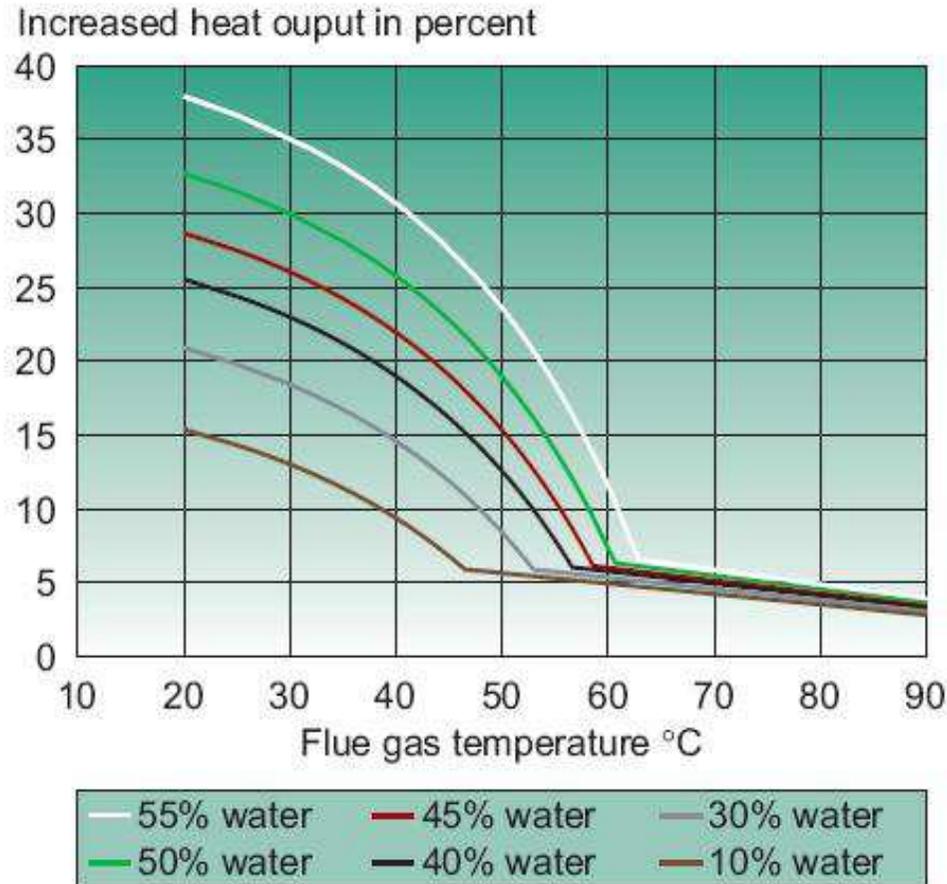
*NB Attention il s'agit de valeurs numériques concernant de la vapeur pure, pas un mélange vapeur d'eau/fumées*

Chaleur sensible

# Condensation des fumées: 3 paramètres principaux

- Le niveau de température des fumées
- L'humidité du combustible
- L'excès d'O<sub>2</sub> dans les fumées

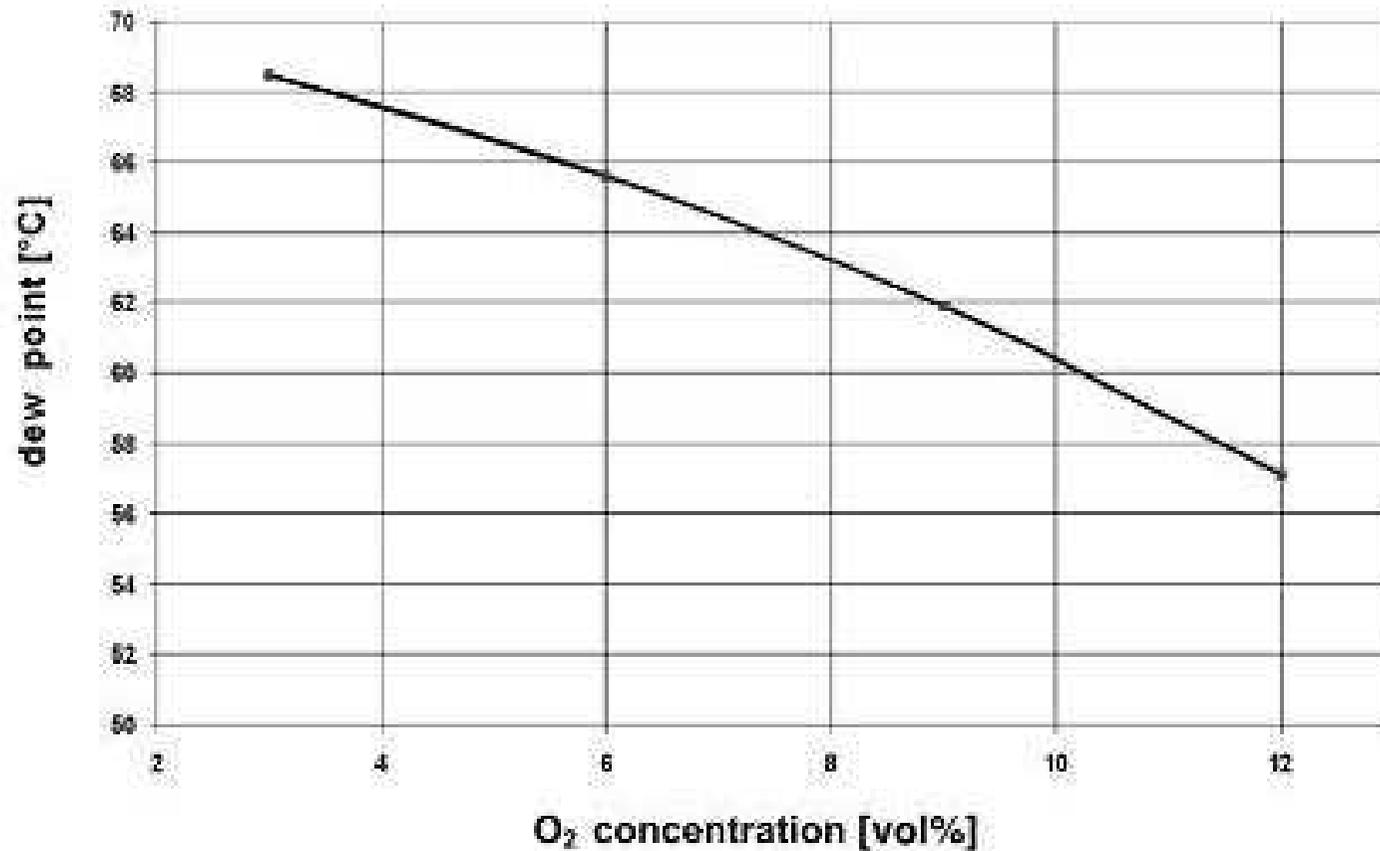
# Impact de l'humidité du combustible et de la température des fumées



Accroissement de la chaleur récupérée (%) en fonction de la température des fumées pour différentes humidités relatives du combustible

source : Wood for Energy Production - center for biomass technology, Danish Energy Agency, 2005.

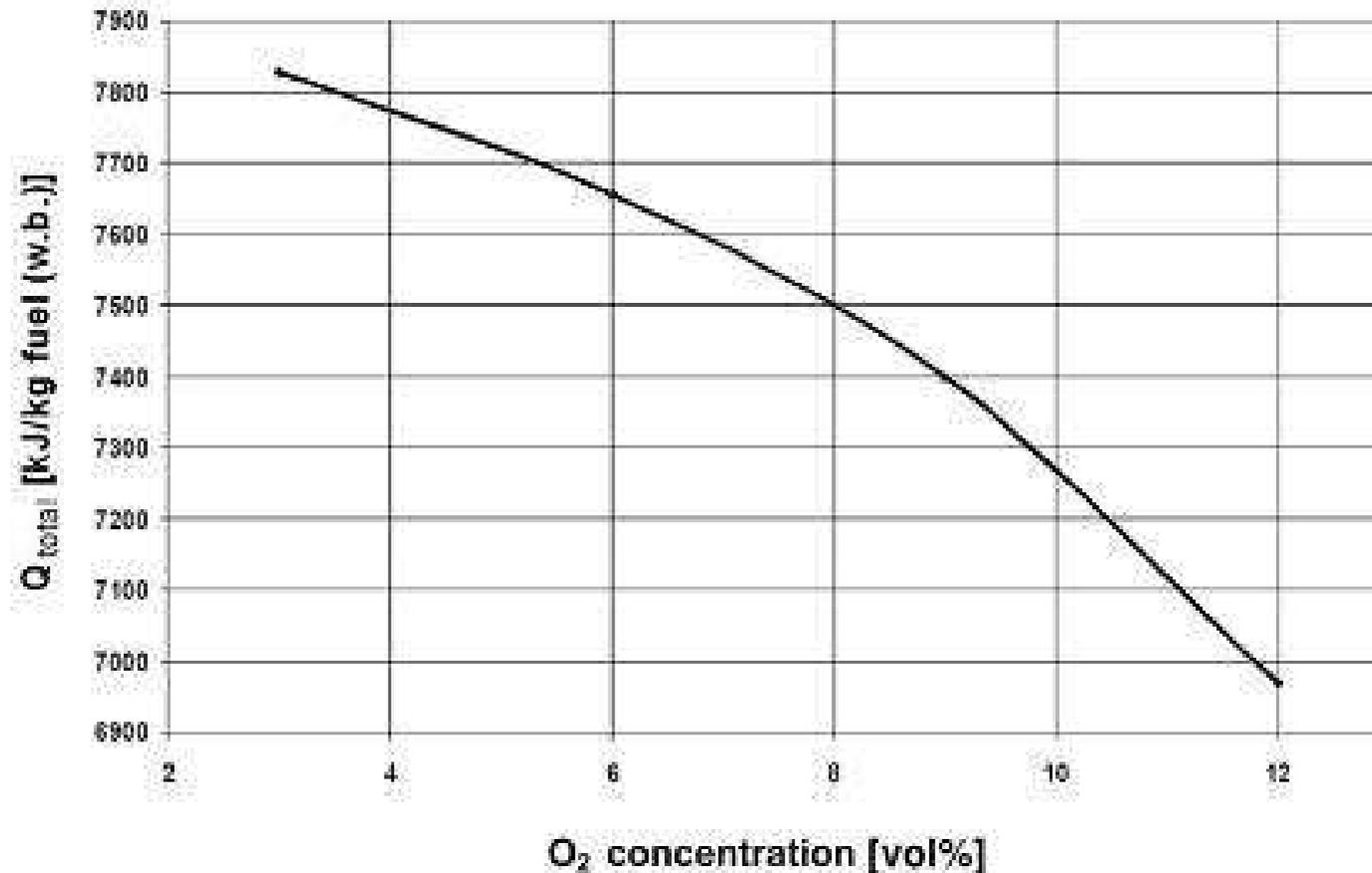
# Impact de l'excès d'O<sub>2</sub> dans les fumées



Évolution de la température du point de rosée en fonction du taux d'oxygène dans les fumées

Source : *The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing* .

# Impact de l'excès d'O2 dans les fumées



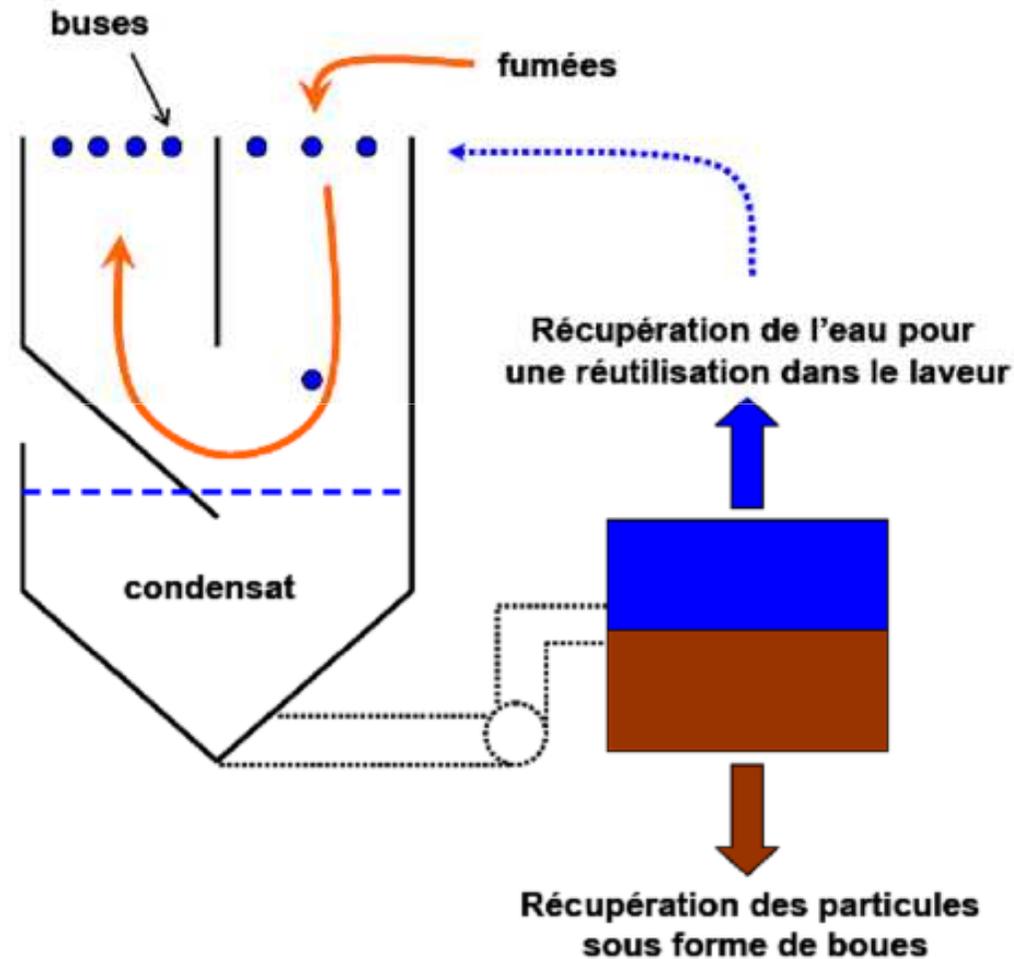
Évolution de la quantité de chaleur contenue dans les fumées en fonction du taux d'oxygène

Source : *The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing* .

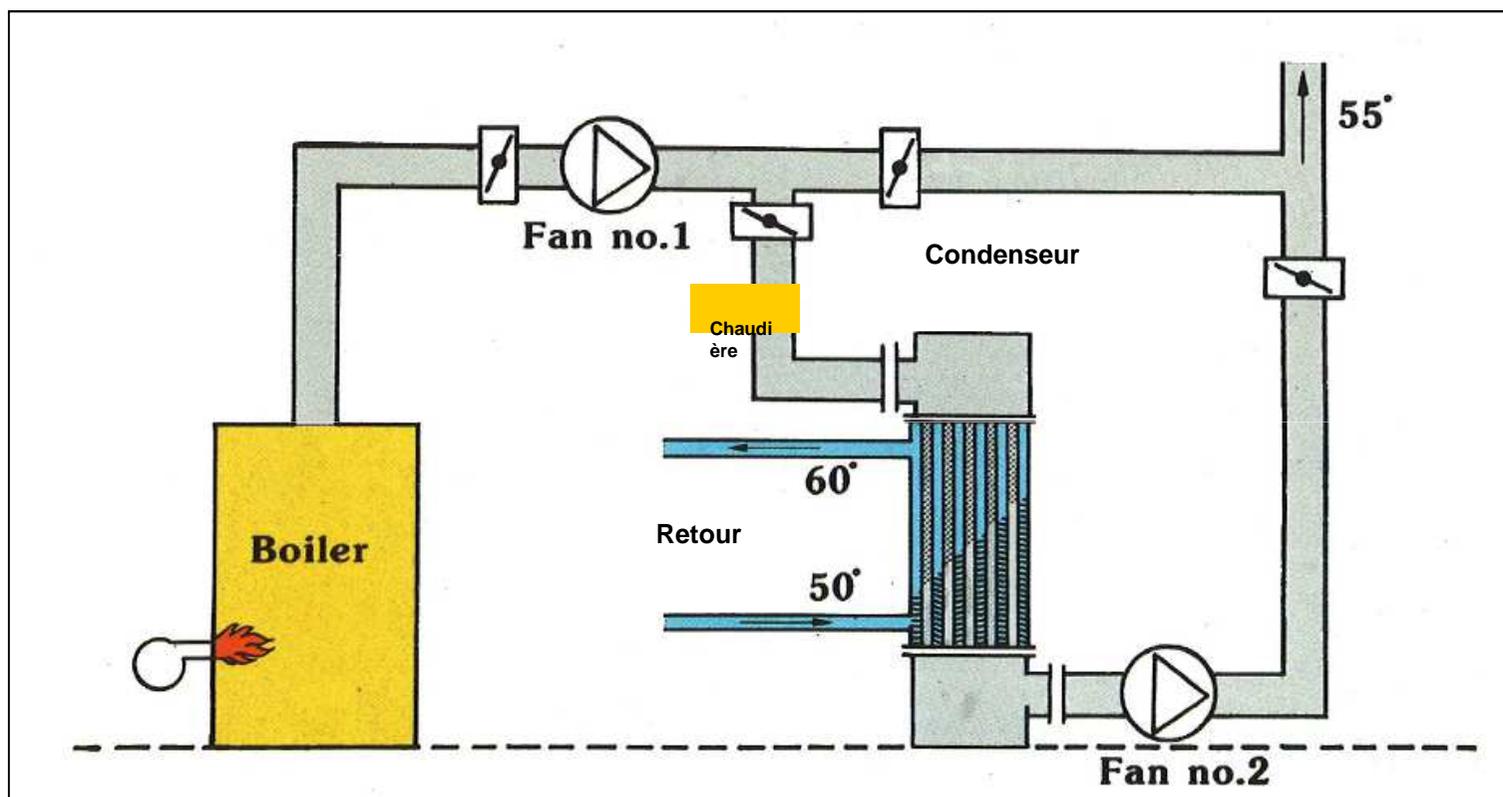
## Deux technologies principales

- Lavage des fumées (pulvérisation d'eau dans les fumées, voie humide)
  - Récupération des condensats
  - Echange condensats / source froide
- Condensation par échange indirect (voie sèche) :
  - Echange fumées / source froide

# Lavage des fumées (pulvérisation d'eau dans les fumées, voie humide), exemple :



# Condensation par échange indirect (voie sèche), exemple :



Source : FAGERSTA ENERGETICS

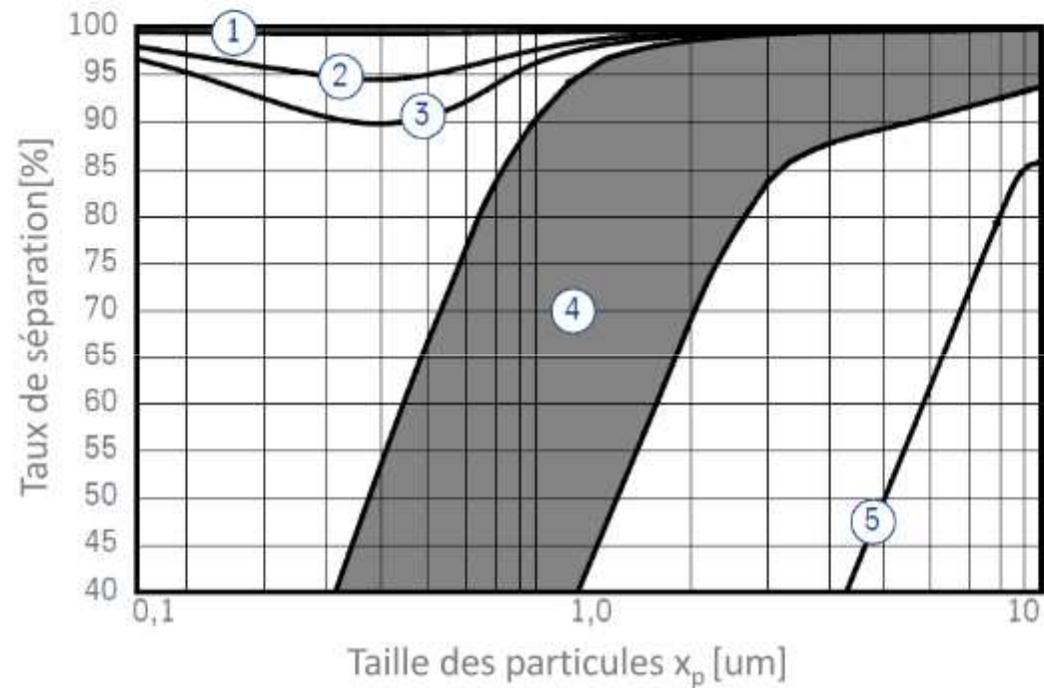
# Des architectures différentes

- Condensation puis dépoussiérage aval  
>> impact de la condensation sur le dépoussiérage
- Dépoussiérage puis condensation sur fumées  
>> condensation neutre sur dépoussiérage

# Le dépoussiérage

Taux de séparation

save energy



- ① filtre à manches / ② électro-filtre humide /  
③ électro-filtre sec / ④ laveur-condenseur / ⑤ cyclone

# Contraintes et points de vigilance

- Encrassement, si pas de dépoussiérage amont
- Corrosion / tenue dans le temps des matériaux (condenseur, cheminée)
- Traitement et élimination des résidus de traitement



# Condensation des fumées sur des installations bois énergie

Voir aussi...



**Comité Interprofessionnel du Bois-Energie**

**LA CONDENSATION DES FUMÉES ISSUES DE LA COMBUSTION DU BOIS :  
ETAT DES LIEUX, PERTINENCE DE LA MISE EN OEUVRE ET CONDITIONS DE DEVELOPPEMENT**

Document interne <sup>(\*)</sup>

**Résumé**  
Ce document présente les principes thermodynamiques et thermochimiques de la condensation des fumées ainsi que les technologies appliquées aux chaudières bois, souligne les points de réflexion sur la condensation pour enfin conclure sur une évolution nécessaire des habitudes françaises.

---

Document produit par la commission REX « Retour d'expériences de conception, construction et exploitation »  
Rédacteurs : Nicolas SEGILAS et Dominique PLUMAIL (CEDEN)  
Date de première émission : Avril 2011  
Date de la présente version : Avril 2011  
Référence : 2011-REX-1



**L'efficacité des systèmes  
de production et de distribution de  
chaleur**

**17 avril 2012**

**Dominique PLUMAIL**

**C E D E N**  
COMITÉ D'ÉTUDES SUR LES SÉCURÉS ET L'ÉNERGIE



Journée technique  
Forbach-Farebersviller,  
1<sup>er</sup> avril 2014



**Merci pour votre attention**



**Comité Interprofessionnel du Bois-Energie**  
E-mail : [contact@cibe.fr](mailto:contact@cibe.fr) - Site Internet : [www.cibe.fr](http://www.cibe.fr)

# Deux exemples d'installations bois sur réseau de chaleur avec condensation des fumées



- Stans

- Menzingen



>> voyage d'étude en Suisse en janvier 2013

# Deux exemples d'installations bois sur réseau de chaleur avec condensation des fumées

Localisation (sud de Zürich)	Stans	Menzingen
Chaudières bois	2 Schmid 1600 KW + 550 KW	2 Schmid 2400 KW + 1600 KW (à installer en 2013)
Secours appoint	FOD 1900 KW	FOD 3000 KW
Dépoussiérage primaire	Multicyclone intégré chaudière	Multicyclone intégré chaudière
T° retour réseau		50°C
Silo	250m3 / 2 trappes carrossables et échelles en fond de silo	850m3 / 4 trappes carrossables et échelles en fond de silo
Mise en service	2010	2010
Réseau	3 km	6 km + 3,5 en cours
Régime réseau	T°r 50°C en moyenne annuelle	6b, T°d 85°C T°r 50°C
Energie livrée	Environ 3 GWh/an (7 GWh sur 2,5 ans)	9500 MWh/an, 14000 à terme
Récupération au condenseur	10-15% moyenne annuelle	
Hydroaccumulation	35 m3	56 m3
Coût condensation + filtration (hors dévapo)	320 K€ clef en mains	380 K€ pour dimensionnement à 430 KW de récupération
dévaporisation	Jusqu'à -4°C Text	Jusqu'à -10°C Text
Combustible	40 à 50% HR 2400 MWh/t	Ordre 50% HR

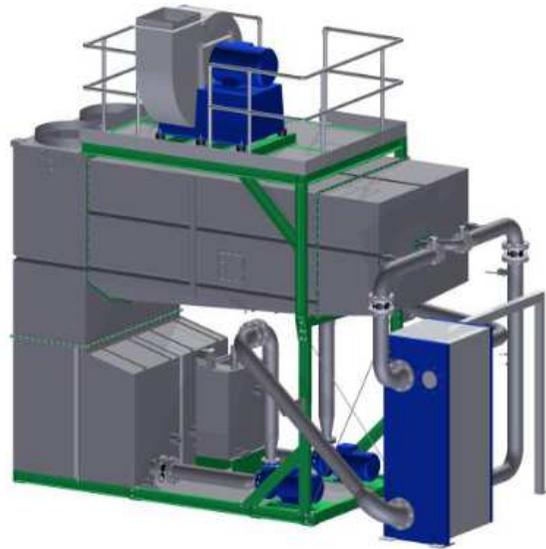
# Deux exemples d'installations bois sur réseau de chaleur avec condensation des fumées

- Menzingen



- Stans

# Condenseur

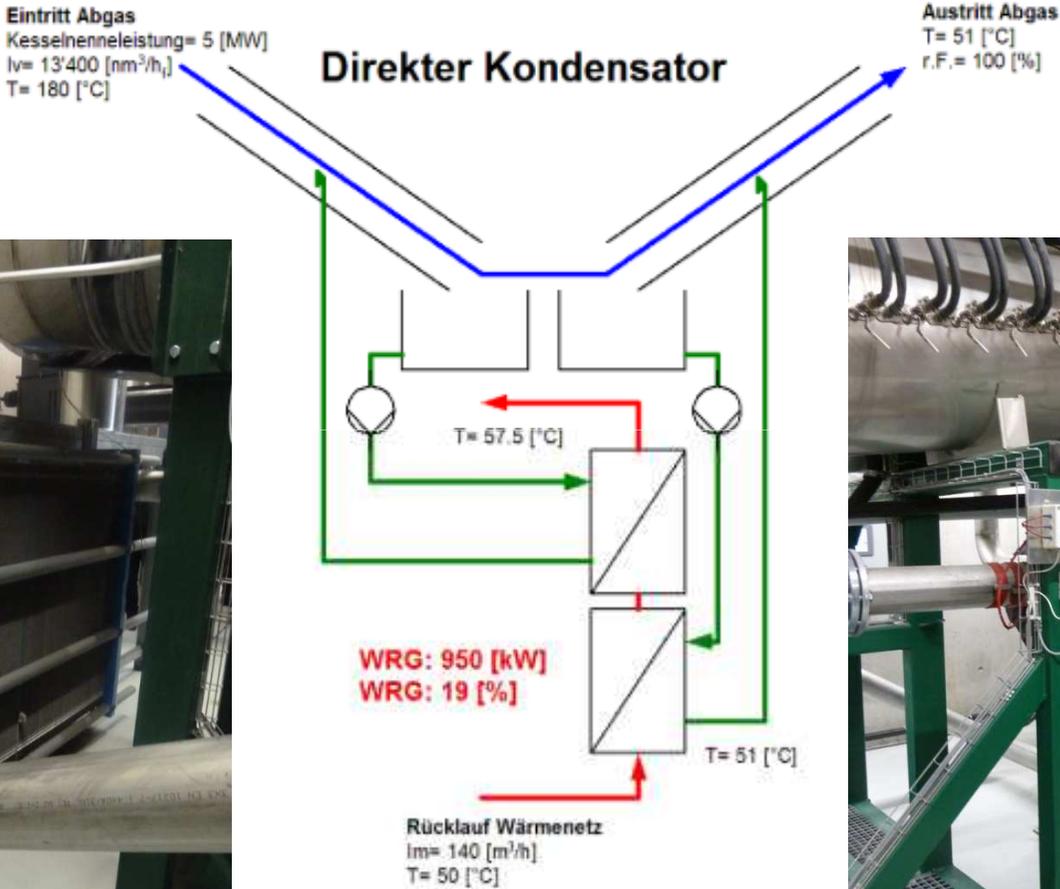


# Condenseur

Ensemble à deux passages muni de buses de pulvérisation

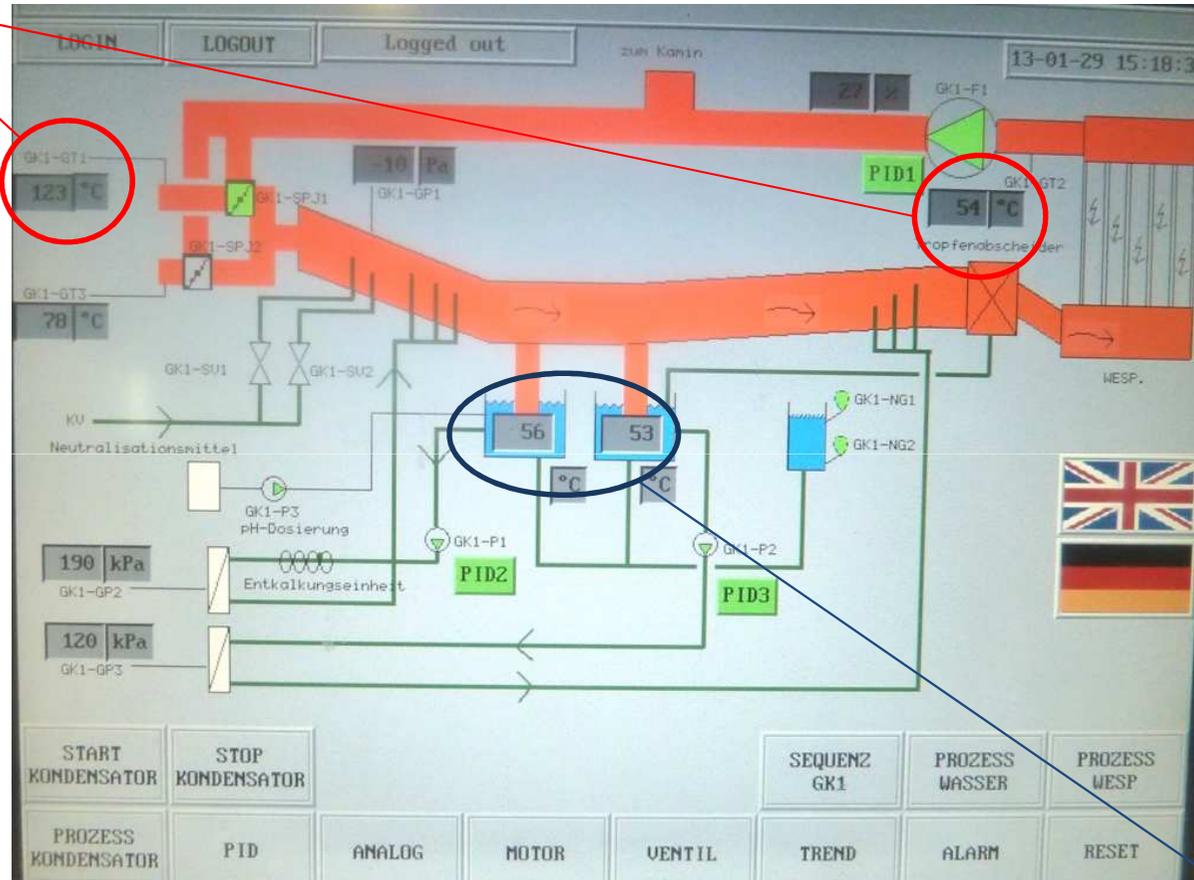


# Echangeur condensats / eau de réseau



# Supervision

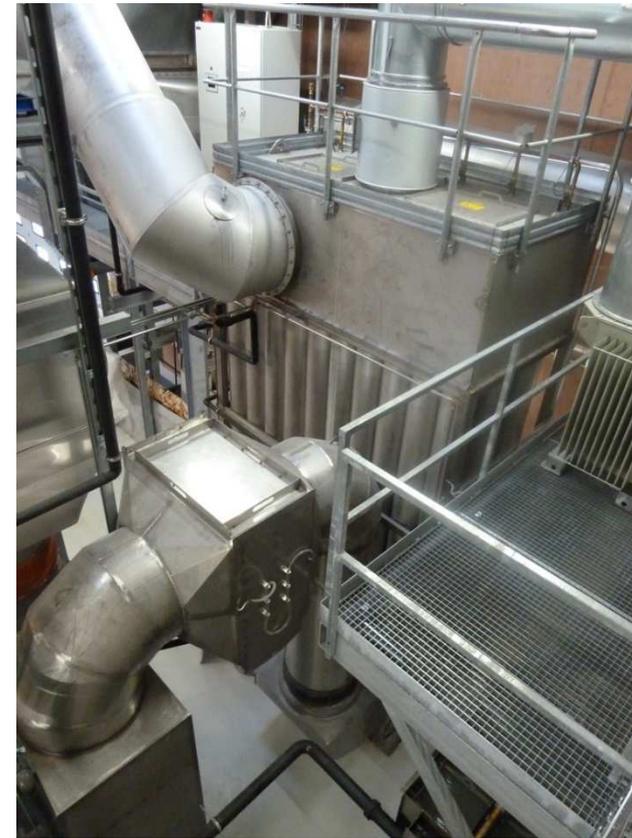
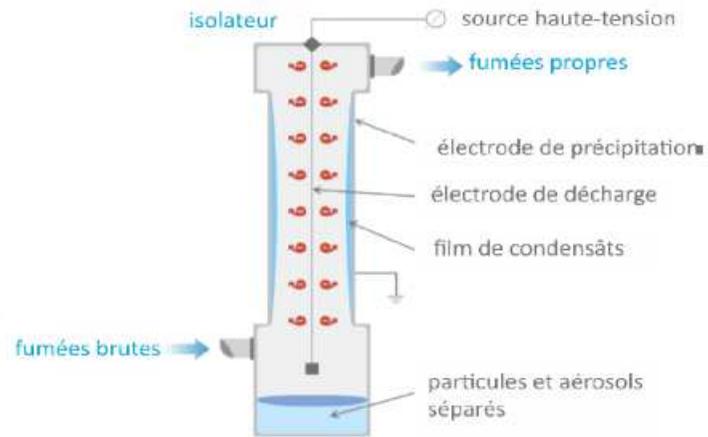
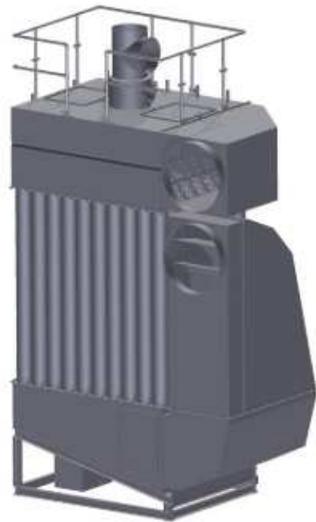
Fumées 123°C > 54 °C



Menzingen 29/1/13

Condensats 53/56°C

# Electrofiltration humide



# Traitement de l'eau de pulvérisation



Filtre à sable  
et décanteur  
lamellaire



# Résidus de condensation



800 Kg  
MS  
(Stans)



# Systeme antipanache

Stans



Refroidissement  
et dilution des  
fumées avec de  
l'air extérieur  
>> absence de  
panache visible  
jusqu'à - 4°C

## Caractéristiques / Performances

- Humidité combustible env. 40%
- Température des fumées entrée condenseur env. 120°C
- Température retour réseau ordre 50°C (pincement condensats 3 à 4°C)
- Teneur en oxygène observée : 8 à 9%
- Récupération au condenseur : entre 10 et 15% en moyenne annuelle
- Taux de poussières en sortie de cheminée : 100 mg/Nm<sup>3</sup> en sortie de condenseur, jusqu'à < 5 à la cheminée (avec combustible de qualité)

# Caractéristiques / Performances

- Installation compacte, # 50 m<sup>2</sup> au sol pour 2 MW, pas de sur-hauteur notable
- Puissance électrique nécessaire: env 23 KW (14 condenseur et électrofiltre, 9 pour l'antipanache)
- Disponibilité élevée en exploitation (> 95%)
- Vigilance importante sur le fonctionnement du réseau pour éviter des températures retour élevées qui limitent ou empêchent la condensation

# Caractéristiques / Performances

- Vigilance importante sur le fonctionnement du réseau:

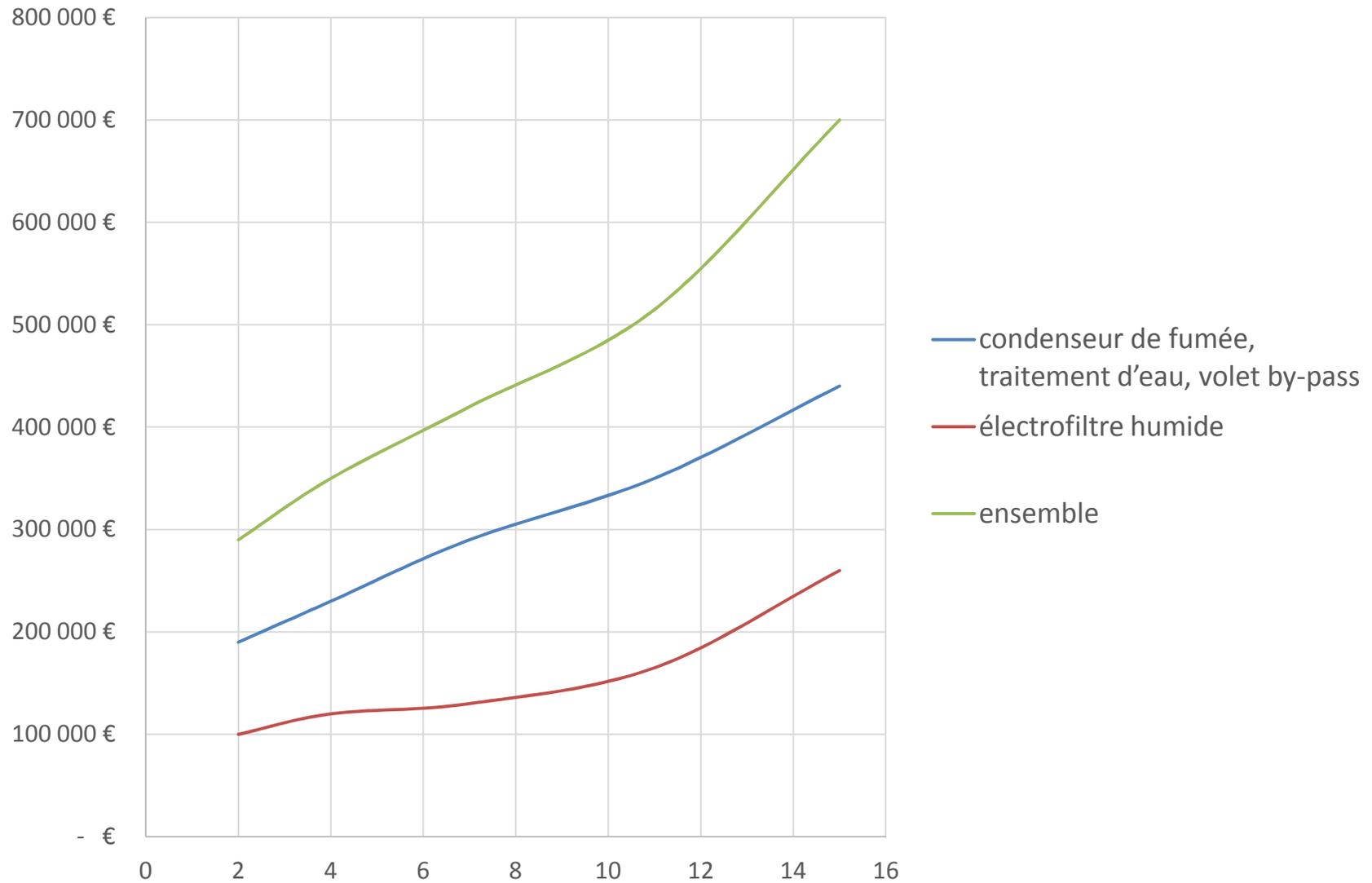
	Energie	Leistung momentan	Durchfluss momentan	Durchfluss gesamt	VL-Temp	RL-Temp	Störung/Wärmezähler
MB122: Rosenweg 7	55920.0 kWh	9.6 kW	0.1 m3/h	1300.4 m3	81.0 °C	34.0 °C	
MB123: Rosenweg 9	33774.0 kWh	12.2 kW	0.3 m3/h	1495.9 m3	81.0 °C	50.0 °C	
MB129: Stansladerstrasse 23	16800.0 kWh	9.9 kW	0.2 m3/h	306.6 m3	80.0 °C	37.0 °C	
MB126: Stansladerstrasse 26	46926.0 kWh	7.9 kW	0.2 m3/h	1111.5 m3	77.0 °C	37.0 °C	
MB128: Stansladerstrasse 27	30411.0 kWh	4.8 kW	0.1 m3/h	659.4 m3	79.0 °C	34.0 °C	
MB153: Stansladerstrasse 28	0.0 kWh	0.0 kW	0.0 m3/h	0.0 m3	6.0 °C	6.0 °C	
MB125: Stansladerstrasse 31	24879.0 kWh	4.6 kW	0.1 m3/h	867.1 m3	80.0 °C	38.0 °C	
MB127: Stansladerstrasse 32	9205.0 kWh	6.5 kW	0.1 m3/h	309.5 m3	78.0 °C	40.0 °C	
MB124: Stansladerstrasse 33	34933.0 kWh	6.5 kW	0.1 m3/h	1117.3 m3	81.0 °C	42.0 °C	
MB137: Z84 Steinmättli	10055.0 kWh	6.0 kW	0.0 m3/h	200.8 m3	8.0 °C	8.0 °C	
MB145: Bahnhofstrasse 1	35816.0 kWh	7.5 kW	0.1 m3/h	601.2 m3	76.0 °C	32.0 °C	
MB141: Bahnhofstrasse 11	43291.0 kWh	6.7 kW	0.1 m3/h	1204.2 m3	80.0 °C	40.0 °C	
MB143: Bahnhofplatz 1	63007.0 kWh	16.7 kW	0.4 m3/h	2075.7 m3	78.0 °C	41.0 °C	
MB142: Bahnhofplatz 3	235576.0 kWh	29.9 kW	0.9 m3/h	7214.9 m3	77.0 °C	45.0 °C	
MB138: Alter Postplatz 2	93836.0 kWh	11.3 kW	0.2 m3/h	2678.1 m3	80.0 °C	31.0 °C	
MB147: Alter Postplatz 4	27703.0 kWh	6.0 kW	0.1 m3/h	721.5 m3	81.0 °C	30.0 °C	
MB146: Dorfplatz 2	97472.0 kWh	16.3 kW	0.4 m3/h	3073.9 m3	79.0 °C	43.0 °C	
MB150: Dorfplatz 8 / 10	102650.0 kWh	65.4 kW	3.0 m3/h	3037.9 m3	81.0 °C	62.0 °C	
MB151: Dorfplatz 12	44819.0 kWh	6.1 kW	0.1 m3/h	1132.2 m3	79.0 °C	34.0 °C	

Quelle: Fachvorträge Heizverbund untere Kniri AG, 29.3.2012,  
Trüssel + Partner AG, Marco Trüssel

# Caractéristiques / Performances

- En mode dégradé, by passage du condenseur côté réseau en cas de montée en température pour continuer à condenser à des niveaux de température compatibles
- Dispositions pour continuer à filtrer en cas d'indisponibilité du condenseur (avec injection d'eau de lavage dans l'électrofiltre)

# Quelques repères de coûts



# Conclusions

La condensation des fumées au travers de ces deux exemples :

- Un système performant
- Une technologie mature et des contraintes maîtrisée
- Une gestion très rigoureuse des équipements pour obtenir les résultats attendus
- Des avantages énergétiques et environnementaux indéniables

# Réunion plénière du CIBE

## Paris, 11 juin 2013

**Merci pour votre attention**



**Comité Interprofessionnel du Bois-Energie**  
E-mail : [contact@cibe.fr](mailto:contact@cibe.fr) - Site Internet : [www.cibe.fr](http://www.cibe.fr)