



# Journée technique Nantes, 4 février 2015



## 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)



Atlanbois  
le bois à sa source

**Journée technique**

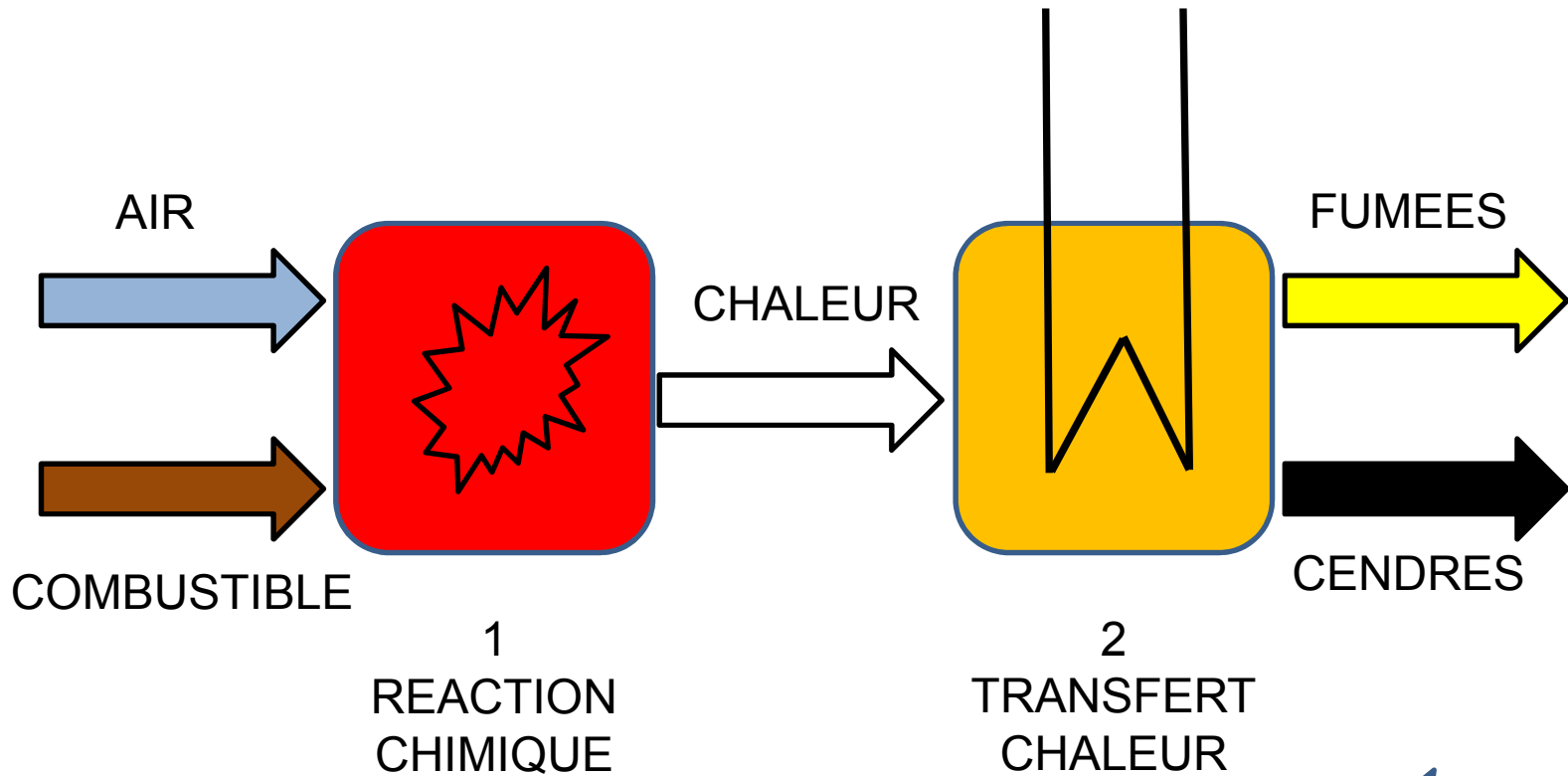
le mercredi 4 février 2015  
à NANTES (44)



Condensation des fumées  
sur des installations bois énergie

Nantes, 4 février 2015

# Principes de la combustion



Atlanbois  
le bois à sa source

**Journée technique**

le mercredi 4 février 2015  
à NANTES (44)



Condensation des fumées  
sur des installations bois énergie

Nantes, 4 février 2015

# 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) 250° ... 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



Atlanbois  
le bois à sa source



Journée technique

Nantes, 4 février 2015  
le mercredi 4 février 2015  
à NANTES (44)

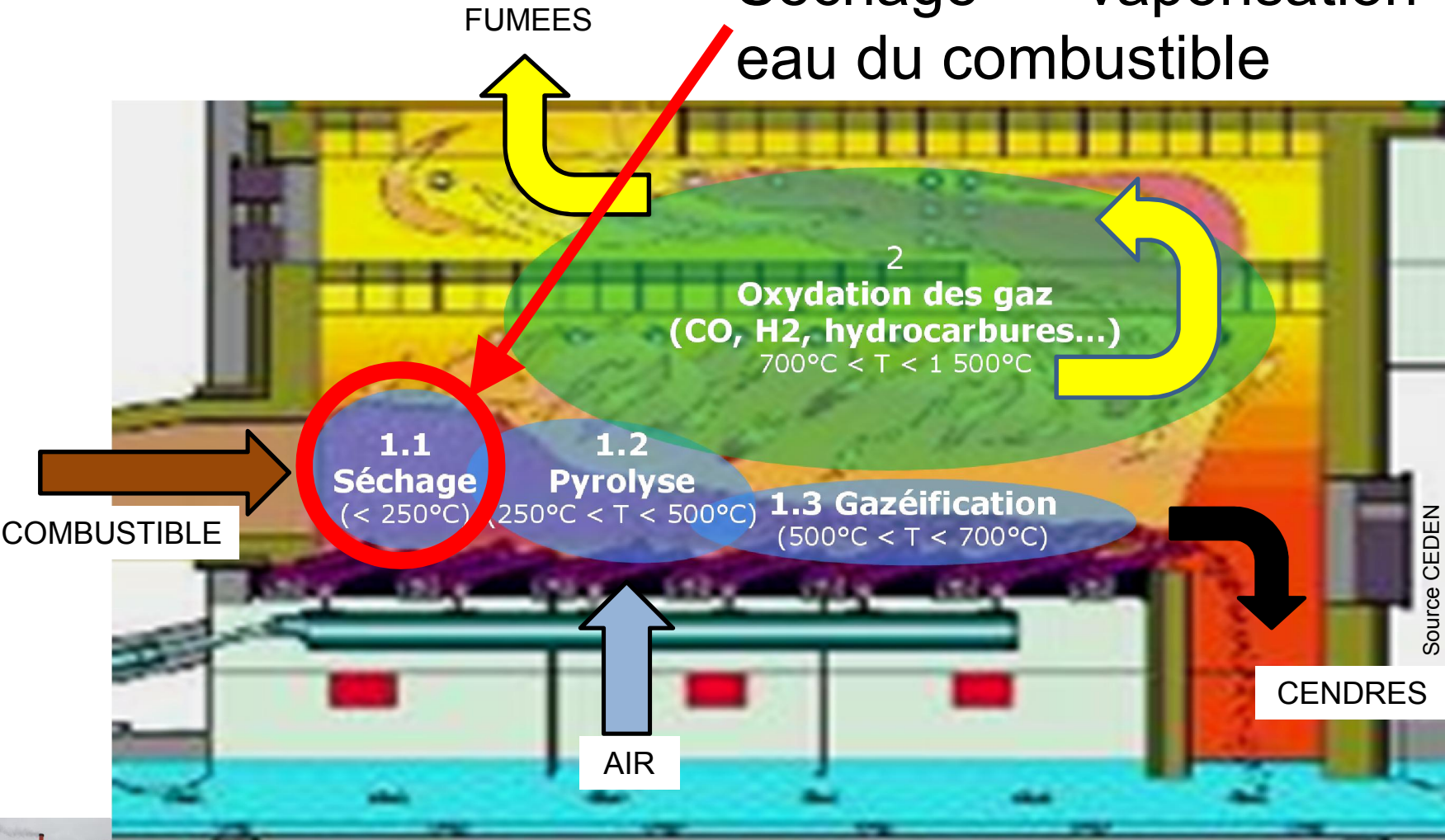


Condensation des fumées  
sur des installations bois énergie

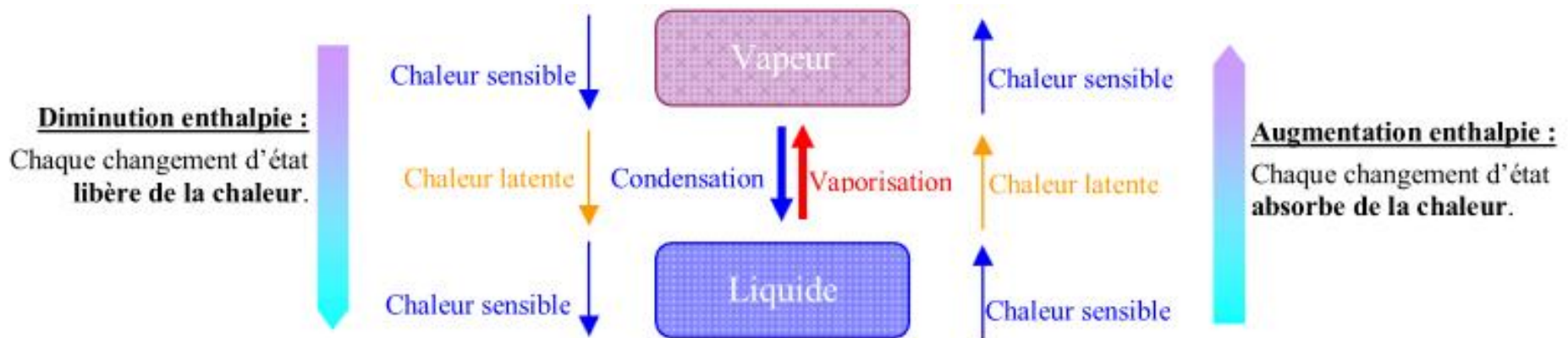
Chaudières bois à condensation :

# Combustion en chaudière

Séchage >> vaporisation  
eau du combustible



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



Atlanbois  
le bois à sa source

**Journée technique**

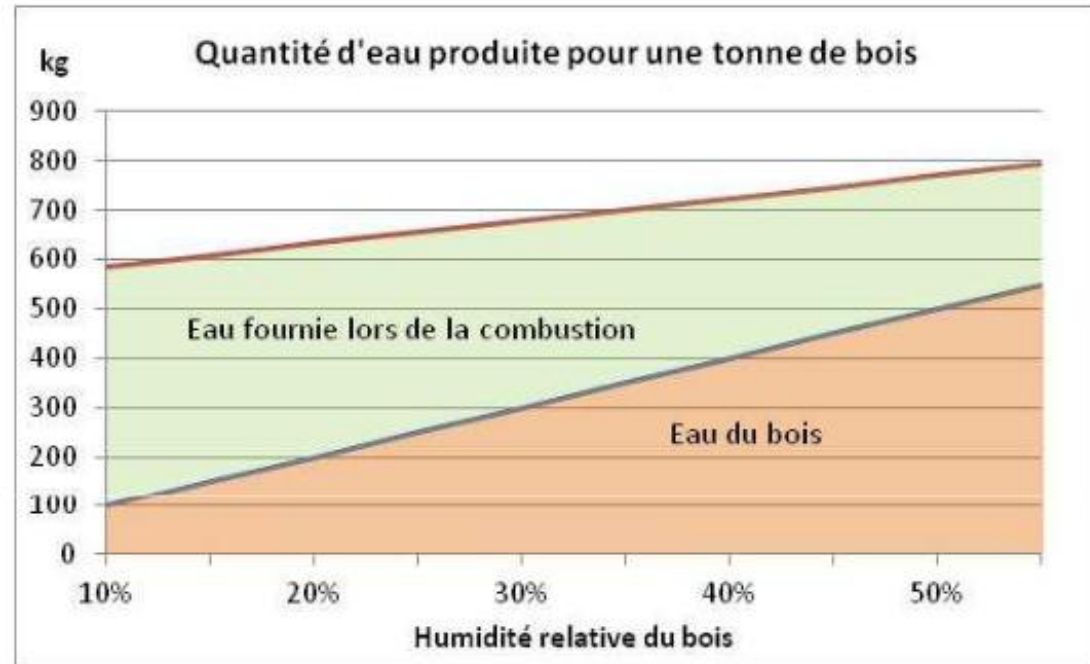
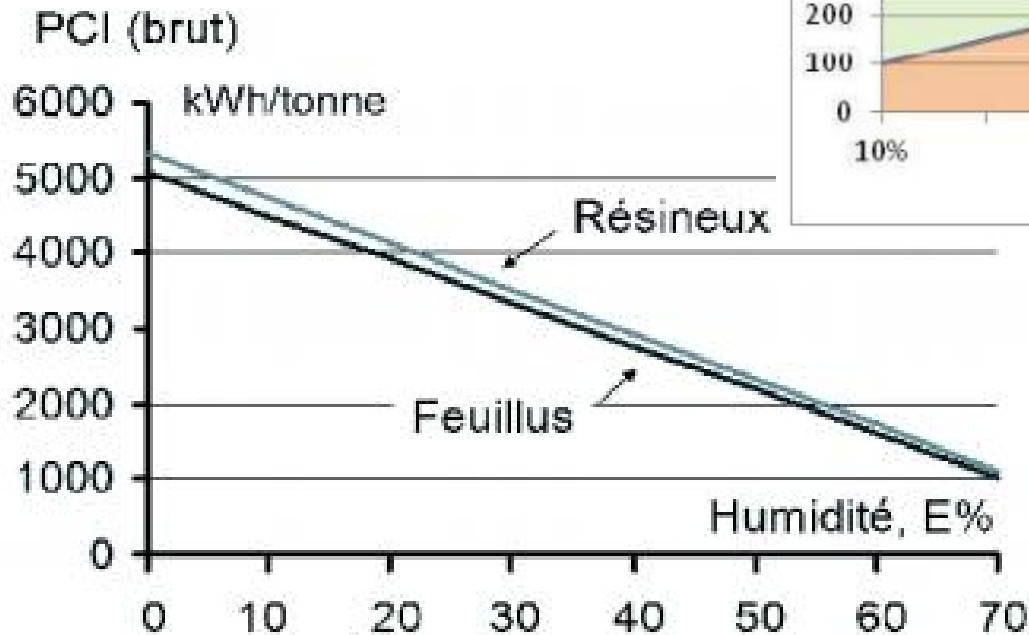
le mercredi 4 février 2015  
à NANTES (44)



Condensation des fumées  
sur des installations bois énergie

Nantes, 4 février 2015

# L'eau dans le bois



# 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*



Atlanbois  
le bois à sa source

Journée technique

le mercredi 4 février 2015  
à NANTES (44)



Condensation des fumées  
sur des installations bois énergie

Nantes, 4 février 2015

# 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...)



Atlanbois  
le bois à sa source

**Journée technique**

le mercredi 4 février 2015  
à NANTES (44)

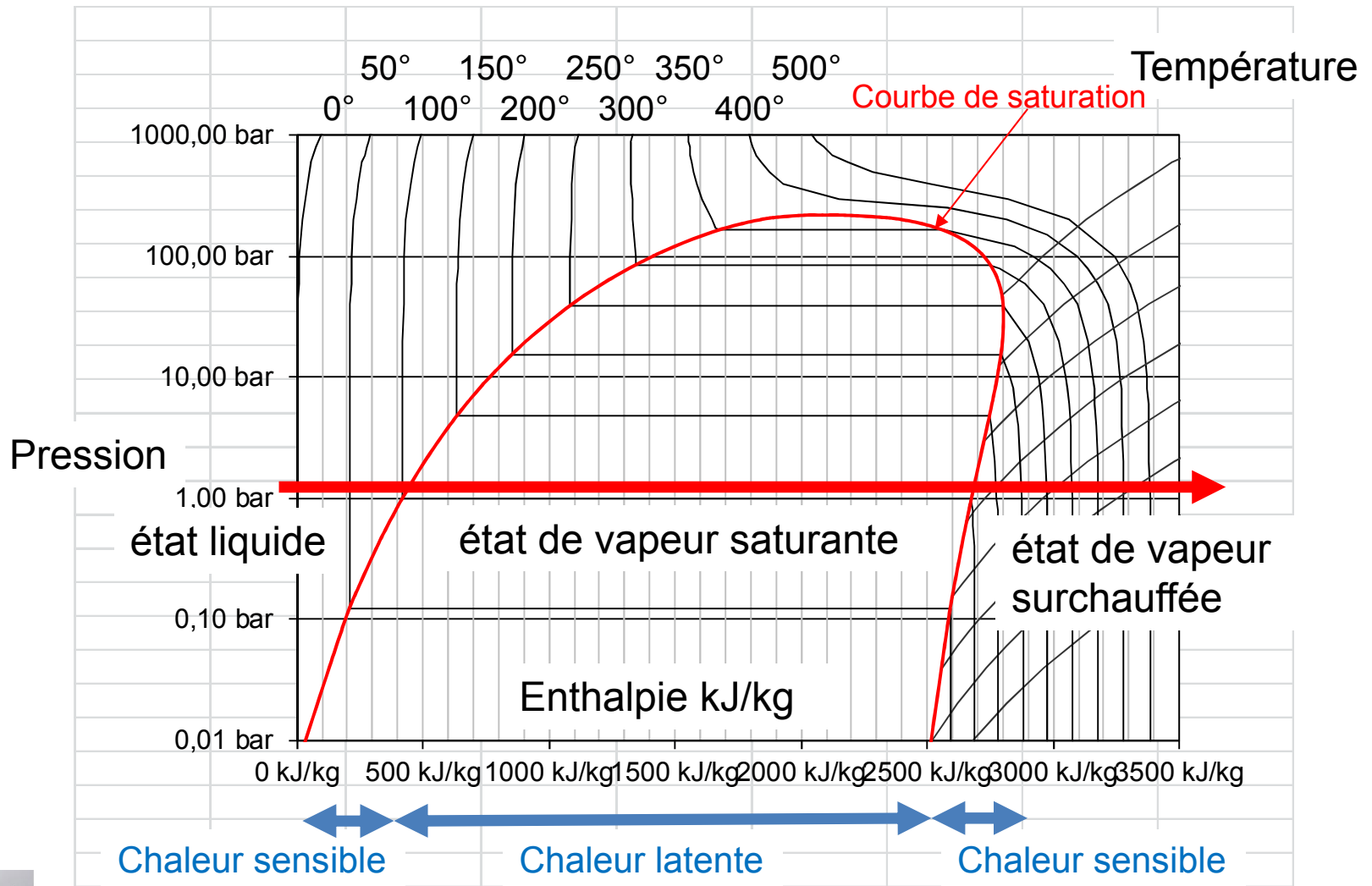


Condensation des fumées  
sur des installations bois énergie

Nantes, 4 février 2015



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



**Journée technique**  
le mercredi 4 février 2015  
à NANTES (44)



**ATIANDOIS**  
le bois à sa source



Condensation des fumées  
sur des installations bois énergie

Nantes, 4 février 2015

# 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*



Atlanbois  
le bois à sa source

**Journée technique**

le mercredi 4 février 2015  
à NANTES (44)



Condensation des fumées  
sur des installations bois énergie

Nantes, 4 février 2015

10

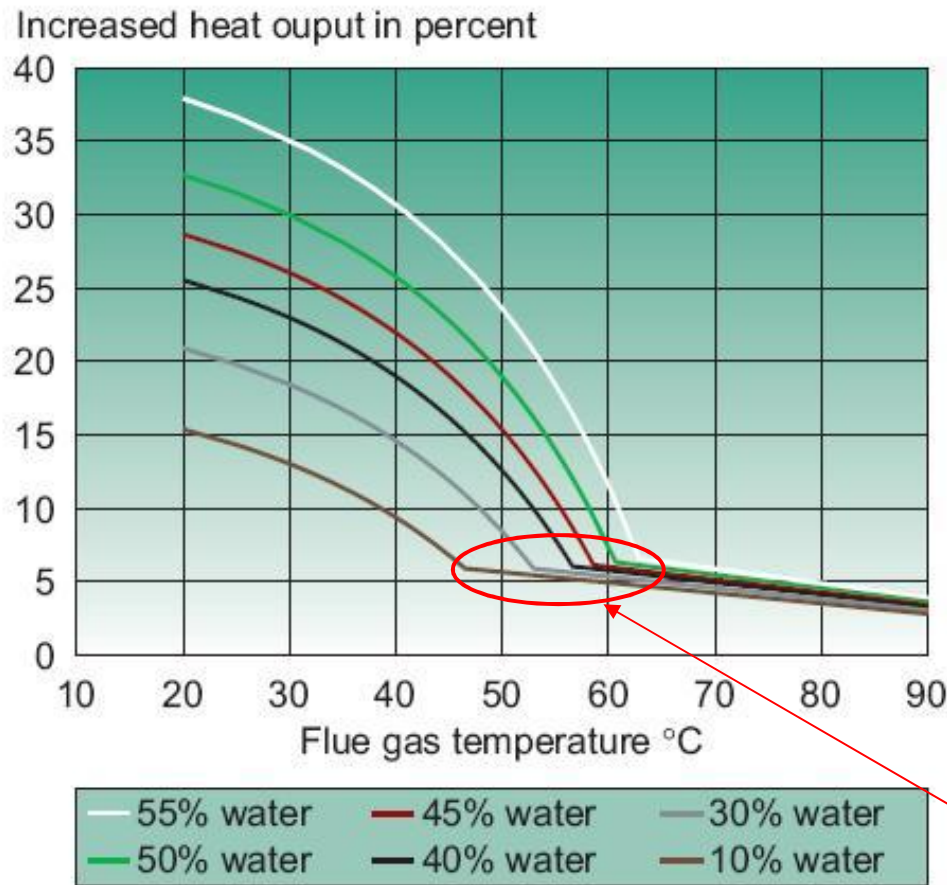
**Chaudières bois à condensation :**

# 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

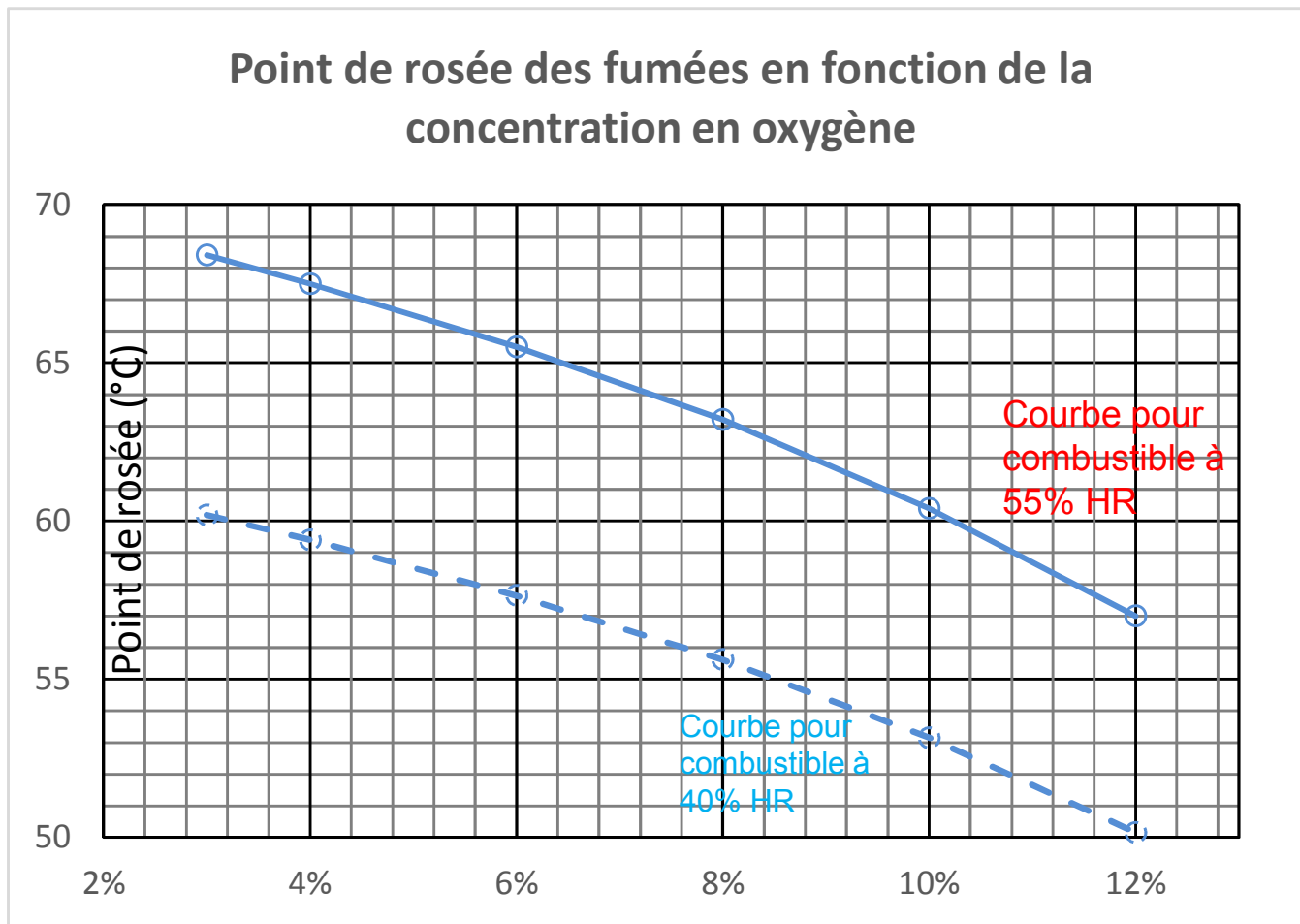


Accroissement de la chaleur récupérée (%) en fonction de la température des fumées pour différentes humidités relatives du combustible

Points de rosée pour différentes humidités 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* .



Atlanbois  
le bois à sa source

Journée technique

le mercredi 4 février 2015  
à NANTES (44)



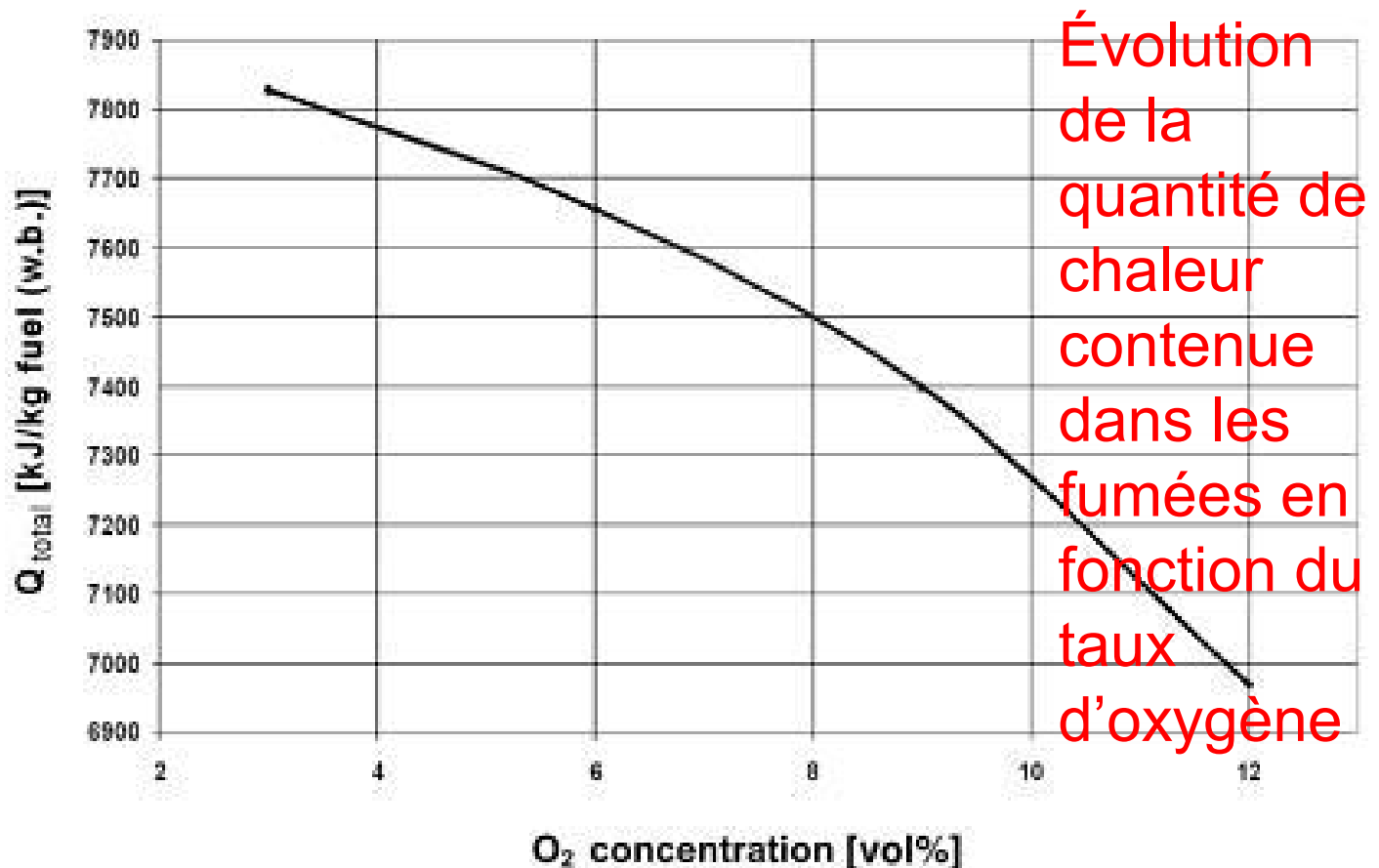
Condensation des fumées  
sur des installations bois énergie

Nantes, 4 février 2015

13

Chaudières bois à condensation :

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



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



Atlanbois  
le bois à sa source

Journée technique

le mercredi 4 février 2015  
à NANTES (44)



Condensation des fumées  
sur des installations bois énergie

Nantes, 4 février 2015

14

Chaudières bois à condensation :

# 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



Atlanbois  
le bois à sa source

**Journée technique**

le mercredi 4 février 2015  
à NANTES (44)

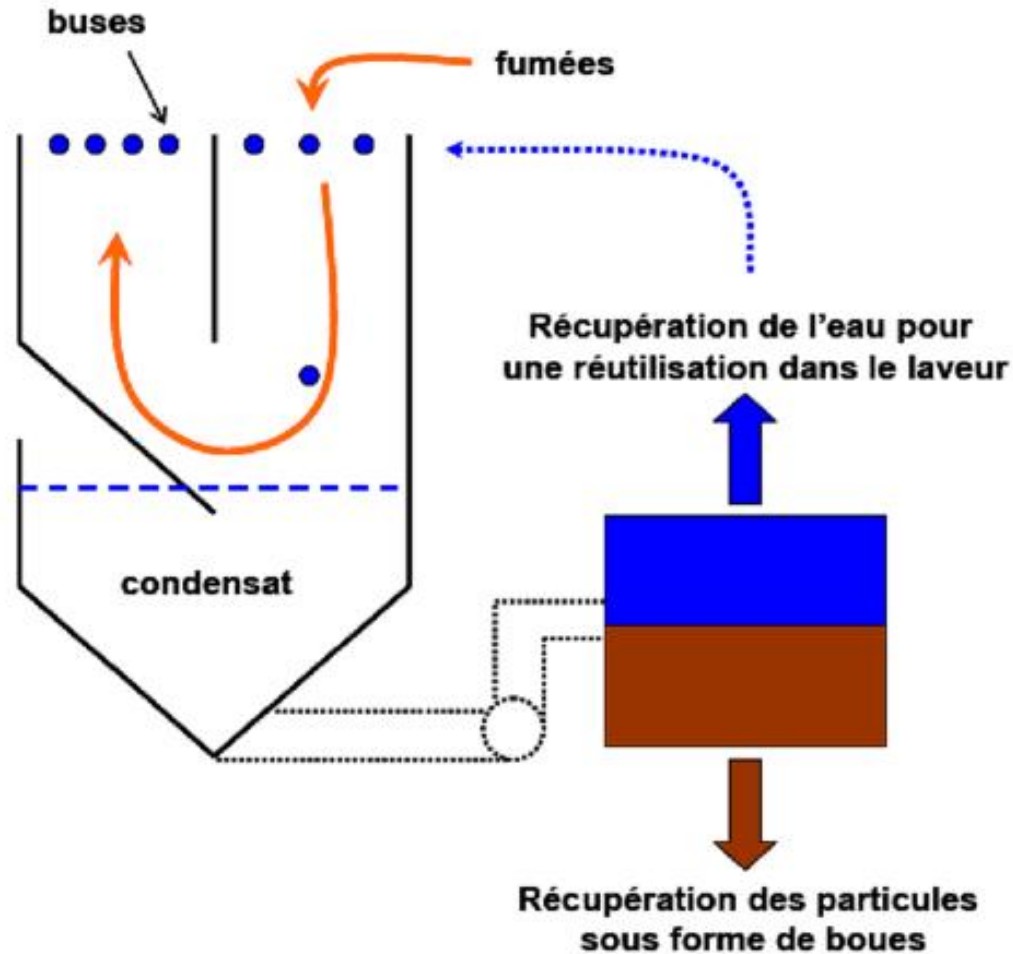


Condensation des fumées  
sur des installations bois énergie

Nantes, 4 février 2015

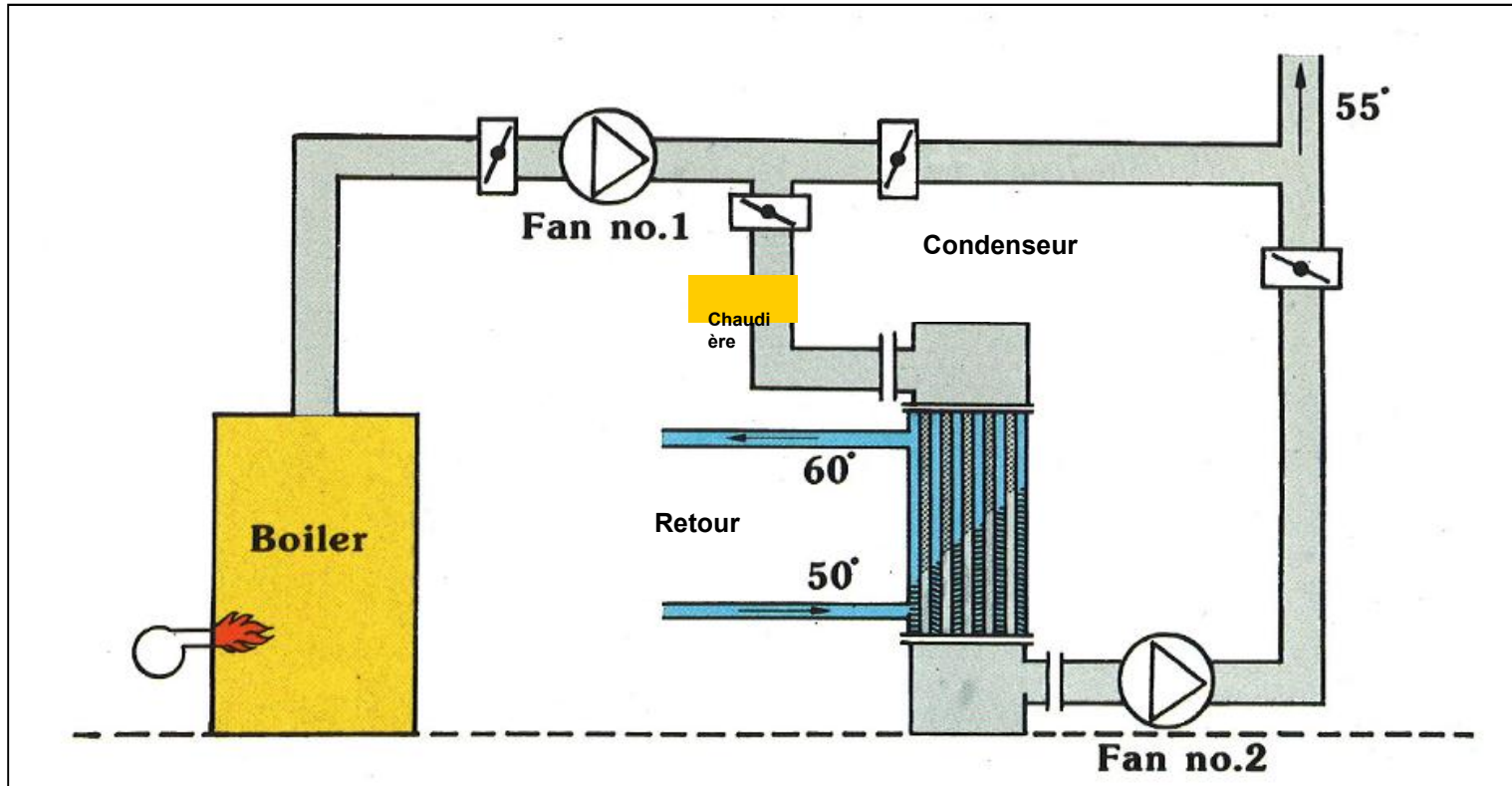
15

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





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



Source : FAGERSTA ENERGETICS



Atlanbois  
le bois à sa source

Journée technique

le mercredi 4 février 2015  
à NANTES (44)



Condensation des fumées  
sur des installations bois énergie

Nantes, 4 février 2015

# Des architectures différentes

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



Atlanbois  
le bois à sa source

**Journée technique**

le mercredi 4 février 2015  
à NANTES (44)



Condensation des fumées  
sur des installations bois énergie

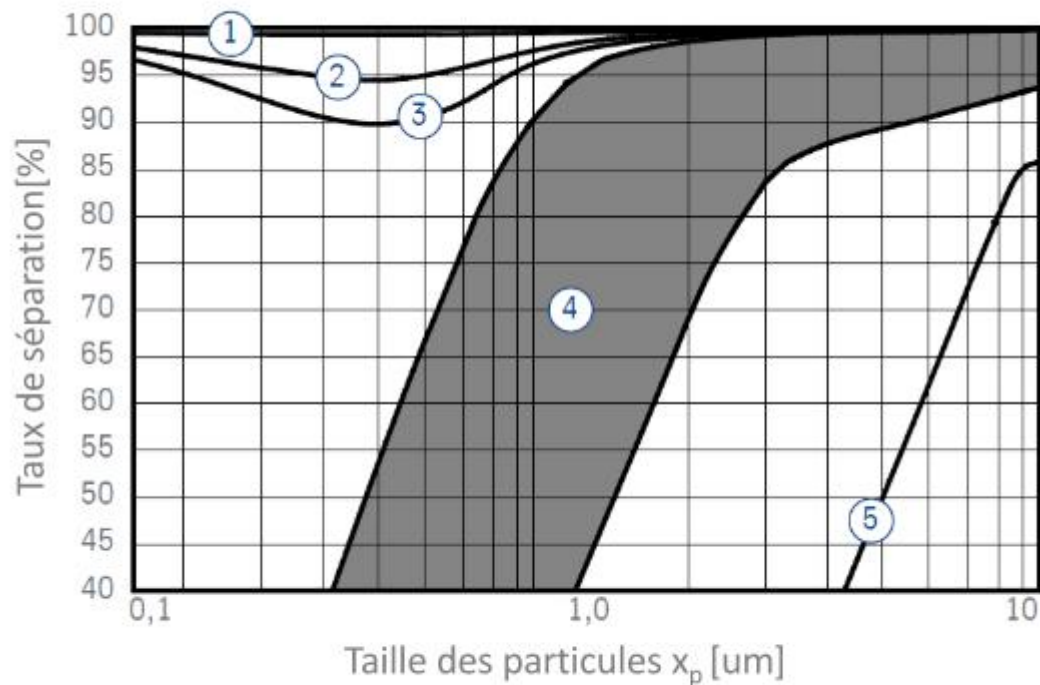
Nantes, 4 février 2015

18

# Le dépoussiérage

Taux de séparation

save energy



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



Atlanbois  
le bois à sa source

Journée technique

le mercredi 4 février 2015  
à NANTES (44)



Condensation des fumées  
sur des installations bois énergie

Nantes, 4 février 2015

# 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



Atlanbois  
le bois à sa source

**Journée technique**

le mercredi 4 février 2015  
à NANTES (44)



Condensation des fumées  
sur des installations bois énergie

Nantes, 4 février 2015

20

# Condensation des fumées sur des installations bois énergie

*Pour aller plus loin ...*



Comité Interprofessionnel du Bois-Energie

## LA CONDENSATION DES FUMÉES ISSUES DE LA COMBUSTION DU BOIS : ETAT DES LIEUX, PERTINENCE DE LA MESURE, OUVRE ET CONDITIONS DE DEVELOPPEMENT

Document interne (\*)

### Résumé

Ce document présente les principes thermodynamiques et thermochimiques de la condensation de la vapeur d'eau des fumées issues de la combustion du bois, souligne les points de réflexion sur la condensation et conclut sur une évolution nécessaire des habitudes françaises.

Document produit par la commission REX « Ressur d'expériences de conception, construction

Rédacteurs : Nicolas SEGLAS et Dominique PLUMAIL (CEDEN)

Date de première émission : Avril 2011

Date de la présente version : Avril 2011

Référence : 2011-REX-1



Comité Interprofessionnel du Bois-Energie

## Condensation des fumées sur les chaudières bois

Document interne (\*)

### Résumé

Ce document fait la synthèse d'un premier retour d'expérience en ce qui concerne les installations de condensation de fumées.

Document produit par la commission REX « Technologies, conception, construction et exploitation des chaufferies et réseaux »

Rédacteur : Jean-Pierre TACHET, collectif

Date de première émission : Mai 2013

Date de la présente version : Mai 2013

Référence : 2013-REX-2



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

17 avril 2012

Dominique PLUMAIL

**CEDEN**  
CENTRE D'ETUDE SUR LES RECHERCHES EN ENERGIE



**Journée technique**

le mercredi 4 février 2015  
à NANTES (44)

**Chaudières bois à condensation :**



Condensation des fumées  
sur des installations bois

Nantes, 4 février 2015



# Journée technique Nantes, 4 février 2015



**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)



**Atlanbois**  
le bois à sa source

**Journée technique**

le mercredi 4 février 2015  
à NANTES (44)



Condensation des fumées  
sur des installations bois énergie

Nantes, 4 février 2015

22

**Chaudières bois à condensation :**