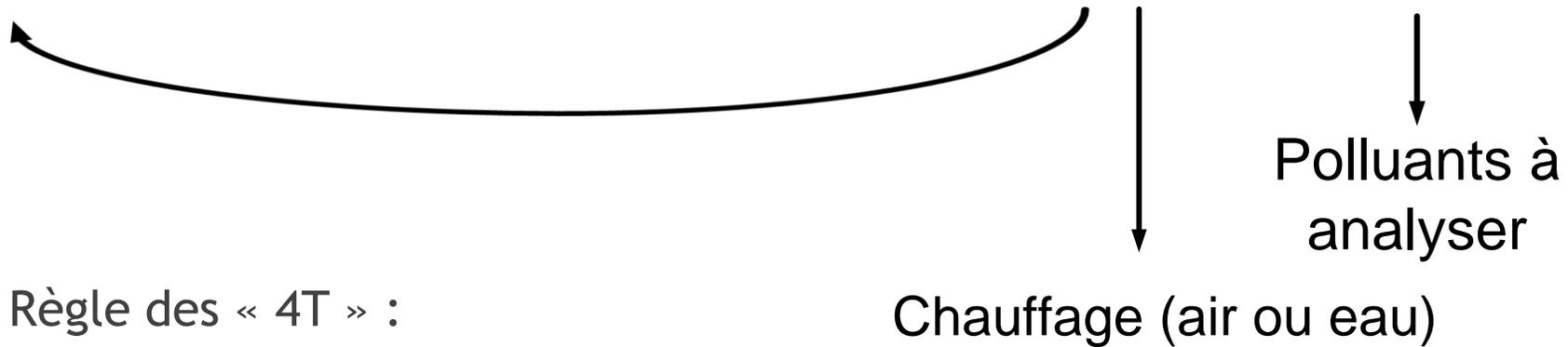


# Le secteur de la combustion de biomasse

*Benoît Brandelet, Yann Rogaume*

# Principes physico-chimiques



- ▶ Règle des « 4T » :
  - ▶ Température ;
  - ▶ Teneur en  $O_2$  ;
  - ▶ Temps de séjour ;
  - ▶ Turbulence.

# Plan de la présentation

- ▶ Contexte général
- ▶ Le chauffage domestique
  - ▶ Contexte particulier
  - ▶ Evolution des appareils
  - ▶ L'impact des pratiques
- ▶ La combustion dans le collectif et l'industriel
  - ▶ Un secteur dynamique
  - ▶ Les différents types d'installations
  - ▶ Les systèmes de dépollution

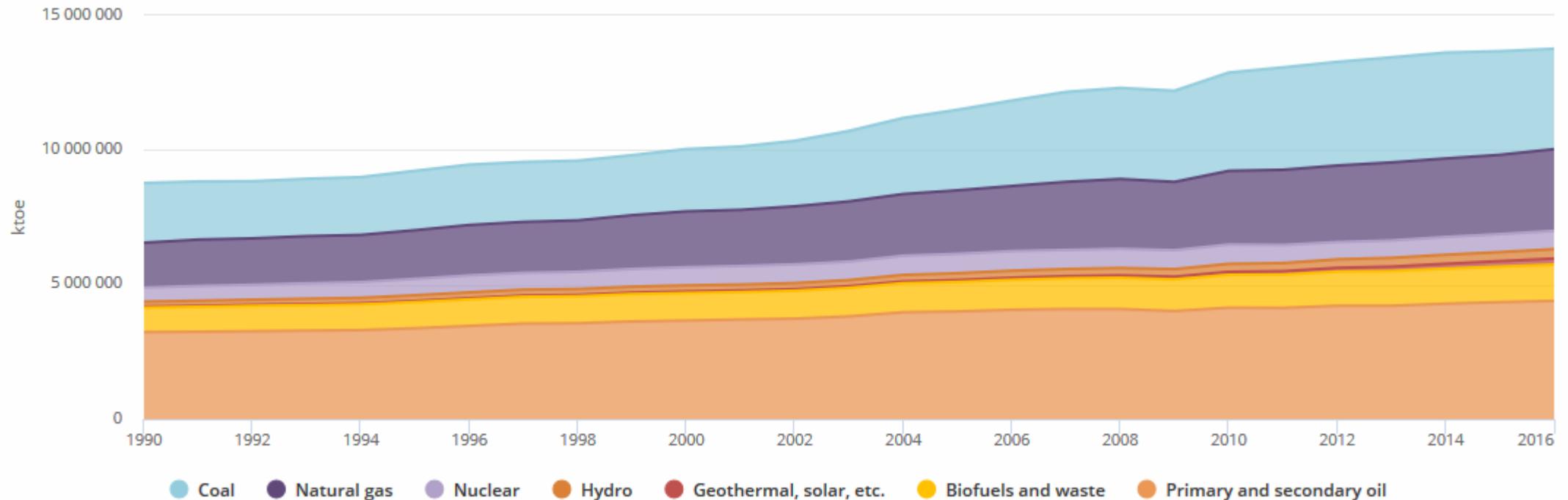
# Plan de la présentation

- ▶ **Contexte général**
- ▶ Le chauffage domestique
  - ▶ Contexte particulier
  - ▶ Evolution des appareils
  - ▶ L'impact des pratiques
- ▶ La combustion dans le collectif et l'industriel
  - ▶ Un secteur dynamique
  - ▶ Les différents types d'installations
  - ▶ Les systèmes de dépollution

# Bilan énergétique mondial

## Total Primary Energy Supply (TPES) by source\*

World 1990 - 2016



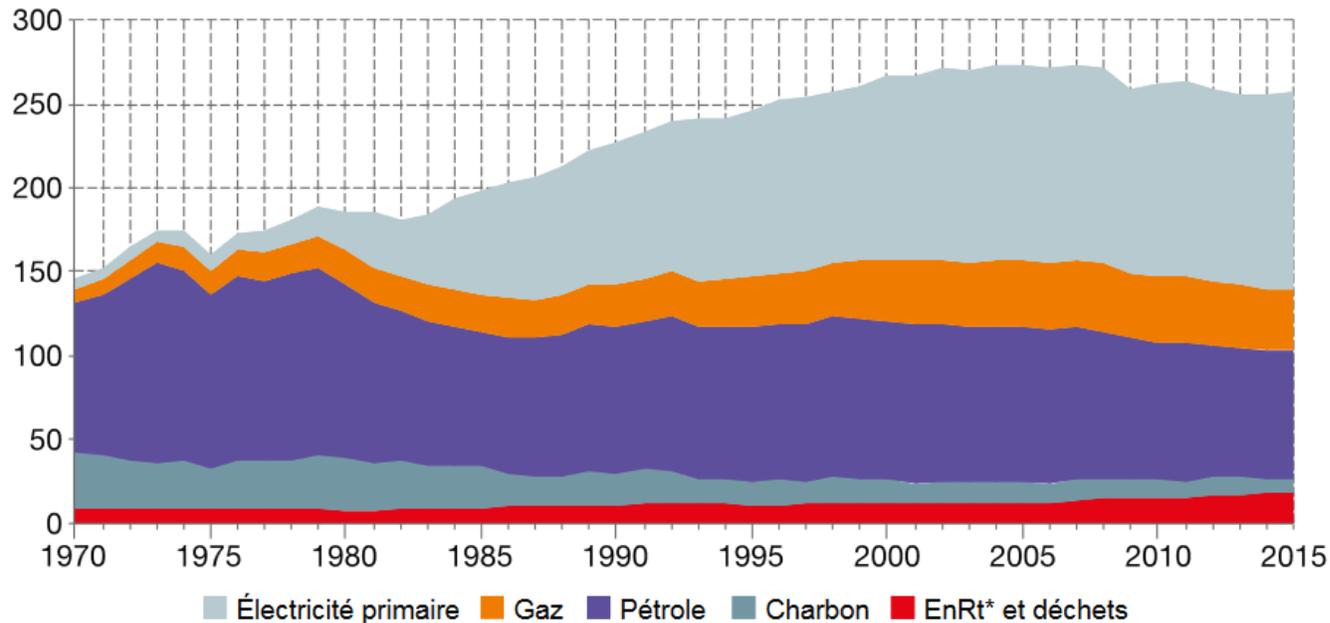
\* TPES here excludes electricity and heat trade

Source : Agence Internationale de l'Énergie, rapport 2018.

# Bilan énergétique français (consommation par type d'énergie)

CONSOMMATION D'ÉNERGIE PRIMAIRE (CORRIGÉE DES VARIATIONS CLIMATIQUES)  
PAR ÉNERGIE : 256,7 MTEP EN 2015

En Mtep

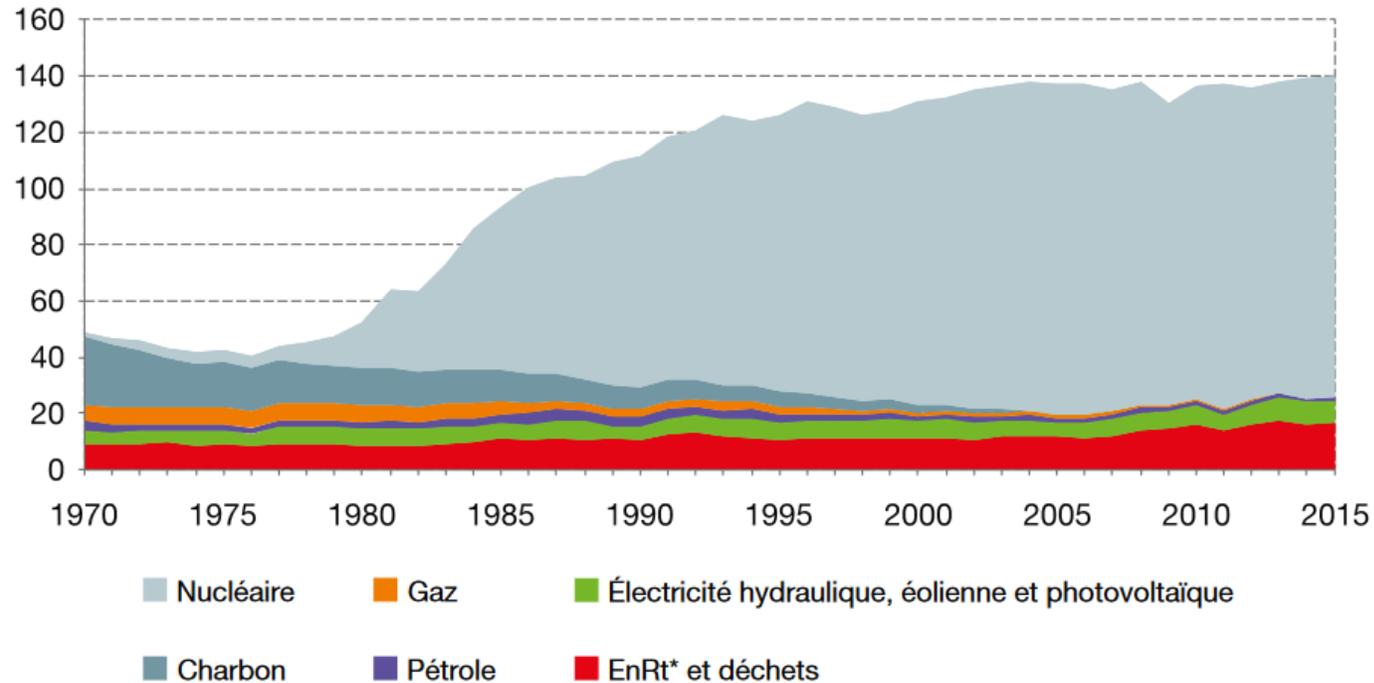


Source : Chiffres clés de l'énergie, rapport 2016.

# Bilan énergétique français (production)

PRODUCTION D'ÉNERGIE PRIMAIRE PAR ÉNERGIE : 140 MTEP EN 2015

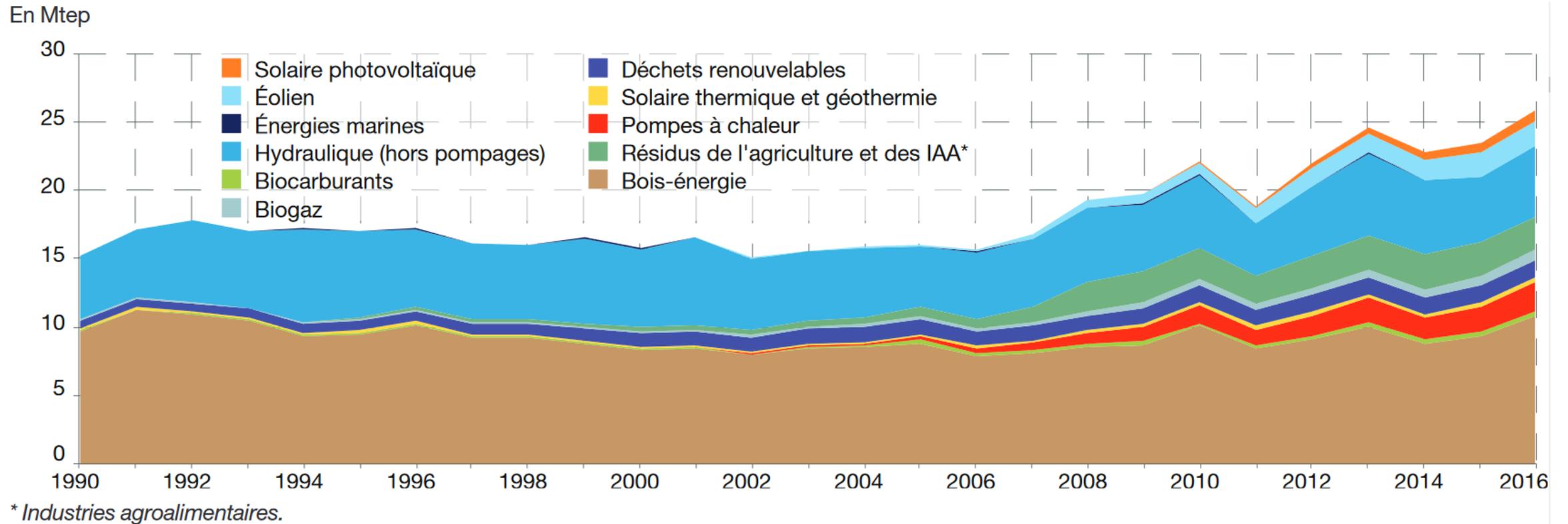
En Mtep



\* *Énergies renouvelables thermiques*

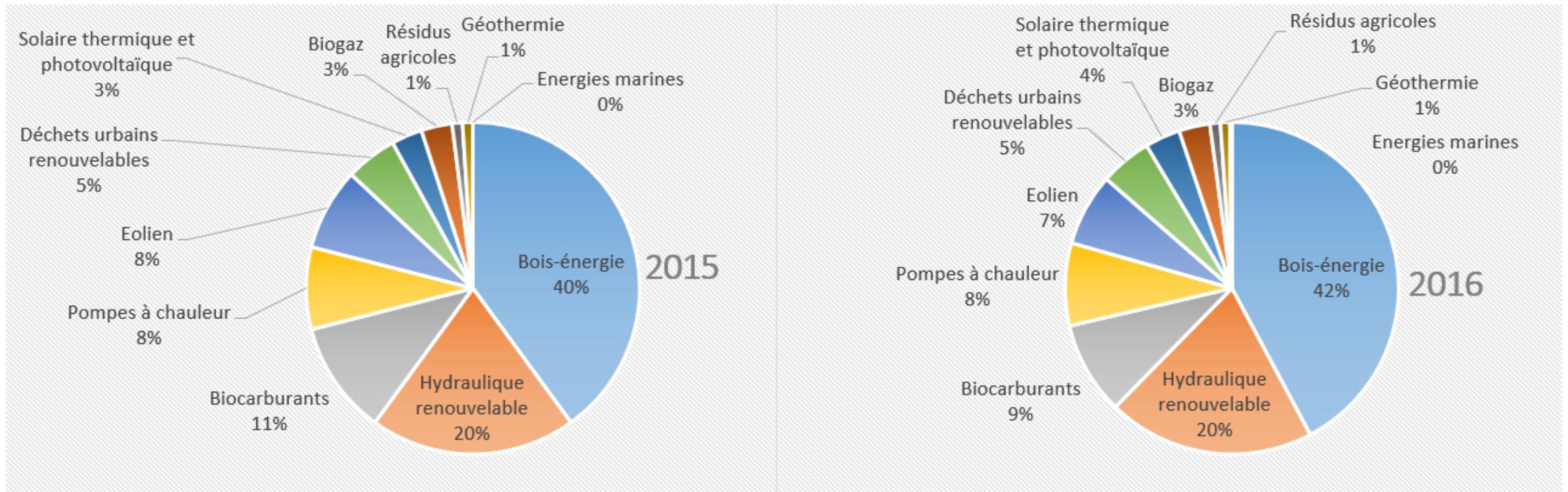
Source : Chiffres clés de l'énergie, rapport 2016.

# Place et évolution de la biomasse énergie en France (1)



Source : Agence Internationale de l'Énergie, rapport 2018.

# Place et évolution de la biomasse énergie en France (2)



Source : Agence Internationale de l'Énergie, rapport 2018.

# Plan de la présentation

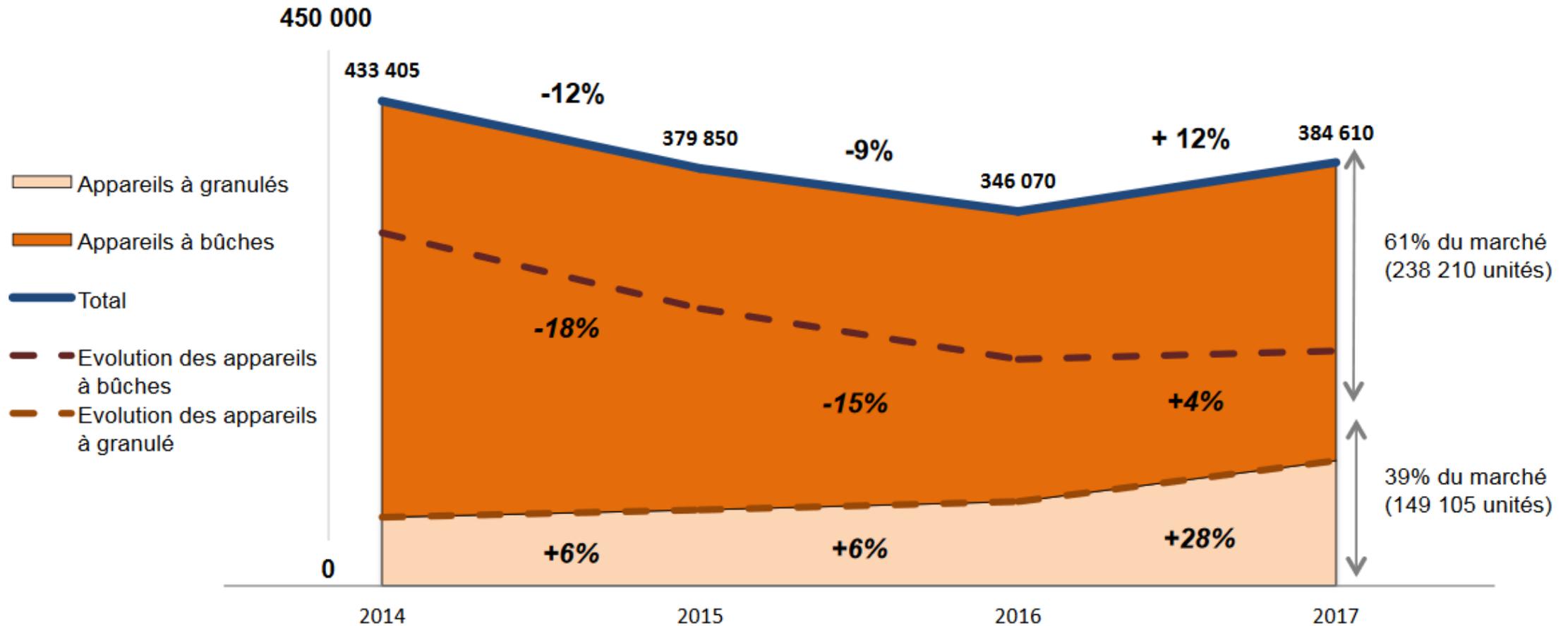
- ▶ Contexte général
- ▶ **Le chauffage domestique**
  - ▶ **Contexte particulier**
  - ▶ Evolution des appareils
  - ▶ L'impact des pratiques
- ▶ La combustion dans le collectif et l'industriel
  - ▶ Un secteur dynamique
  - ▶ Les différents types d'installations
  - ▶ Les systèmes de dépollution

# Evolution du marché

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Foyers et inserts	217 502	237 790	194 200	180 000	179 750	156 600	151 500	120 750	97 950	80 700	80 990
Poêles	188 406	217 040	254 670	258 770	263 285	306 650	349 795	293 620	265 620	251 350	288 035
Chaudières	15 043	27 070	20 900	17 340	16 970	19 360	20 950	14 165	11 380	9 805	11 025
Cuisinières	11 299	11 200	9 870	7 770	7 350	6 615	6 000	4 800	4 820	4 215	4 560
<b>TOTAL</b>	<b>432 250</b>	<b>493 100</b>	<b>479 640</b>	<b>463 880</b>	<b>467 355</b>	<b>489 225</b>	<b>528 245</b>	<b>433 335</b>	<b>379 770</b>	<b>346 070</b>	<b>384 610</b>

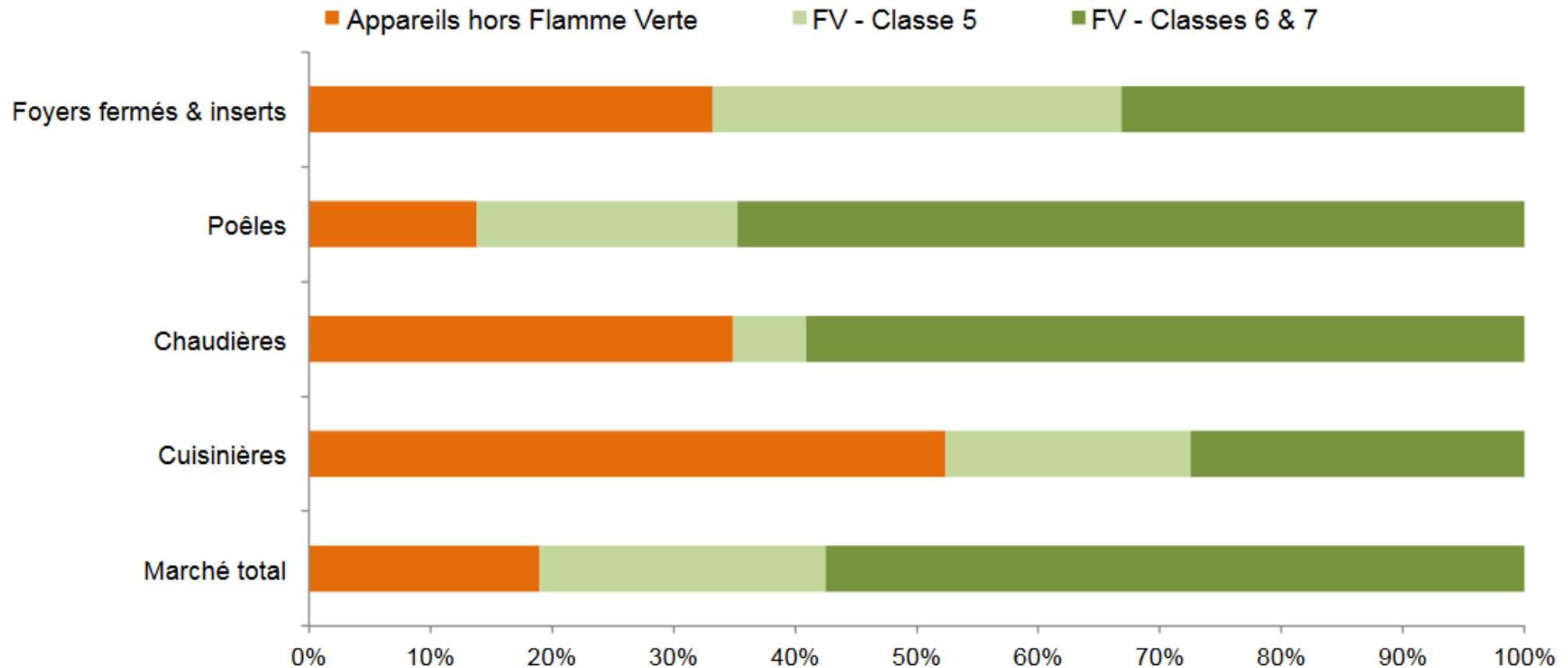
Source : Suivi du marché 2017 des appareils domestiques de chauffage au bois , Eurobser'ER, mai 2018.

# Evolution du combustible



Source : Suivi du marché 2017 des appareils domestiques de chauffage au bois , Eurobser'ER, mai 2018.

# Une labellisation grandissante

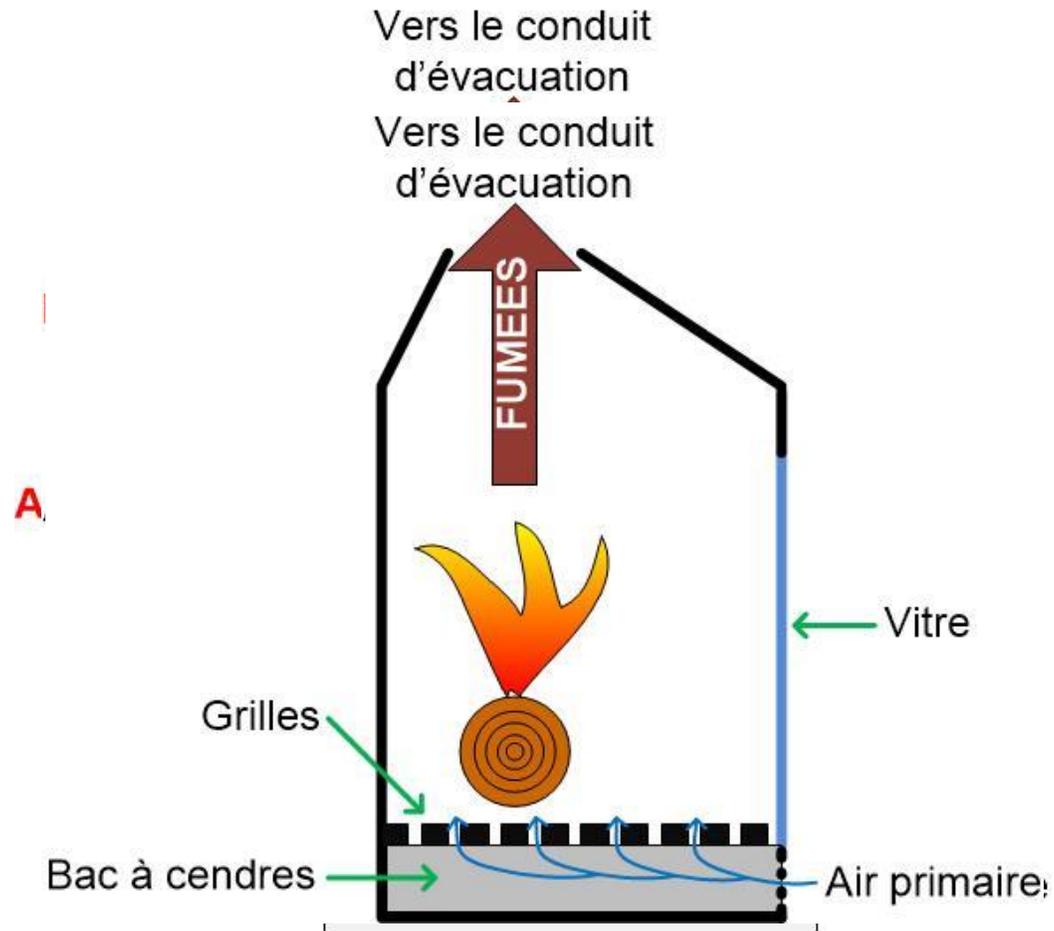


Source : Suivi du marché 2017 des appareils domestiques de chauffage au bois , Eurobser'ER, mai 2018.

# Plan de la présentation

- ▶ Contexte général
- ▶ **Le chauffage domestique**
  - ▶ Contexte particulier
  - ▶ **Evolution des appareils**
  - ▶ L'impact des pratiques
- ▶ La combustion dans le collectif et l'industriel
  - ▶ Un secteur dynamique
  - ▶ Les différents types d'installations
  - ▶ Les systèmes de dépollution

# Les foyers fermés et insert à bûches

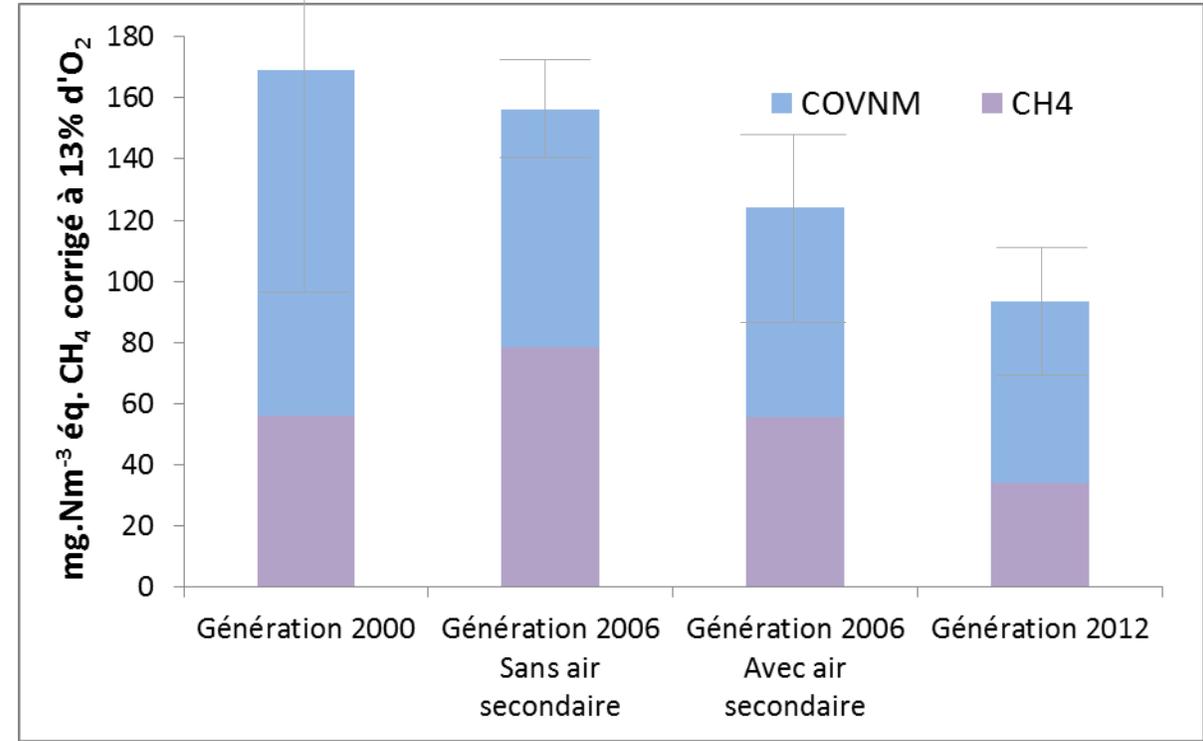
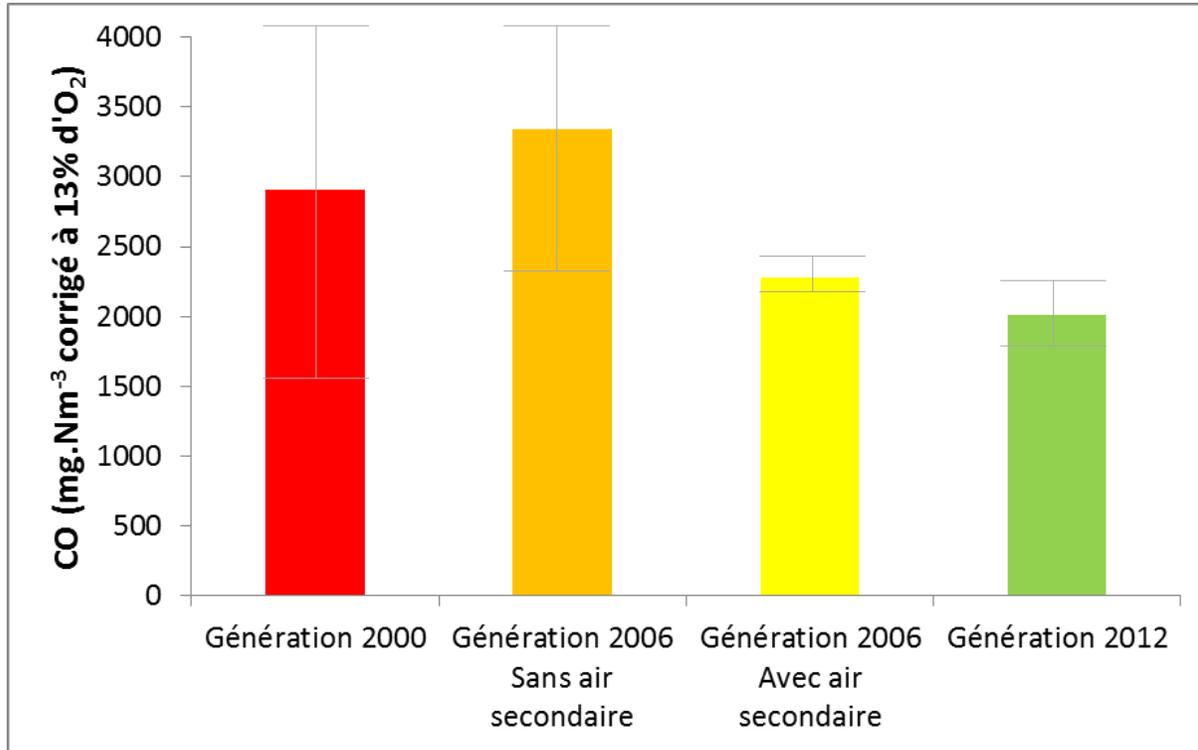


# Evolution des imbrûlés gazeux

12500  
mg.Nm<sup>-3</sup> à  
13% d'O<sub>2</sub>

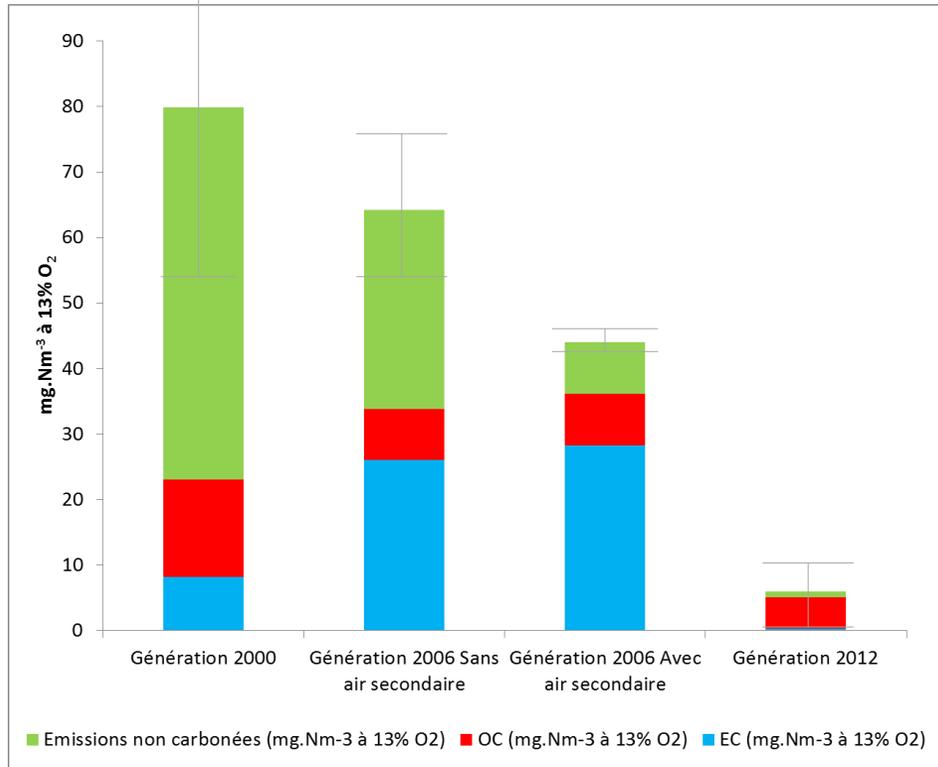
7500  
mg.Nm<sup>-3</sup> à 13% d'O<sub>2</sub>

3750  
mg.Nm<sup>-3</sup> à  
13% d'O<sub>2</sub>

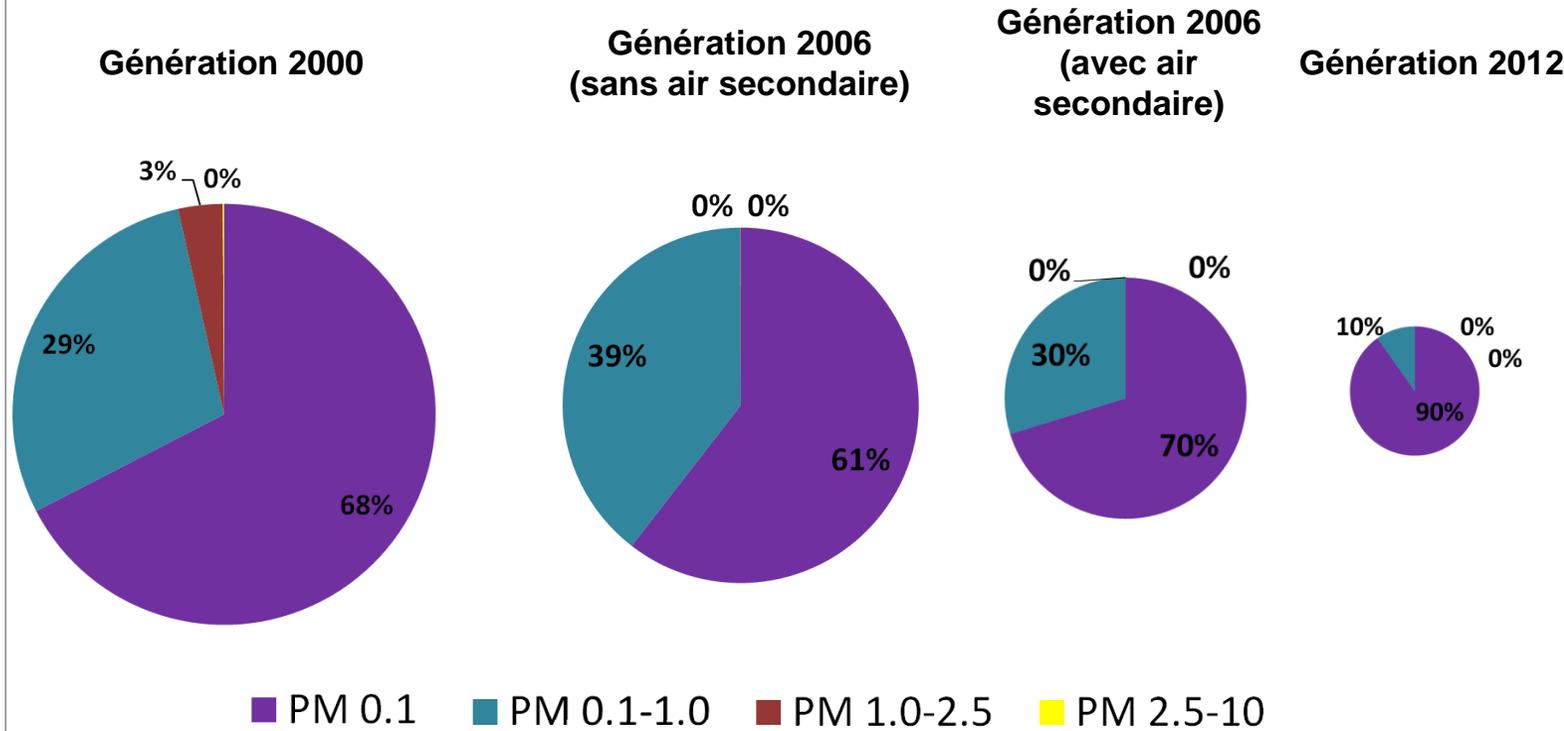


# Evolution des émissions de particules

► TSP, OC, EC et émissions non carbonées :



► Granulométrie des particules :



**Plus d'information :** B. Brandelet et al., Investigation of the organic carbon ratio analysis on particles from biomass combustion and its evolution in three generations of firewood stoves, Biomass and Bioenergy, avr. 2017

# Plan de la présentation

- ▶ Contexte général
- ▶ **Le chauffage domestique**
  - ▶ Contexte particulier
  - ▶ Evolution des appareils
  - ▶ **L'impact des pratiques**
- ▶ La combustion dans le collectif et l'industriel
  - ▶ Un secteur dynamique
  - ▶ Les différents types d'installations
  - ▶ Les systèmes de dépollution

# Les pratiques influençant les émissions

- Le mode d'allumage ;
- Le combustible :
  - ▶ Calibre ;
  - ▶ Essence ;
  - ▶ Présence d'écorce ou non ;
  - ▶ Humidité.
- Les réglages d'air.

# Le mode d'allumage

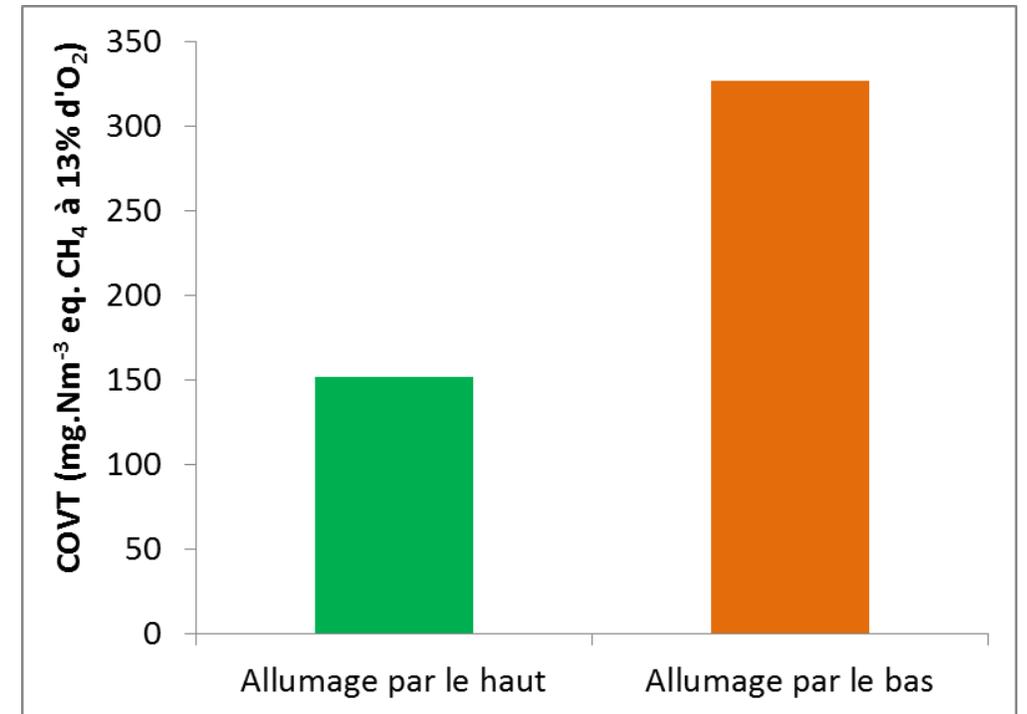
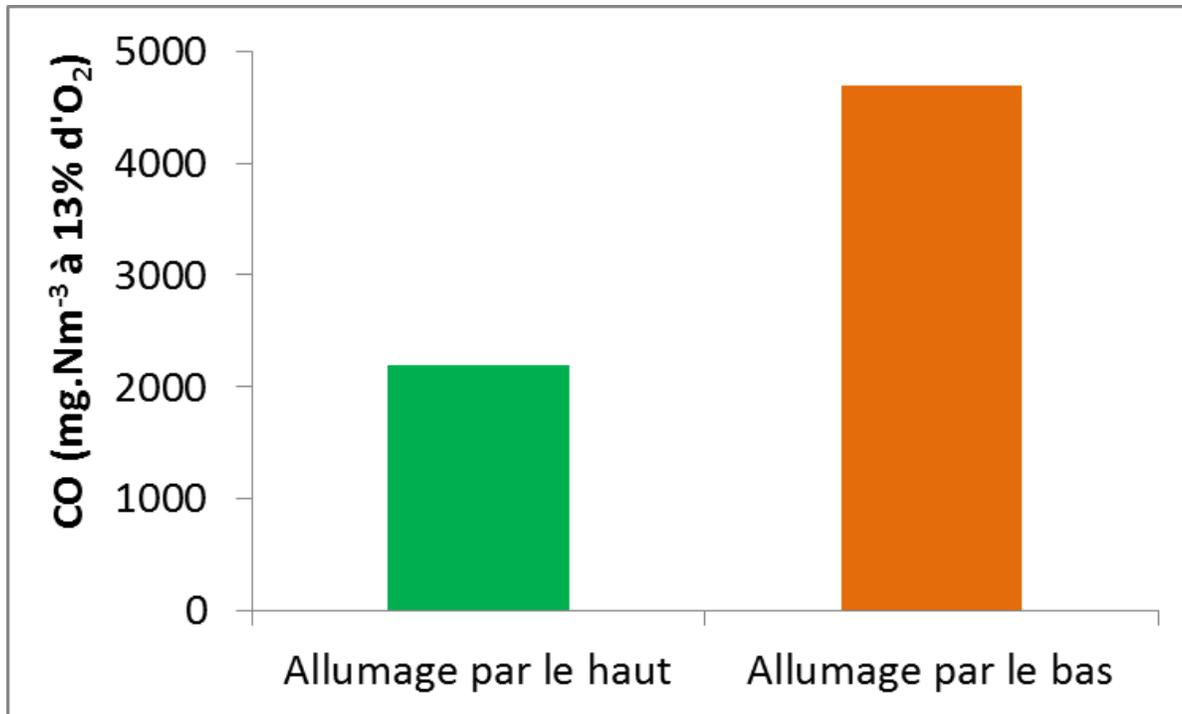
Allumage par le haut



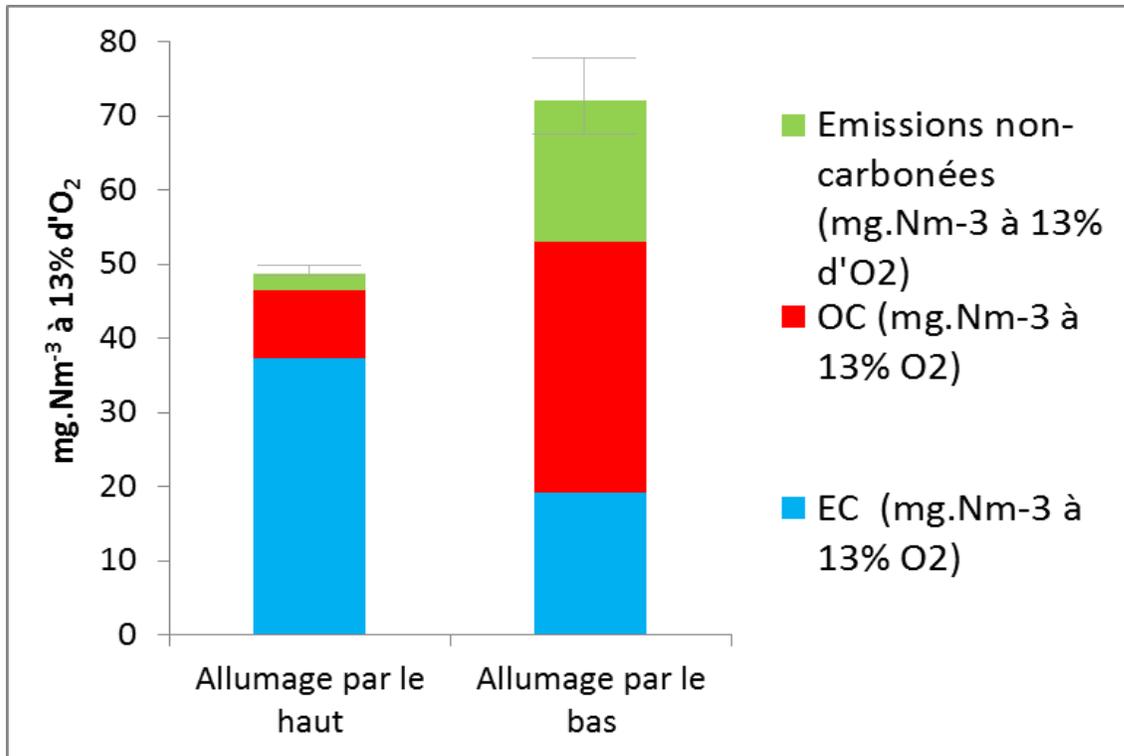
Allumage par le bas



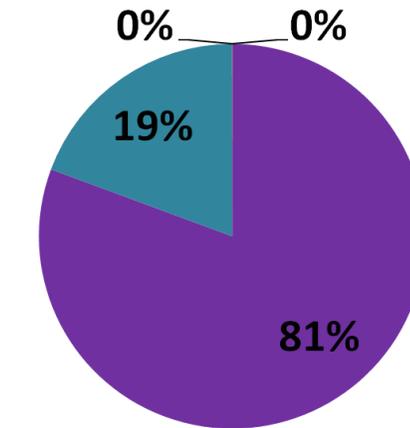
# Effet du mode d'allumage sur les émissions d'imbrûlés gazeux



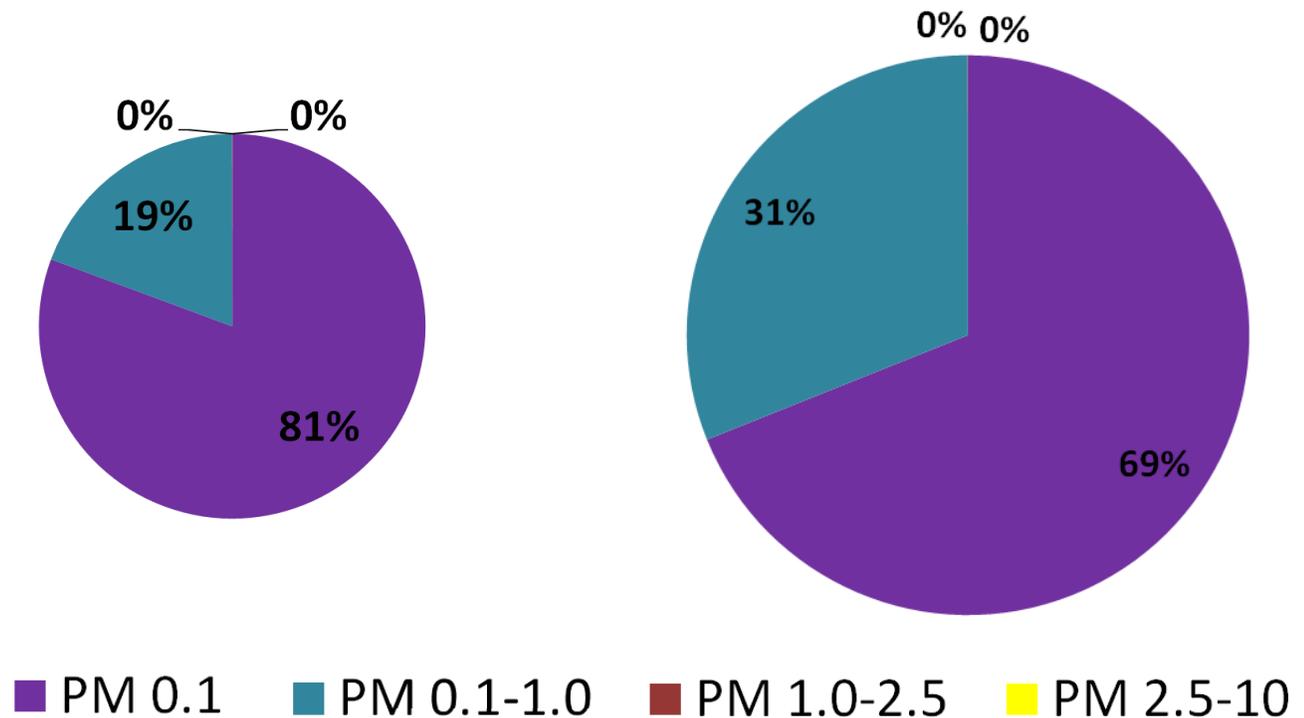
# Effet du mode d'allumage sur les émissions de particules



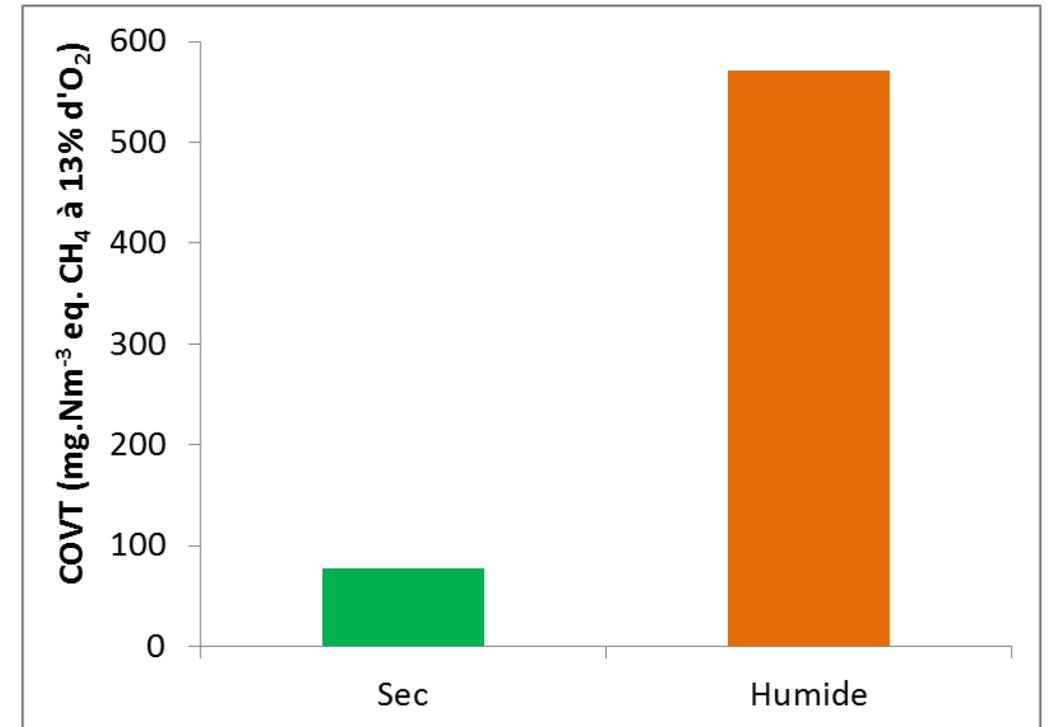
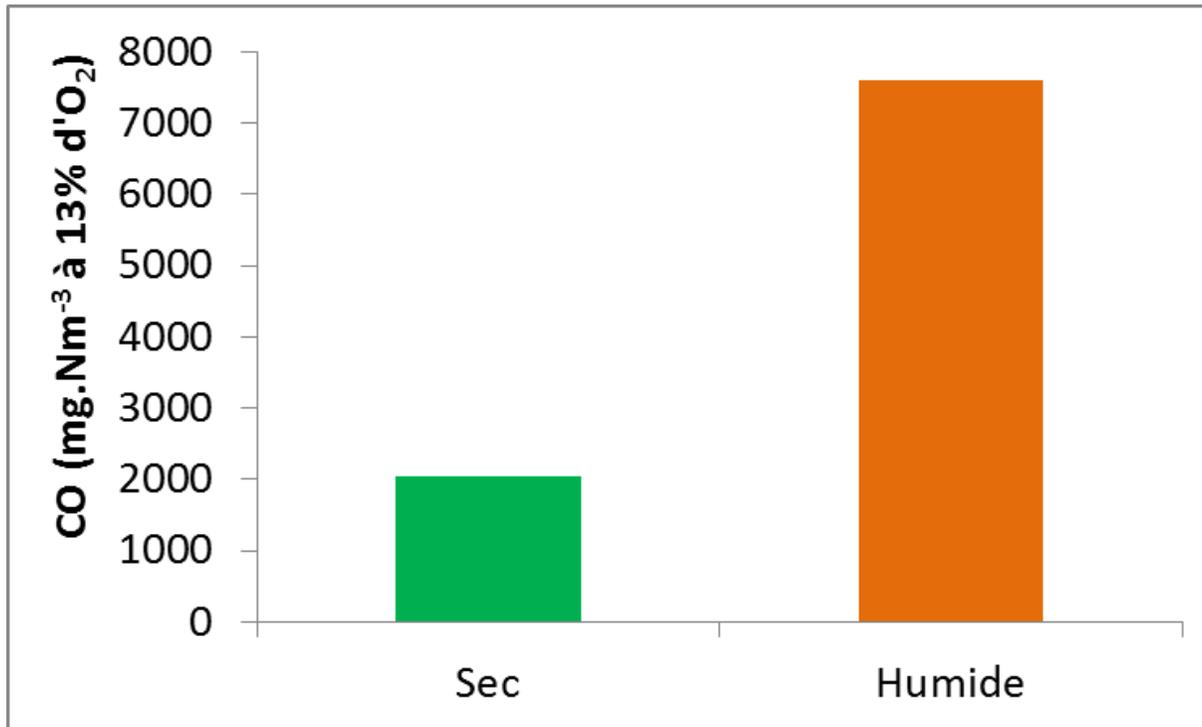
Allumage par le haut



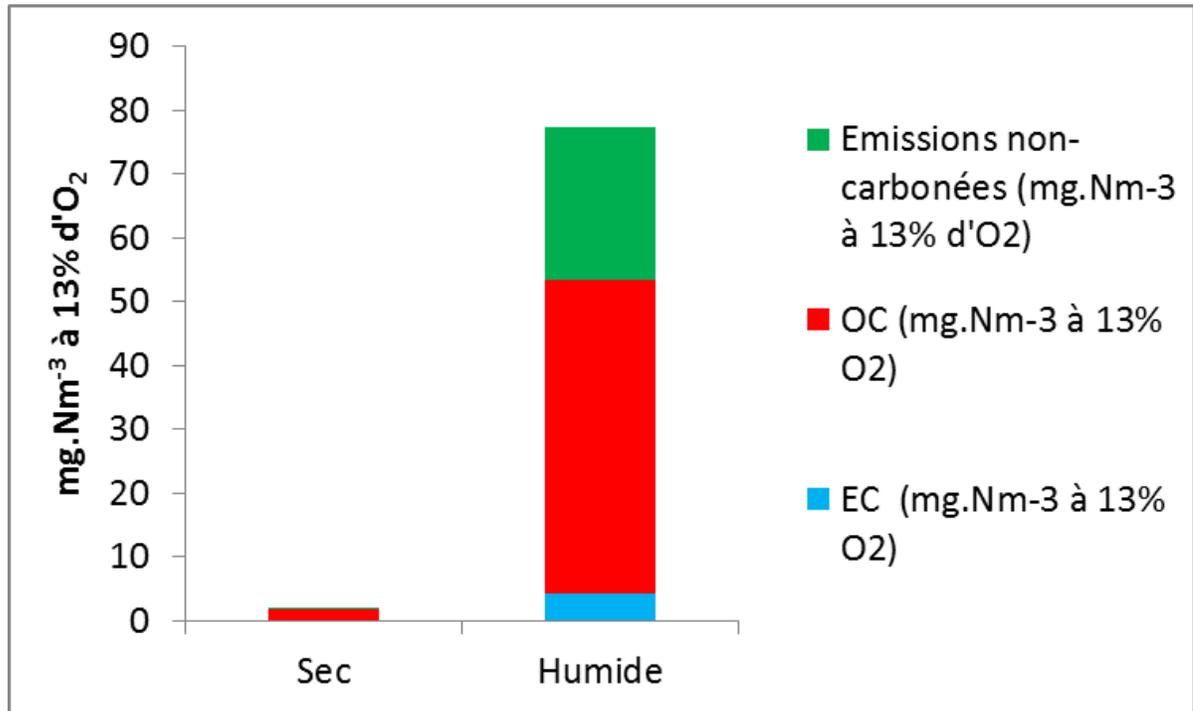
Allumage par le bas



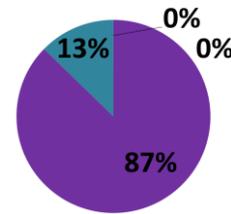
# Effet de l'humidité sur les émissions d'imbrûlés gazeux



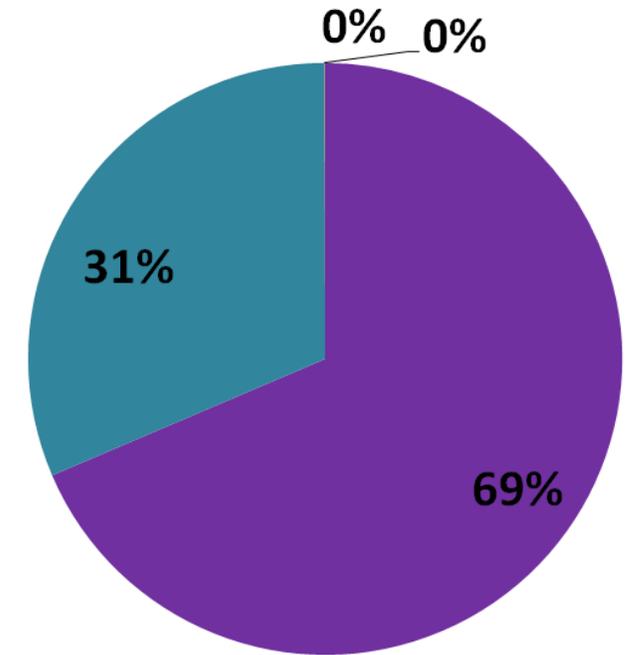
# Effet de l'humidité sur les émissions de particules



Bûches sèches



Bûches humides



■ PM 0.1   ■ PM 0.1-1.0   ■ PM 1.0-2.5   ■ PM 2.5-10

# Bilan sur le secteur résidentiel

- ▶ Secteur tourmentés sur les marchés, mais hausse significative de la place du granulés.
- ▶ Appareils de plus en plus performants, mais reste au cœur des polémiques.
- ▶ Dans le futur pour réduire l'impact et les rejets :
  - ▶ Formation des utilisateurs ;
  - ▶ Modélisation des appareils ;
  - ▶ Régulation.
- ▶ **Le LERMAB : Sciences fondamentales, Projets de modélisation, Etude des différents paramètres, Développement d'appareils/régulation, ...**

# Plan de la présentation

- ▶ Contexte général
- ▶ Le chauffage domestique
  - ▶ Contexte particulier
  - ▶ Evolution des appareils
  - ▶ L'impact des pratiques
- ▶ **La combustion dans le collectif et l'industriel**
  - ▶ **Un secteur dynamique**
  - ▶ Les différents types d'installations
  - ▶ Les systèmes de dépollution

# Poussée par les institutions

- ▶ Loi de transition énergétique :
  - ▶ Réduire de 12% les consommations énergétiques en 2023 ;
  - ▶ Augmenter de 70% la production d'électricité renouvelable ;
  - ▶ Augmenter de 50% la production de chaleur renouvelable ;
  - ▶ -50% des déchets mis en décharge d'ici 2025 :  
**Valorisation des déchets.**

# Elargissement de la ressource (1)

## ► « Déchets verts » :

- Taillis ;
- Elagage ;
- Bord de route ;
- Refus de compostage ;
- ...



# Elargissement de la ressource (2)

- ▶ Sortie du statut de déchet :

- ▶ Palette ;

- ▶ Cagette ;

- ▶ Dans le futur : Bois d'ameublement? Bois de démolition?

- ▶ Combustible Solide de Récupération.



# Evolution des problématiques

- ▶ Evolution de la ressources, donc des caractéristiques du combustible et des émissions lors de la combustion :
  - ▶ Feuilles : Cendres, COV, ...
  - ▶ Refus de compostage : cendres, métaux, ...
- ▶ L'accompagnement LERMAB :

Tester en réel ces nouveaux combustibles pour éviter les problèmes futurs

- ▶ Analyses du combustibles ;
- ▶ Tests en combustion sur chaudières de 200 kW ;
- ▶ Surveillance des émissions (métaux, HAP, PCB, Nox, dioxines/furanes, ...).

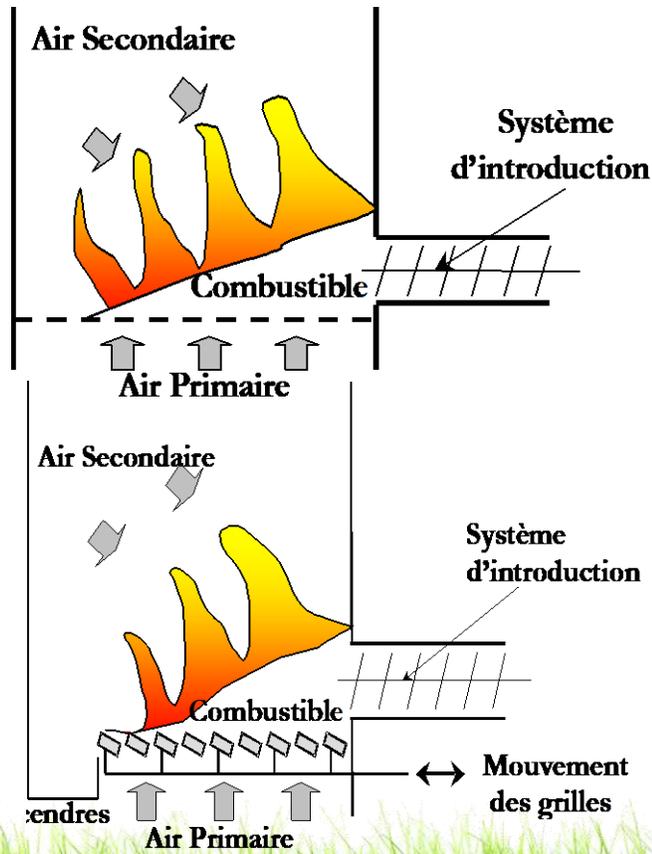
# Plan de la présentation

- ▶ Contexte général
- ▶ Le chauffage domestique
  - ▶ Contexte particulier
  - ▶ Evolution des appareils
  - ▶ L'impact des pratiques
- ▶ **La combustion dans le collectif et l'industriel**
  - ▶ Un secteur dynamique
  - ▶ **Les différents types d'installations**
  - ▶ Les systèmes de dépollution

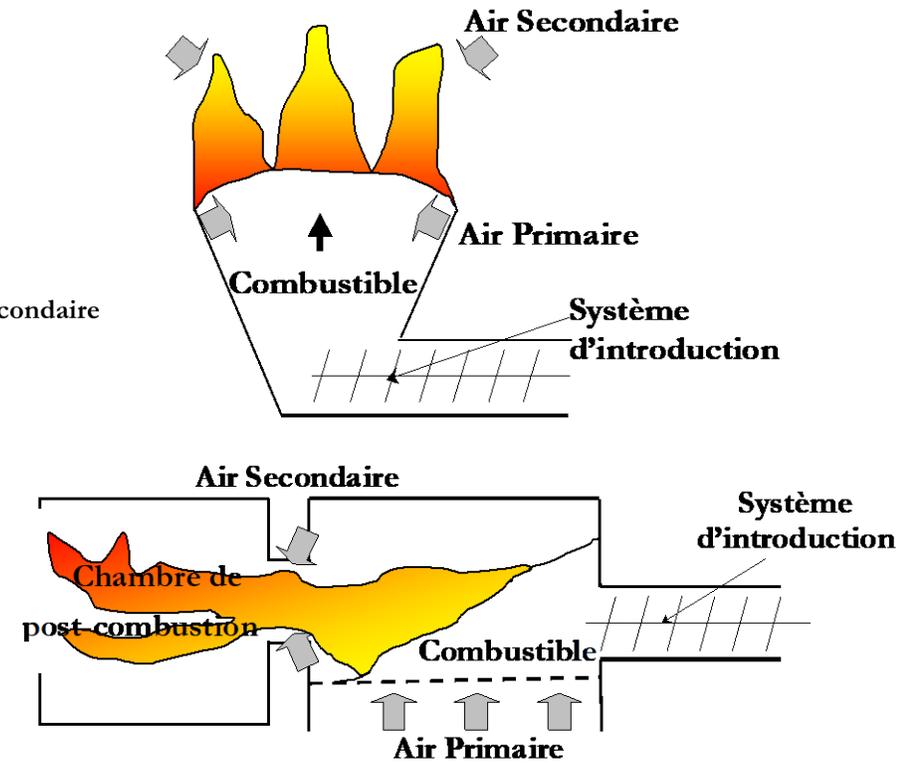
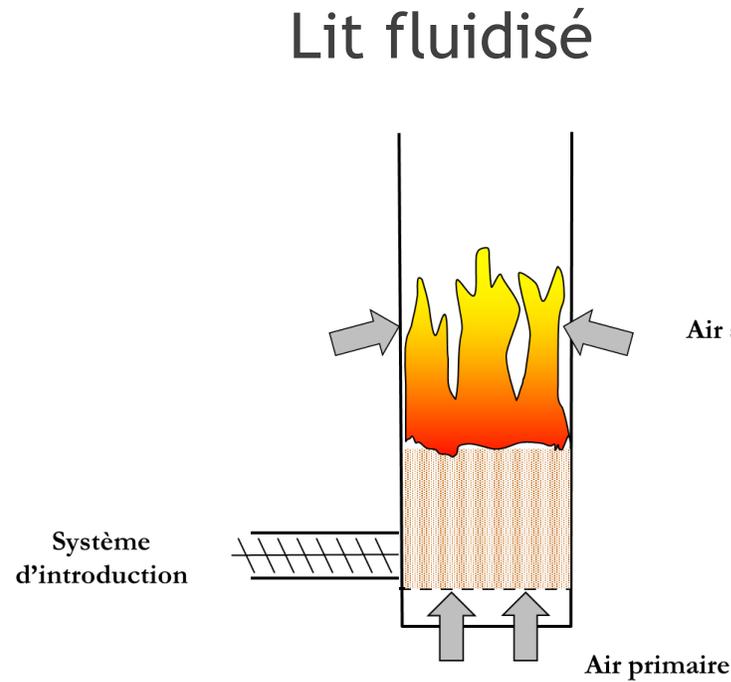
# Les technologies « Classiques »

Grilles fixes et grilles mobiles

Volcan et Avant-Foyer



Lit fluidisé



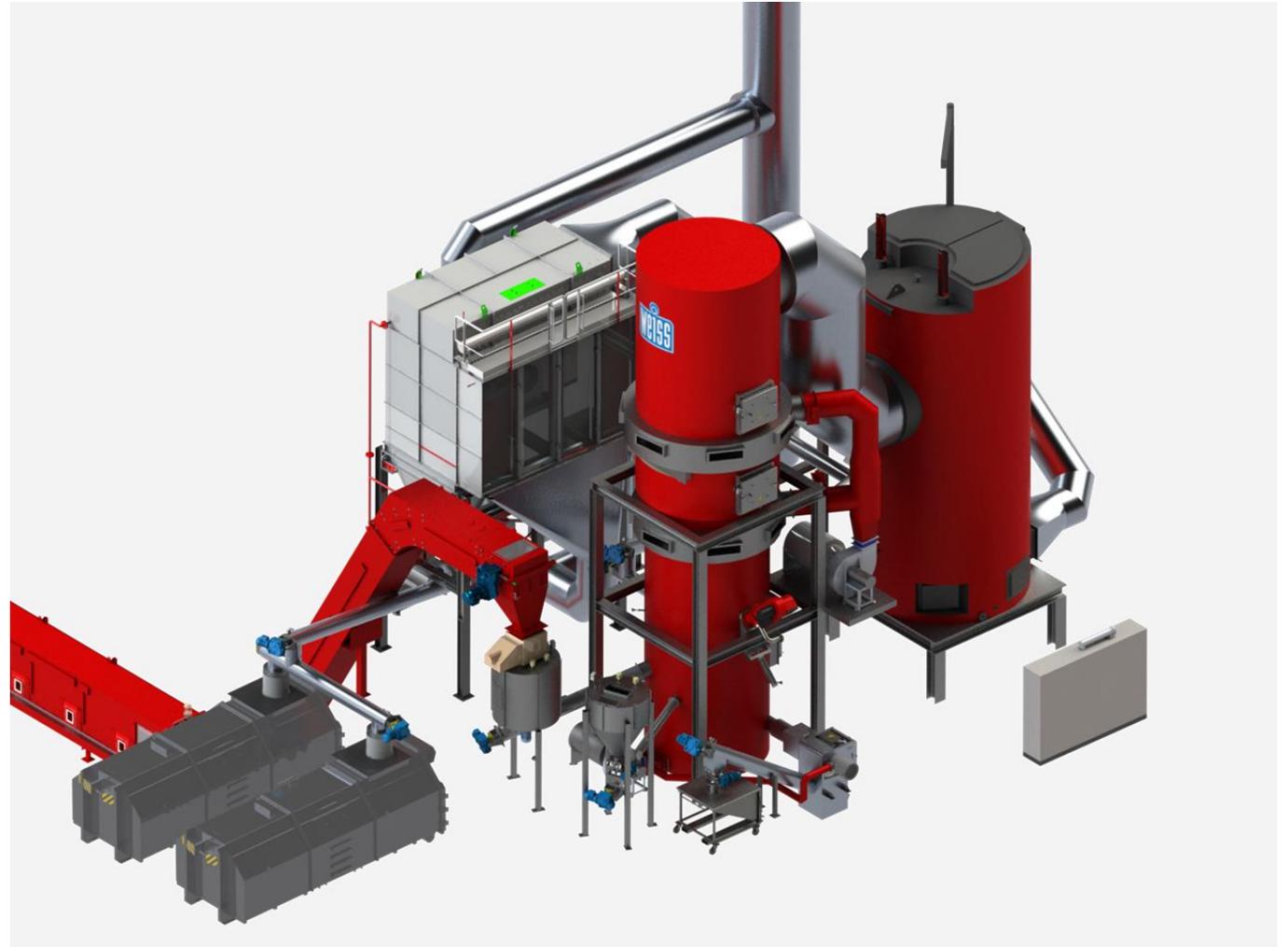
# Les technologies futures :

- ▶ Doivent répondre à un cahier des charges complexe :
  - ▶ Flexibilité face aux caractéristiques du combustible ;
  - ▶ Performances énergétiques et environnementales élevées ;
  - ▶ Maintenir des niveaux de performances élevées, même à faible charge \* ;
  - ▶ Cogénération ;
  - ▶ Robustesse.

\* Plus d'information : B. Brandelet et al., Peut-on réduire la charge des chaudières à biomasse sans dégrader la combustion ?, Bioénergie International, n°50, juil. 2017

# PolyBIOM\*

- ▶ Lit fluidisé circulant ;
- ▶ Puissance de 1 à 10 MW ;
- ▶ Grande flexibilité ;
- ▶ Grande performance.



\* Plus d'information : Projet ADEME BIP, partenaire : WEISS France, ATANOR, Critt Métall 2t, LERMAB.

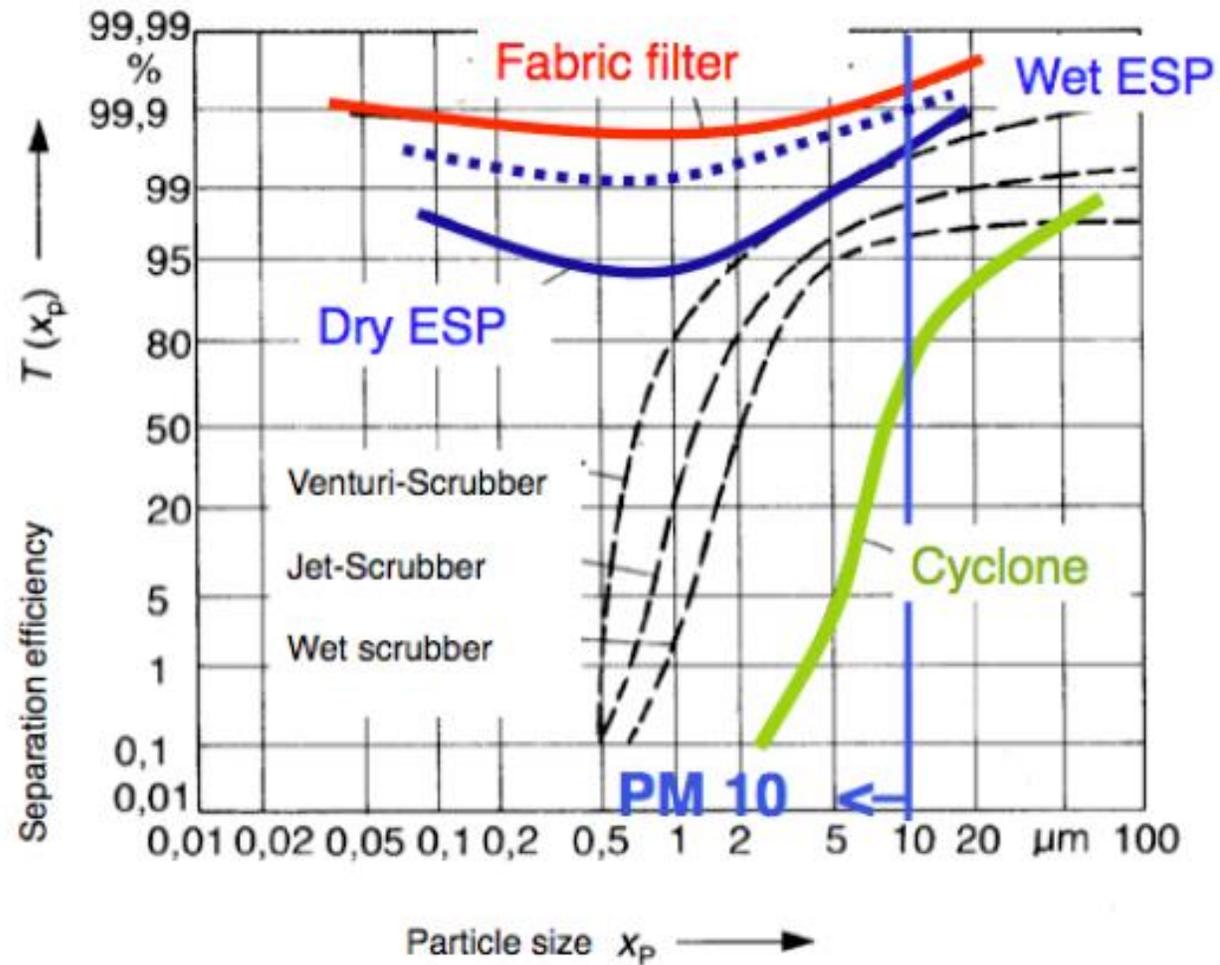
# Plan de la présentation

- ▶ Contexte général
- ▶ Le chauffage domestique
  - ▶ Contexte particulier
  - ▶ Evolution des appareils
  - ▶ L'impact des pratiques
- ▶ **La combustion dans le collectif et l'industriel**
  - ▶ Un secteur dynamique
  - ▶ Les différents types d'installations
  - ▶ **Les systèmes de dépollution**

# Pour les particules

- ▶ Les cyclones / multi cyclones ;
- ▶ Les filtres électrostatiques ;
- ▶ Les filtres à manches ;
- ▶ La condensation des fumées (avec ou sans aspersion).

# Les efficacités

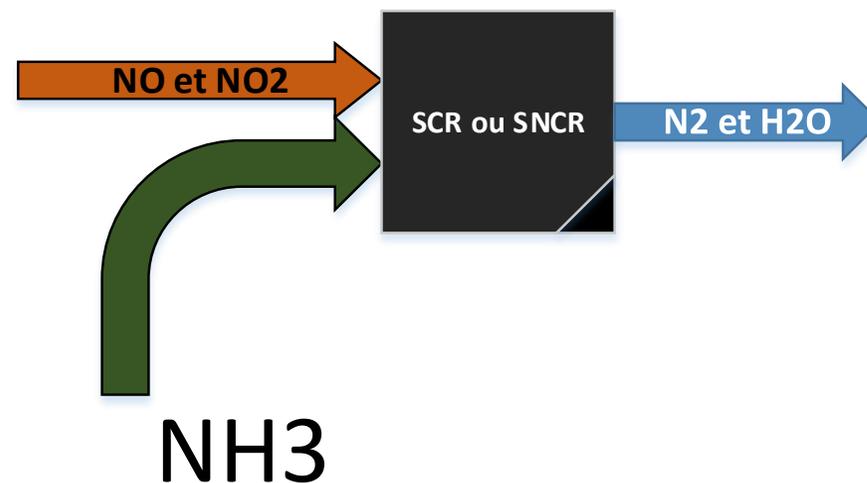


# Avantages et inconvénients

- ▶ Cyclone : très simple, robuste, performances moyennes, notamment pour les plus fines. Doit être utilisé en amont d'autres systèmes ;
- ▶ Electrofiltre : très bonnes performances pour les fines, moins bonnes pour les grosses. Nécessitent un entretien régulier avec une habilitation spécifique (Haute tension) ;
- ▶ Filtre à manches : très bonnes performances, gamme de température de fonctionnement étroite (attention au bypass sur certaines installations) ;

# Pour les autres polluants

- ▶ Pour les NO<sub>x</sub> : SCR et SNCR ;
- ▶ Dioxines furanes : filtres à charbon actif ;
- ▶ Pour les acides (HCl, HF, ...) : laveurs.



# Bilan sur le secteur collectif et industriel

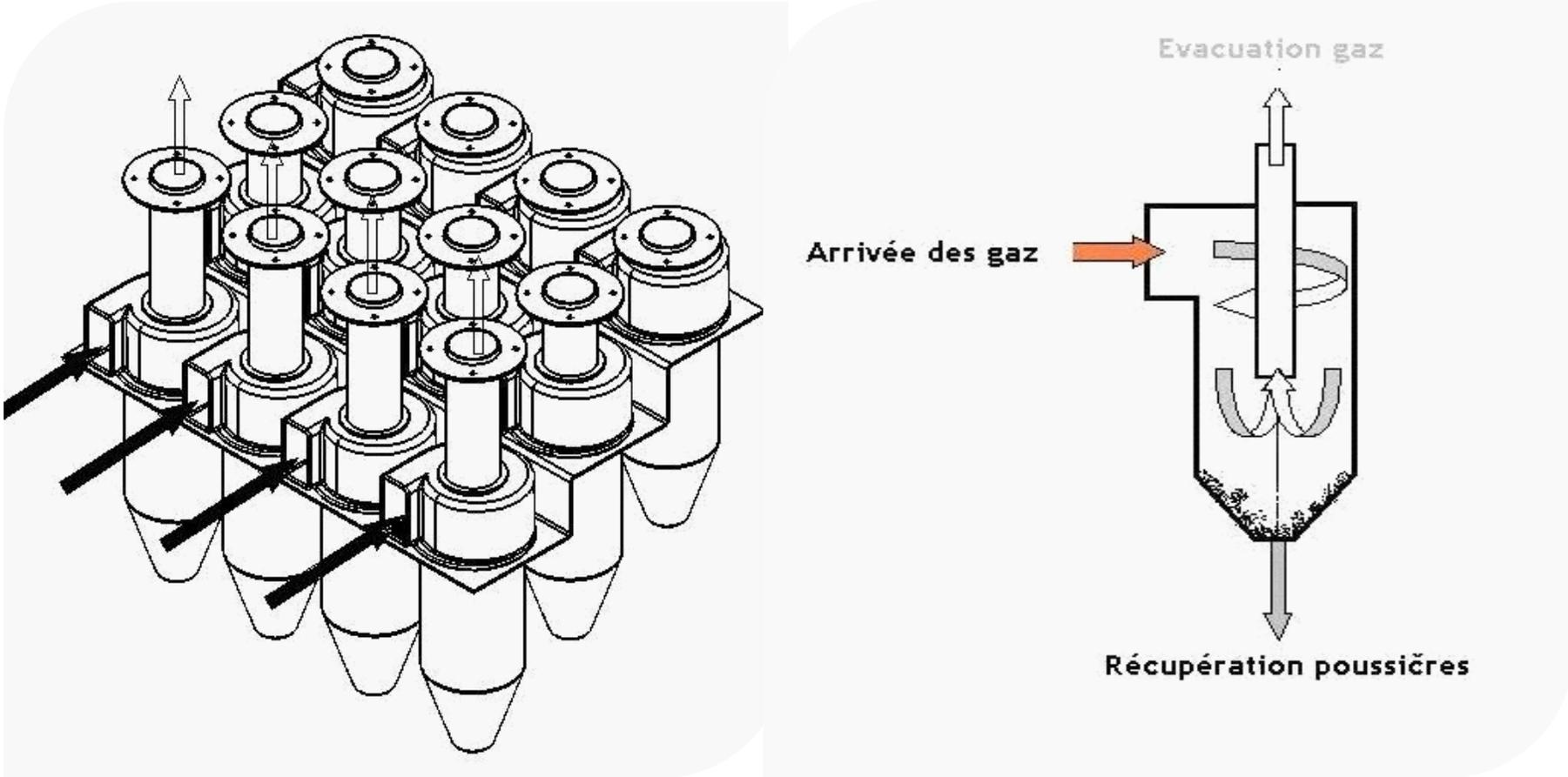
- ▶ Secteur dont l'importance ne cesse de croître ;
- ▶ Combustibles de plus en plus variés;
- ▶ Dans le futur pour développer sans rejets et impacts :
  - ▶ Développer des chaudières plus flexibles au type de combustible ;
  - ▶ Installation systématique de système de dépollution ;
  - ▶ Etendre encore la ressource (après validation en tests réels!).
- ▶ **Le LERMAB : Sciences fondamentales, Tests de combustion, Suivis de polluants (laboratoire et sur le terrain), Etude des systèmes de dépollution, caractérisation de biomasse.**

# Merci de votre attention

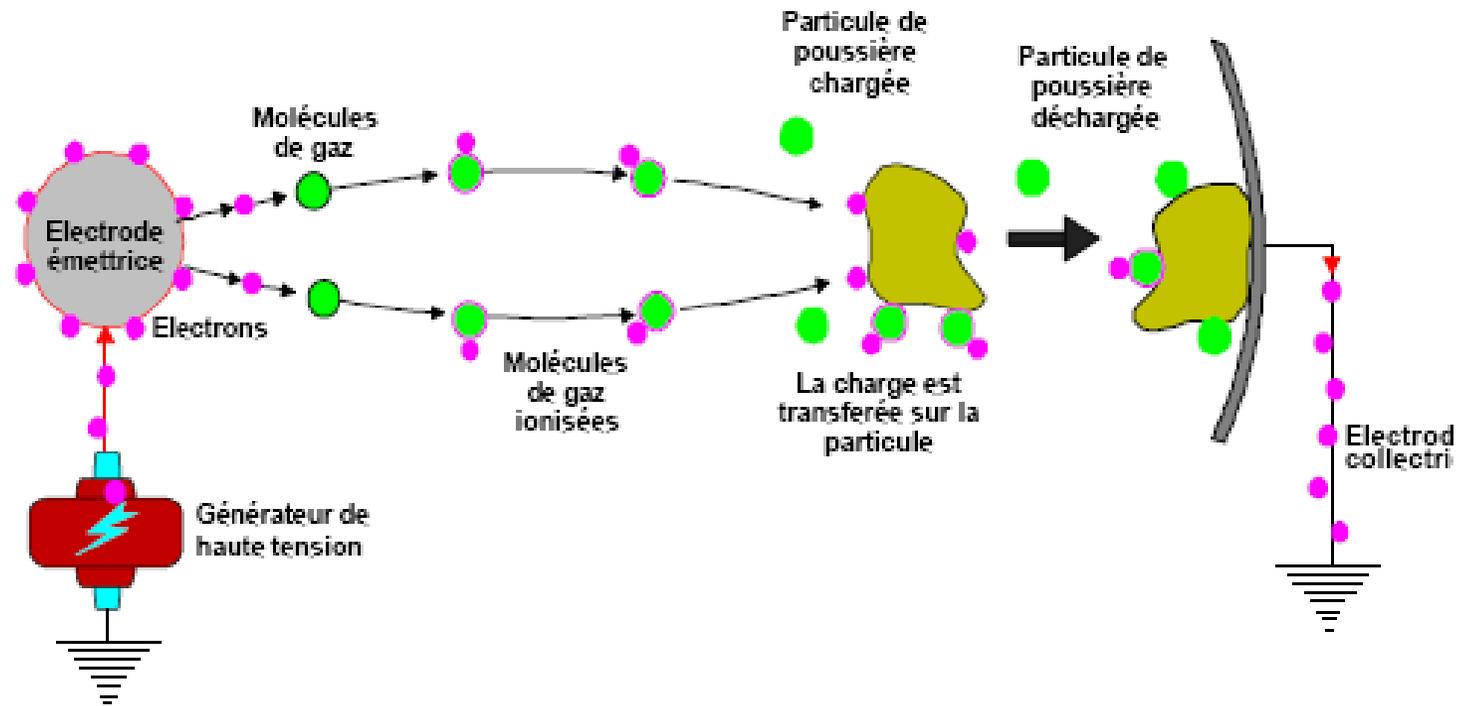
*LERMAB, Université de Lorraine, EA 4370, 27 rue Philippe Séguin, 88000 Épinal, France*

*Benoît Brandelet, Yann Rogaume*

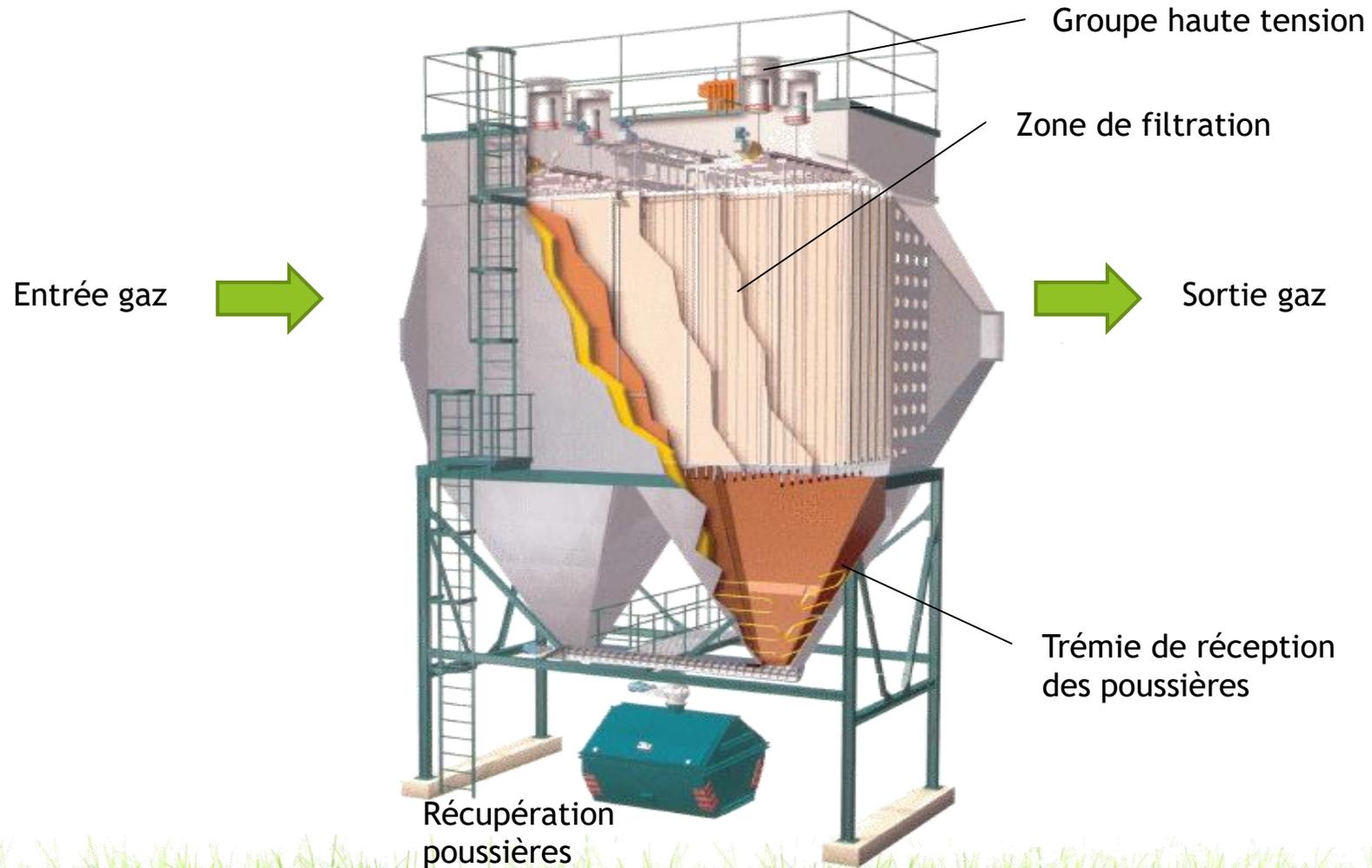
# Cyclones / multi cyclones



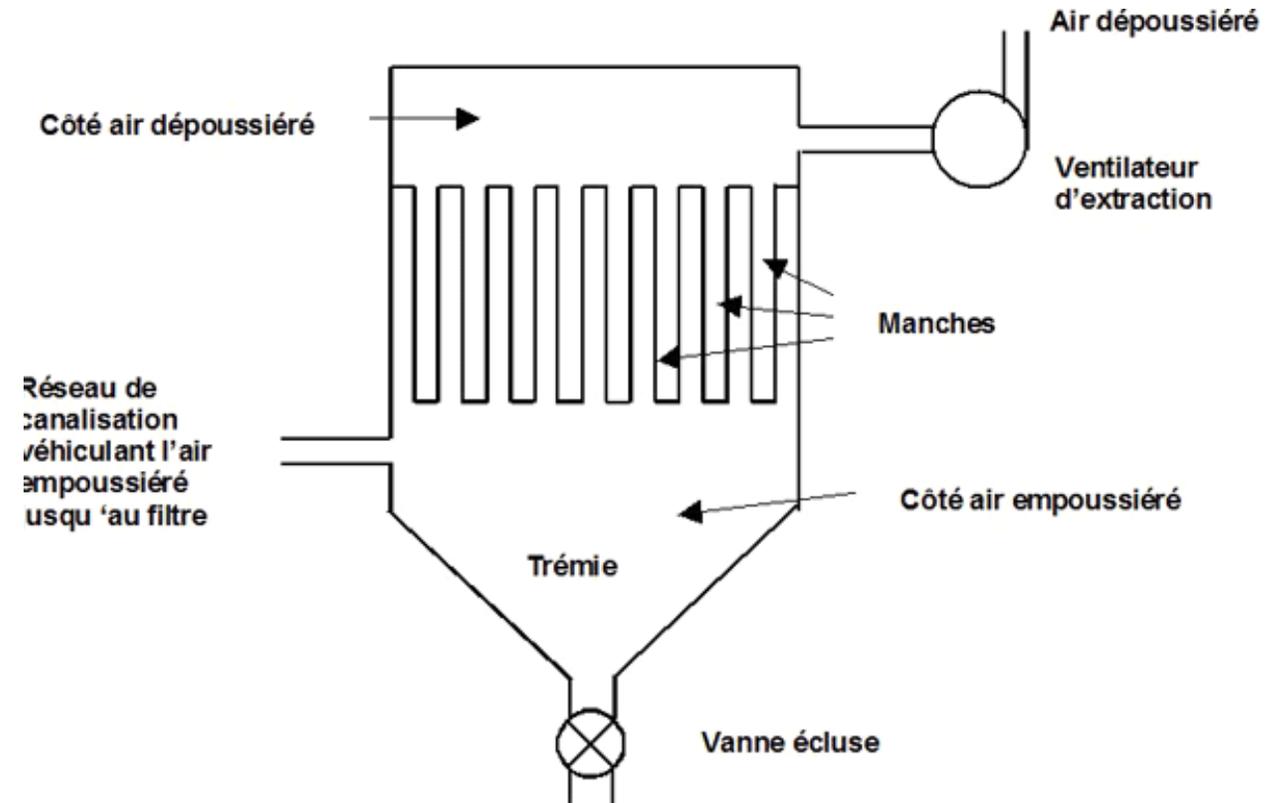
# Les électrofiltres (1)



# Les électrofiltres (2)



# Les filtres à manches (1)



# Les filtres à manches (2)

Différents types de dé-colmatage

