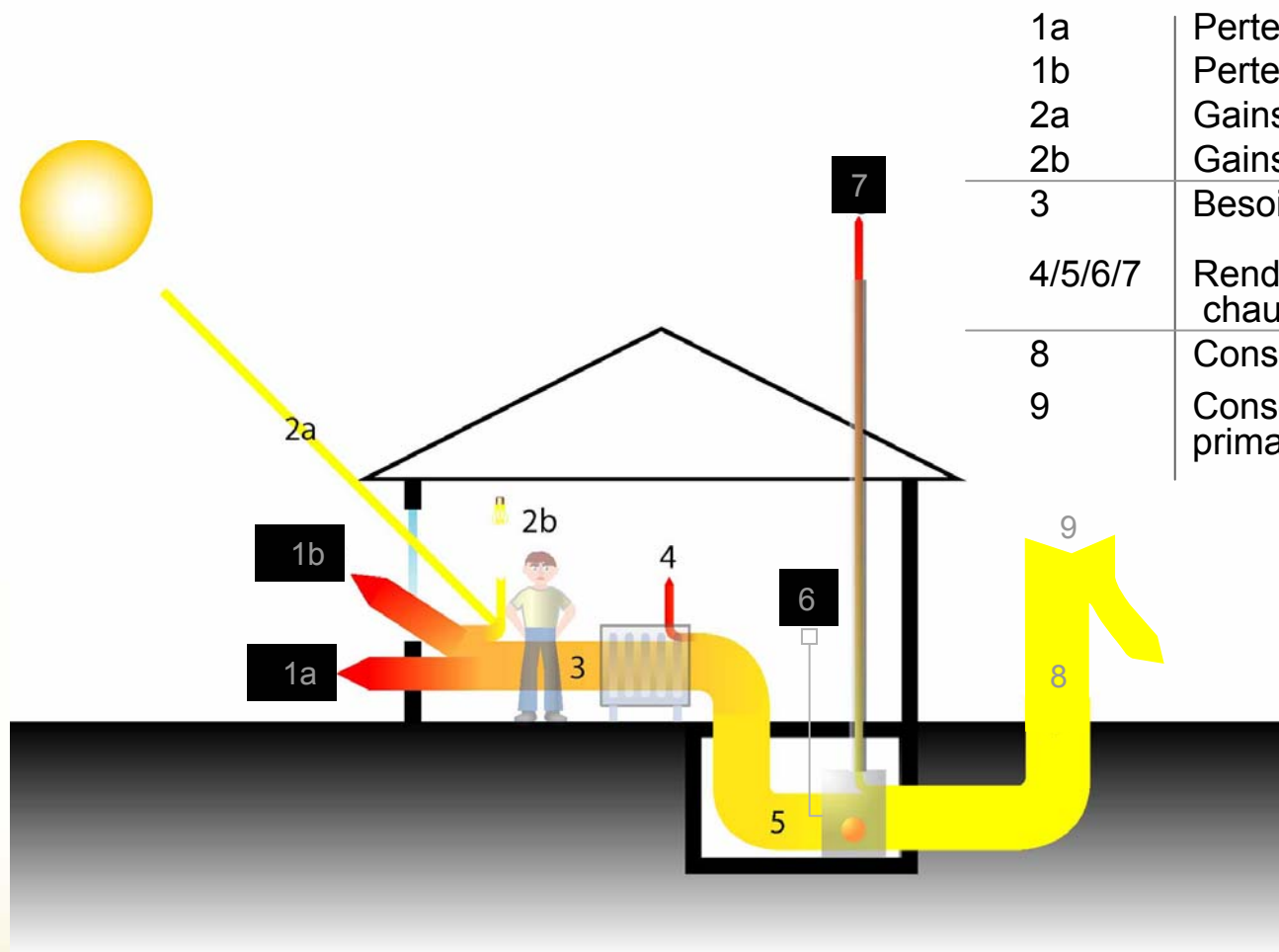


# Comportement énergétique d'une installation

1. Pertes possibles dans une installation de chauffage
2. Production
3. Distribution
4. Émission
5. Régulation



# La consommation d'énergie de chauffage



1a	Pertes par transmission
1b	Pertes par ventilation
2a	Gains solaires
2b	Gains internes
3	Besoins nets en énergie
4/5/6/7	Rendement du système de chauffage
8	Consommation d'énergie finale
9	Consommation en énergie primaire

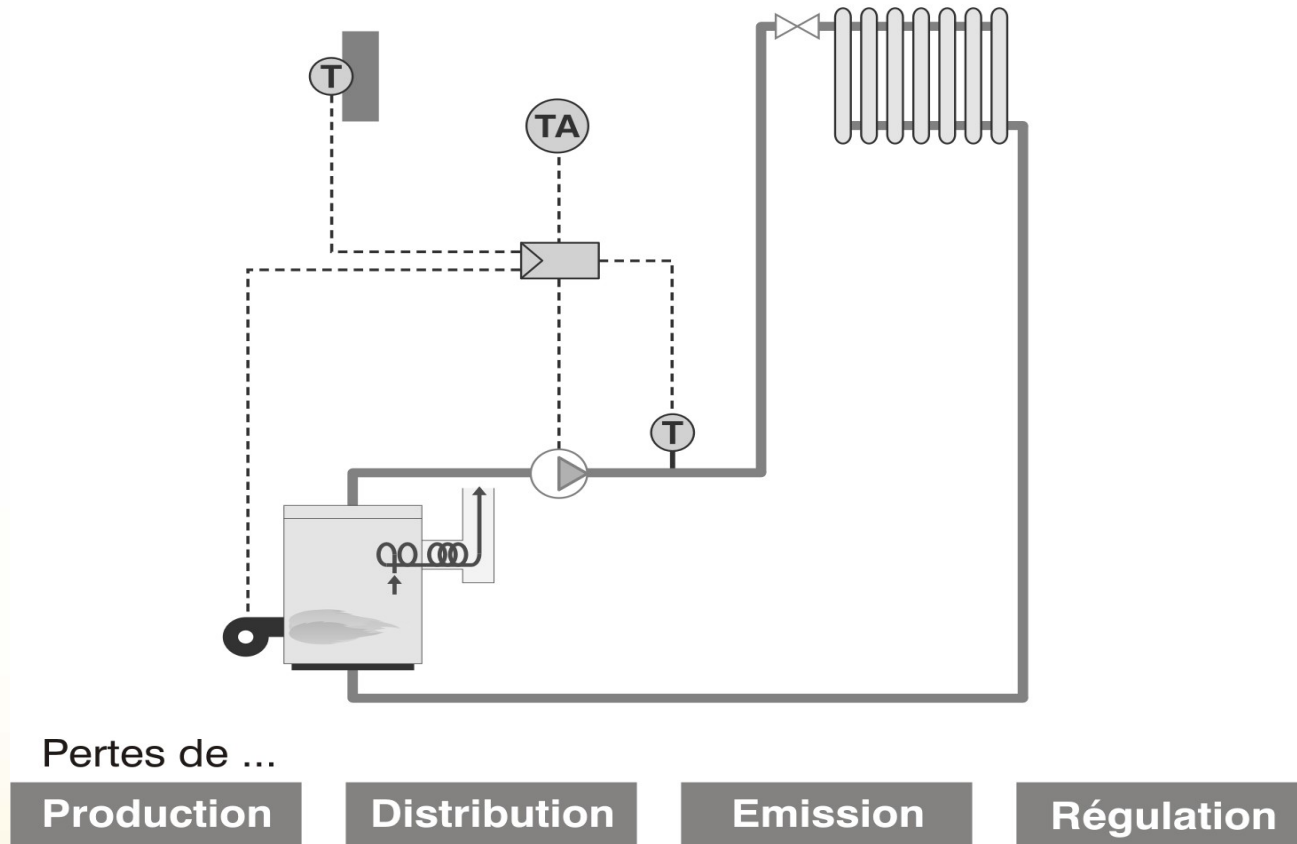


# Sommaire

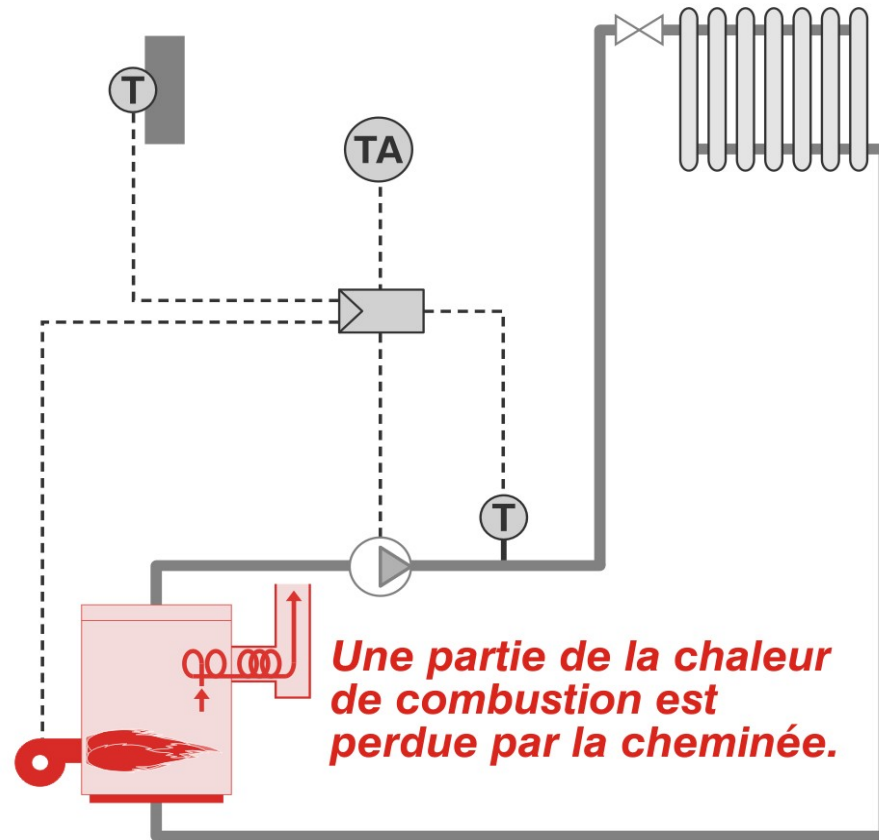
- 1. Pertes possibles dans une installation de chauffage**
2. Production
3. Distribution
4. Émission
5. Régulation



# Installation de chauffage à eau chaude ?



# Pertes à la production ?



Pertes de ...

**Production**

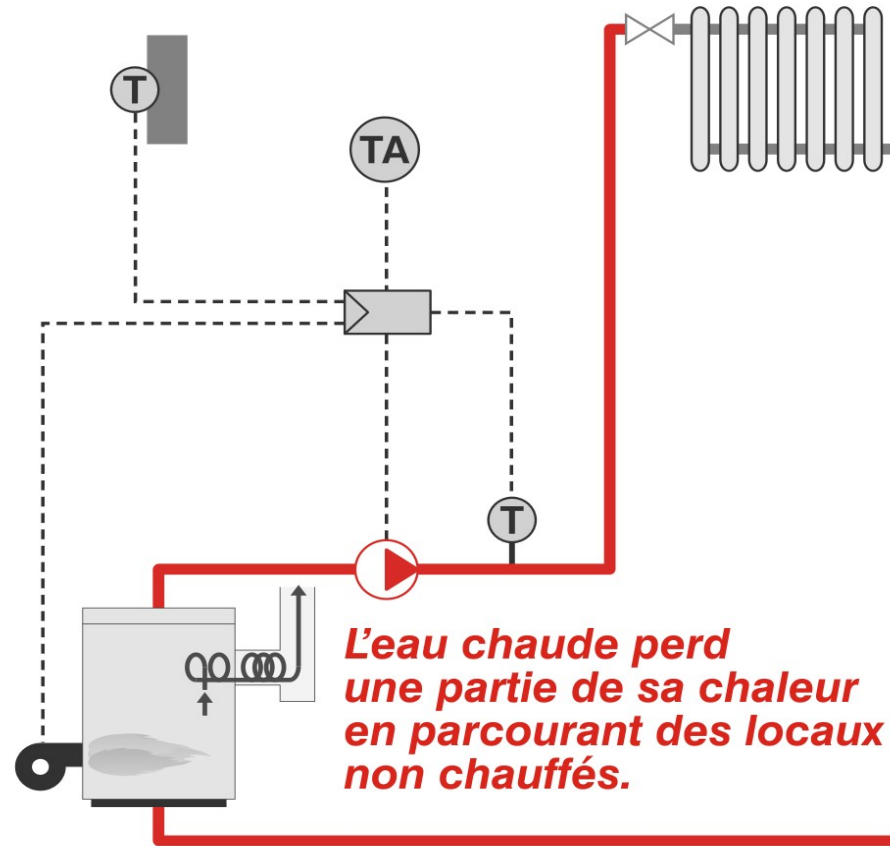
Distribution

Emission

Régulation



# Pertes à la distribution ?



Pertes de ...

Production

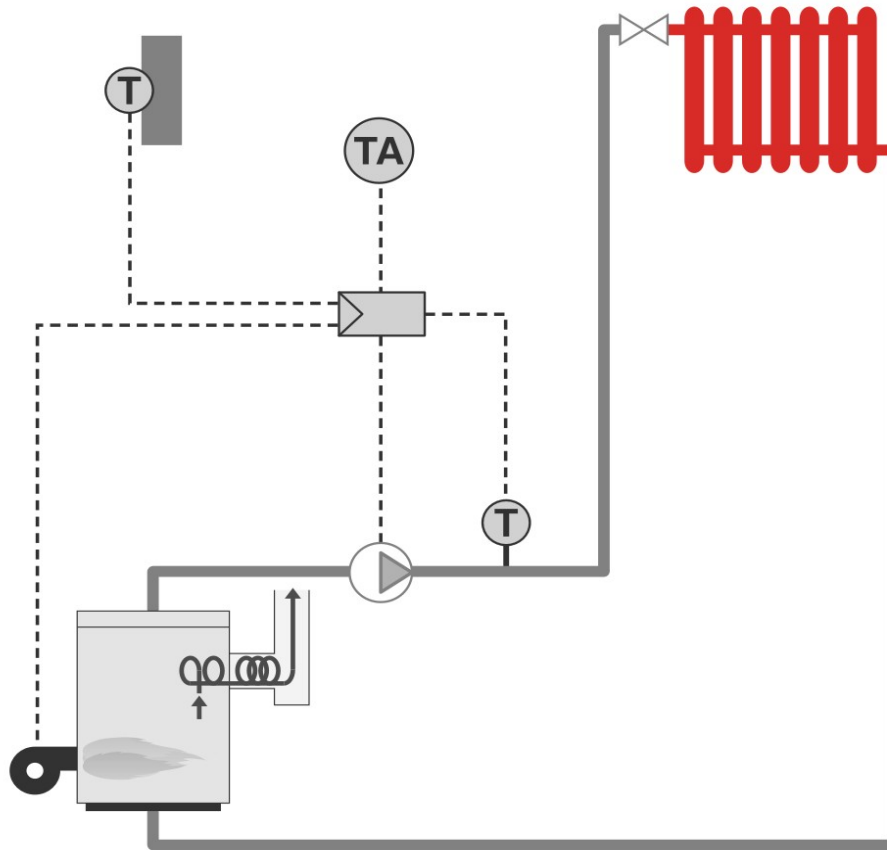
**Distribution**

Emission

Régulation



# Pertes à l'émission ?



*Une partie de la chaleur émise est directement perdue le long des allèges, des vitrages.*

Pertes de ...

Production

Distribution

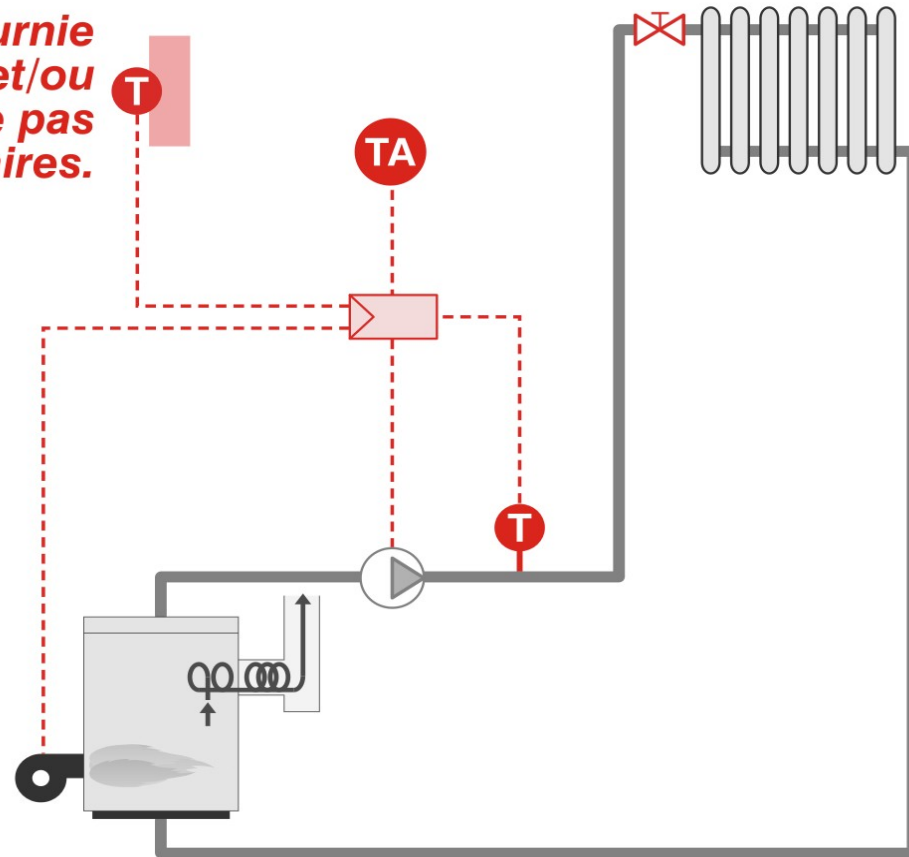
Emission

Régulation



# Pertes à la régulation ?

*De la chaleur est fournie à des moments et/ou avec une puissance pas toujours nécessaires.*



Pertes de ...

**Production**

**Distribution**

**Emission**

**Régulation**





# Ordres de grandeur

Type d'installation	$\eta_{\text{global}} = \eta_{\text{production}} \times \eta_{\text{distribution}} \times \eta_{\text{émission}} \times \eta_{\text{régulation}}$				
	$\eta_{\text{production}} /$ saisonnier	$\eta_{\text{distribution}}$	$\eta_{\text{émission}}$	$\eta_{\text{régulation}}$	$\eta_{\text{global}}$
Ancienne chaudière surdimensionnée, longue boucle de distribution	75 .. 80 %	80 .. 85 %	90 .. 95 %	85 .. 90 %	46 .. 58 %
Ancienne chaudière bien dimensionnée, courte boucle de distribution	80 .. 85 %	90 .. 95 %	95 %	90 %	62 .. 69 %
Chaudière haut rendement, courte boucle de distribution, radiateurs isolés au dos, régulation par sonde extérieure, vannes thermostatiques, ...	90 .. 93 %	95 %	95 .. 98 %	95 %	77 .. 82 %

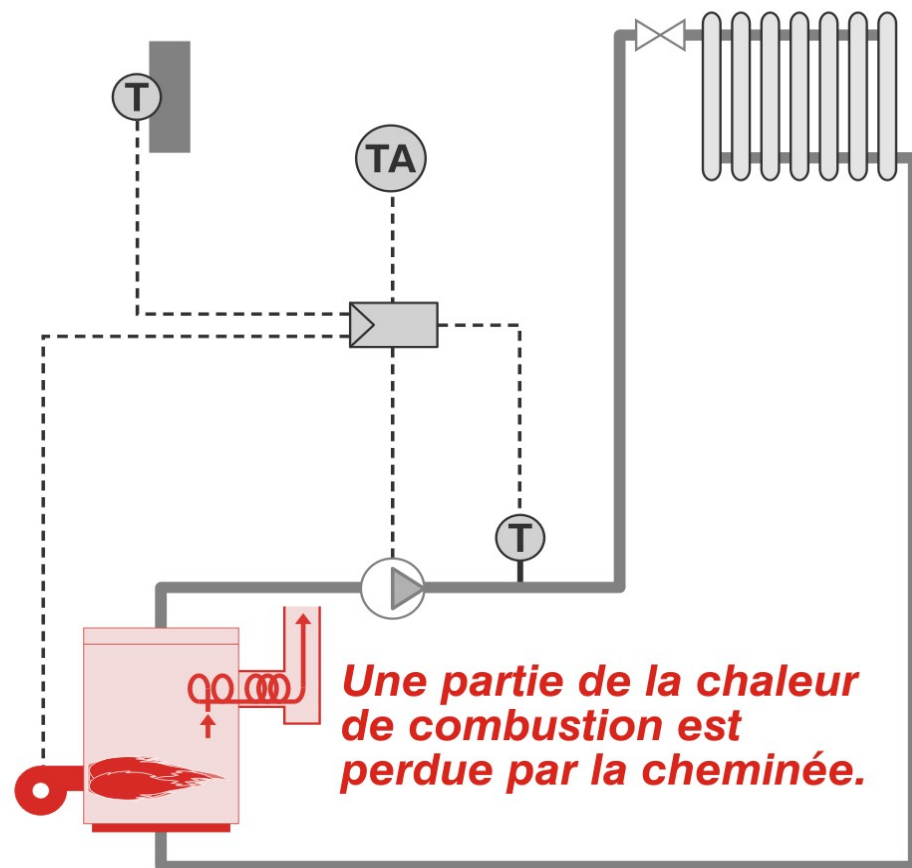


# Sommaire

1. Pertes possibles dans une installation de chauffage
- 2. Production**
3. Distribution
4. Émission
5. Régulation



# Pertes à la production ?



Pertes de ...

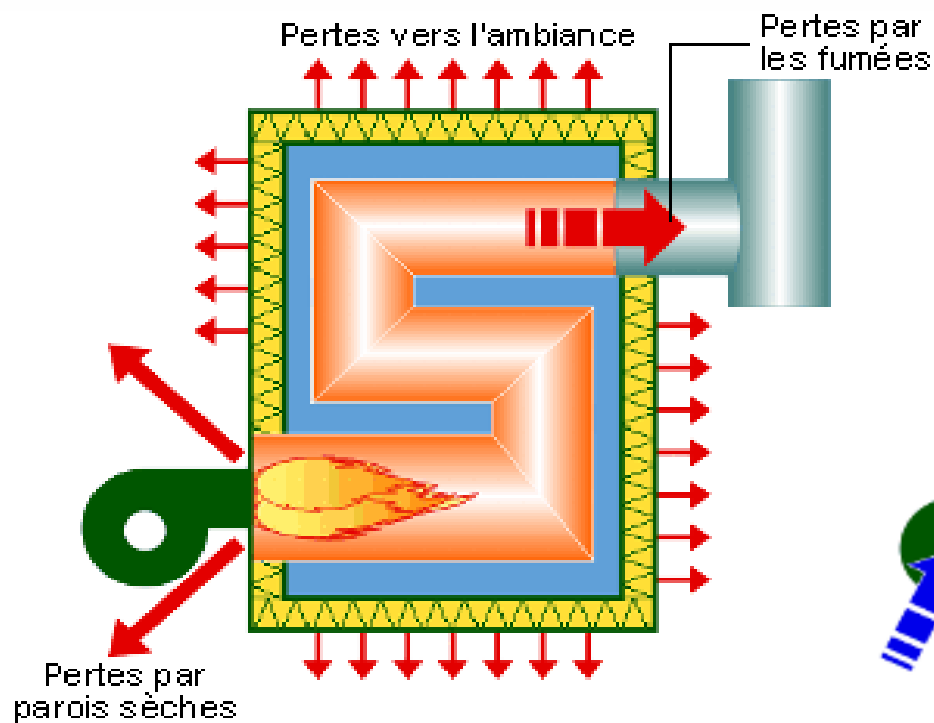
**Production**

Distribution

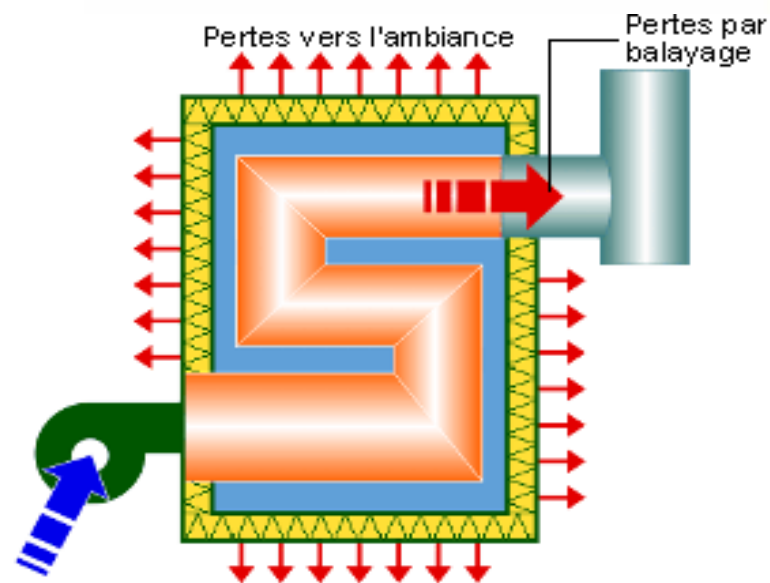
Emission

Régulation

# Pertes dans une chaudière



Quand le brûleur fonctionne



Quand le brûleur est à l'arrêt

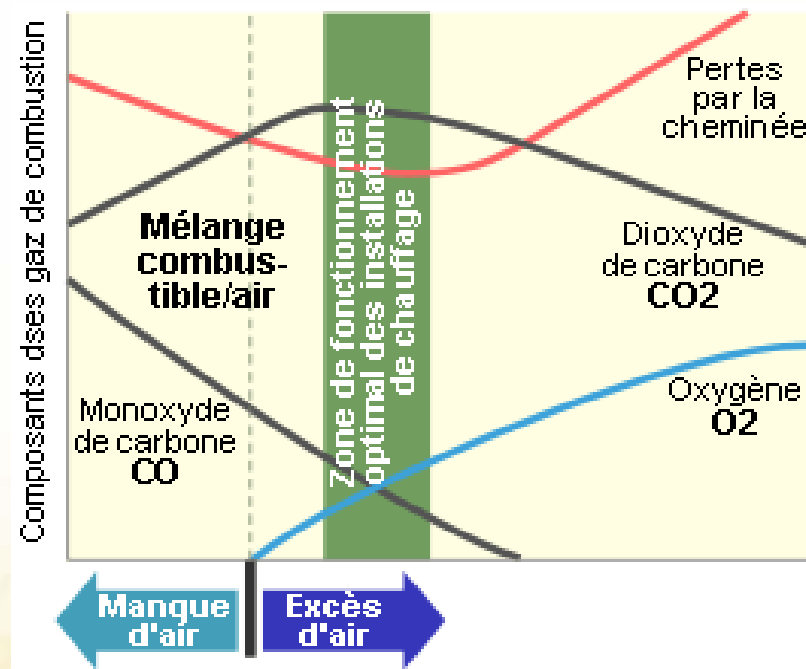


# Equation chimique de combustion



- La combustion produit du  $\text{CO}_2$  ;
- La combustion du fuel produit plus de  $\text{CO}_2$  que la combustion du gaz ( $x/y > 1/4$ ) ;
- La combustion de la biomasse présente un bilan  $\text{CO}_2$  nul.

$\text{CO}_2$  de l'atmosphère  $\rightarrow$  Biomasse  $\rightarrow$   
 $\text{CO}_2$  émis à la combustion



# De quoi dépend la performance d'une chaudière, en fonctionnement ?

$$\text{Pertes par les fumées} = K \times (\text{T}_{\text{fumée}} - \text{T}_{\text{ambiante}}) / \% \text{CO}_2$$

T fumée : qualité de l'échangeur, taille de l'échangeur

Possibilité de condenser

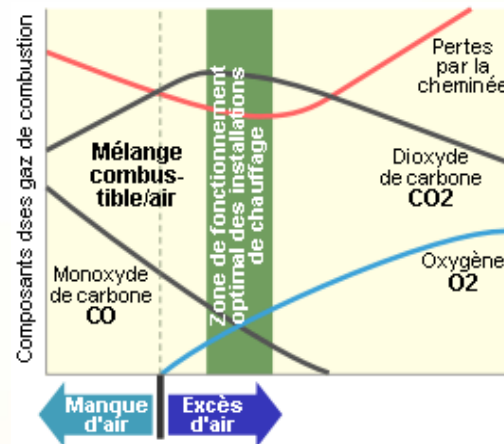
(Tirage de la cheminée)

(Encrassement)

(Puissance du brûleur)

%CO<sub>2</sub> : excès d'air

Réglage d'usine, par le chauffagiste, qualité de la modulation du brûleur





# De quoi dépend la performance d'une chaudière, à l'arrêt ?

Pertes à l'arrêt =  $\alpha_e$  x puissance chaudière x temps d'arrêt

$\alpha_e$  : isolation de la jaquette

- Localisation de la chaudière
- Ouverture du foyer à l'arrêt du brûleur
- Température de fonctionnement

Exemple :  $\alpha_e = 2\%$  pour une chaudière gaz atmosphérique maintenue en température sur son aquastat et  $\alpha_e = 0,7\%$  pour une chaudière gaz atmosphérique basse température commandée par un thermostat d'ambiance

Puissance chaudière et temps d'arrêt : surdimensionnement de la chaudière, surdimensionnement du brûleur



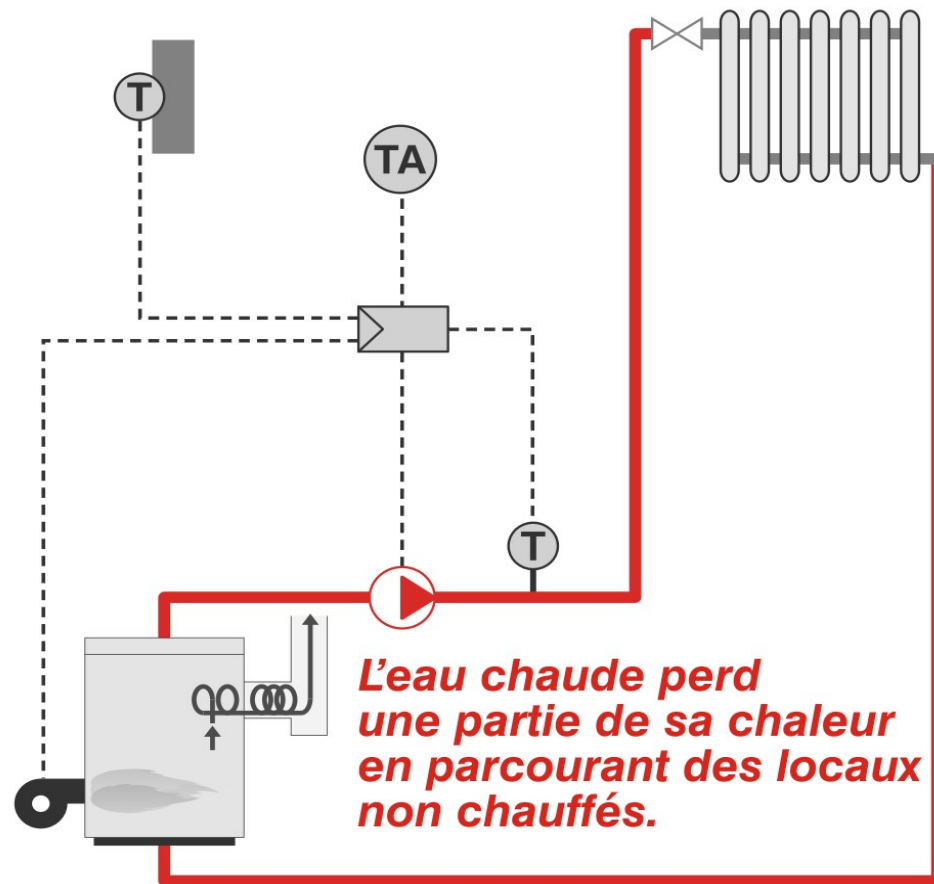


# Sommaire

1. Pertes possibles dans une installation de chauffage
2. Production
- 3. Distribution**
4. Émission
5. Régulation



# Pertes à la distribution ?



Pertes de ...

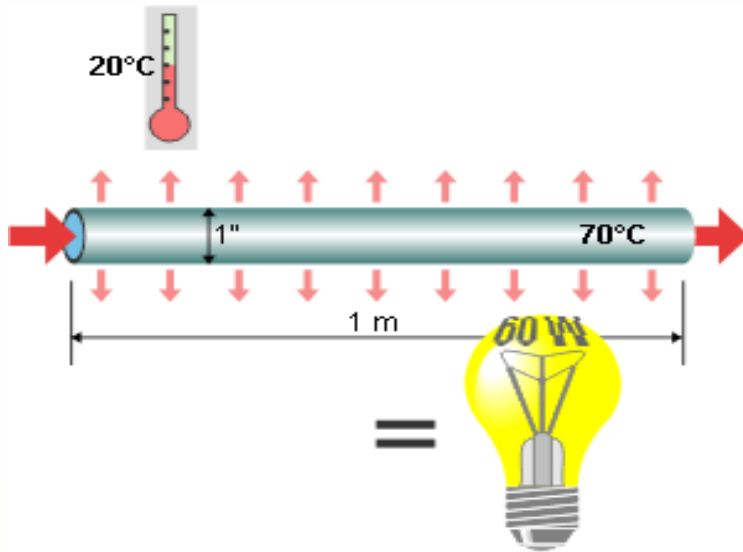
Production

**Distribution**

Emission

Régulation

# Efficacité énergétique de la distribution



Diminuez la température d'eau dans les conduits

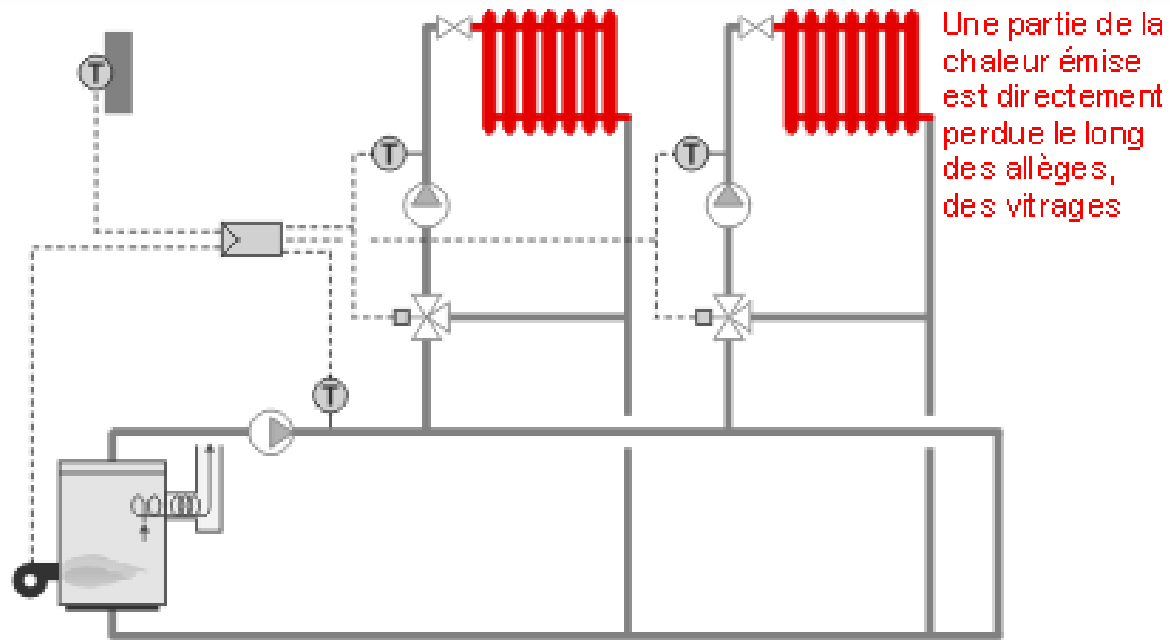


# Sommaire

1. Pertes possibles dans une installation de chauffage
2. Production
3. Distribution
- 4. Émission**
5. Régulation



# Pertes à l'émission ?



Pertes de ...

Production

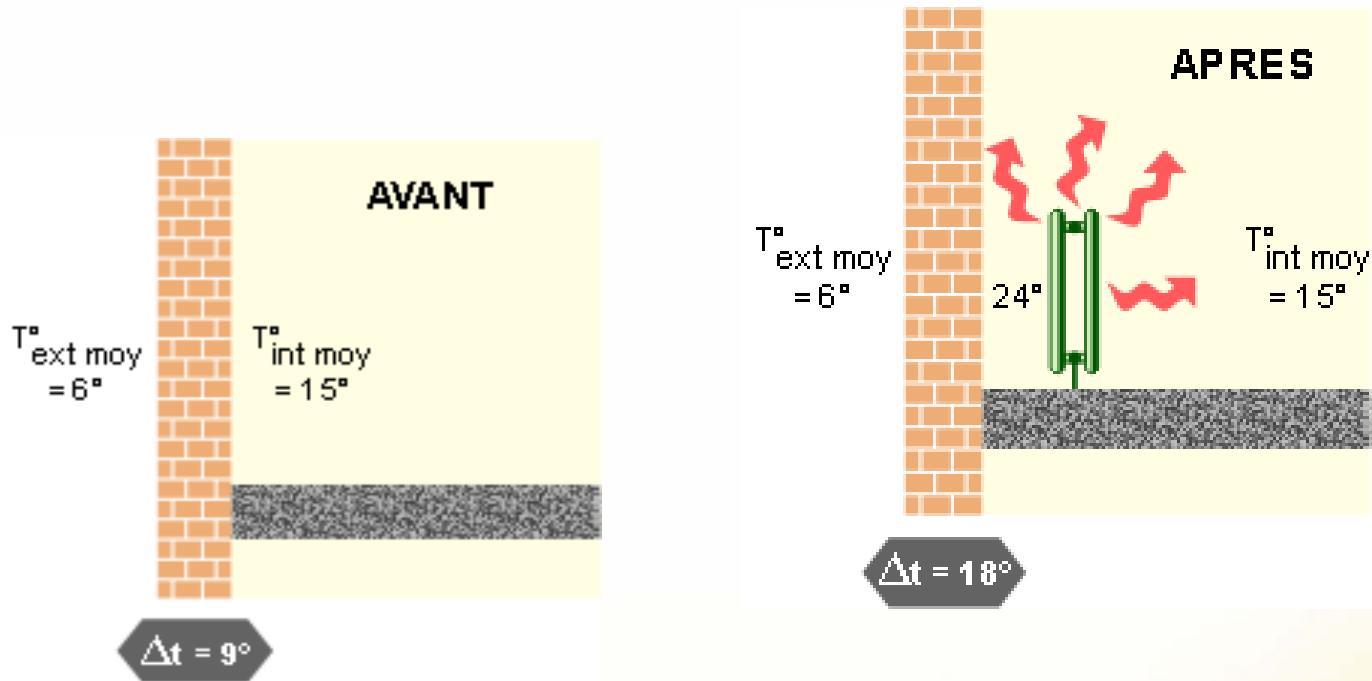
Distribution

Emission

Régulation



# Pertes au dos des radiateurs

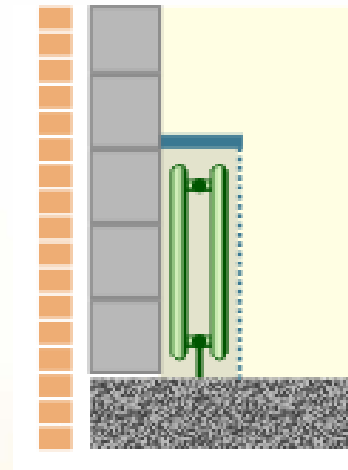


- Les parois chauffées peuvent également être à l'origine de perte d'émission (chauffage par le sol, chauffage par les murs, ...);
- On distingue les parois chauffées délimitant le volume protégé des autres parois (intérieures).





# Pertes au dos des radiateurs





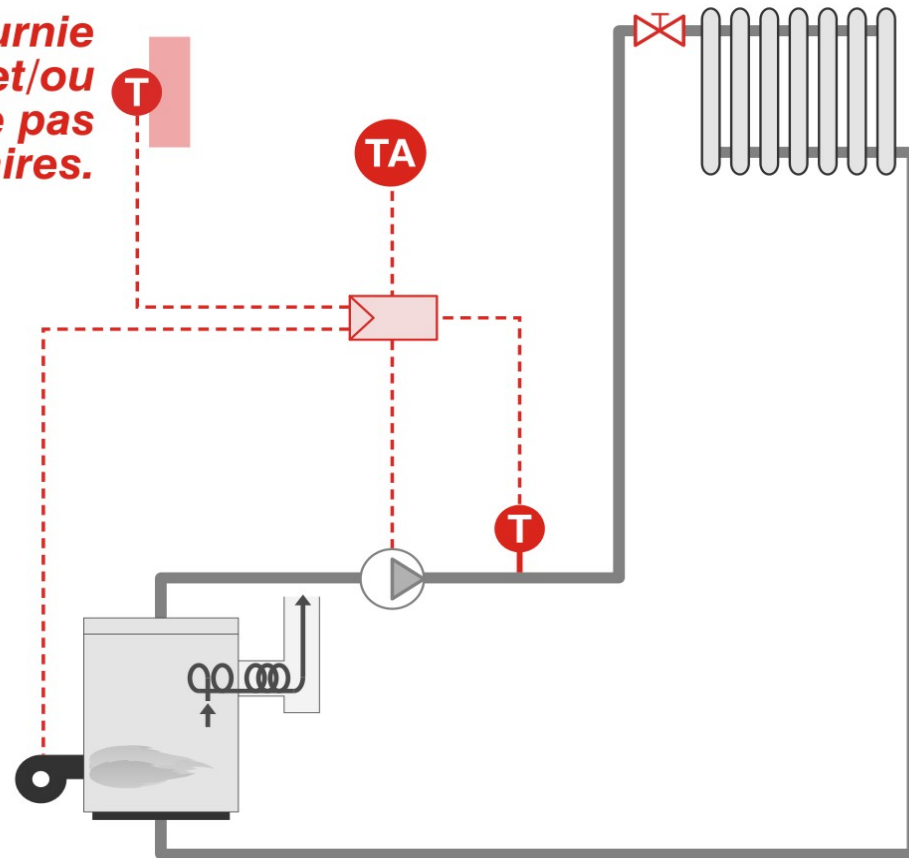
# Sommaire

1. Pertes possibles dans une installation de chauffage
2. Production
3. Distribution
4. Émission
- 5. Régulation**



# Pertes à la régulation ?

*De la chaleur est fournie à des moments et/ou avec une puissance pas toujours nécessaires.*



Pertes de ...

**Production**

**Distribution**

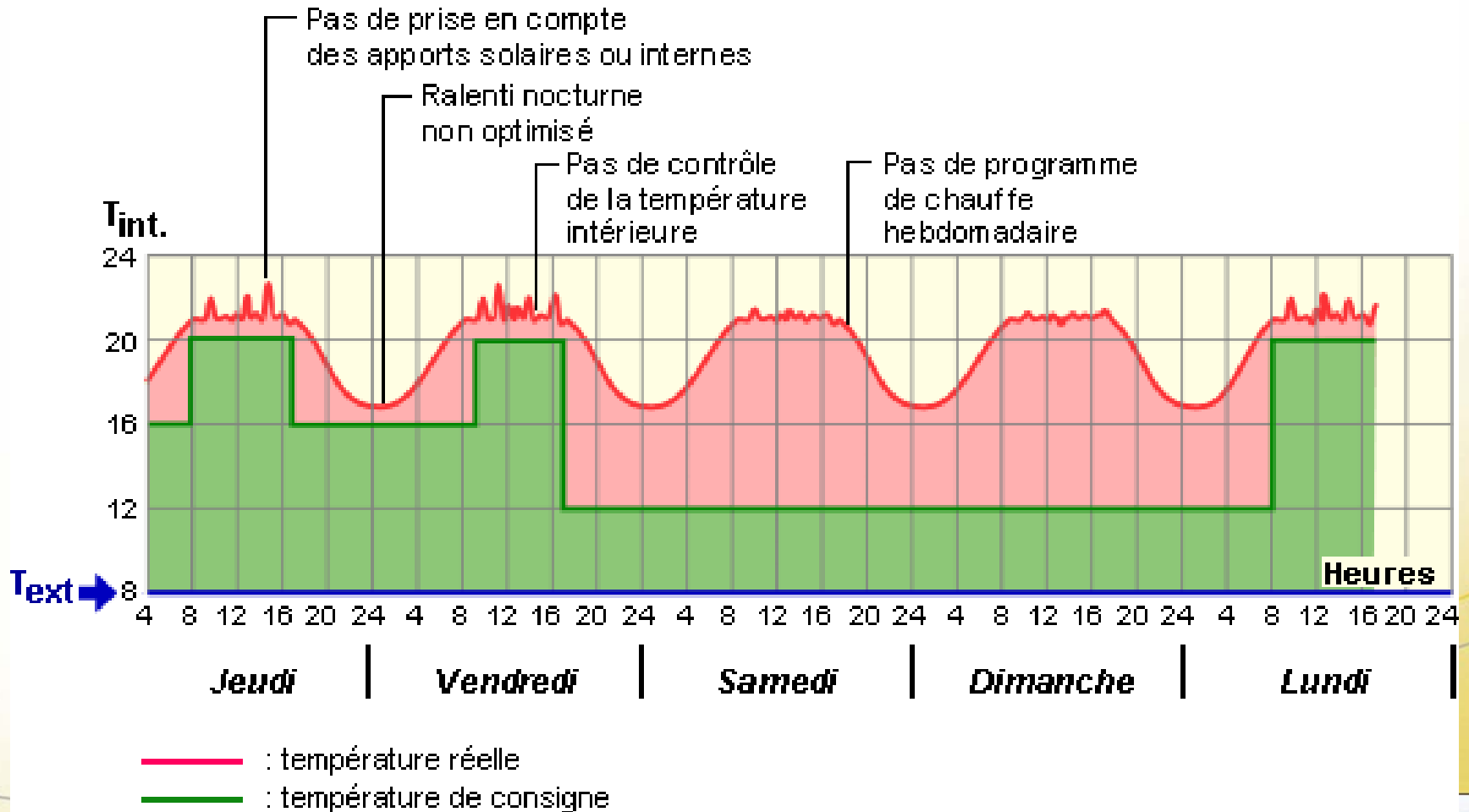
**Emission**

**Régulation**



# Performance de la régulation

?



# Régulation: deux objectifs

- Le respect de la température de consigne diurne
- Abaisser la consigne de température quand le bâtiment est inoccupé (et la nuit ...)



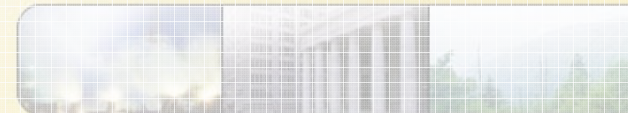
# Impact énergétique de la régulation

**1 °C de trop = 8% de surconsommation  
(par rapport à une consigne de 20°C)**



# Contenu

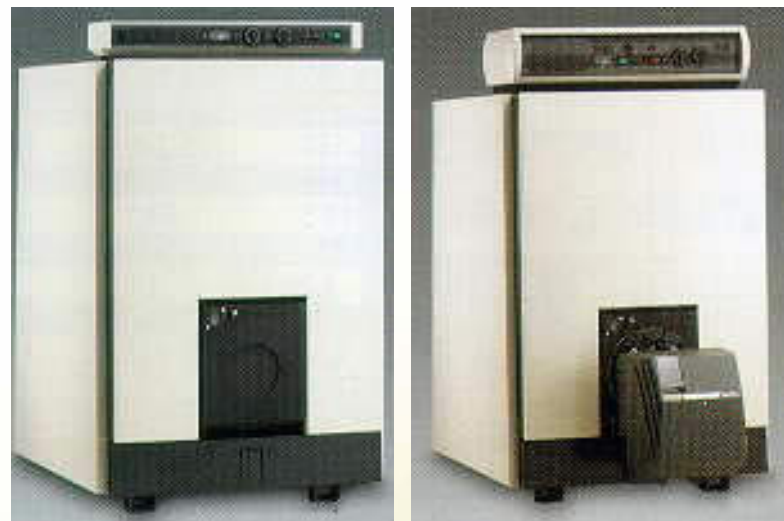
- Production de chaleur : comportement énergétique d'une installation;
- **Systemes courants;**
- Analyse de différentes techniques : effets sur les rendements;
- Nouvelles technologies rentables et disponibles : pompes à chaleur;





# Chaudières à brûleur pulsé (fuel ou gaz)

- Le brûleur est choisi indépendamment de la chaudière ;
- Chaudières dites à foyer pressurisé (déplacement des fumées grâce à la pression du ventilateur) ;
- rendement de combustion performant mais fonction du réglage ;
- pertes à l'arrêt réduites

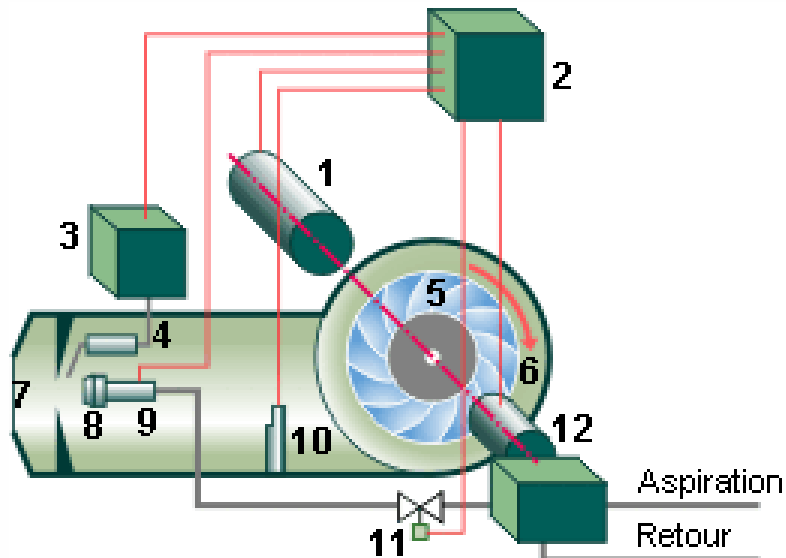


Chaudière à foyer pressurisé  
sans et avec son brûleur





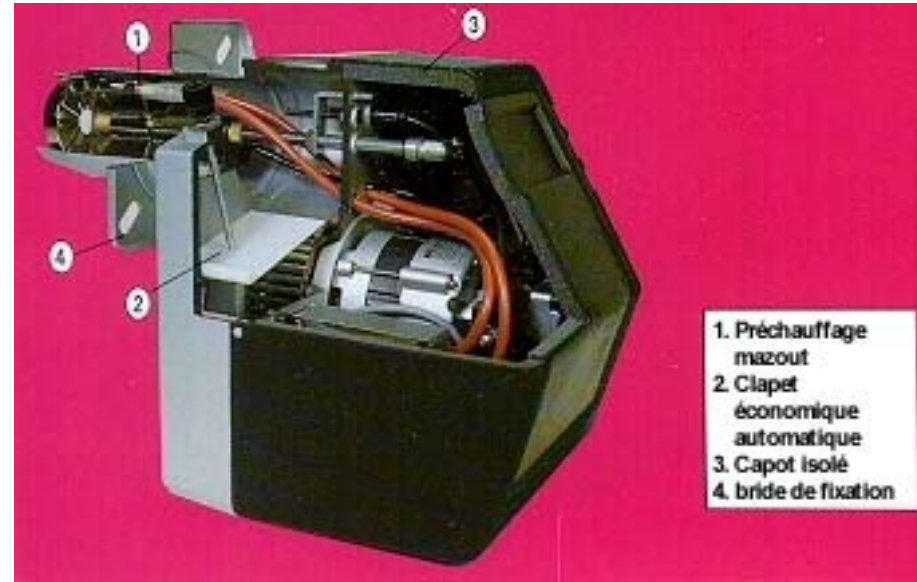
# Chauffage central : brûleur mazout



1. moteur, 2. boîte de contrôle,  
3. transformateur, 4. électrodes,  
5. ventilateur, 6. volute, 7. déflecteur,  
8. gicleur, 9. réchauffeur, 10. cellule  
photosensible, 11. électrovanne, 12. pompe  
et régulateur de pression

$$\eta_{\text{comb}} = 91 \dots 93\%$$

$$\eta_{\text{annuel}} = 86 \dots 93 \%$$

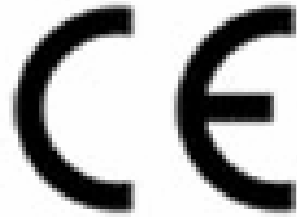


- Brûleur :
  - Marque / type
  - Date de fabrication
  - Clapet d'air
  - Puissance



# Chaudières fuel : labels

- CE



- Optimaz



Ancien logo



Nouveau logo

- Optimaz elite



# Chaudières fuel : labels Optimaz ?

- Performances plus élevées que les exigences légales
  - 93% Optimaz (rendement de combustion)
  - 97.5% Optimaz Elite (eau à 50/30°C)
  - Pertes à l'arrêt max de 0.8%
  - Conformité d'émissions NOx et CO
  - Pertes max du ballon d'ECS: 0.43W/l
  - Qualité du service



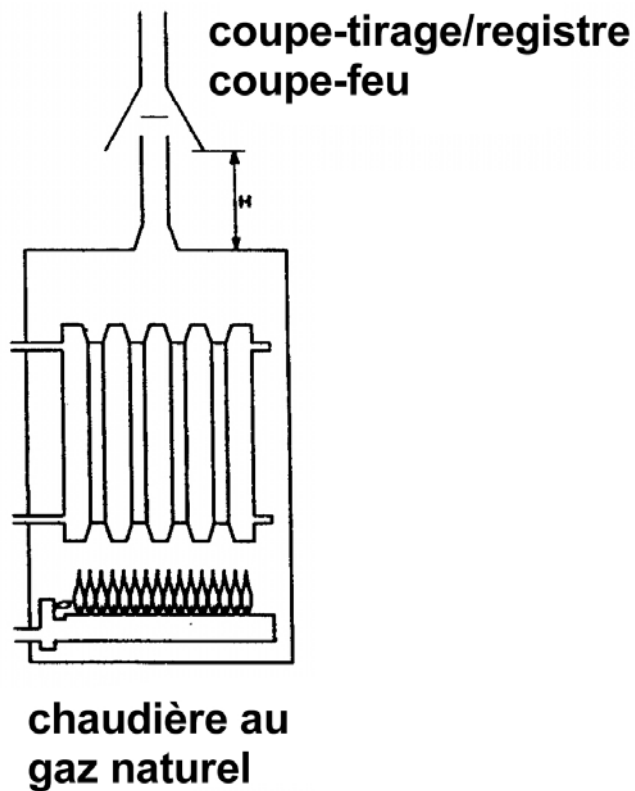
# Chauffage central : Chaudière Gaz

- Grandes caractéristiques des chaudières gaz :
  - À brûleur pulsé
  - à brûleur modulant ou à brûleur à marches
  - Atmosphériques
  - À chambre de combustion étanche
  - À condensation
  - Basse température



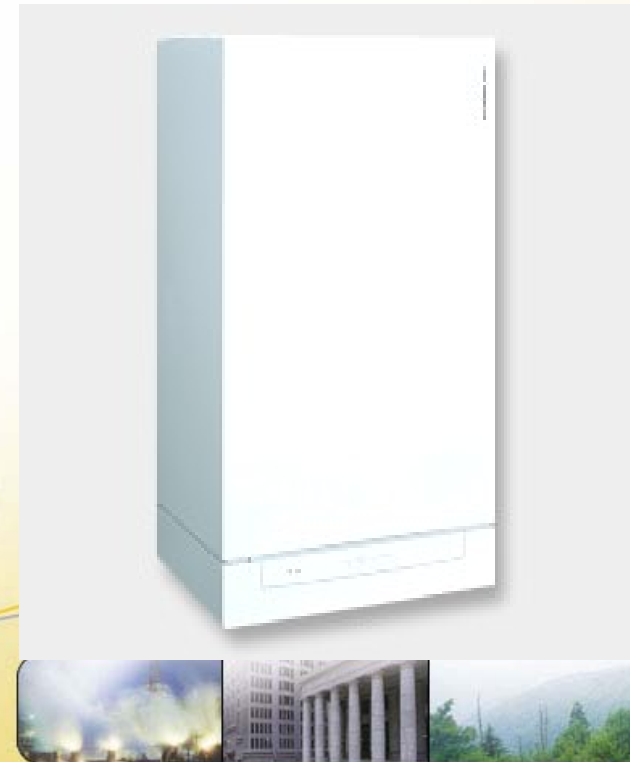


# Chaudières gaz atmosphériques



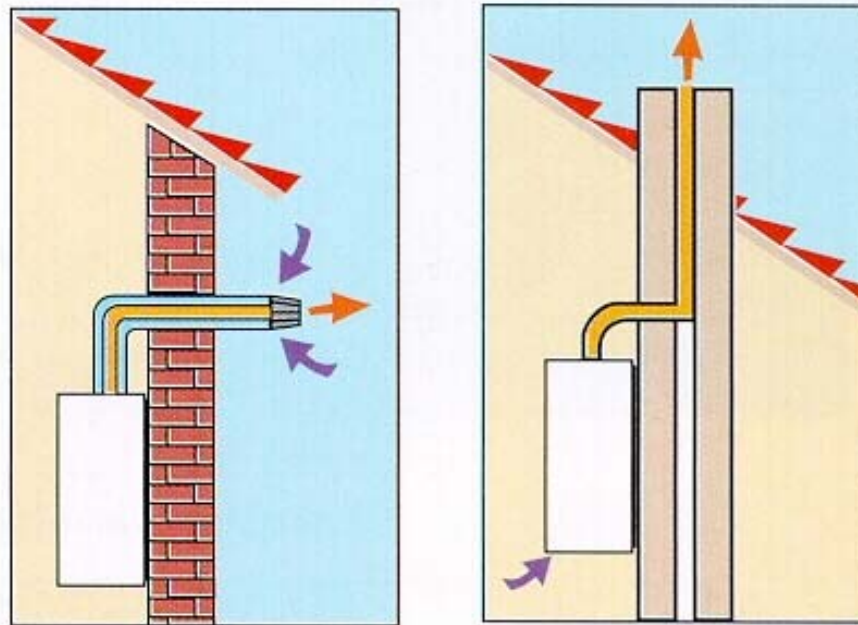
# Chaudières gaz à ventouse assistées par ventilateur

- rendement de combustion parfois amélioré (meilleur contrôle de l'excès d'air, intérêt d'un brûleur modulant et d'un ventilateur modulant),
- pertes à l'arrêt réduites
- sécurité si prise d'air extérieure



# Chauffage central : Chaudière Gaz

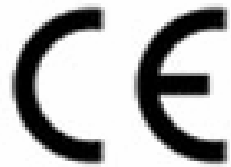
- à chambre étanche vs. chaudière atmosphérique





# Chaudières gaz : label

- CE



- AGB/BGV HR

- HR + (« haut » rendement)

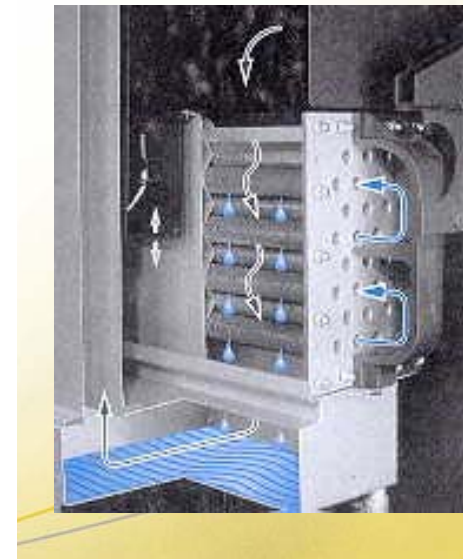


- HR TOP (condensation)



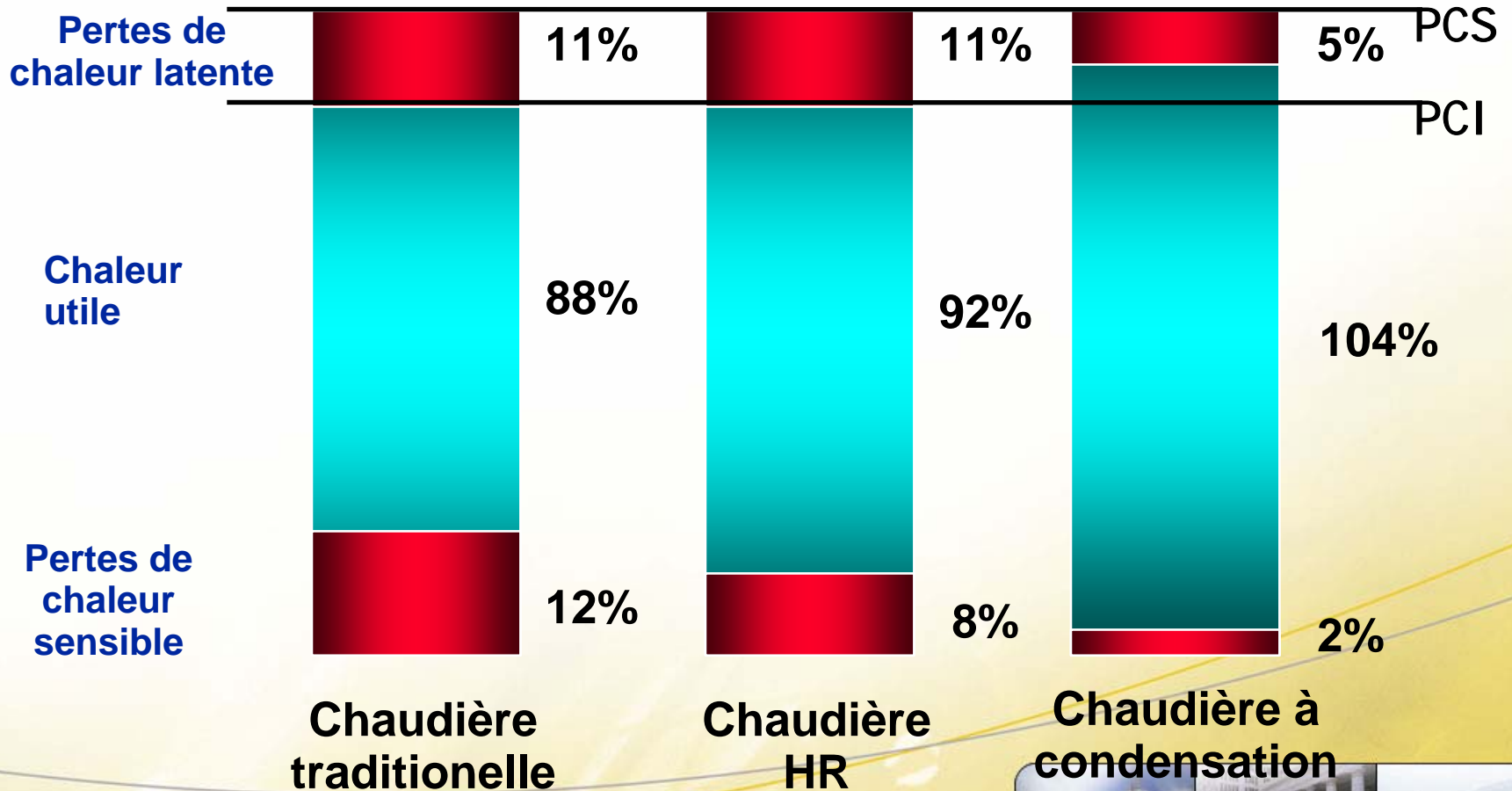
# Chaudières gaz (fuel) à condensation

- Principe :
  - refroidir les fumées jusqu'à récupérer la chaleur de vaporisation de l'eau contenue dans les fumées
- Intérêt
  - rendement de combustion excellent
  - peu de pertes à l'arrêt
- Gain énergétique :
  - 8 .. 20% sur la consommation annuelle



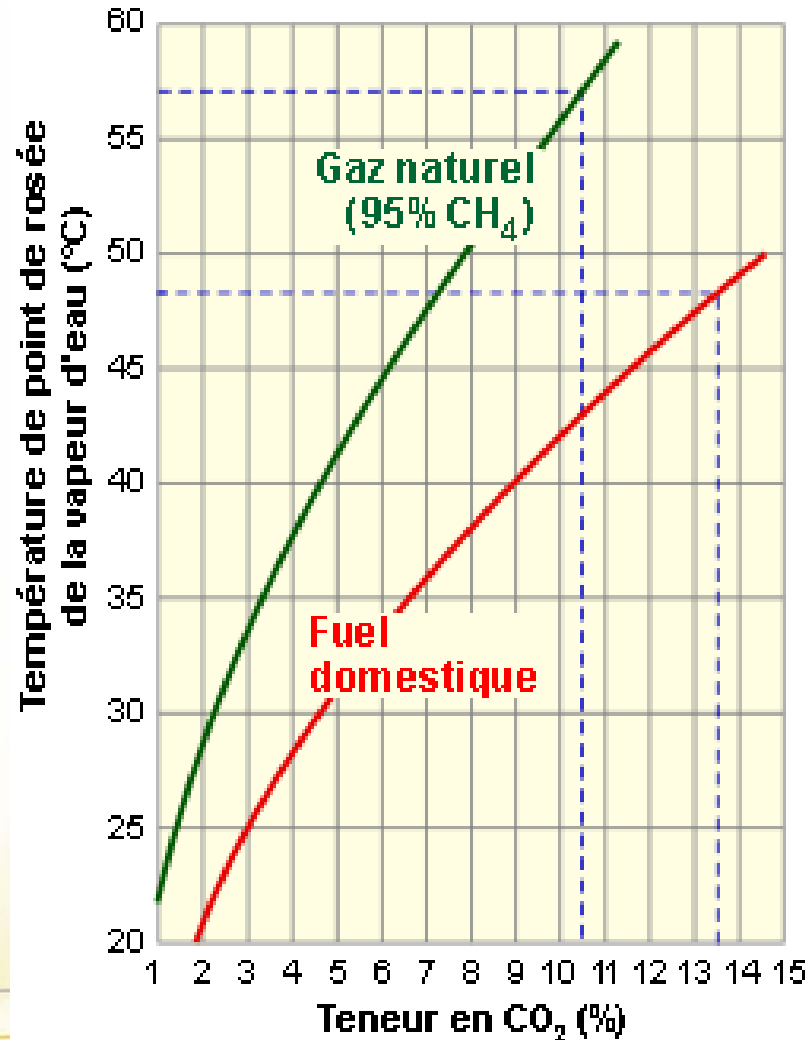
# Chaudières gaz à condensation

## Influence sur le rendement thermique



# La condensation au fuel ?

Différence entre les combustibles



# La condensation au fuel ?

- Max. 6% d'énergie latente récupérable (10% pour le gaz) -> remboursement du surcoût difficile ;
- Condensats acides -> besoin chaudières encore plus résistantes et traitement avant rejet ;
- En général utilisation de fuel « extra » à 50 ppm de soufre. Combustible plus cher ;
- Point de rosée du fuel plus faible (45 .. 48°C) -> travailler avec des t° d'eau encore plus faibles et surdimensionner plus les corps de chauffe.



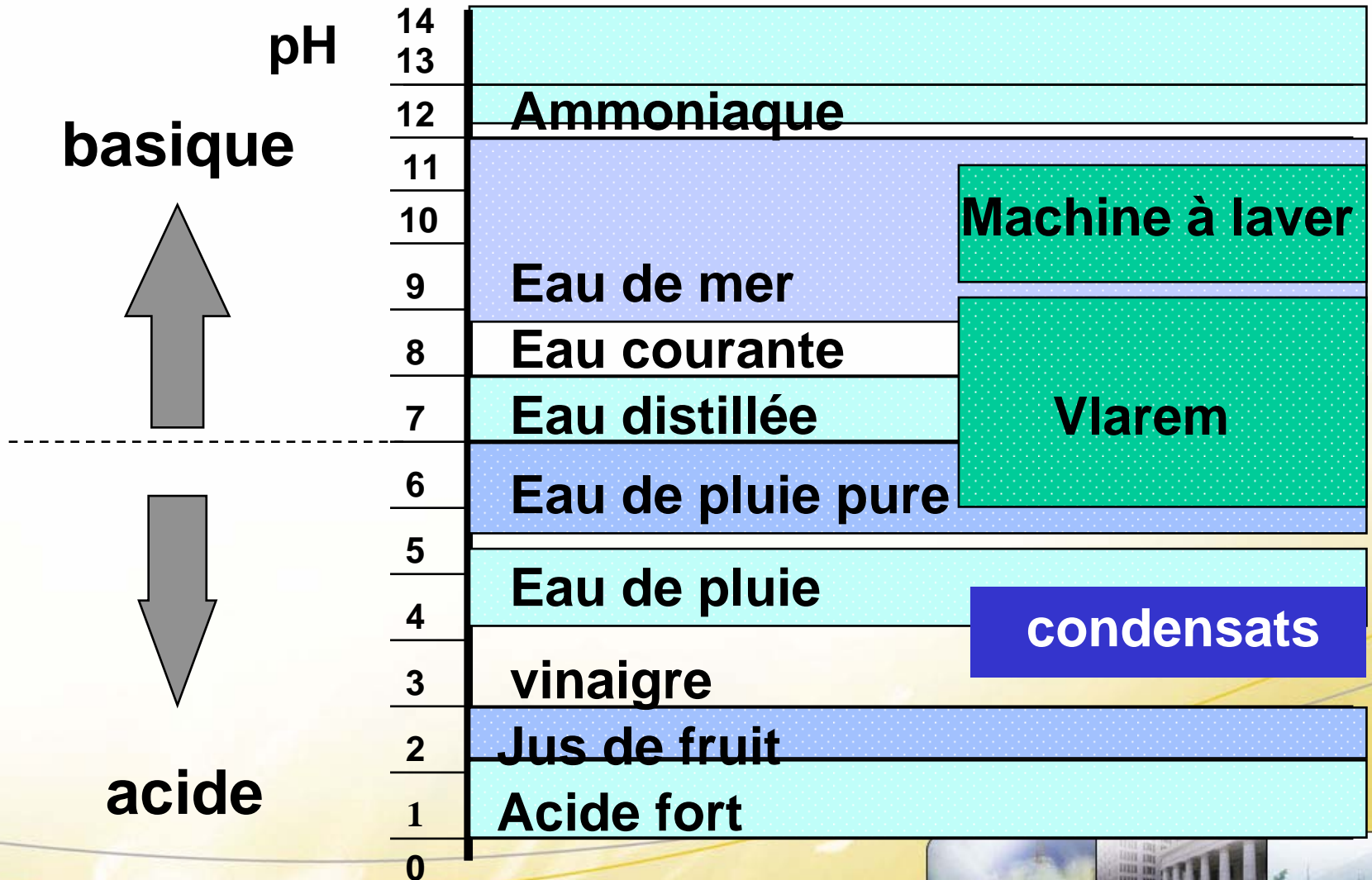
# Impératifs liés aux chaudières à condensation

- Cheminée (simple paroi en acier inoxydable)
  - résistante à la corrosion
  - étanche à l'eau
- Évacuation des condensats
  - à l'égout (une chaudière de 15 kW produit env. 0,85 lit. de condensats par heure) ;
  - en matière plastique : pH entre 3,9 en 4,5 (sans neutralisation si chaudière au gaz)





# Acidité de l'eau condensée

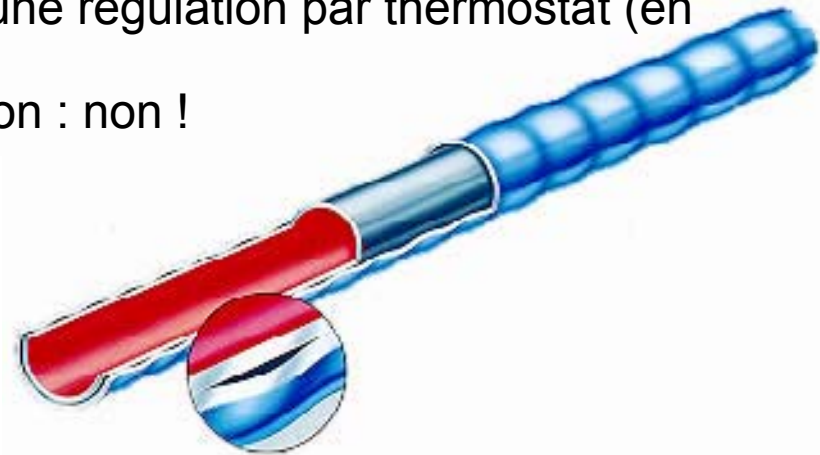
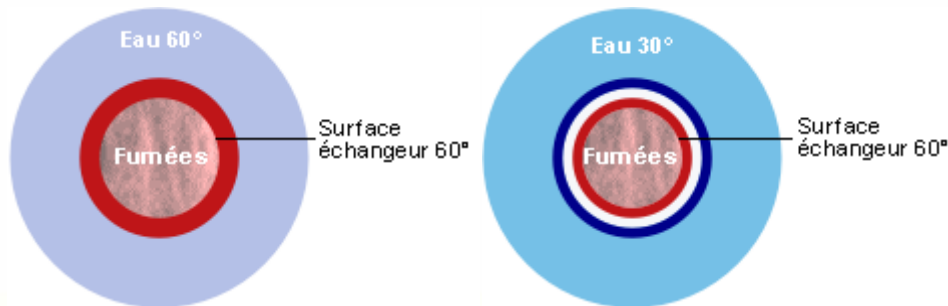




# Chaudière basse température (gaz – fuel)

Chaudière pouvant travailler avec une basse température d'eau

- Diminuer les pertes à l'arrêt : surtout important avec les anciennes chaudières (atmosphériques)
- Protéger la chaudière dans le cas d'une régulation par thermostat (en domestique)
- Améliorer le rendement de combustion : non !



Et pourquoi vouloir éviter la condensation si on peut condenser ?

Technologie uniquement intéressante pour faire une bonne régulation sans déteriorer la chaudière

- Si possible en gaz, préférez la condensation
- En application fuel pour protéger la chaudière

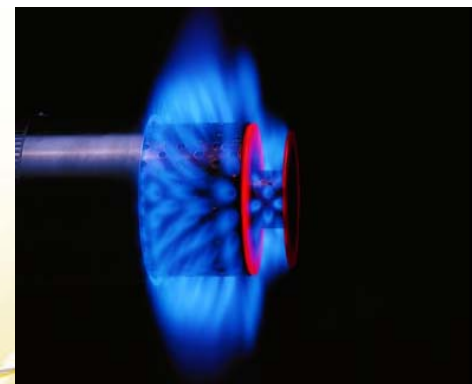
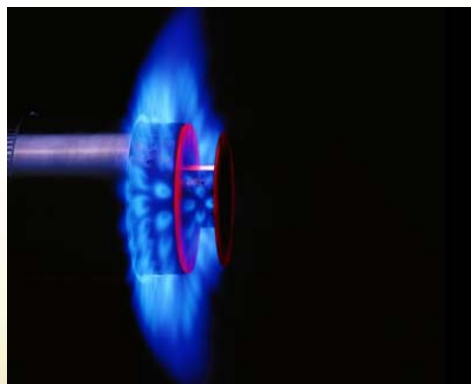
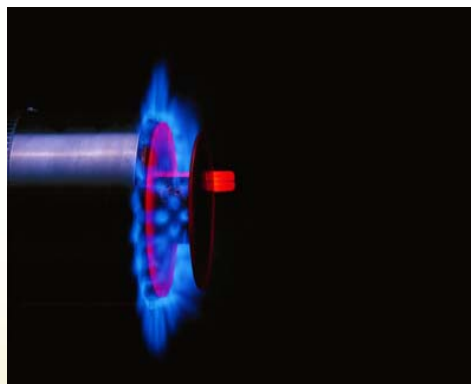
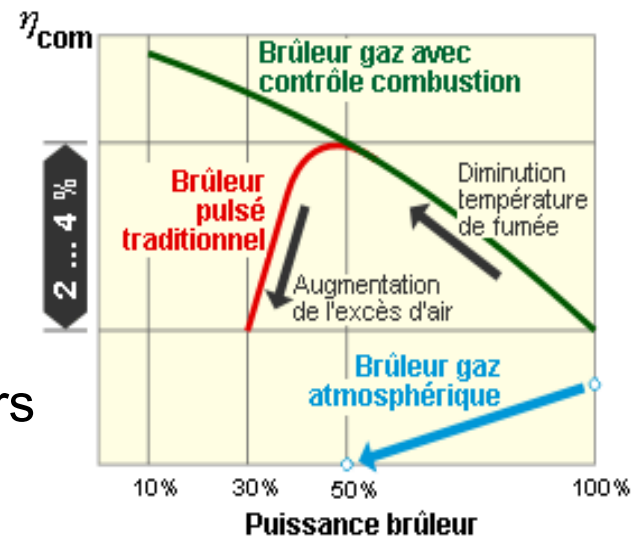


# Chaudières à brûleur modulants

## Modulation de la puissance du brûleur

sur la plus grande plage de puissance possible.

Augmentation du charge annuel de la chaudière,  
Meilleur échange de chaleur entre fumées et eau,  
dans le cas ou la puissance n'est pas à 100%. Alors  
rendement plus haut.

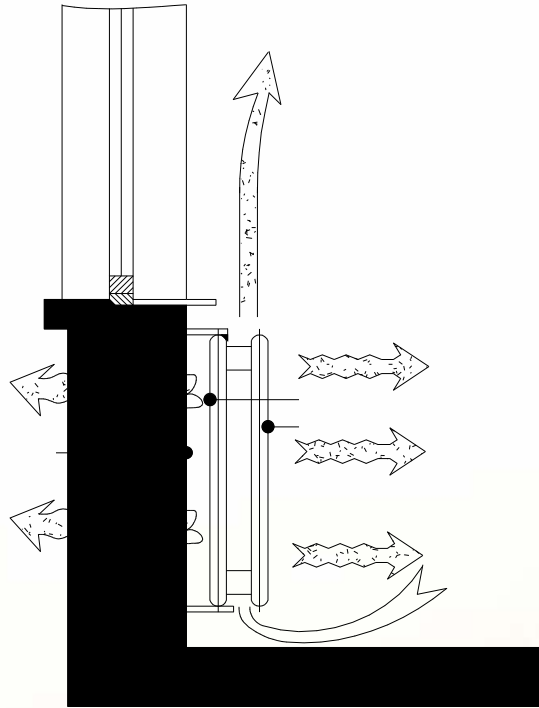


# Emission de chaleur

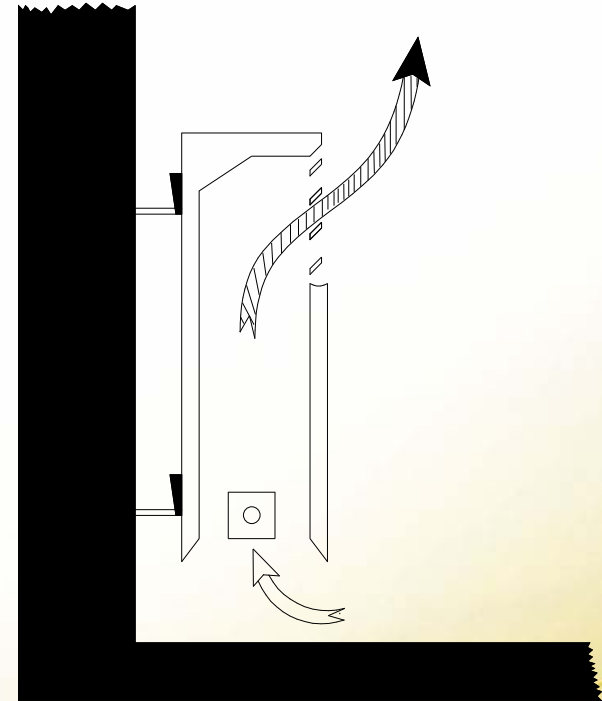
- Radiateurs
  - adossés à des murs extérieurs isolés
  - contre des murs extérieurs non isolés : avec ou sans feuille réfléchissante
  - devant les fenêtres : c'est-à-dire superficie complète du radiateur à hauteur de la partie vitrée de la fenêtre
  - contre des murs intérieurs
- Chauffage par le sol, plafond ou mur
- Systèmes convectifs
  - Convecteurs
  - Ventilo-convecteurs
- Chauffage par air (si distribution par air)



# Radiateur ou convecteur



Radiateurs

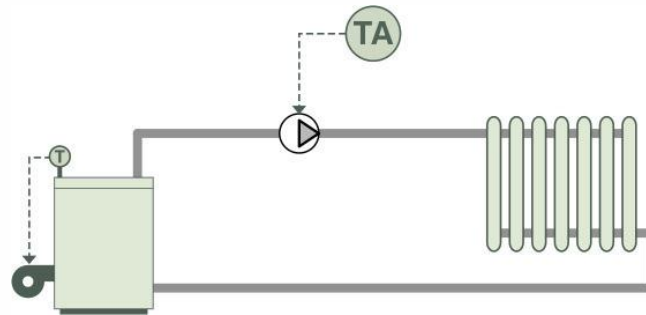


Système convectif



# Systemes de régulation

- Chaudière maintenue sur aquastat, thermostat d'ambiance agissant sur le circulateur



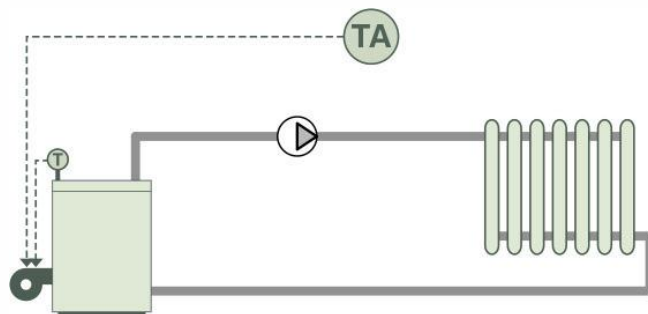
- Avantages :
  - gestion de la température ambiante dans le local témoin, coupure nocturne facile
  - Economie de consommation du circulateur (environ 200 .. 300 kWh/an)
- Inconvénients :
  - pertes à l'arrêt de la chaudière (faire varier l'aquastat manuellement, attention si pas chaudière à basse température)
  - Choc thermique dans la chaudière (enclenchement sans débit)
  - Régulation par train d'eau chaude





# Systemes de régulation

- Thermostat d'ambiance agissant sur le brûleur, circulateur en fonctionnement permanent, aquastat = aquastat de sécurité



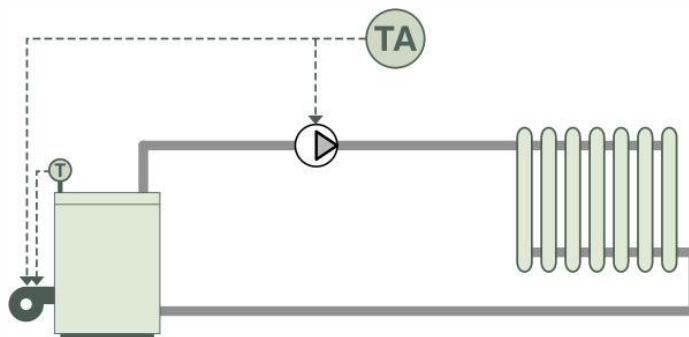
- Avantages :
  - gestion de la température ambiante dans le local témoin, coupure nocturne facile
  - Fonctionnement en température variable de la chaudière (fonction de son inertie)
  - Relance à pleine puissance
- Inconvénients :
  - consommation du circulateur
  - Condensation dans les chaudières non basse température





# Systemes de régulation

- Thermostat d'ambiance agissant sur le br teur et le circulateur (avec temporisation), aquastat = aquastat de sécurité

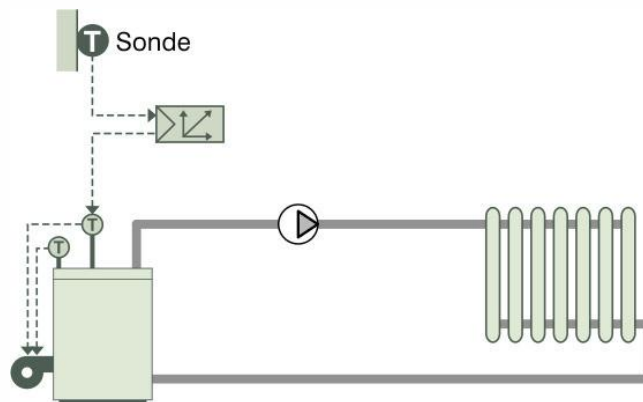


- Avantages :
  - gestion de la température ambiante dans le local témoin, coupure nocturne facile
  - Fonctionnement en température variable de la chaudière (fonction de son inertie)
  - Relance à pleine puissance
  - Consommation réduite du circulateur
- Inconvénients :
  - Condensation dans les chaudières non basse température)



# Systemes de régulation

- Température de chaudière commandée par régulateur climatique et sonde extérieure

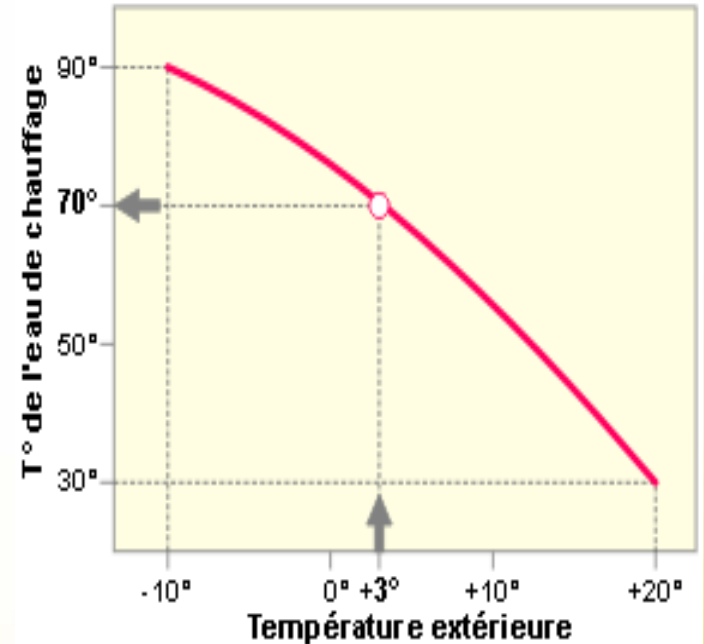


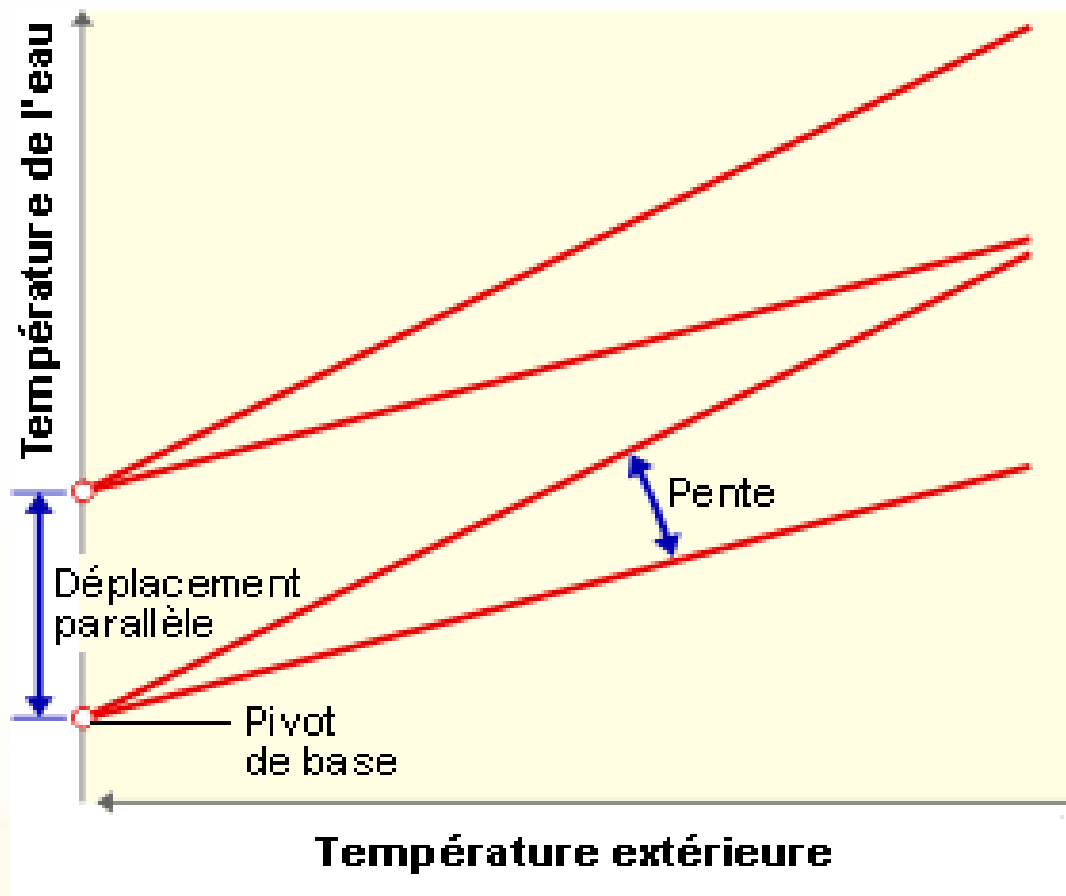
- Avantages :
  - Fonctionnement en température variable de la chaudière (fonction de son inertie)
  - Solution en absence de local témoin
- Inconvénients :
  - choix de l'emplacement de la sonde extérieure (maison peu inerte, séjour au sud, ...)
  - Difficulté du réglage
  - Type d'intermittence
  - Peu adaptée aux bâtiments fort isolés



# Courbe de chauffe

- Unique pour un bâtiment
- Dépend :
  - De l'isolation du bâtiment
  - De la surpuissance des radiateurs
  - Des températures de consigne
- Définie par:
  - Sa pente
  - Son déplacement parallèle





# Intérêt d'une sonde extérieure ?

- Fonctionnement en température glissante ;
- => Réduit la température moyenne de la chaudière sur la saison de chauffe ;
- => Améliore le rendement de l'installation ;
- => Favorise la condensation (le cas échéant).



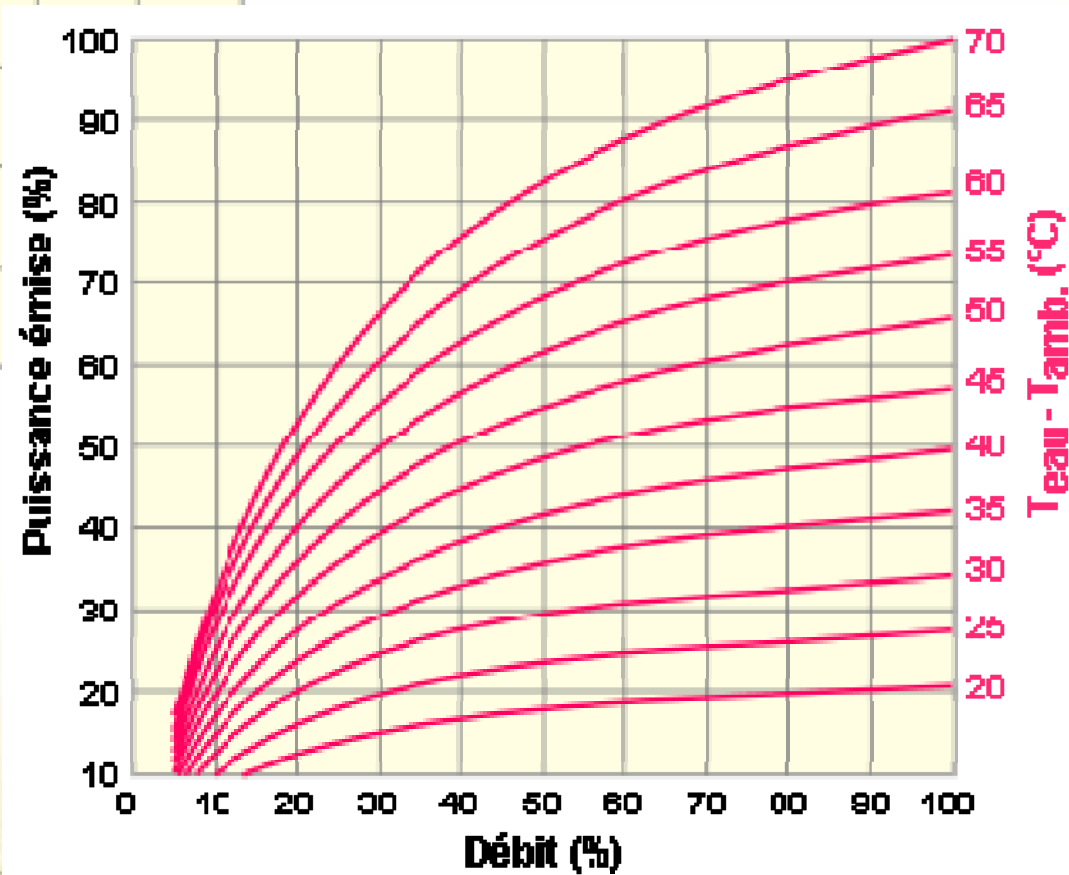
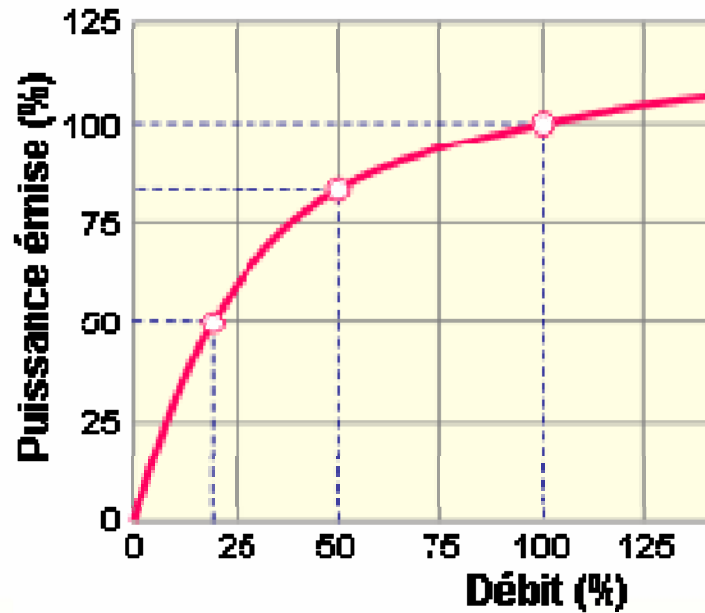
## Intérêt d'une gestion centralisée de la chaudière en plus de la régulation locale ?

- Fonctionnement en température glissante ;
  - => Réduit la température moyenne de la chaudière sur la saison de chauffe ;
  - => Améliore le rendement de l'installation ;
  - => Favorise la condensation (le cas échéant).
- 
- **Améliore le fonctionnement de la régulation locale par vannes thermostatiques. (Vannes thermostatiques fonctionnent mieux sur des températures plus basses)**





# Les vannes thermostatiques peuvent-elles fonctionner correctement si la température de levée ?



# Contenu

- Production de chaleur : comportement énergétique d'une installation;
- Systèmes courants;
- **Analyse de différentes techniques : effets sur les rendements;**
- Nouvelles technologies rentables et disponibles : pompes à chaleur;



# Calcul du rendement de production

## Formule de Renaud

$$\eta_{p,1,r\acute{e}el} = (\eta_{ro} - \alpha / 100) \cdot \left( 1 + \frac{\alpha}{100} \cdot \frac{\Theta}{\Theta_{nom}} \right) \cdot \left( \frac{1000 - \Theta}{1000 - \Theta_{nom}} \right) \cdot \left( \frac{b}{b + \frac{\alpha}{100} \cdot \frac{\Theta}{\Theta_{nom}}} \right)$$

□  $\eta_{ro}$  : rendement instantané (mesuré) 1

•  $\alpha$  : coefficient de pertes à l'arrêt 2

•  $\Theta = T_w - T_o$  avec 3

–  $T_w$  : température moyenne de la chaudière pendant la saison de chauffe (°C)

–  $T_o$  : température moyenne de la chaufferie pendant la saison de chauffe (°C)

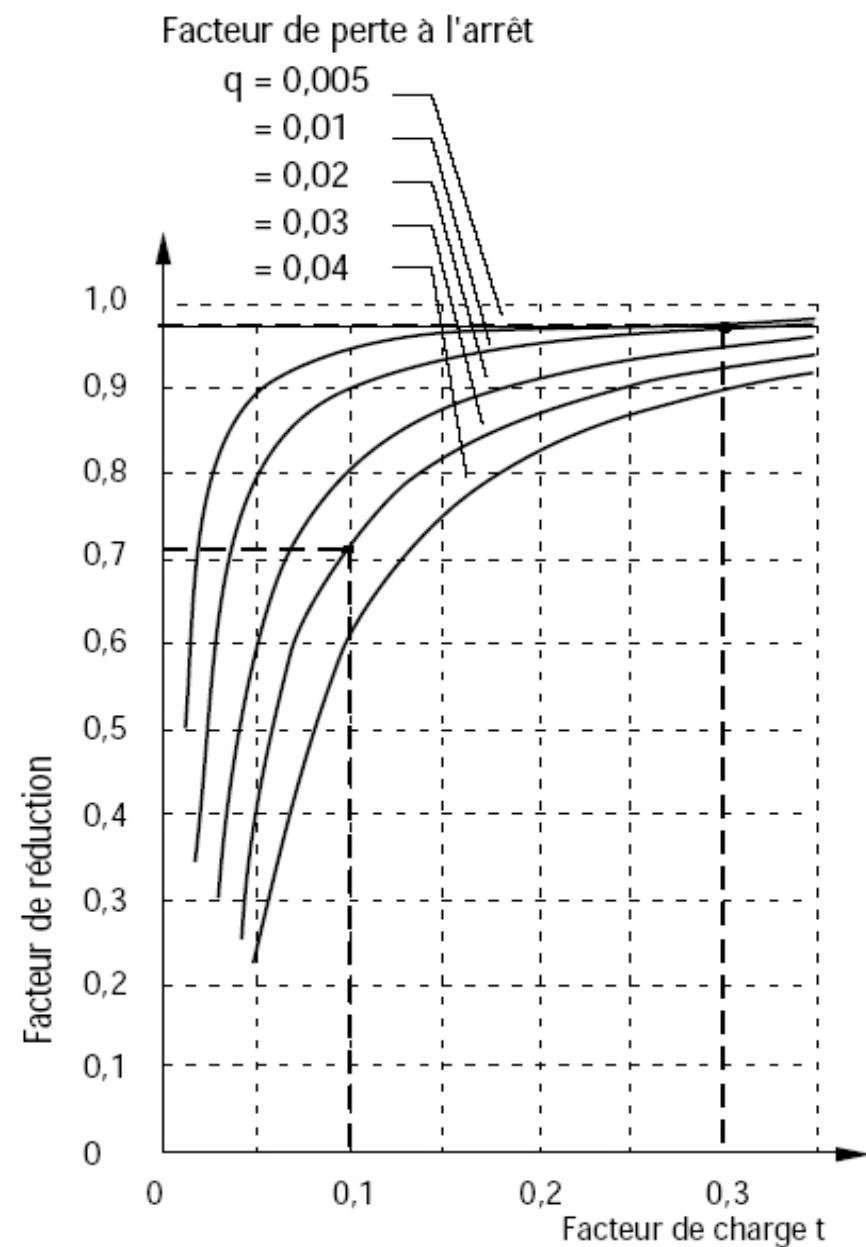
•  $b$  : charge annuelle de la chaudière 4

• nom : paramètre dans les conditions nominales ( $T_w=70^\circ\text{C}$ ;  $T_o=20^\circ\text{C}$ )

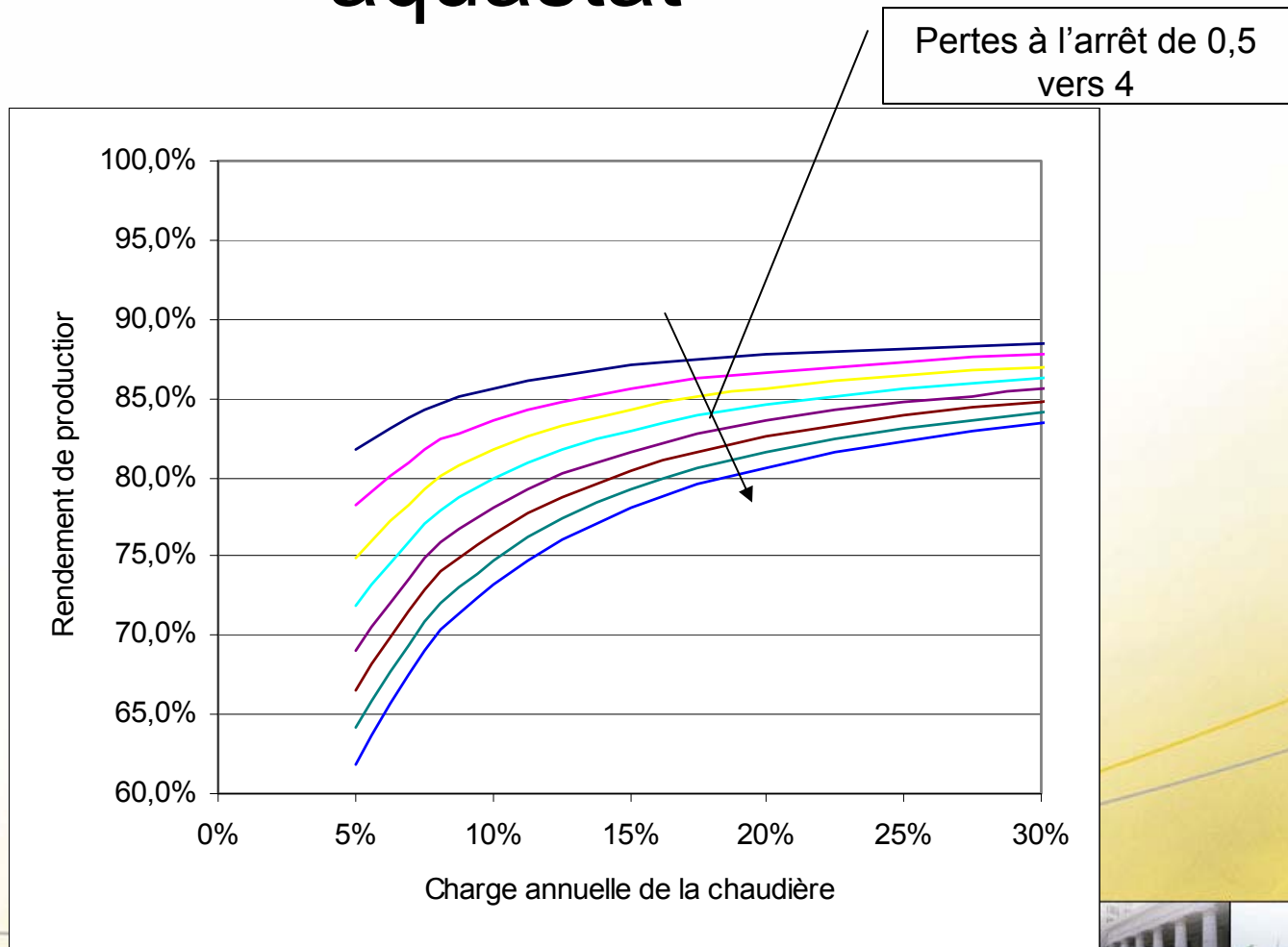


# Aperçu de la formule

- Nombreux paramètres
- Rendement instantané initialement important
- Forte augmentation des pertes à l'arrêt avec des charges faibles
- Coefficient de pertes à l'arrêt significatif
- Profil différent pour chaque type de chaudière
- ...



# Régulation de la chaudière avec un aquastat





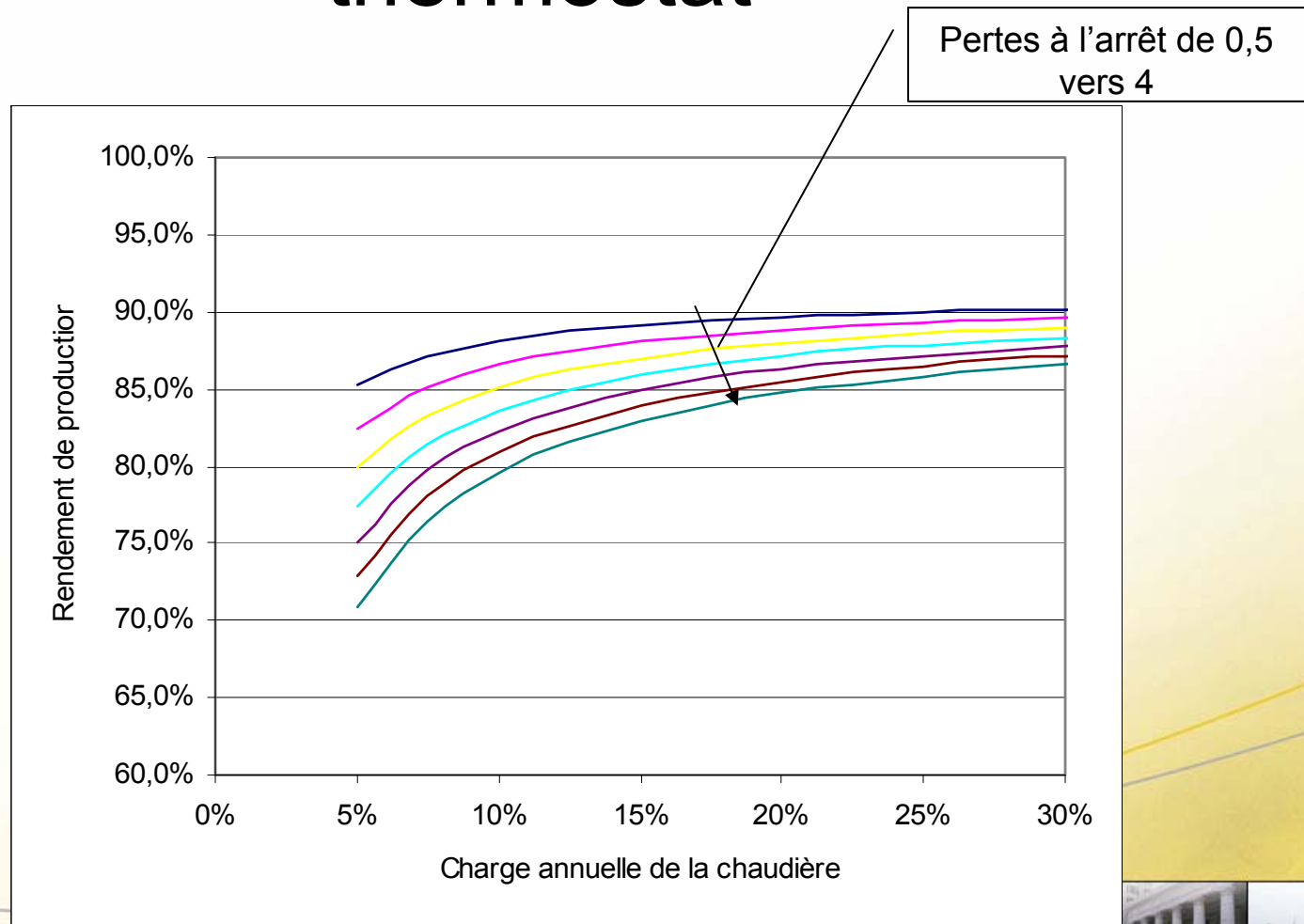
# Production de chaleur

Chaudière : pas d'isolation, pas de jaquette



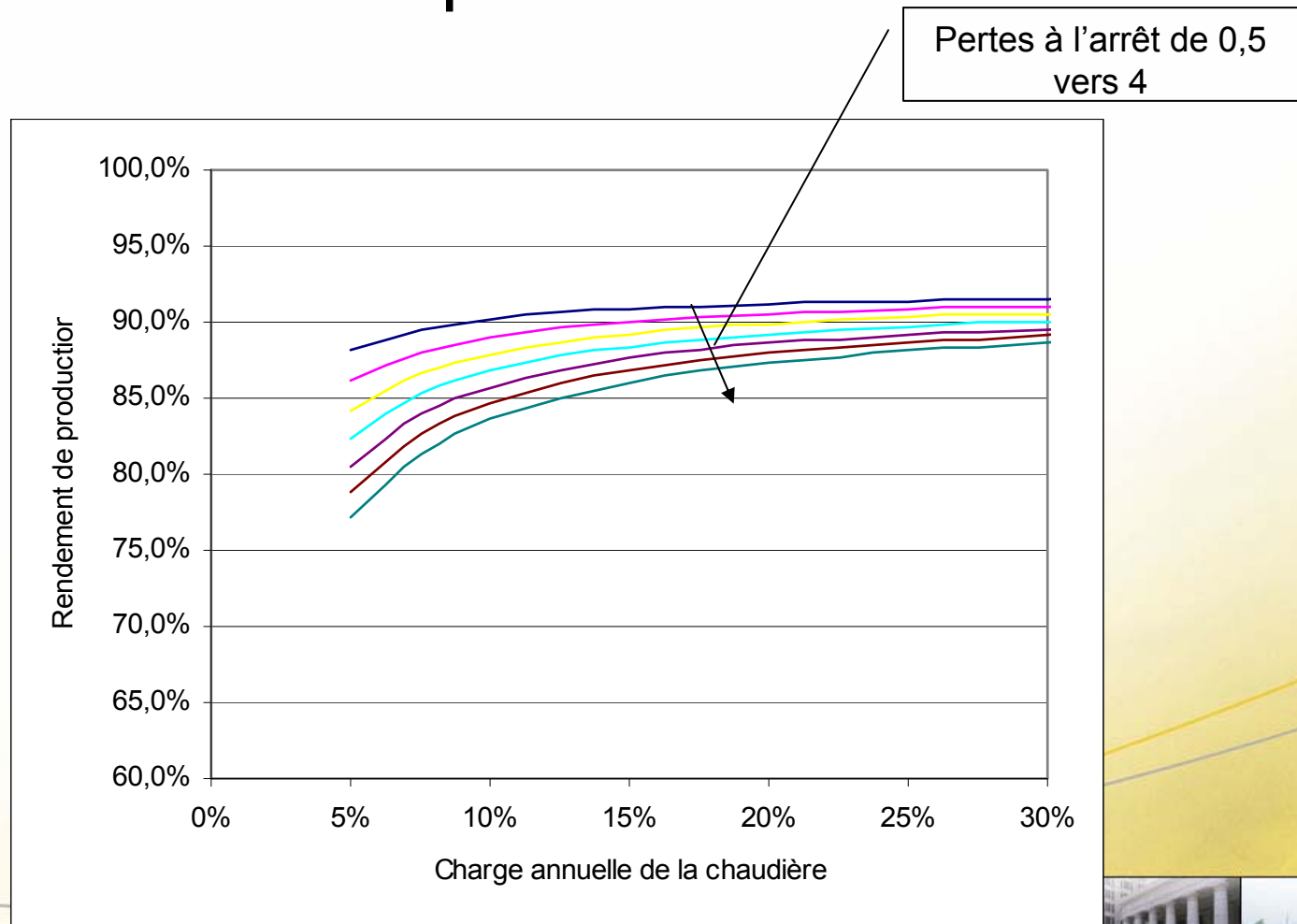


# Régulation de la chaudière avec un thermostat



Pertes à l'arrêt de 0,5 vers 4

# Régulation de la chaudière avec une sonde de température extérieure



# L'effet de la condensation

