

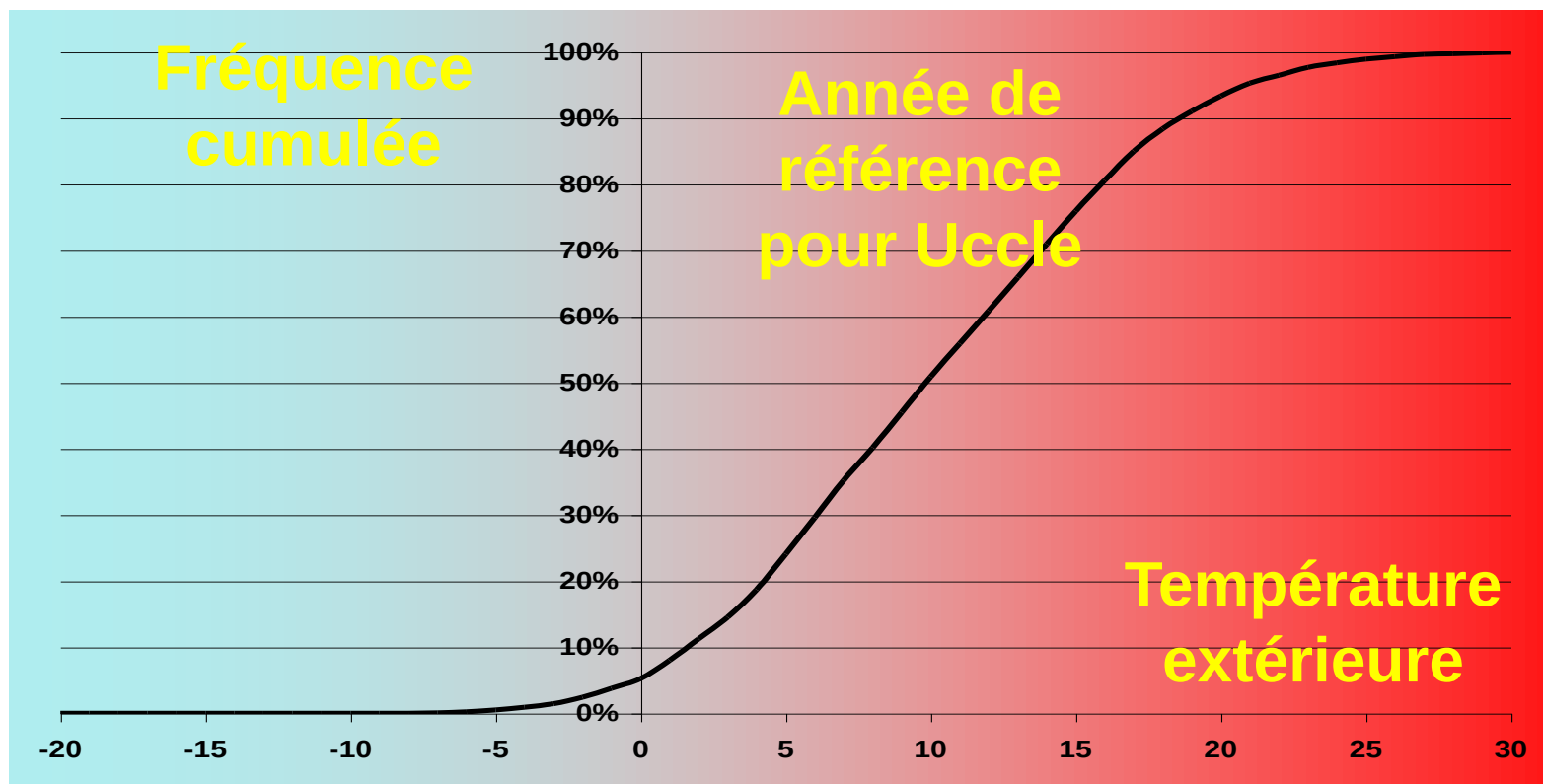
Installations de chauffage :

Comprendre leur fonctionnement et en améliorer l'efficacité !

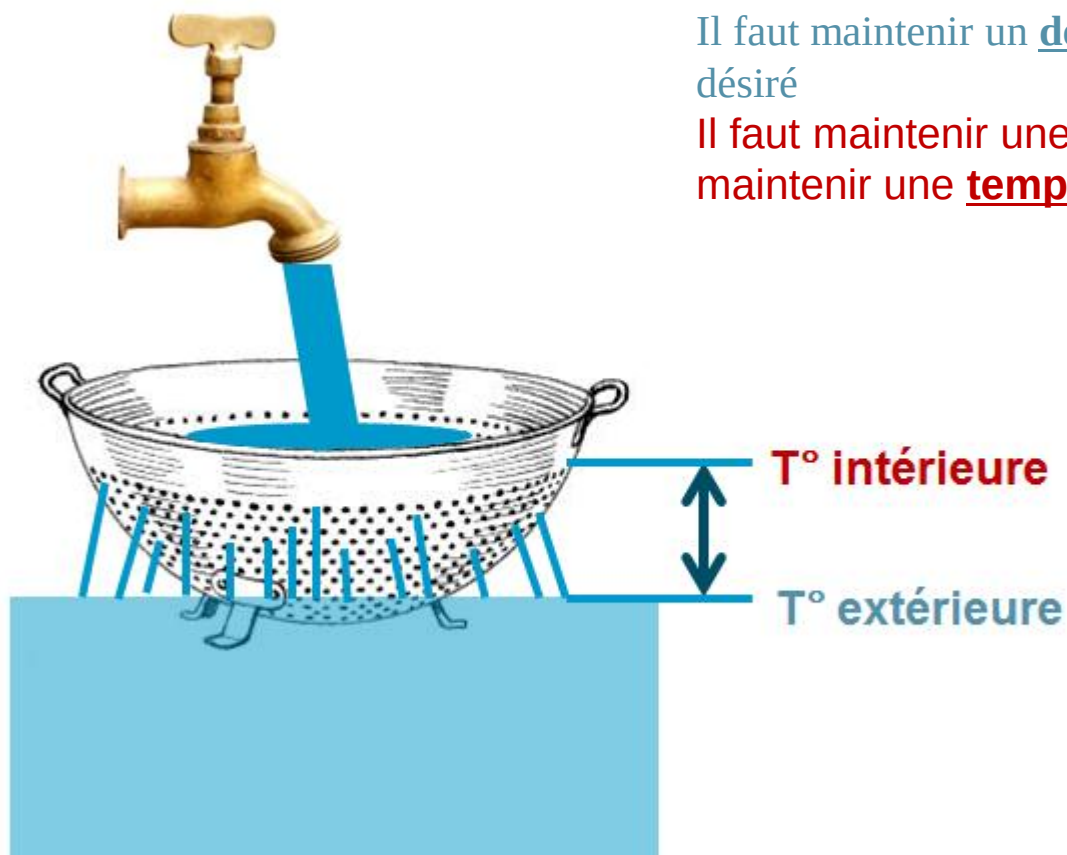
Pierre DEMESMAECKER



Pourquoi faut-il chauffer?



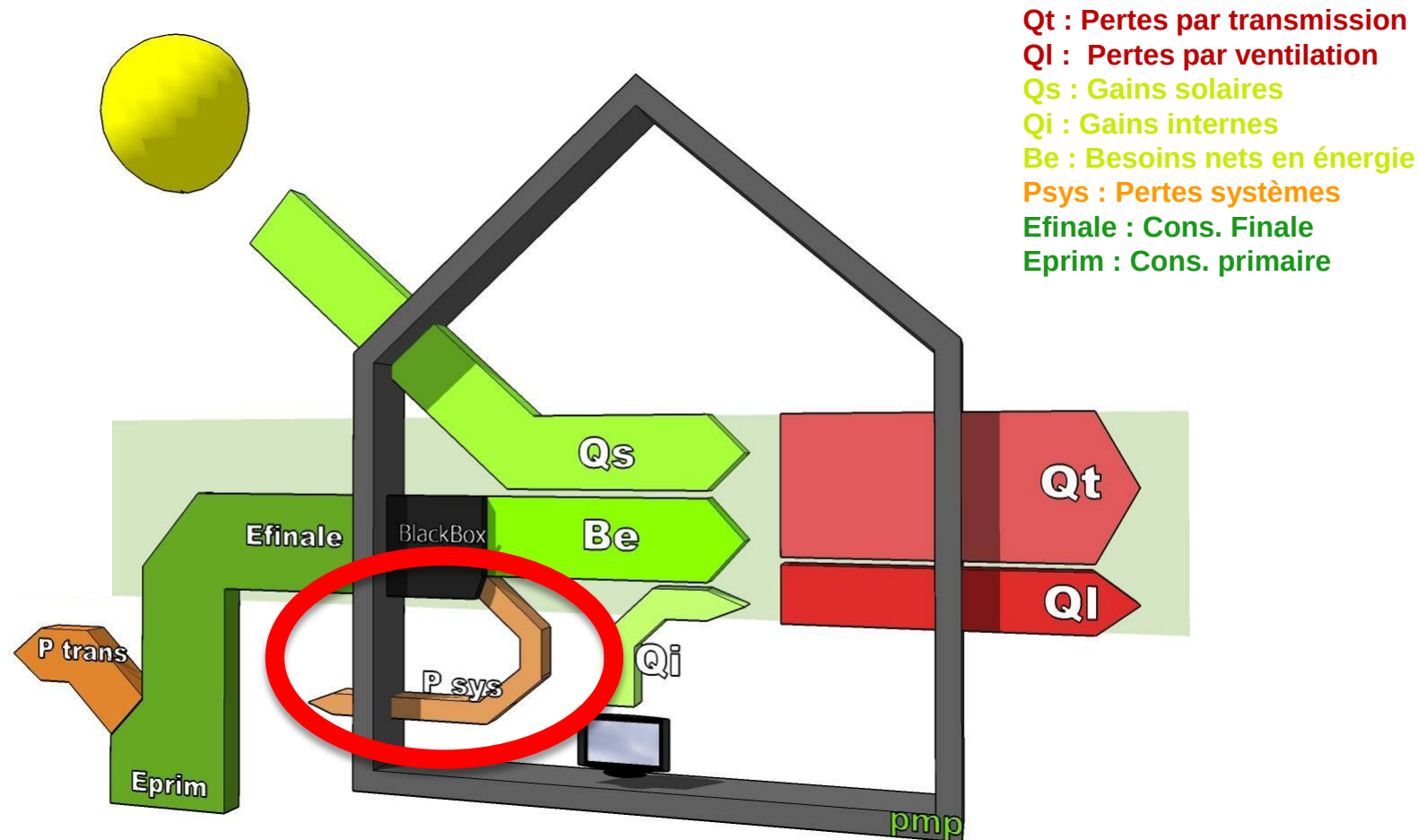
Pourquoi faut-il chauffer?



Il faut maintenir un débit pour maintenir le niveau d'eau désiré

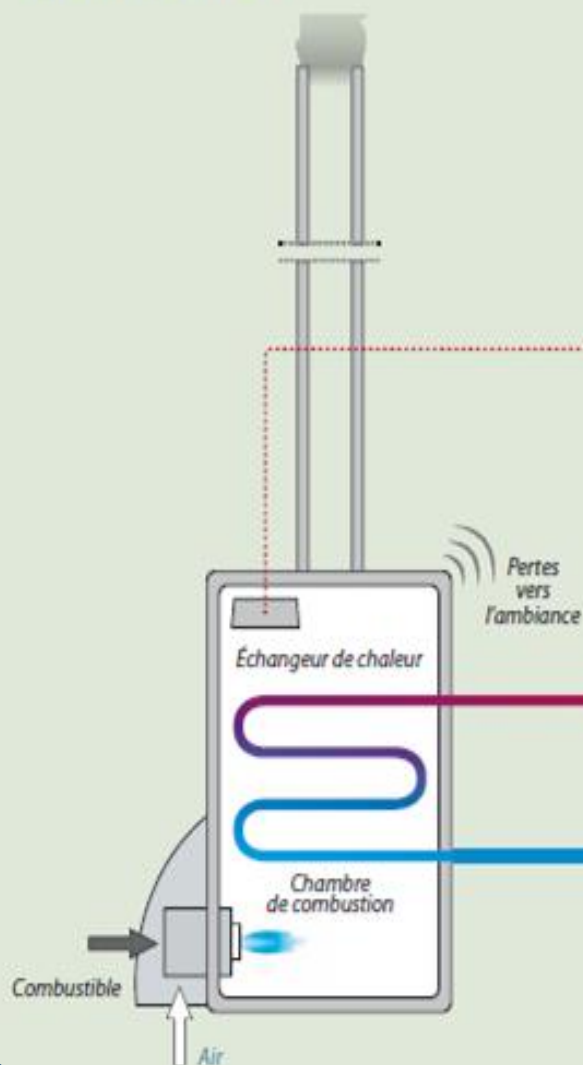
Il faut maintenir une puissance de chauffage pour maintenir une température désirée

Les flux thermiques d'un bâtiment



L'installation de chauffage central

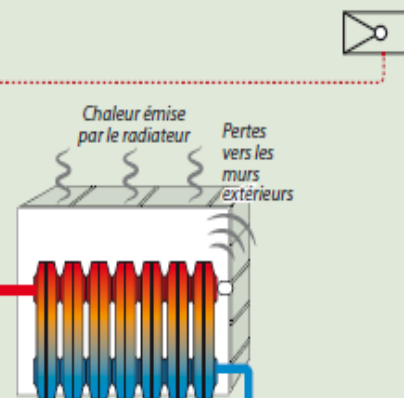
LA PRODUCTION



LA DISTRIBUTION



L'ÉMISSION et LA RÉGULATION



Objectifs de cette journée

- Comprendre le principe de fonctionnement d'une installation de chauffage **central existante avec chaudière**
- Afin de pouvoir en établir:
 - son diagnostic
 - les améliorations possibles
 - un regard critique sur sa rénovation
- Ne seront pas abordés :
 - Les moyens de production basés sur les énergies renouvelables (biomasse, pompes à chaleur, ...)
 - Les particularités des bâtiments à haute performances énergétiques (passifs & assimilés)

} Approfondis durant les journées « audit live »

Plan de l'exposé

- Introduction
- La production
- La distribution
- L'émission
- La régulation
- Les auxiliaires
- Focus sur les installations à condensation
- Améliorer / rénover une chaufferie
- Conclusions

Plan de l'exposé

- Introduction
- **La production**
- La distribution
- L'émission
- La régulation
- Les auxiliaires
- Focus sur les installations à condensation
- Améliorer / rénover une chaufferie
- Conclusions



Chaudières : sommaire

- **Notions théoriques**
- **Technologies existantes**
- **Comment agir sur une installation existante ?**
- **Rendements des chaudières**
- **Labels & Normes**

Chaudières : sommaire

- **Notions théoriques**

- Chaudières ?
- La réaction de combustion
- Le pouvoir calorifique d'un combustible
- Introduction aux pertes dans les chaudières

- **Technologies existantes**

- **Pertes de chaleur dans une chaudière**

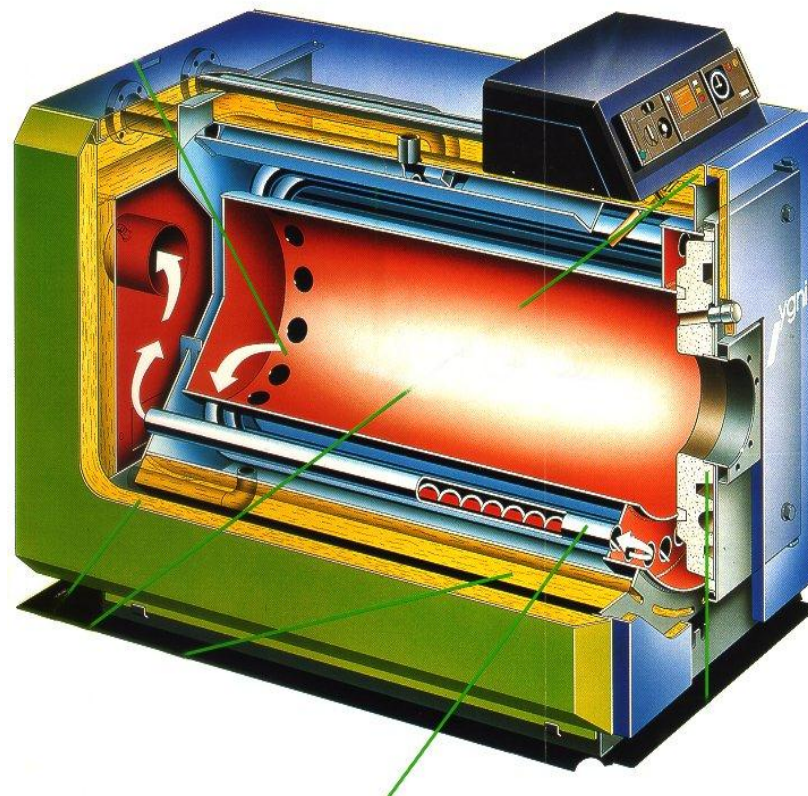
- **Rendements des chaudières**

- **Labels & Normes**

- **Remplacement des chaudières existantes**

Chaudière

- **Chaudière $\cong$ échangeur** de chaleur parcouru par un fluide caloporteur et équipé d'un foyer où a lieu la combustion d'un combustible (gaz, mazout, bois, etc)



Principe général :

- la flamme brûle dans un foyer
 - tout autour de ce foyer, de l'eau capte la chaleur
 - ensuite, les fumées passent dans des tubes (toujours entourés d'eau)
 - puis ressortent à l'arrière.
- ➔ l'eau rentre froide dans la chaudière puis ressort chaude!

La combustion

Nos combustibles (fuel, gaz, bois,...) sont constitués de Carbone et d'Hydrogène.



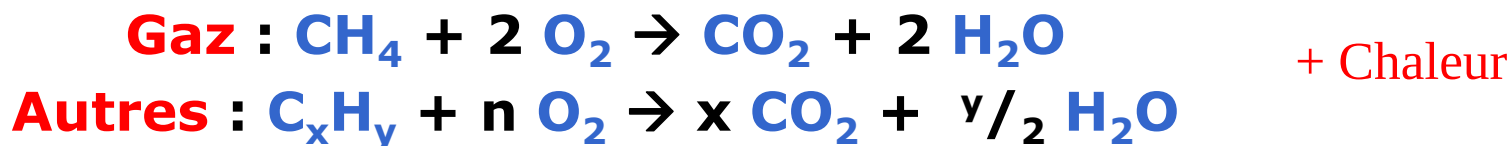
Par la combustion,

- le Carbone formera du CO_2
- l'Hydrogène formera ... de l'eau !

Cette eau est à l'état de vapeur, donc elle ne se voit pas...
... sauf lorsqu'elle condense et forme de la fumée blanche en sortie de cheminée.



La combustion

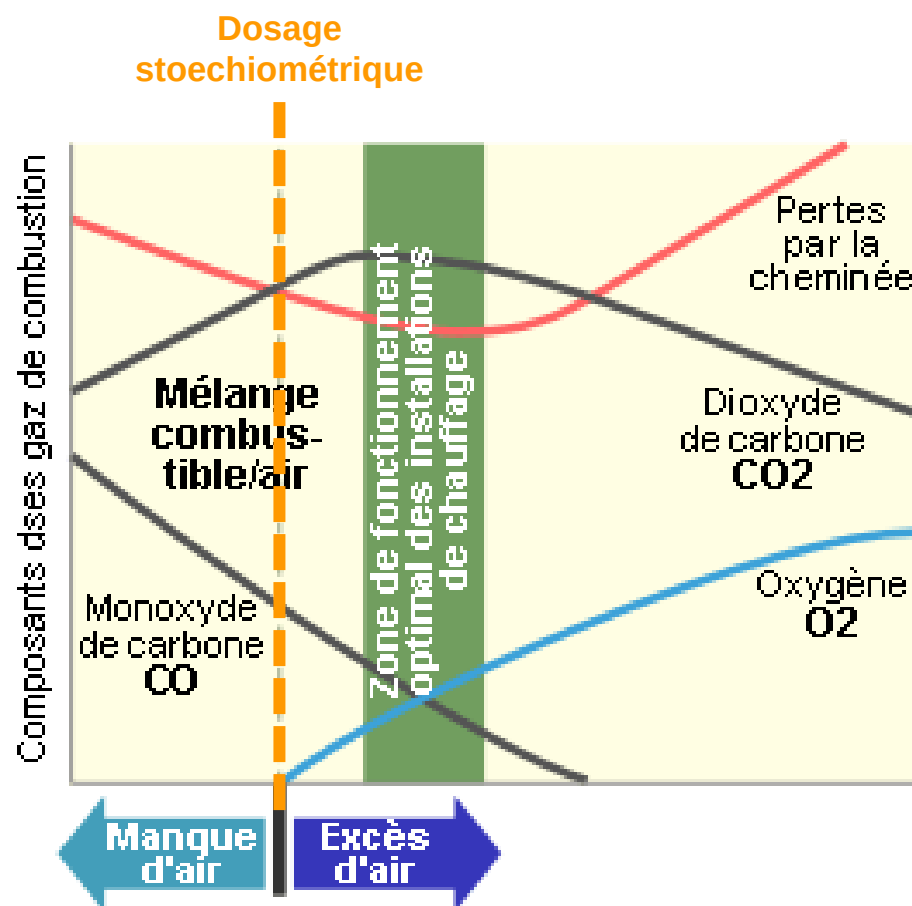


- La combustion du mazout produit plus de CO_2 que celle du gaz
- En cas de mauvaise combustion : L'azote (N) contenu dans l'air se combine avec l'oxygène $\rightarrow \text{NO}_x$
- Les traces de soufre contenues dans le combustible (mazout et charbon) forment SO_x ($\rightarrow$ pluies/condensats acides)

La combustion

- Quels paramètres pour une bonne combustion ?

L'excès d'air !



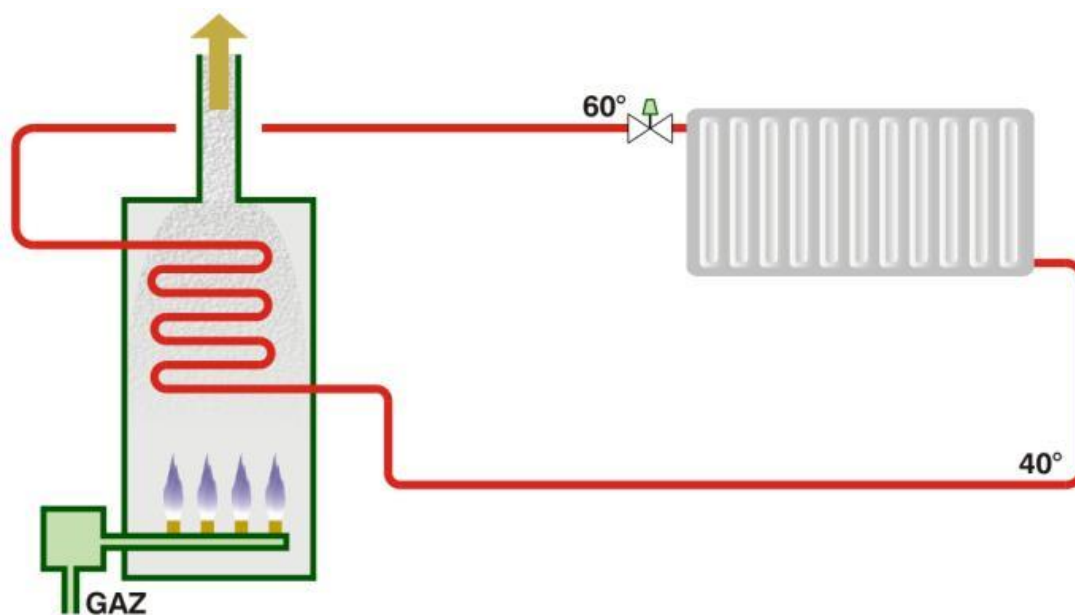
La combustion

- Quid de la vapeur d'eau ?

Pour les « anciennes » chaudières :

Si l'eau en contact avec le foyer est froide, les vapeurs d'eau dans les fumées condensent dans la chaudière...

Si la chaudière n'a pas été conçue pour résister à ces condensats, il y aura corrosion et destruction de la chaudière...



La combustion

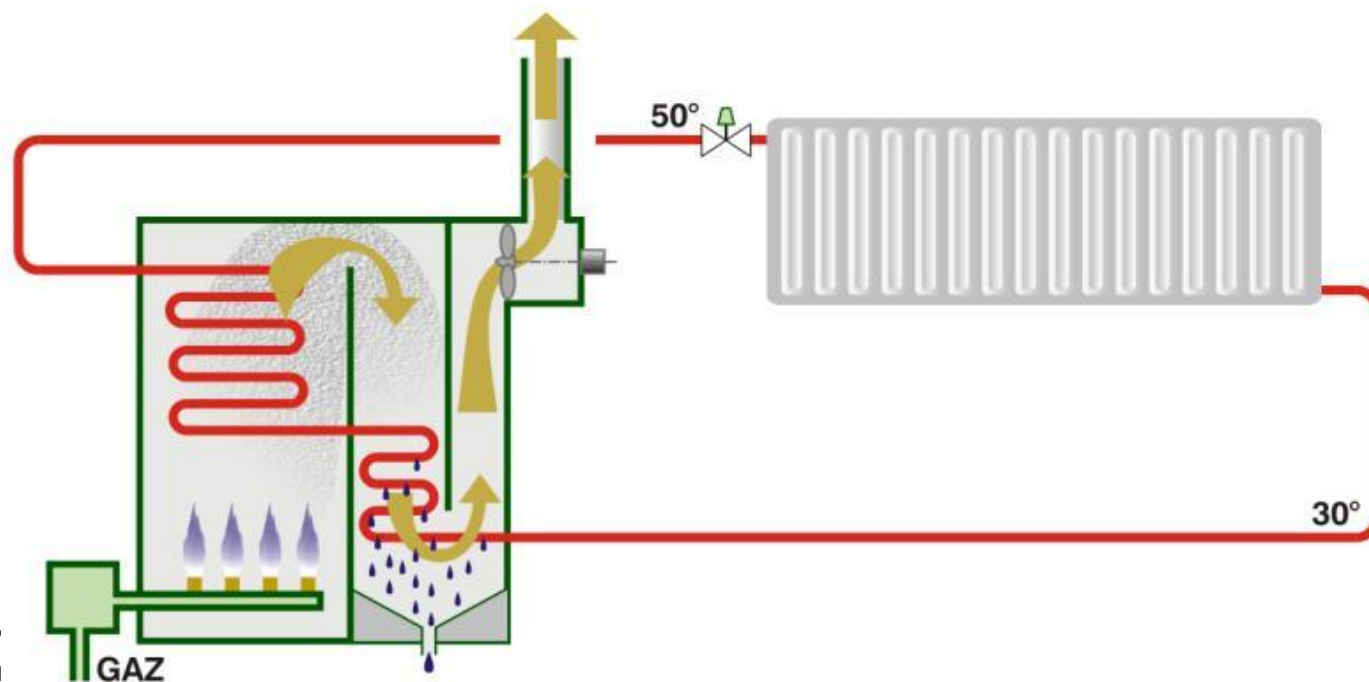
- Quid de la vapeur d'eau ?

Aujourd'hui :

La chaudière recherche la condensation :

Les vapeurs condensent volontairement

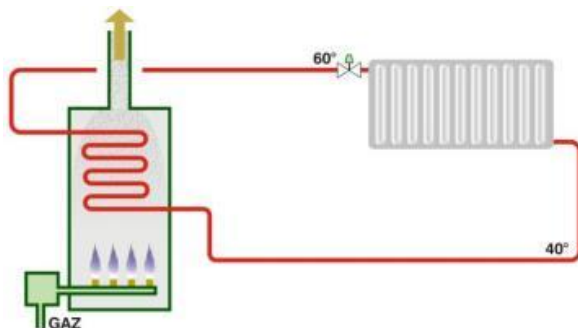
- les fumées sortent plus froides
- le rendement est plus élevé !



Pouvoir calorifique d'un combustible

- Quid de la vapeur d'eau ?

Avant :

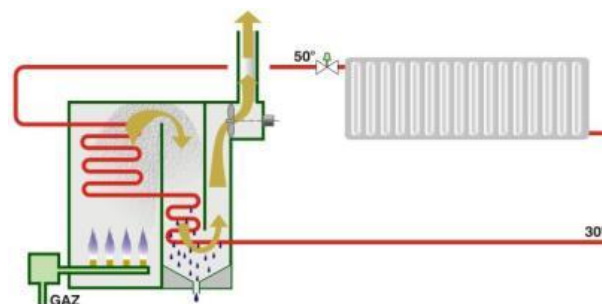


Chaleur captée par l'eau des radiateurs:

10 kWh pour 1 m³ de gaz brûlé.

C'est le **PCI**, Pouvoir Calorifique Inférieur, du gaz

Aujourd'hui :



Chaleur captée par l'eau des radiateurs:

11 kWh pour 1 m³ de gaz brûlé.

C'est le **PCS**, Pouvoir Calorifique Supérieur, du gaz

Remarque : si la chaudière fournit 10,3 kWh en brûlant 1 m³ de gaz,

- Le vendeur dira : elle a un rendement de 103 % ($= 10,3/10$) = rendement sur PCI
- L'ingénieur dira : elle a un rendement de 94 % ($= 10,3/11$) = rendement sur PCS

Pouvoir calorifique d'un combustible

- Extrait d'un catalogue de fabricant de chaudière :

Caractéristiques techniques

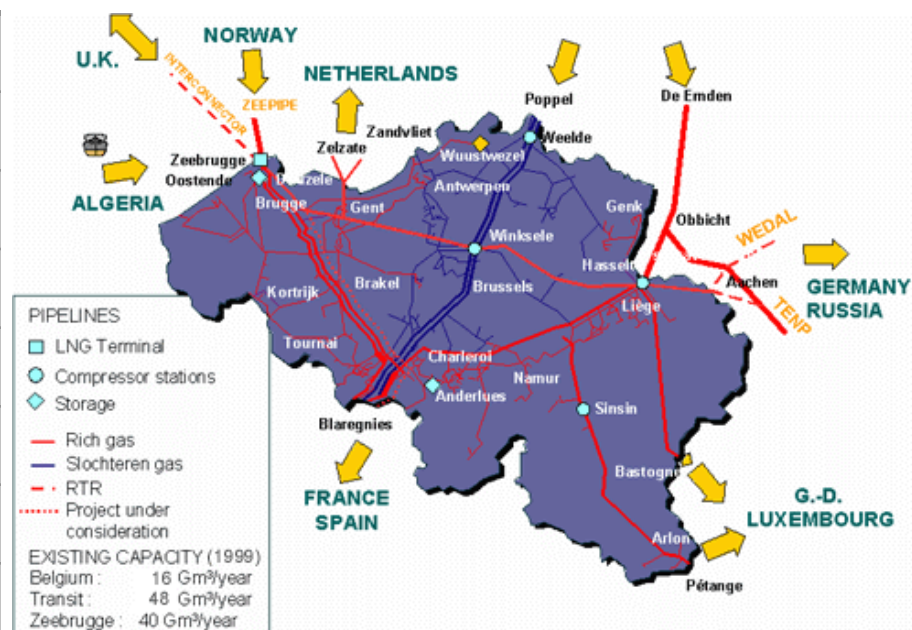
Puissance nominale			
pour une température d'eau primaire de 80/60 °C	kW	285	370
pour une température d'eau primaire de 70/50 °C	kW	295	383
pour une température d'eau primaire de 40/30 °C	kW	314	408
Rendement à charge nominale			
pour une température d'eau primaire de 80/60 °C	%	96,8	96,8
pour une température d'eau primaire de 70/50 °C	%	100,2	100,2
pour une température d'eau primaire de 40/30 °C	%	106	106
Pressions d'entrée à charge nominale			

La chaudière à condensation n'aura un bon rendement que si on lui envoie de l'eau froide !

Pouvoir calorifique inférieur

- Le Pouvoir calorifique inférieur (PCI) des différents combustibles

Gaz naturel H (Algérien)	10.8 [kWh/m ³]
Gaz naturel L (Slochteren)	9.3 [kWh/m ³]
Propane	12.8 [kWh/kg]
Butane	12.6 [kWh/kg]
Mazout	10.0 [kWh/l]
Charbon	8.6 [kWh/kg]
Pellets (bois)	4.9 [kWh/kg]
Copeaux de bois	3.0 [kWh/kg]
Bûches, sèches	4.2 [kWh/kg]
Bûches, humides	2.5 [kWh/kg]



Chaudières : sommaire

- **Notions théoriques**
- **Technologies existantes**
 - **Chaudières à brûleur pulsé et brûleurs**
 - Chaudières gaz atmosphériques
 - Chaudières étanches
 - Chaudières basse température
 - Chaudières à condensation
 - Cascades entre chaudières
- **Pertes de chaleur dans une chaudière**
- **Rendements des chaudières**
- **Labels & normes**

Chaudières à brûleur pulsé (gaz ou mazout)

- Chaudières dites à foyer pressurisé (déplacement des fumées grâce à la pression du ventilateur)
- Le brûleur est choisi indépendamment de la chaudière



Avantages

- Faibles pertes à l'arrêt
- Rendement de combustion élevé si le brûleur est bien réglé ... 94-95%
- Rendements améliorés si brûleur à 2 allures ou modulant
→ Les + performantes parmi les chaudières « traditionnelles »

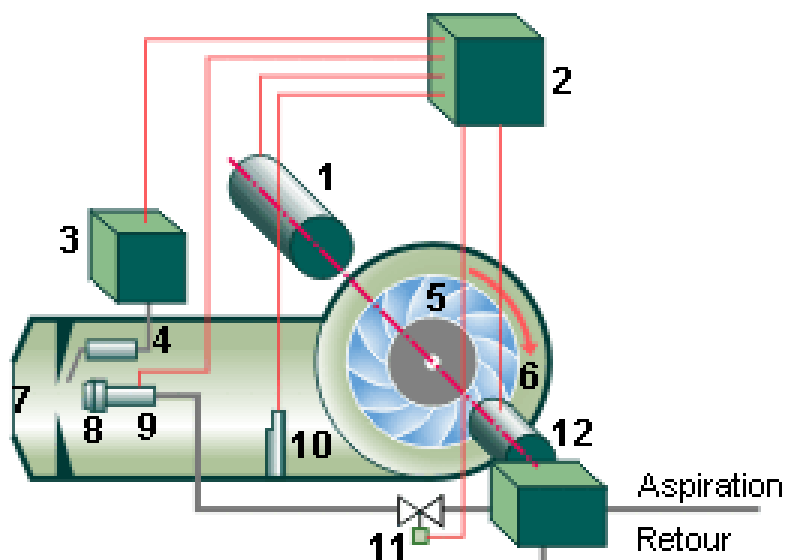
Inconvénients

- Plus difficile à régler
- Bruit
- Coûts d'installation

Brûleur pulsé mazout



Brûleur mazout à air pulsé :

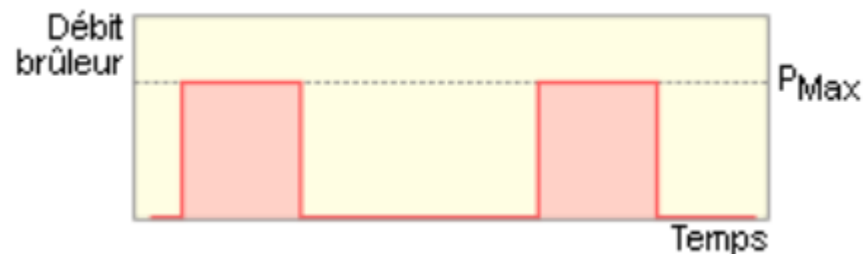


1. **moteur,**
2. boîte de contrôle,
3. transformateur,
4. électrodes,
5. **ventilateur,**
6. volute,
7. déflecteur,
8. **gicleur,**
9. réchauffeur,
10. cellule photosensible,
11. électrovanne,
12. **pompe** et régulateur de pression

Modes de fonctionnement des brûleurs pulsés

3 modes de fonctionnement :

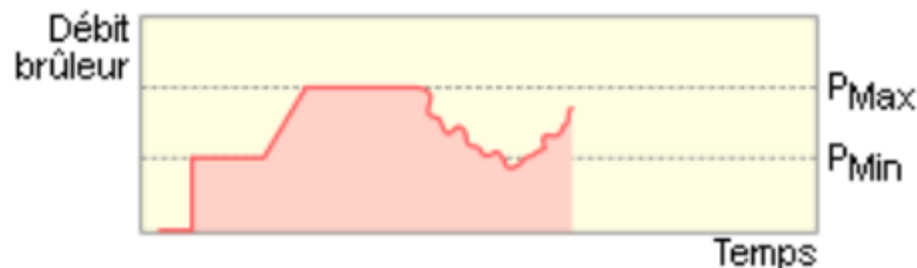
- Brûleur 1 allure (tout ou rien)



- Brûleur 2 allures (petite et grande flamme)



- Brûleur modulant (flamme variable)



Brûleur pulsé

- Quel est l'intérêt d'avoir plusieurs allures ?

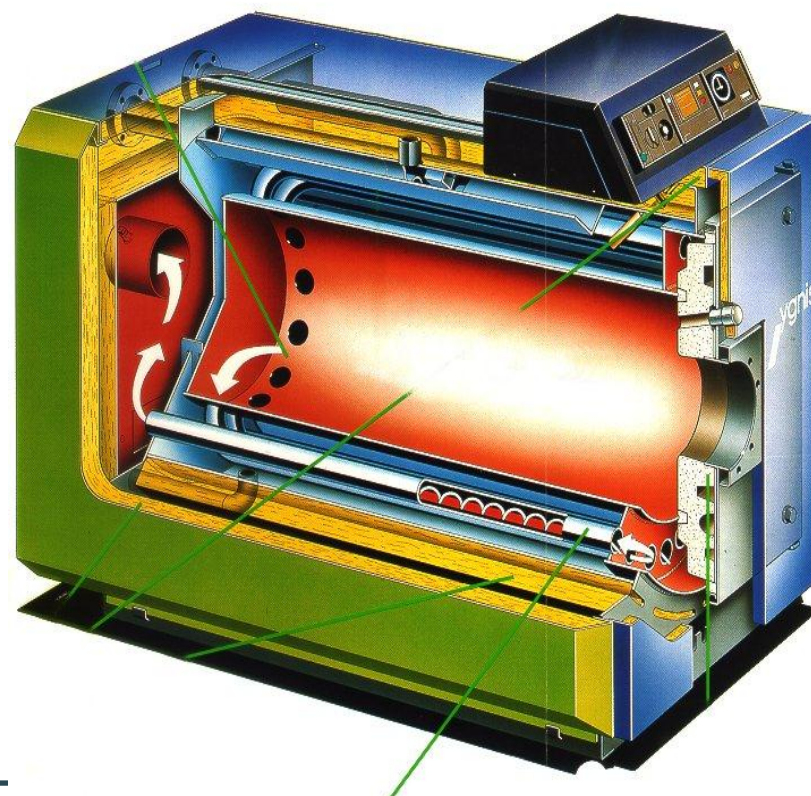
Si on a une petite flamme dans un grand échangeur, les fumées seront plus froides en sortie de chaudière

➔ *Meilleur rendement !*

Enjeu énergétique

2 .. 3 % de rendement de combustion en plus !

≈ 2 à 3 % de consommation en moins !



Brûleurs à 2 allures

- Potentiel d'économies ?



2 % de rendement de combustion en plus

≈ 2 % de consommation en moins !

Exemple : chaudière qui a un rendement de 90% en grande allure et qui consomme 350 000 kWh x 0,06 €/kWh = 21000 €/an.

2 % d'économies : $0,02 \times 21\,000 = 420$ € / an... en tournant 1 bouton (il faut tourner le bon !)

Brûleurs à 2 allures

- Comment les allures sont-elles commandées ?

Via des aquastats

➔ *Comment régler correctement ces aquastats?*



Améliorer une chaufferie existante

- Vérifier si la fiche alimentant la petite allure du brûleur est bien câblée et branchée

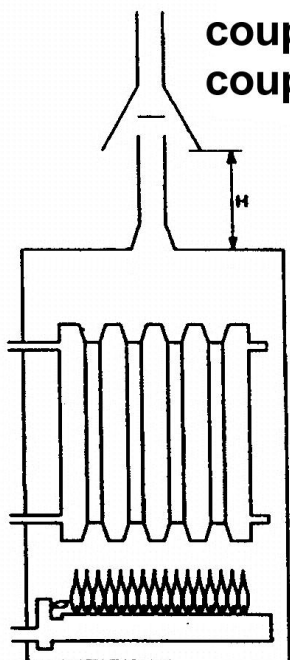
> Broche verte non câblée...



Chaudières : sommaire

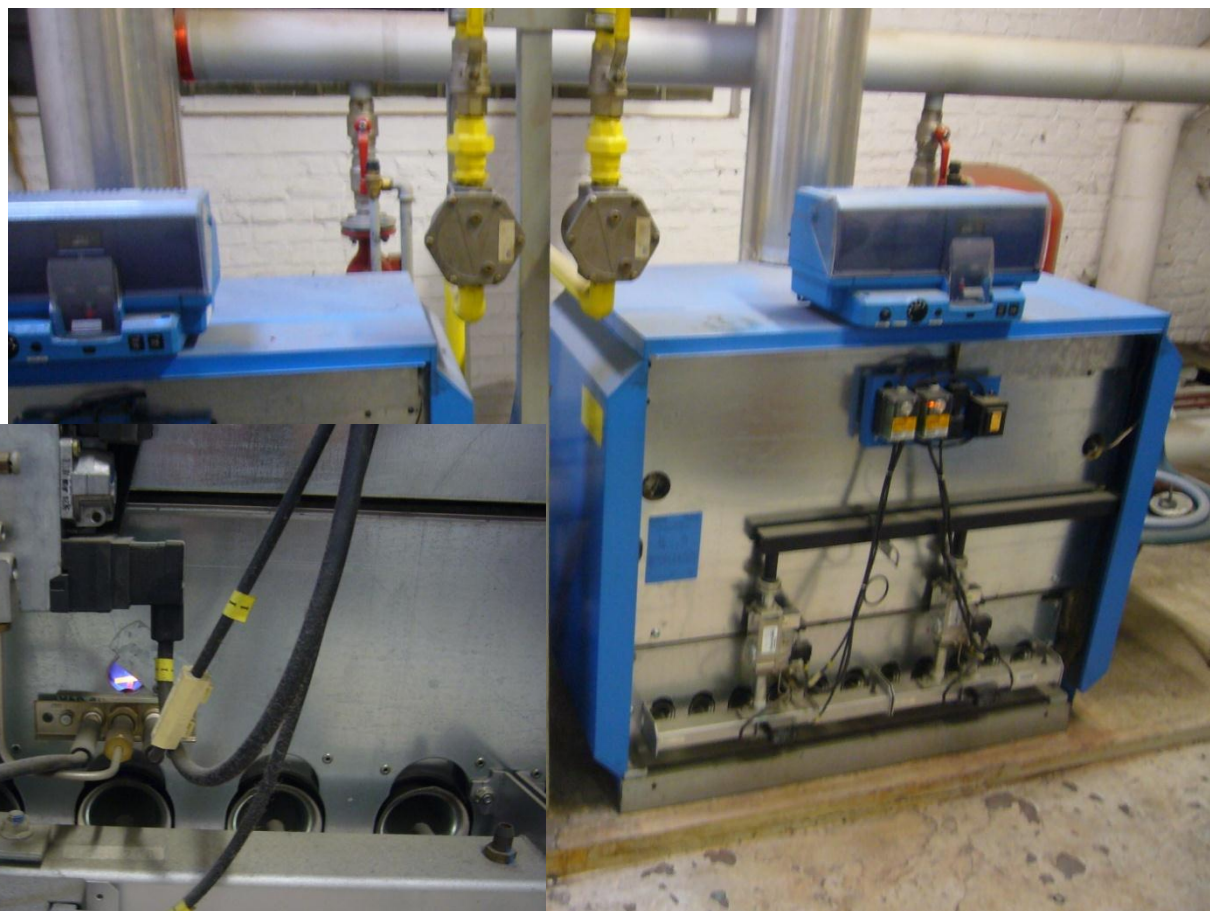
- **Notions théoriques**
- **Technologies existantes**
 - Chaudières à brûleur pulsé et brûleurs
 - **Chaudières gaz atmosphériques**
 - Chaudières étanches
 - Chaudières basse température
 - Chaudières à condensation
 - Cascades entre chaudières
- **Pertes de chaleur dans une chaudière**
- **Rendements des chaudières**
- **Labels & normes**

Chaudières gaz atmosphériques



coupe-tirage/registre
coupe-feu

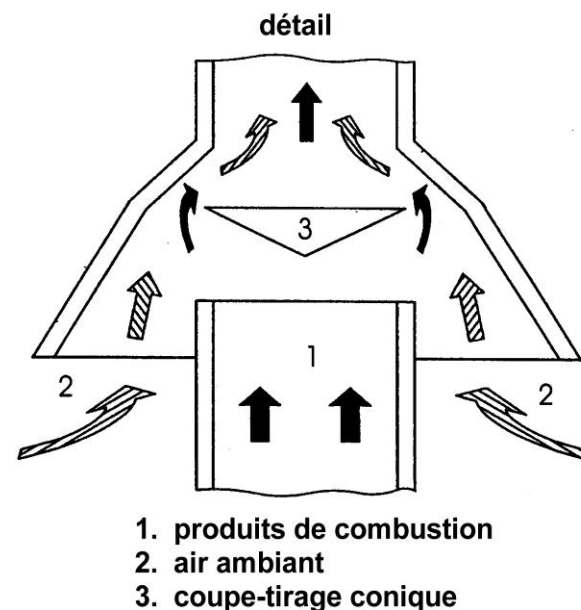
chaudière au
gaz naturel



Chaudières gaz atmosphériques



Coupe-tirage



Chaudières gaz atmosphériques

- Caractéristiques :

- Technologie constructive **simple**

- La **combustion** se fait à la **pression atmosphérique**
- **Foyer ouvert** sur l'ambiance
- Brûleur = rampe gaz intégrée dans la chaudière
- **Pas de ventilateur** sur le brûleur → **Pas de bruit**
(parfois un ventilateur d'évacuation des fumées)

- Présence d'un **coupe tirage**

(parfois visible sous la forme conique)

- Allumage par veilleuse pour les anciennes chaudières
Allumage électronique pour les chaudières actuelles

Chaudières gaz atmosphériques

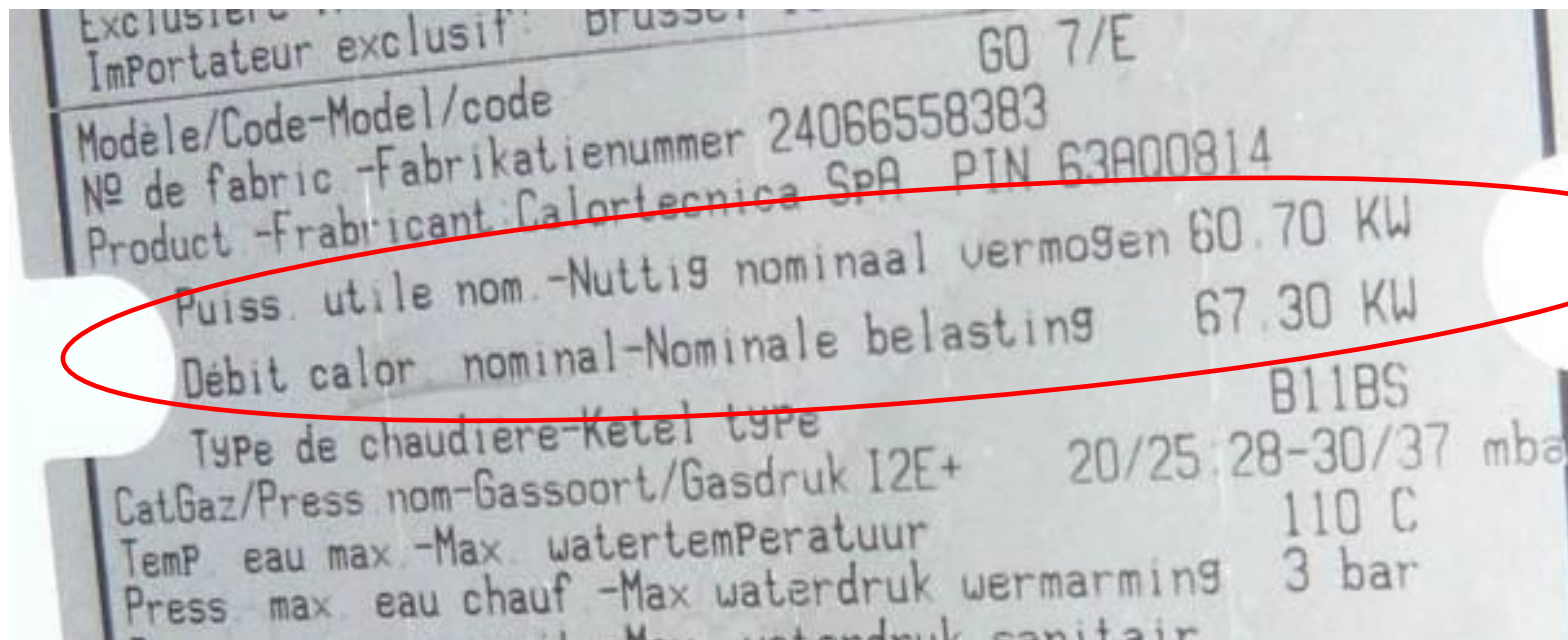
- Caractéristiques (suite) :

- **Pas de réglage possible de la combustion** (réglage d'usine). **Pas de mesure de combustion** possible.
- **Rendement de combustion parfois médiocre** (excès d'air non maîtrisé)
- **Pertes à l'arrêt plus importantes** (foyer ouvert en permanence)
- **Production d'NO_x plus importante.**

$$\eta_{\text{comb}} = 85 \dots 91\%$$

Chaudières gaz atmosphériques

- Détermination du rendement de combustion



$$\eta_{comb} = 60,7 / 67,3 = 90 \%$$

$$\eta_{combustion \text{ courants}} = 85 \dots 91\%$$

Brûleur atmosphérique vs pulsé



Atmosphérique

Pulsé

Coût

+

++

Bruit

Absence de bruit
(pas de ventilateur)

Plus bruyant

Emission de polluants

Élevé

Faible

Pertes à l'arrêt

Elevée

Faible

Facilité d'installation et réglage

Facile

Plus difficile

Rendement saisonnier

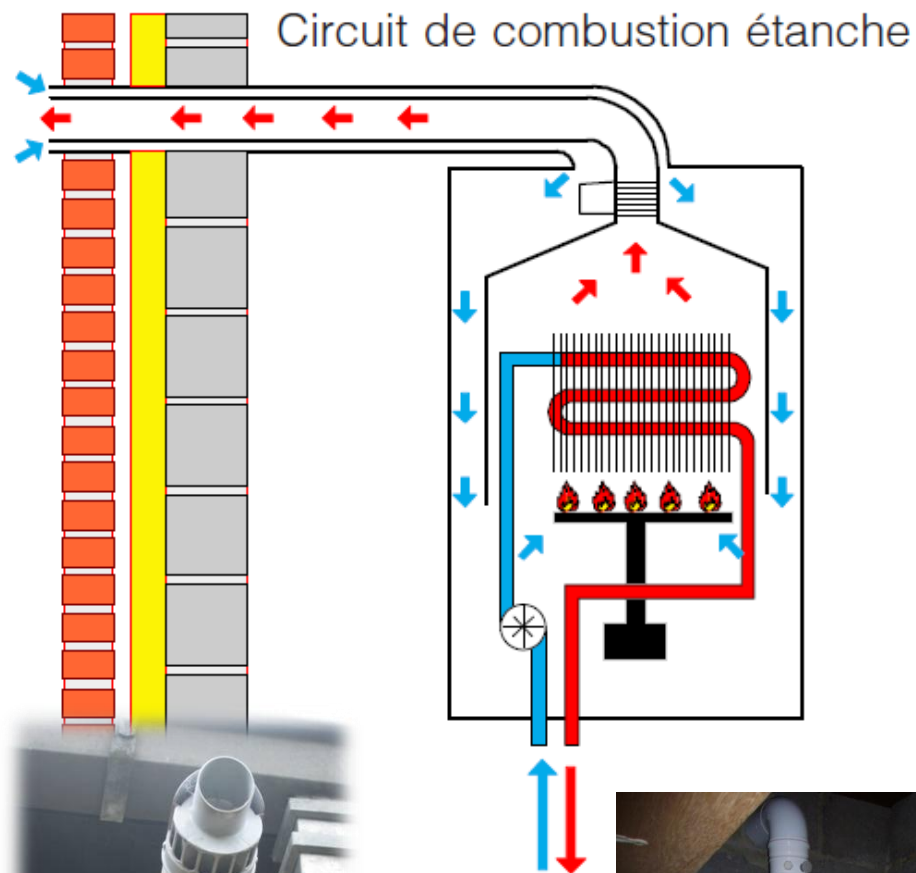
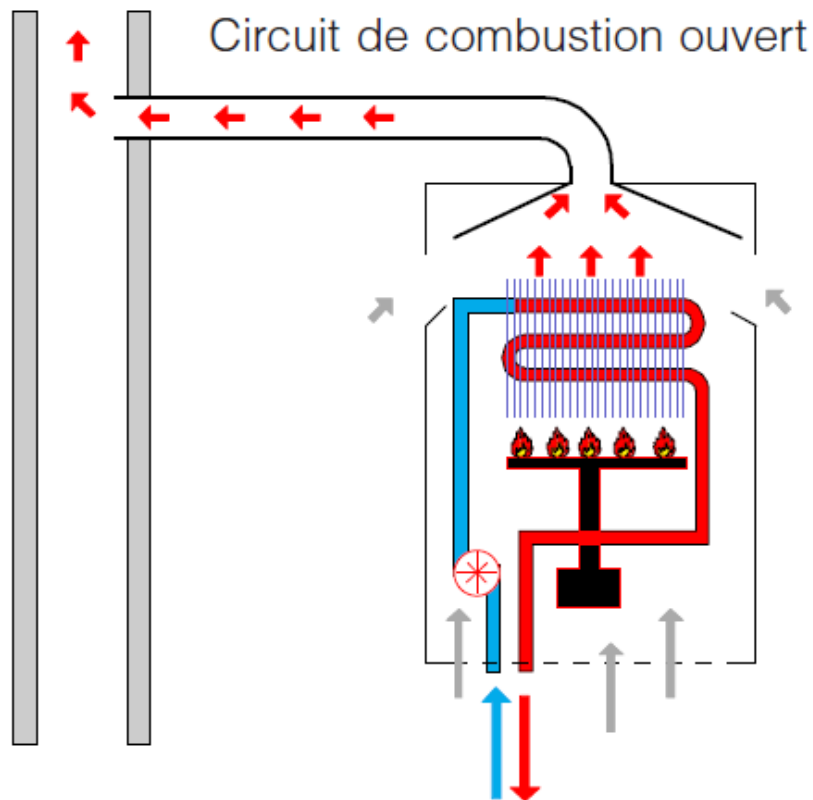
Médiocre (75...91%)

Bon (86...93%)

Chaudières : sommaire

- **Notions théoriques**
- **Technologies existantes**
 - Chaudières à brûleur pulsé et brûleurs
 - Chaudières gaz atmosphériques
 - **Chaudières étanches**
 - Chaudières basse température
 - Chaudières à condensation
 - Cascades entre chaudières
- **Pertes de chaleur dans une chaudière**
- **Rendements des chaudières**
- **Labels & normes**

Chaudières étanches



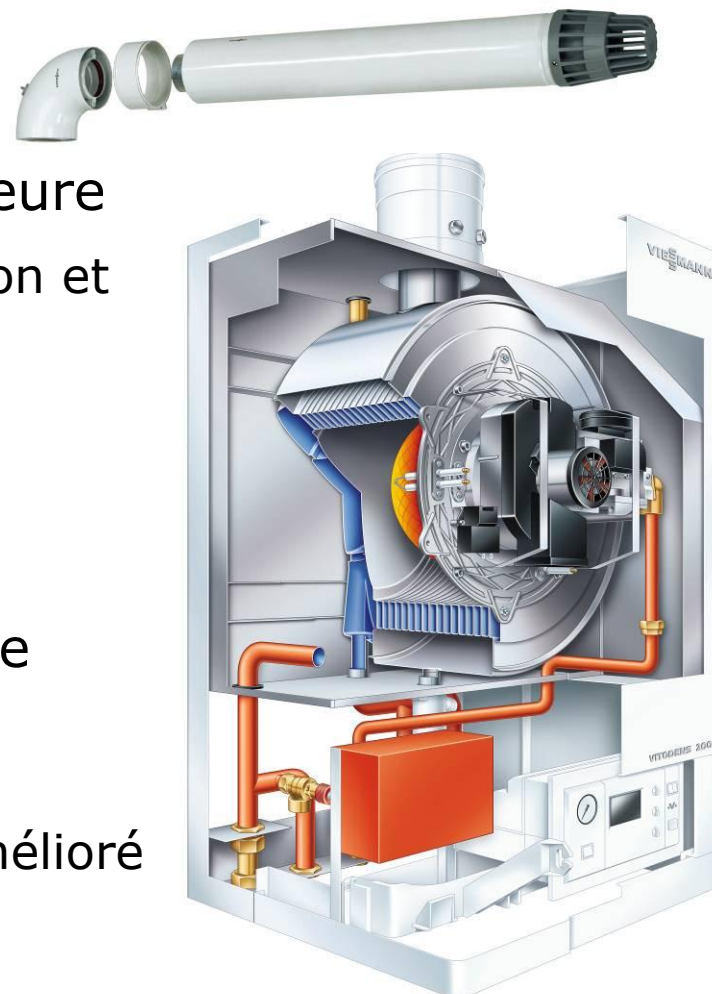
« Chaudière
à ventouse »



Chaudières étanches

• Avantages :

- Meilleure sécurité si prise d'air extérieure (limite les risques de mauvaise combustion et de production de CO toxique)
 - Meilleur contrôle de l'excès d'air
 - Possibilité de modulation de puissance
- rendement de combustion parfois amélioré
- pertes à l'arrêt réduites



Chaudières : sommaire

- **Notions théoriques**

- **Technologies existantes**

- Chaudières à brûleur pulsé et brûleurs
- Chaudières gaz atmosphériques
- Chaudières étanches
- **Chaudières basse température**
- Chaudières à condensation
- Cascades entre chaudières

- **Pertes de chaleur dans une chaudière**

- **Rendements des chaudières**

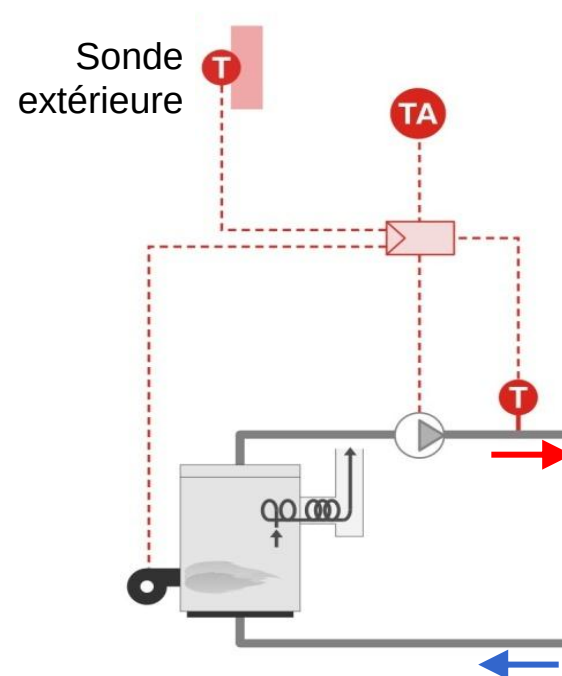
- **Labels & normes**

Chaudières (très) basse T° (mazout ou gaz)

- **Chaudière traditionnelle « Basse température »** : température moyenne d'eau > 50...60 °C = contrainte
- **Chaudière traditionnelle « Très basse température »** : aucune contrainte pour la température d'eau

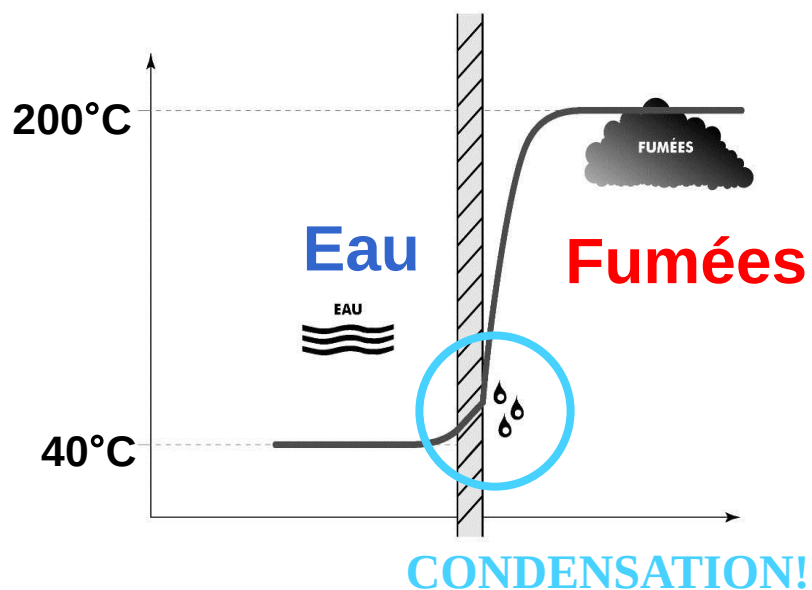
Intérêts :

- **Diminuer les pertes** :
 - Dans la chaufferie (chaudières en fonctionnement et à l'arrêt)
 - Via les conduites de distribution

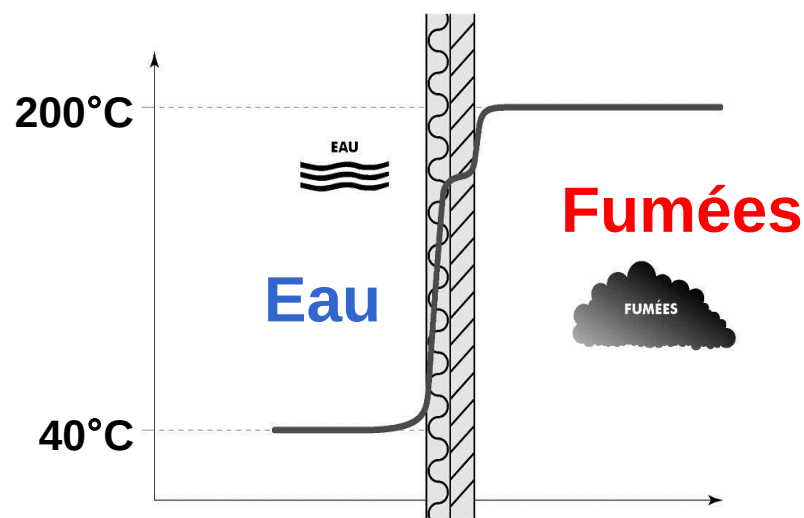


Chaudières très basse T° (mazout ou gaz)

Echangeur à parois simples



Echangeur à doubles parois



Echangeur de chaleur conçu pour que

$T_{\text{paroi}} \text{ côté fumée} > \text{point de rosée}$ (.. 45°C .. pour le fuel et .. 55°C .. pour le gaz)

Chaudières très basse T° (mazout ou gaz)

- Conclusion :

- **On isole pour freiner l'échange ...
... le comble pour un échangeur !**
- Technologie uniquement intéressante pour pouvoir réguler la chaudière en T° glissante sans risquer de condenser dans la chaudière.



Et pourquoi vouloir éviter la condensation si ce phénomène permet de gagner de l'énergie ?

→ Ces chaudières ne sont pas prévues pour condenser : s'il y a condensation, il y a risque de corrosion de la chaudière !

Chaudières : sommaire

- **Notions théoriques**

- **Technologies existantes**

- Chaudières à brûleur pulsé et brûleurs
- Chaudières gaz atmosphériques
- Chaudières étanches
- Chaudières basse température
- **Chaudières à condensation**
- Cascades entre chaudières

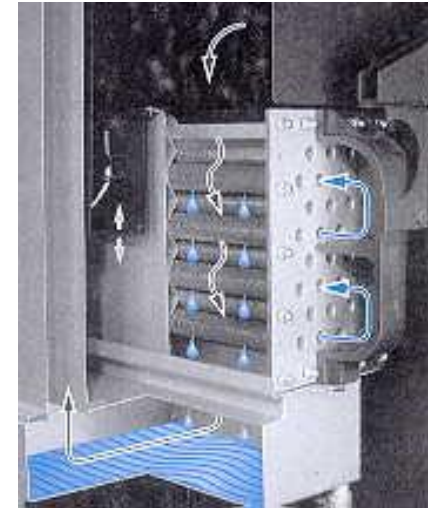
- **Pertes de chaleur dans une chaudière**

- **Rendements des chaudières**

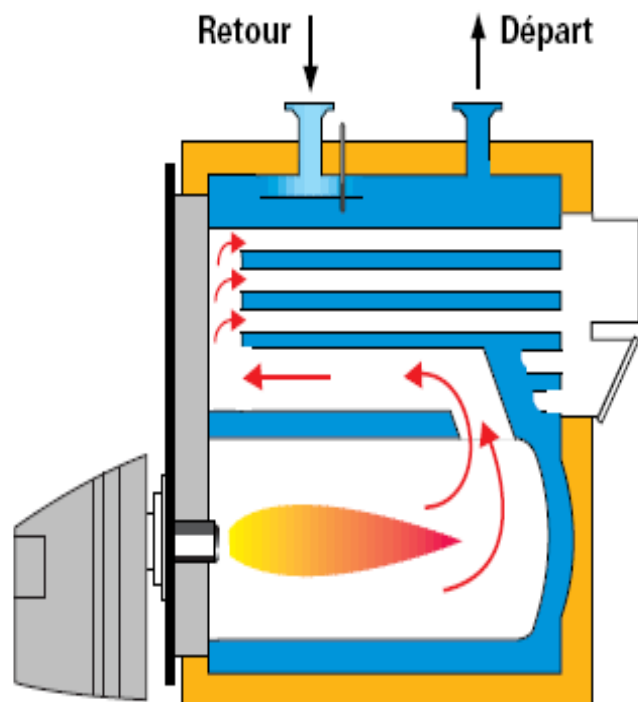
- **Labels & normes**

Production

-
- A tall, white, vertical industrial oven, likely a Quanta brand, featuring a digital display on the door handle. The oven is set against a dark background.

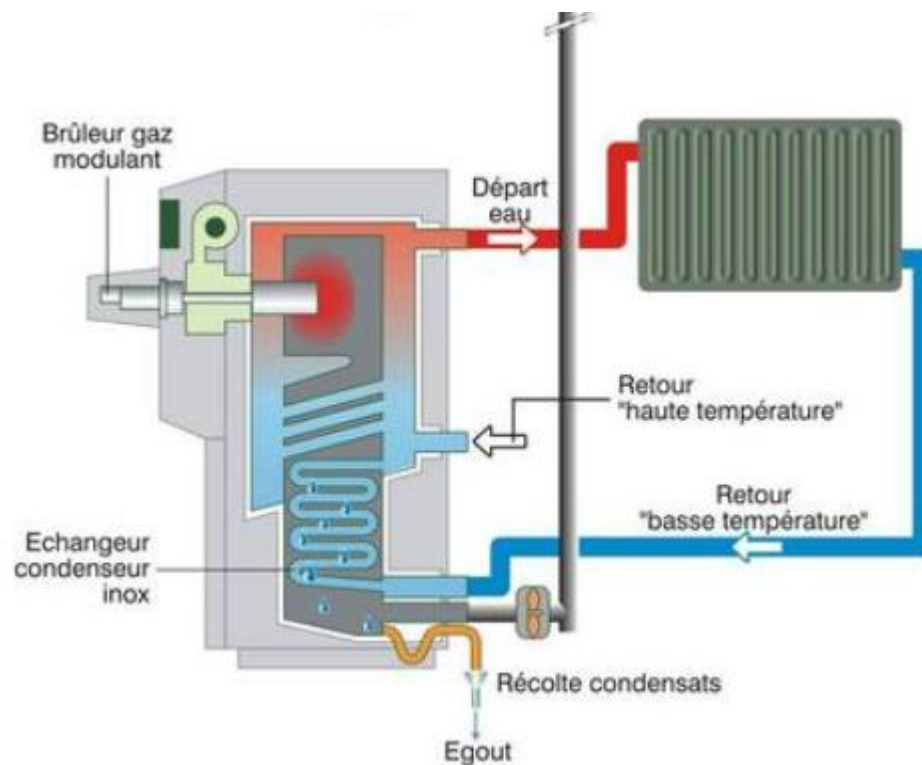


Chaudière Basse T° vs À condensation



Chaudière (très) basse température

$$T_{\text{fumées}} \sim 120^{\circ}\text{C}$$



Chaudière à condensation

$$T_{\text{fumées}} \sim T_{\text{eau retour}} + 5 \text{ à } 10^{\circ}\text{C}$$

Chaudières : sommaire

- **Notions théoriques**

- **Technologies existantes**

- Chaudières à brûleur pulsé et brûleurs
- Chaudières gaz atmosphériques
- Chaudières étanches
- Chaudières basse température
- Chaudières à condensation
- **Cascades entre chaudières**

- **Pertes de chaleur dans une chaudière**

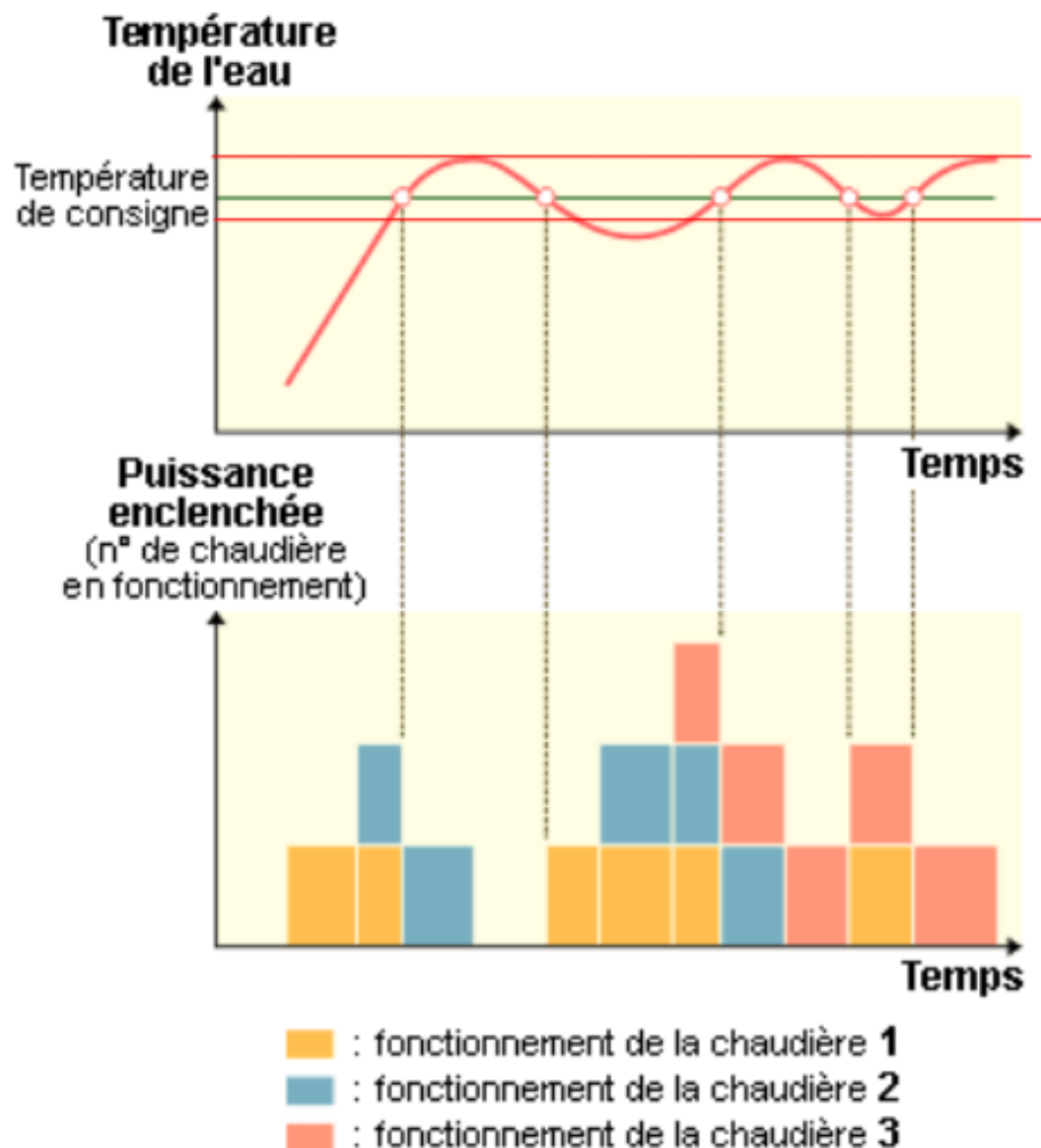
- **Rendements des chaudières**

- **Labels & normes**

Cascade entre chaudières

- **Principe :**

Mise en service d'une ou de plusieurs chaudières en fonction des besoins de chauffage

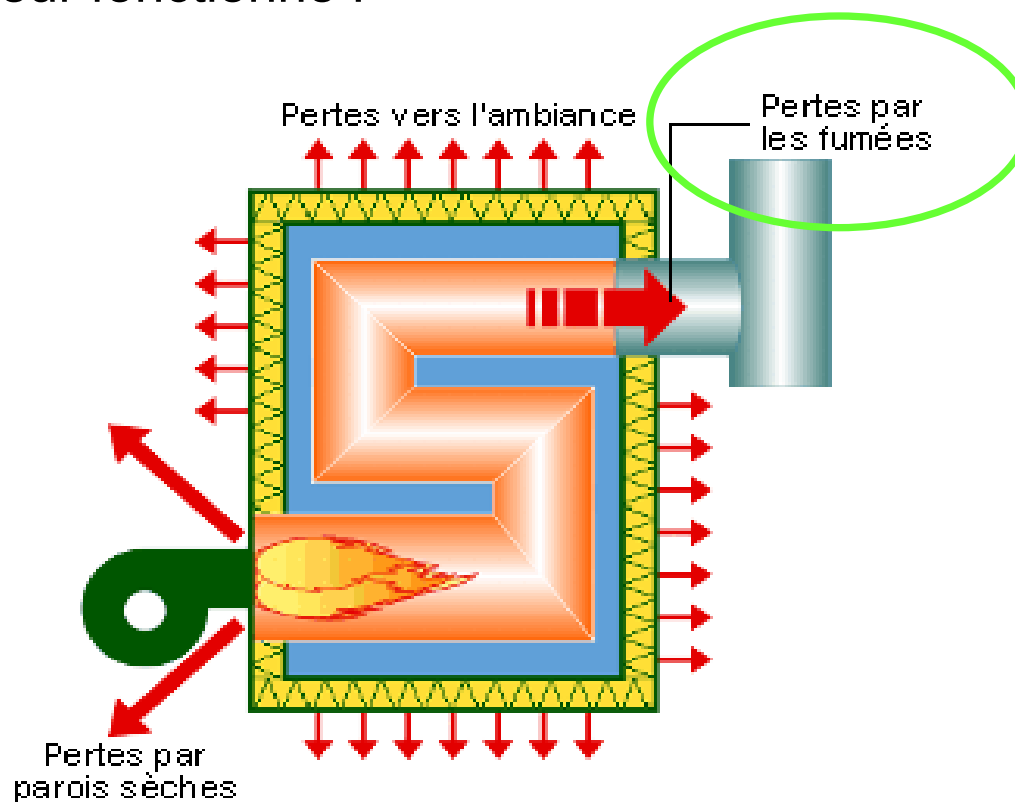


Chaudières : sommaire

- **Notions théoriques**
- **Technologies existantes**
- **Pertes de chaleur dans une chaudière**
 - Pertes en fonctionnement
 - Pertes à l'arrêt
- **Rendements des chaudières**
- **Labels & normes**

Pertes dans une chaudière

Quand le brûleur fonctionne :

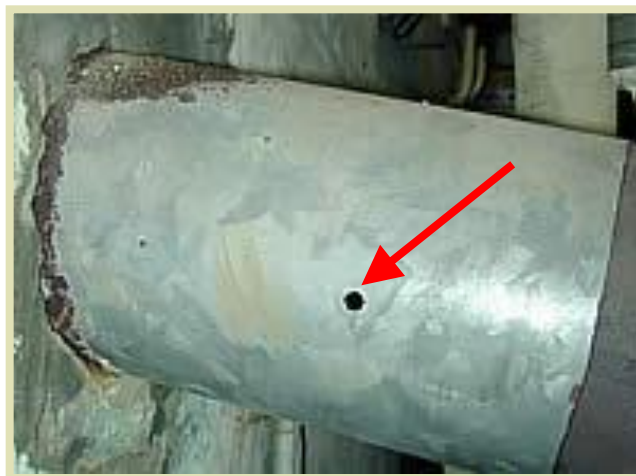


Evaluer les paramètres de combustion

Sur une chaudière à brûleur pulsé, les pertes par les fumées sont mesurées à l'aide d'un analyseur de combustion électronique



Orifice dans la buse de raccordement à la cheminée pour la mesure du rendement de combustion



3. MESURES (3)

	Unité	Application	Mesures initiales (RBC)		Mesures finales		Exigences	Conformité	
			Allure 1	Allure 2	Allure 1	Allure 2(*)		OK	Non OK
Température d'eau (4)	°C	1-2			74	74			
Gicleur: marque/type	/	1			Danfoss/S	Danfoss/S			
Gicleur: débit	USG/h	1			4,5	3,0			
Gicleur: angle	°	1			60	60			
Pression pompe	bar	1			14	14			
Pression gaz	mbar	2							
(dé)pression cheminée	Pa	1-2		→	16	16			
Indice fumée	Bacharach	1			0	0			
Teneur en O ₂	%	1-2			3,8	3,9			
Teneur en CO ₂	%	1-2	→	→	12,6	12,5			
Teneur en CO	mg/kWh	1-2		→	10	16			
Tem. des gaz de combustion	°C	1-2			143,1	185,4			
Temp.de l'air de combustion	°C	1-2			25,2	25,2			
Température nette	°C	1-2	→	→	117,9	160,2			
Rendement de combustion	%	1-2	→	→	94,5	92,6			
Application = 1: combustible liquide – 2: combustible gazeux									
Les tickets des résultats de mesure sont à agraffer à cette attestation									

(*) ATTENTION: Si un brûleur à 2 allures ne peut être maintenu pendant un temps suffisamment long sur la (les) puissance(s) inférieure(s) à la puissance nominale pour permettre la mesure, mettre une croix ici ☐ et effectuer uniquement la mesure à la puissance nominale.

Réglage d'un brûleur

- **Valeurs cibles** pour les paramètres de combustion présents sur l'attestation d'entretien

	Ancienne chaudière de 20 ~ 25 ans	Nouvelle chaudière non à condensation	
T° fumées	~ 180	~ 120	°C
Taux CO2 mazout	12,5 .. 13	12,5 .. 13	%
Taux CO2 gaz	10 .. 11	10 .. 11	%
Taux CO	0	0	ppm
Excès d'air	~ 20	~ 20	%
Tirage	~ 10 .. 15	~ 10 .. 15	Pa
Rendement	~ 90 .. 92	~ 94 .. 95	%

→ En dessous de 88 %, le rendement de combustion doit être considéré comme inacceptable et une amélioration doit être apportée.

Réglage d'un brûleur

- **Principales causes d'un mauvais rendement :**

Rendement de combustion =

$$100 - f \times (T_{\text{fumée}} - T_{\text{ambiante}}) / \%CO_2$$

Il y a problème si :

- % CO₂ < 12 .. 13 en fuel, 9 .. 10 % en gaz
 - Entrées d'air parasites ?
 - Mauvais réglage ? Excès d'air trop important ?
- température de fumée > 200°C
 - Encrassement (Bacharach >1, CO > 75 ppm) ?
 - Propreté de la chaufferie ?
 - Mauvais tirage (>20 Pa; <10 Pa) ?
 - Régulateur de tirage ?
 - Ventilation de la chaufferie ?
(1 .. 1,5 dm² / 17,5 kW)



Réglage d'un brûleur

- Enjeu énergétique :

1 % de rendement de combustion en plus

≈ 1 % de consommation en moins !

*Exemple : chaudière qui a un rendement de 90% et qui consomme
350 000 kWh x 0,06 €/kWh = 21000 €/an.*

Si le rendement est peu performant, dans certains cas, un meilleur réglage semble être possible

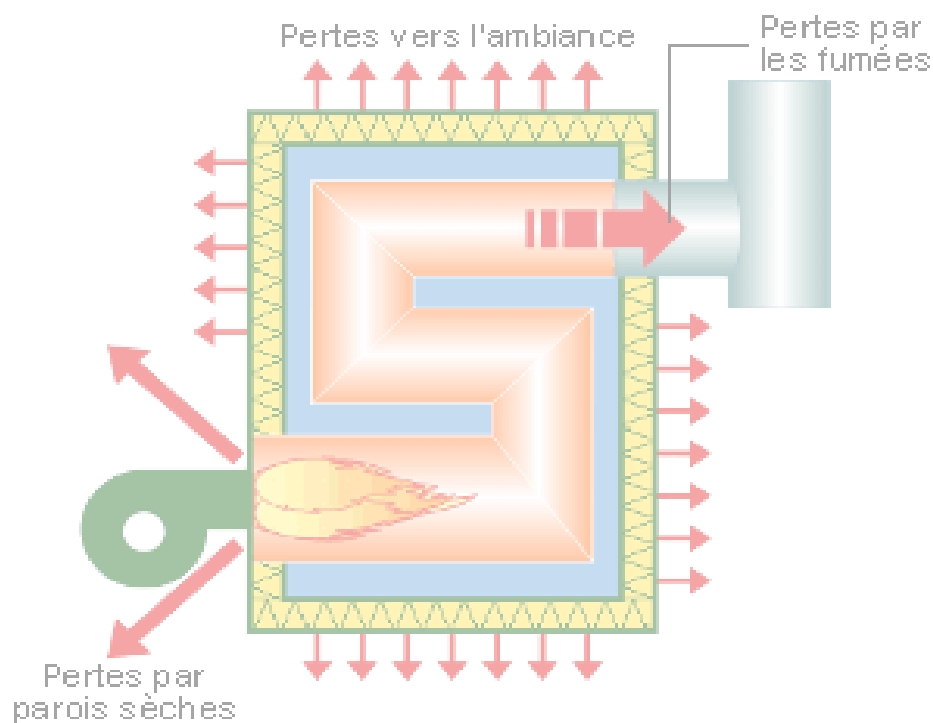
⇒ **Interroger le chauffagiste** sur la faisabilité d'affiner le réglage

*Si rendement amélioré à 91% : $350000 \times (1 - 90/91) = 3850 \text{ kWh}$
économisés soit $3850 \times 0,06 = 230 \text{ €/an}$*

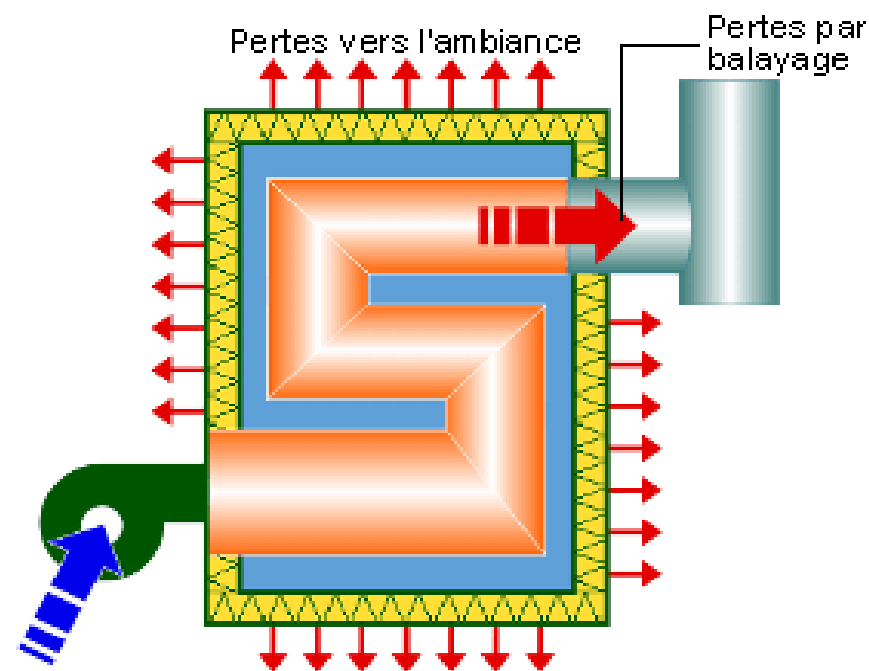
> Si on ne peut améliorer le rendement au-delà de 90 % (limite généralement acceptable), il faut envisager le remplacement du brûleur ou de l'ensemble chaudière-brûleur

Pertes dans une chaudière

Quand le brûleur fonctionne :



Quand le brûleur est à l'arrêt :



Pertes à l'arrêt

$$\text{Pertes à l'arrêt} = \alpha_e \cdot \text{Puissance chaudière} \cdot \text{Temps d'arrêt}$$

α_e :

- Isolation de la jaquette (~âge)
- Localisation de la chaudière (T° amb.)
- Ouverture du foyer à l'arrêt du brûleur (clapet d'air)
- T° de l'eau (régulation)

Puissance chaudière
et temps d'arrêt :

- surdimensionnement de la chaudière (et brûleur)

Agir sur les pertes par balayage

→ clapet d'air du brûleur

Production

Les pertes par balayage sont réduites lorsqu'un **clapet d'air** est présent et se ferme automatiquement lorsque le brûleur s'arrête.



→ clapet d'air du brûleur

> Aujourd'hui pratiquement tous les brûleurs rencontrés sur le terrain disposent d'un volet d'admission d'air motorisé (datant après 1985)

> Dans certains cas, on constate qu'il ne se referme pas à l'arrêt (souvent la raison d'un mauvais câblage électrique ou parfois d'un problème mécanique)

⇒ **Un courant d'air permanent refroidit la chaudière lorsqu'à l'arrêt**

• Enjeu énergétique :

0,5 à 1 % de la puissance nominale de la chaudière

Exemple : chaudière de 500 kW : $0,0075 \times 500 \text{ kW} = 3,75 \text{ kW}$

Durée de saison de chauffe : 5800 heures

→ $3,75 \text{ kW} \times 5800 \text{ h} = 21\,750 \text{ kWh}$ ou $21\,750 \text{ kWh} \times 0,06 \text{ €/kWh} = 1305 \text{ €/an}$

→ Bon dimensionnement

- Une installation correctement dimensionnée devrait fonctionner **~1/3 de la saison de chauffe, soit entre 1200 et 2000 h/an**
- Pourquoi 1/3 ?
 - T° int. moyenne ~ 17°C
 - T° ext. moyenne ~ 7°C
 - T° int. de dimensionnement ~ 20°C
 - T° ext. de dimensionnement ~ -10°C

$\left. \begin{array}{l} \text{– T° int. moyenne } \sim 17^{\circ}\text{C} \\ \text{– T° ext. moyenne } \sim 7^{\circ}\text{C} \end{array} \right\} \Delta T = 10^{\circ}\text{C}$

$\left. \begin{array}{l} \text{– T° int. de dimensionnement } \sim 20^{\circ}\text{C} \\ \text{– T° ext. de dimensionnement } \sim -10^{\circ}\text{C} \end{array} \right\} \Delta T = 30^{\circ}\text{C}$

$$\text{Temps de fonctionnement du brûleur [h]} = \frac{\text{Consommation [kWh/an]} }{\text{Puissance brûleur [kW]}}$$

→ Bon dimensionnement

- Comment repérer un surdimensionnement de la chaudière ?
 - Temps de fonctionnement du brûleur < 4 min
 - Temps de fonctionnement annuel $< \sim 1000$ h/an
- Impact du surdimensionnement des chaudières :
 - Augmentation des temps d'arrêt et donc des pertes à l'arrêt
 - Diminution du temps de fonctionnement du brûleur et augmentation des séquences de démarrage

En pratique :

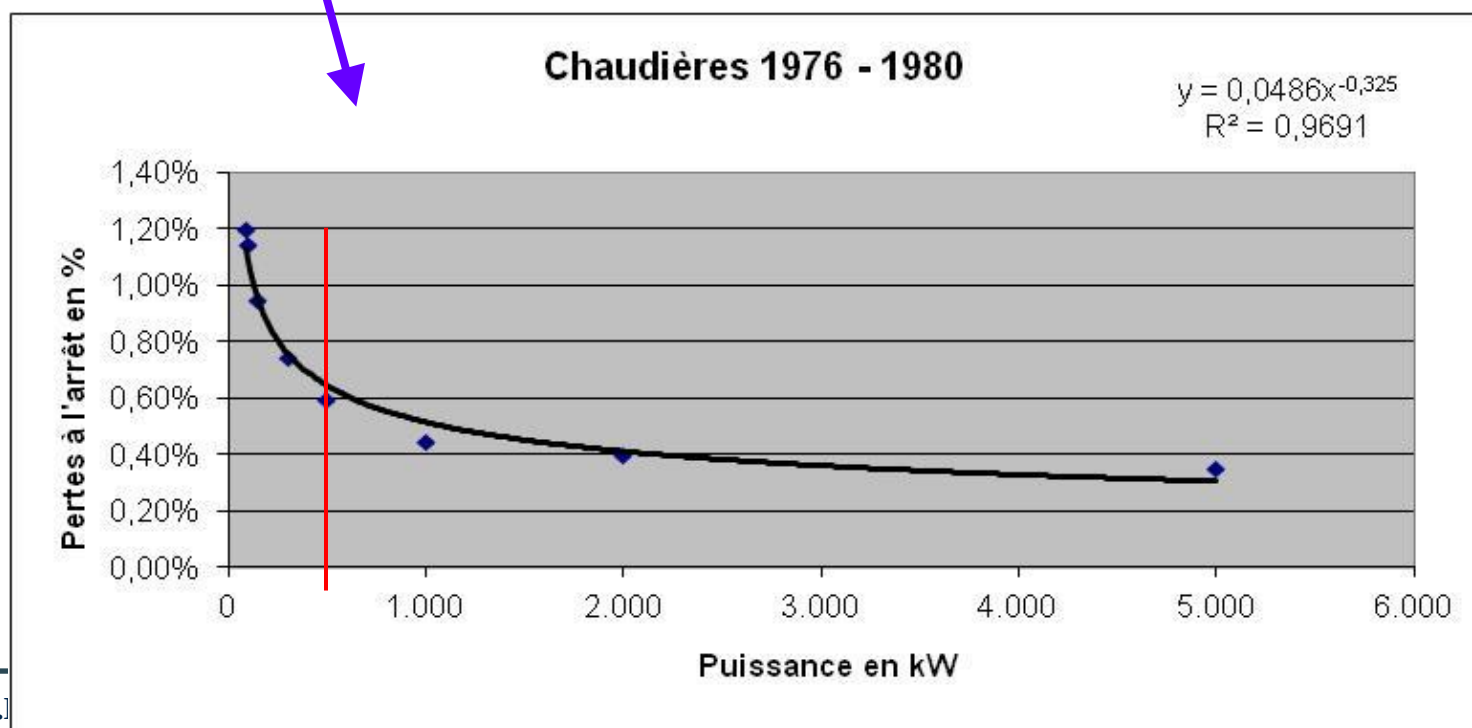
surdimensionnement important récurrent

→ souvent possible de mettre 1 chaudière à l'arrêt sur 2

Pertes à l'arrêt

Exemple d'une chaudière de 500 kW de 1980 dont la consommation combustible s'élève à 350 000 kWh

$$\text{Pertes à l'arrêt} = \alpha_e \cdot \text{Puissance chaudière} \cdot \text{Temps d'arrêt}$$



Pertes à l'arrêt

Exemple d'une chaudière de 500 kW de 1980 dont la consommation combustible s'élève à 350 000 kWh

$$\text{Pertes à l'arrêt} = \alpha_e \cdot \text{Puissance chaudière} \cdot \underline{\text{Temps d'arrêt}}$$

$$\begin{aligned} \text{Temps de fonctionnement du brûleur [h]} &= \\ \text{Consommation [kWh/an]} / \text{Puissance brûleur [kW]} &= \\ 350\,000 / 500 &= 700 \text{ heures} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Temps d'arrêt} &= \text{durée de la saison de chauffe} - \text{temps de fonctionnement} \\ &= 5800 - 700 = 5100 \text{ heures} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pertes à l'arrêt} &= 0,006 \times 500 \times 5100 = 15\,300 \text{ kWh} \\ &\times 0,06 \text{ €/kWh} = 918 \text{ €/an} \end{aligned}$$

Production – Chaudières : sommaire

- **Notions théoriques**
- **Technologies existantes**
- **Pertes de chaleur dans une chaudière**
- **Rendements des chaudières**
 - Terminologie
 - Evolution en fonction de la charge
 - Ordres de grandeur des rendements
- **Labels & normes**

Terminologie

- **Rendement de combustion**

- = Rendement instantané (quand le brûleur fonctionne)
- = Image des pertes par les fumées
- = Rendement mesuré par le chauffagiste pendant l'entretien
- = Rendement repris sur la fiche d'entretien

Typiquement ~90% pour une chaudière de 1980

- **Rendement saisonnier** (= Rendement annuel de la production)

- = $(\text{Cons.} - \text{Pertes comb.} - \text{Pertes arrêt}) / \text{Cons.}$
- = rapport entre l'énergie transmise à l'eau sur l'ensemble de la saison de chauffe et la totalité de l'énergie fournie par le combustible

Calculé par outil Energie+;

pour exemple (chaudière 1980 de 500 kW): 86,7 %



Pour une chaudière standard ...

Le rendement saisonnier diminue :

- **d'autant plus que la chaudière est surdimensionnée** (longtemps à l'arrêt)
- **d'autant plus vite que le facteur de perte à l'arrêt est important** (chaudière mal isolée ou pertes par balayage)

- Si le facteur de perte à l'arrêt est faible (chaudière récente), l'effet d'un surdimensionnement est peu important
- Si le facteur de perte à l'arrêt est important (ancienne chaudière), le surdimensionnement de la chaudière dégrade fortement le rendement saisonnier

Rendement saisonnier : calcul ! (voir outils Energie+)

Comparaison des chaudières

- Ordre de grandeur des **rendements de production saisonnier** :

- | | |
|--|-------------|
| – Chaudières gaz atmosphériques : | 80 .. 91 % |
| – Chaudières fuel ou gaz à brûleur pulsé : | 86 .. 93 % |
| – Chaudières gaz à condensation: | 97 .. 103 % |



*mauvais échangeur
régulation en température
constante*



*Bon échangeur
régulation en
température glissante*

Chaudières : sommaire

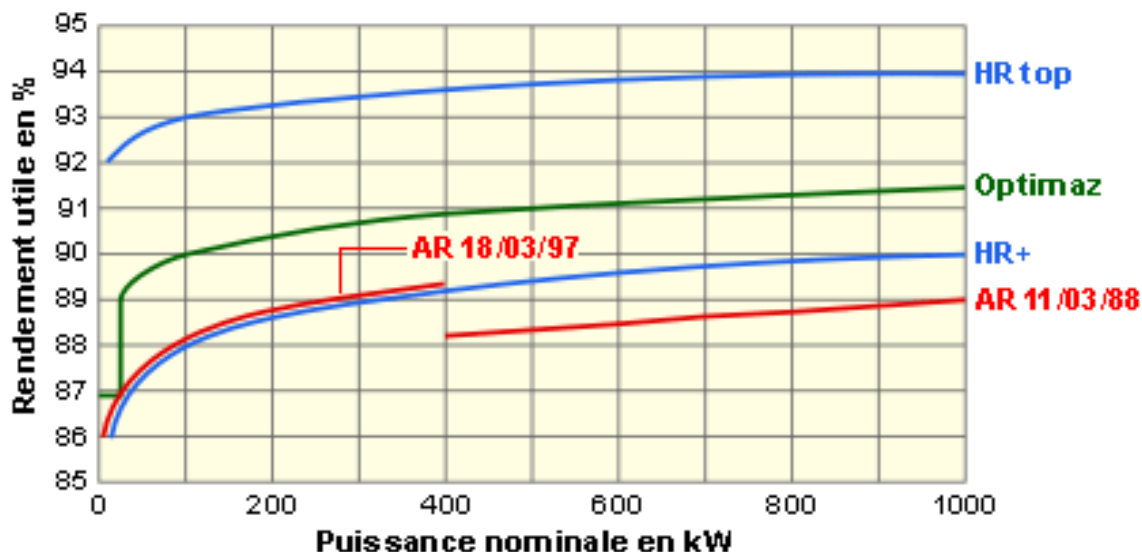
- **Notions théoriques**
- **Technologies existantes**
- **Pertes de chaleur dans une chaudière**
- **Rendements des chaudières**
- **Labels & Normes**
 - Les labels
 - Apports d'air dans le local de chauffe

Les labels

	Gaz	Mazout
Chaudières non à condensation	 BGV-HR  HR+ ≥ 1998	 Optimaz < 2005  Optimaz ≥ 2005
Chaudières à condensation	 HR Top ≥ 1998	 Optimaz Elite < 2005  Optimaz Elite ≥ 2005

Les labels

Comparaison des exigences des différents labels avec les exigences réglementaires pour le rendement utile à pleine charge



- Label HR+ pas plus strict que les exigences réglementaires
 - Label HR Top n'impose pas que la chaudière condense réellement
 - Label Optimaz un peu plus exigeant mais encore peu sévère par rapport aux meilleurs équipements sur le marché
- Les labels sont peu exigeants et ne permettent pas une comparaison des appareils entre-eux (pas de valeurs chiffrées). Néanmoins, ils offrent une garantie de contrôle du rendement par un organisme indépendant

Rendement à 30 % de charge

Rendement à charge partielle de 30%

=

Point de comparaison de la performance des chaudières

Exemples de documentations techniques
→ Chaudière gaz condensation

Type de chaudière	Calenta		15s	25s	28c	35s	40c
Généralités							
N° d'identification CE	PIN		0063BT3444				
Réglage du débit	Réglable		Modulant, Marche/Arrêt, 0 - 10 V				
Plages de puissance (Pn) G20 Régime Chauffage (80/60 °C)	min - max	kW	3,0 - 14,5	5,0 - 24,1	5,0 - 24,1	6,3 - 34,0	6,3 - 34,0
	Réglage d'usine	kW	14,5	24,1	19,4	34,0	23,3
Plages de puissance (Pn) G20 Régime Chauffage (50/30 °C)	min - max	kW	3,4 - 15,8	5,6 - 25,5	5,6 - 25,5	7,0 - 35,9	7,0 - 35,9
	Réglage d'usine	kW	15,8	25,5	20,5	35,9	24,5
Plages de puissance (Pn) G20 Régime ECS	min - max	kW	-	-	5,0 - 28,6	-	6,3 - 38,7
	Réglage d'usine	kW	-	-	28,6	-	38,7
Rendement chauffage à pleine charge (Hi) (80/60 °C)	-	%	96,5	96,3	96,3	96,9	96,9
Rendement chauffage à pleine charge (Hi) (50/30 °C)	-	%	105,3	102,0	102,0	102,2	102,2
Rendement chauffage à charge partielle (Hi) (Température de retour 60°C)	-	%	94,9	96,1	96,1	96,3	96,3
Rendement chauffage à charge partielle (EN 92/42) (Température de retour 30°C)	-	%	108,5	108,0	108,0	108,2	108,2

Apports d'air dans le local de chauffe

- **NORMES EN VIGUEUR:**

- **NBN B 61-002** ($P < 70$ kW)
- **NBN B 61-001** ($P \geq 70$ kW)

- **Buts des exigences de ventilation :**

- ✓ Apport d'air comburant pour les chaudières à circuit ouvert
- ✓ Eliminer les odeurs éventuelles
- ✓ Eviter que la température du local de chauffe excède 40°C

Apports d'air dans le local de chauffe

- **Ordre de grandeur de ventilation basse pour $P > 70\text{kW}$**

1 dm² par 17,5 kW, si la cheminée est plus haute que 6 m.

1,5 dm² par 17,5 kW, si la cheminée est moins haute que 6 m.

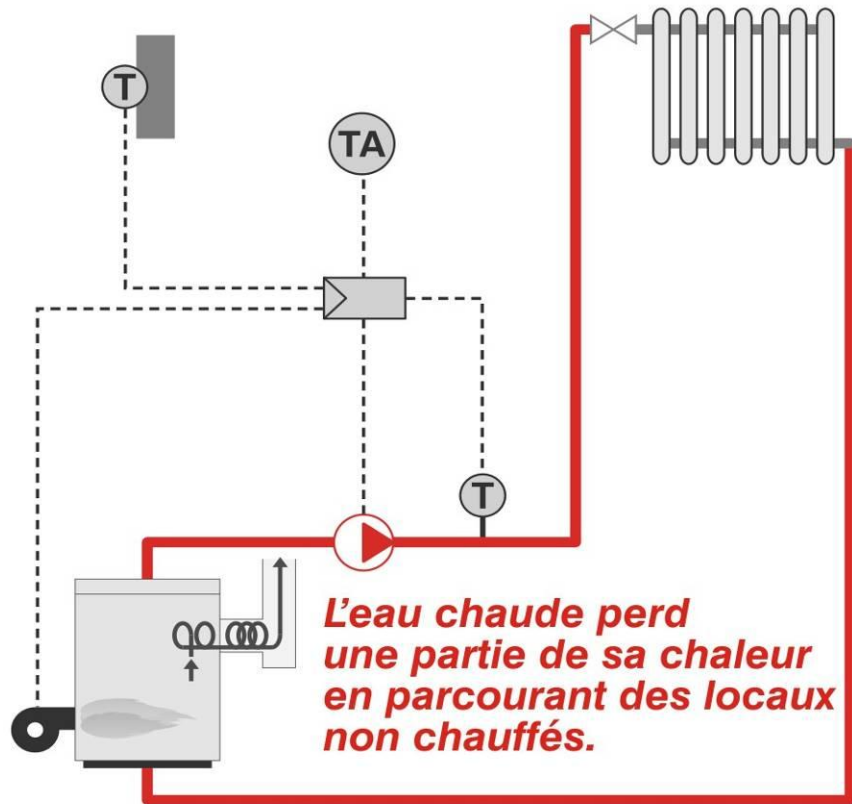
- **EXEMPLE :**

Chaufferie de 500 kW : $500 / 17,5 \approx 28 \text{ dm}^2$
soit une ouverture de 40cm sur une largeur de 70 cm.

Plan de l'exposé

- Introduction
- La production
- **La distribution**
- L'émission
- La régulation
- Les auxiliaires
- Focus sur les installations à condensation
- Remplacer une chaudière / rénover une chaufferie
- Conclusions

Distribution



Isolation des conduites ?



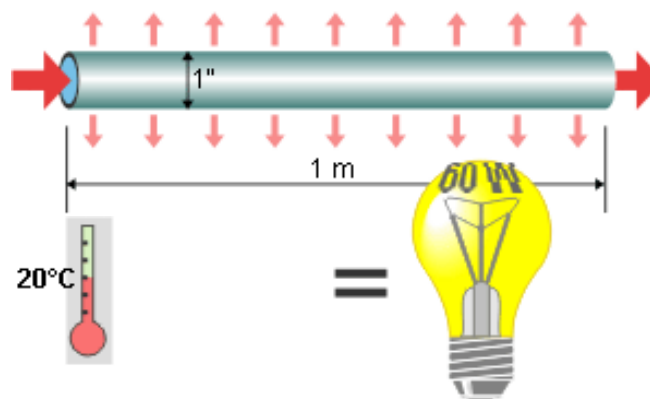
Isolation des conduites ?



Pertes des conduites

Ordre de grandeur :

1 m de tuyau en acier non isolé de 1 pouce (DN25) avec de l'eau à 70 °C = 60 W

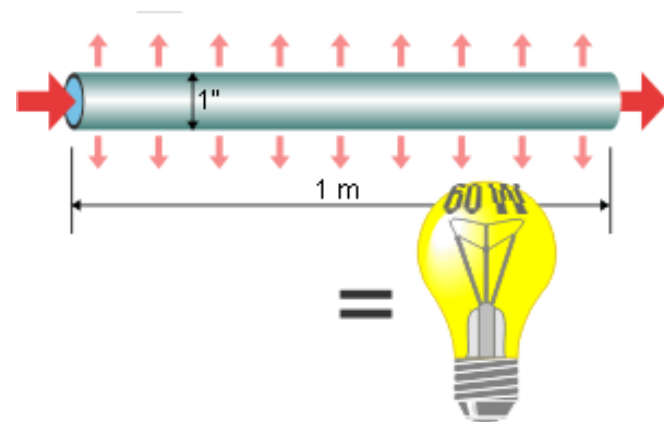


Perte de chaleur d'un tuyau en acier non isolé en [W/m]										
DN [mm]	10	15	20	25	32	40	50	62	80	100
Diam [pouce]	3/8"	1/2"	3/4"	1"	5/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"
T _{eau} - T _{air} :										
20°C	11	13	17	21	26	30	38	47	55	71
40°C	22	29	36	45	57	65	81	101	118	152
60°C	36	46	58	73	92	105	130	164	191	246
80°C	52	67	84	105	132	151	188	236	276	355

Pertes des conduites

Ordre de grandeur :

1 m de tuyau en acier non isolé de 1 pouce (DN25) avec de l'eau à 70 °C = 60 W



Exemple :

100 m de conduite DN25 non isolée au plafond d'une cave représente : $100 \times 60 \text{ W} = 6 \text{ kW}$

*Soit sur la saison de chauffe : $5800 \text{ h} \times 6 \text{ kW} = 34\,800 \text{ kWh}$
ou $34\,800 \times 0,06 = 2088 \text{ €} !!$*

Pertes des conduites

- Isoler les conduites dans les espaces chauffés?



Pour éviter les problèmes de surchauffe !

Particulièrement recommandés si :

- Irrigation continue même lorsque la VT est fermée
- Longueur ou diamètre de conduite important

Exemple :

10 x 4 m de conduite DN25 non isolée au plafond d'une cave représente : $40 \times 60 \text{ W} = 2,4 \text{ kW}$

= puissance d'un radiateur, allumé en permanence!

Perte des vannes



Perte des vannes > pertes des tuyaux :
1 vanne $\sim$ 1,7 m de conduite

Exemple : 1 vanne DN100 avec de l'eau à 80°C = 1,7 m de tuyau
DN100 = 365 W de perte !

Isoler les vannes



**Au moyen de matelas
démontables**

Isoler les accessoires



Choisir des circulateurs isolés au moyen de coquilles...

... et ne pas oublier de remettre les coquilles, après intervention !



Un TRÈS bon exemple !!!

Chaufferie industrielle de démonstration chez un fabricant de chaudières



Isolation des conduites

Exemple : exigence de calorifugeage des conduite dans la réglementation PEB chauffage à Bruxelles

Tableau 9.2: Epaisseur d'isolant selon la situation des conduits

Diamètre extérieur de la conduite en mm	Epaisseur de l'isolant après pose en mm			
	Extérieur du VP		Intérieur du VP	
	$\lambda < 0,035$	$0,045 \leq \lambda \leq 0,035$	$\lambda < 0,035$	$0,045 \leq \lambda \leq 0,035$
de 20 à 24,9	13	23	11	19
de 25 à 29,9	17	29	13	22
de 30 à 39,9	22	35	16	26
de 40 à 60,9	27	42	21	32
de 61 à 89,9	35	54	25	37
de 90 à 114,9	39	59	28	41
de 115 à 159,9	42	62	32	46
de 160 à 229,9	47	68	36	50
de 230 à 329,9	49	70	38	53
≥ 330	60	80	50	60

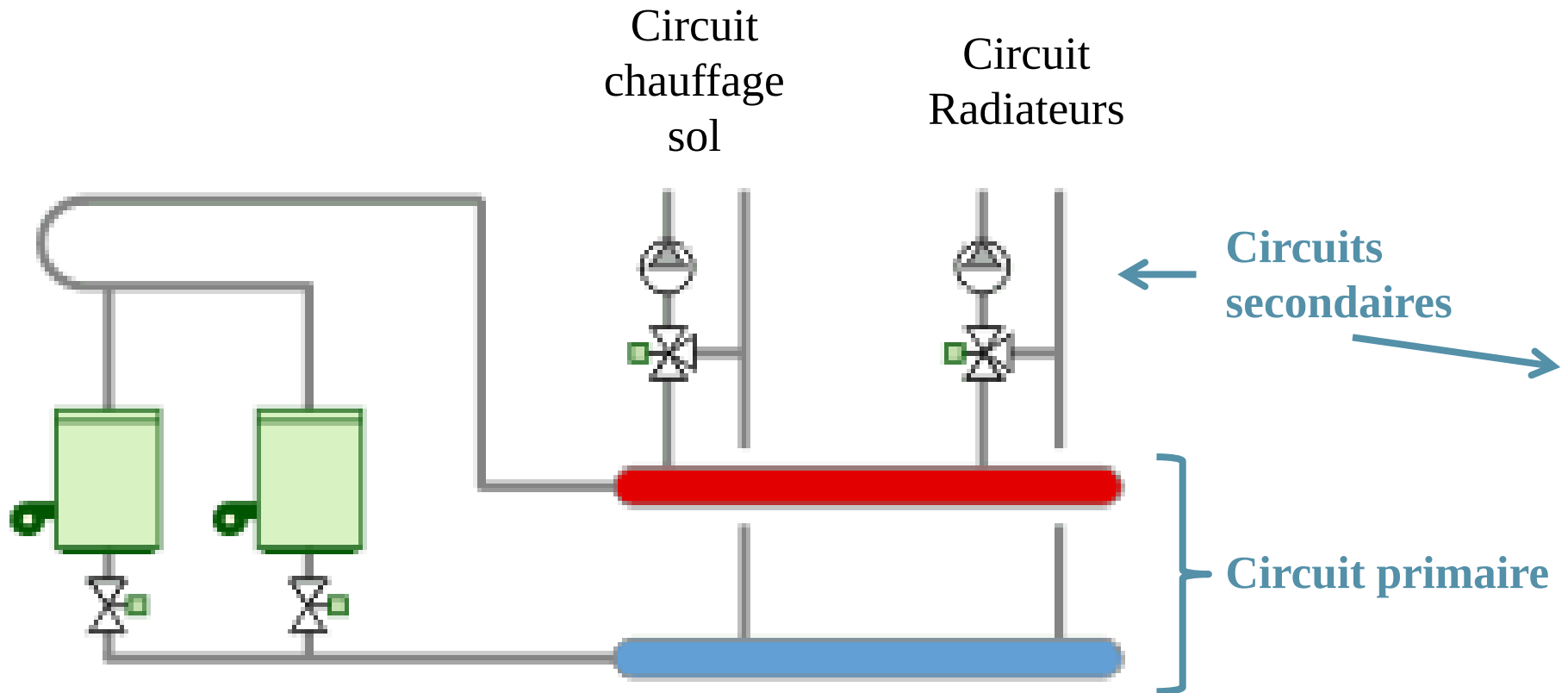


$\lambda = 0,039$

Réduire les pertes de distribution

- Privilégier le placement des conduites de chauffage à l'intérieur du volume protégé
- Isoler les conduites, coudes et vannes ...
 - ... situés dans le sol, à l'extérieur ou dans des espaces non chauffés
 - ... traversant des locaux desservis par un système de climatisation
 - ... passant à l'intérieur d'un volume protégé mais n'alimentant pas des émetteurs placés dans ce volume protégé
- Diminuer la température de l'eau (régulation)

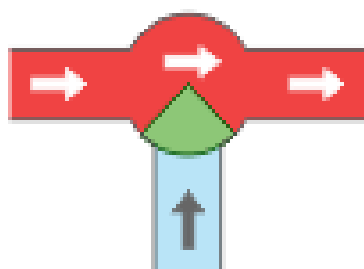
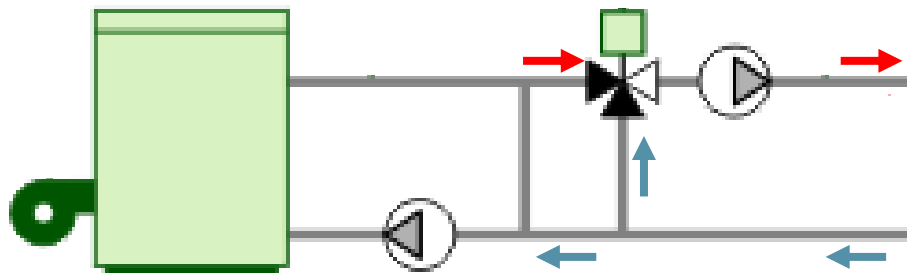
Diminuer la température de l'eau



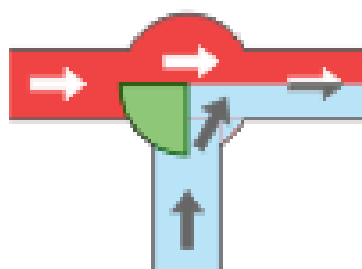
Diminuer la température de l'eau



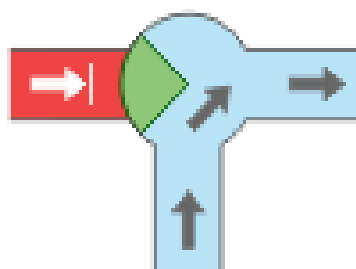
Vanne mélangeuse ou « 3 voies »



La vanne est 100% ouverte.



La vanne mélange 50% du débit de la chaudière et 50% du débit de retour des radiateurs.



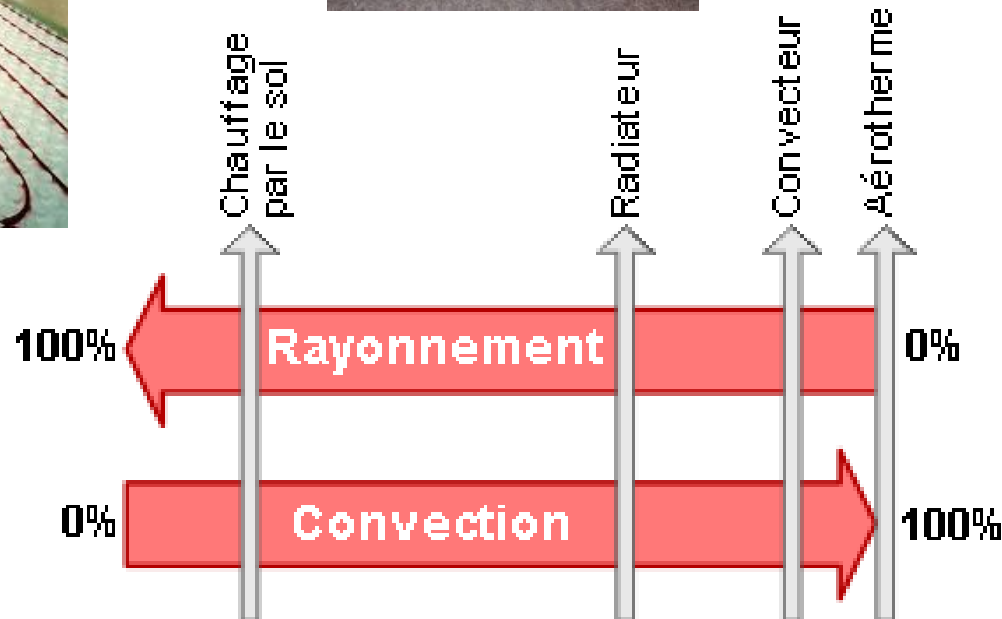
La vanne est fermée ; l'eau des radiateurs tourne sur elle-même et se refroidit.



Plan de l'exposé

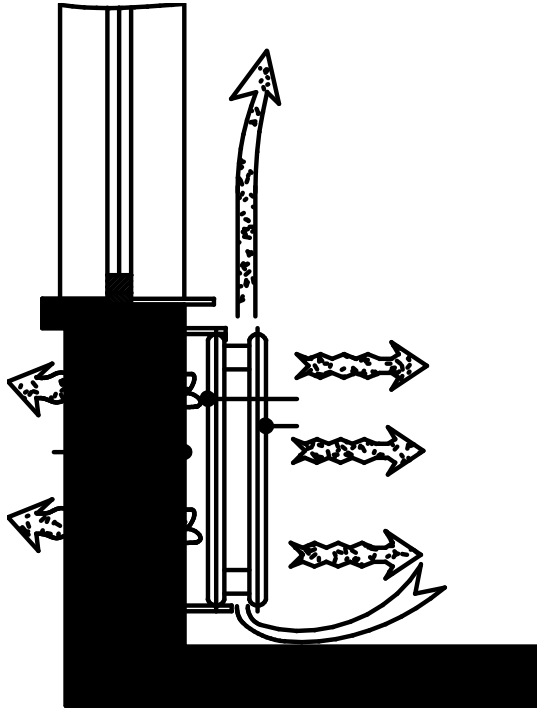
- Introduction
- La production
- La distribution
- **L'émission**
- La régulation
- Les auxiliaires
- Focus sur les installations à condensation
- Remplacer une chaudière / rénover une chaufferie
- Conclusions

Types d'émetteurs



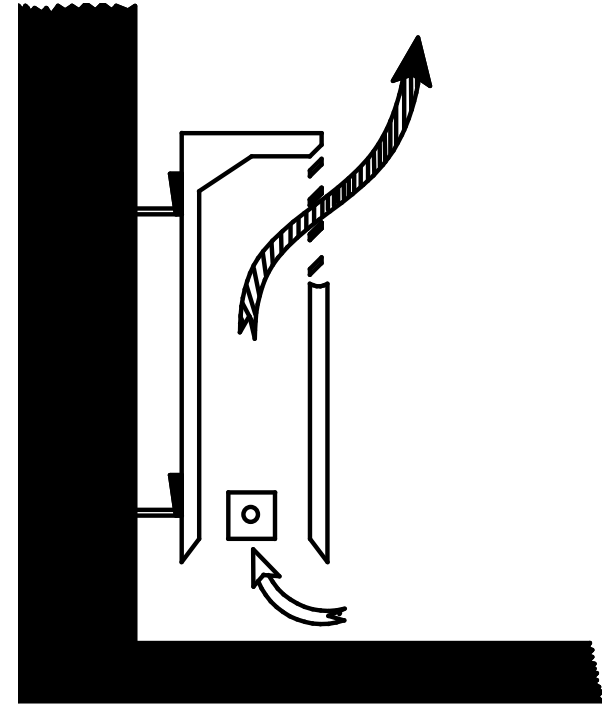
Parts relatives du « rayonnement » et de la « convection » dans le mécanisme de transmission de chaleur pour différents systèmes d'émission

Radiateur et (ventilo-)convecteur



Radiateurs

à ailette : convection: 70%, rayonnement : 30 %
simples panneaux : convection : 50%, rayonnement : 50%



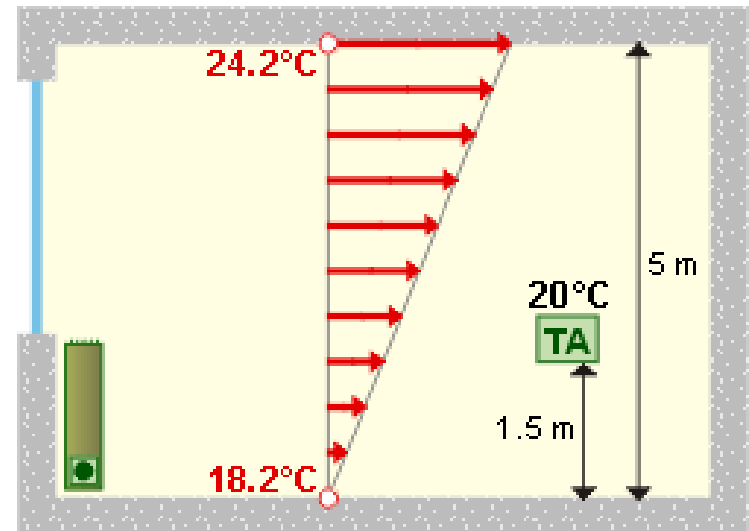
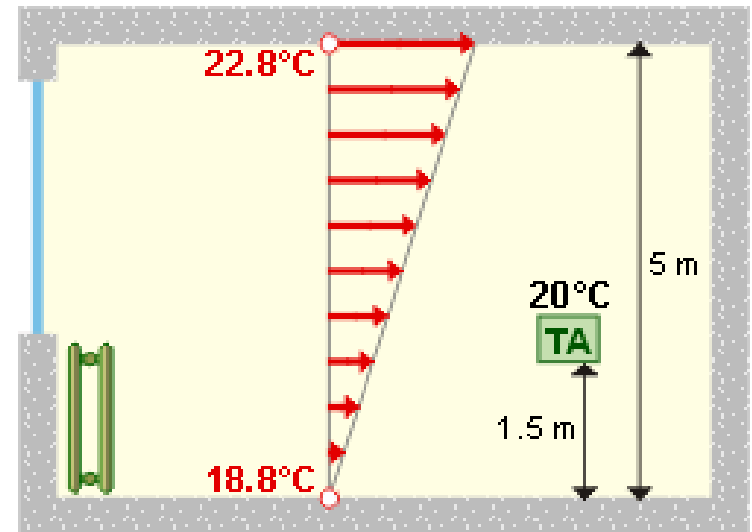
Systèmes convectifs (100% convection)

La stratification

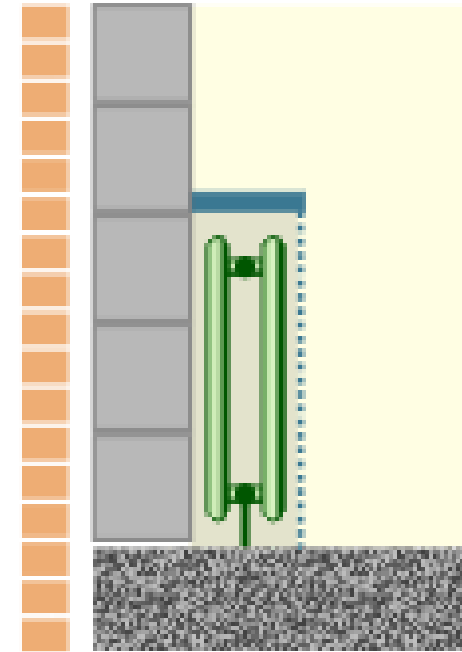
Les locaux ayant une hauteur importante favorisent le phénomène de stratification (si émetteur convectif)

→ pertes plus importantes

→ inconfort



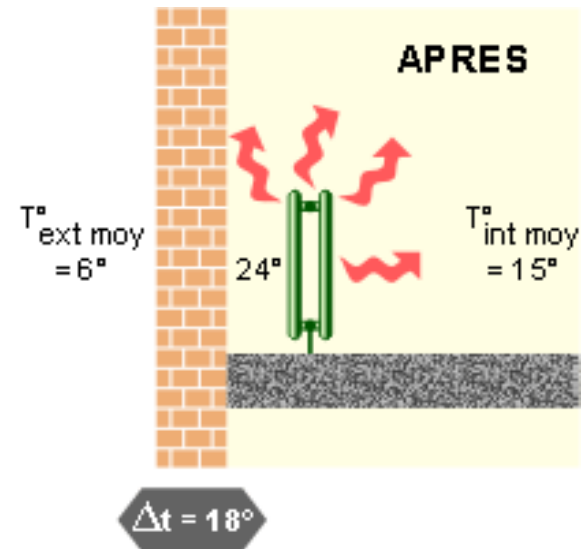
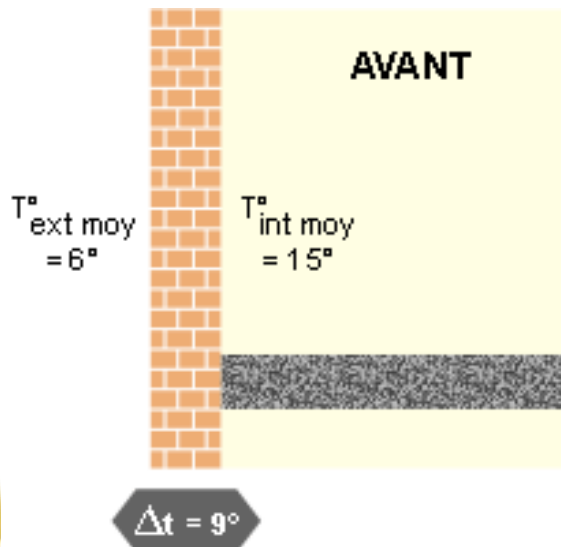
Eviter d'entraver l'émission



Caisson autour d'un radiateur

Pertes à l'émission

- **Pertes au travers des parois** au dos des radiateurs



Placer un isolant de 0,5 cm recouvert d'aluminium sur un mur non isolé au dos d'un radiateur permet de gagner :

10 .. 15 litres fuel/m².an

Et est remboursé en **1 .. 2 ans**.

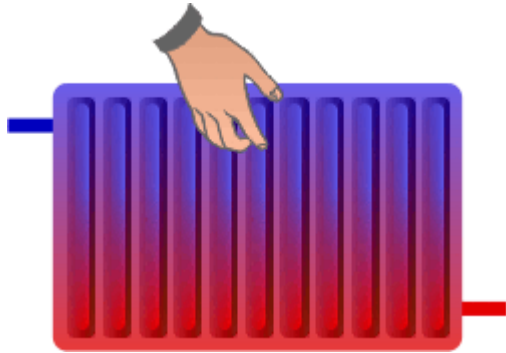
Pertes à l'émission

- **Pertes au travers d'allèges vitrées** au dos des radiateurs ou convecteurs
- **A éviter !**

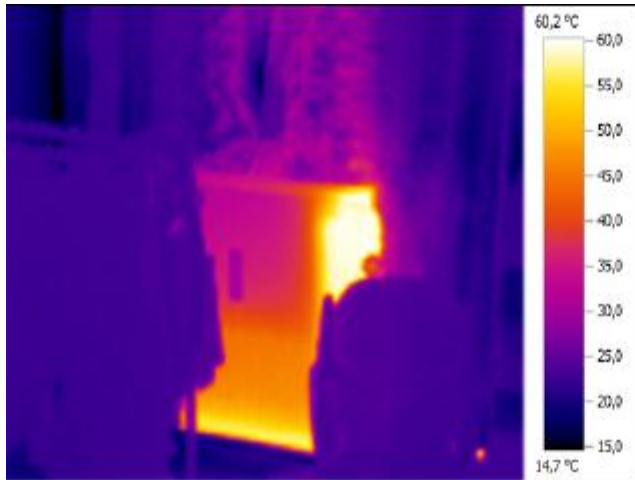


Emetteur devant une fenêtre

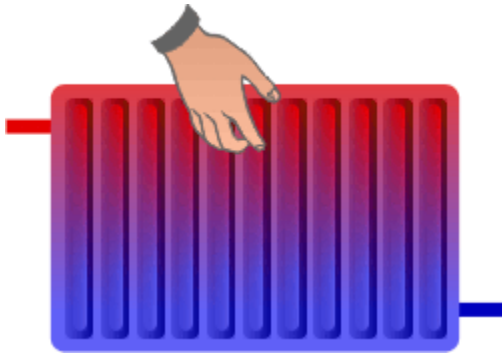
Dysfonctionnements



De l'air est présent dans le radiateur
→ le purger



Dysfonctionnements

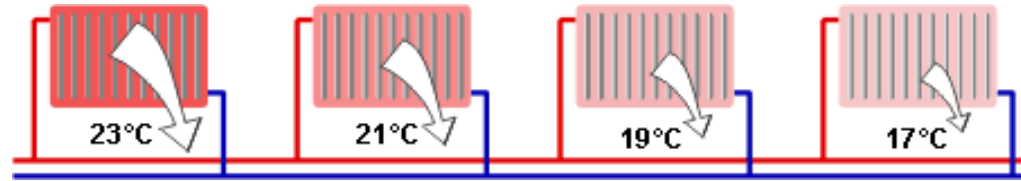


Equilibrage :



Té de réglage du débit d'un radiateur

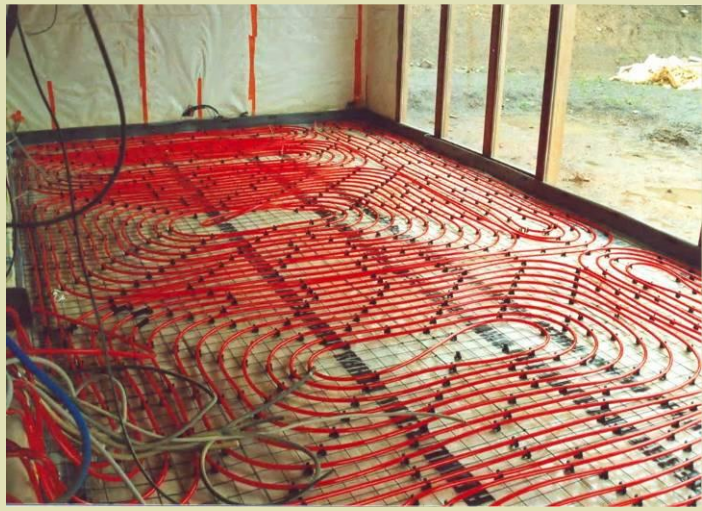
Déséquilibre hydraulique



Corps de vanne thermostatique avec préréglage du débit

Plancher chauffant

Plancher chauffant



→ Intérêts :

- fonctionne à basse T° (rayonnement)
- T° air intérieur plus basse pour un même confort (pas de stratification des t°)

→ Inconvénients :

- forte inertie
 - > surchauffe
 - > régulation délicate
 - > intermittence difficile à gérer

Ne pas entraver l'émission par le revêtement de sol :

→ Carrelage : idéal

→ Parquet : envisageable sous certaines conditions

→ Moquette : à proscrire



Chauffage par air chaud

- Chaleur transmise à l'air via une batterie de chauffe



- Température d'air pulsé limitée : jusqu'à 30 ... 40-45°C
- Capacité thermique de l'air faible

=> Débit volumique important :

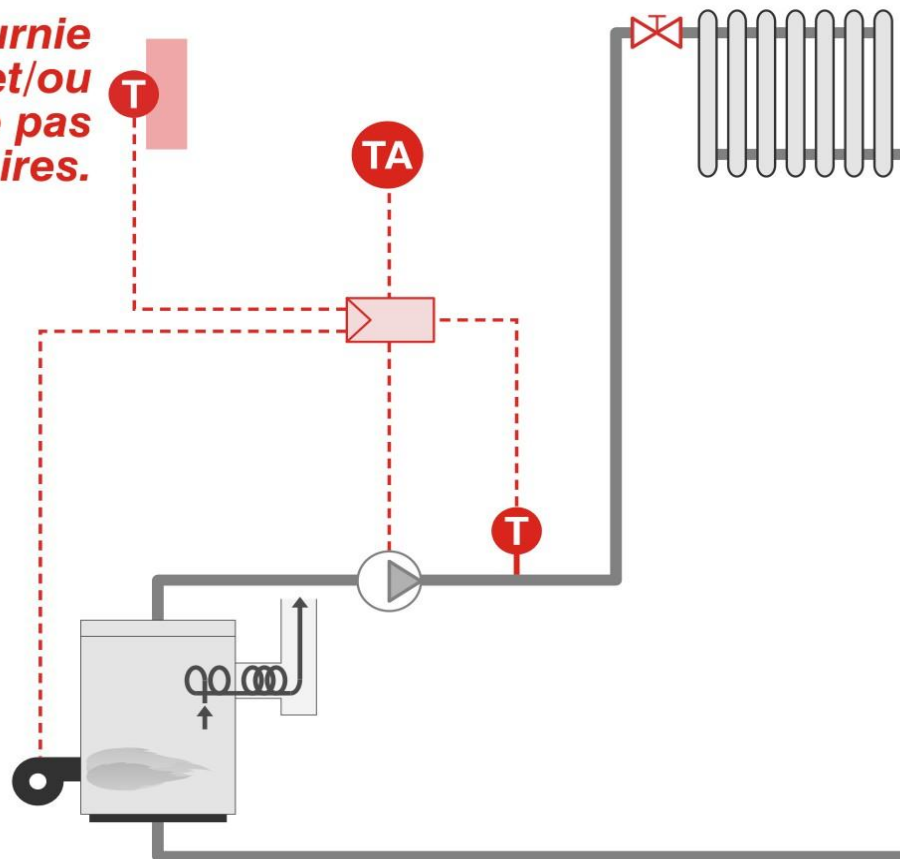
- Jusqu'à 5 ... 10 fois le débit nécessaire à la ventilation hygiénique (une grande partie de l'air peut être recyclée)
- Consommation importante des ventilateurs
- Encombrement des gaines

Plan de l'exposé

- Introduction
- La production
- La distribution
- L'émission
- **La régulation**
- Les auxiliaires
- Focus sur les installations à condensation
- Remplacer une chaudière / rénover une chaufferie
- Conclusions

Régulation

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



OBJECTIF : piloter l'installation pour avoir la **température de confort**
QUAND c'est nécessaire et **OÙ** on en a besoin.

→ éviter tout gaspillage d'énergie

Impact énergétique de la régulation

**1 °C de trop = 7 à 8% de surconsommation
(par rapport à une consigne de 20°C)**



Régulation de la T° intérieur

- Objectifs :

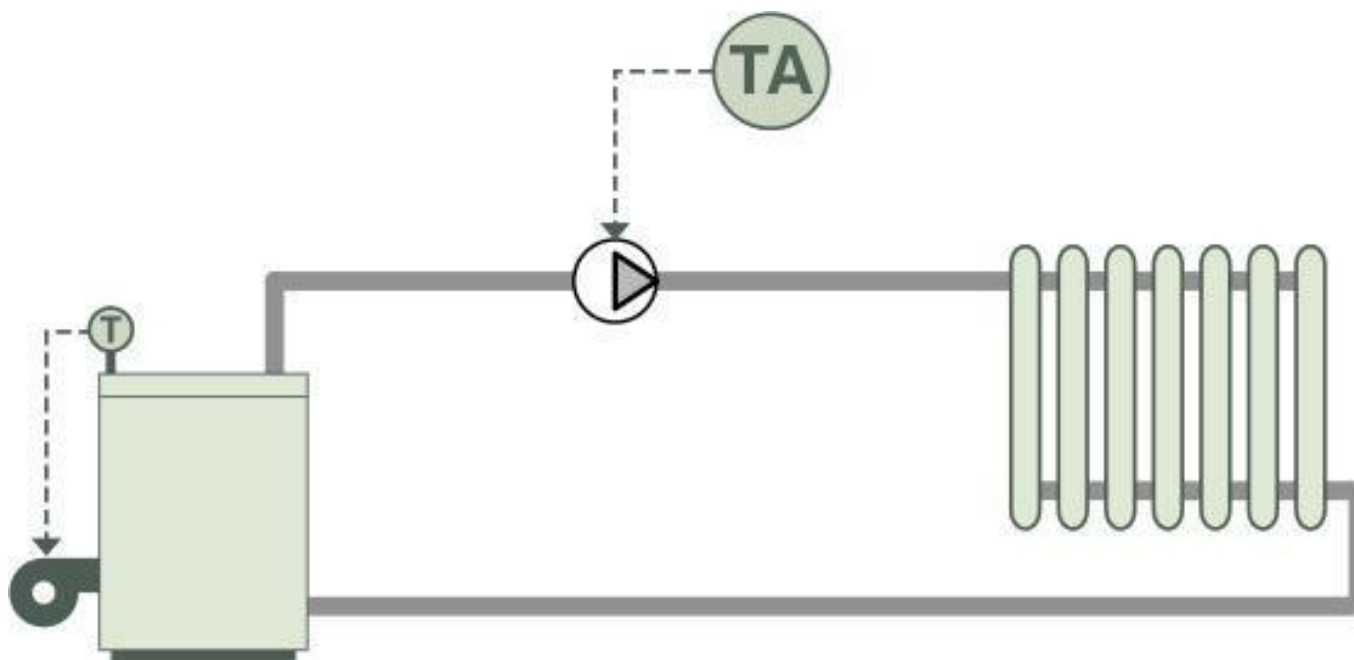
- Ajuster la puissance délivrée par les radiateurs pour atteindre la bonne température
 - ➔ température de l'eau distribuée
- Chauffer aux moments opportuns
 - ➔ ajuster au mieux les horaires

Avec ces 2 actions, on pourra ainsi limiter au mieux les pertes par les conduites et en chaufferie !

Régulation des circuits typiques « unifamilial »

- « **T° constante** » :

la chaudière est maintenue constamment à température au moyen de son thermostat interne (aquastat). Si un thermostat d'ambiance est présent, il commande uniquement le fonctionnement du circulateur.

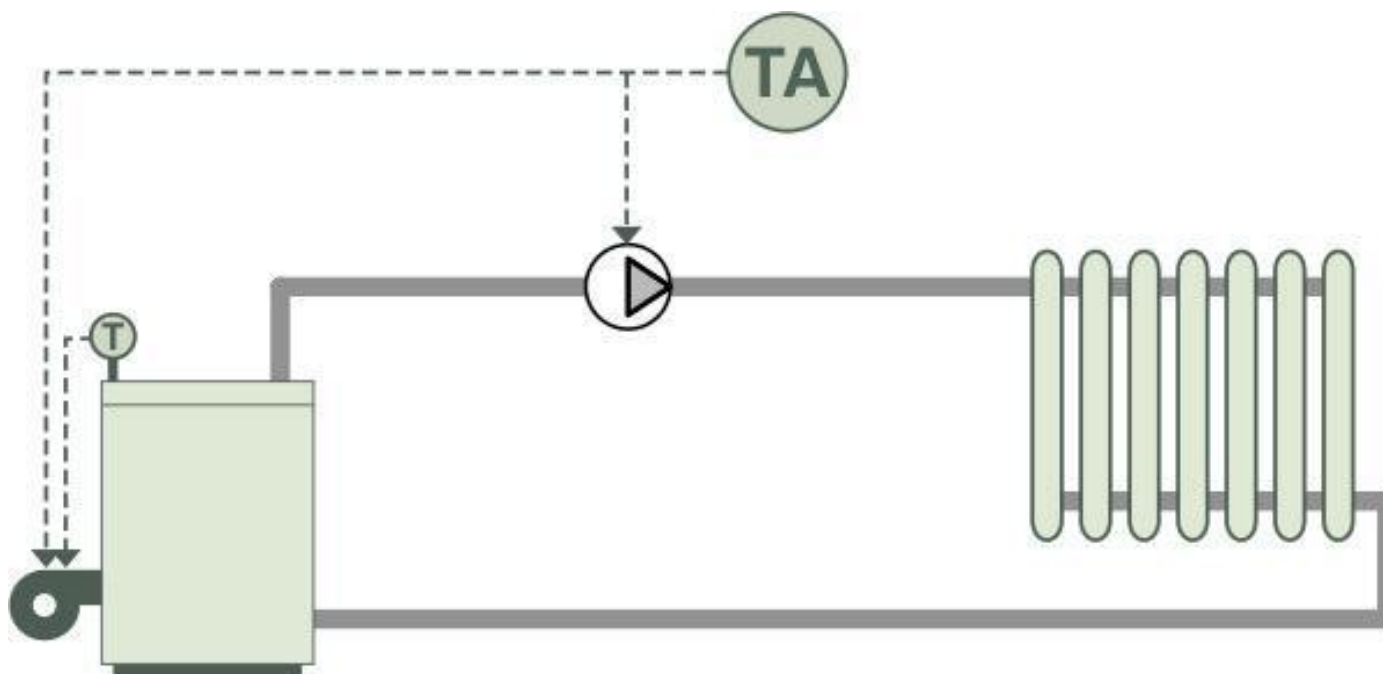


Régulation des circuits typiques « unifamilial »

- « **T° variable** » (typique des maisons unifamiliales)

La chaudière n'est portée à température que lorsqu'il y a une demande de chaleur.

Thermostat d'ambiance agissant sur le brûleur et le circulateur (avec temporisation); Aquastat = Aquastat de sécurité



Régulation locale : vannes thermostatiques

- **But :**

- Pouvoir régler la température de confort de chaque local, en fonction de son affectation (salle de bain, chambre,...) et des désirs des occupants.
- Limiter la surchauffe en cas d'apports internes/solaires importants

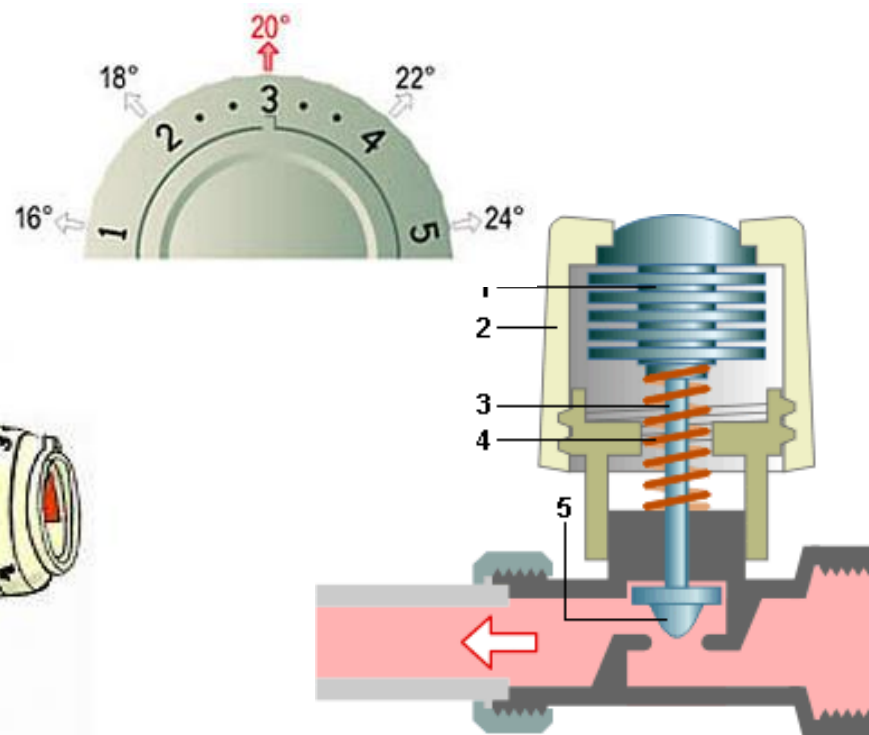
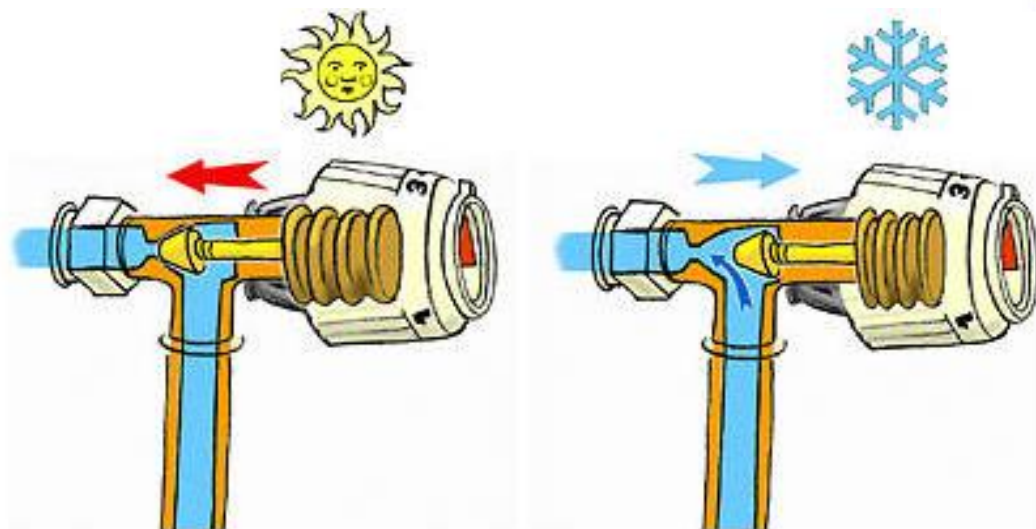


Régulation locale : vannes thermostatiques

• Principe de fonctionnement :

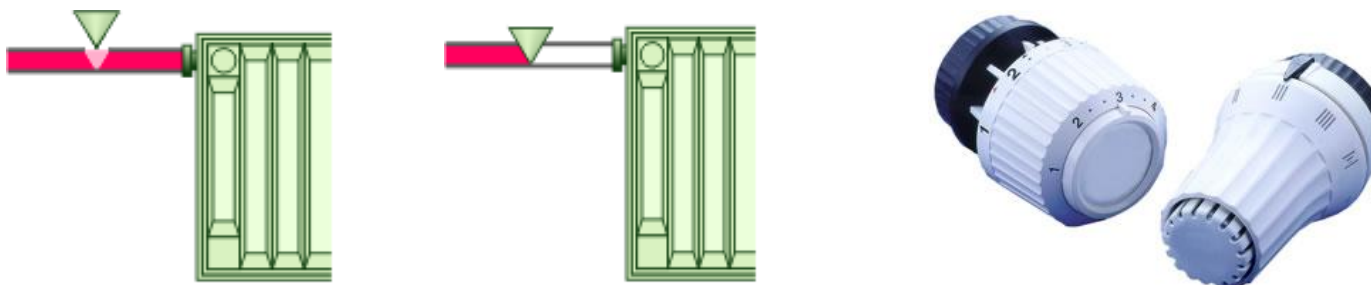
- La vanne est réglée sur une t° de consigne
- Si la température de consigne n'est pas atteinte (mesure de la température ambiante par le bulbe thermostatique), la vanne s'ouvre afin de laisser passer l'eau.
- Dès que la température de consigne est atteinte, la vanne se ferme

1. bulbe thermostatique
2. poignée de réglage
3. tige de transmission
4. ressort de rappel
5. clapet de réglage



Comment fonctionne une VT ?

- Une vanne thermostatique permet de limiter le débit dans les corps de chauffe pour ne pas dépasser une température de consigne.



- Permet de réguler la T° dans les pièces dépourvues d'autre système de régulation (thermostat d'ambiance, sonde de température, ...)
- Permet une différenciation des T° de chaque local
- Permet de prendre en compte les influences extérieures difficilement prévisibles (apports solaires ou internes, etc)
- Permet à l'occupant de gérer la température de son local

Régulation locale : vannes thermostatiques

SOYEZ PARESSEUX...



Illustration: Bénédicte Beeckmans

Placer des vannes thermostatiques dans les locaux à fort apport de chaleur?

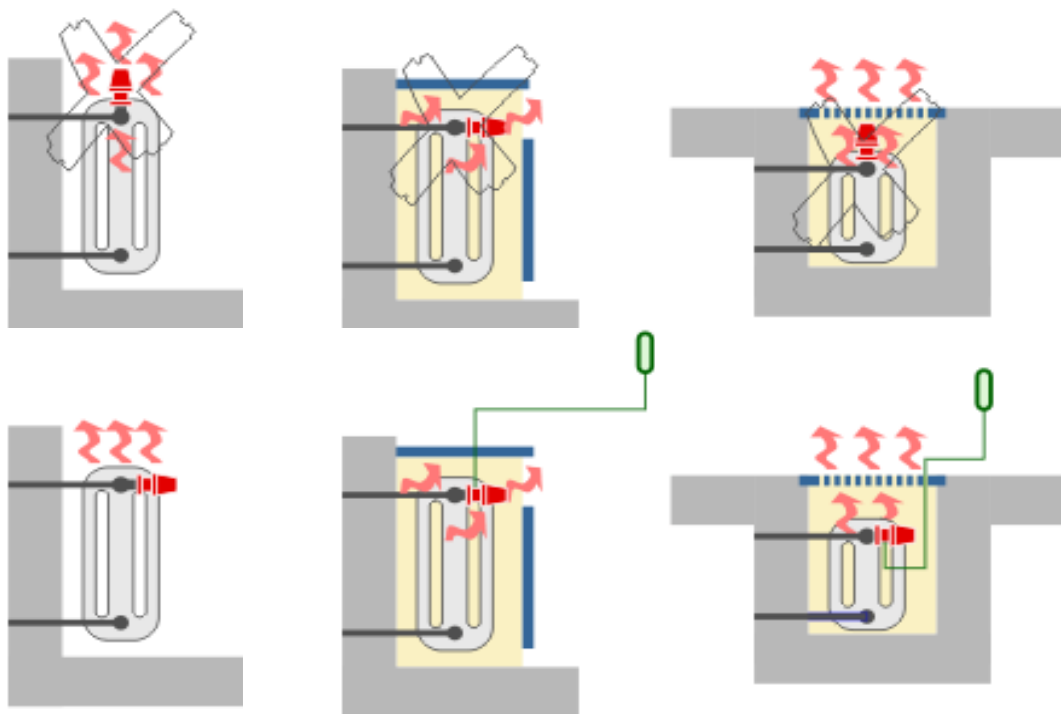
...Laissez la vanne du radiateur sur **3** ! (=20°C)

<http://www.energieplus-lesite.be>

Régulation locale : vannes thermostatiques

- **ATTENTION :**

- Eviter de mettre des vannes thermostatiques dans la pièce où se trouve le thermostat d'ambiance
- La vanne doit « mesurer » la température du local : éviter l'influence directe du corps de chauffe



Régulation locale : vannes thermostatiques

Différents types de vannes thermostatiques :



Modèle standard avec sonde thermostatique et réglage libre incorporés.



Modèle standard avec sonde thermostatique séparée (pouvant être placée à distance) et réglage libre à distance.

Régulation locale : vannes thermostatiques

Différents types de vannes thermostatiques :



Vannes thermostatiques programmables (horaire et température)

Vannes thermostatiques programmables à distance et de façon centralisée



Régulation locale : vannes thermostatiques

Différents types de vannes thermostatiques :



Vanne institutionnelle : le réglage de la consigne n'est pas accessible à l'occupant, elle résiste aux chocs (même d'un ballon de basket .) et ne peut être facilement démontée.

Régulation locale : vannes thermostatiques

- **Pourquoi ne pas réguler qu'avec des vannes thermostatiques ?**
 - Fonctionnent mal si la température de l'eau est trop élevée (pompage, sifflement)
 - Ne permettent pas d'intermittence automatisée
 - Ne permettent pas de limiter les pertes des chaudières et des circuits de distribution

Régulation locale : vannes thermostatiques

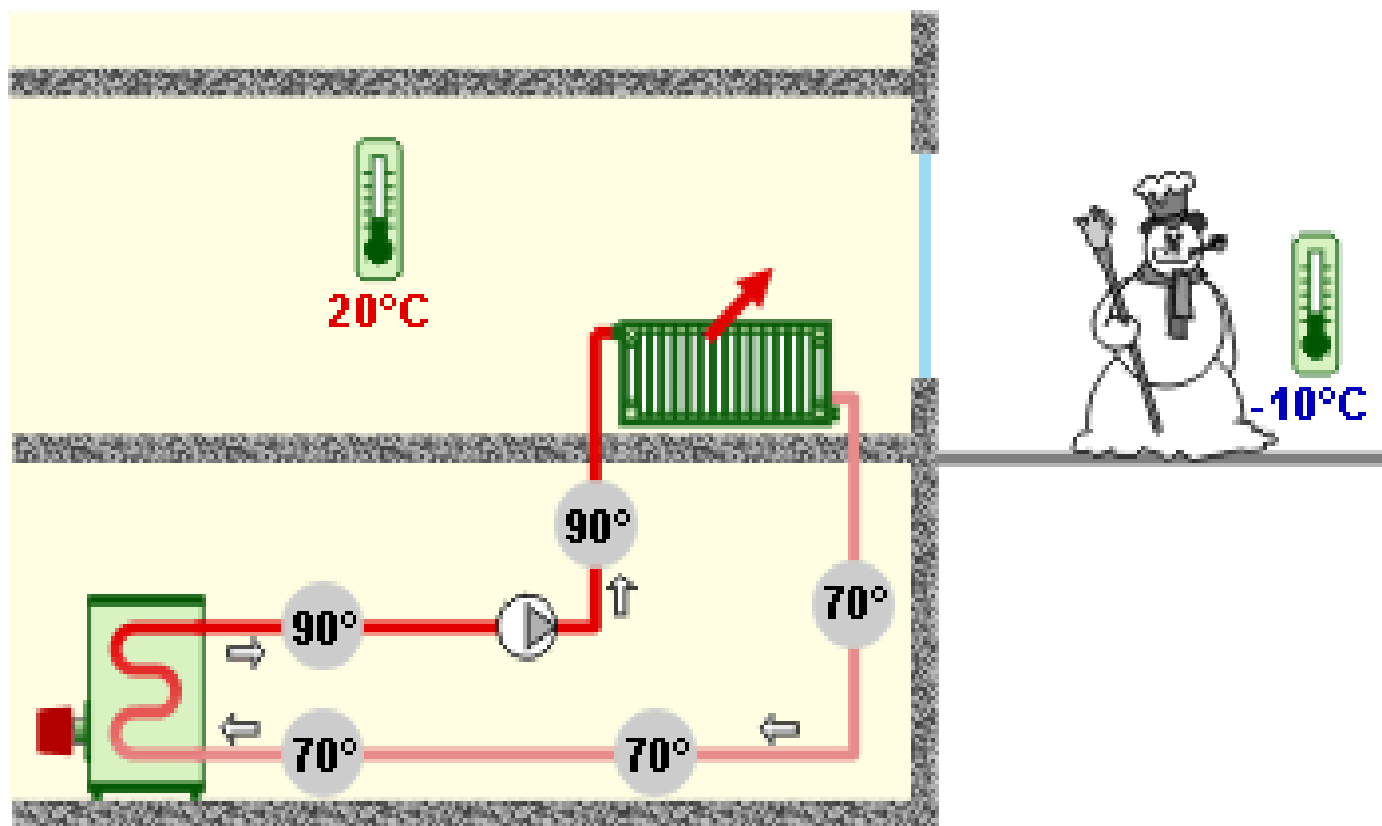
Erreurs de manipulation les plus courantes :

- Dans un local inoccupé, la consigne des vannes thermostatiques a été réglée sur *. A l'arrivée des occupants, le chauffage **ne sera pas** relancé plus rapidement si l'on met la consigne sur 5 que sur 3.
- Dans un local occupé, l'expérience des occupants montre que la bonne température est atteinte avec une consigne de 3. Un jour, la température intérieure est insuffisante. Dans ce cas, cette dernière ne sera pas améliorée si la consigne est mise sur 4.
- Le raisonnement inverse est aussi valable : si, subitement, il fait trop chaud (par exemple, à cause de l'ensoleillement), mettre la vanne sur 1 ne changera rien puisque le clapet de la vanne est en principe déjà fermé.



Sensibiliser les occupants !

Dimensionnement pour une situation extrême

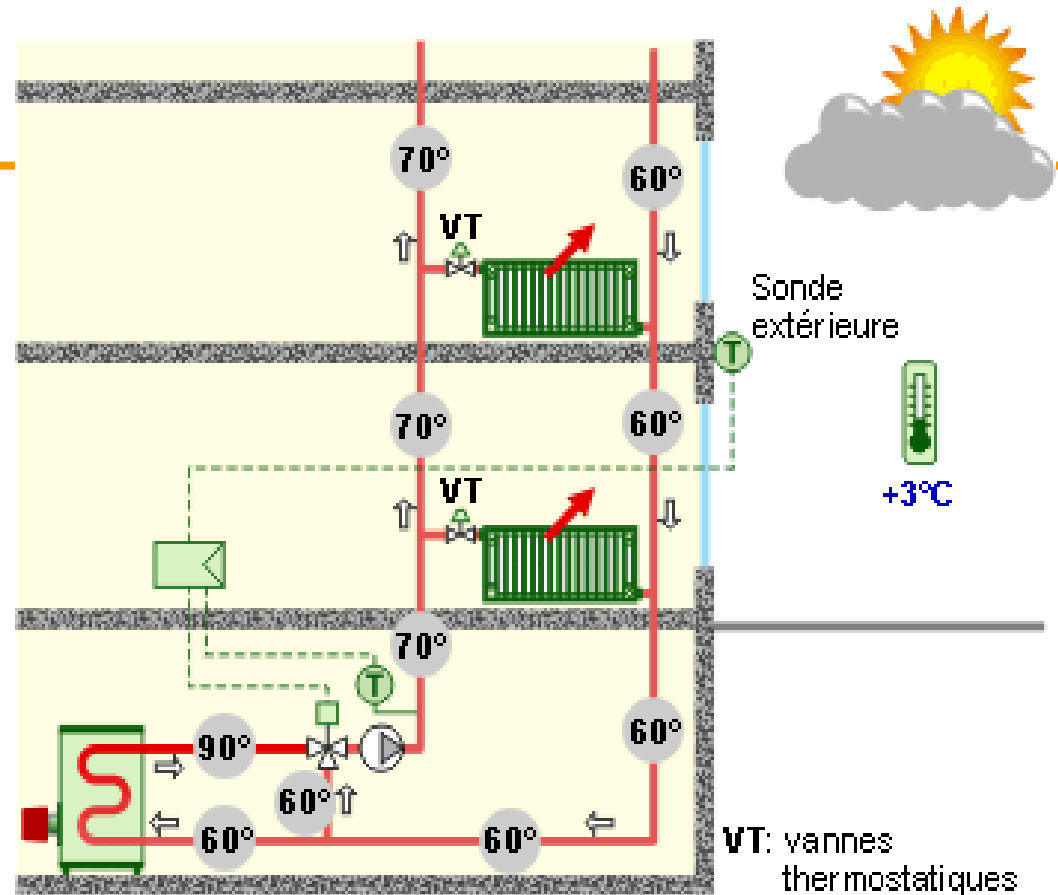


Quid en mi-saison ?

La puissance que le radiateur doit délivrer est moindre

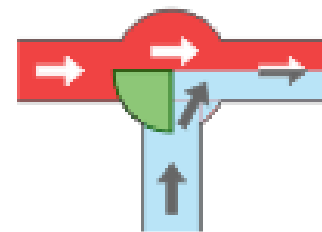
→ diminuer autant que possible la température de l'eau :

- on diminue les déperditions dans les conduites
- on favorise le bon fonctionnement des vannes thermostatiques



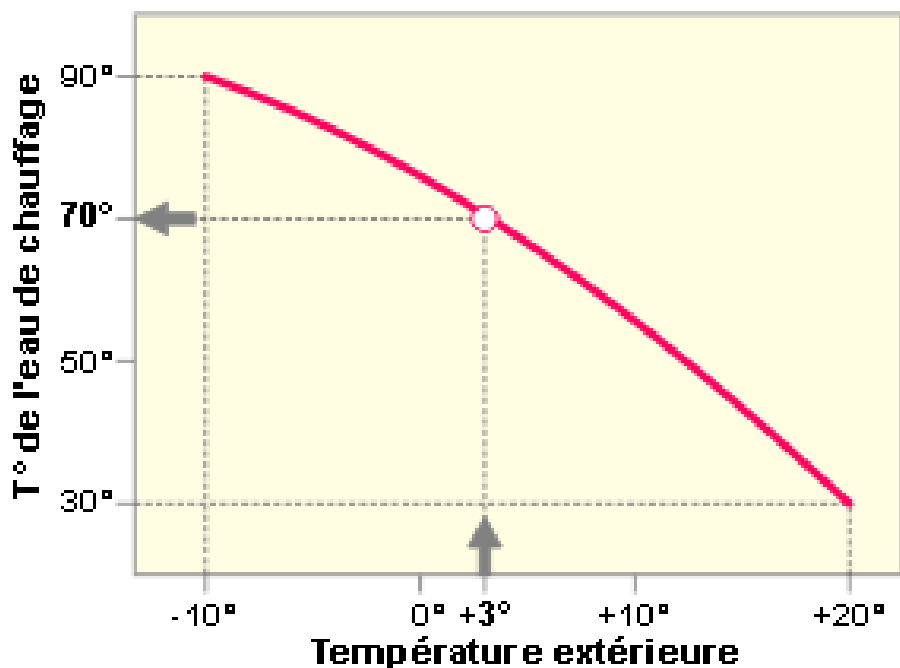
Pour diminuer la température d'eau :

- On a une vanne mélangeuse qui ajuste la température de l'eau des circuits en fonction de la température extérieure
- On pilote la chaudière en température glissante



Régulation centrale de l'eau

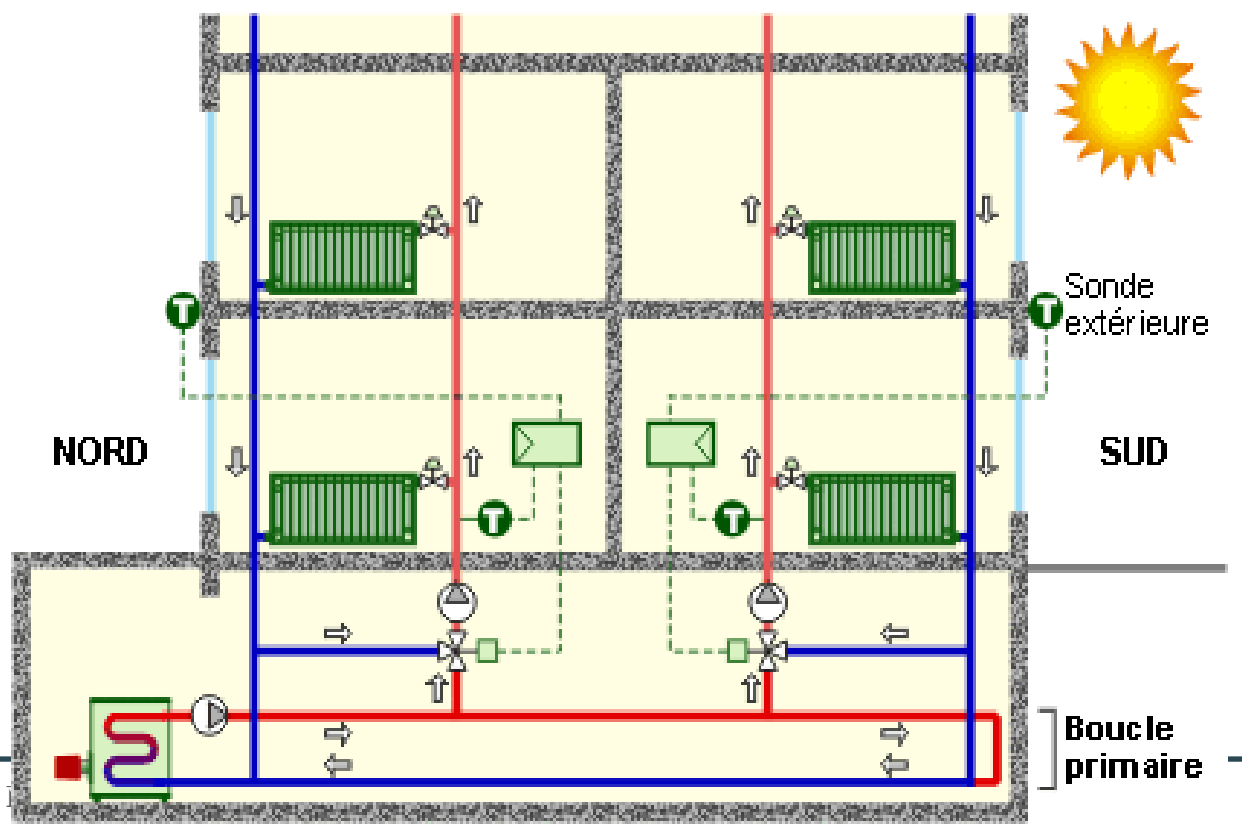
Régulateur climatique : commande la V3V (T° eau) pour délivrer la puissance suffisante dans le local le plus froid



Régulation de bâtiments plus complexes

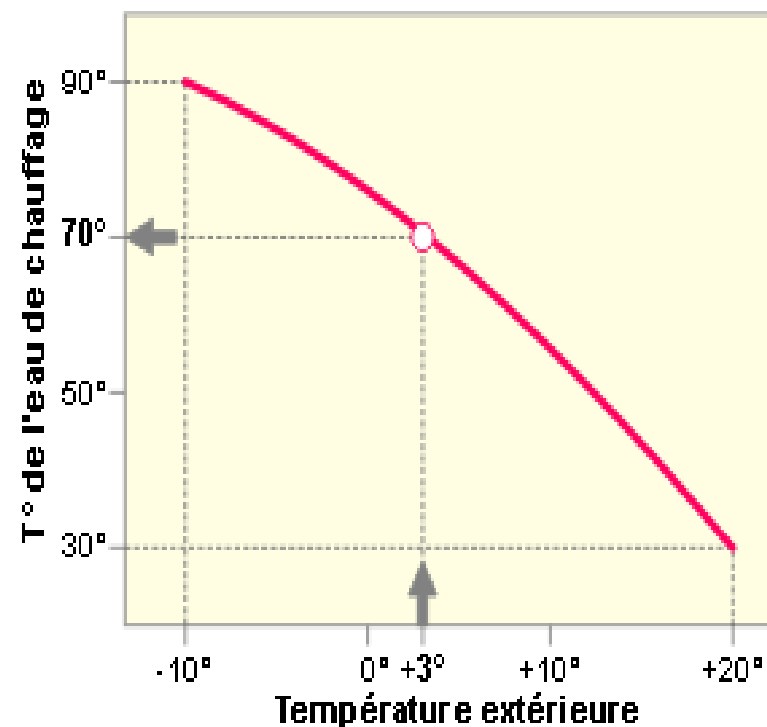
Et s'il y a des locaux avec des besoins, des apports ou des horaires différents ?

Prévoir 1 circuit par affectation/zone et réguler la température d'eau de chaque circuit indépendamment

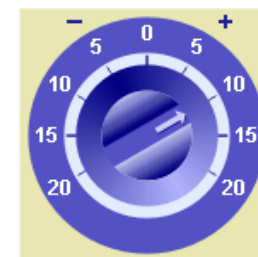
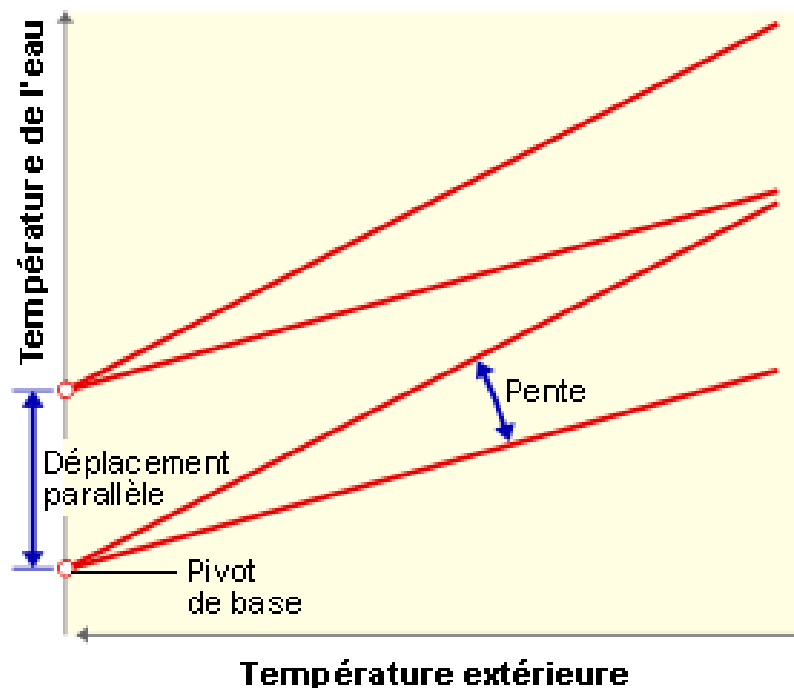
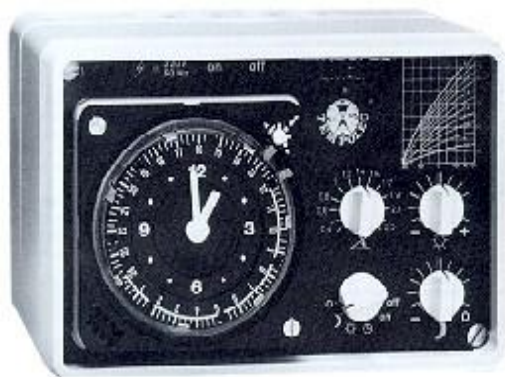


Régulation en T° glissante

- La courbe de chauffe :
 - est unique pour un bâtiment
 - dépend :
 - de l'isolation du bâtiment
 - du surdimensionnement des radiateurs
 - des températures de consigne
 - est définie par :
 - sa pente
 - son déplacement parallèle

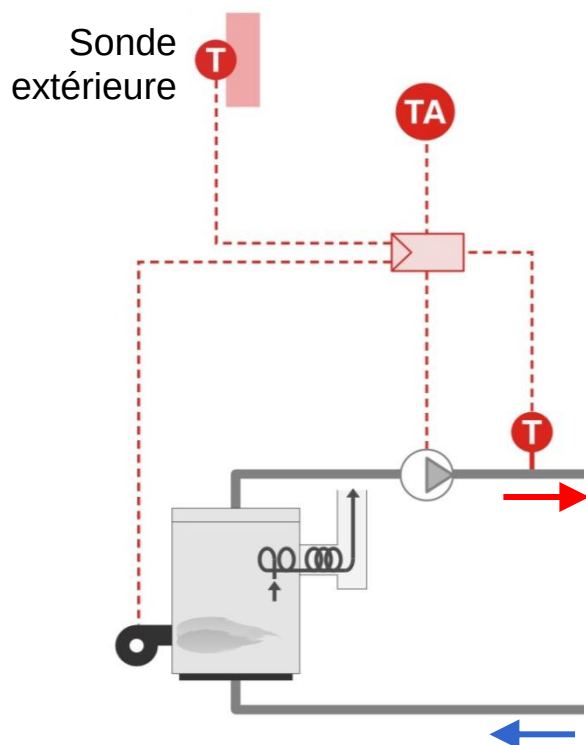


Régulation en T° glissante

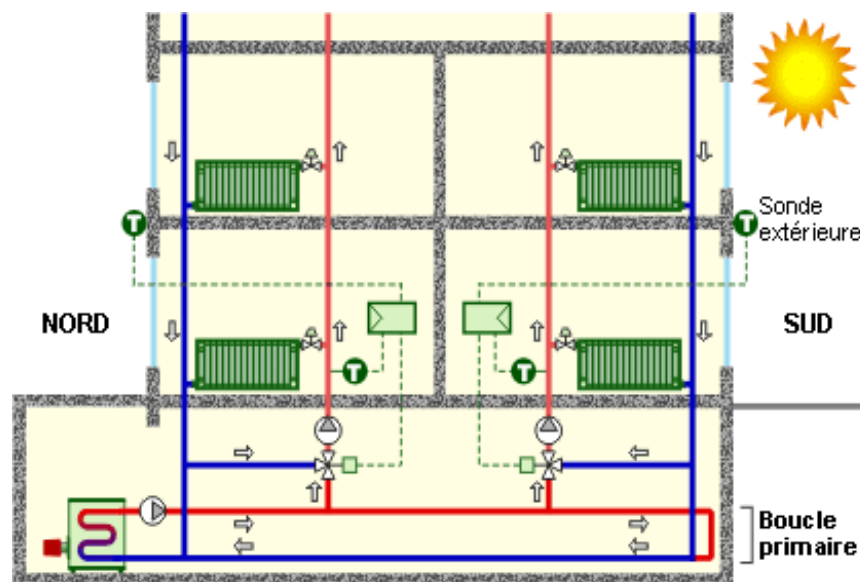


Régulation de la T° du fluide caloporteur

Soit la régulation en T° s'applique directement sur la chaudière



Soit la régulation en T° s'applique uniquement sur le(s) circuit(s) secondaires à l'aide d'une vanne 3 voies. La chaudière est alors maintenue à T° plus élevée.

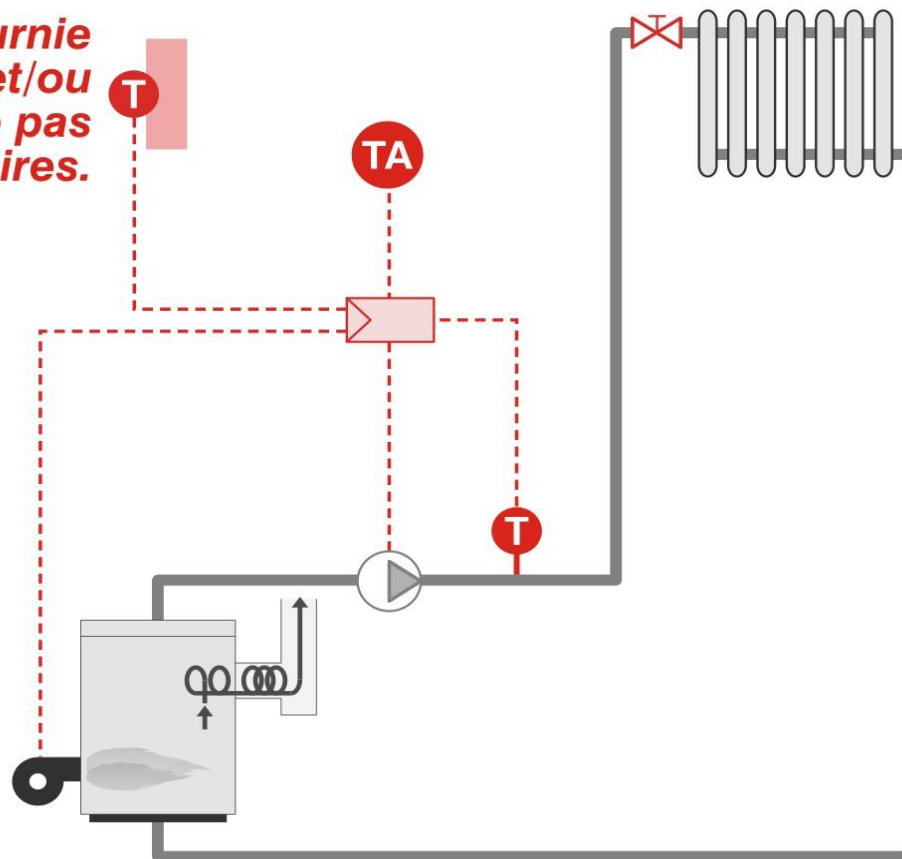


Régulation en T° glissante

- Le réglage du régulateur climatique :
 - est unique
 - dépend du degré d'isolation du bâtiment et du surdimensionnement des corps de chauffe
 - Le réglage ne doit pas être fait :
 - par le chauffagiste
 - au hasard en fonction des plaintes (les causes d'inconfort peuvent avoir d'autres origines)
- ... mais par une personne vivant dans le bâtiment et tenant un historique des réglages

Régulation

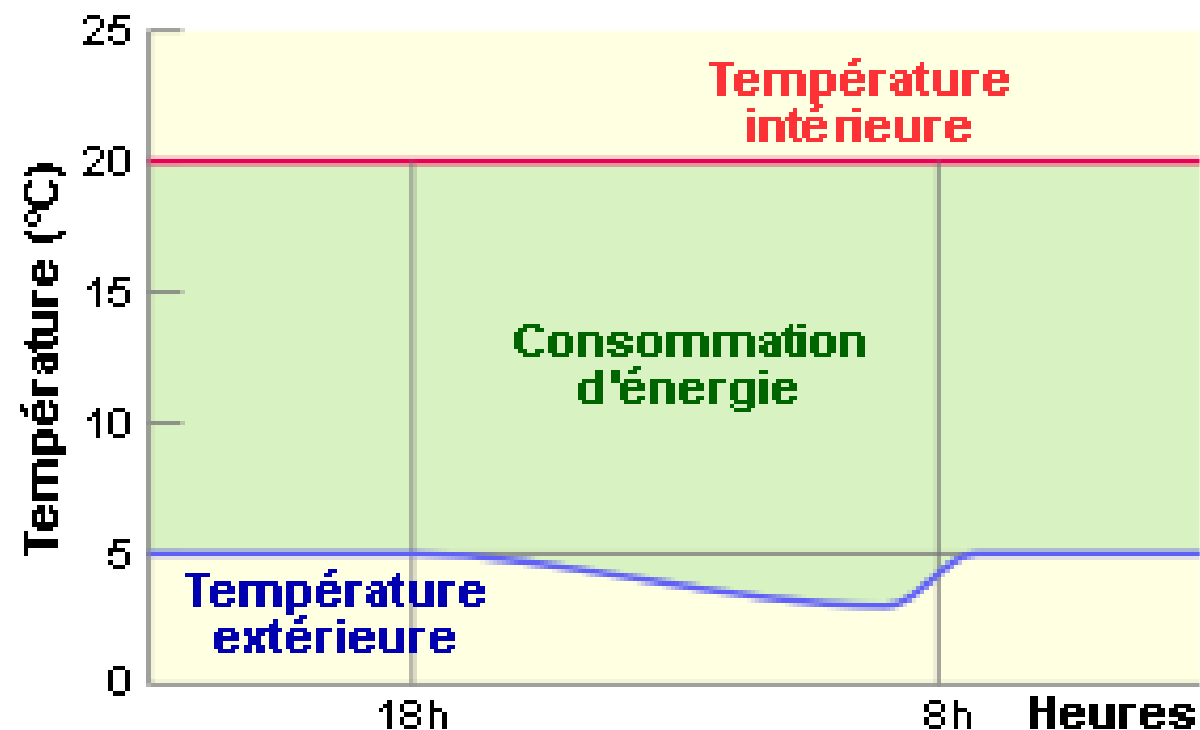
*De la chaleur est fournie
à des moments et/ou
avec une puissance pas
toujours nécessaires.*



OBJECTIF : piloter l'installation pour avoir la température de confort
QUAND c'est nécessaire et **OÙ** on en a besoin.

→ éviter tout gaspillage d'énergie

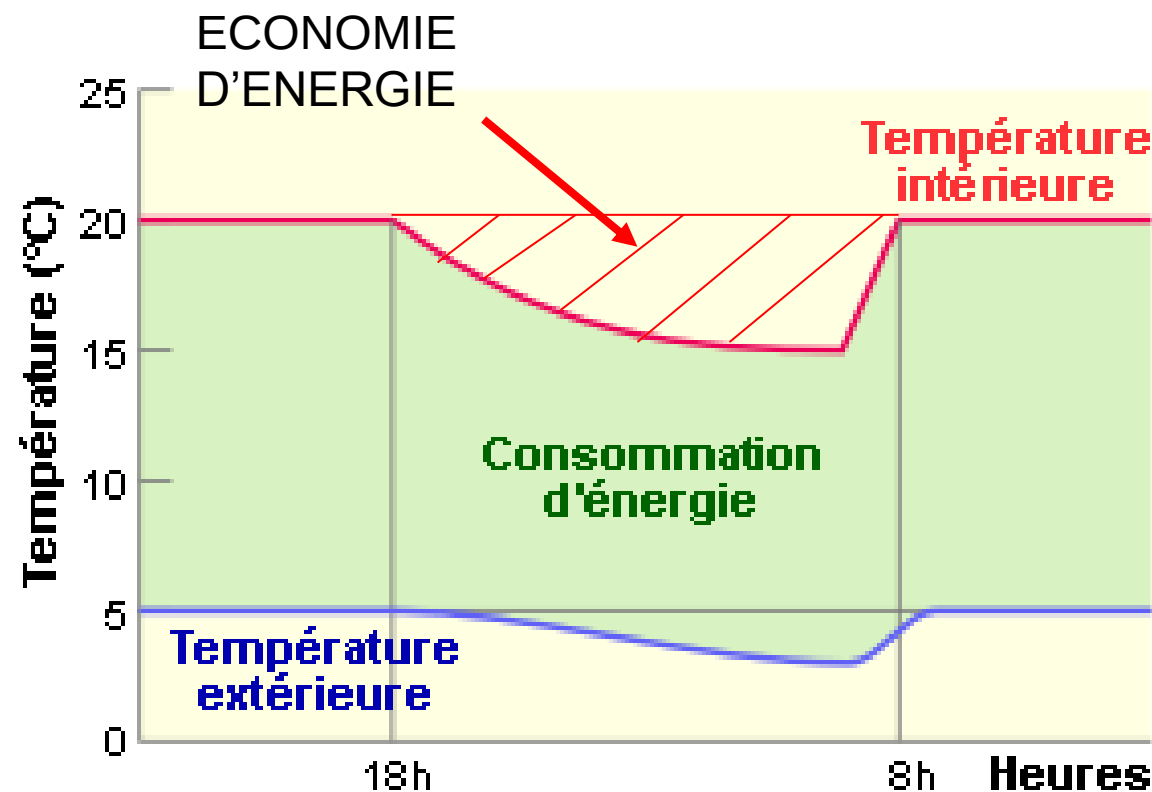
Intérêt de l'intermittence



- Consommation proportionnelle à la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur

→ **Minimiser cette différence de température**

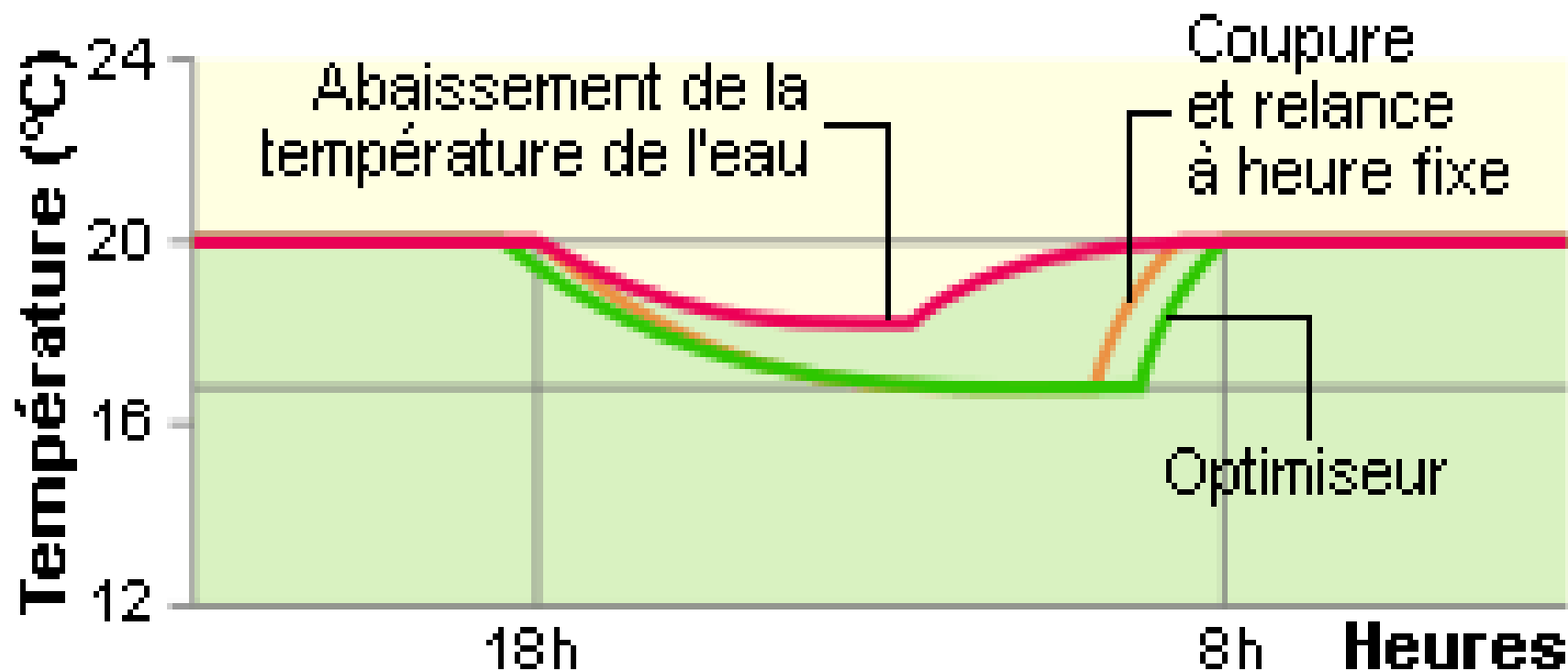
Intérêt de l'intermittence



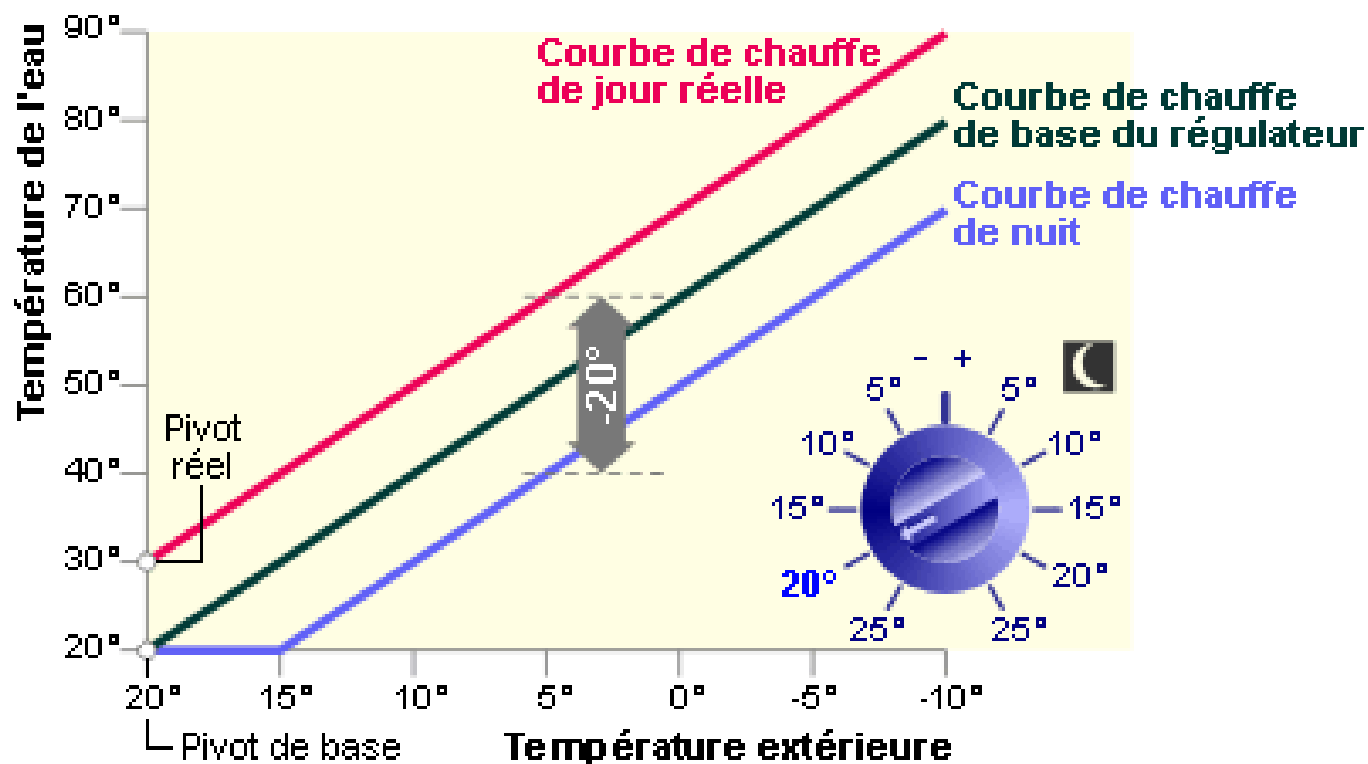
- Couper le chauffage fait chuter la température intérieure d'autant plus vite que le bâtiment est peu inerte (a peu emmagasiné de chaleur) et est mal isolé.

→ **Couper le chauffage ou diminuer le plus possible la température intérieure durant la coupure.**

Types d'intermittence

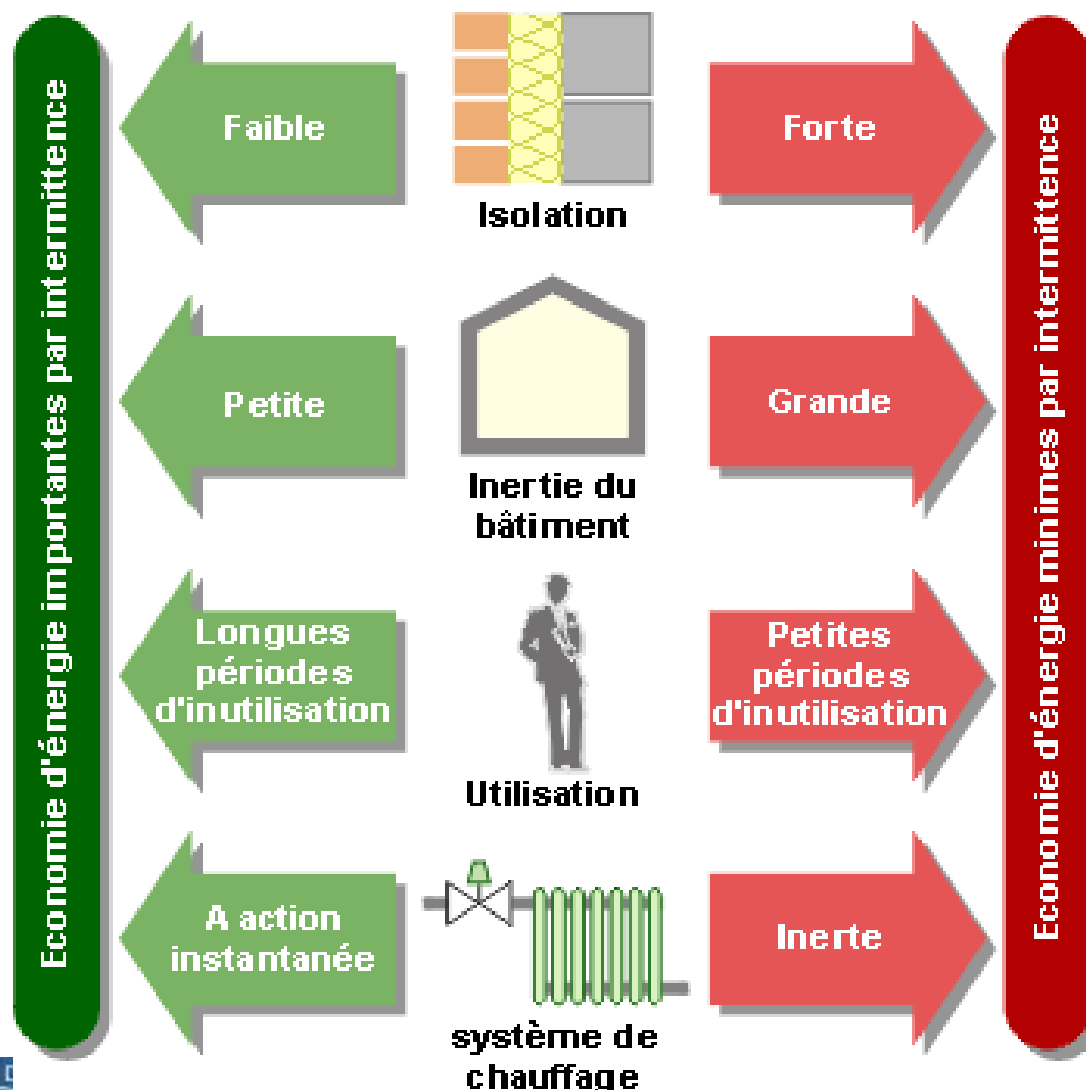


Types d'intermittence : abaisssement de la température d'eau



Note : ce n'est pas la manière la plus performante d'assurer l'intermittence

Intérêt de l'intermittence



L'intermittence permet de réaliser des économies d'autant plus importante que l'isolation du bâtiment est faible, que l'inertie thermique du bâtiment est faible, ...

Intermittence

- Limite pour la température de consigne basse?
 - Minimum 12 °C :
 - Si inférieure -> risque de condensation
 - Si inférieure : murs trop froids malgré la relance => inconfort
 - 12°C dans le local témoin = garantie de maintenir l'ensemble du bâtiment hors-gel.

Cette température ne sera en principe atteinte que par grand froid et/ou en période d'inoccupation prolongée



Il faut une puissance de relance suffisante

Intérêt de l'intermittence

"Cela ne sert à rien de couper le chauffage durant la nuit, la chaleur économisée est repayée en début de journée suivante pour recharger les murs !"

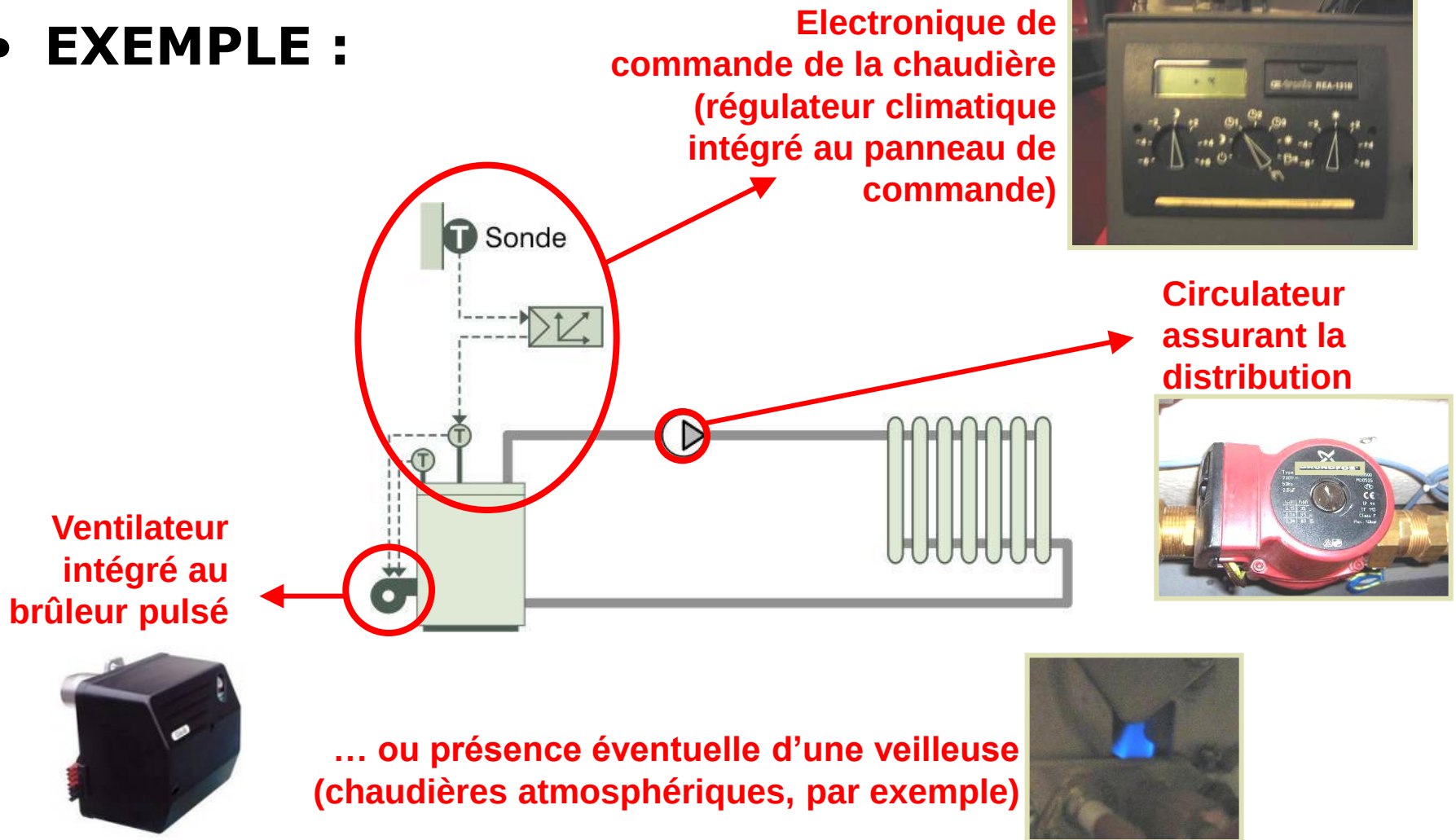
FAUX !

Plan de l'exposé

- Introduction
- La production
- La distribution
- L'émission
- La régulation
- **Les auxiliaires**
- Focus sur les installations à condensation
- Remplacer une chaudière / rénover une chaufferie
- Conclusions

Auxiliaires

• EXEMPLE :



Veilleuse

- La consommation d'une veilleuse équivaut à une ampoule électrique de 100 W allumée en permanence !!!
 - **Consommation sur un an $\sim 100 \text{ m}^3$ de gaz ou $\sim 60 \text{ €}$**
- Eteindre complètement la chaudière en dehors de la période de chauffe (si l'eau chaude sanitaire est produite séparément)

Veilleuse



=



Fonction d'un circulateur



- **Faire circuler l'eau dans l'installation**
 - vaincre les pertes de charge
 - assurer le débit d'eau nécessaire pour irriguer l'installation
- **Il existe :**
 - Des circulateurs standards à une ou plusieurs vitesses (ne sont plus commercialisés depuis 2014).
 - Des circulateurs à vitesse variable : la vitesse varie en fonction de la variation de pression dans le réseau.

Circulateurs standards

- **Circulateurs « standards »**

Circulateurs à 1 ou plusieurs vitesses (3 ou 4) dont la vitesse de rotation (débit) est réglée manuellement et reste fixe quelques soient les conditions d'exploitation

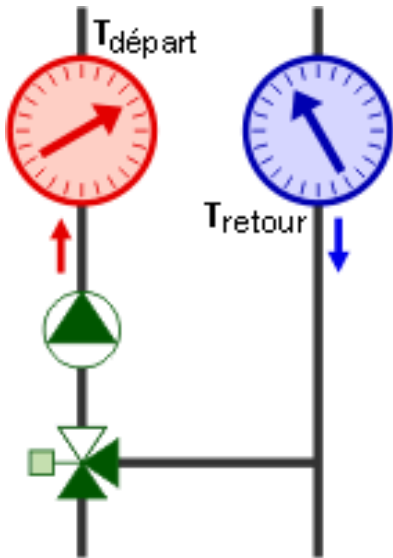


- Bien souvent, ces circulateurs sont surdimensionnés lors de la conception, ou suite à l'usage réel du système de chauffage.
... par exemple, dans une habitation dont de nombreuses pièces ne sont plus chauffées (vannes fermées).
- Pour les circulateurs à plusieurs vitesses il peut être utile de tenter de **réduire la vitesse**, soit en permanence, soit selon la saison.
En cas d'inconfort, il est aisé de retourner aux réglages initiaux.

Réduire la vitesse des circulateurs

Indice :

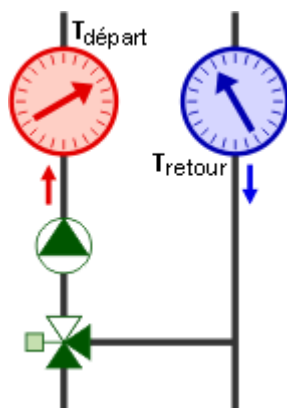
... par -10°C ext...



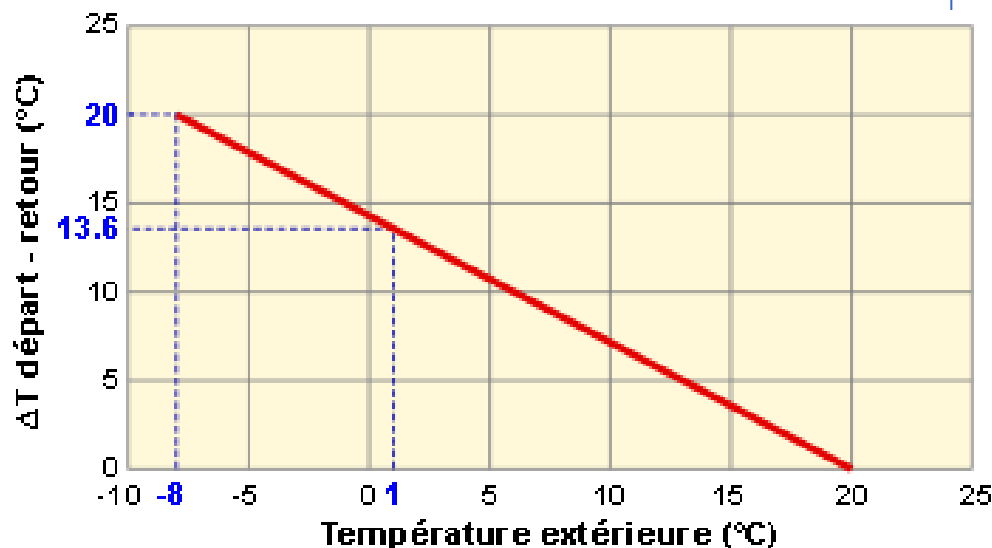
← 80°C

→ 60°C

Réduire la vitesse des circulateurs

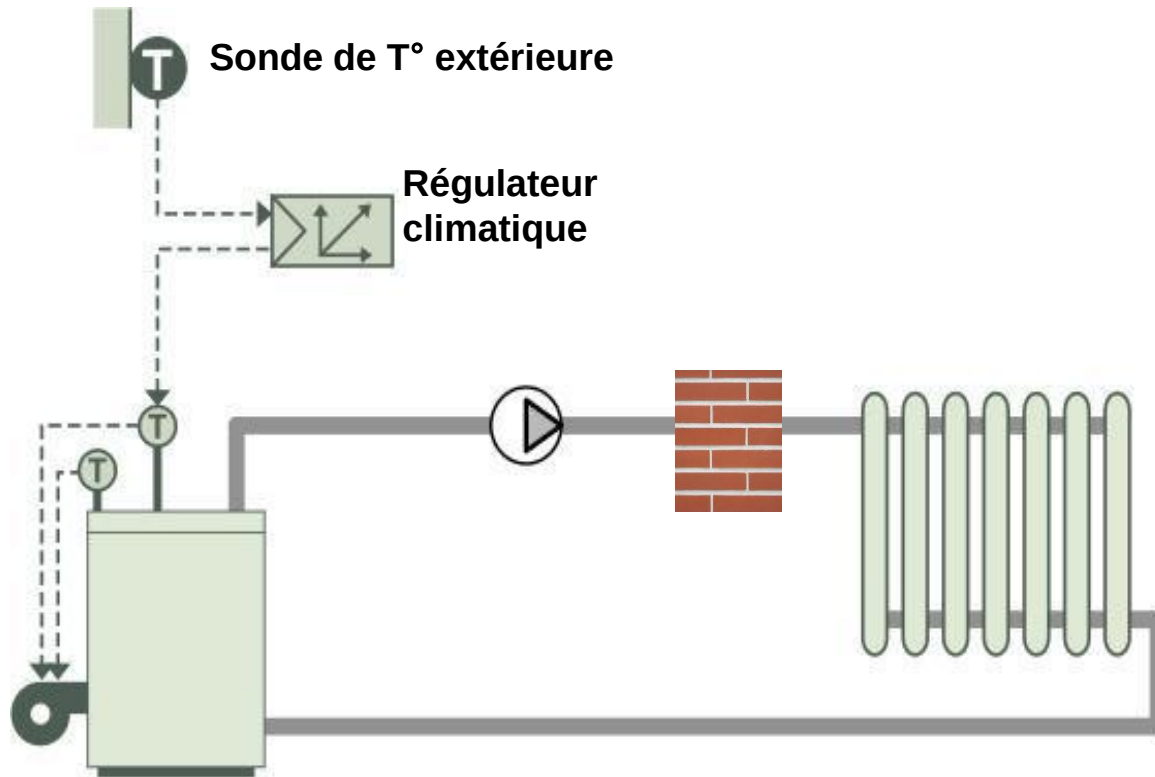


- Réduire d'un cran la vitesse des circulateurs secondaires permet de gagner ...20% ... de leur consommation électrique
- Indice : la différence entre la température de départ et de retour



- Pour une température extérieure de 1°C, $T_{\text{départ}} - T_{\text{retour}}$ devrait être de l'ordre de 13 .. 14°C
- Si elle est de 6 .. 7°C, le débit est vraisemblablement 2 x trop élevé.

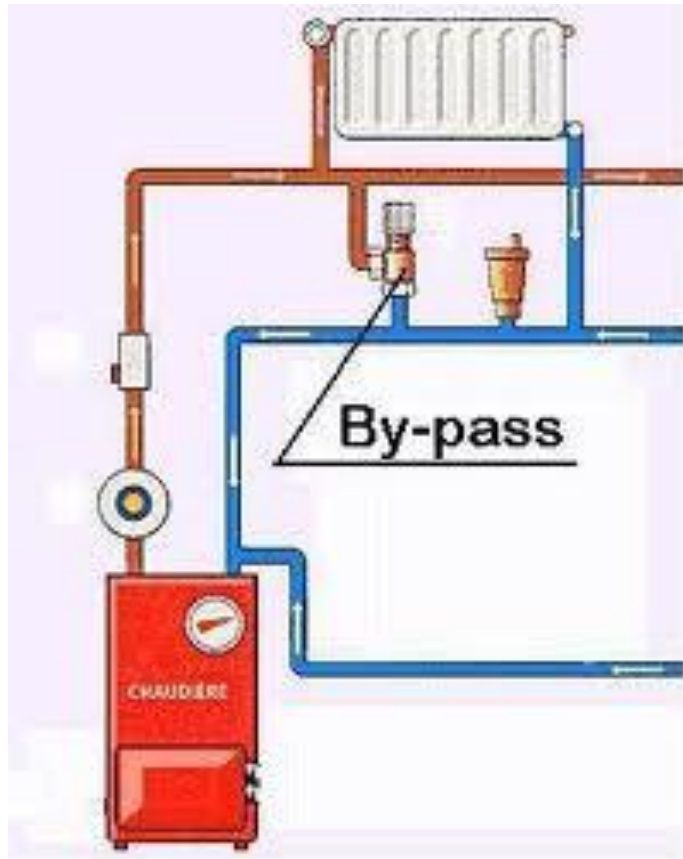
Que se passe-t-il lorsque les VT sont fermées ?



Le circulateur pousse sur un « mur » !

- usure prématurée du circulateur
- consommation électrique inutile

Que se passe-t-il lorsque les VT sont fermées ?



Avec des circulateurs « standards », il y a toujours un bypass! (vanne de pression différentielle entre le départ et le retour)



Circulateurs à vitesse variable

- **Circulateurs « à vitesse variable »**

Circulateurs dont la vitesse de rotation est réglée automatiquement de façon à ajuster en continu la pression différentielle en un point du circuit.

→ seule la puissance nécessaire est consommée
(pas de surdimensionnement)



Circulateurs à vitesse variable

De plus, un circulateur à vitesse variable peu avantageusement remplacer une soupape de pression différentielle

→ ce circulateur diminuera automatiquement le débit si des vannes thermostatiques se ferment (→ diminution de puissance consommée) alors qu'avec une soupape de pression différentielle la puissance consommée reste identique en pareille situation



→ selon les cas, économie de 30% à 50% sur la consommation électrique annuelle !

Exemple



4 vitesses et donc 4 puissances :

83 W

72 W

55 W

41 W

- Diminution de la vitesse de 1 cran sur la saison de chauffe :
 $(83-72) \text{ W} \times 5800 \text{ h} = 64 \text{ kWh}$ ou $\sim 13 \text{ €/an}$
- Coupure circulateur en été (hors saison de chauffe) :
 $72 \text{ W} \times 3000 \text{ h} = 216 \text{ kWh}$ ou $\sim 43 \text{ €/an}$

Temporisation du circulateur

- La commande du circulateur peut être intégrée à la régulation de l'installation :

le circulateur est mis en route en même temps que le brûleur et une temporisation commande son arrêt de 5 à 15 minutes après l'arrêt du brûleur pour évacuer la chaleur résiduelle de la chaudière

Exemple : circulateur de 72 W à vitesse fixe

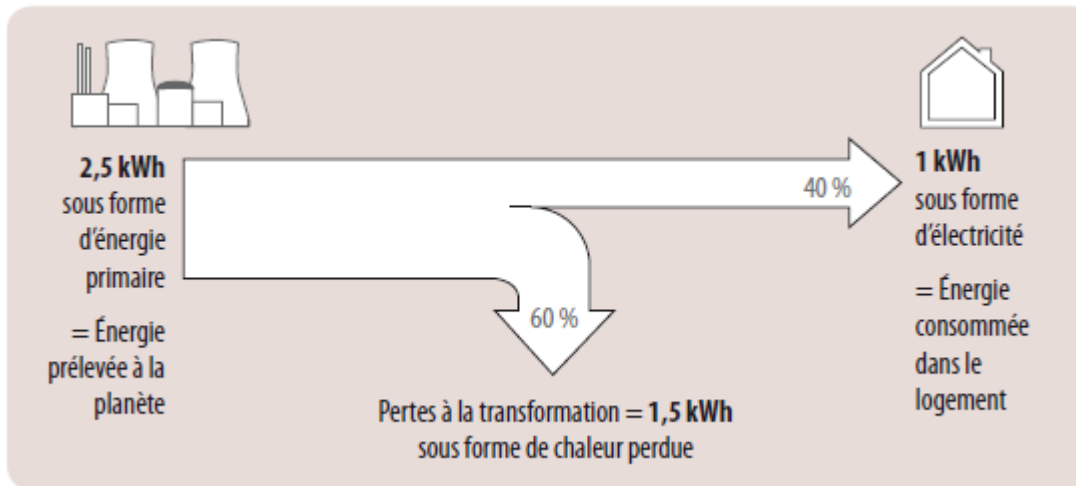
	Consommation annuelle [kWh/an]
Fonctionnement continu durant la période de chauffe	420
Fonctionnement discontinu durant la période de chauffe	252

- 40%

Hypothèses : coefficient de charge = 10 %, période de chauffe = 6000 h, temporisation = 5 min,

Energie primaire

- Pour les combustibles, les pertes de transformation et de transport sont négligeables => énergie primaire = énergie finale
- Pour l'électricité :



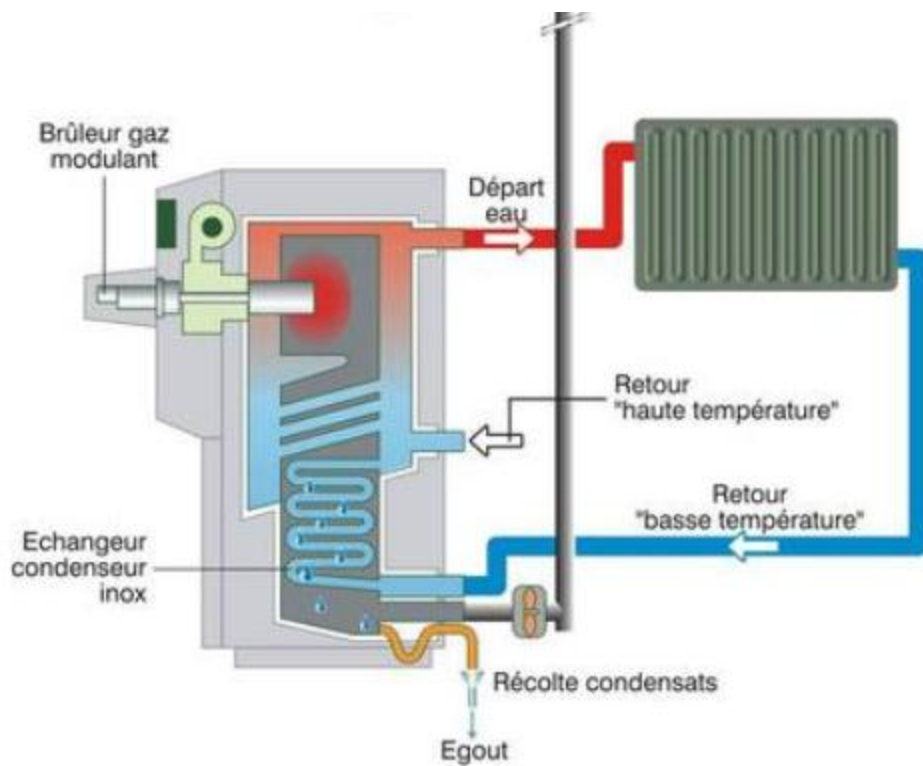
=> énergie primaire = 2,5 x énergie finale

Plan de l'exposé

- Introduction
- L'émission
- La régulation
- La distribution
- La production
- Les auxiliaires
- **Focus sur les installations à condensation**
- Remplacer une chaudière / rénover une chaufferie
- Conclusions



Chaudière à condensation



Chaudières à condensation

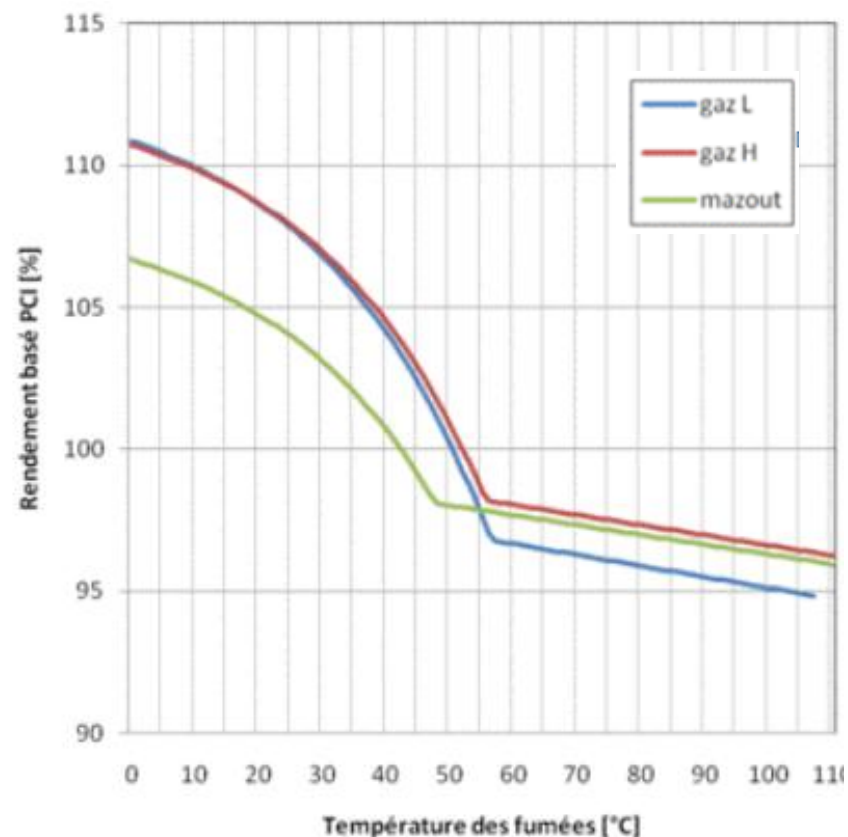
... ne sont pas des boîtes noires qui condensent d'office !!!

La condensation n'a lieu que si :

→ Les fumées sont suffisamment refroidies pour que la vapeur d'eau puisse condenser

Point de rosée ~ 54...58° pour le gaz

Point de rosée ~ 45...48° pour le mazout



Chaudières à condensation

Paramètres influençant la condensation :

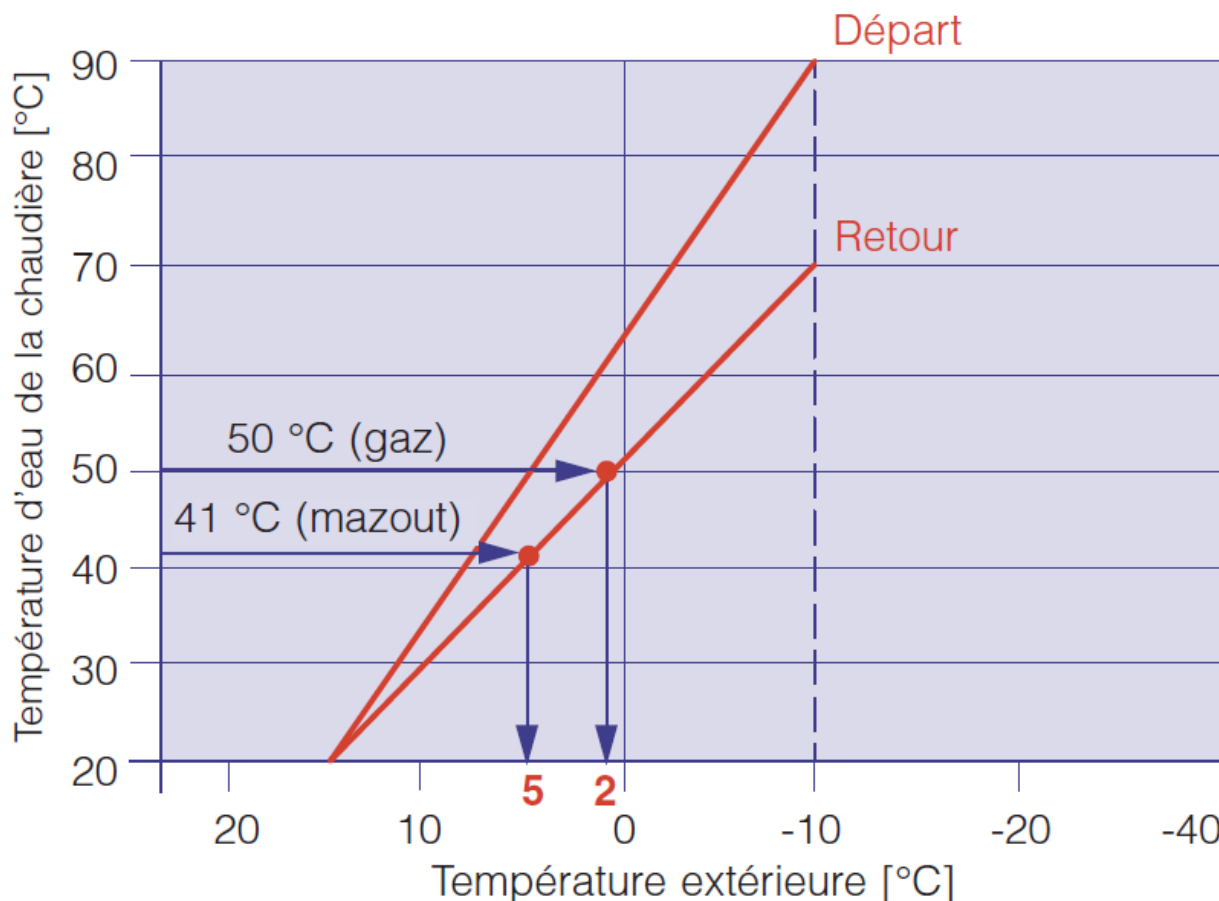
- **Température des fumées** basse implique :
 - **Une T° d'eau au retour la plus faible possible**
 - Émetteurs dimensionnés pour travailler à basse température (si possible)
 - Régulation en T° glissante de la température de départ
 - Hydraulique adaptée : éviter les retours chauds
 - **Un échangeur efficace** (rapport $S_{\text{échange}} / P_{\text{brute}}$)
 - Opter pour un brûleur qui délivre la puissance strictement nécessaire (brûleur modulant)

Régulation en T° glissante & Dimensionnement des émetteurs

Production

T° de départ et de retour en fonction de la T° extérieure

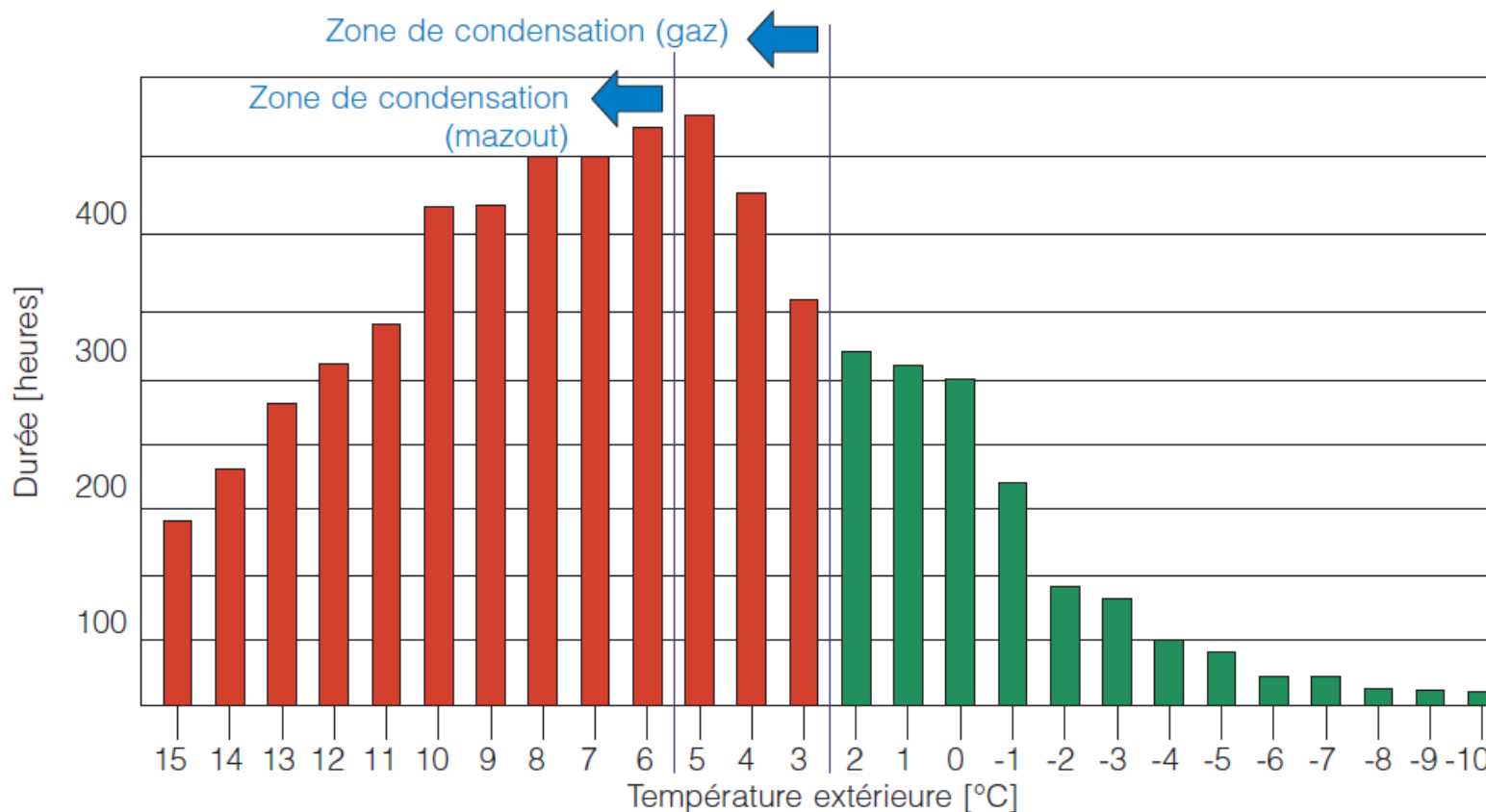
**Régime
classique
70 / 90 °C**



Régulation en T° glissante & Dimensionnement des émetteurs

Production

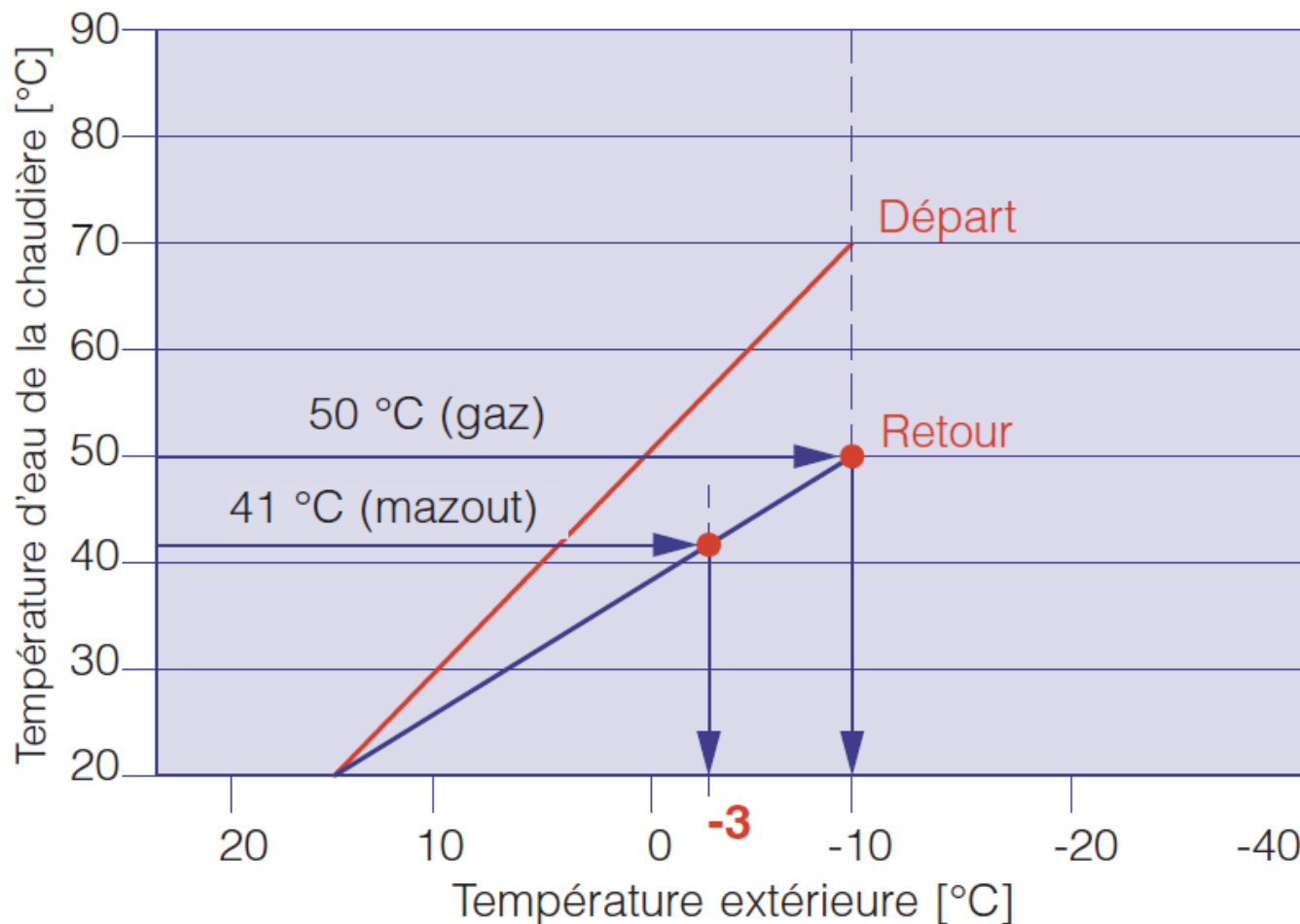
Durée pendant laquelle la température extérieure présente une valeur donnée au cours de la saison de chauffe



Régulation en T° glissante & Dimensionnement des émetteurs

Production

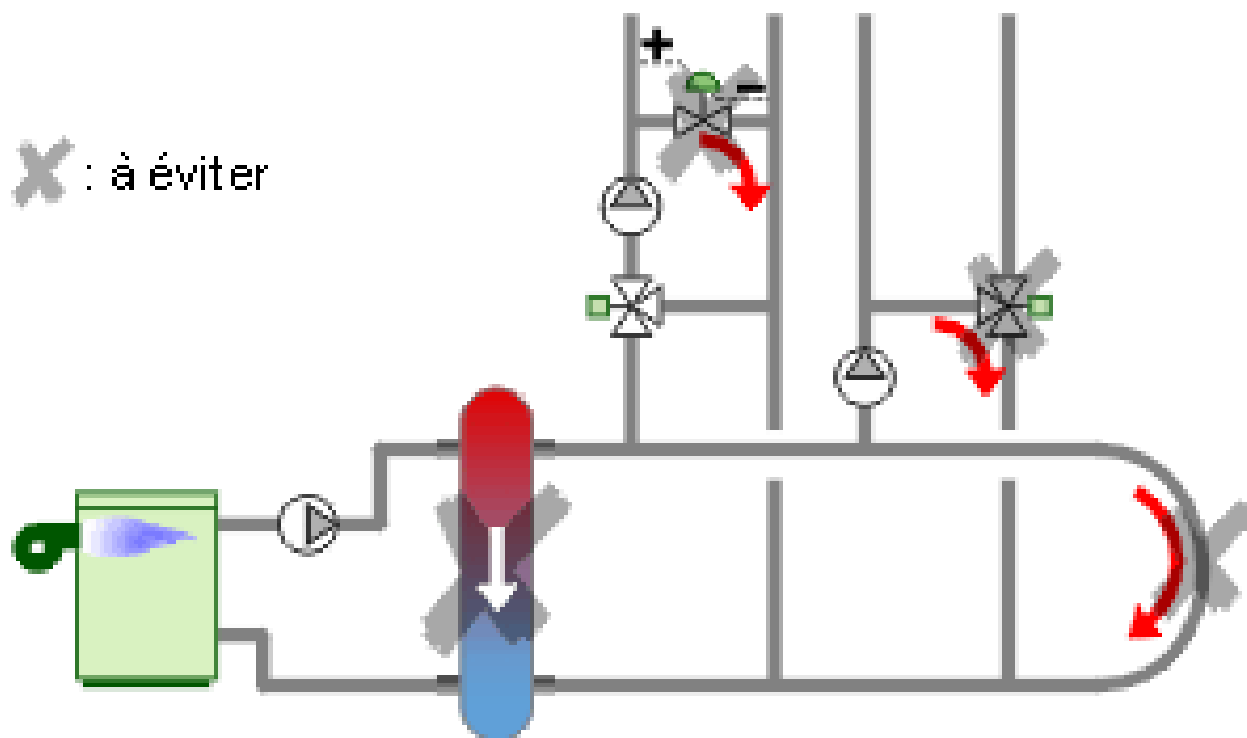
**Régime
50 / 70 °C**
par exemple,
radiateurs
surdimensionnés



Eviter les retours chauds

- **Principes :**

- Ne jamais mélanger, avant le condenseur, l'eau de retour froide et l'eau chaude de départ
- Toujours alimenter le condenseur avec les retours les plus froids



Eviter les retours chauds

Pour la condensation, il faut que la température d'eau de retour soit la plus froide possible ...

Schéma défavorable à la condensation

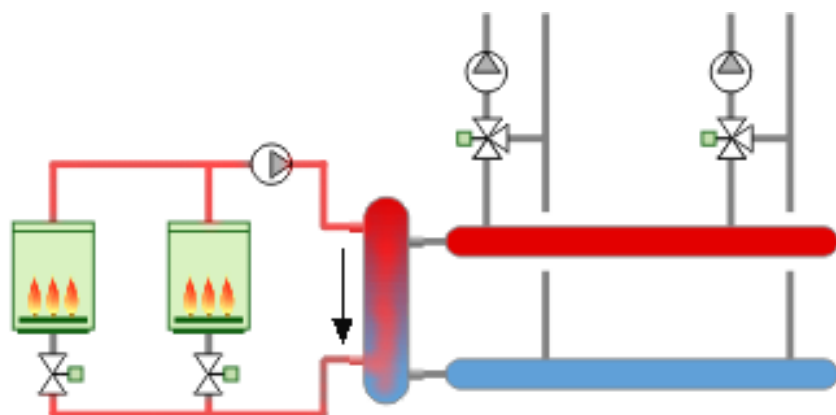
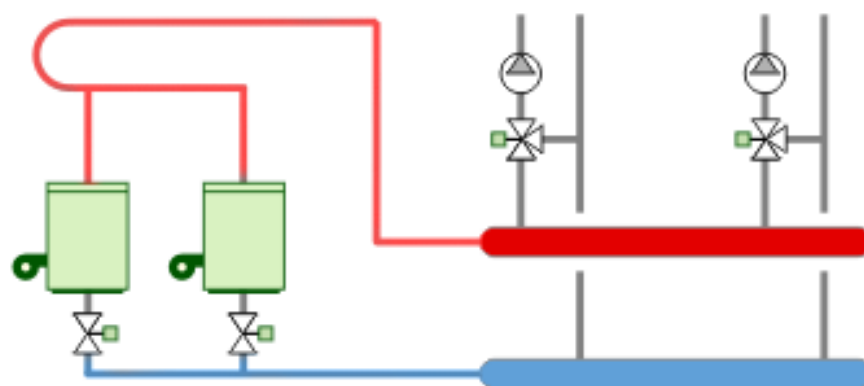


Schéma favorable à la condensation

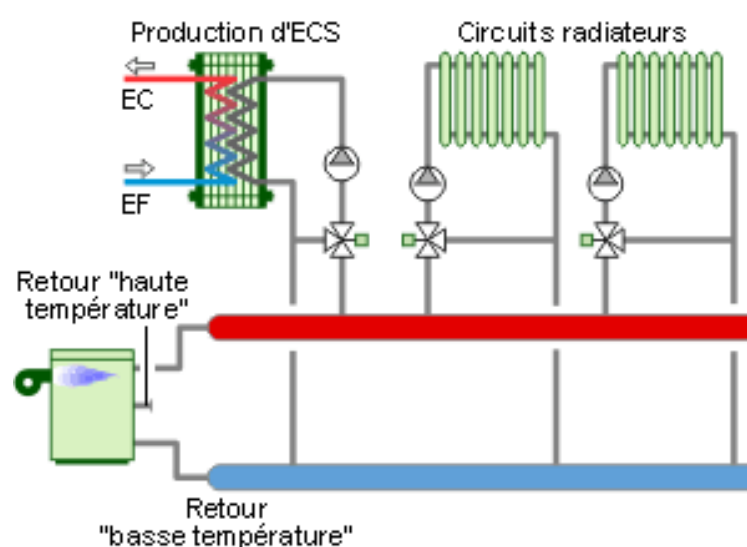
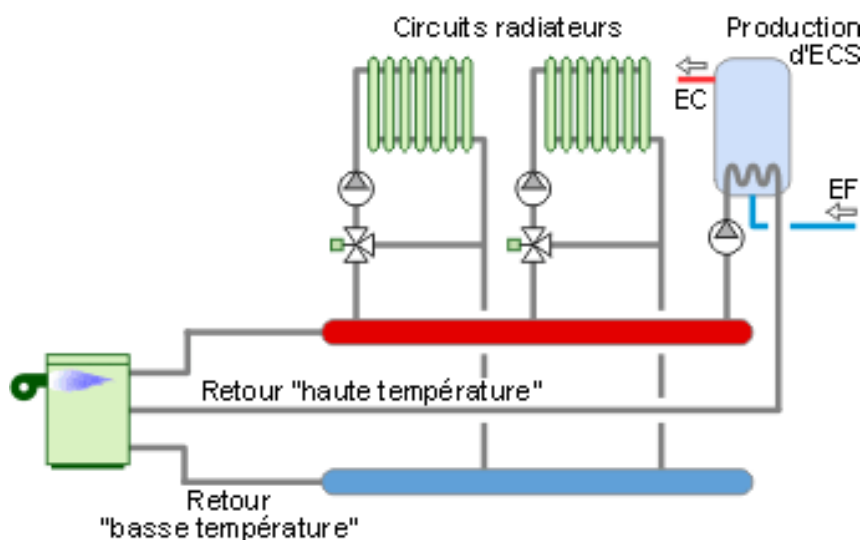


Eviter les retours chauds

• Quid si production d'ECS couplée ?

Si chaudière à condensation :

... **soit** chaudière à grand volume d'eau et 2 retours distincts

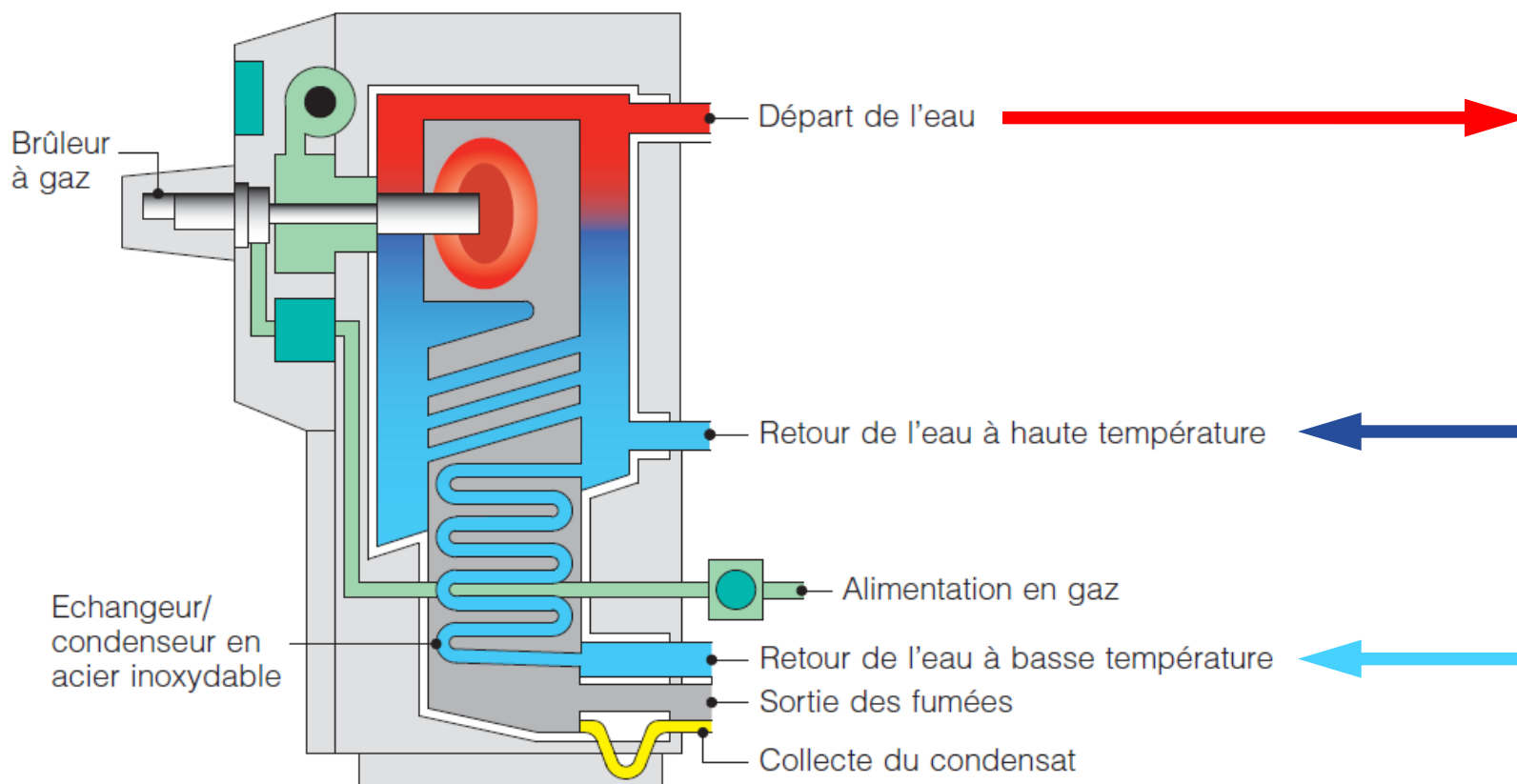


... **soit** dimensionner les échangeur ECS afin d'avoir des retours « froids » (échangeur à plaque)

soit découpler la production d'ECS et de chauffage

Eviter les retours chauds

- Si il existe des circuits à T° de retour différentes
→ chaudières à raccords multiples



Echangeur efficace

$$S_{\text{échange}} / P_{\text{brute}}$$

Surface de l'échangeur est fixe (échangeur = chaudière)

→ Agir sur la puissance!

→ Diminuer autant que possible la puissance = ajuster au mieux la puissance en fonction des besoins

Comment ?

Etager les niveaux des puissances en ayant recours à :

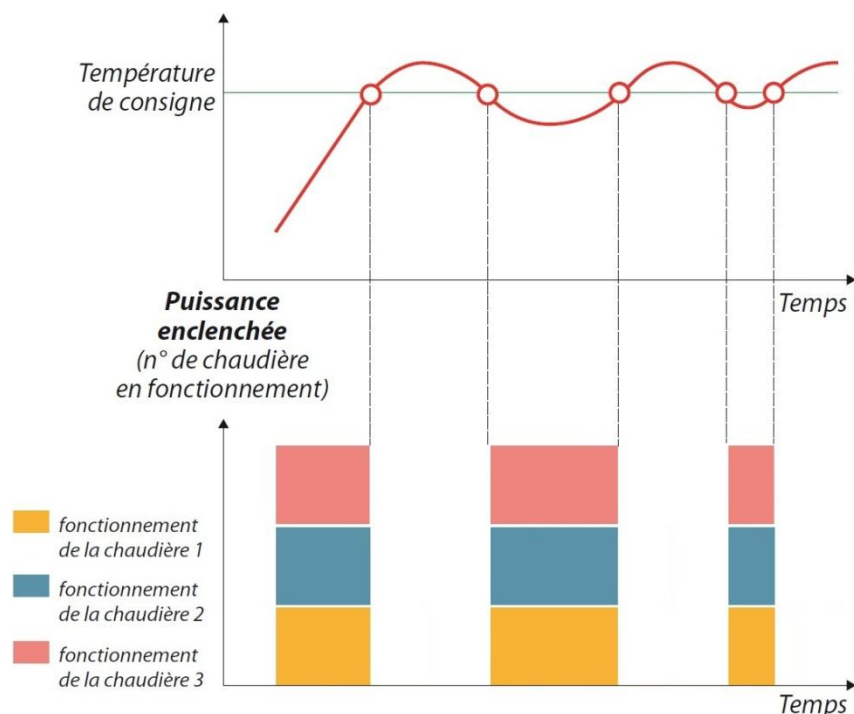
→ des brûleurs à deux allures ou, mieux, à des brûleurs modulants

→ plusieurs chaudières (éventuellement à plusieurs allures) et régulées en cascade

Étagement de puissance avec plusieurs chaudières

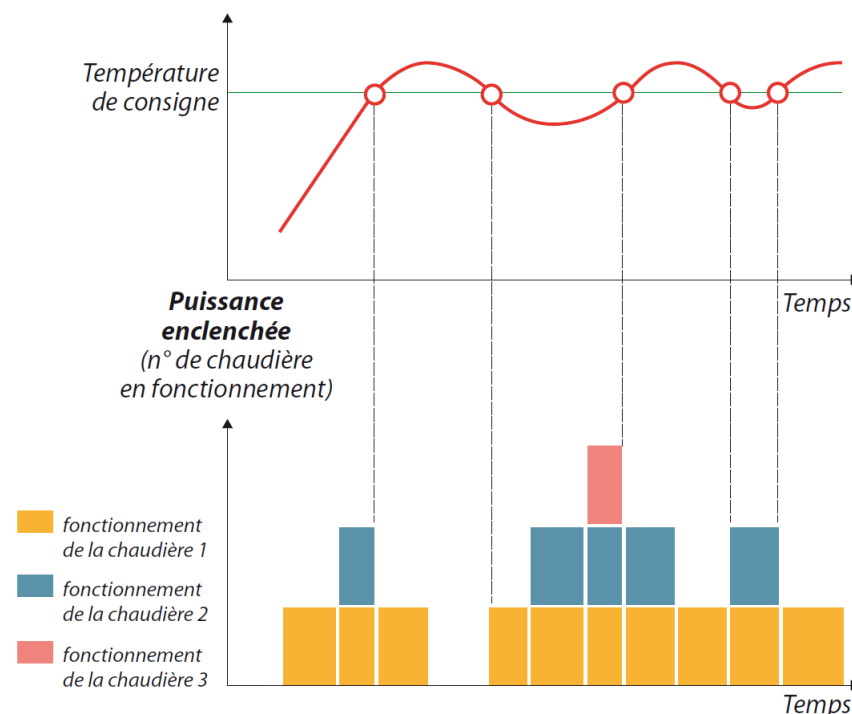
- Principe du fonctionnement en parallèle ou en cascade

Parallèle



→ Pertinent si toutes les chaudières sont récentes (bien isolées), modulantes sur une large plage de puissance et à condensation

Cascade



→ Pertinent dans les autres cas

La condensation au mazout ?

- Max. **7% de chaleur latente récupérable** (contre ~11% pour le gaz)
- **Point de rosée du mazout plus faible** (45 .. 48°C)
que celui du gaz (54 .. 58°C)
 - moins de condensation que pour le gaz, toutes autres choses restant égales
 - Travailler avec des T° d'eau encore plus faibles
 - Surdimensionner davantage les corps de chauffe

La condensation au mazout ?

• Chaudière à condensation au mazout :

→ **Condensats acides**

(production de H_2SO_4)

→ chaudières encore plus résistantes (surcoût + important)

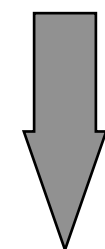
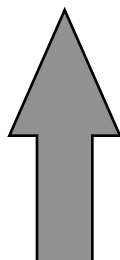
→ traitement des condensats avant rejet (neutralisation)

→ En général,

utilisation de fuel

« **extra** » à faible teneur en soufre (combustible plus cher).

pH
basique



acide

14	
13	
12	Ammoniaque
11	
10	
9	Eau de mer
8	Eau courante
7	Eau distillée
6	Eau de pluie pure
5	
4	Eau de pluie
3	Vinaigre
2	Jus de fruit
1	Acide fort
0	

Condensats gaz

Condensats mazout

Impératifs liés à la condensation

- **Évacuation des condensats**

- à l'égout

Une chaudière de 70 kW produit +/- 4 litres de condensats par heure !!!

- en matière plastique car pH acide
(neutralisation préalable si chaudière mazout)



Impératifs liés à la condensation

- Quelle quantité de condensats ?

Une chaudière à condensation de 250 kW produit environ 14 litres par heure de condensats soit l'équivalent de 1 chope par minute ...



Impératifs liés à la condensation

- **Cheminée**

- résistante à la corrosion
- étanche à l'eau

→ Tubage de la cheminée obligatoire (inox ou PPS)

NOTE : le tubage est souvent nécessaire pour une chaudière basse T° également !



Plan de l'exposé

- Introduction
- L'émission
- La régulation
- La distribution
- La production
- Les auxiliaires
- Focus sur les installations à condensation
- **Améliorer / rénover une chaufferie**
- Conclusions



Améliorer une chaufferie existante

- Vérifier le **rendement de combustion** et voir s'il est possible d'améliorer celui-ci

Enjeu énergétique

*1 % de rendement de combustion en plus
= environ 1 % de consommation en moins*

3. MESURES (3)								
	Unité	Application	Mesures initiales (RBC)		Mesures finales		Exigences	Conformité
			Allure 1	Allure 2	Allure 1	Allure 2		
Température d'eau (4)	°C	1-2						
Gicleur: marque/type	/	1						
Gicleur: débit	USG/h	1						
Gicleur: angle	°	1						
Pression pompe	bar	1						
Pression gaz	mbar	2						
(dé)pression cheminée	Pa	1-2						
Indice fumée	Bacharach	1						
Teneur en O ₂	%	1-2						
Teneur en CO ₂	%	1-2						
Teneur en CO	mg/kWh	1-2						
Tem. des gaz de combustion	°C	1-2						
Temp. de l'air de combustion	°C	1-2						
Température nette	°C	1-2						
Rendement de combustion	%	1-2						
Application = 1: combustible liquide – 2: combustible gazeux								
Les tickets des résultats de mesure sont à agraffer à cette attestation								

	Ancienne chaudière de 20 ~ 25 ans	Nouvelle chaudière non à condensation	
T° fumées	~ 180	~ 120	°C
Taux CO ₂ mazout	12,5 .. 13	12,5 .. 13	%
Taux CO ₂ gaz	10 .. 11	10 .. 11	%
Taux CO	0	0	ppm
Excès d'air	~ 20	~ 20	%
Tirage	~ 10 .. 15	~ 10 .. 15	Pa
Rendement	~ 90 .. 92	~ 94 .. 95	%

Améliorer une chaufferie existante

- Vérifier la **fermeture du clapet d'air** lorsque la chaudière est à l'arrêt

Enjeu énergétique

0,5 à 1 % de la puissance nominale de la chaudière



Améliorer une chaufferie existante

- Vérifier si les 2 allures du brûleur sont bien commandées

Enjeu énergétique

2 à 3 % de rendement en plus



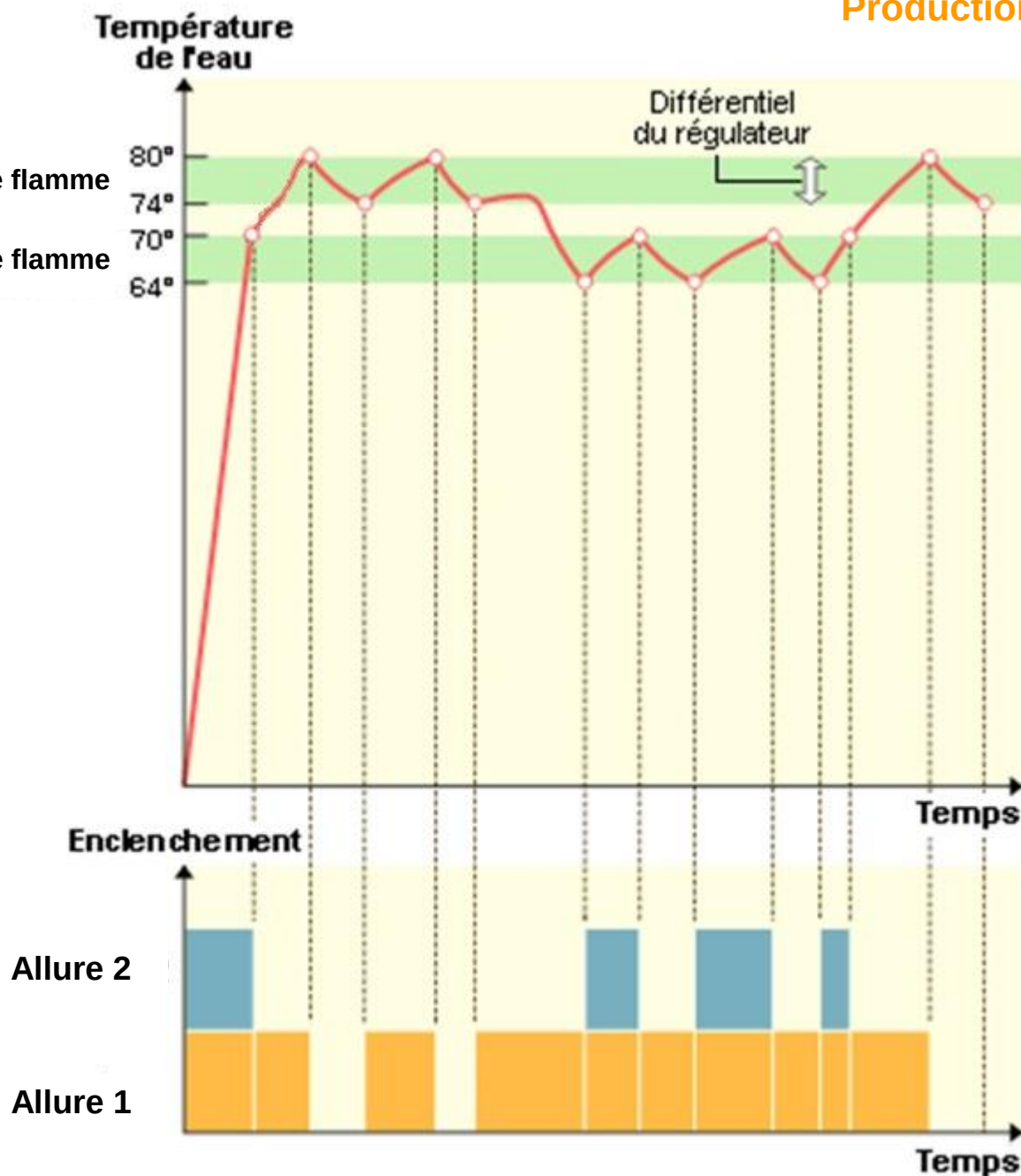
Consigne allure 1 = petite allure = petite flamme

Consigne allure 2 = grande allure = grande flamme

Une chaudière à deux allures :

ordre
d'enclenchement des
allures d'un brûleur
... pour une régulation basée
sur des aquastats

**T° aquastat petite allure >
 T° aquastat grande allure !**
(sinon, fonctionnement
permanent en grande allure)



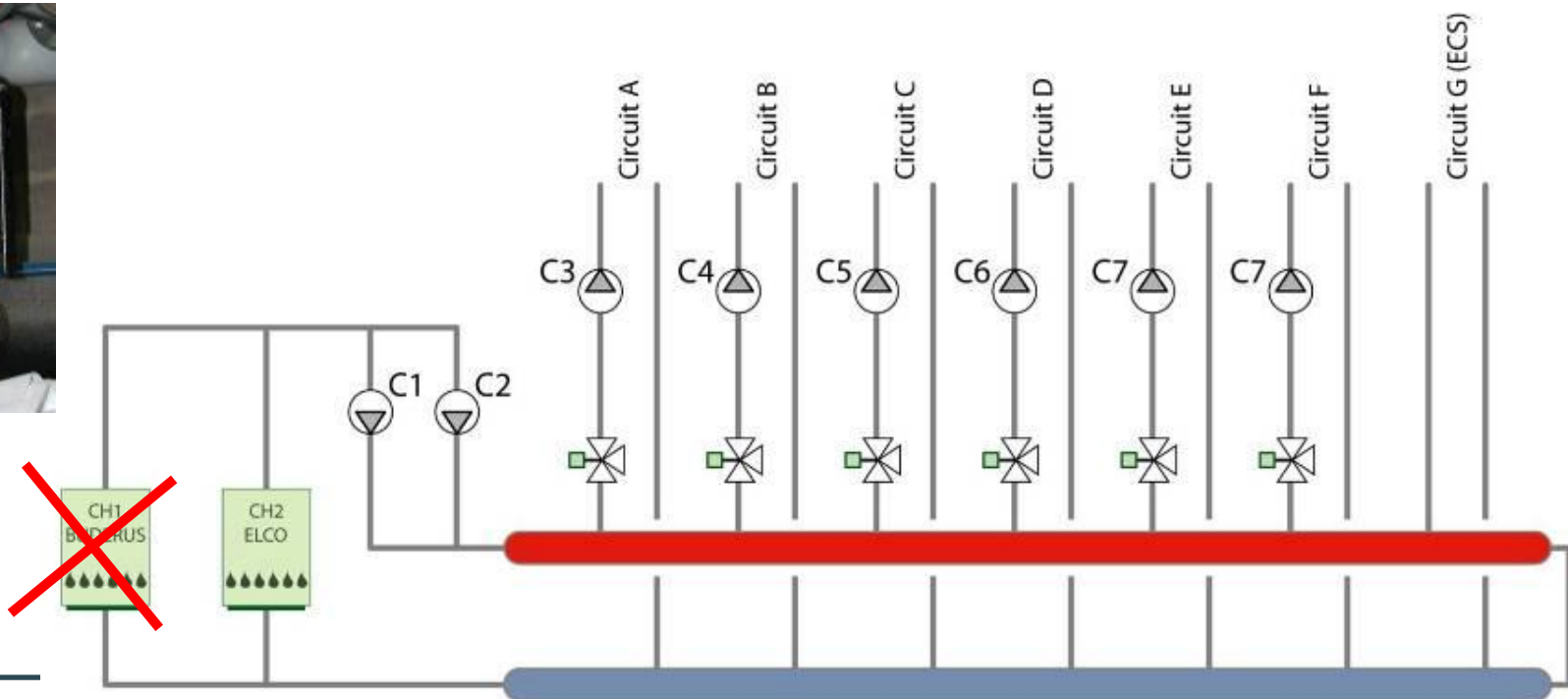
Améliorer une chaufferie existante

- Vérifier le surdimensionnement et, si possible, mettre 1 chaudière à l'arrêt et isoler hydrauliquement cette chaudière (manuellement ou via cascade)

Enjeu énergétique

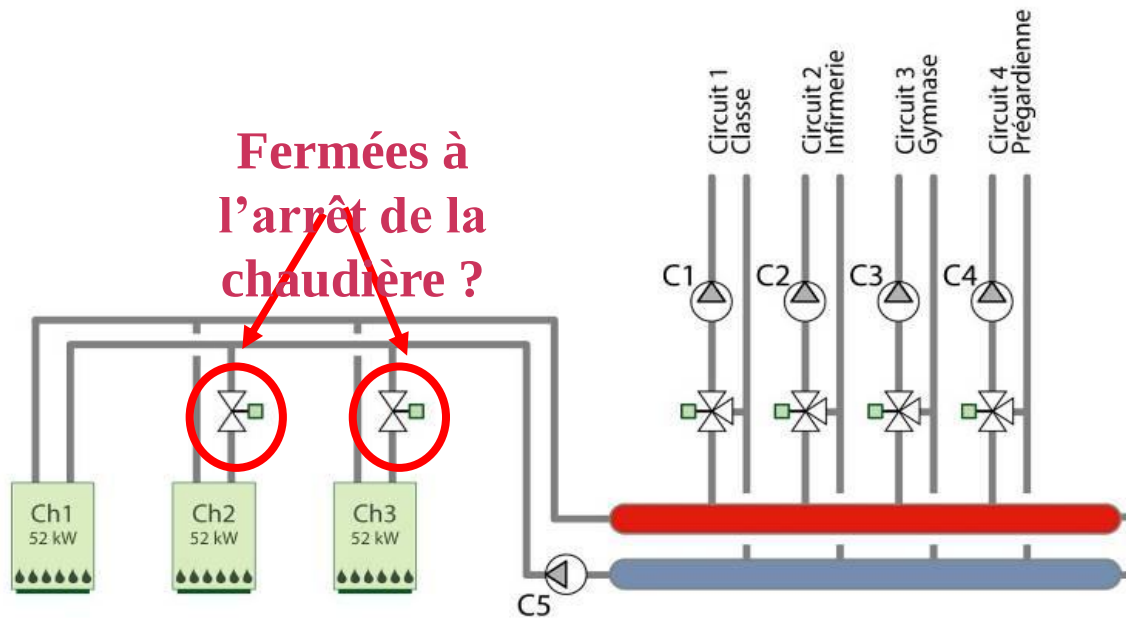
Les pertes à l'arrêt des chaudières inutiles maintenues en température

0,3 à 1,5 % de la puissance nominale de la chaudière



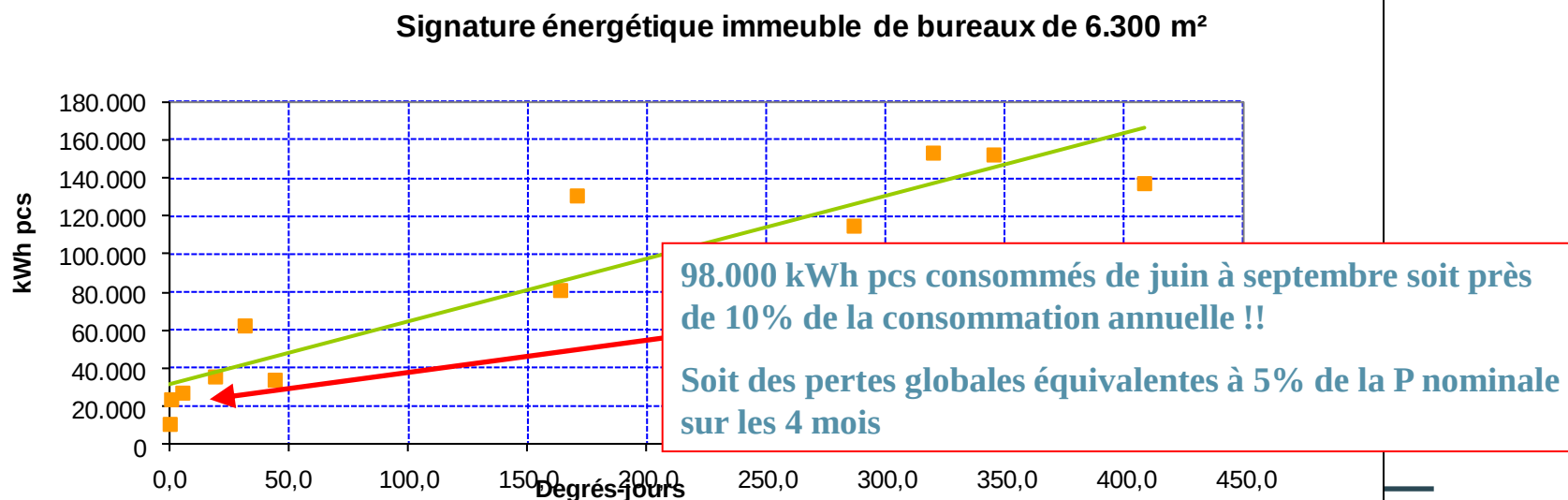
Améliorer une chaufferie existante

Fermées à
l'arrêt de la
chaudière ?



Améliorer une chaufferie existante

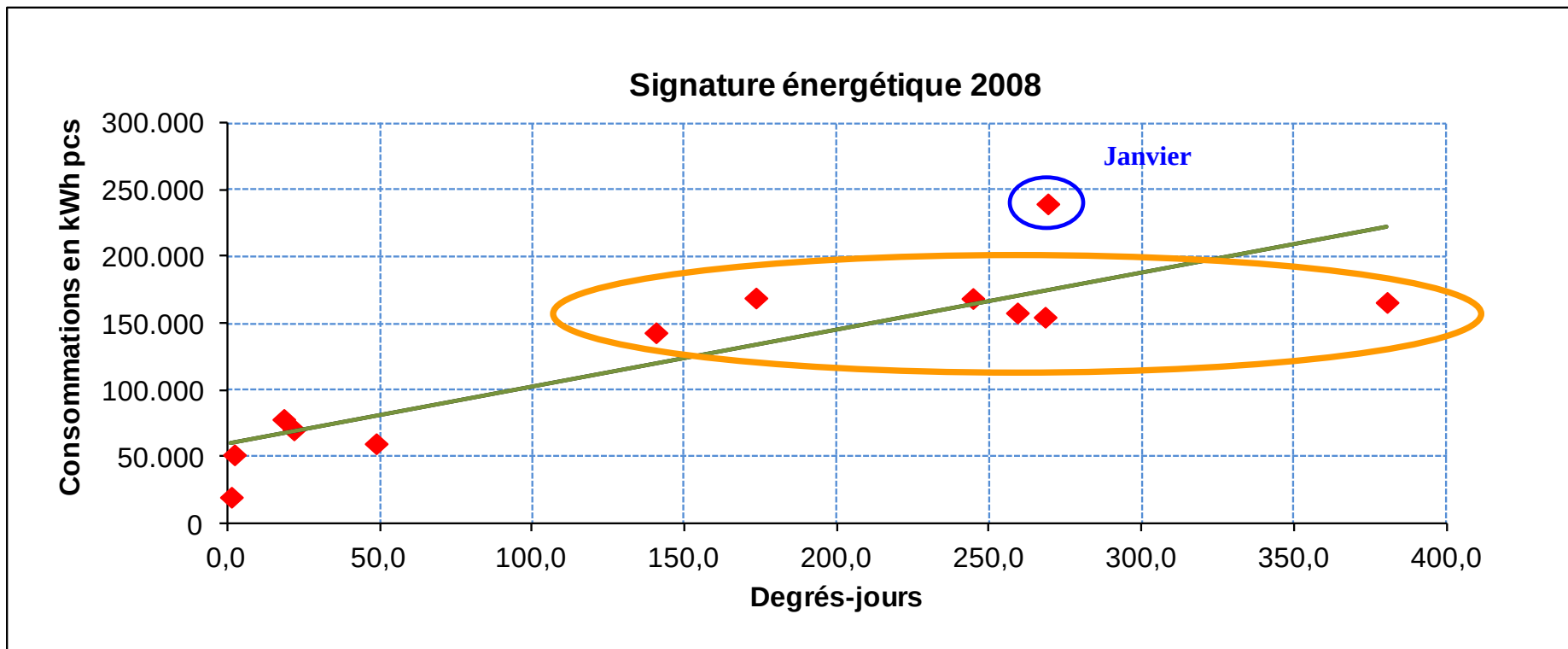
- Vérifier que les chaudières sont à l'arrêt en été
- > Pertes à l'arrêt observées tout l'été pour une chaufferie de 500 kW :
- $$500 \text{ kW} \times 3000 \text{ h/an} \times 0,6 \% = 9000 \text{ kWh/an ou } 540 \text{ [€]}$$
- > Approche réductrice si collecteur primaire est maintenu en température + consommation électrique de la pompe primaire
- > Exemple pour une chaufferie de 680 kW d'un immeuble de bureaux de 1993 consommant annuellement 1.000.000 kWh pcs



Améliorer une chaufferie existante

- Vérifier que la régulation est fonctionnelle et bien paramétrée

1. Etablir la signature énergétique :



Améliorer une chaufferie existante

- Vérifier que la régulation est fonctionnelle et bien paramétrée

2. Réaliser une campagne de mesures :

- T° des conduites : collecteur primaire et circuits de chauffage (départs et retours)
- T° intérieure dans plusieurs locaux « représentatifs »
- T° extérieure afin d'évaluer si la T° de l'eau varie effectivement en fonction de la T° extérieure

Campagne de mesures : exemple

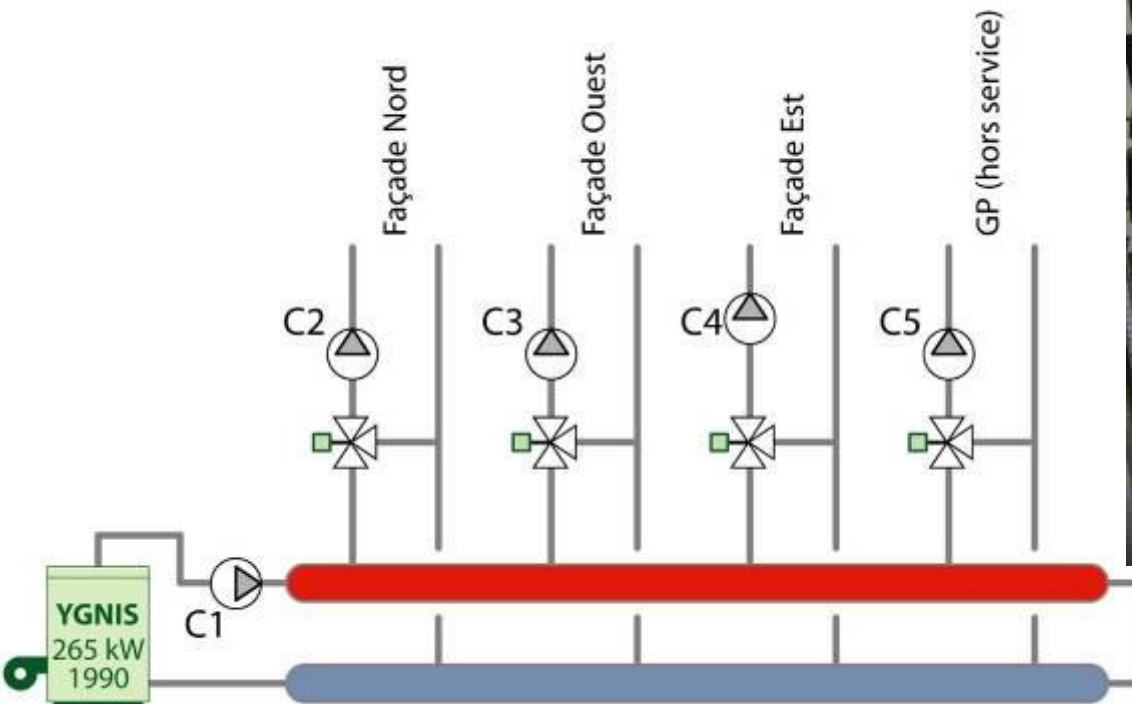
- > Immeuble de bureaux construit en 1990
- > Superficie chauffée de 2.450 m²
- > Consommation spécifique de 136 kWh pci/m²



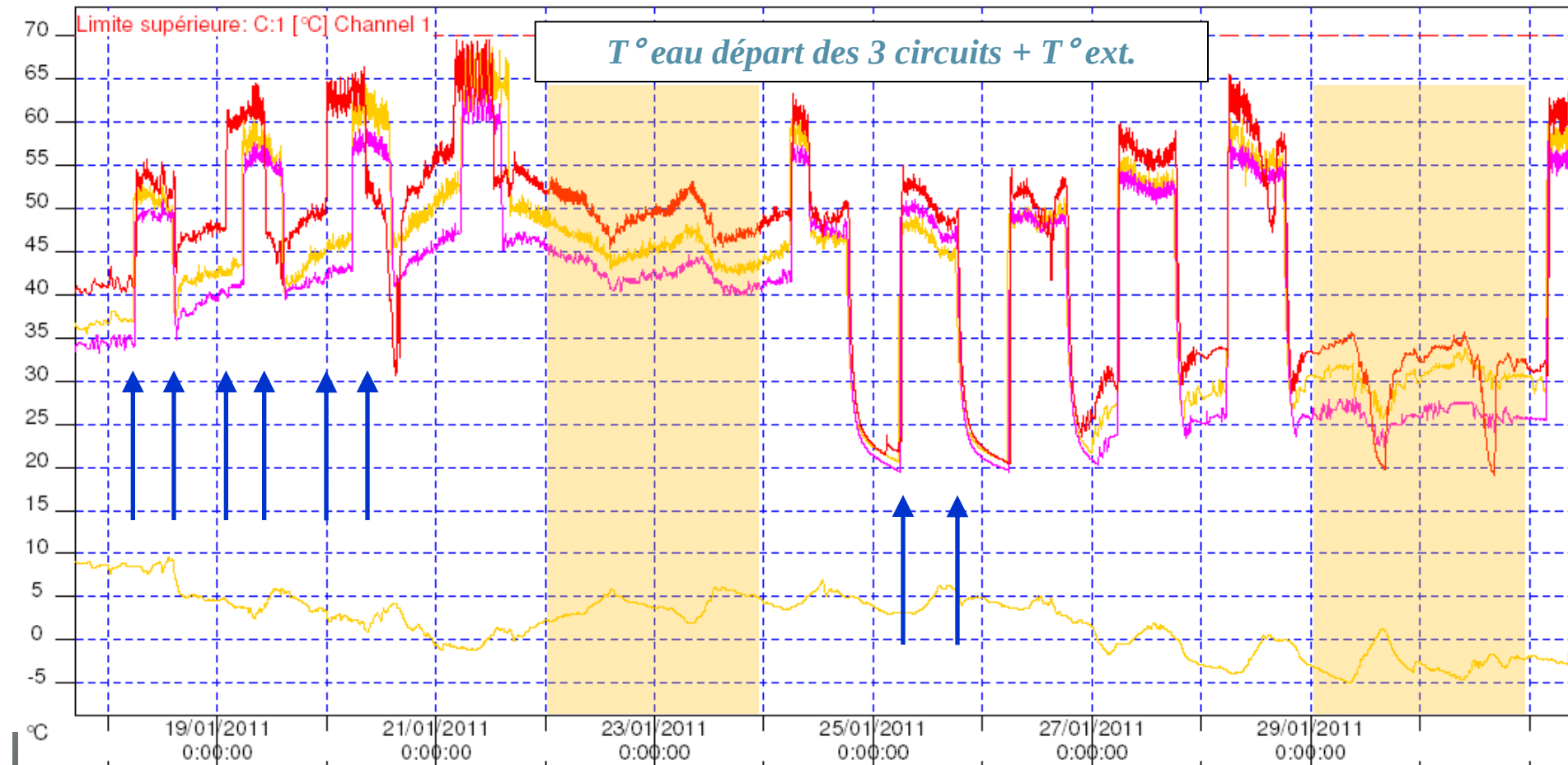
> Facture **gaz** 2010 de 13.000 € HTVA

Campagne de mesures : exemple

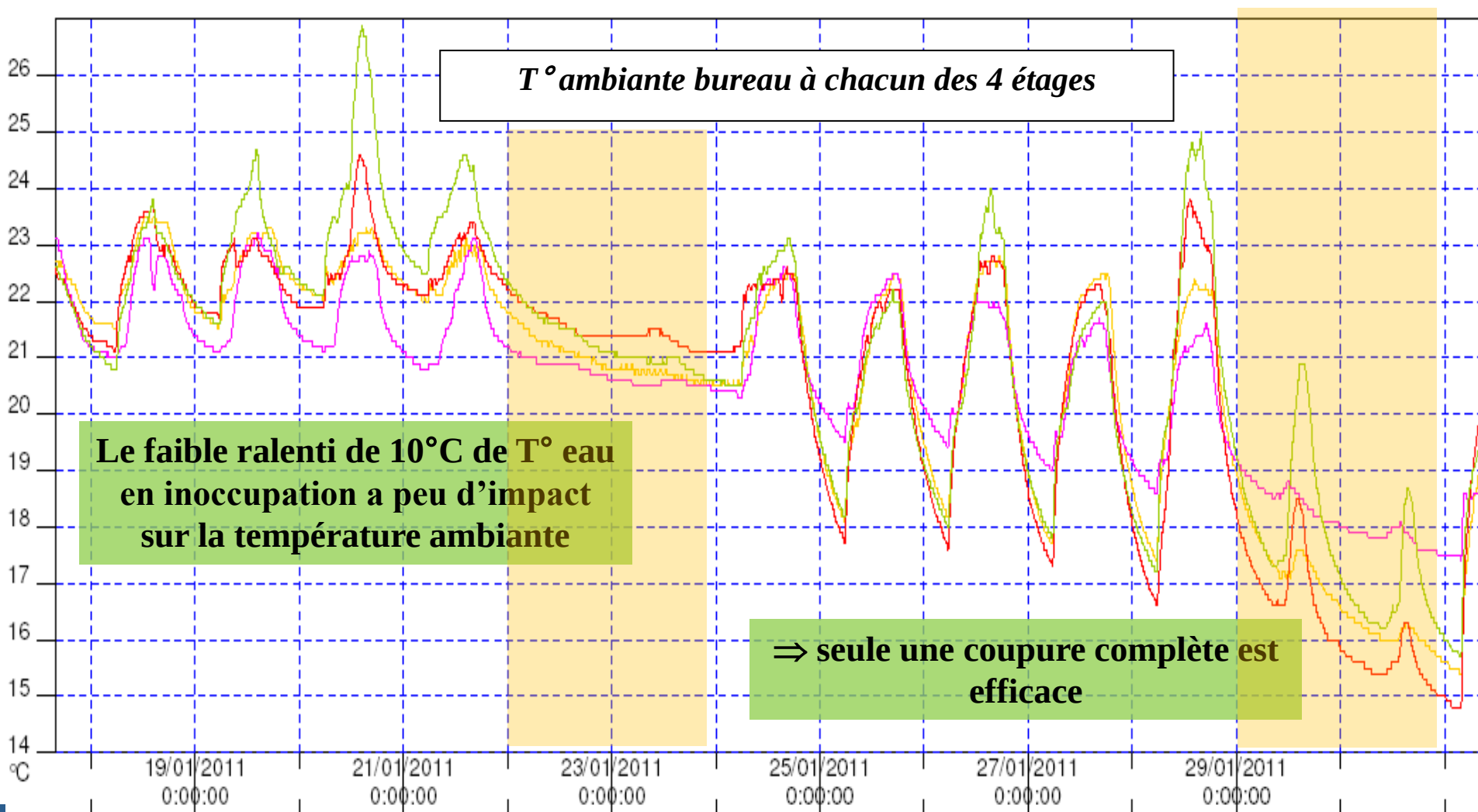
- > Chaudière de 265 kW équipée d'un brûleur gaz 2 allures
- > Collecteur primaire en température constante
- > 3 circuits radiateurs avec régulation climatique



Campagne de mesures : exemple



Campagne de mesures : exemple



Remplacement des chaudières existantes

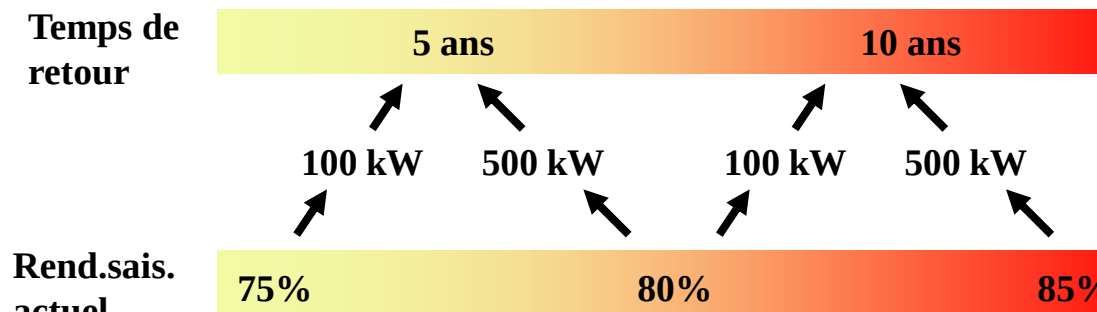
Remplacer une chaudière, c'est l'occasion de repenser l'installation :

- Choix du combustible
- Redimensionnement des chaudières
- Choix des chaudières (chaudières à condensation ?)
- Régulation des chaudières et aussi des circuits de distribution (intégration de l'ensemble)
- Adaptation de la cheminée
- Mise en conformité de la chaufferie
- ...

Remplacement des chaudières existantes



Temps de
retour



Anciennes chaudières
atmosphériques
maintenues en
température;

Anciennes chaudières
pulsées,
surdimensionnées,
rendement de
combustion .. 86 ..%,
brûleur sans clapet d'air
fermé, cascade sans
coupure hydraulique

Anciennes chaudières
pulsées, bien
dimensionnées,
rendement de
combustion .. 88 ..%,
brûleur sans clapet d'air
fermé, cascade sans
coupure hydraulique

Anciennes chaudières
pulsées, bien
dimensionnées,
rendement de
combustion .. 90 ..%,
clapet d'air fermé,
cascade sans coupure
hydraulique

Remplacement des chaudières existantes

- **Opter pour la condensation ? A priori, « OUI MAIS »**

... il y a lieu respecter quelques points d'attention !

→ Vérifier le dimensionnement du **système d'émission**
(presque toujours OK si radiateurs mais à vérifier si convecteurs)

→ Vérifier le **schéma hydraulique**.
Si nécessaire prévoir de l'adapter.

→ si **gaz**, opter pour un **brûleur modulant** à large plage de modulation + régulation des paramètres de combustion
si **mazout**, opter pour un **brûleur à 2 allures**.

→ **Bien dimensionner la puissance** des chaudières afin de maximiser le rendement saisonnier

Importance d'un bon dimensionnement

- Impact du surdimensionnement de la chaudière et du brûleur :

On l'a vu :

- Augmentation des pertes à l'arrêt,
- Augmentation des émissions polluantes et de l'encrassement ...

... mais aussi un **surinvestissement** !



En résumé ...

Pour un remplacement de chaudière(s) :

Si le gaz est disponible :

→ une chaudière **gaz à condensation** ou, si on désire une continuité d'approvisionnement en cas de panne :

- la combinaison de deux chaudières à condensation en parallèle,
- la combinaison d'une chaudière à condensation en cascade avec une chaudière basse température.

→ **dimensionnée selon la norme,**

→ équipée d'un **brûleur modulant** (avec une grande plage de modulation : de ~10 à 100 %) et avec une **régulation de la combustion** sur toute la plage de modulation,

→ raccordée à un **circuit hydraulique favorisant au maximum la condensation** et de préférence **le plus simple possible** de manière à éviter les erreurs de conception et de régulation.

En résumé ...

si le gaz n'est pas disponible :

- une ou plusieurs chaudières (si on désire une assurance de fourniture de chaleur en cas de panne),
- à « **condensation** » ou à « **haut rendement** », travaillant avec des températures fumées les plus basses possibles.
- équipée d'un **brûleur à 2 allures**,
- équipée d'un compteur fuel.

Plan de l'exposé

- Introduction
- L'émission
- La régulation
- La distribution
- La production
- Les auxiliaires
- Focus sur les installations à condensation
- Remplacer une chaudière / rénover une chaufferie
- **Conclusions**

Ordres de grandeurs

Type d'installation	Rendements en % ($\eta_{\text{global}} = \eta_{\text{production}} \times \eta_{\text{distribution}} \times \eta_{\text{émission}} \times \eta_{\text{régulation}}$)				
	$\eta_{\text{production}}$	$\eta_{\text{distribution}}$	$\eta_{\text{émission}}$	$\eta_{\text{régulation}}$	η_{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 %

Conclusions

- Entre l'énergie finale (que l'on paie) à l'entrée du bâtiment et la chaleur restituée dans les locaux pour assurer le confort voulu :
un long parcours jalonné de pertes
- La compréhension des différents mécanisme de pertes permet d'améliorer les performances de l'installation
 - par sa gestion quotidienne
 - par des améliorations ponctuelles
 - par sa rénovation

Conclusions

- Il est nécessaire d'assurer une cohérence globale :
 - Une action sur un poste peut avoir des répercussions sur un autre
exemple : des radiateurs fonctionnant à basse température favorisent le rendement d'une chaudière à condensation
 - Chaque poste a son importance (rendement global = produits des rendements)
- La régulation est primordiale pour garantir les performances de tous les postes de l'installation
- Il est important de sensibiliser les utilisateurs au mode de fonctionnement du système de chauffage au niveau de l'émission et de la régulation locale/finale