

# L'Energie-bois dans les expertises CECB®Plus

Demi-journée de formation destinée aux experts CECB

Lucien Dupasquier, expert CECB, Energie Concept SA



# Ordre du jour

- La place du bois dans l'assainissement énergétique des bâtiments
- Les différents systèmes de production à bois
- Quelques notions techniques à connaître
- Ordre de grandeur économique à connaître

# La place du bois dans l'assainissement énergétique des bâtiments

# La place du bois dans l'assainissement énergétique des bâtiments

## Environnementalement

- L'énergie en elle-même est neutre en CO<sub>2</sub>



# La place du bois dans l'assainissement énergétique des bâtiments

## Environnementalement

- L'énergie en elle-même est neutre en CO<sub>2</sub>

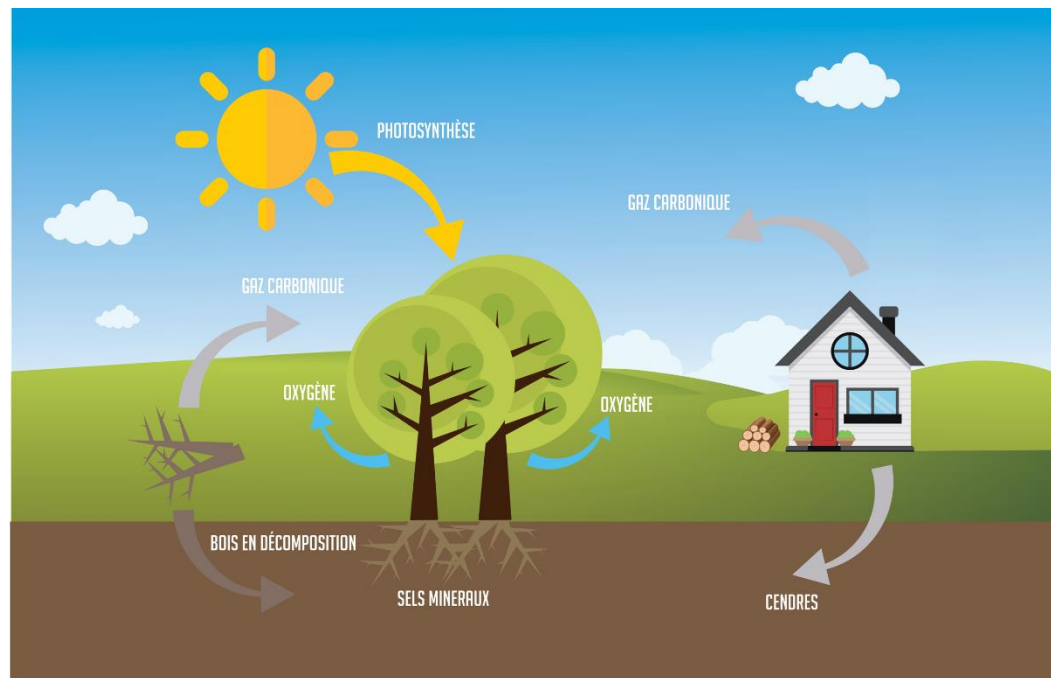


**=> Autant se chauffer avec ce bois**

# La place du bois dans l'assainissement énergétique des bâtiments

## Environnementalement

- Energie renouvelable
- Tout est question de temps de cycle (~~mazout, gaz, ...~~)





# La place du bois dans l'assainissement énergétique des bâtiments

## Environnementalement

Coefficient d'émission de gaz à effet de serre

*Treibhausgasemissions-Koeffizient*

$k_{CO_2}$

g/MJ, g/kg, g/km

Quantités de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, méthane, protoxyde d'azote et autres gaz ayant une incidence sur le climat) émis dans l'atmosphère par unité d'énergie utilisée. Elle est exprimée sous la forme de la quantité d'émissions de dioxyde de carbone ayant le même effet de serre que l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre. Ce coefficient comprend les émissions de gaz à effet de serre par combustion à l'intérieur du périmètre de bilan, ainsi que les émissions résultant des processus pris en compte dans le facteur d'énergie primaire.

Dans le cas des émissions grises de gaz à effet de serre, ce coefficient décrit les émissions de gaz à effet de serre par quantité de matériaux de construction, et, dans le cas de la mobilité, les émissions de gaz à effet de serre par personnes-kilomètres ou véhicules-kilomètres.

Facteur d'énergie primaire non renouvelable

*Primärenergiefaktor nicht erneuerbar*

$f_{P,nren}$

sans dimension, MJ/kg, MJ/km

Quantité totale d'énergie primaire non renouvelable requise pour fournir une certaine quantité d'énergie au bâtiment, rapportée à cette quantité.

Ce facteur prend en compte l'énergie requise pour extraire, transformer, raffiner, stocker, transporter, distribuer l'énergie, ainsi que toute opération nécessaire pour fournir l'énergie au bâtiment qui la consomme.

Dans le cas de l'énergie grise, ce facteur décrit l'énergie primaire par quantité de matériau de construction, et dans le cas de la mobilité, l'énergie primaire par personnes-kilomètres ou véhicules-kilomètres.

# La place du bois dans l'assainissement énergétique des bâtiments

## Impacts environnementaux selon SIA 2040

Tableau A.1 Facteurs d'énergie primaire et coefficients d'émission de gaz à effet de serre

<b>Combustibles</b>		Facteur d'énergie primaire non renouvelable	Coefficient d'émission de gaz à effet de serre
		–	kg/MJ
liquides	Mazout EL	1,23	0,083
	Propane / butane	1,18	0,078
solides	Coke	1,68	0,120
	Briquettes de lignite	1,20	0,108
	Bois en bûches	0,05	0,004
	Bois en plaquettes	0,06	0,003
	Pellets	0,21	0,010
gazeux <sup>1)</sup>	Gaz naturel	1,11	0,066
	Propane / butane	1,18	0,078
	Biogaz (qualité gaz naturel) <sup>2)</sup>	0,37	0,045
<b>Électricité</b>	Mélange consommé en Suisse <sup>13</sup>	2,64	0,041

**Selon consommation réelle**



# La place du bois dans l'assainissement énergétique des bâtiments

## Impacts environnementaux selon SIA 2040

Tableau A.3 Facteurs d'énergie primaire et coefficients d'émission de gaz à effet de serre pour les différents types de centrales de chauffage

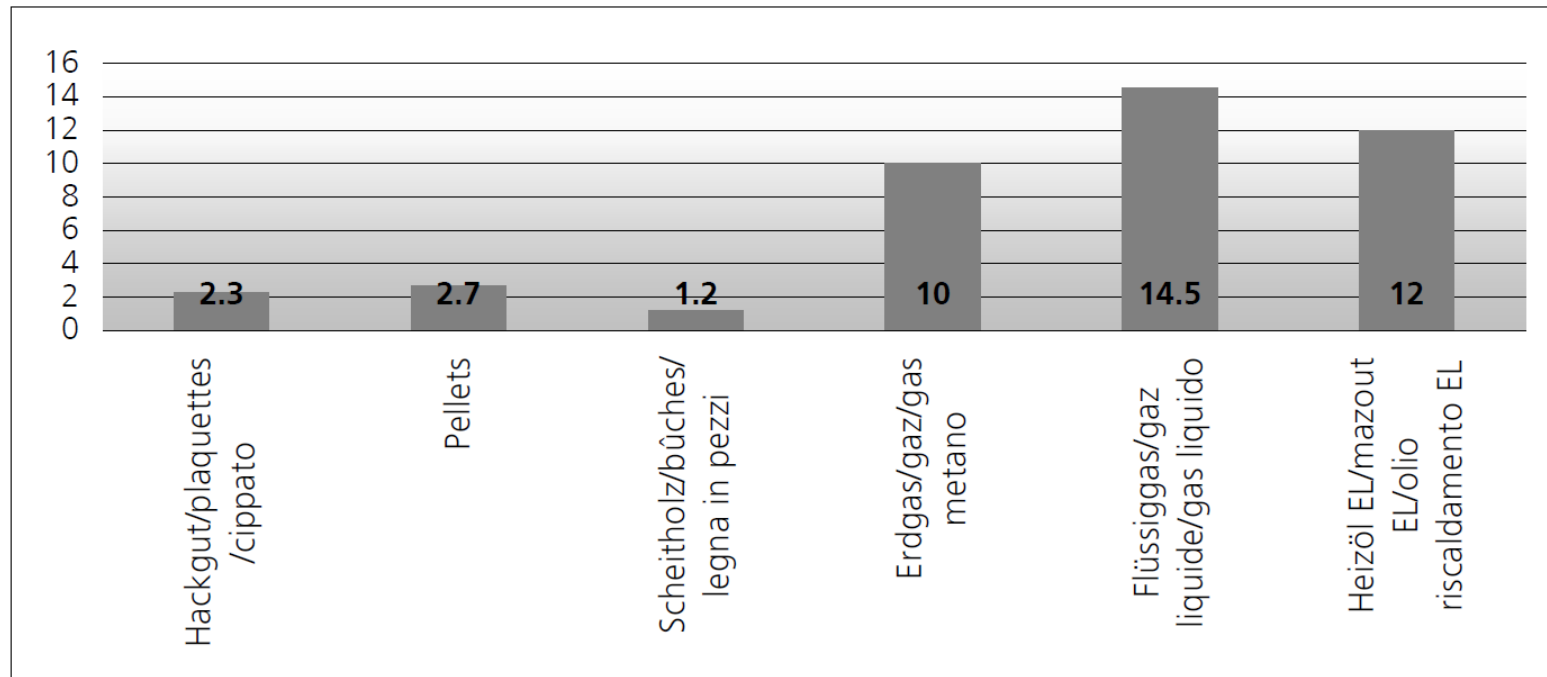
	Facteur d'énergie primaire non renouvelable –	Coefficient d'émission de gaz à effet de serre kg/MJ
Chauffage urbain avec utilisation de la chaleur issue de l'incinération d'ordures	0,80	0,045
Chaufferie à mazout	1,68	0,112
Chaufferie à gaz	1,56	0,087
Chaufferie à bois	0,10	0,013
Centrale chaleur-force au bois	0,10	0,011
Pompe à chaleur air-eau (COP annuel 2,8) <sup>1)</sup>	1,19	0,028
PAC à sonde géothermique (COP annuel 3,9) <sup>1)</sup>	0,89	0,021
PAC sur eaux usées (COP annuel 3,4) <sup>1)</sup>	0,90	0,015
PAC sur nappe phréatique (COP annuel 3,4) <sup>1)</sup>	1,00	0,022
Chaleur géothermique	0,17	0,006
Centrale chaleur-force géothermique	0,12	0,004
Centrale chaleur-force au diesel	0,62	0,040
Centrale chaleur-force au gaz	0,64	0,038
Centrale chaleur-force au biogaz (réseau du gaz naturel)	0,23	0,025

**Selon énergie utile**

# La place du bois dans l'assainissement énergétique des bâtiments

## Environnementalement

Werte in % der in den Brennstoffen enthaltenen grauen Energie  
Valeurs en % de l'énergie grise contenue dans les combustibles  
Valori in % dell'energia grigia contenuta nei combustibili



# La place du bois dans l'assainissement énergétique des bâtiments

## Législativement

- |            | Chauffage    | ECS  |
|------------|--------------|--|
| • Vaud     | renouvelable | renouvelable<br>si > 70kW<br>si hors zone immissions excessive |
| • Fribourg | renouvelable | renouvelable<br>si automatique                                 |
- ↓
- SINON : complément renouvelable nécessaire
- Appoint autorisé



un appoint électrique ou fossile peut péjorer la rentabilité

# La place du bois dans l'assainissement énergétique des bâtiments

## Economiquement



... tout en créant des emplois dans les zones rurales de notre canton.

# La place du bois dans l'assainissement énergétique des bâtiments

## Economiquement

- Energie locale

Energie fossile



40.-



60.-

Energie - Bois



85.-

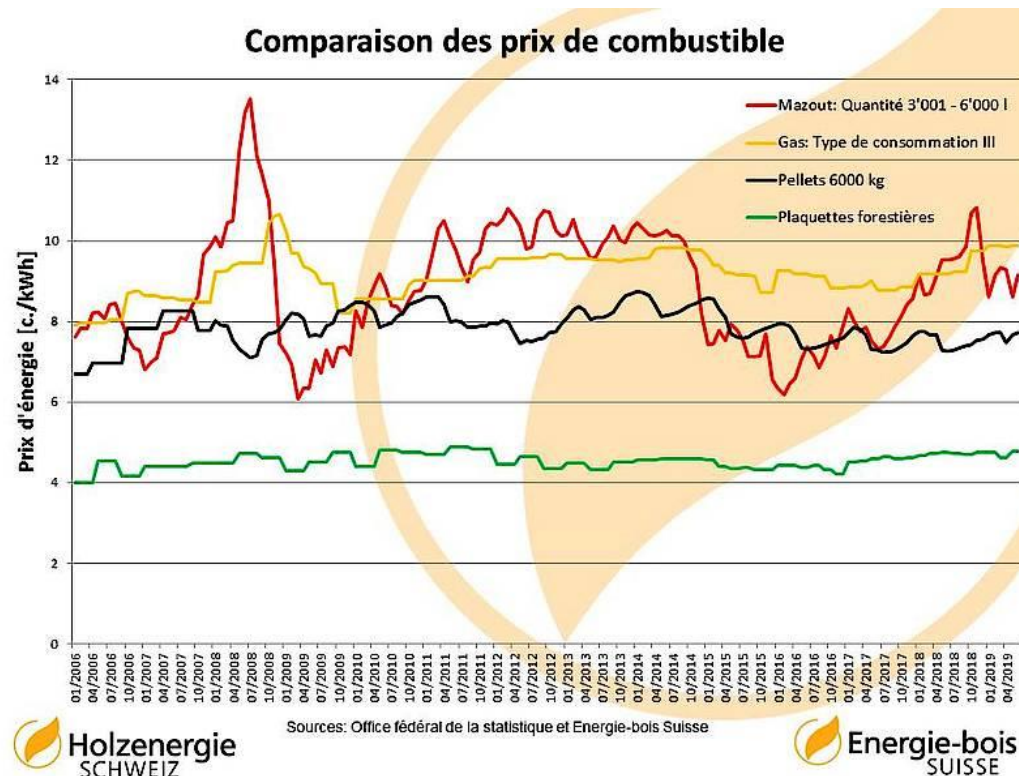


15.-

# La place du bois dans l'assainissement énergétique des bâtiments

## Economiquement

- Le prix du combustible bois est compétitif

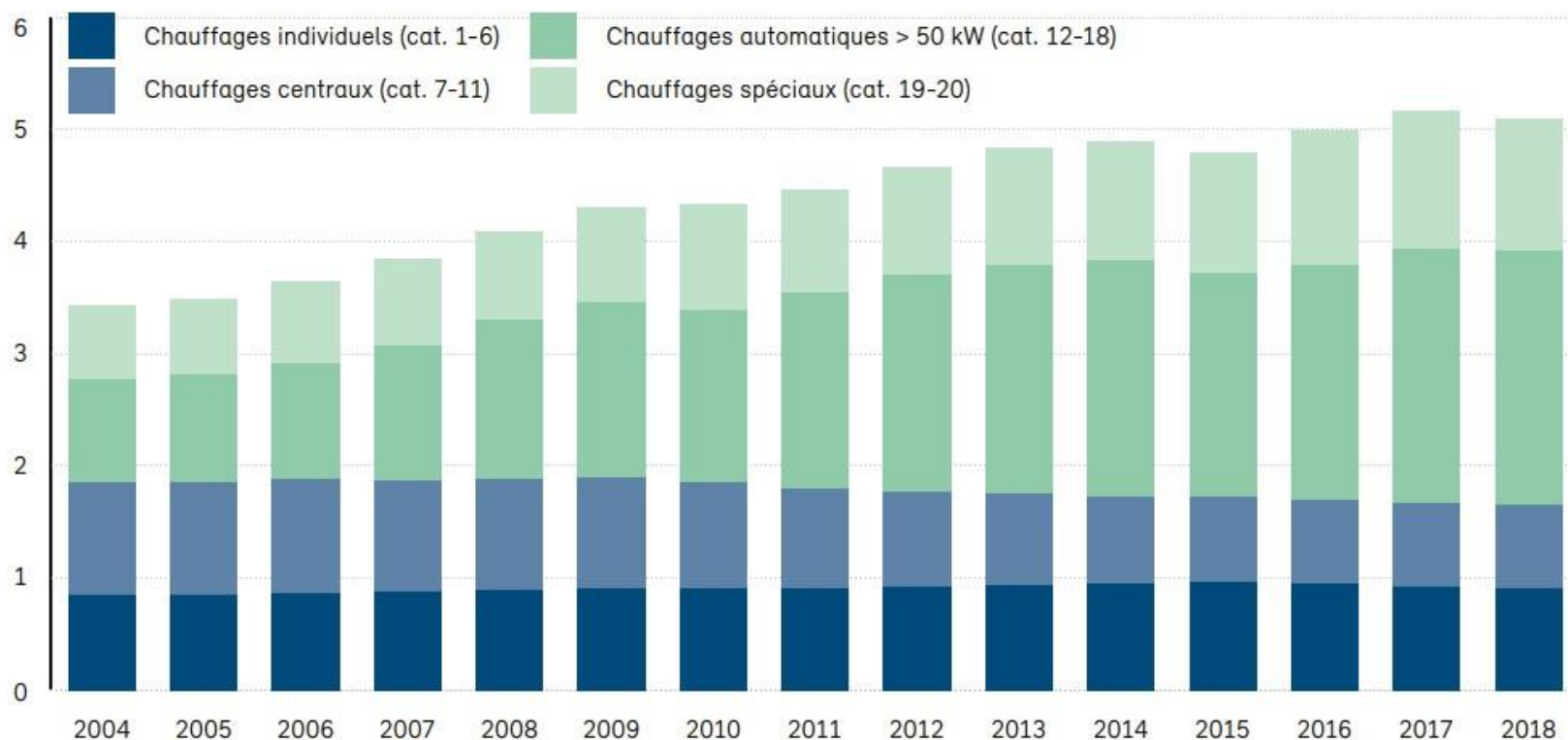




# Disponibilité du bois

Consommation de bois-énergie par type de chauffage, 2004-2018, corrigée des variations météorologiques

en millions de m<sup>3</sup>

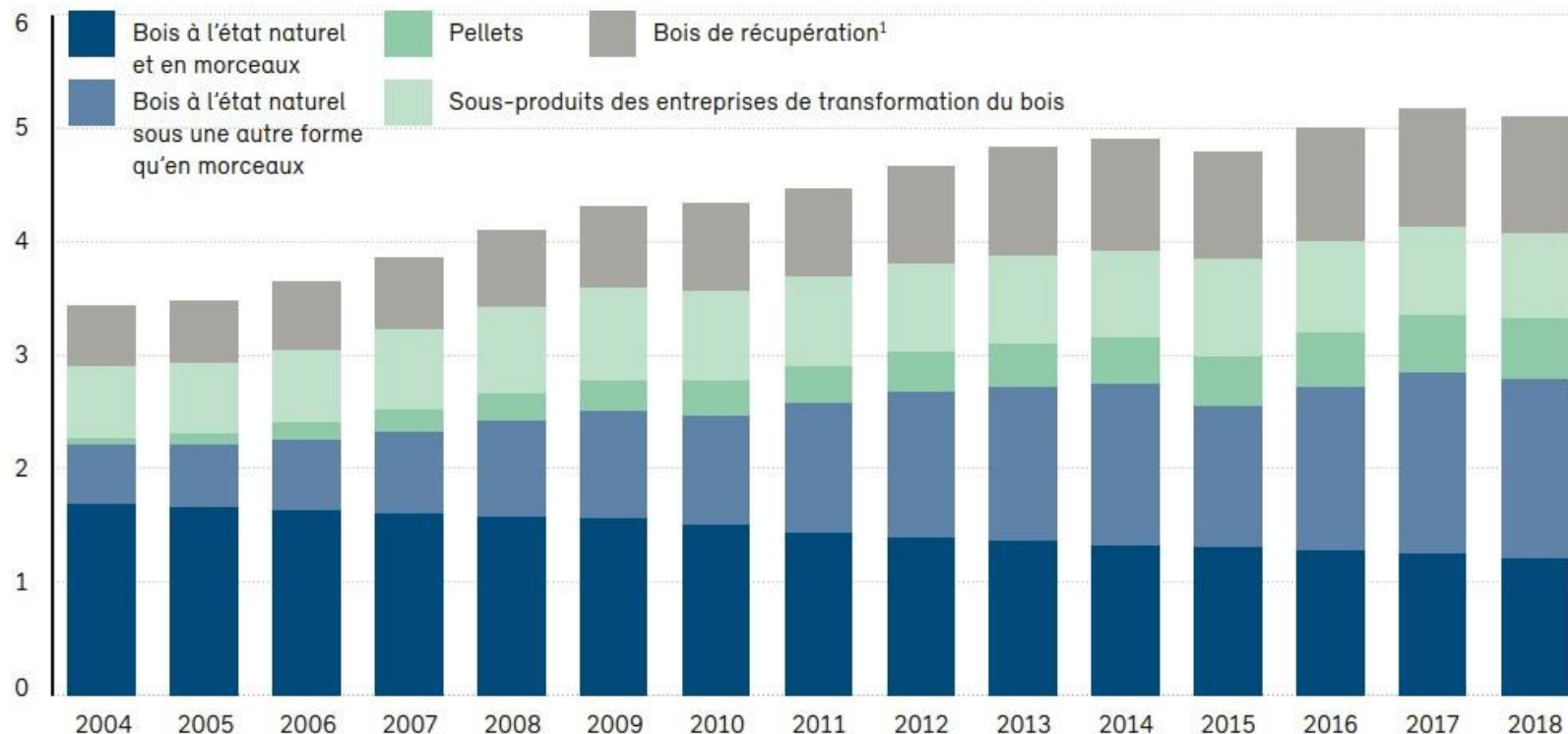


Source : OFEN, Statistique suisse de l'énergie du bois

# Disponibilité du bois

Consommation de bois-énergie par type de combustible, 2004-2018, corrigée des variations météorologiques

en millions de m<sup>3</sup>

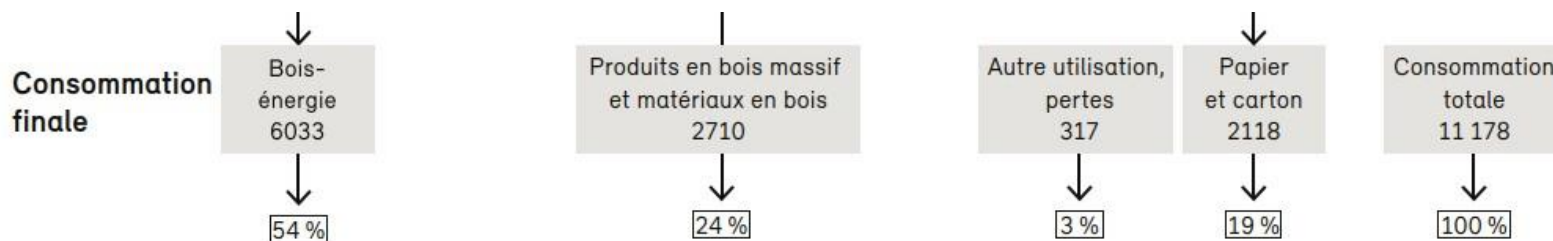


1 Y compris bois de récupération utilisé dans les usines d'incinération des ordures ménagères

Source : OFEN, Statistique suisse de l'énergie du bois

# Disponibilité du bois

- Selon Energie-bois Suisse (2016) l'exploitation annuelle consomme 4,9 millions de m<sup>3</sup>. Le potentiel disponible se situe entre 7.5 et 8.5 millions de m<sup>3</sup>.
- Près de la moitié du bois en suisse sert à produire de l'énergie



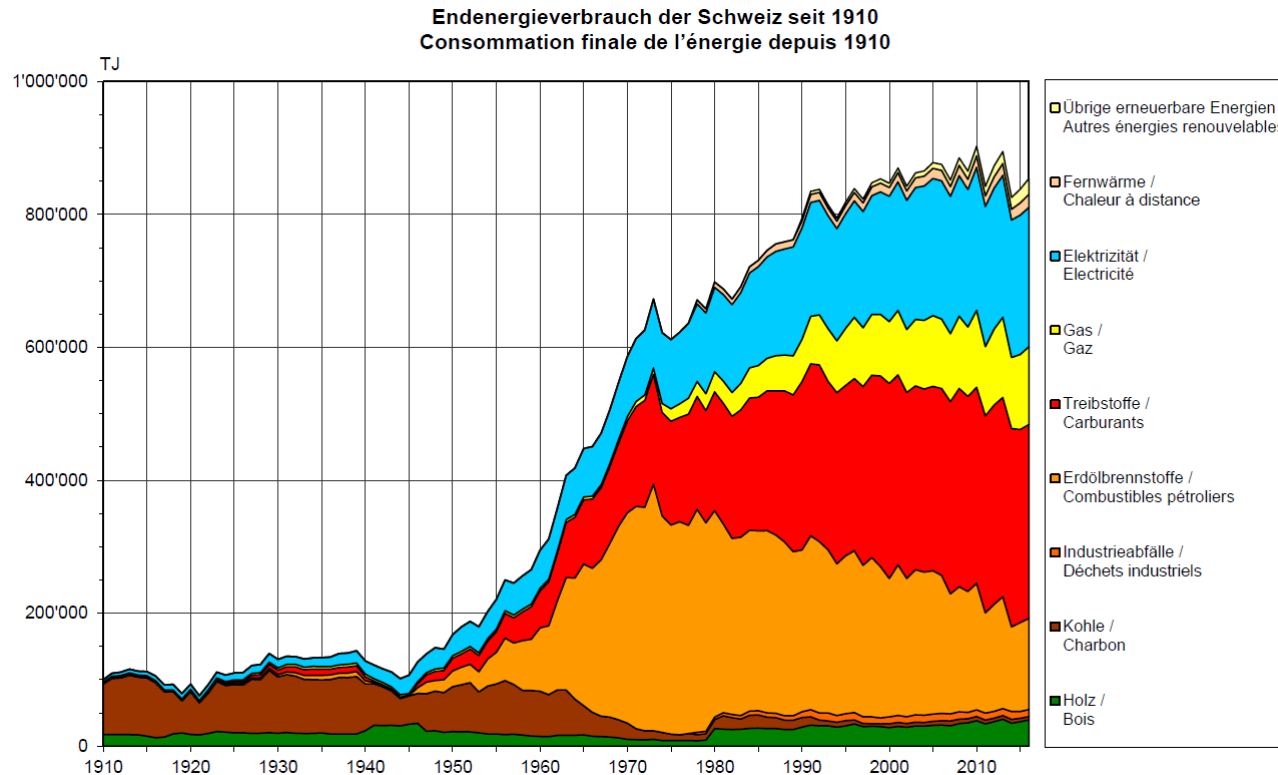
Calculs sans stocks

De petits écarts peuvent apparaître en raison de l'arrondissement des chiffres.

Source : Calculs et estimations de l'OFEV, division Forêts

# La place du bois dans l'assainissement énergétique des bâtiments

## Potentiel du bois



Source : OFEN

Le bois Suisse a une quantité finie

**=> ressource à consommer au bon endroit**

# La place du bois dans l'assainissement énergétique des bâtiments

## Potentiel du bois

- Avantageux
  - Environnementalement
  - Législativement
  - Economiquement
- Offre un niveau de température important
- Offre une plage de puissance intéressante (vs PAC)
- Permet de valoriser un produit à disposition

**=> Grande carte à jouer pour le bois**

# Les différents systèmes de production de chaleur à bois



# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

## Différentes formes du combustible

Bûches



Pellets






Plaquettes



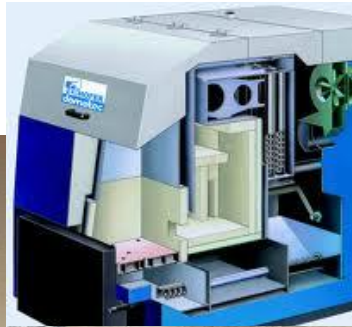
# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

## Différentes formes du combustible

	avantages	inconvénients
<b>Bûches</b> 	Prix selon marché local Fourniture locale	Manutention Combustion Régulation Peu de système automatique
<b>Plaquettes</b> 	Fourniture locale Prix pour grosse installation 4-5 cts/kWh	Combustion Taille silo Nécessite système de traitement des fumées pour grosses installations
<b>Pellets, granulés</b> 	Combustible certifié Combustion maîtrisée Régulation optimale	Prix 7-10 cts/kWh Disponibilité du combustible

# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

Quelle technologie pour quelle application ?



# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

## Cheminée et poêle de salon - à bûches

- Enclenchement manuel
- Amenée d'air froid si pas de prise directe
- Rendement ~75%
- Qualité de la combustion dépendante du combustible
- Penser au confort thermique
- Idéal comme appoint

⇒ **Accessoire esthétique plutôt qu'installation de chauffage principale**



# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

## Cheminée et poêle de salon - à bûches

### Avec systèmes de récupération de la chaleur

- sur l'air échangeur air-air/air-eau
- sur le foyer

ex:        poêle Rika Tavo 10kW  
              3 kW rayonnement direct  
              7 kW vers réseau hydraulique

⇒ Confort amélioré

⇒ Diffusion de la chaleur dans d'autres pièces, voire d'ECS

⇒ **Accessoire esthétique et installation de chauffage**



# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

## Poêles à granulés

- Enclenchement automatique
- Stock de pellets (10 à 40 kg)
- Rendement ~90%
- Combustion régulée
- Flamme moins esthétique
- Manutention (sacs de pellets de 20 kg)
- Idéal comme appoint





# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

## Poêles à granulés : voire même comme producteur principal

Dans des bâtiments à très basse consommation, couplé au solaire thermique

- Attention à la diffusion de la chaleur : exemple de villa sans chauffage au sol ni radiateur
- Poêle situé au rez sans récupérateur de chaleur, terrain en pente, chambres au sous-sol
  - ⇒ Les chambres du sous-sol ne reçoivent aucune chaleur du poêle
  - ⇒ Exemple de solution : conception d'un système de ventilation mécanique

# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

## Poêles à granulés

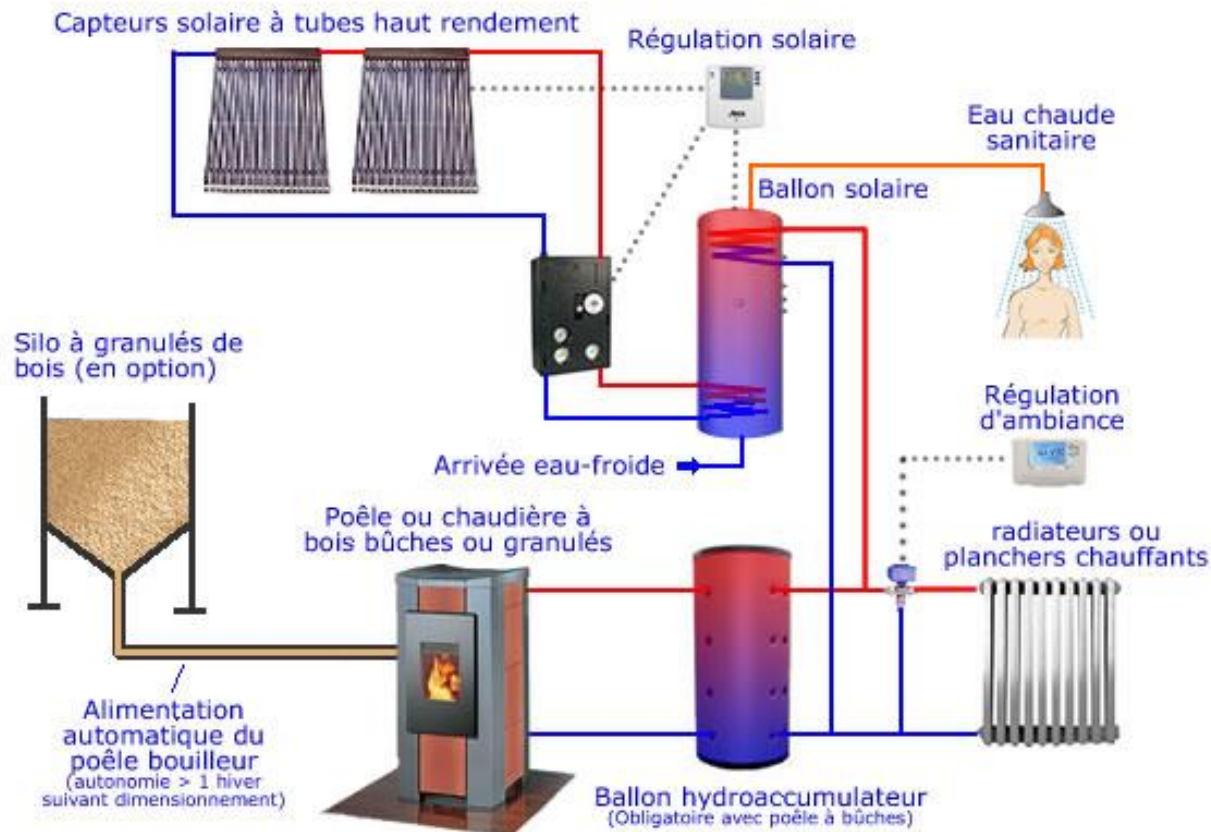
Avec système à récupération de chaleur hydraulique

- Peut facilement devenir le producteur de chaleur principal
- Couplé au solaire thermique pour la mi-saison + ECS
- Surtout pour bâtiments très basse consommation

# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

## Poêles à granulés

Avec système à récupération de chaleur hydraulique



# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

## Conclusion sur les poêles à pellets

Un chauffage à pellets dans son salon pour 20'000.- ?



- Oui bien sûr, efficace, mais penser à :
  - diffusion de la chaleur
  - la manutention
  - poussière du pellets lors du déversement

# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

## Chaudière à bûches

- De 15 à 50 kW

### Caractéristiques techniques :

- Démarrage facilité et très rapide
- Rendement élevé (jusqu'à 93%)
- Nettoyage et décairage automatique
- Très peu d'entretien au quotidien
- Un seul entretien annuel effectué par un professionnel
- Parfaitement adaptée à la combustion du bois bûche (jusqu'à 1/2 mètre), bois déchiqueté, briquettes, déchets de bois
- Encombrement fortement réduit
- Gros volume de chargement – Jusqu'à 170 litres
- Grande autonomie de combustion (1 à 3 jours)



# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

## Chaudière à bûches automatique

- De 30 à 70 kW
- Récent, fabrication suisse
  - Fiable
  - Valorisation de son bois
  - Bûches de bois
  - Automatique





# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

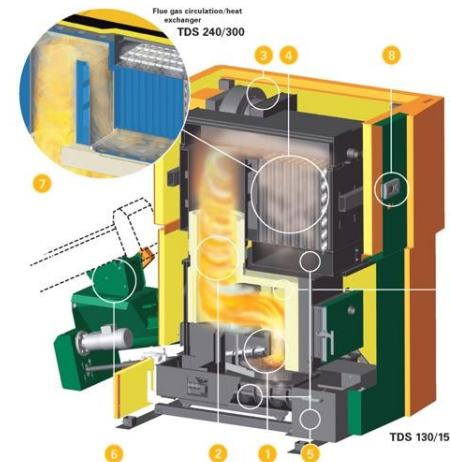
## Chaudières à pellets

**Plusieurs gammes** (permet souvent mixité pellets/plaquettes)

- ~0-40 kW            **application individuelle**
- ~15-150 kW        application individuelle – chauffage à distance
- ~100-500 kW      application individuelle – **chauffage à distance**

## Principaux avantages

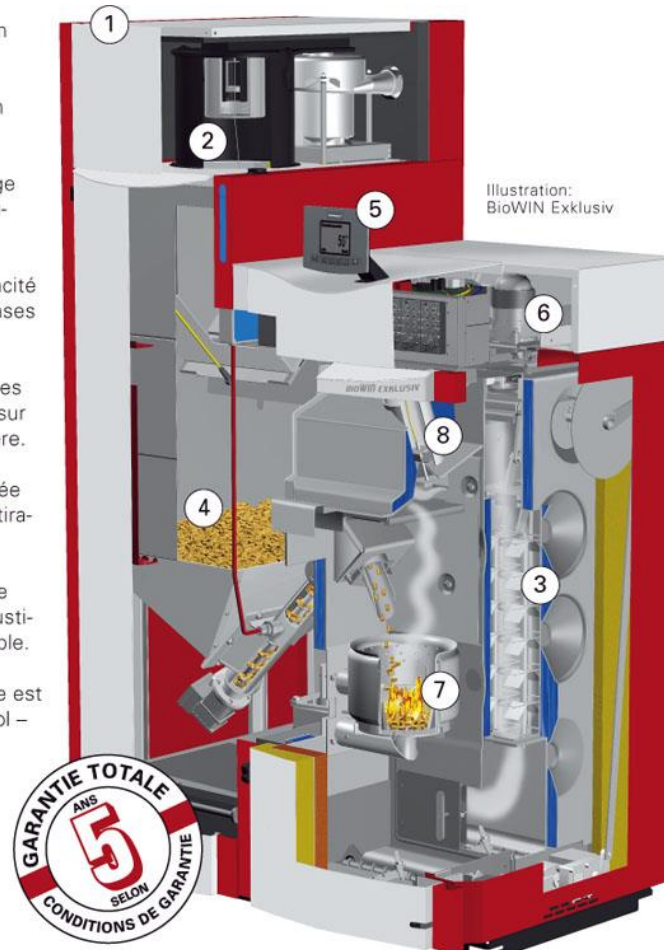
- Allumage automatique
- Nettoyage automatique des surfaces d'échange
- Décendrage automatique
- Dosage précis et économique du combustible
- Sécurité contre le retour de feu de 100%
- Régulation numérique avec affichage texte
- Densité énergétique, volume du stock plus faible
- Alimentation du silo simplifiée



# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

## Chaudière à pellets – composants

- ① La conception compacte permet son installation jusque dans de petites chaufferies.
- ② Selon les besoins, la chaudière est alimentée en pellets de manière entièrement automatique.
- ③ Dispositif entièrement automatique de nettoyage des surfaces d'échange pour un rendement toujours élevé !
- ④ Le grand compartiment de stockage d'une capacité d'env. 150 kg de pellets permet de longues phases de combustion ininterrompues.
- ⑤ L'unité de commande InfoWIN moderne offre des informations en texte intégral aisément lisibles sur l'ensemble du fonctionnement de votre chaudière.
- ⑥ Puissance de chaudière pouvant être commandée de manière précise, à l'aide d'un ventilateur de tirage par aspiration réglable et progressive.
- ⑦ Le nouveau brûleur à pellets peut être adapté de façon flexible aux propriétés variables du combustible pour garantir une combustion optimale durable.
- ⑧ Pour la régulation de la combustion, la chaudière est équipée d'une sonde thermique – Thermocontrol – à longue durée de vie et très résistante.



# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

## Chauffage à pellets - type de silo et alimentation

- Système à vis, silos rotatifs



# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

## Chauffage à pellets - type de silo et alimentation

- Aperçu désileur rotatif et vis sans fin

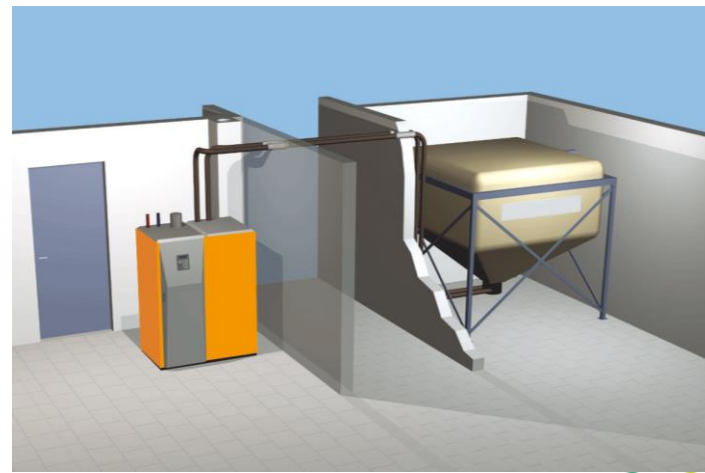
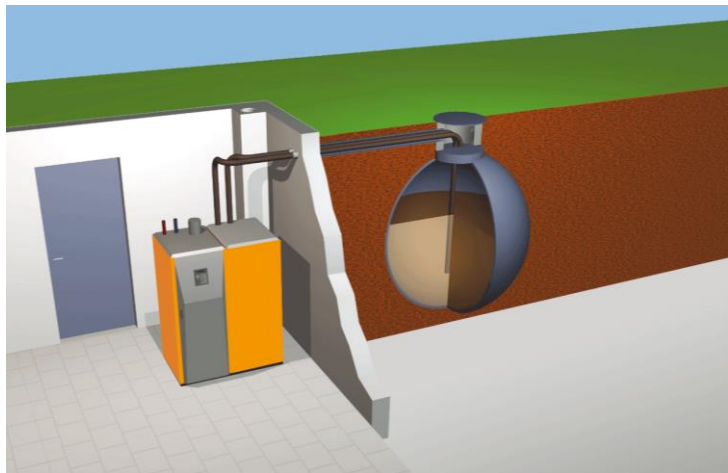




# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

## Chauffage à pellets - type de silo et alimentation

- Système à aspiration
- Flexibilité dans l'alimentation (distances, accès)
- Bruit



# Les différents systèmes de production de chaleur à bois



# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

## Chaudières à plaquettes

### Schéma de principe d'une installation



1. Tapis pour la livraison du bois déchiqueté (ou livraison par dessus le silo)  
2. Silo d'alimentation  
3. Dessileur rotatif  
4. Vis de transfert  
5. Vis d'alimentation  
6. Allumage automatique

7. Chambre de combustion  
8. Ventilateur d'air primaire  
9. Ventilateur d'air secondaire  
10. Chambre de post-combustion  
11. Échangeur de chaleur  
12. Cheminée

13. Distribution de chaleur (radiateurs, plancher chauffant ou réseau de chaleur)  
14. Armoire de régulation  
15. Grille mobile de décendrage  
16. Vis de décendrage  
17. Tiroir à cendres

18. Radiateur  
19. Ballon eau chaude  
20. Échangeur  
21. Circulateur  
22. Échangeur solaire (option)  
23. Capteur solaire (option)

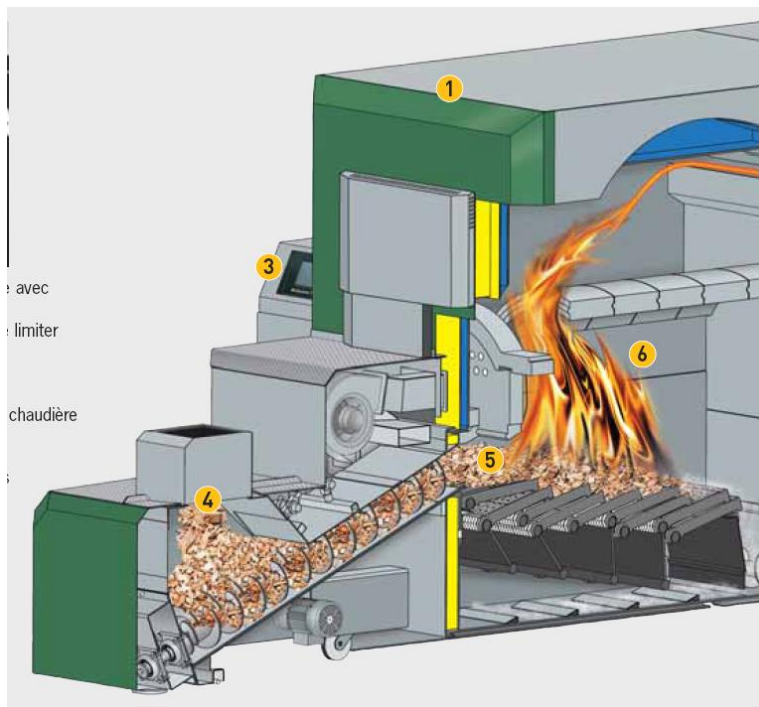
source AJENA

# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

## Chaudières à plaquettes

### Gammes

- ~40 – 150 kW application individuelle – chauffage à distance
- ~150 -500 kW application individuelle – chauffage à distance
- ~>>500 kW application individuelle – **chauffage à distance**



- **possible de brûler bois vert et/ou sec**
- allumage automatique ou manuel
- régulation entre 30% et 100%
- alimentation combustible par vis

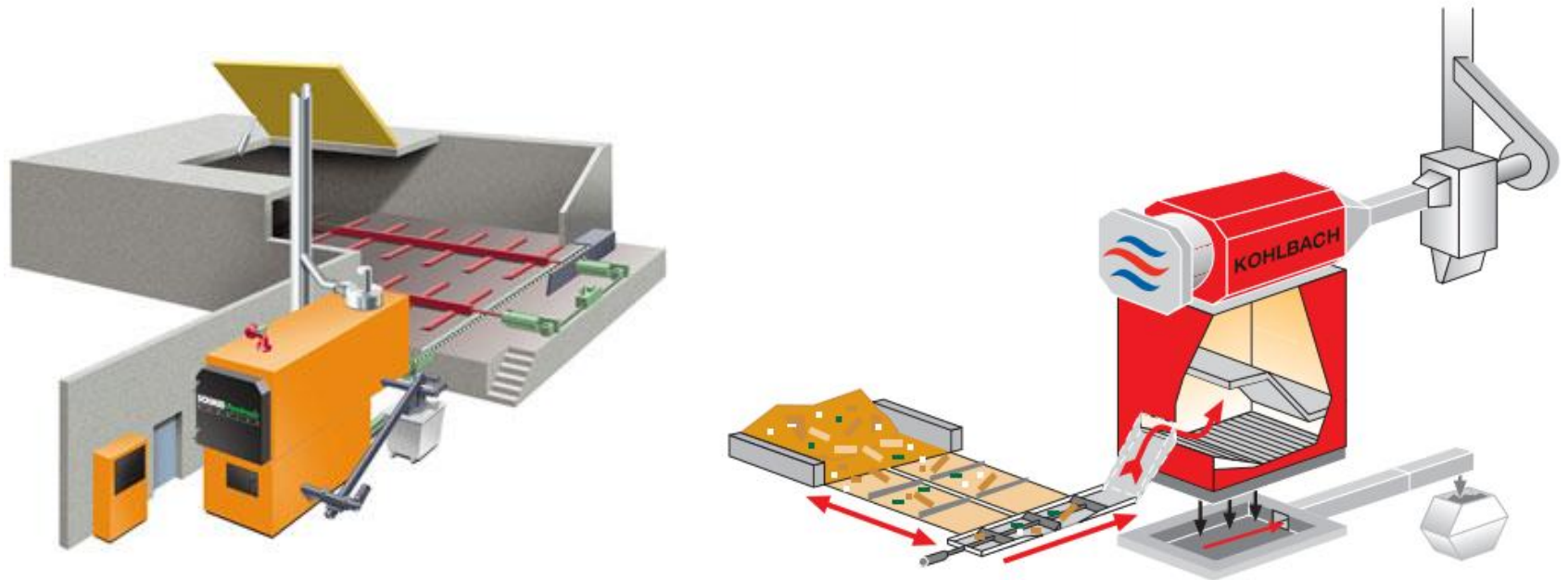
- |   |  |   |
|---|--|---|
| 1. <b>Module foyer</b>  | 6. <b>Chambre de combustion</b><br>En béton réfractaire SiC (résistant jusqu'à une température de 1550°C) avec grilles mobiles robustes (2 zones) en fonte d'acier chromée.  | 7. <b>Echangeur à tubes verticaux</b><br>avec turbulateurs intégrés et mécanisme de nettoyage   |
| 2. <b>Module échangeur</b>  | 3. <b>Régulation BioControl 3000</b><br>Unité centralisée de régulation  | 8. <b>Contrôle automatique de la combustion et des fumées</b><br>grâce à la régulation par sonde Lambda                                     |
| 4. <b>Réserve intermédiaire</b><br>avec chargement gravitaire, double vis d'alimentation et couche d'obturation combustible | 4. <b>Réserve intermédiaire</b><br>avec chargement gravitaire, double vis d'alimentation et couche d'obturation combustible  | 9. <b>Ventilateur d'extraction réglé par variateur de fréquences (sur le cyclone)</b><br>asservit à la régulation de la dépression du foyer |
| 5. <b>Allumage automatique</b><br>par air chaud   | 6. <b>Chambre de combustion</b><br>Les intervalles d'alimentation en combustible et les 2 zones d'air primaire ont la possibilité d'être gérés séparément.<br>Les barreaux de la grille peuvent être remplacés individuellement. |   |



# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

## Chauffage à plaquettes : Centrales de chauffage à distance

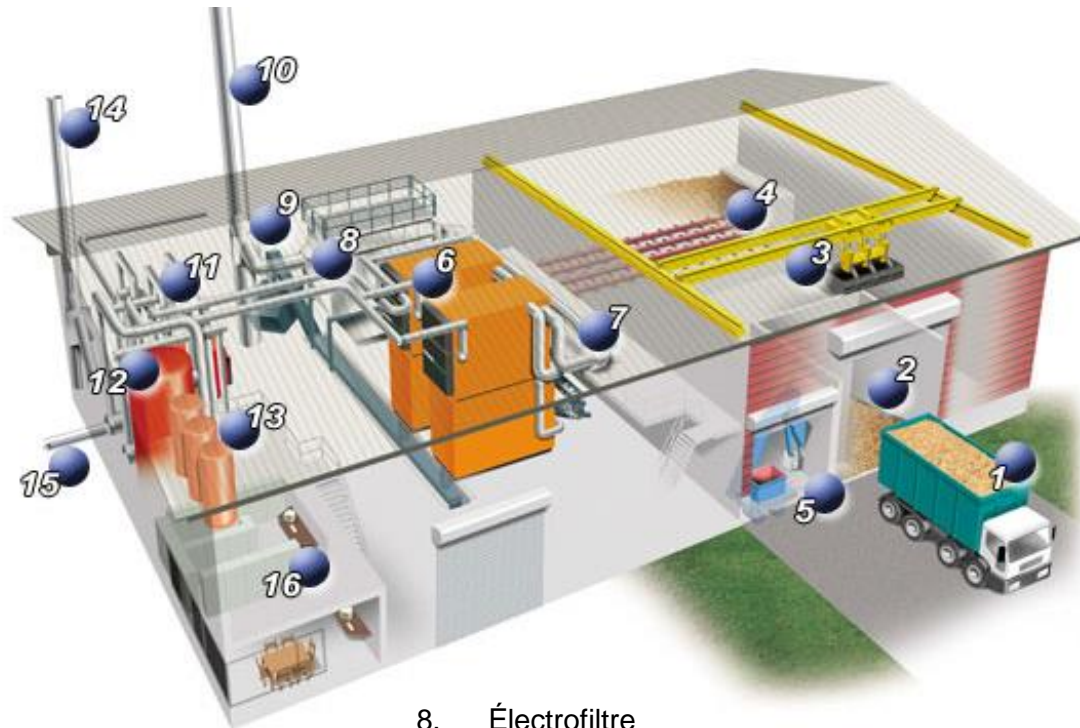
- Attention à la qualité du combustible (humidité, mix sciure-plaquettes)



*Schematische Darstellung einer Vorschubrostfeuerung*

# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

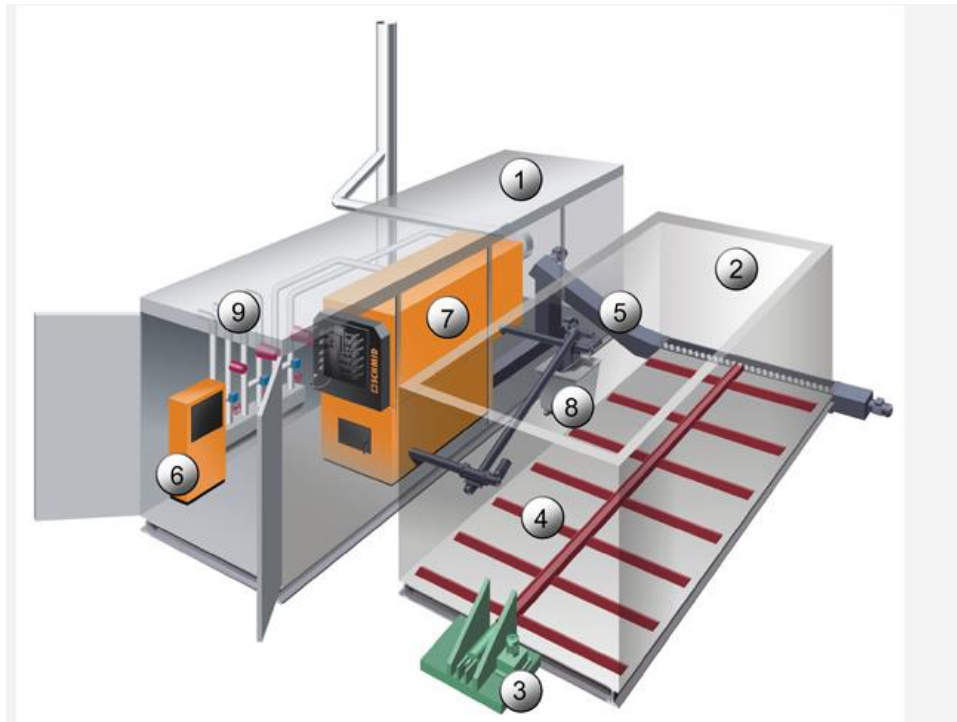
## Chauffage à plaquettes : chauffage à distance – conception d'une centrale



1. Livraison du combustible
2. Puits de décharge
3. Silo avec alimentation type « grappin »
4. Silo avec alimentation type « vérin »
5. Installation de broyage pour besoins spécifiques
6. Chaudières en cascade avec multicyclone intégré
7. Ventilateur des gaz d'émissions
8. Électrofiltre
9. Décendrage automatique
10. Cheminée
11. Collecteur
12. Accumulateur de chaleur
13. Dispositif d'expansion
14. Cheminée chaudière sécurité
15. Départ réseau CAD

# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

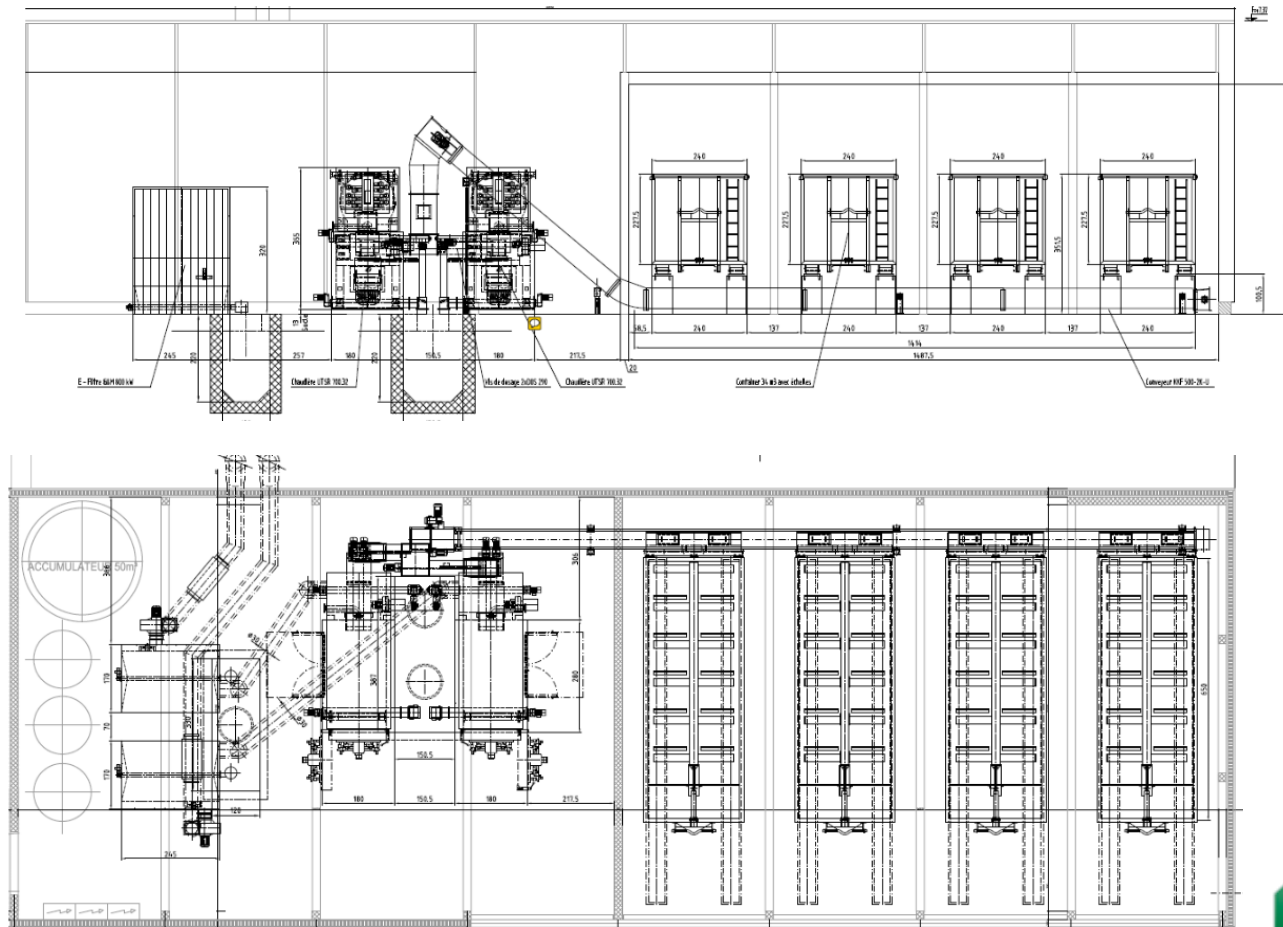
## Chauffage à plaquettes : chauffage à distance – variante containers



1. Centrale de chauffage en container
2. Container à combustible
3. Entraînement du fond mobile
4. Fond mobile hydraulique
5. Alimentation en combustible
6. Régulation «Personal Touch»
7. Chaudière au bois
8. Cendrier
9. Conduites de distribution

# Les différents systèmes de production de chaleur à bois

## Chauffage à plaquettes : chauffage à distance – variante containers



# Les différents systèmes de production de chaleur à bois





# Questions

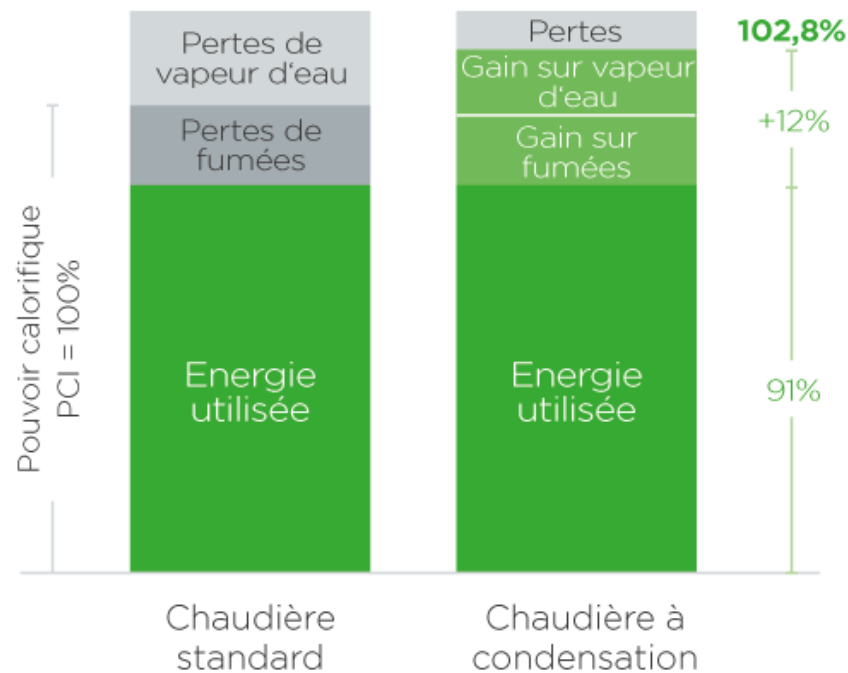


# Quelques notions techniques à connaître



# Condensation sur les chaudières à bois

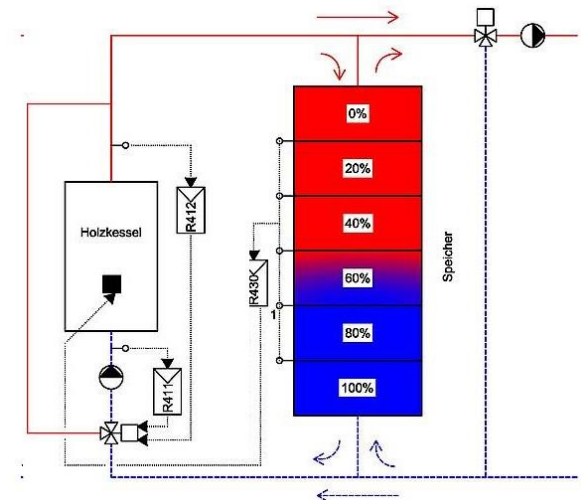
- Dimensions physique plus grandes
- Température de condensation plus haute



# Quelques notions techniques à connaître

## Accumulateur de chaleur

- Prévoir de la place en chaufferie
- Pourquoi :
  - Assurer temps de cycle minimal de la chaudière
  - Diminuer enclenchements / arrêts
  - Stockage de la chaleur non consommée
- Avantages :
  - Permettre la montée en température de la chaudière
  - Assurer un bon rendement
  - Assurer un encrassement minimal



# Quelques notions techniques à connaître

## Dimensionnement accumulateur

### Selon OPair

- Chaudière manuel : 55 litres par kW
- Chaudière automatique >70kW : 25 litres par kW
- Chaudière automatique <70kW : pas d'exigence

### Selon QM

- QM exige : l'accumulateur doit au minimum absorber la production de chaleur d'une heure à la puissance nominale de la chaudière.

$$V_{min}[m^3] = \frac{0,86 \cdot P_{nominal\ chaudière} [kW]}{(T_{départ} - T_{max\ de\ retour})[°C]}$$

# Quelques notions techniques à connaître

## QM Chauffage au bois

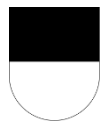
QM Chauffages au bois® est un système de gestion de qualité pour grandes installations à bois pour la production et distribution de chaleur ambiante, chaleur pour eau sanitaire et chaleur processus.

- Nécessaire à l'obtention des subventions
- Liens vers les informations et la documentation  
<https://www.qmholzheizwerke.ch/fr/accueil.html>



# Quelques notions techniques à connaître

## Subventions : QM obligatoire



≥ 70 kW



≥ 200 kW



pas de subvention

# Quelques notions techniques à connaître

## Maîtrise du combustible

- Définir ce qu'on brûlera (disponibilité, volonté, prix, ...)
  - Quelle forme du combustible
  - Homogénéité
  - Humidité
  - Régularité



- Choix chaudières («s» car parfois plusieurs offres)
  - **Garantir combustible ↔ chaudière**
    - Si combustible standard => beaucoup de possibilités
    - Prise d'échantillons possible => validation par les fournisseurs

# Quelques notions techniques à connaître

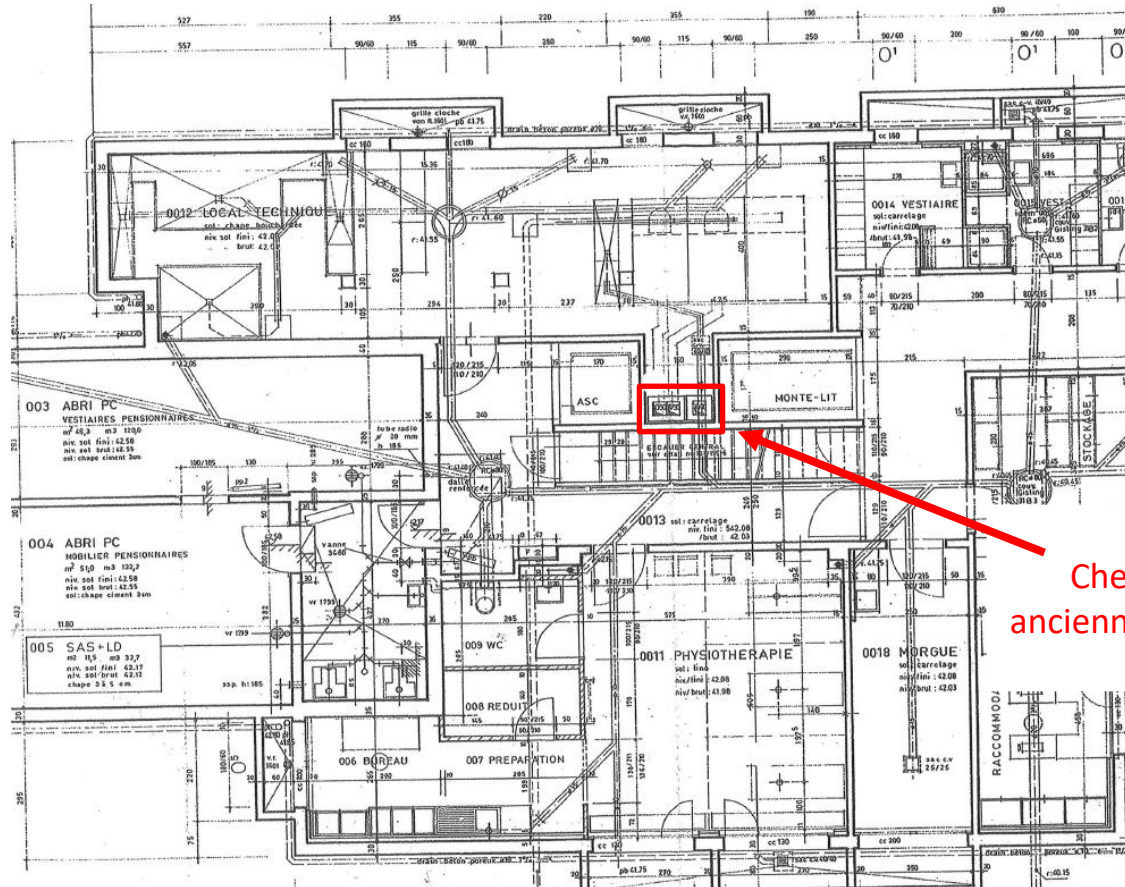
## **Cheminée** – emplacement

- Cheminée classique ou coaxiale ?
- Utilisation cheminée existante
  - Vérifier taille
  - Tubage intérieure nécessaire (surpression) ?
- Construction cheminée
  - Utilisation gaine existante
  - Construction nouvelle cheminée (carottage et cloisonnage)
  - Création d'une cheminée en façade
    - Mise en œuvre aisée
    - Aspect architectural à prendre en compte



# Quelques notions techniques à connaître

## Cheminée – exemple utilisation existante



Cheminée existante  
ancienne chaudière mazout

# Quelques notions techniques à connaître

## Cheminée – exemples extérieurs

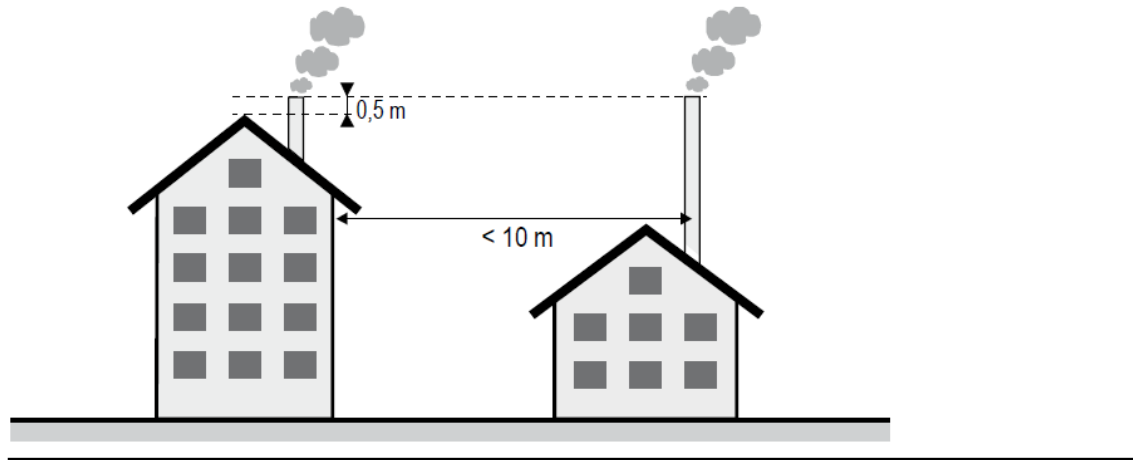


# Quelques notions techniques à connaître

## Cheminée - hauteur

- Selon Opaïr, varie selon
  - combustible
  - puissance
  - situation

Fig. 3 > Chauffages au bois jusqu'à 70 kW



Ceci est une illustration pour un cas précis => en cas de besoin, regarder la documentation Opaïr complète



# Quelques notions techniques à connaître

## Implication sur l'utilisation des locaux - Bûches

- Endroit de stockage
  - Manutention
  - Très flexible (intérieur/extérieur)



# Quelques notions techniques à connaître

## Implication sur l'utilisation des locaux - Pellets

- Si alimentation manuelle
  - achat/livraison au sac
  - pas de silo nécessaire

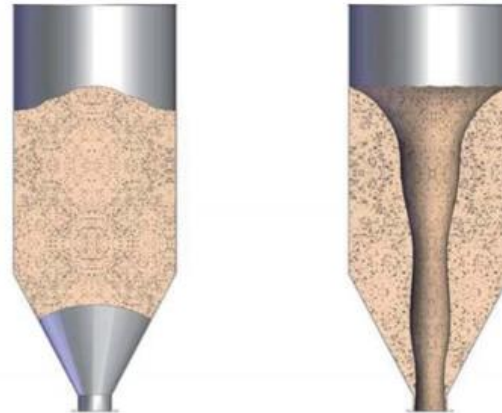


- Si alimentation automatique, pellets en vrac, silo nécessaire
  - Définir le concept de silo le plus approprié (cf. début de présentation)
  - Utilisation d'un local existant
  - Container extérieur possible

# Quelques notions techniques à connaître

## Implication sur l'utilisation des locaux - Pellets

- Taille du silo
  - Volume utile : 2/3 du volume du silo
    - Espace vide sous plancher incliné
    - Agglutination de pellets (angles, ...)
  - Calcul des besoins
  - Nombre de remplissages annuels
    - Penser au maximum livrable en 1 fois (14-20t)
    - Optimiser la taille du silo
    - Plusieurs livraisons annuelles ne dérangent pas

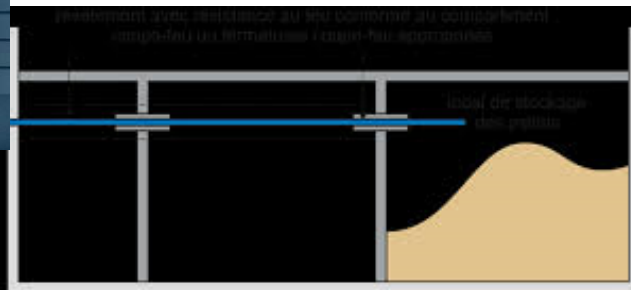




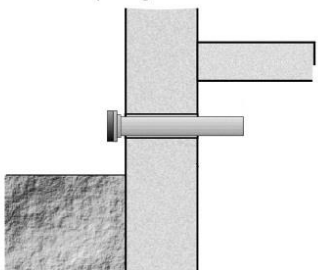
# Quelques notions techniques à connaître

## Implication sur l'utilisation des locaux - Pellets

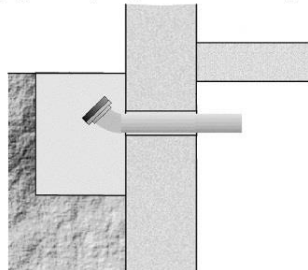
- Conduites de remplissage
  - Le pellets se pousse dans des conduites (max ~ 30m)
  - 2 conduites (1x injection de pellets, 1 x reprise d'air/poussière)



Raccord de remplissage dans le mur



Couplage de remplissage dans le saut de loup





# Quelques notions techniques à connaître

## Implication sur l'utilisation des locaux - Plaquettes

- Silo nécessaire
  - Zone de séchage si combustible encore humide

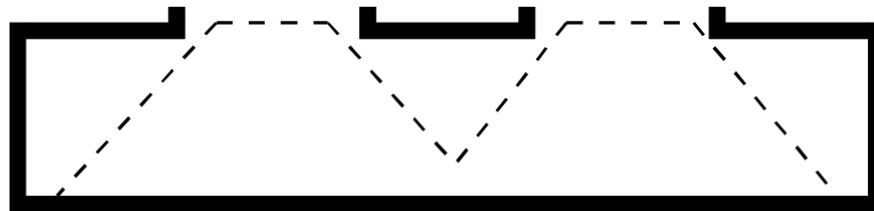


# Quelques notions techniques à connaître

## Implication sur l'utilisation des locaux - Plaquettes

### *Problèmes les plus fréquents*

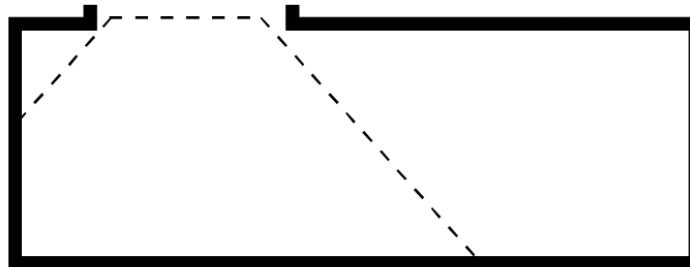
- Volume du silo trop faible
  - Volume non adapté à la consommation de bois ou méthode de travail du fournisseur.
  - Nombreux frais de suivi et de manutention.
- Hauteur du silo trop faible
  - Mauvais taux de remplissage
  - Volume perdu



# Quelques notions techniques à connaître

## Implication sur l'utilisation des locaux - Plaquettes

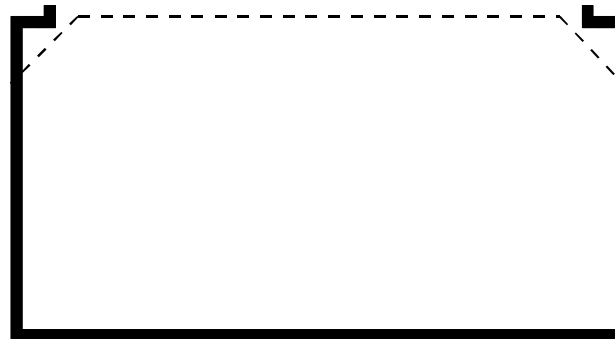
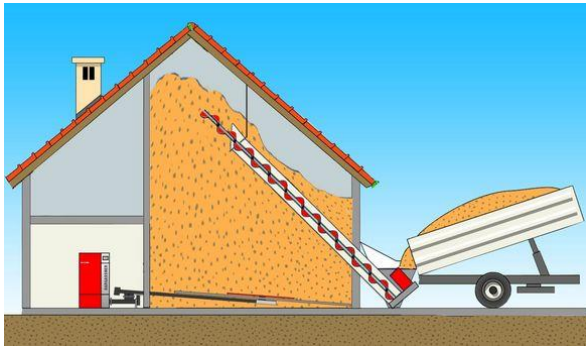
- Ouvertures mal placées ou trop petites
  - Mauvais taux de remplissage
  - Volume perdu
  - Le bois n'est pas liquide !



# Quelques notions techniques à connaître

## Implication sur l'utilisation des locaux – Plaquettes

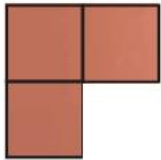
- Bons exemples



# Quelques notions techniques à connaître

## Implication sur l'utilisation des locaux - Taille des locaux

Oel  
mazout  
olio



2 - 3 m<sup>3</sup>

= 2 000 l

Stückholz  
bûches  
legna in pezzi



12 m<sup>3</sup>

= 15 Ster

w = 20 % (lutro)

1 m<sup>3</sup> = 1.333 MWh

Hackschnitzel  
plaquettes  
cippato



24 m<sup>3</sup>

= 24 Sm<sup>3</sup>

w = 25 % (Mischsortiment)

1 m<sup>3</sup> = 0.833 MWh

Pellets



6 m<sup>3</sup>

= 4 t

w = 10 %

1 m<sup>3</sup> = 3.333 MWh

# Quelques notions techniques à connaître

## Implication sur l'utilisation des locaux – Equivalence énergétique

Agent énergétique		1000 l mazout	1000 m3 gaz	1000 kg granulés	1m3 granulés	1m3 plaquettes feuillu	1stère bûches feuillu
<b>Equivalence</b>							
Mazout	l	-	1000	500	325	100	200
Gaz	m3	1000	-	500	325	100	200
Granulés	kg	2000	2000	-	650	200	400
Granulés	m3	3.1	3.1	1.5	-	0.3	0.6
Plaquettes	m3	10.0	10.0	5.0	3.2	-	2.0
Bûches	stère	5.0	5.0	2.5	1.6	0.5	-
Energies	kWh	10000	10000	5000	3250	1000	2000



# Quelques notions techniques à connaître

## Règles de protection incendie



- Aide à la conception => note explicative de protection incendie
  - Fonction de la puissance / combustible / type d'installation
- Définit les normes incendie à respecter
  - Définit les résistances au feu
  - Définit l'aération du silo nécessaire
  - Définit les ouvertures du silo nécessaire
  - .....
- Liens vers les informations et la documentation
  - <https://services.vkg.ch/rest/public/georg/bs/publikation/documents/BSPUB-1394520214-163.pdf/content>



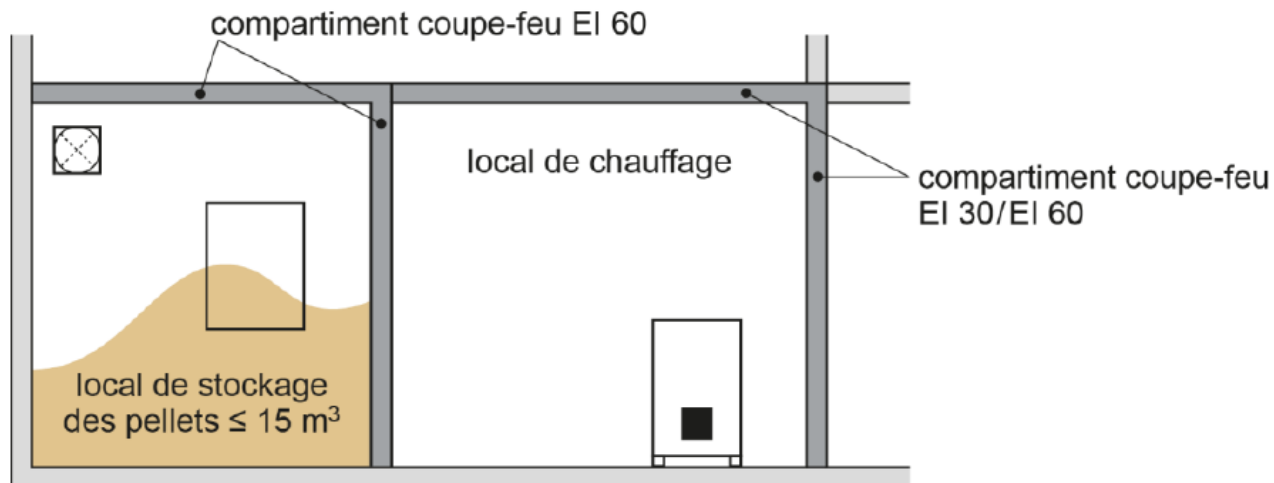
# Quelques notions techniques à connaître

## Règles de protection incendie



- Exemple :

**Quantité de stockage des pellets  $\leq 15 \text{ m}^3$  : ouverture pour vider le local 1,0 x 0,7 m minimum**



Ceci est une illustration pour un cas précis => en cas de besoin, regarder la documentation Opair complète

# Aération des locaux

- Les silos préfabriqués en tissu respirant ne requièrent pas de bouchon de ventilation. Toutefois, une ventilation suffisante du local s'impose.

# Aération des locaux

## Longueur de la conduite de ventilation

## Taille du local < 10 t

< 2 m

Ventilation par bouchon répondant aux exigences suivantes:

- deux bouchons de ventilation sur deux raccords de type «Storz A»;
- Les ouvertures de ventilation doivent s'ouvrir vers l'extérieur ou vers le local bien ventilé hébergeant la chaudière.
- section totale de la conduite de 40 cm<sup>2</sup> au minimum

> 2 ... ≤ 5 m

Ouverture de ventilation répondant aux exigences suivantes:

- ventilation à l'air libre;
- section de la conduite de ventilation de 100 cm<sup>2</sup> au minimum;
- passage de 80 cm<sup>2</sup> au minimum.

> 5 ... ≤ 20 m

Ventilation mécanique répondant aux exigences suivantes:

- ventilation du local à l'air libre par une conduite et un ventilateur;
- ventilateur à taux de renouvellement de l'air par heure d'au moins trois fois le volume brut du local de stockage;
- le fonctionnement du ventilateur doit être couplé à l'ouverture de la porte du silo

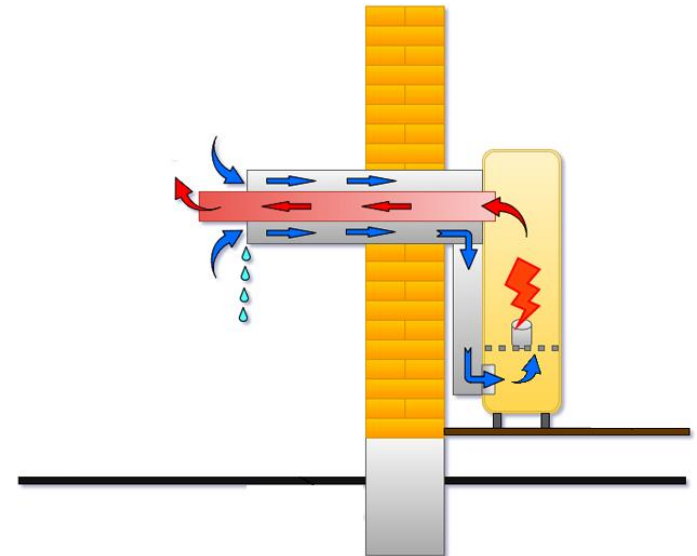
# Aération des locaux

Longueur de la conduite de ventilation	Taille du local > 10 t
< 2 m	Seulement pour locaux d'une taille max de 40 t: ventilation par bouchon répondant aux exigences suivantes: <ul style="list-style-type: none"><li>• au moins deux bouchons de ventilation sur deux raccords «Storz A»;</li><li>• section minimum de 4 cm<sup>2</sup> par tonne de capacité.</li></ul>
> 2 ... ≤ 5 m	Une ouverture de ventilation répondant aux exigences suivantes: <ul style="list-style-type: none"><li>• ventilation à l'air libre;</li><li>• ouverture de 100 cm<sup>2</sup> minimum pour chaque conduite;</li><li>• section de la conduite de ventilation de 10 cm<sup>2</sup> au minimum par tonne de capacité;</li><li>• passage de 8 cm<sup>2</sup> au minimum par tonne de capacité;</li><li>• pénétration dans le silo uniquement après mesure du taux de monoxyde de carbone et avec une seconde personne qui assure la sécurité en restant à l'extérieur du silo</li></ul>
> 5 ... ≤ 20 m	Ventilation mécanique répondant aux exigences suivantes: <ul style="list-style-type: none"><li>• ventilation du local à l'air libre par une conduite et un ventilateur;</li><li>• ventilateur à taux de renouvellement de l'air par heure d'au moins trois fois par rapport au volume brut du silo;</li><li>• le fonctionnement du ventilateur doit être couplé à l'ouverture de la porte du silo.</li></ul>

# Quelques notions techniques à connaître

## Air frais de combustion

- Nécessité d'une entrée
  - Taille selon caractéristiques chaudière
- Création
  - En façade
  - En saut de loup
  - Cheminée coaxiale



# Quelques notions techniques à connaître

## Cendres

- Production de cendre
  - 0.2 - 0.4 % de la masse de pellets brûlés
- Exemple équivalence 1'500 lt mazout
  - 3'200 kg de pellets à brûler
  - 6 – 12 kg de cendres
- Système a manutention facilitée
- Dans le logement, la taille du cendrier est généralement dimensionnée pour réaliser 1 décendrage par an



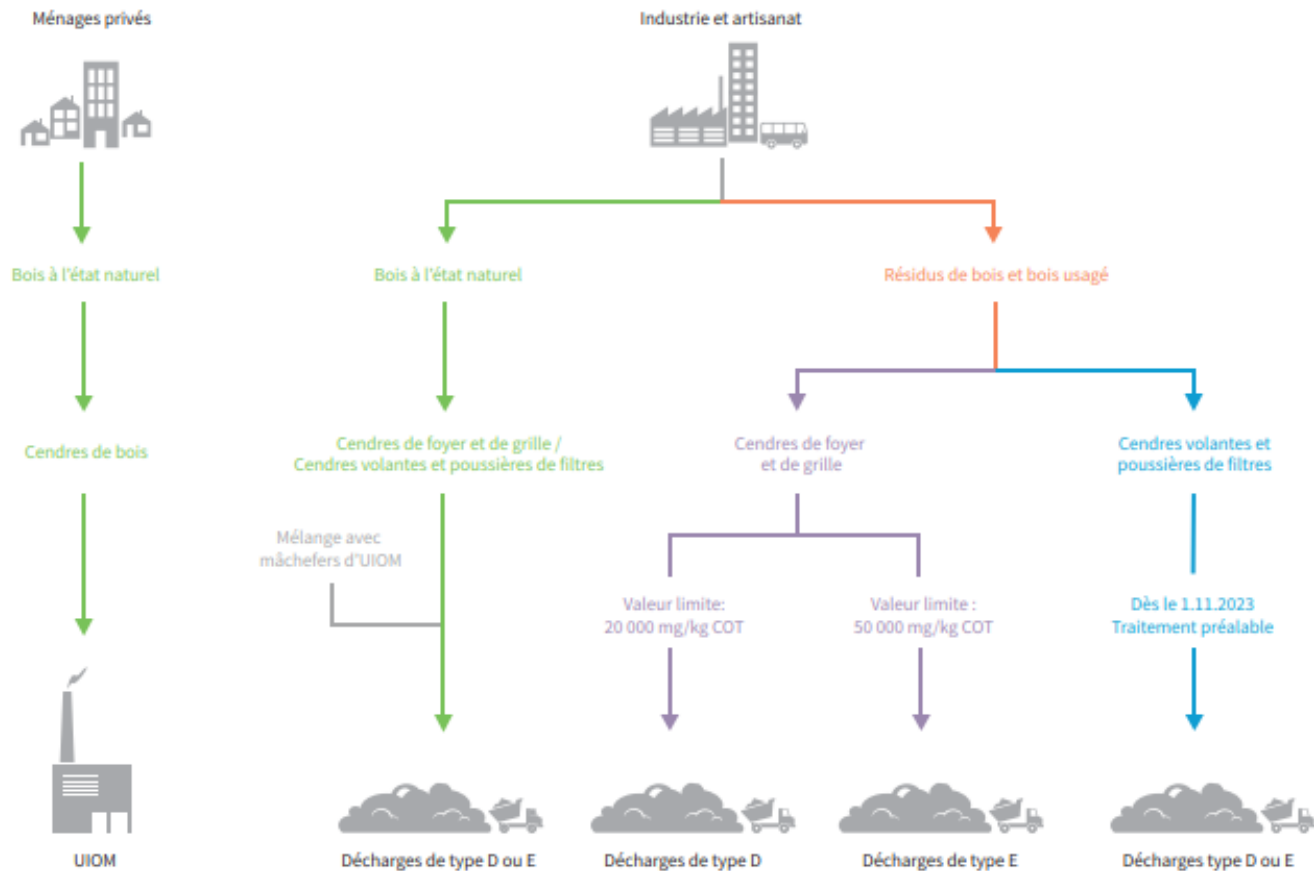
# Traitement des cendres

- Bois à l'état naturel (bûches, pellets, plaquettes, copeaux, sciure, etc.) :
  - Elimination via les ordures ménagères ; les volumes plus importants sont déposés dans une décharge appropriée
- Résidus de bois (bouts de bois massif, copeaux de rabotage, poussière de ponçage, panneaux collés, etc.) :
  - Cendres doivent être déposés dans une décharge après entente avec le service cantonal



# Traitement des cendres

## Système d'élimination des cendres de bois



# Traitement des cendres

## Cendres

- Décharge normale
- Ramassage possible

## Particules fines

- Décharge contrôlée

# Filtre à particules

## Vérifier dès la conception si obligatoire

- Si oui
  - Penser au prix (cf slide n° 112)
  - Penser à la place en chaufferie (taille équivalente à celle de la chaudière)



# Quelques notions techniques à connaître

## Contexte général

### **Dernières valeurs limites de l'OPair 2007 en vigueur à partir du 1er janvier 2012**

Les valeurs d'émissions et d'imissions à respecter dépendent du type du combustible (vieux bois, bois propre), de la puissance de la chaudière (<70 kW ou non) du nombre d'heures de fonctionnement ou encore de l'utilisation de la chaleur (chauffage, processus industriel)

### **Postulat Fässler (09.3087) Filtrés à poussières fines pour tous les chauffages au bois, déposé en mars 2009**

- Proposition de l'OFEV: rejeter le postulat
- Motif – conditions pour un fonctionnement durable et efficace: qualité de l'installation et du combustible, exploitation correcte de l'installation

### **Une mauvaise combustion provoque des problèmes avec les capteurs de poussières. Il n'est donc pas judicieux d'installer des filtres de manière généralisée.**

- Rejeté par le Conseil fédéral le 6 mai 2009 Rejeté par le Parlement le 15 mars 2011

⇒ **L'imposition d'un filtre n'est pas utile à elle seule, il faut garantir le système complet**

⇒ **Combustible – chaudière (-filtre)**

# Filtre à particules

## Réglementations dont dépend le filtre à particules fines

### Réglementation cantonale

- VD :
  - Zones à immissions excessives type 1 : obligatoire
  - Zones à immissions excessives type 2 : obligatoire pour  $> 70$  kW
  - Hors zones : Obligatoire pour plus de 500 kW

### Opair

- Ne rend pas le filtre obligatoire
- Mais il est parfois nécessaire pour atteindre l'exigence
- Plus la puissance est élevée, plus l'exigence est sévère

# Quelques notions techniques à connaître

## Exigences pour les installations zone d'immissions excessives

Puissance calorifique	Site	exigences	Zones à immissions excessives 1	Zones à immissions excessives 2	Hors zones à immissions excessives
			(Plan des mesures)	(hors Plan des mesures)	
<b><math>P \leq 70</math> [kW]</b>	Contrôle		En cas de plainte (OPair, A3 ch. 522)	En cas de plainte (OPair, A3 ch. 522)	En cas de plainte (OPair, A3 ch. 522)
	Filtre		Filtre obligatoire	Recommandé	Recommandé
	VLE		VLE OPair	VLE OPair	VLE OPair
	Suivi		Contrat d'entretien recommandé	Contrat d'entretien recommandé	Contrat d'entretien recommandé
<b><math>70 &lt; P \leq 500</math> [kW]</b>	Contrôle		Contrôle périodique DGE	Contrôle périodique DGE	Contrôle périodique DGE
	Filtre		Filtre obligatoire	Filtre obligatoire	Recommandé
	VLE		$P \geq 250$ kW : 20 [mg/m <sup>3</sup> ] Poussières	VLE OPair	VLE OPair
	Suivi		Contrat d'entretien obligatoire	Contrat d'entretien obligatoire	Contrat d'entretien recommandé
<b><math>500 &lt; P \leq 1000</math> [kW]</b>	Contrôle		Luft Union (annuel)	Contrôle périodique DGE	Contrôle périodique DGE
	Filtre		Filtre obligatoire	Filtre obligatoire	Filtre obligatoire
	VLE		VLE OPair	VLE OPair	VLE OPair
	Suivi		Filtre + Contrat d'entretien obligatoire	Filtre + Contrat d'entretien obligatoire	Contrat d'entretien recommandé
<b><math>P &gt; 1000</math> [kW]</b>	Contrôle		Luft Union (annuel)	Luft Union (annuel)	Contrôle périodique DGE
	Filtre		Filtre obligatoire	Filtre obligatoire	Filtre obligatoire
	VLE		NOx : 200 [mg/m <sup>3</sup> ]	VLE OPair	VLE OPair
	Suivi		Filtre + CO (+ NOx)	Filtre + CO (+ NOx)	Filtre

Contrôle : Organe procédant au contrôle périodique  
 Filtre : Obligation ou recommandation d'installer un filtre à particule (ou un système permettant un rabattement équivalent des poussières)  
 VLE : Valeurs limites d'émissions (VLE OPair = standard ou valeurs renforcées spécifiques)  
 Filtre = mesure en continu du fonctionnement du filtre  
 CO = mesure en continu des concentrations de CO (éventuellement de NOx)  
 Contrat d'entretien = nécessite d'avoir un contrat d'entretien avec une entreprise spécialisée pour l'entretien et le contrôle de l'installations



# Quelques notions techniques à connaître

## Valeurs limites d'émissions

### Exigences de qualité de l'air en fonctionnement (annexe 3, ch. 522, OPair, chauffages au bois)

	Puissance calorifique					
	jusqu'à 70 kW	de 70 kW à 500 kW	de 500 kW à 1 MW	de 1 MW à 10 MW	plus de 10 MW	
<i>Bois de chauffage</i>						
- Grandeur de référence: Les valeurs limites se rapportent à une teneur en oxygène des effluents gazeux de						
	% vol.	13	13	13	11	11
- Particules solides au total:						
- à partir du 1 <sup>er</sup> septembre 2007	mg/m <sup>3</sup>	-	150	150	20	10
- à partir du 1 <sup>er</sup> janvier 2008	mg/m <sup>3</sup>	-	150	20	20	10
- à partir du 1 <sup>er</sup> janvier 2012	mg/m <sup>3</sup>	-	50 <sup>1)</sup>	20	20	10
- Monoxyde de carbone (CO):						
- Pour le bois de chauffage selon l'annexe 5, ch. 3, al. 1, let. a et b						
- à partir du 1 <sup>er</sup> septembre 2007	mg/m <sup>3</sup>	4000 <sup>2)</sup>	1000	500	250	150
- à partir du 1 <sup>er</sup> janvier 2012	mg/m <sup>3</sup>	4000 <sup>2)</sup>	500	500	250	150
- pour le bois de chauffage selon l'annexe 5, ch. 3, al. 1, let. c						
- à partir du 1 <sup>er</sup> septembre 2007	mg/m <sup>3</sup>	1000	1000	500	250	150
- à partir du 1 <sup>er</sup> janvier 2012	mg/m <sup>3</sup>	1000	500	500	250	150
- Oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> ), exprimés en dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )	mg/m <sup>3</sup>	3)	3)	3)	3)	150
- Substances organiques sous forme gazeuse, exprimées en carbone total (C)	mg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-	50
- Ammoniac et composés de l'ammonium, exprimés en ammoniac	mg/m <sup>3</sup>	-	-	-	30	30

#### Remarques:

- Un tiret dans le tableau signifie qu'aucune limitation n'est prescrite ni dans l'annexe 3 ni dans l'annexe 1.
- 1) Valeur limite pour les particules solides émises par les chaudières manuelles à bûches pour le bois de chauffage selon l'annexe 5, ch. 3, al. 1, let. a, d'une puissance calorifique maximale de 120 kW: 100 mg/m<sup>3</sup>.
- 2) Non applicable aux fourneaux de chauffage central.
- 3) Valeur limite pour l'oxyde d'azote, annexe 1, ch. 6, OPair: à partir de 2,5 kg NO<sub>x</sub> par heure: 250 mg/m<sup>3</sup>.

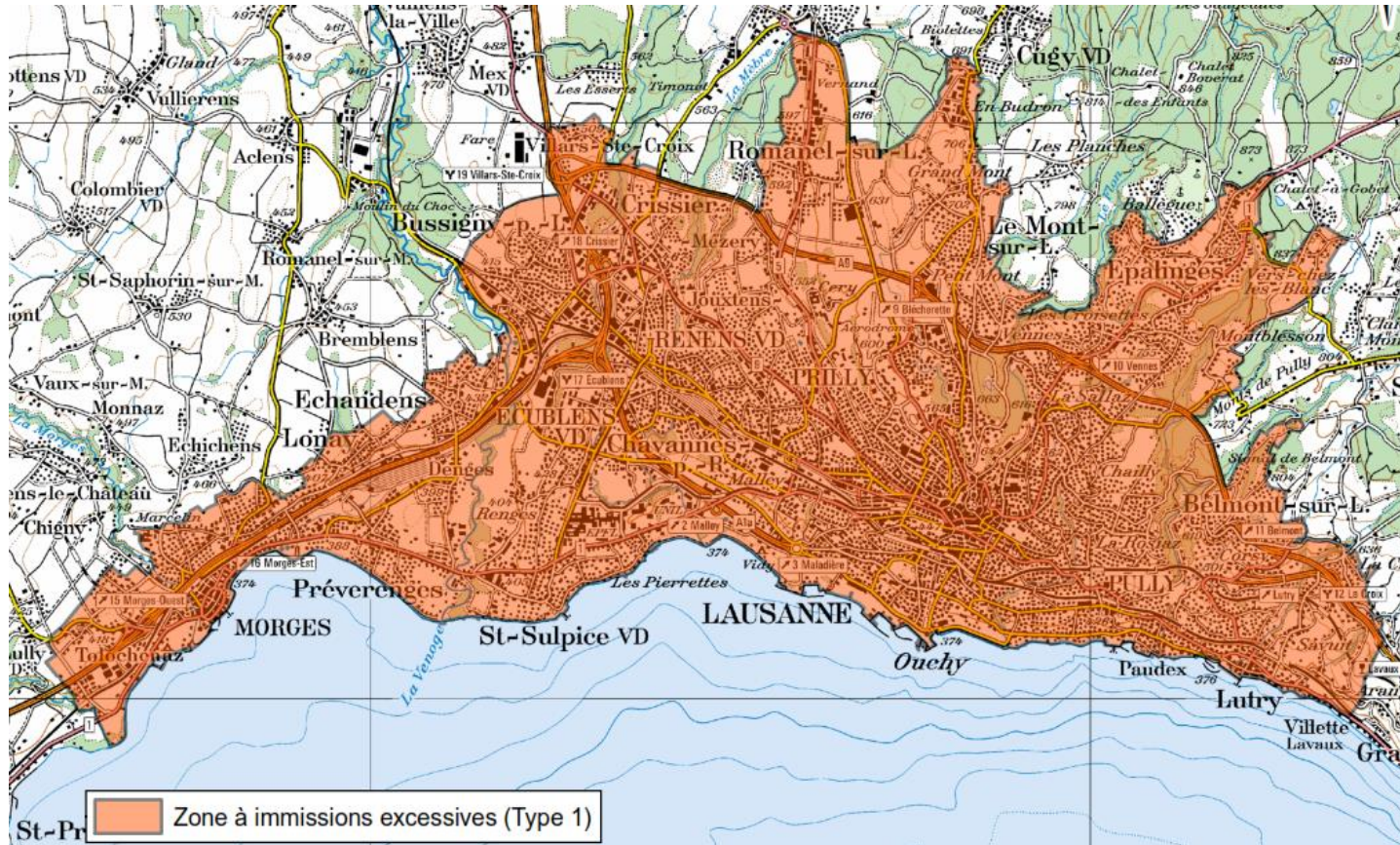
# Emissions et immissions

Le terme « immission » provient du latin immittere (envoyer dans), tandis qu'« émission » vient d'emittere (envoyer à partir de).

- Les émissions désignent les polluants résultant de la combustion du bois.
- Les immissions désignent la concentration de polluants dans l'air ambiant mesurée par des stations (normalement au sol). Fédéral (Opair) et cantonal.
- L'immission caractérise l'inventaire et la concentration des polluants qui atteint un milieu ou des êtres vivants.

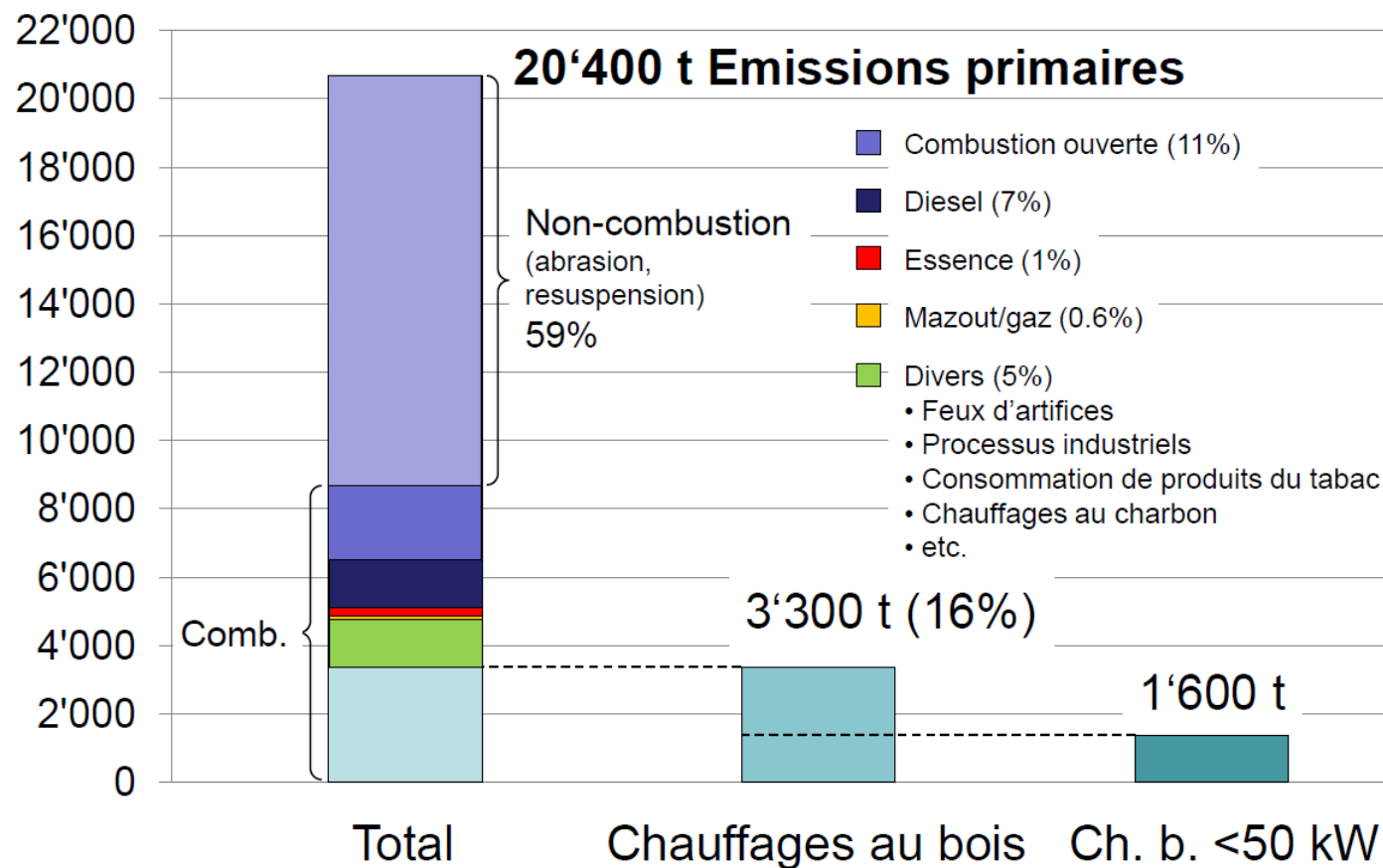
# Quelques notions techniques à connaître

## Zone d'immissions excessives

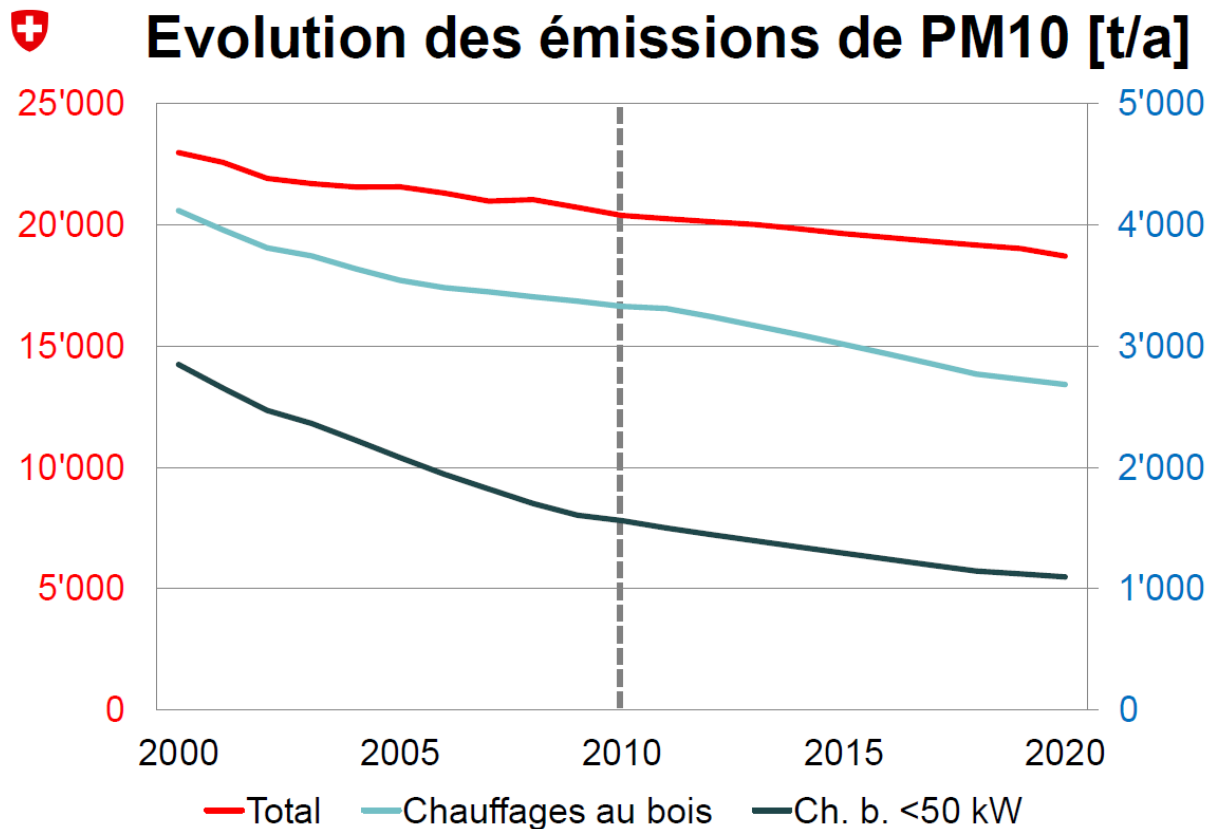


# Quelques notions techniques à connaître

## Emissions directes de PM 10 en 2010 en Suisse [t/a]



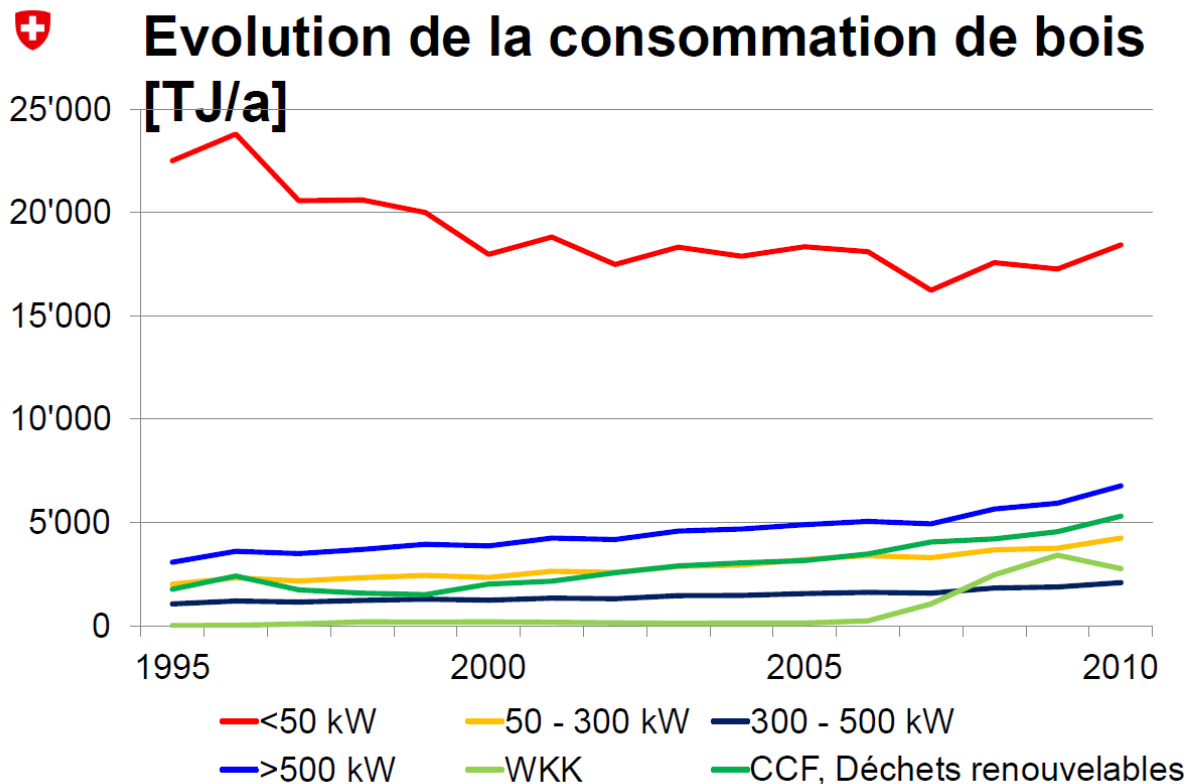
# Quelques notions techniques à connaître



=> Les petites installations ont de meilleures performances qu'avant

=> Elles disparaissent au profit de plus grandes

# Quelques notions techniques à connaître



=> Les petites installations ont de meilleures performances qu'avant

=> Elles disparaissent au profit de plus grandes



# Quelques notions techniques à connaître

**Les fumées, réel danger ou peur pas forcément fondée ?**

**Nécessité dans certains cas de filtres**

**C'est quoi un filtre ?**

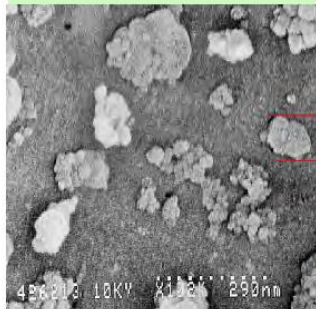
**Pourquoi filtrer ?**

**Que filtre-t-on?**

# Quelques notions techniques à connaître

## C'est quoi les particules fines ?

Particules fines (PM<sub>10</sub>) = matière solide et gouttelette < 10 micromètre

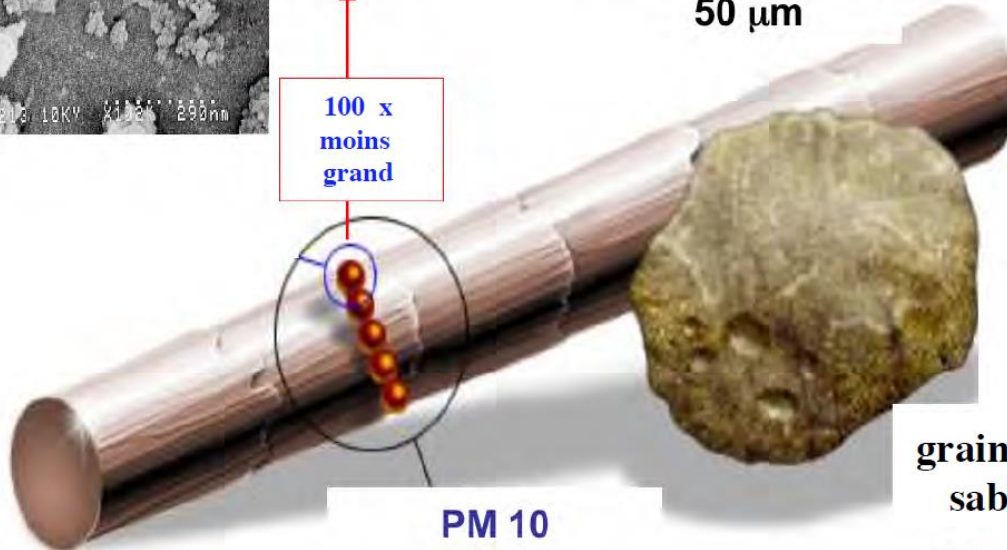


0.1 µm

100 x  
moins  
grand

Aerodynamischer Durchmesser  
Den oberen Atemwegen angegliche Trennkurve:  
< 1 µm wird 100% erfasst  
10 µm wird 50% erfasst  
> 15 µm wird 0% erfasst

cheveu  
50 µm

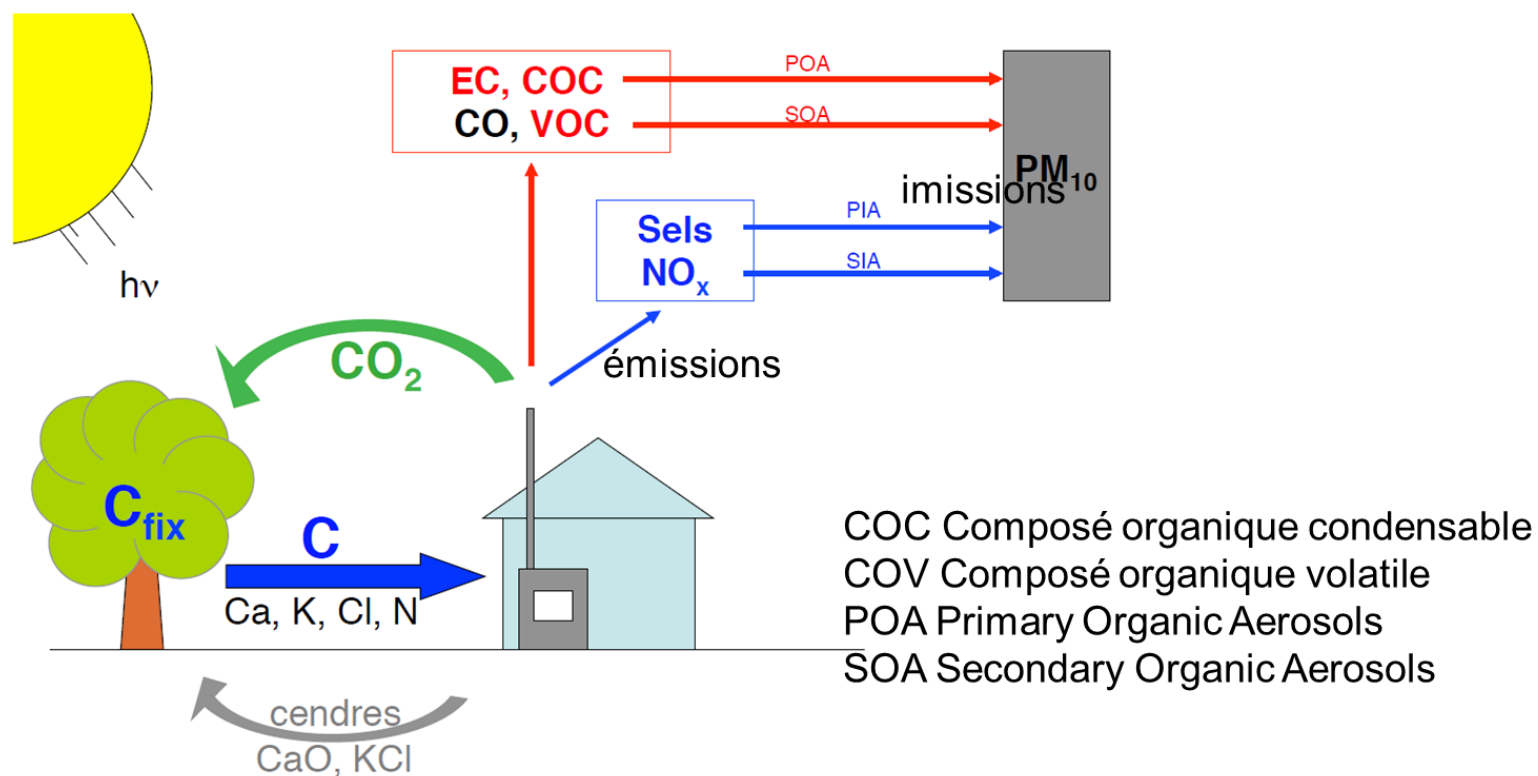


PM 10  
< 10 µm

grain de  
sable  
90 µm

# Quelques notions techniques à connaître

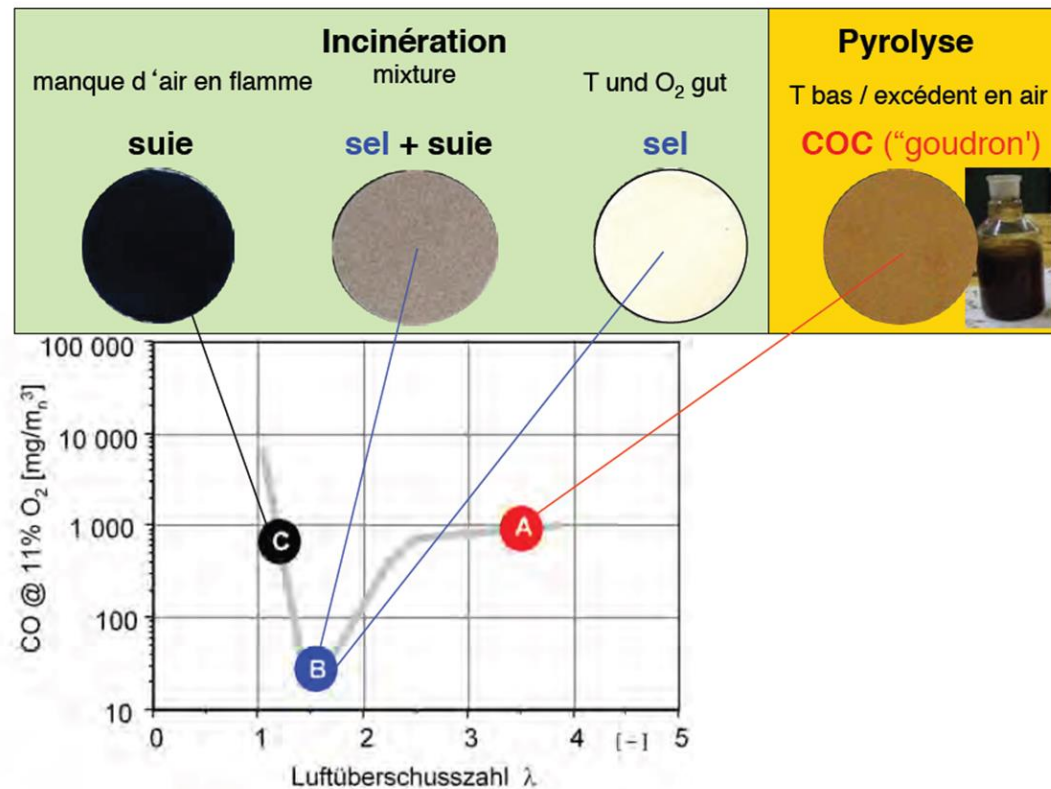
## Particules fines issus de la combustion du bois



# Quelques notions techniques à connaître

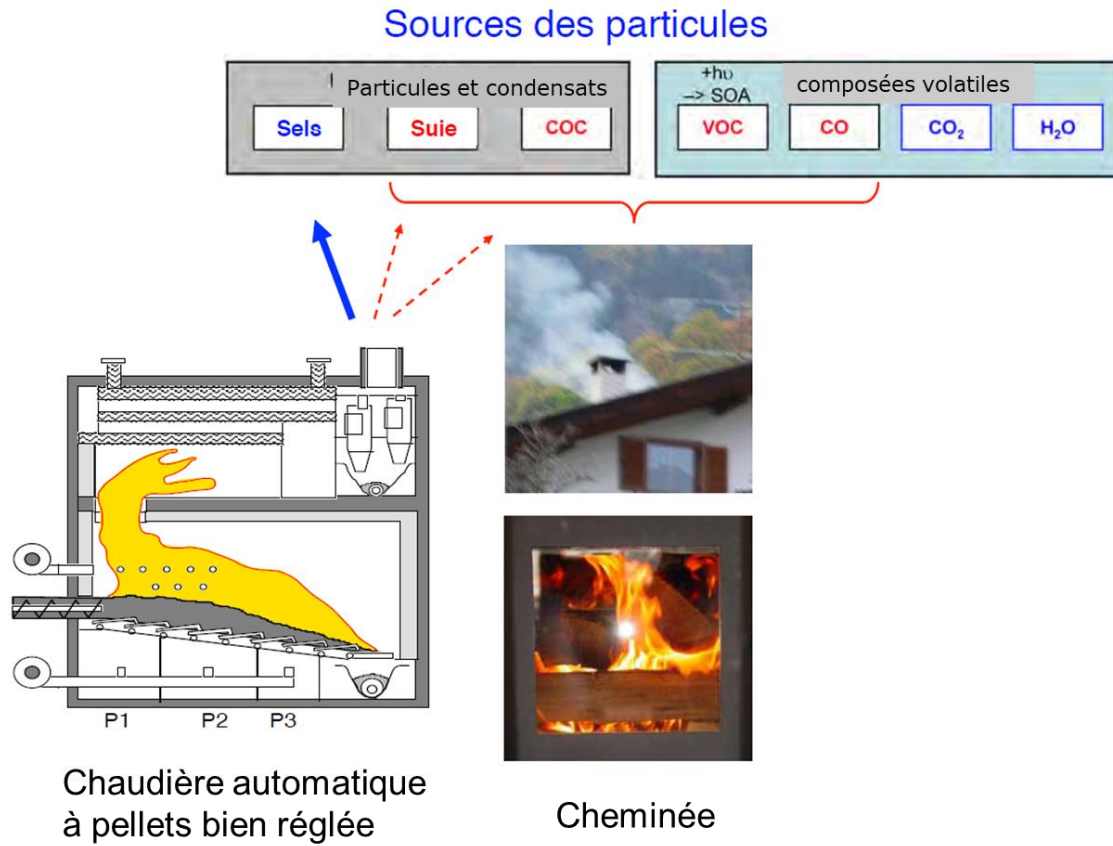
## Sources de particules

### Types de particules



# Quelques notions techniques à connaître






## Sources de particules



# Quelques notions techniques à connaître

## Résumé : Origines et causes

Importance pour la santé

	exemple	source	passé en poumon (PM <sub>2.5</sub> )	toxicité	cancérogène
Sel		cendres	oui	bas	
Suie		incinération incomplète	oui		
COC (goudron)		incinération incomplète	oui		



# Quelques notions techniques à connaître

## Représentation du niveau d'émission

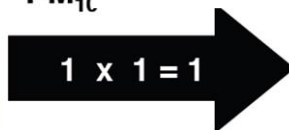
Prenons 1 comme référence les émissions de particules fines  
PM 10 (toxique) d'une voiture diesel au standard Euro 3 sans filtre à particules



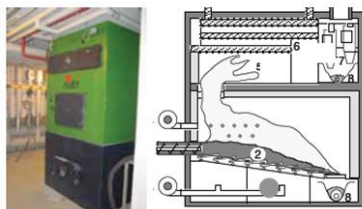
**Suies et goudrons**



**PM<sub>10</sub> Toxicité**



**Suies**



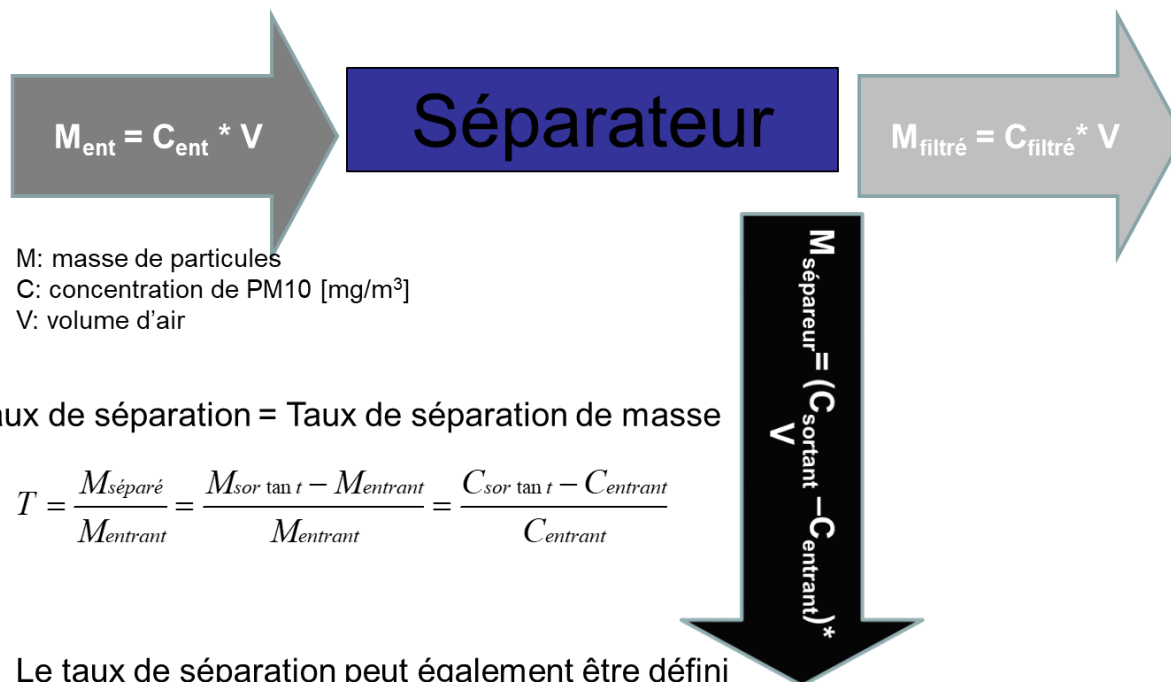
**Sels**



# Quelques notions techniques à connaître

## Comment définir et choisir un filtre

### Définition du taux de séparation



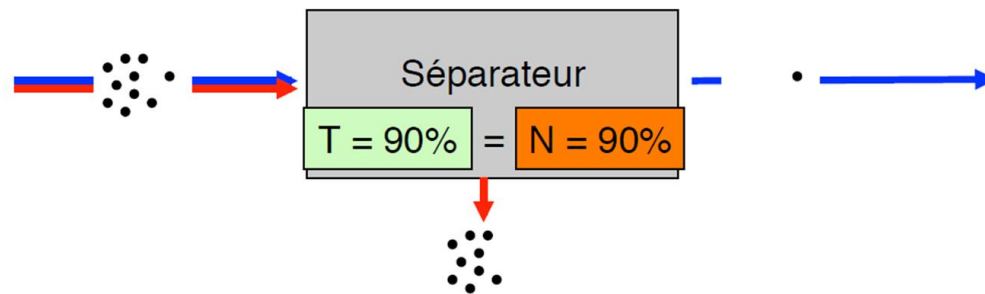
Taux de séparation = Taux de séparation de masse

$$T = \frac{M_{séparé}}{M_{entrant}} = \frac{M_{sor\ tan\ t} - M_{entrant}}{M_{entrant}} = \frac{C_{sor\ tan\ t} - C_{entrant}}{C_{entrant}}$$

Le taux de séparation peut également être défini sur une distribution de particules limitée on l'appelle taux de séparation fractionnelle Il en général définit pour une taille de particules moyenne (par exemple T(2.5 µm))

# Quelques notions techniques à connaître

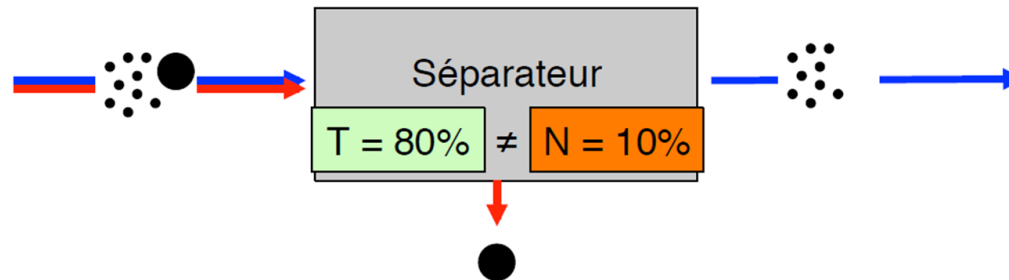
Taux de séparation : exemple



T: Taux de séparation (massique)  
N: Réduction du nombre de particules

# Quelques notions techniques à connaître

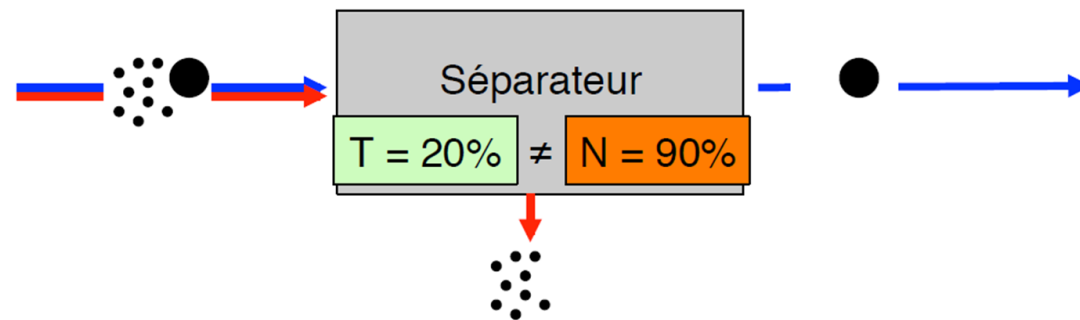
Taux de séparation : exemple



T: Taux de séparation (massique)  
N: Réduction du nombre de particules

# Quelques notions techniques à connaître

Taux de séparation : exemple

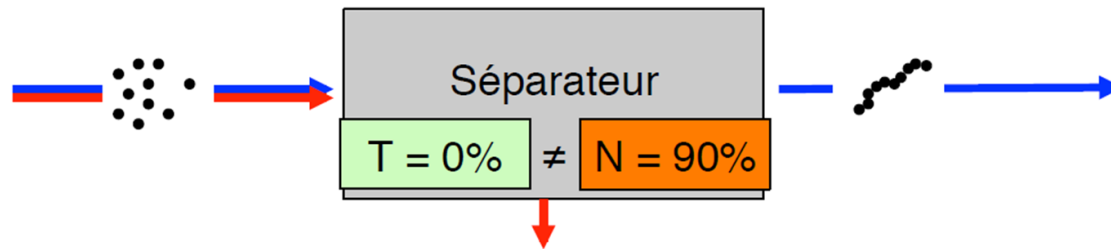


T: Taux de séparation (massique)

N: Réduction du nombre de particules

# Quelques notions techniques à connaître

## Taux de séparation : exemple



T: Taux de séparation (massique)

N: Réduction du nombre de particules

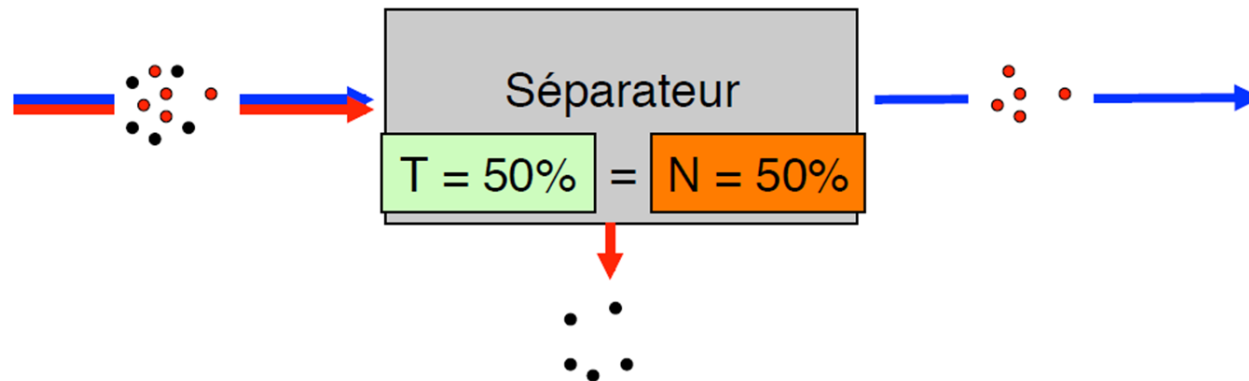
Le taux de séparation n'est donc pas équivalent à la réduction du nombre de particules

Attention donc de toujours préciser de quoi on parle et de ce que l'on mesure



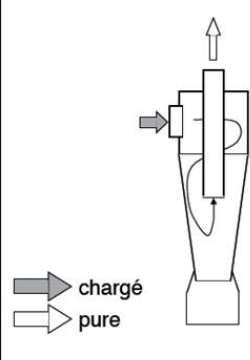
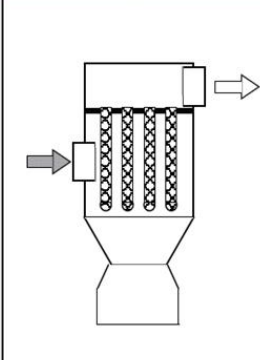
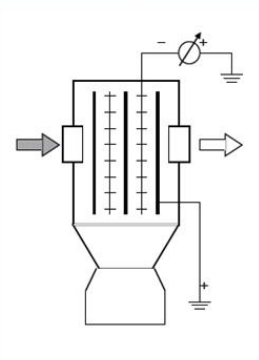
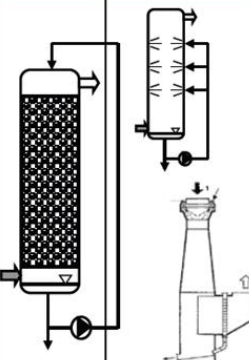
# Quelques notions techniques à connaître

Taux de séparation : exemple



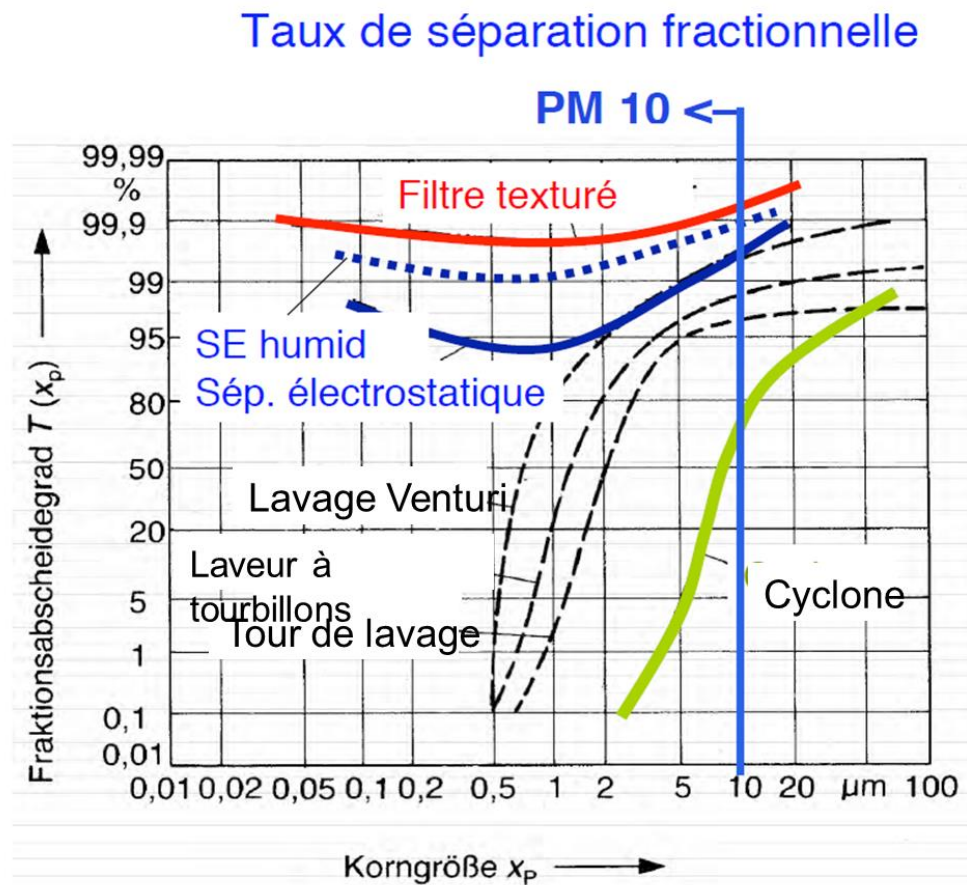
# Quelques notions techniques à connaître

## Les différents types de séparateurs

Séparateurs des particules épaisses		Séparateurs des particules fines					
1. séparateurs gravimétriques		2. filtres		3. séparateurs électrostatiques (≠ filtres !)		4. laveurs humides + séparateurs gravimétriques	
> 50 $\mu\text{m}$	> 5 $\mu\text{m}$	> 0.01 $\mu\text{m}$		> 0.01 $\mu\text{m}$		> 1 $\mu\text{m}$	
gravitation	force centrifuge	filtre accumulant / filtration profonde dans le filtre	filtre décomaté filtration à la surface	sec	humide	à travers un liquide	gouttelette tracées
chambre de sédimentation	<b>cyclon</b>	filtre à particule épaisse, filtre à matière en suspension	<b>Filtres texturés</b>	forme plaques (tubes)	forme plaques ou tubes	<b>laveur de colonne</b> avec planchers ou corps	laveur grandissement, <b>venturi</b> et courant radial
							

# Quelques notions techniques à connaître

## Performances des différents types de séparateurs



# Quelques notions techniques à connaître

## Conclusion traitement des fumées

Seul un système complet de qualité peut garantir le respect des normes d'émissions.

La combustion est tout aussi importante que le traitement des fumées

Il existe des chaudières avec filtration intégrée, mais attention à la hauteur des locaux

=> **un seul fournisseur pour la chaudière et le système de traitement des fumées est préférable**

# Ordre de grandeur économique à connaître

# Ordre de grandeur économique

## Subventions

### Subventions allouables

- De nombreuses subventions existent (se renseigner)
  - Cantonales
  - Communales
  - ....
- Conditions particulières
  - Correspondre au QM Chauffage au bois (selon puissance)
  - Récupération presque toujours nécessaire (cheminée, poêle)





# Ordre de grandeur économique

## Prix du combustible attrayant

Bûches



~ 4 cts/kWh

Pellets



~ 8 cts/kWh

Plaquettes



~ 5 cts/kWh

# Ordre de grandeur économique

## Coûts d'investissement plus élevés

Production de chaleur, avec accumulateur et silo  
(sans génie civil, sans cheminée, **sans** filtre)

Poêle à bûches 6 [kW]	2'000 – 4'000 CHF
Poêle à bûches avec récupération 8 [kW]	8'000 – 10'000 CHF
Poêle à pellets 8 [kW]	3'000 – 5'000 CHF
Poêle à pellets avec récupération 8 [kW]	9'000 – 11'000 CHF
Chaudière à bûches 30 [kW]	25'000 – 35'000 CHF
Chaudière à bûches automatique 45 [kW]	50'000 – 60'000 CHF
Chaudière à pellets 30 [kW]	30'000 – 40'000 CHF
Chaudière à pellets 70 [kW]	50'000 – 60'000 CHF
Chaudière à pellets 100 [kW]	70'000 – 80'000 CHF
Chaudière à pellets 300 [kW]	150'000 – 170'000 CHF

# Ordre de grandeur économique

## Coûts d'investissement plus élevés

Production de chaleur, avec accumulateur et silo **avec** filtre  
(sans génie civil, sans cheminée)

Chaudière à plaquettes 800 [kW]

450'000 – 550'000 CHF

Chaudière à plaquettes 1'500 [kW]

600'000 – 800'000 CHF

# Ordre de grandeur économique

## Coûts de maintenance plus élevés

- Entretien courant
  - Ramonage
  - Entretien silo (pneumatique ou désileur / vis sans fin)
  - Déфлекteur chaudière (pellets)
  - Cendres

Un combustible maîtrisé optimise le fonctionnement de l'installation !

Les productions à bois sont maîtrisées, plus fiables et leur maintenance atténué.

Le coût annuel demeure supérieur à une autre production, mais tout à fait raisonnable.

# Ordre de grandeur économique

## Résumé de la production à bois

- Coût installation
  - Généralement plus élevé
- Coûts de maintenance
  - Coûts de maintenance plus élevé
- Energie
  - Coûts de combustible très intéressant
  - Parfois, valorisation de sous-produits à disposition

**Avec une consommation suffisante, la production est rentable !**

**=> EFFET DE SEUIL**

# Ordre de grandeur économique

## Pellets ou plaquettes ?

### Coûts d'investissement

Attention aux effets de seuils

Pellets moins cher que plaquettes (silo plus petit, système d'alimentation, électrofiltre pas toujours nécessaire)

### Coûts de maintenance

Pellets moins cher que plaquettes

silo plus petit, système d'alimentation, électrofiltre pas toujours nécessaire

Les centrales de chauffage nécessite des contrats d'entretien globaux

### Coûts de combustibles

Plaquettes : ~5 cts/kWh

Pellets ~8 cts/kWh

### Coûts globaux

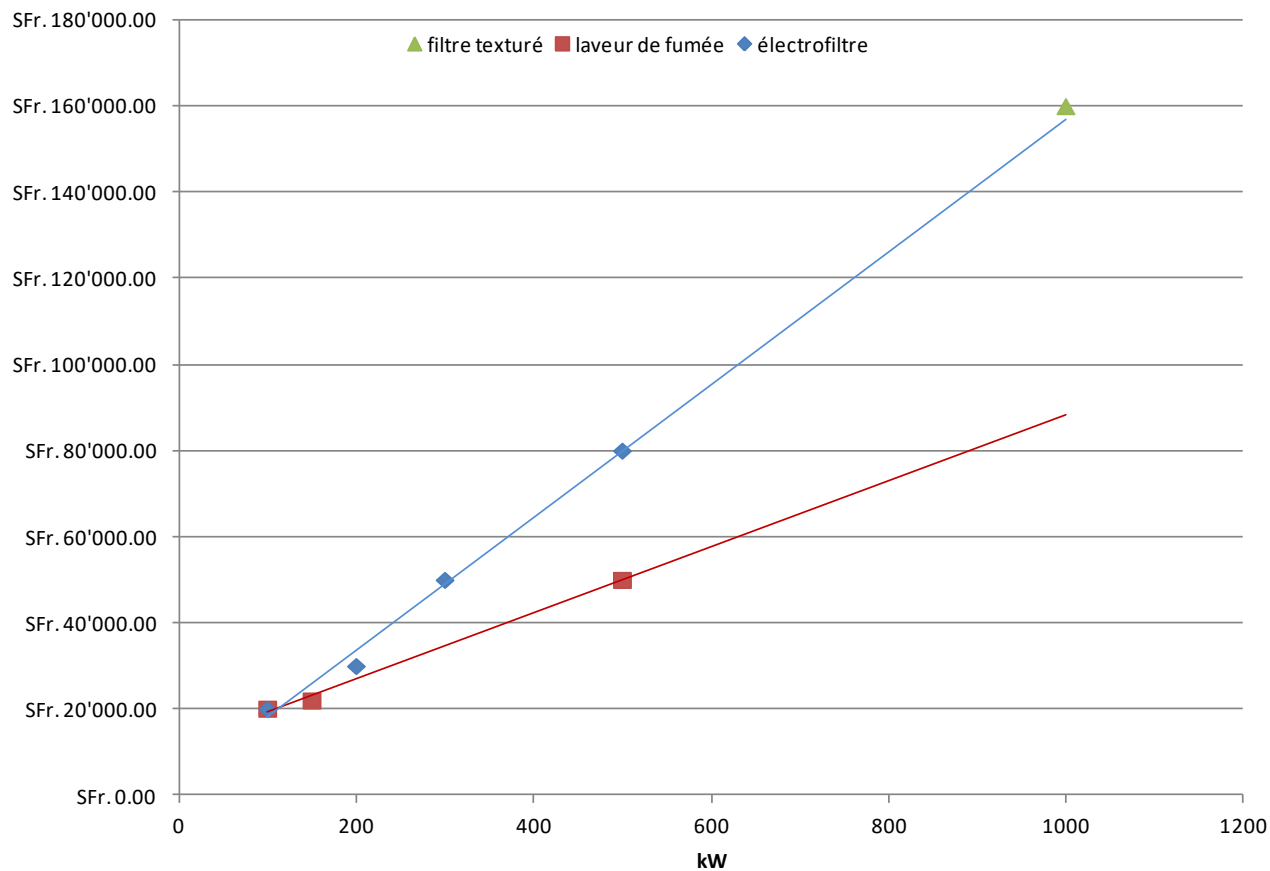
Le meilleur marché selon la puissance...(attention, chaque cas particulier nécessite une analyse particulière)





# Ordre de grandeur économique

## Systèmes de filtrations, prix indicatifs



# Ordre de grandeur économique

## Coûts d'une cheminée

Seulement tubulure et raccordement (sans le génie civil)

- Villa 4'000 – 6'000 CHF
- Immeuble de 4 étages et SS 9'000 – 14'000 CHF

**Merci pour votre attention !**

*The End*