

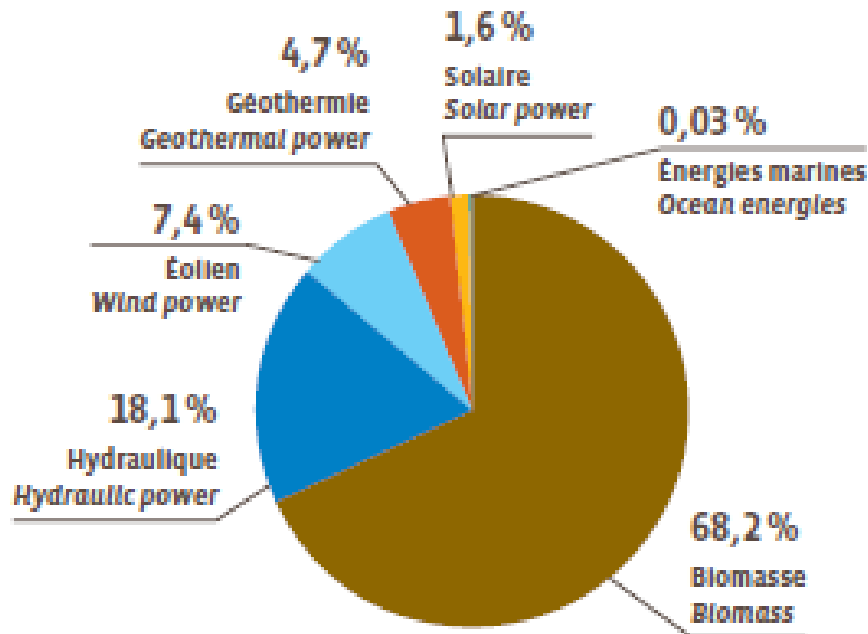
Combustion de la Biomasse : place, procédés et enjeux

Yann ROGAUME

Yann.Rogaume@univ-lorraine.fr

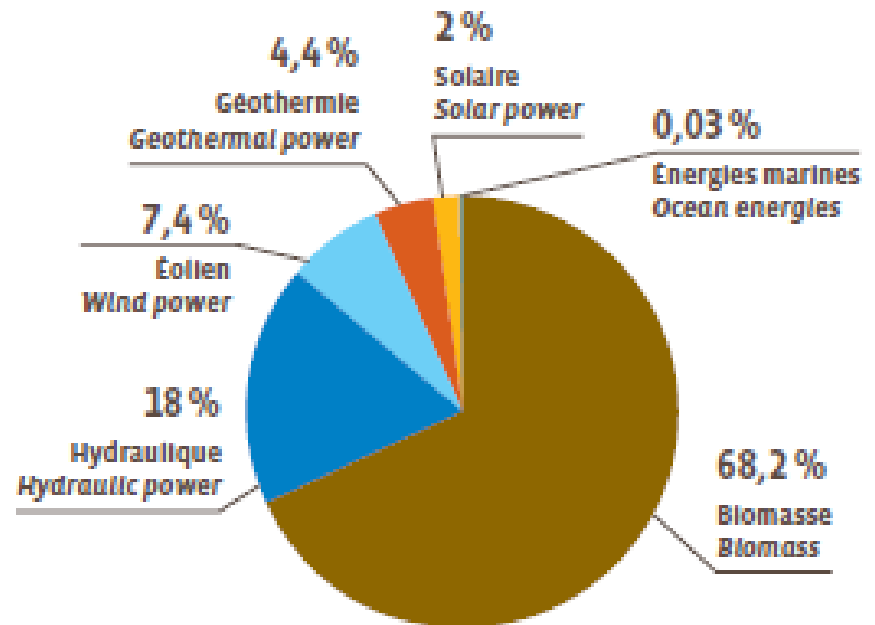
Biomasse dans les ENR

1° source d'énergie renouvelable en EUROPE



2009

Total: 155,0 Mtep/Mtoe



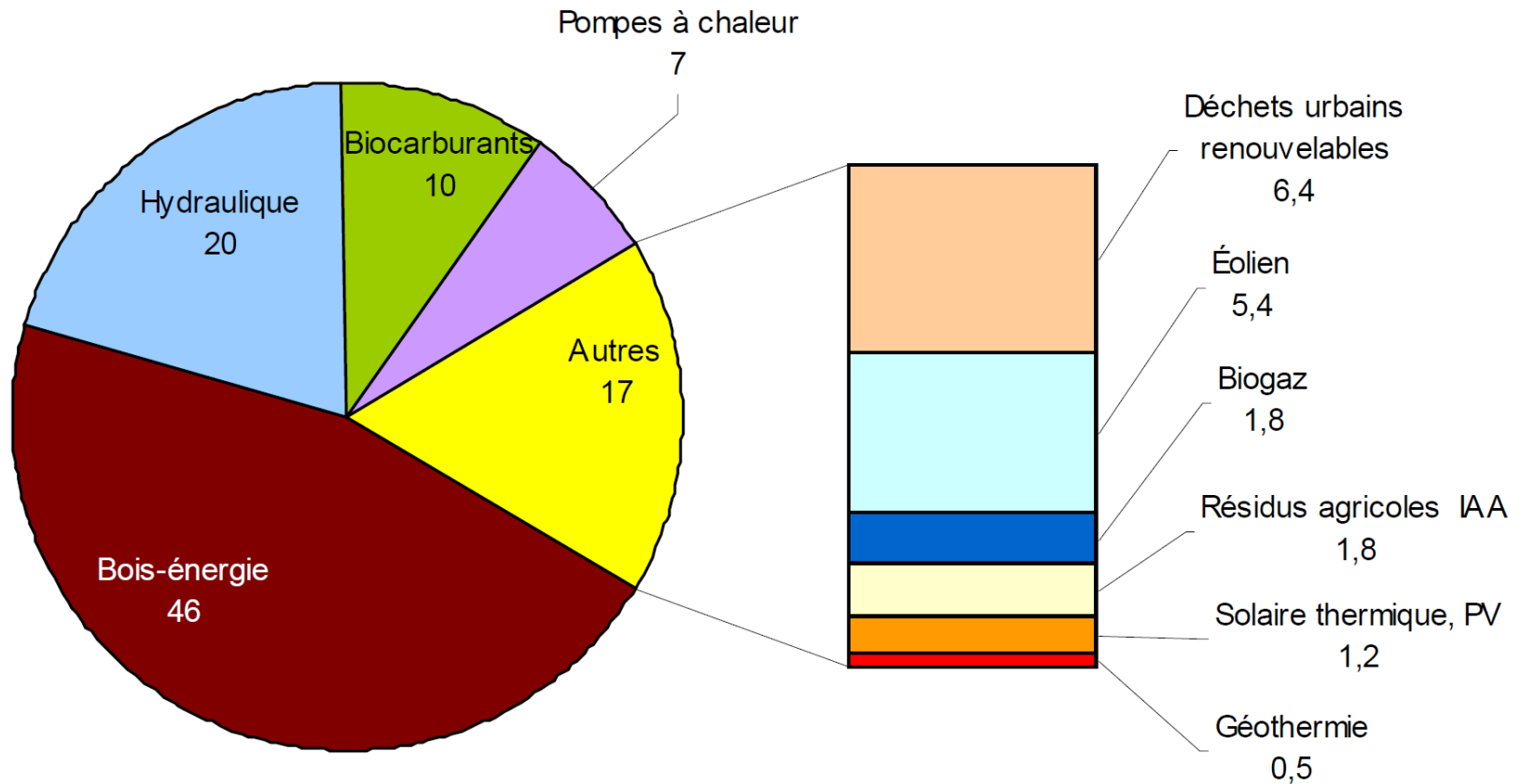
2010

Total: 172,5 Mtep/Mtoe

Baromètre EUR'OBSERVER 2011

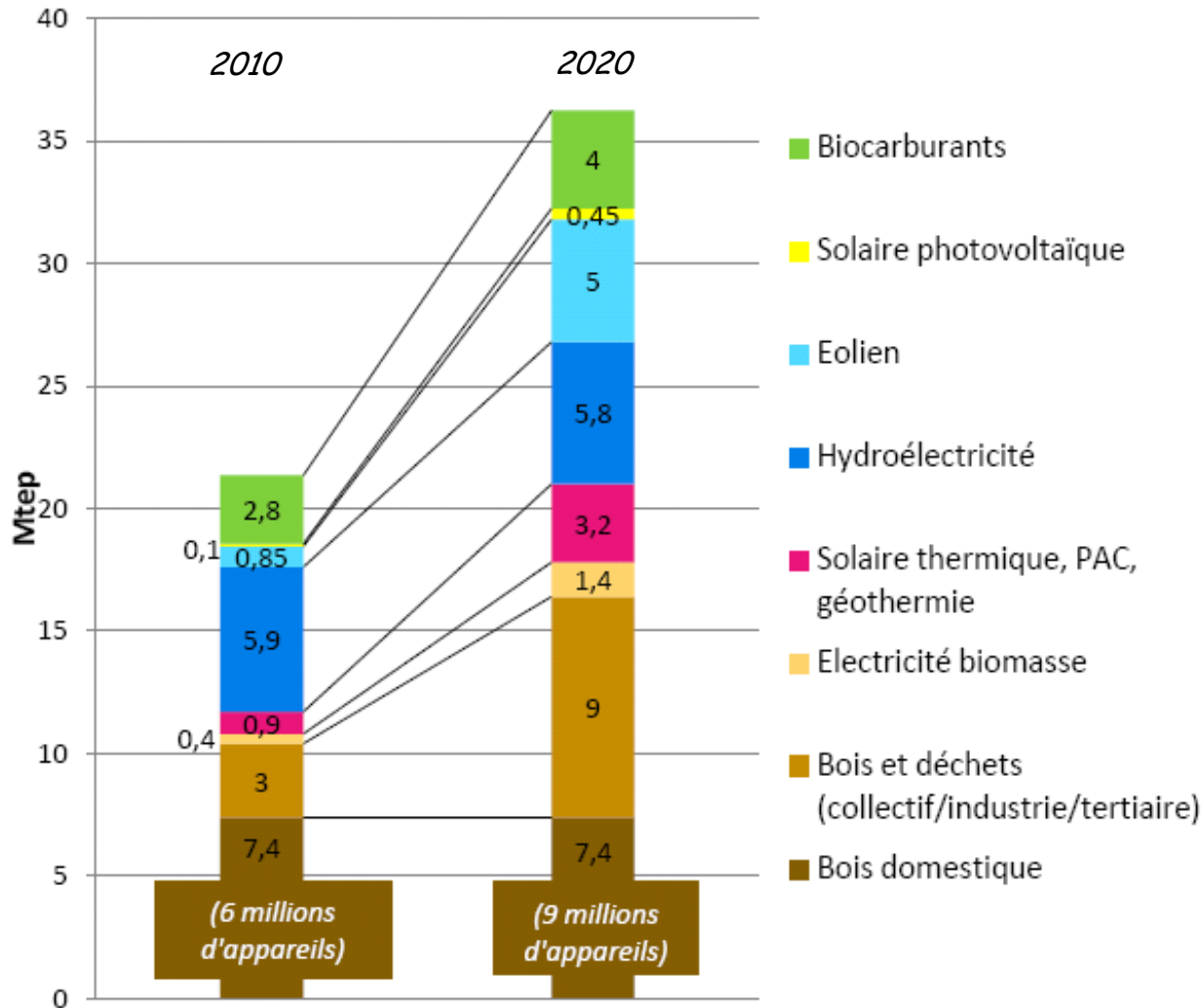
Biomasse dans les ENR

1° source d'énergie renouvelable en FRANCE



Bilan énergétique de la France en 2011 (Commissariat Général au Développement Durable)

Développements en France



60% biomasse

**45% bois énergie -
COMBUSTION**

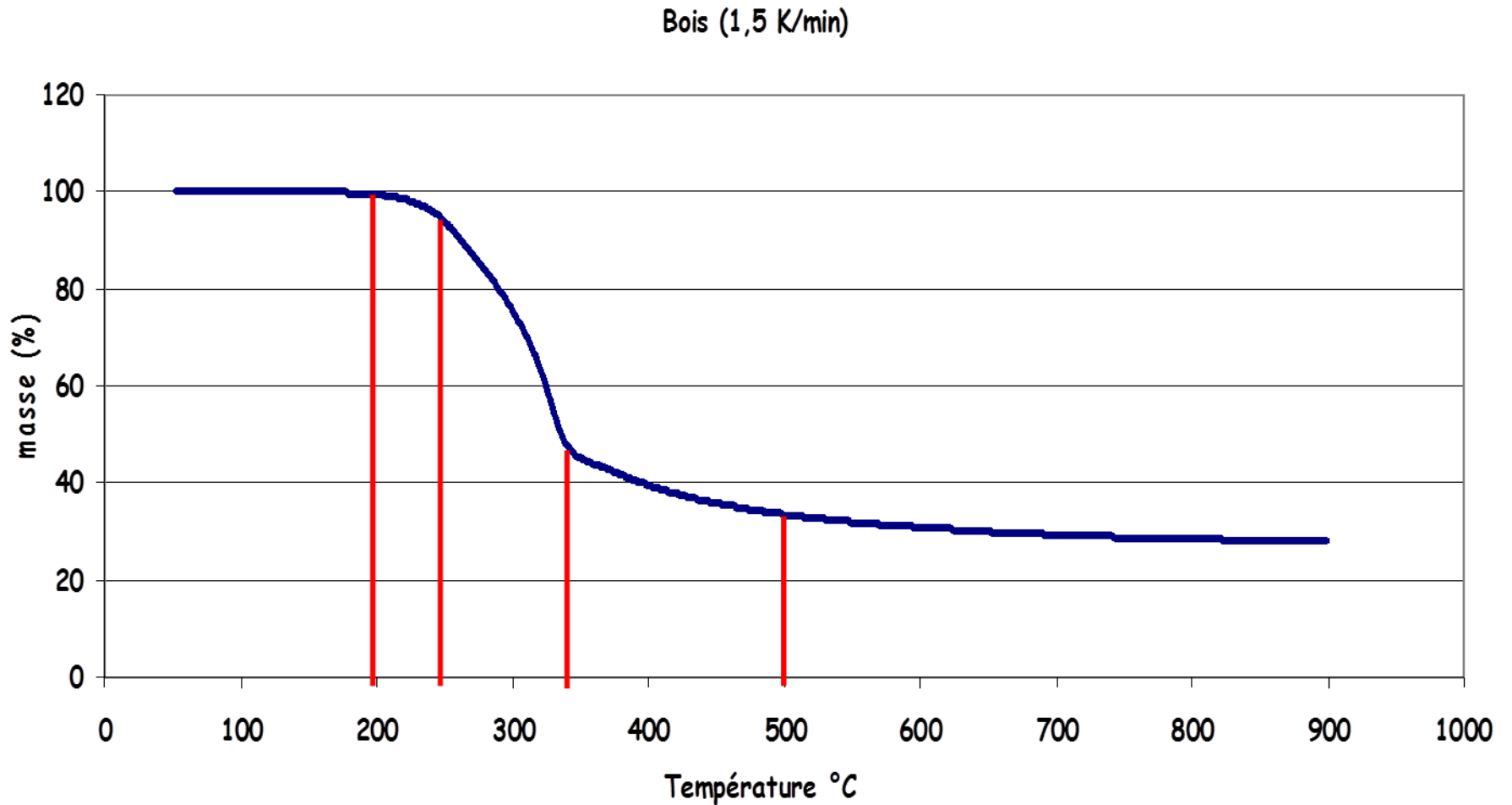
SER

Où utilise t'on la combustion bois ?

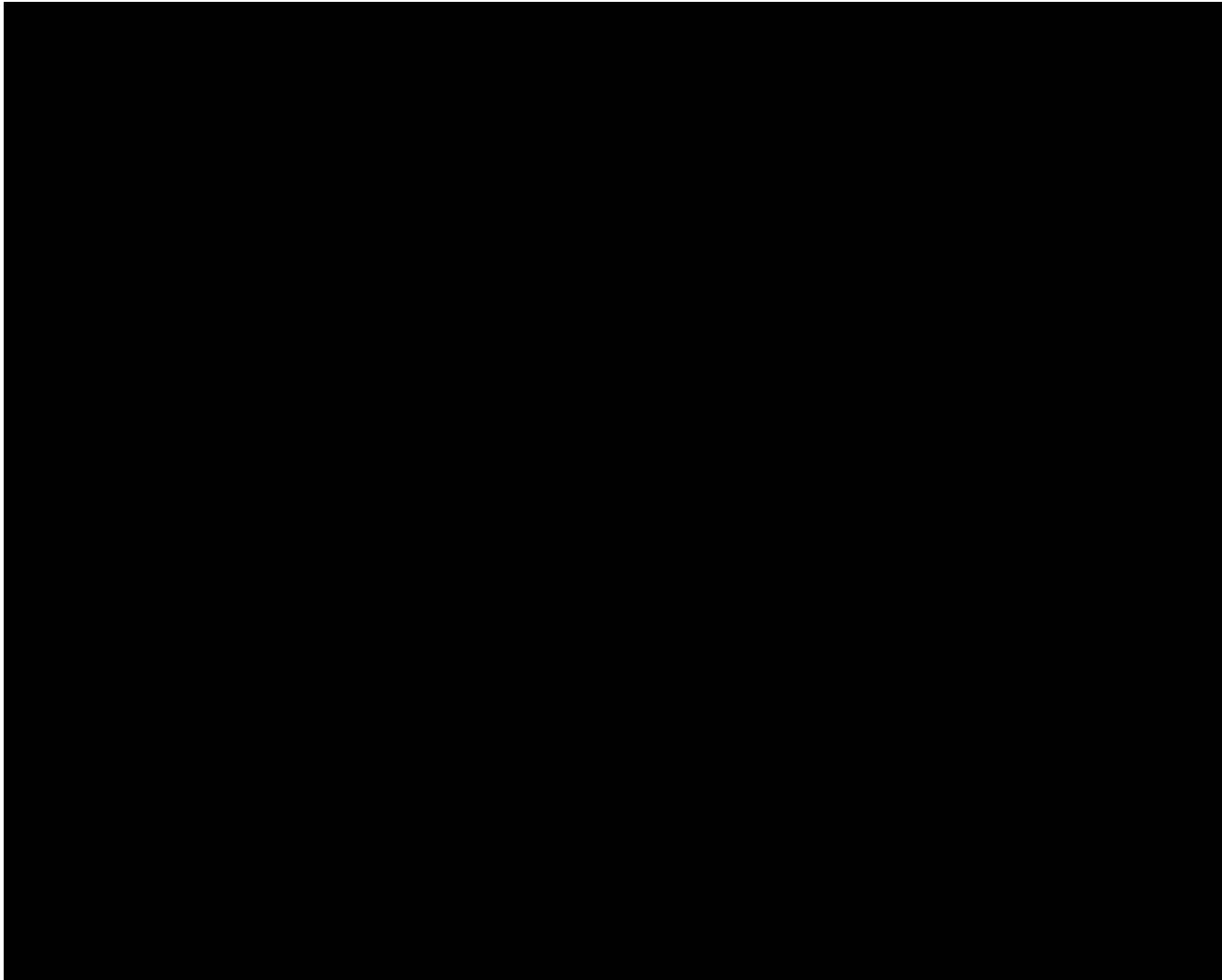
- **Quatre grands secteurs :**
 - chauffage domestique ;
 - énergie industrielle ;
 - chauffage collectif ;
 - cogénération.

- **Problématiques principales :**
 - impact environnemental ;
 - flexibilité : puissance, combustible, ... ;
 - rendements énergétiques et nouveaux couplages ;
 - cogénération pour tous.

La Combustion du Bois



La Combustion du Bois



Les Principaux Appareils Utilisés

Domestique

7400 ktep

Puissances de
5 à 30 kW

Appareils
indépendants
(94%)

Reliés à un réseau
d'eau chaude (6%)

Industries

1800 ktep

Puissances de 1 à
+ de 100 MW

Principalement
dans les industries
du bois (trituration,
scieries)

Souvent en
cogénération

Collectif/tertiaire

700 ktep

Puissances de
100 kW à 20 MW

Réseaux de
chaleur locaux

Cogénération

**500 ktep
(dont 150 ind.)**

Puissances de 5 à
100 MW

Développement
par appels d'offres
CRE

Le Chauffage au Bois Domestique



Foyers fermés / Inserts :

55%



Poêles :

38%



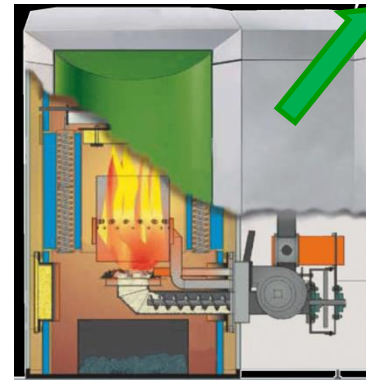
Cuisinières :

2%



Chaudières bûches :

4%



Chaudières automatiques :

1%



Principalement des bûches et des appareils indépendants

Le Chauffage au Bois Domestique

- Principales difficultés :
 - chargements par batch ;
 - combustibles très variables ;
 - fonctionnement en tirage naturel ;
 - coût/prix de vente faibles ;
 - régulation sommaire ;
 - dimensionnement des appareils , ...

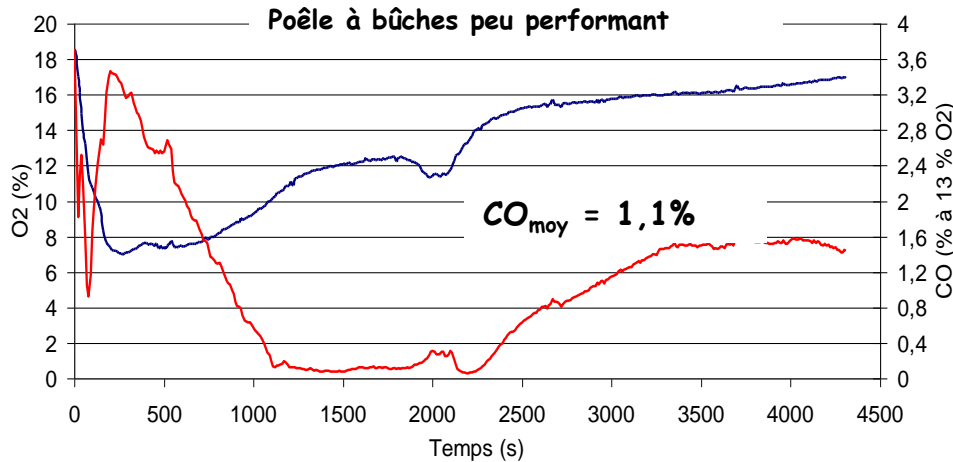


Rendements très variables (10 à 90%)

Pollution : surtout imbrûlés

Intégration dans l'évolution de l'habitat (puissance, cogénération, ...)

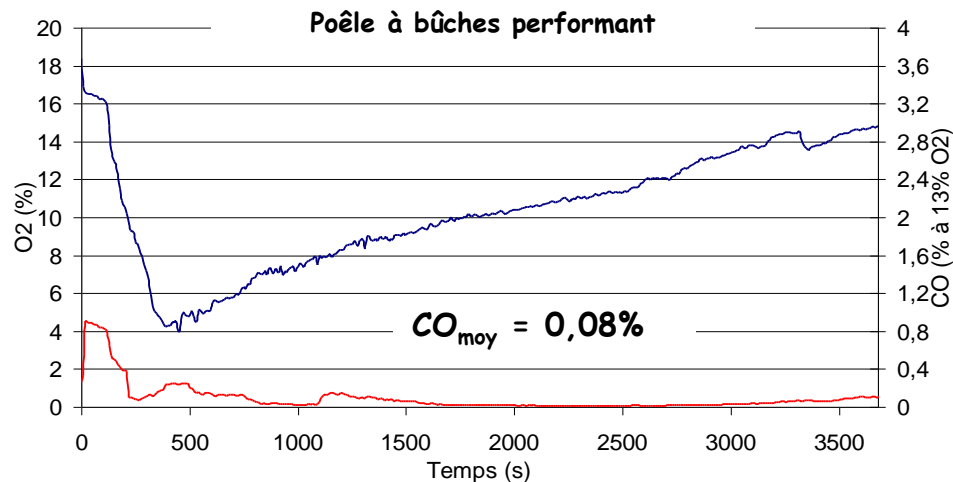
Exemples de Fonctionnement



Résultats moyens :

- CO = 1,1%
- rend = 71%

Données LERMAB



Résultats moyens :


- CO = 0,08%
- rend = 80%

Chauffage Bois Domestique



Principaux axes de travail :

- réduire l'impact environnemental ;
 - baisser les niveaux de puissance ;
 - améliorer la flexibilité & le confort ;
 - améliorer l'intégration dans le bâtiment.
- 
- 



Optimiser la combustion
pour réduire la formation
d'imbrûlés

Développer des techniques
de traitement des fumées
adaptées

Mieux contrôler l'ensemble
de la filière : appareils,
combustibles, installation,
normalisation, ...

Inventer de nouvelles
technologies

Emissions de particules

- C'est la question importante en ce moment :
 - le chauffage bois pollue t'il beaucoup ?
 - les particules sont elles toxiques ?
 - Y a-t-il une amélioration ? ...

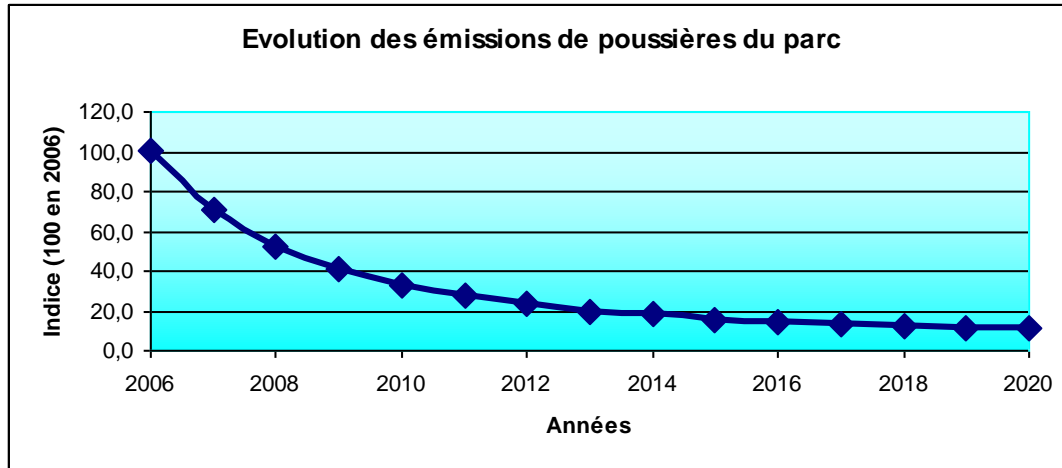


Une étude européenne est en cours : EN-PME TEST.

Elle réunit 9 pays : Allemagne, Autriche, Danemark, Finlande, France, Italie, Norvège, Suède et Suisse.

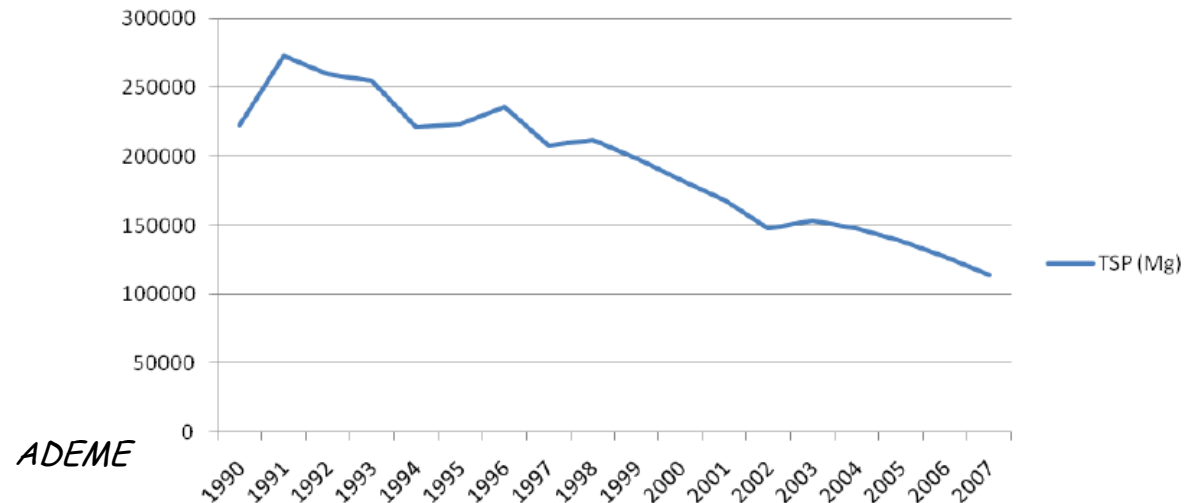
L'objectif est de proposer une normalisation européenne identique.

Améliorations en cours



SER

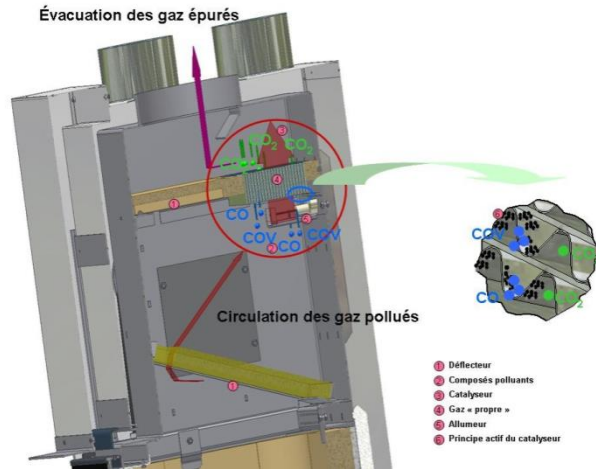
Evolution des émissions de TSP dues à la combustion du bois dans le secteur résidentiel tertiaire (Mg)



ADEME

Exemples de dispositifs de traitement

● Catalyse : Zéro CO Fondis



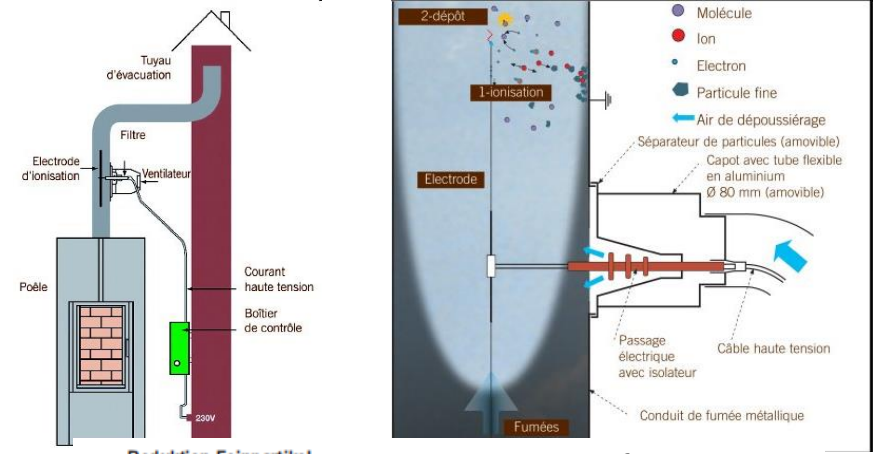
Ozil & al. - 2009

Working condition	Without catalyst	With the cordierite catalyst and the heating system	With the metallic catalyst and the heating system
CO %			
Ignition	0.25 ^a	0.10 ^a	0.08 ^a
Normal	0.12 ± 0.07	0.05 ± 0.02	0.06 ± 0.02
Low-charge	0.79 ^a	0.16 ^a	0.05 ^a
VOC (ppm)			
Ignition	455 ^a	227 ^a	297 ^a
Normal	130 ± 90	80 ± 40	70 ± 30
Low-charge	1427 ^a	717 ^a	304 ^a



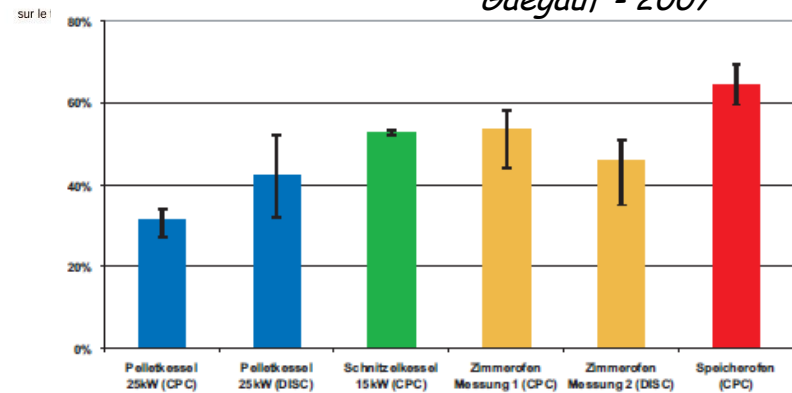
Fonctionnement OK pour CO & COV ;
Nécessité électricité (apport chaleur) ;
Coût élevé : ~1000 €

● Filtre électrostatique : Zumikron



Reduktion Feinpartikel

Gaegauf - 2007



Fonctionnement OK pour PM ;
Nécessité électricité ;
Coût élevé : ~1500 €

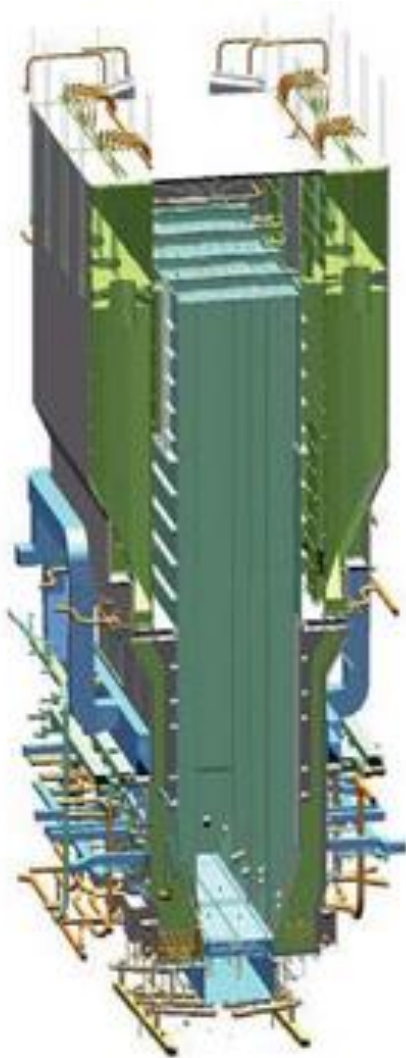
Autres améliorations en cours

- Compréhension et modélisation de la dégradation thermique d'une bûche en fonction des conditions opératoires ;
- Régulation de la puissance : équilibre entre la vitesse de pyrolyse de la bûche, le débit d'air et le besoin de puissance ;
- Mécanismes de formation/réduction des polluants : principalement COV, HAP & PM ;
- Caractérisation des particules, mécanismes de formation et études toxicologiques ;
- Développement de techniques de dépollution adaptées (pertes de charges, fluctuations de fonctionnement, coût, η , ...) ;
- Développement de nouveaux systèmes : cogénérateur, couplage VMC, etc.

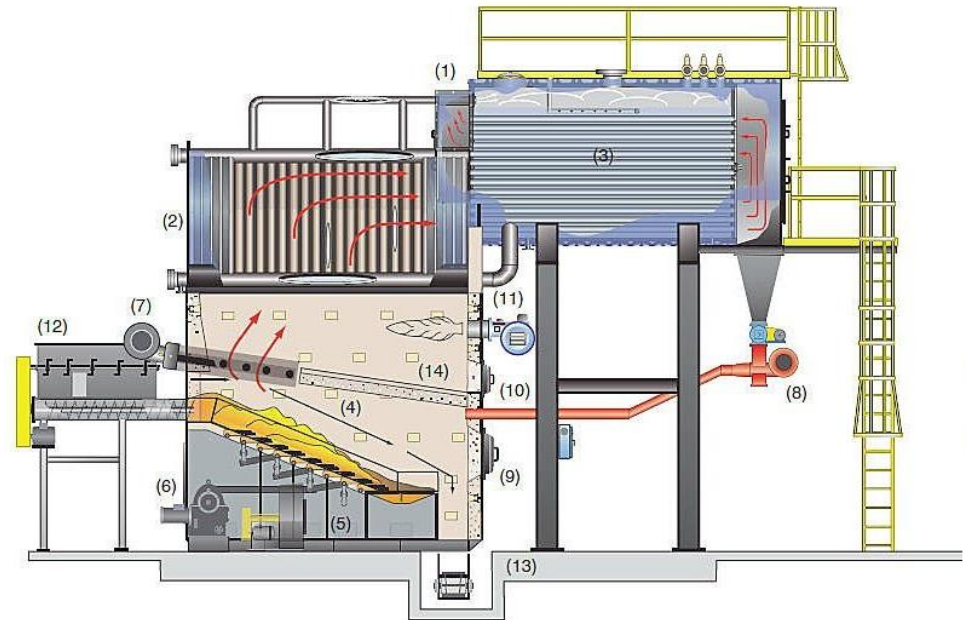
Industries

- Niveaux de puissance élevés ;
- Souvent en cogénération (en développement avec CRE) ;
- Deux principales technologies de combustion :
 - Lits fluidisés denses (voire circulant) ;
 - Fours à grilles mobiles.
- Combustibles utilisés très variés : plaquettes forestières, pailles, écorces, DIB, marc de raisins, boues, liqueurs noires, ...

Industries



Lit fluidisé



Grilles mobiles

Biomasse pour l'industrie

- Principales difficultés :

- fonctionnement en continu ;
- combustibles très variables ;
- forte dépendance du process ;
- amont et aval : approvisionnement et devenir des cendres ;
- contrôle strict des émissions ;
- corrosion des appareils.



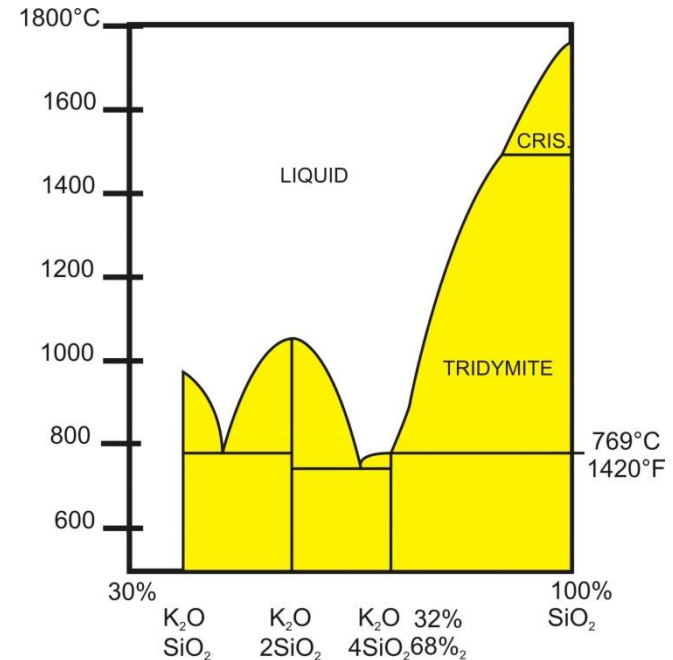
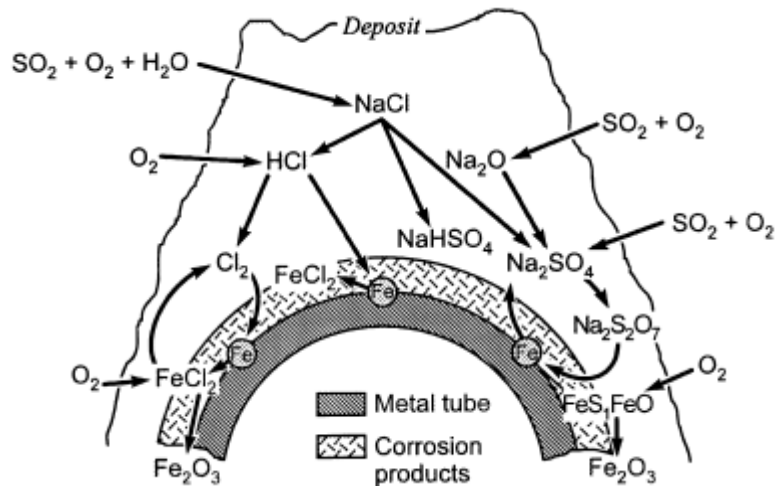
- émissions liées à la nature des combustibles : NOx, Métaux, Dioxines/furannes ;
- problèmes de corrosion (dépôts chlorés, soufrés, ...) ;
- problèmes de fusion des cendres (colmatage, prise en masse, ...).

Systemes de depollution

- Réduction des NOx :
 - techniques primaires : étagement air, abaissement de la teneur en O₂, abaissement des températures, recirculation des fumées, ...
 - techniques secondaires : SCR, SNCR (injection d'ammoniaque ou d'urée), Reburning (injection de gaz ou même de biomasse), ...

- Réduction des métaux et Dioxines :
 - limiter les zones froides (moins de 300 °C) ;
 - piéger les particules (filtres à manches, électro-filtres).

Dépôts / Corrosion / Fusion des cendres



PHASE DIAGRAM FOR K_2O-SiO_2

A.M. IRON & STEEL INST



Ajouts d'adjuvants (Silice, Calcium, ...) :
Contrôle des températures.

Développements actuelles

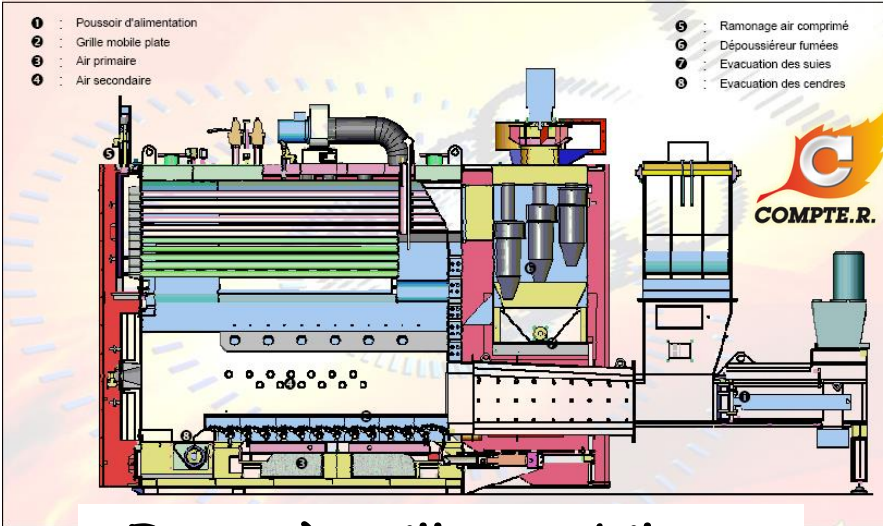
- Meilleur contrôle de la combustion pour limiter les coûts de dépollution (Particules, NOx, HCl, ...) ;
- Développement de nouveaux foyers (soles, séparation des phases, etc.) et amélioration du contrôle des injections d'air ;
- Améliorer et sécuriser l'approvisionnement : qualité, quantité, stockage, etc. ;
- Optimisation des rendements électriques : systèmes étagés, couplage avec ORC, cycles à gaz chauds, ...
- Développements d'applications de substitution du charbon : acier, chaux, centrales, etc.

Collectif / Tertiaire

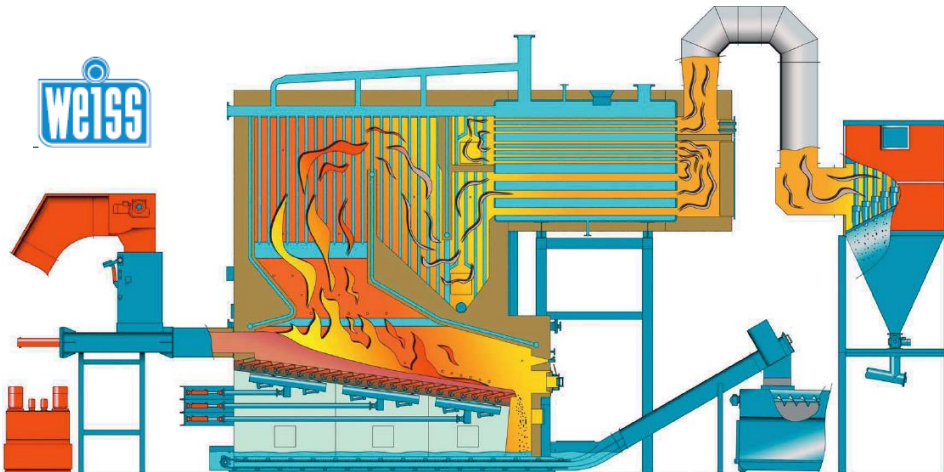
- Niveaux de puissance moyens : 100 kW à 20 MW
- La plupart du temps : four à grilles mobiles (voire quelques foyers volcans) ;
- Les combustibles sont le plus souvent des plaquettes forestières, plaquettes de scieries ou DIB ;

Collectif / Tertiaire

CHAUDIERE A POUSSOIR D'INTRODUCTION - COMPACT EVOLUTION / CE40-150 DHP (Grille plate - Evacuation cendres et suies par vis)



Foyer à grilles mobiles :
500 kW à 20 MW



Foyer volcan :
10 kW à 1 MW



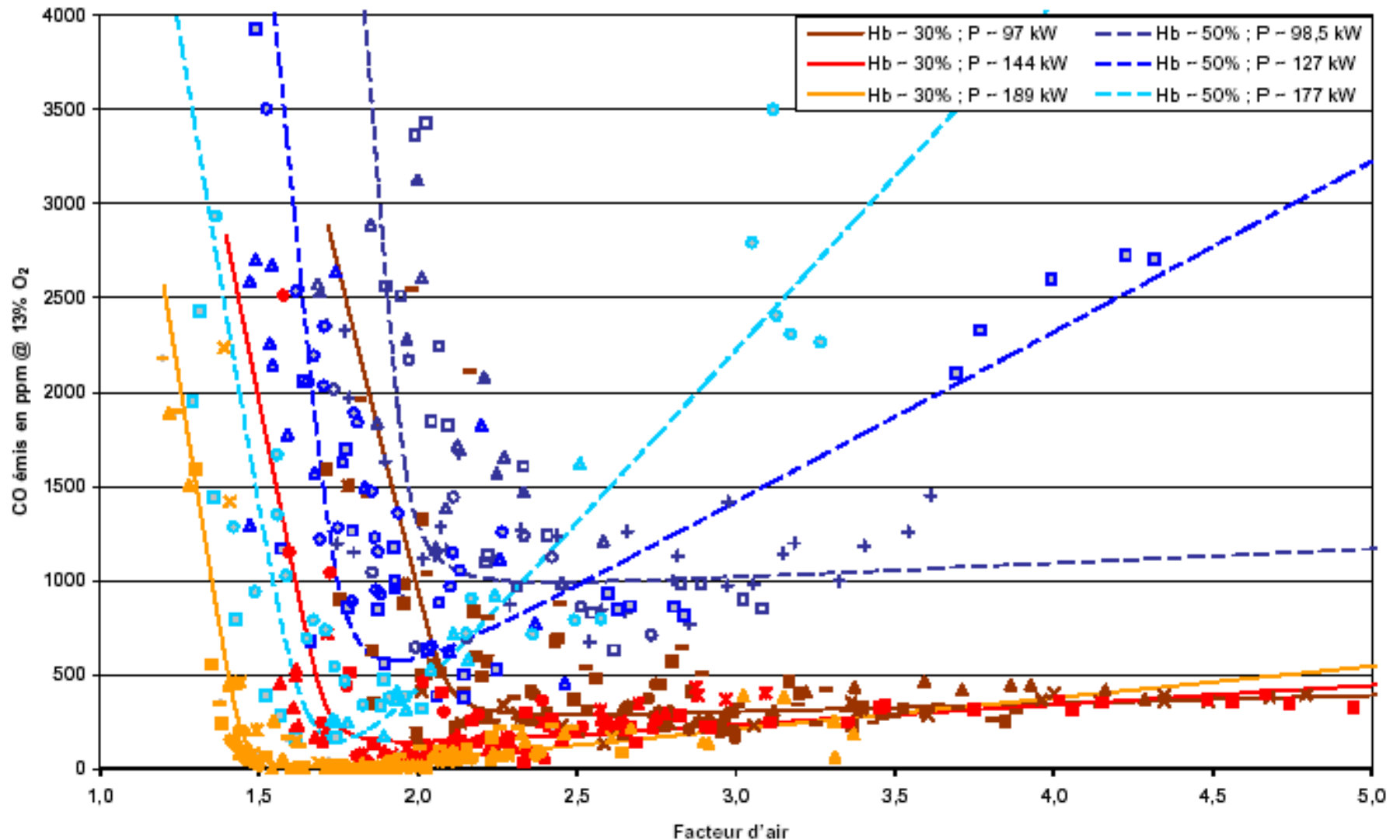
Collectif / Tertiaire : émissions

- Niveaux d'émissions très variables :
 - fonction de la puissance ;
 - fonction du régime de fonctionnement ;
 - fonction des dispositifs de traitement (cyclones, filtres à manches, électrofiltres, ...), ...
- Imbrûlés gazeux faibles (CO, COV, HAP, ...).
- Particules = f (combustible, dépoussiérage).
- Emissions de NOx possibles.
- Normalisation de plus en plus contraignante.

Collectif / Tertiaire

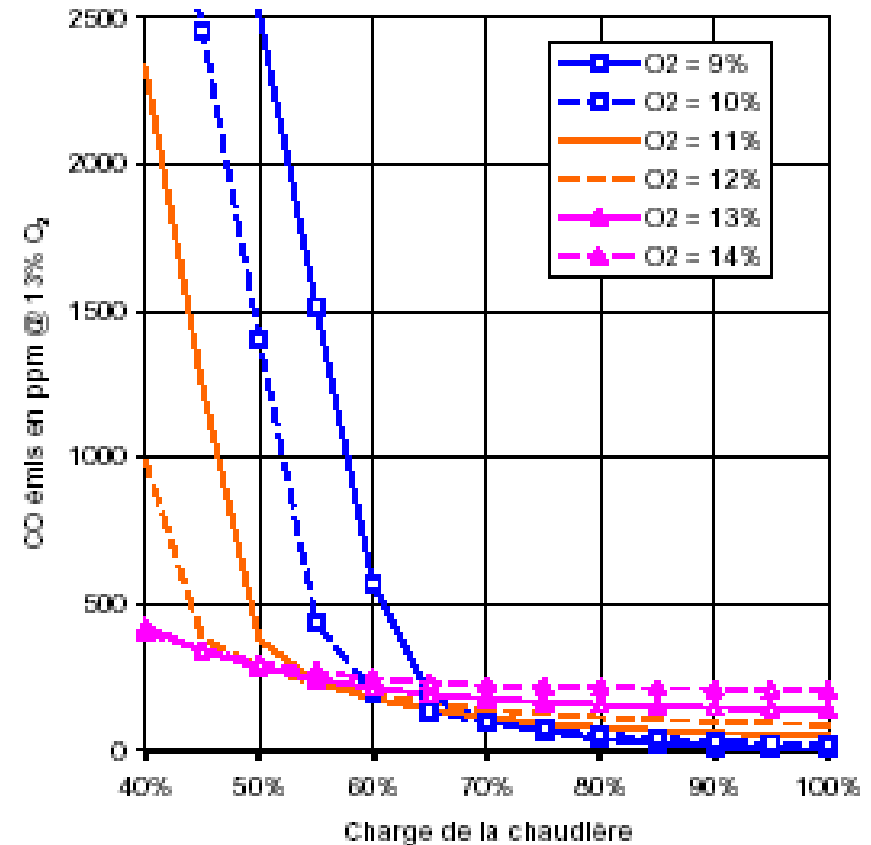
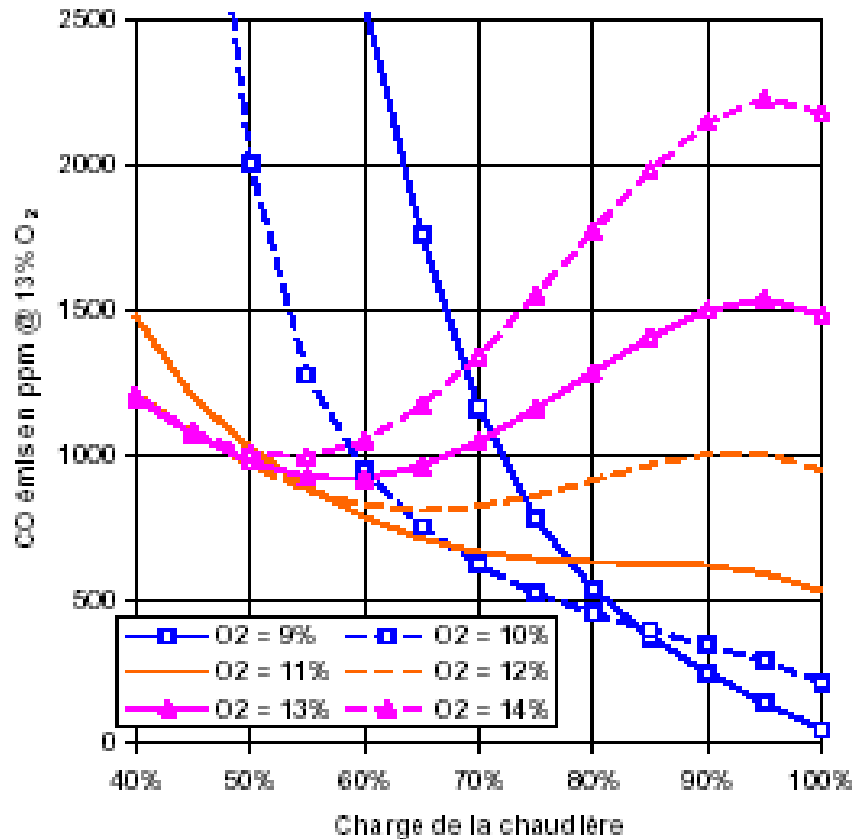
- **Principales difficultés :**
 - **homogénéité du combustible (humidité notamment) ;**
 - **adapter le système au combustible ;**
 - **surdimensionnement des installations ;**
 - **fonctionnement à régimes très instables ;**
 - **régulations simples (lié au coût) ;**
 - **formation des personnels d'exploitation ;**
 - **optimisation des rendements : condensation !**
 - **normalisation ;**
 - **...**

Optimums de fonctionnements



Thèse Claude BERNARD (LERMAB - 2005)

Optimums de fonctionnements



Thèse Claude BERNARD (LERMAB - 2005)



Optimisation de fonctionnement possible en optimisant la régulation

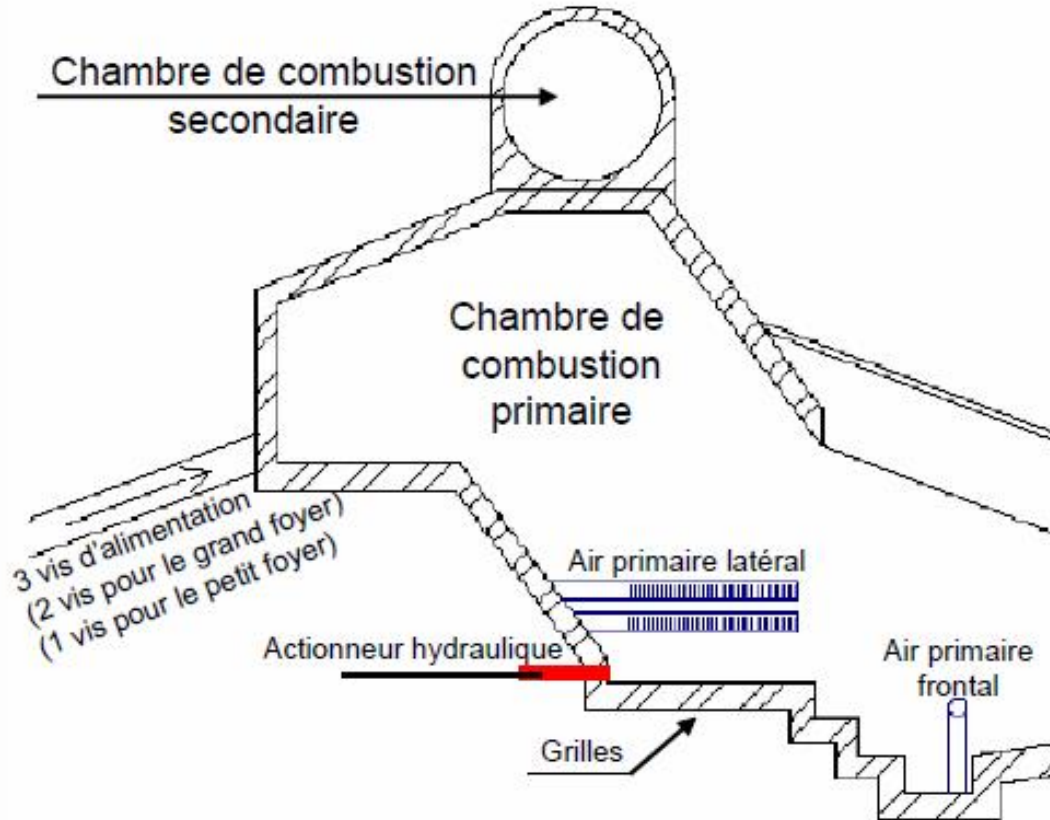
Développements en cours

- **Optimisation de la combustion :**
 - amélioration de la géométrie des foyers ;
 - modifier les systèmes de régulation.

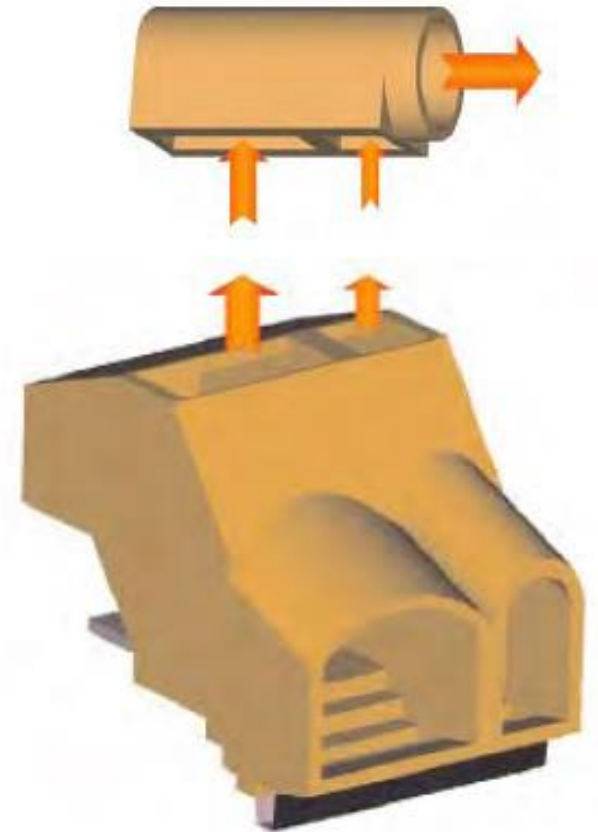
- **Améliorer la flexibilité des appareils (vis-à-vis des combustibles et du régime de fonctionnement par exemple) ;**

- **Optimiser les rendements énergétiques et économiques :**
 - dimensionnement des installations, mise en œuvre de la condensation, ... ;
 - cogénération de petites puissances : ORC, cycles à air chauds.

Exemple de développement : flexibilité puissance

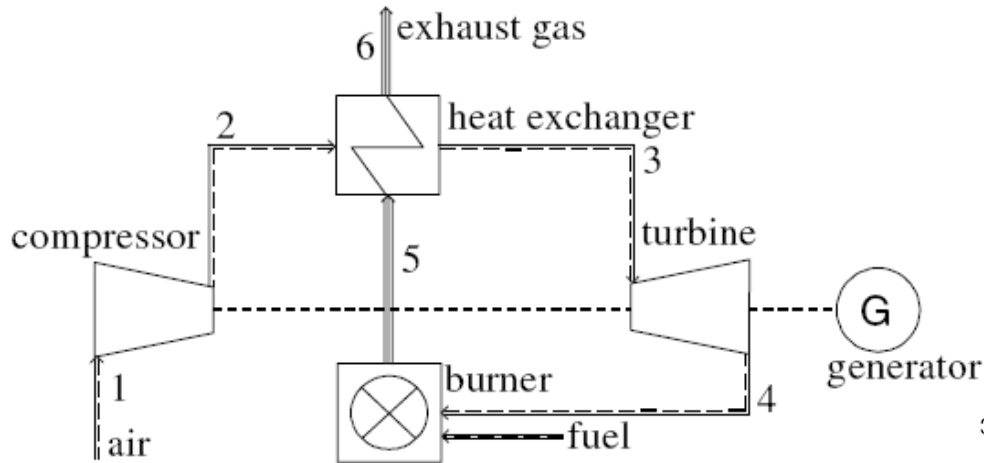


Lundgren & al. - 2004

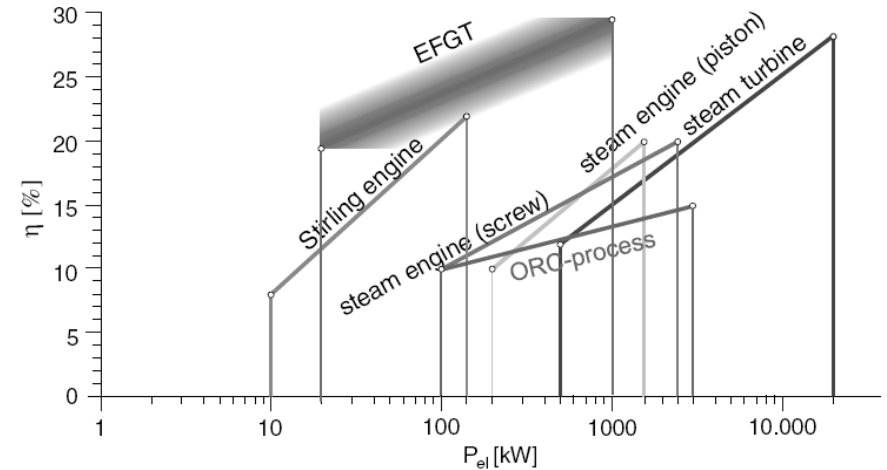


Exemple de développement : cogénération

Turbine à gaz chaud à combustion externe



Kautz & Hansen - 2007



**Rendements électriques élevés
pour petites & moyennes
puissances ;**

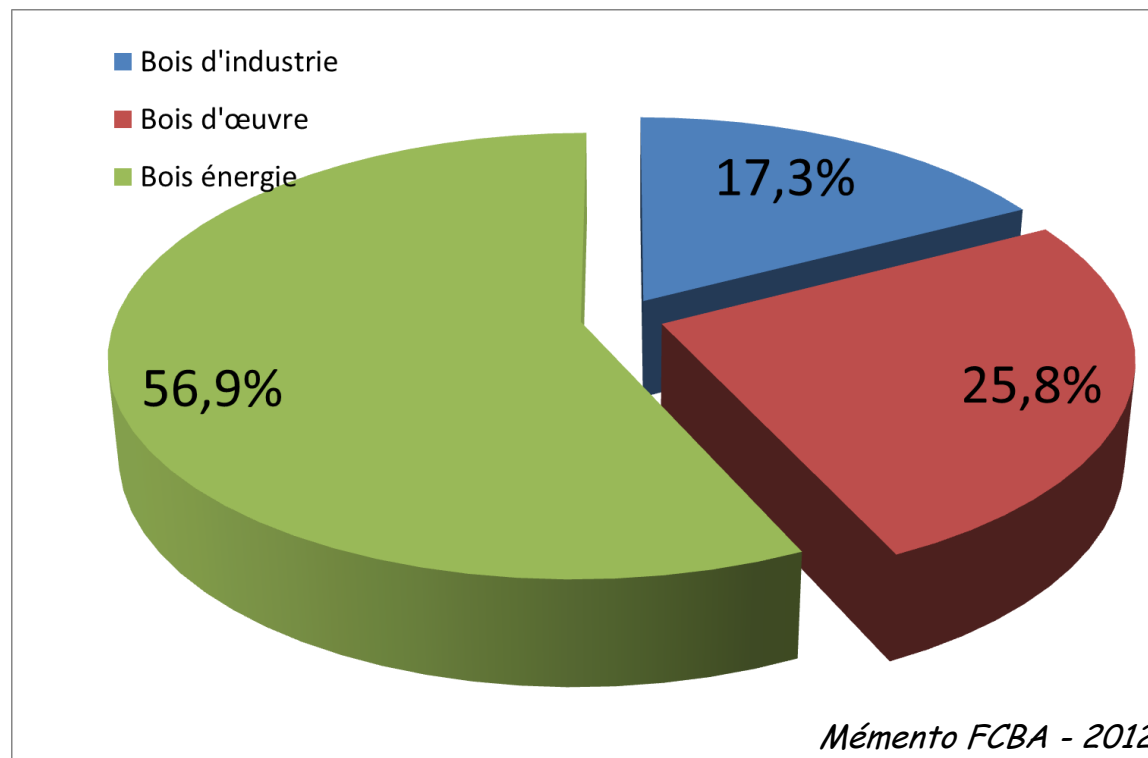
Point clé : échangeur de chaleur.



Conclusion

Pour répondre aux besoins et aux enjeux, le bois énergie doit mieux structurer sa filière dans le contexte global de la **TRANSITION ENERGETIQUE**

Place du bois énergie dans le secteur forestier français :

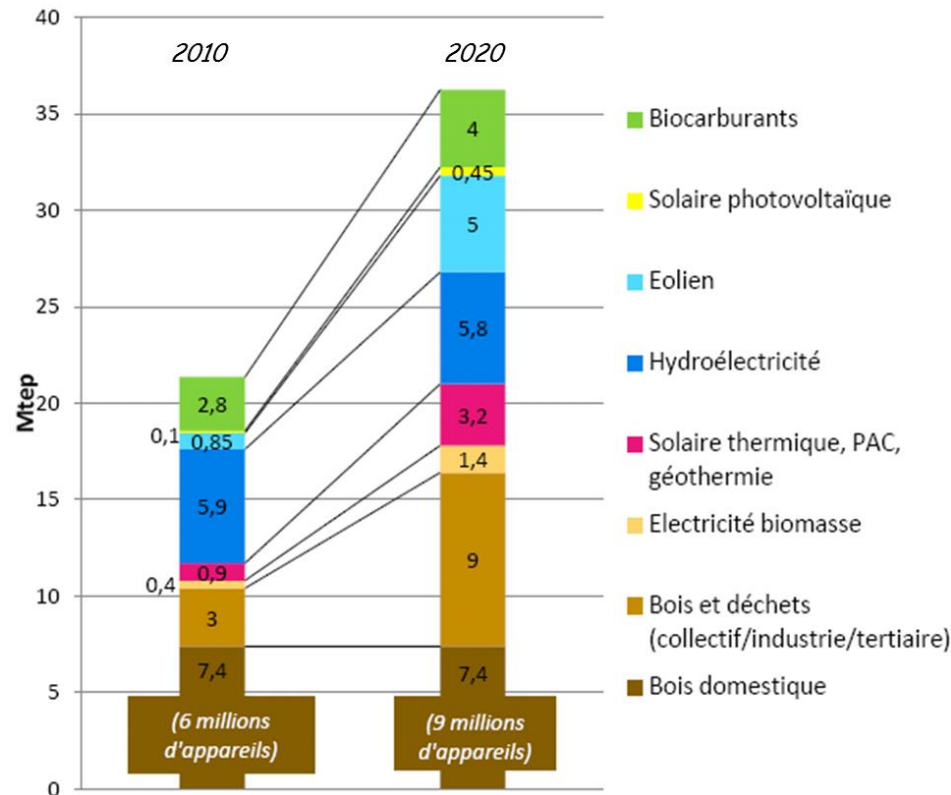


Mémento FCBA - 2012

Conclusion

Pour répondre aux besoins et aux enjeux, le bois énergie doit mieux structurer sa filière dans le contexte global de la **TRANSITION ENERGETIQUE**

Place du bois énergie dans le secteur énergétique :



SER

Conclusion

Structuration nécessaire de tous les acteurs

Acteurs essentiels :

- forestiers & agriculteurs ;
- fabricants d'appareils ;
- exploitants ;
- utilisateurs ;
- laboratoires de recherche et centres techniques ;
- etc.

Conclusion

Coordonner les actions et participer aux débats

Principaux points actuels :

- Normalisation (France & Europe) ;
- Plans de Protection de l'Atmosphère ;
- Tarifs de rachat électrique ;
- Bilan carbone ;
- Crédits carbone ;
- ...

Solliciter les acteurs de la Recherche et du Développement