

Installations de chauffage :

Comprendre leur fonctionnement et en améliorer l'efficacité !

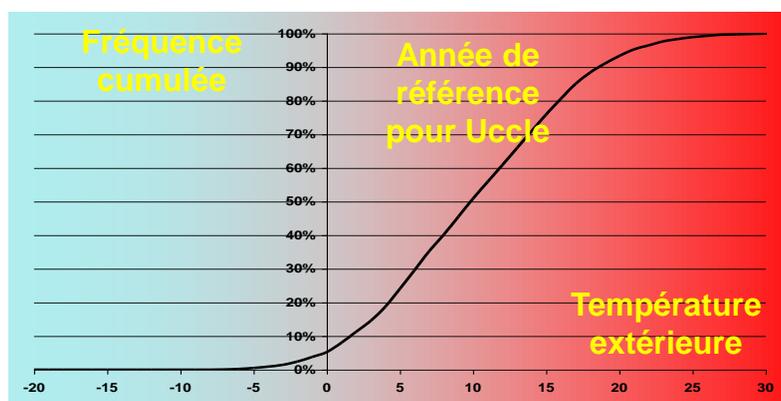
Pierre DEMESMAECKER



I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

Introduction

Pourquoi faut-il chauffer?

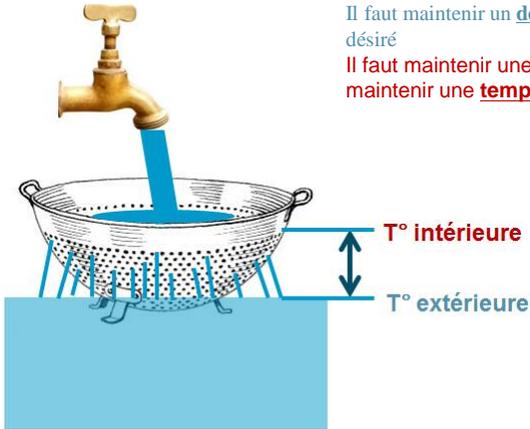


I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

2

Introduction

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

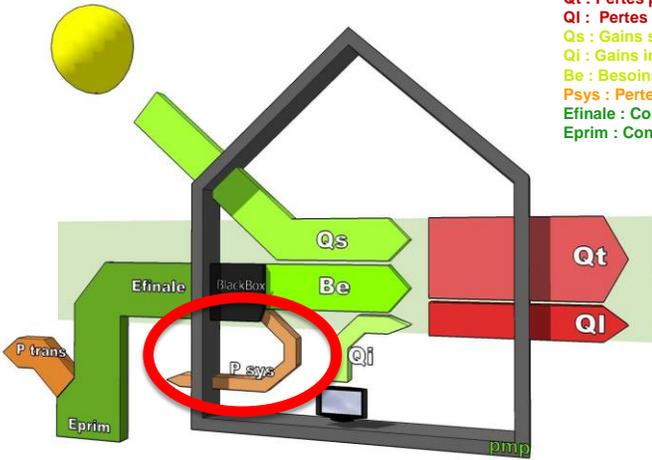


I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

3

Introduction

Les flux thermiques d'un bâtiment



Qt : Pertes par transmission

Ql : Pertes par ventilation

Qs : Gains solaires

Qi : Gains internes

Be : Besoins nets en énergie

Psys : Pertes systèmes

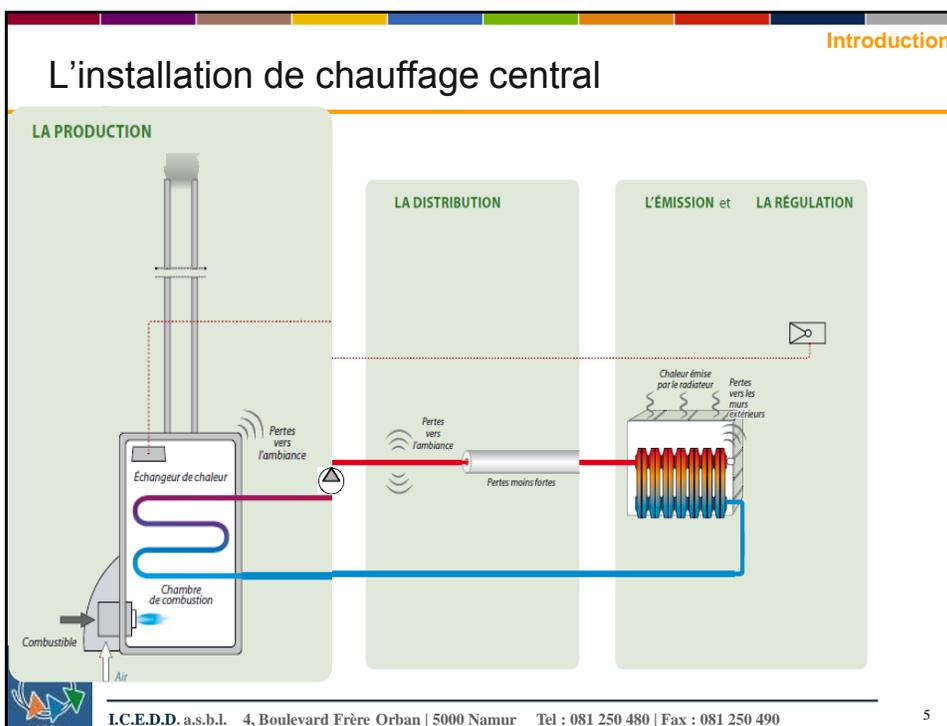
Efinale : Cons. Finale

Eprim : Cons. primaire



I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

4



Introduction

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 »

I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

6

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**



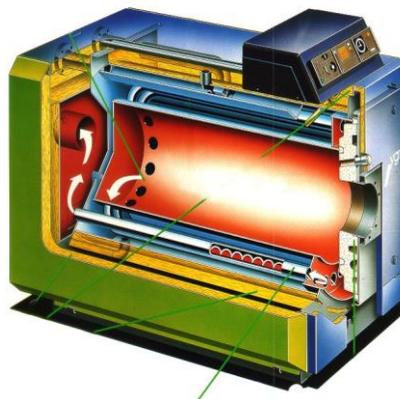
Chaudières : sommaire

- **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.



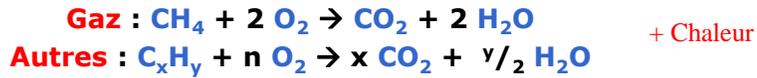
Par la combustion,

- 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

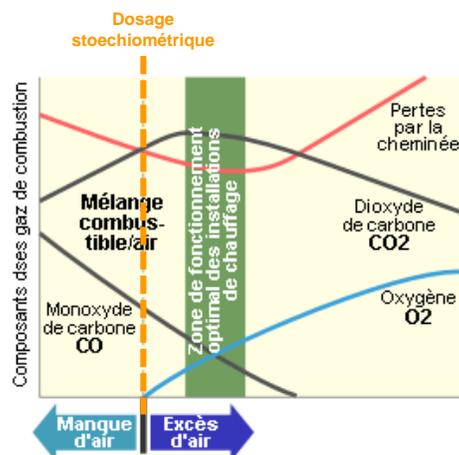


- La combustion du mazout produit plus de CO_2 que celle du gaz
- En cas de mauvaise combustion : L'azote (N) contenu dans l'air se combine avec l'oxygène $\rightarrow \text{NO}_x$
- Les traces de soufre contenues dans le combustible (mazout et charbon) forment SO_x (\rightarrow pluies/condensats acides)



La combustion

- Quels paramètres pour une bonne combustion ?
L'excès d'air !



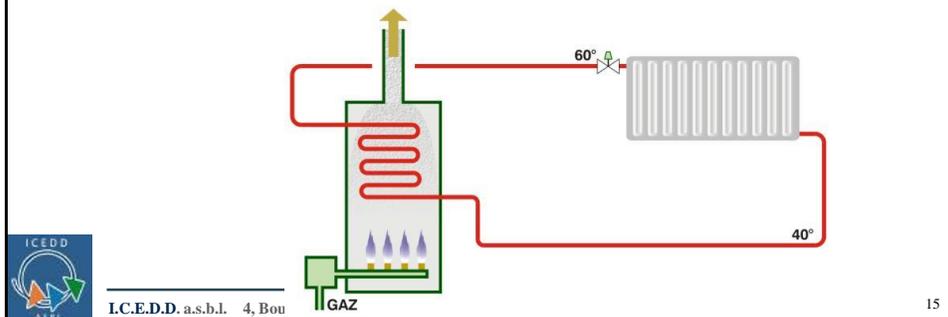
La combustion

- 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

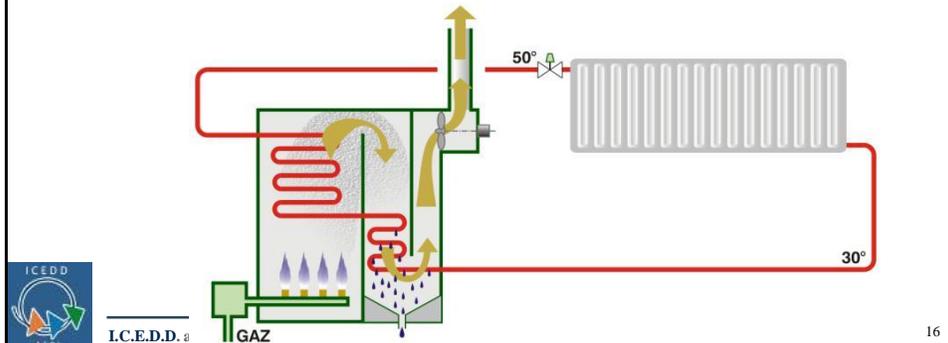
- Quid de la vapeur d'eau ?

Aujourd'hui :

La chaudière recherche la condensation :

Les vapeurs condensent volontairement

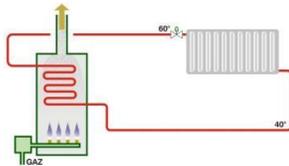
- les fumées sortent plus froides
- le rendement est plus élevé !



Pouvoir calorifique d'un combustible

- Quid de la vapeur d'eau ?

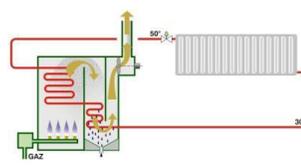
Avant :



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
Facteur d'entrainement à charge nominale			

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



Production

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]

ICEDD

I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490 20

Production

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**

ICEDD

I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490 21

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



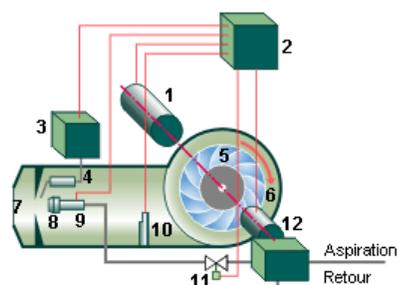
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Faibles pertes à l'arrêt • Rendement de combustion élevé si le brûleur est bien réglé ... 94-95% • Rendements améliorés si brûleur à 2 allures ou modulant → Les + performantes parmi les chaudières « traditionnelles » 	<ul style="list-style-type: none"> • Plus difficile à régler • Bruit • Coûts d'installation

2

Brûleur pulsé mazout



Brûleur mazout à air pulsé :

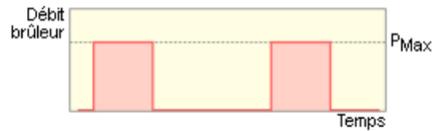


1. **moteur**,
2. boîte de contrôle,
3. transformateur,
4. électrodes,
5. **ventilateur**,
6. volute,
7. déflecteur,
8. **gicleur**,
9. réchauffeur,
10. cellule photosensible,
11. électrovanne,
12. **pompe** et régulateur de pression

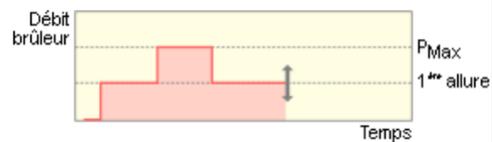
Modes de fonctionnement des brûleurs pulsés

3 modes de fonctionnement :

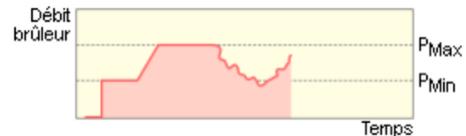
- Brûleur 1 allure (tout ou rien)



- Brûleur 2 allures (petite et grande flamme)



- Brûleur modulant (flamme variable)



I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000

Brûleur pulsé

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

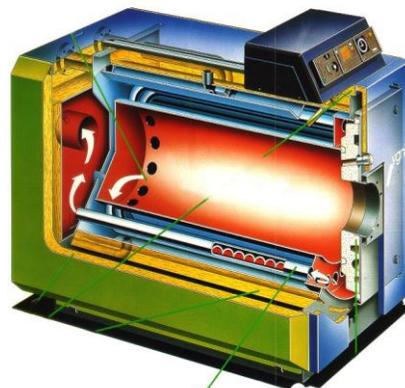
Si on a une petite flamme dans un grand échangeur, les fumées seront plus froides en sortie de chaudière

→ **Meilleur rendement !**

Enjeu énergétique

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

~ 2 à 3 % de consommation en moins !



I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

25

Conclusions

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 x 21 000 = 420 € / an... en tournant 1 bouton (il faut tourner le bon !)


 I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490 26

Conclusions

Brûleurs à 2 allures

- Comment les allures sont-elles commandées ?

Via des aquastats

➔ *Comment régler correctement ces aquastats?*


 I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490 27

Améliorer une chaufferie existante

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



> Broche verte non câblée...

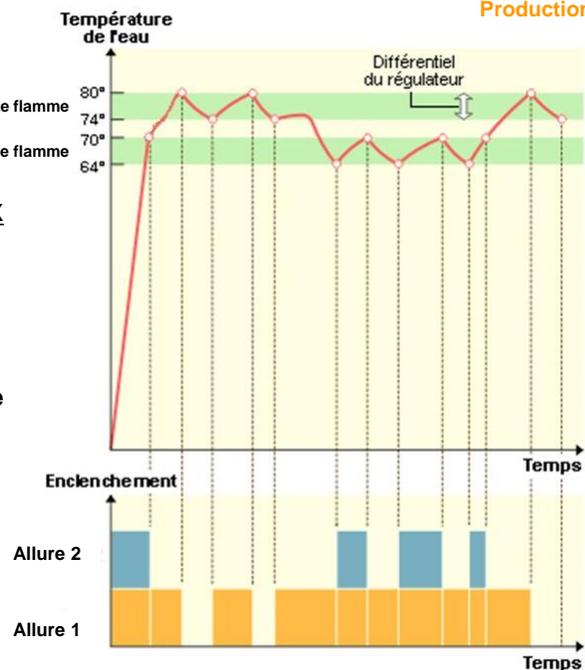


I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur

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)

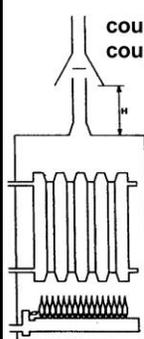


Chaudières : sommaire

- **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



chaudière au gaz naturel

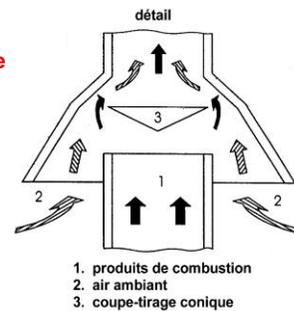
coupe-tirage/registre
coupe-feu



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

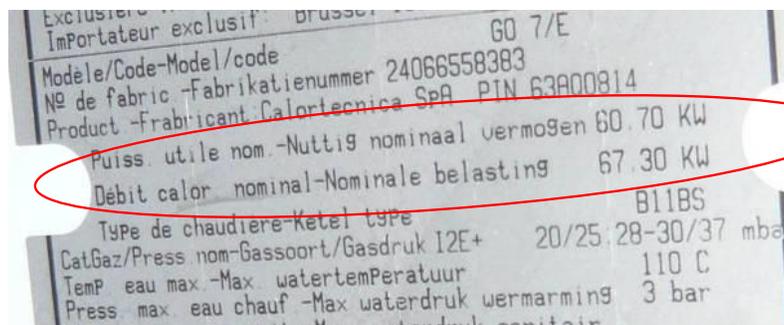
- Caractéristiques (suite) :
 - **Pas de réglage possible de la combustion** (réglage d'usine). **Pas de mesure de combustion** possible.
 - **Rendement de combustion parfois médiocre** (excès d'air non maîtrisé)
 - **Pertes à l'arrêt plus importantes** (foyer ouvert en permanence)
 - **Production d'NO_x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

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



Chaudières gaz atmosphériques

- Détermination du rendement de combustion



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

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



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

Production

- **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**


 I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

37

Production

Chaudières étanches

Circuit de combustion ouvert

Circuit de combustion étanche

« Chaudière à ventouse »

ICEDD

I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

Production

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

ICEDD

I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

39

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**

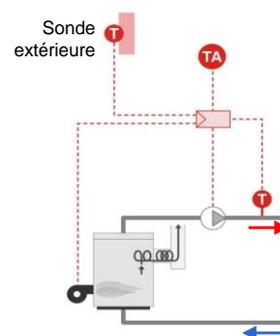


Chaudières (très) basse T° (mazout ou gaz)

- **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



Production

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)

ICEDD
 I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490 42

Production

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 !

ICEDD
 I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490 43

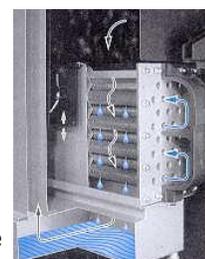
Chaudières : sommaire

- **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**



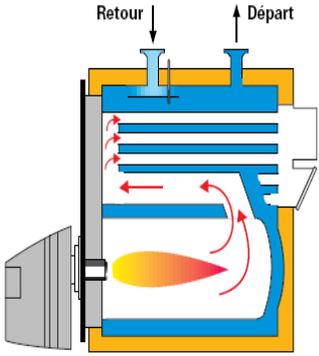
Chaudières à condensation

- Principe :
 - refroidir les fumées jusqu'à récupérer la chaleur de vaporisation de l'eau contenue dans les fumées
- Intérêts :
 - Rendement de combustion excellent
 - Encore diminuer les pertes à l'arrêt
 - **Rendement saisonnier de production : 97 ... 105%**
- Gain énergétique potentiel sur la consommation annuelle :
 - de 8%** par rapport à une bonne chaudière à brûleur pulsé
 - ... à 20%** par rapport à une mauvaise chaudière atmosphérique



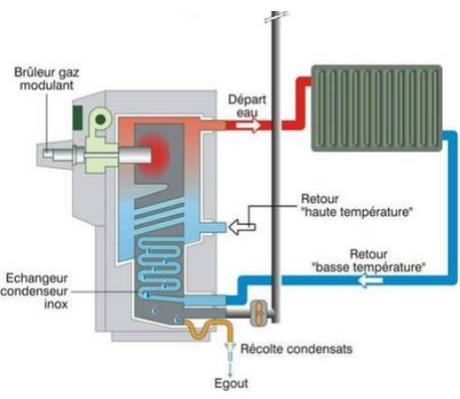
Production

Chaudière Basse T° vs À condensation



Chaudière (très) basse température

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



Chaudière à condensation

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


 I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

46

Production

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**


 I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

47

Production

Cascade entre chaudières

- Principe :**

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

■ : fonctionnement de la chaudière 1
■ : fonctionnement de la chaudière 2
■ : fonctionnement de la chaudière 3


 I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban

Production

Chaudières : sommaire

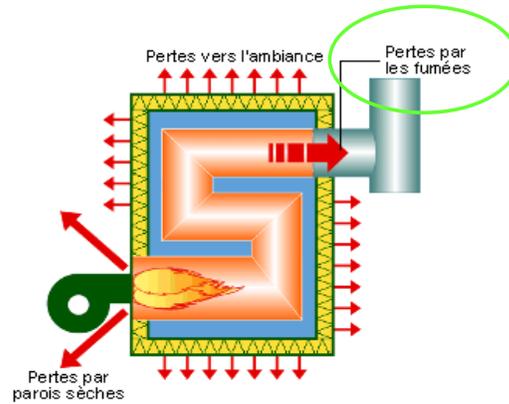
- Notions théoriques**
- Technologies existantes**
- Pertes de chaleur dans une chaudière**
 - Pertes en fonctionnement
 - Pertes à l'arrêt
- Rendements des chaudières**
- Labels & normes**


 I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

49

Pertes dans une chaudière

Quand le brûleur fonctionne :

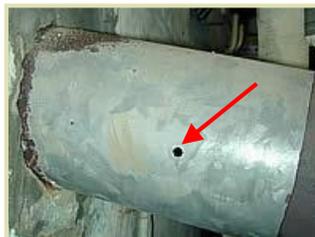


Evaluer les paramètres de combustion

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



Attestation de contrôle périodique

ATTESTATION DE CONTRÔLE/ENTRETIEN D'UN GÉNÉRATEUR DE CHALEUR - COMBUSTIBLE GAZEUX/LIQUIDE
BRÛLEUR UNE ALLURE/DEUX ALLURES - RÉGION BRUXELLES/WALLONIE

Date de contrôle: _____

INFORMATIONS DE LA PLACARDE: Marque: _____, Mod: _____, N° de série: _____, N° de contrôle: _____

PERSONNE RESPONSABLE DE L'INSTALLATION: Nom: _____, Adresse: _____, Téléphone: _____

TYPE DE TARIF: Tarif unique, Tarif progressif, Tarif à la consommation

CONTRÔLE: Contrôle de sécurité, Contrôle de performance, Contrôle de maintenance

REMARQUES: _____

Vérifier la complétude et les valeurs indiquées sur les attestations d'entretien !

- Date
- Débit du gicleur [gal/h]
- Pression de la pompe [bar]
- Dépression cheminée [Pa]
- Emission de suie mesurée [Bacharach]
- Teneur en CO₂ [%]
- T° cheminée et ambiante [°C]
- Rendement de combustion [%]



3. MESURES (3)							Conformité		
	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 :**

$$\text{Rendement de combustion} = 100 - f \times (\text{T}_{\text{fumée}} - \text{T}_{\text{ambiante}}) / \% \text{CO}_2$$

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% : $350000 \times (1 - 90/91) = 3850$ kWh
économisés soit $3850 \times 0,06 = 230$ €/an*

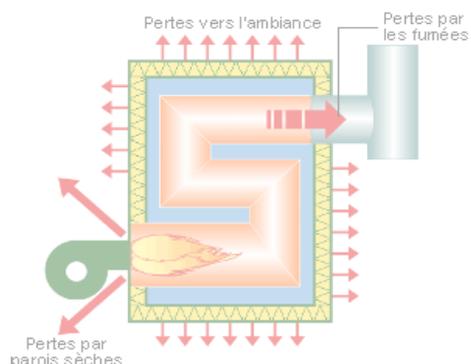
> Si on ne peut améliorer le rendement au-delà de 90 % (limite généralement acceptable), il faut envisager le remplacement du brûleur ou de l'ensemble chaudière-brûleur



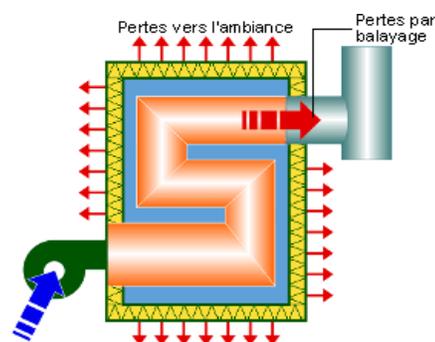
Production

Pertes dans une chaudière

Quand le brûleur fonctionne :



Quand le brûleur est à l'arrêt :



Production

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)



I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

59

Production

Agir sur les pertes par balayage → clapet d'air du brûleur

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






I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

60

Agir sur les pertes par balayage

→ clapet d'air du brûleur

Production

> 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 $21\,750 \text{ kWh} \times 0,06 \text{ €/kWh} = 1305 \text{ €/an}$



I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

61

Agir sur le temps de fonctionnement

→ Bon dimensionnement

Production

- **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
 - } $\Delta T = 10^\circ\text{C}$
 - T° int. de dimensionnement ~ 20°C
 - T° ext. de dimensionnement ~ -10°C
 - } $\Delta T = 30^\circ\text{C}$

Temps de fonctionnement du brûleur [h] =
 Consommation [kWh/an] / Puissance brûleur [kW]



I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

62

Agir sur le temps de fonctionnement

Production

→ Bon dimensionnement

- Comment repérer un surdimensionnement de la chaudière ?
 - Temps de fonctionnement du brûleur < 4 min
 - Temps de fonctionnement annuel < ~ 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



I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

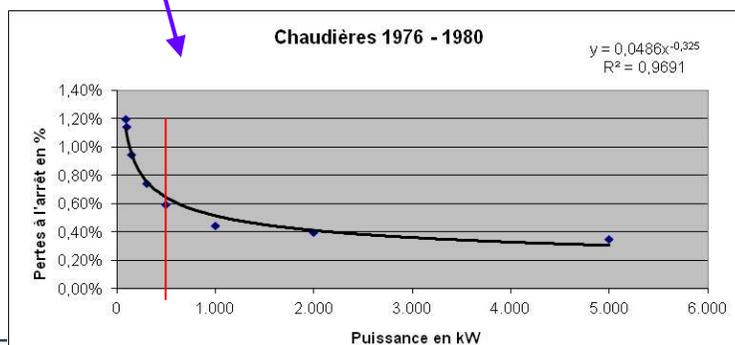
63

Pertes à l'arrêt

Production

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

Pertes à l'arrêt = α_e . Puissance chaudière . Temps d'arrêt



I.C.

64

Pertes à l'arrêt

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

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

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

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

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



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+)



Production

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*

ICEDD

I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490 69

Production

Chaudières : sommaire

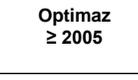
- **Notions théoriques**
- **Technologies existantes**
- **Pertes de chaleur dans une chaudière**
- **Rendements des chaudières**
- **Labels & Normes**
 - Les labels & Ecodesign
 - La PEB « systèmes »
 - Apports d'air dans le local de chauffe

ICEDD

I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490 70

Production

Les labels

	Gaz	Mazout
Chaudières non à condensation	 BGV-HR  HR+ ≥ 1998	 Rationeel energiegebruik / Utilisation rationnelle de l'énergie OPTIMAZ Ensemble chaudière et brûleur à mazout - Rendement élevé. Stookketel met brander - Hoog rendement.  Optimaz < 2005  Optimaz ≥ 2005
Chaudières à condensation	 HR TOP ≥ 1998	 Optimaz Elite < 2005  Optimaz Elite ≥ 2005  Optimaz Elite ≥ 2005

ICEDD

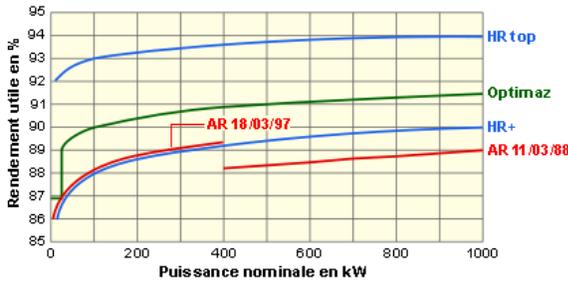
I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

71

Production

Les labels

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



Puissance nominale (kW)	HR top (%)	Optimaz (%)	HR+ (%)	AR 11/03/88 (%)
0	92.5	88.5	87.5	86.5
200	93.5	90.5	88.5	87.5
400	94.0	91.5	89.0	88.0
600	94.2	92.0	89.5	88.5
800	94.3	92.2	89.7	88.7
1000	94.4	92.3	89.8	88.8

- Label HR+ pas plus strict que les exigences réglementaires
- Label HR Top n'impose pas que la chaudière condense réellement
 - Le rendement doit être de 95% à puissance nominale (température moyenne de l'eau à 70°C) et de 107% en charge partielle (30% de Pn et une température de retour de 30°C), lorsque la condensation à lieu
- 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

ICEDD

I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

72

Production

Ecodesign & Energy labelling

En application depuis le 26/9/2015.

But : réduire l'impact environnemental des produits

- Applicable pour les générateurs de chaleur ≤ 400 kW
- Rendement de production saisonnier ($\eta_{s,PCS}$)

A+++	A++	A+	A	B	G
$150 \leq r$	$125 \leq r < 150$	$98 \leq r < 125$	$90 \leq r < 98$	$82 \leq r < 90$	$r < 30$

ICEDD

I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

73

Production

Ecodesign & Energy labelling

- Interdiction de mise sur le marché et de mise en service d'installation dont le rendement ($\eta_{s,PCS}$) est inférieur à 86 %.
- Chaudières et chaudières combinées **jusqu'à 70 kW** : $\eta \geq 86\%$
 - Exception : chaudières de Type B1 (chaudières ≤ 10 kW et chaudières combinées ≤ 30 kW; $\eta \geq 75\%$)
- Chaudières et chaudières combinées de **> 70 kW et ≤ 400 kW** :
 - $\eta \geq 86\%$ (avec débit thermique nominal de 100%)
 - $\eta \geq 94\%$ (avec débit thermique nominal de 30%)
- Renforcement prévu le 26/9/2018 (?)

ICEDD

I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

74

Ecodesign & Energy labelling

Production

Energy labelling en application depuis le 26/9/2015

Dispositifs de chauffage des locaux par chaudière

I. le nom ou la marque commerciale du fournisseur;
 II. la référence du modèle donnée par le fournisseur;
 III. la fonction de chauffage des locaux;
 IV. la classe d'efficacité énergétique saisonnière pour le chauffage des locaux;
 V. la puissance thermique nominale en kW, arrondie à l'entier le plus proche.
 VI. le niveau acoustique à l'intérieur, exprimé en dB, arrondi à l'entier le plus proche.

I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

Ecodesign & Energy labelling

Production

Classe d'efficacité	Efficacité énergétique saisonnière pour le chauffage des locaux en %	Label produit – Chaudière à combustible fossile			
		Dispositifs de chauffage des locaux et mixtes à combustible			
A+++	$\eta_s \geq 150$				
A++	$125 \leq \eta_s < 150$				
A+	$98 \leq \eta_s < 125$				
A	$90 \leq \eta_s < 98$			94% 30%*	Fioul best condens, Gaz best condens
B	$82 \leq \eta_s < 90$		86%	100%*	Fioul condens, Gaz condens
C	$75 \leq \eta_s < 82$	75%			Fioul BT, Gaz BT
D	$36 \leq \eta_s < 75$	Exigences applicables au 26/09/2015			Fioul St, Gaz St
E	$34 \leq \eta_s < 36$				
F	$30 \leq \eta_s < 34$				
G	$\eta_s < 30$				
	Puissance nom. [kW]	B1 combi ≤ 30 kW B1 heater ≤ 10 kW	0 and ≤ 70 kW	> 70 and ≤ 400 kW	Source : Cedicol

PEB « systèmes »

• PEB « systèmes » en vigueur depuis le 1/5/2016

- Annexe C4
- Exigences applicables pour
 - Chauffage
 - Eau chaude sanitaire
 - Climatisation
 - Ventilation
- Pour systèmes installés, remplacés ou modernisés (principalement pour les bâtiments existants)
- Exigences peu sévères : le but est d'amener à un minimum d'attention/réflexion et de bon sens

Travaux soumis à permis ou non		Performance	Calorifugeage	Comptage énergétique
Bâtiments existants	Installation Modernisation Remplacement	Chaudières gaz Chaudières mazout Pompes à chaleur Chauffage électrique direct ECS électrique Machines à eau glacée Récupérateur de chaleur	Conduites d'eau chaude Conduites d'eau glacée Conduits d'air	Comptage par installation Comptage entre bâtiments Comptage entre unités PEB
	Installation	-	-	Uniquement ⁽¹⁾ : Comptage entre bâtiments Comptage entre unités PEB

(1) Il s'agit des points 1.6.2.3, 1.6.2.4, 2.3.2.2 et 2.3.2.3 de l'annexe C4 (PDF-1013 ko).



PEB « systèmes »

Travaux soumis à permis ou non		Performance	Calorifugeage	Comptage énergétique
Bâtiments existants	Installation Modernisation Remplacement	- Chaudières gaz - Chaudières mazout - Pompes à chaleur - Chauffage électrique direct - ECS électrique - Machines à eau glacée - Récupérateur de chaleur	Voir « isolation des conduites » - Conduites d'eau chaude - Conduites d'eau glacée - Conduits d'air	- Comptage par installation - Comptage entre bâtiments - Comptage entre unités PEB
	Installation	-	-	Uniquement ⁽¹⁾ : - Comptage entre bâtiments - Comptage entre unités PEB

1) Il s'agit des points 1.6.2.3, 1.6.2.4, 2.3.2.2 et 2.3.2.3 de l'annexe C4 (PDF-1013 ko).

PEB « systèmes »

Exigences chauffage

- **Dans quels cas celles-ci s'appliquent-elles ?**

- Remplacement de la chaudière
- Remplacement du brûleur

- **Quels sont les critères de performance ?**

Chaudières mazout et gaz : critère basé sur le $\eta_{30\%}$ (PCS)

$$\eta_{inst} = f_{NCV/GCV} \cdot \eta_{30\%} - f_{loc} - f_{reg,burn} - f_{insul,heat} - f_{reg} - f_{hyd} \geq 0,84$$

$f_{NCV/GCV}$: PCI/PCS

f_{loc} : chaudière dans le volume protégé ?

f_{reg} : 2 facteurs tenant compte de la régulation

f_{insul} : conduites d'eau isolées ?



PEB « systèmes »

Exigences chauffage : **comptage**

- Chaudières gaz et mazout :
 - Compteur de combustible au-delà de 100 kW
 - Compteur de chaleur au-delà de 400 kW
- Entre plusieurs bâtiments :
 - Compteurs de chaleur à l'entrée de chaque bâtiment
- Entre plusieurs unités PEB :
 - Compteur de chaleur pour chaque unité ou Répartiteurs sur tous les haque radiateurs
 - Débitmètres ou Compteurs de chaleur pour l'ECS

NB : il faut encore un AM qui précise certains détails



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 $P > 70$ 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 : $500 / 17,5 \approx 28$ dm²
soit une ouverture de 40cm sur une largeur de 70 cm.



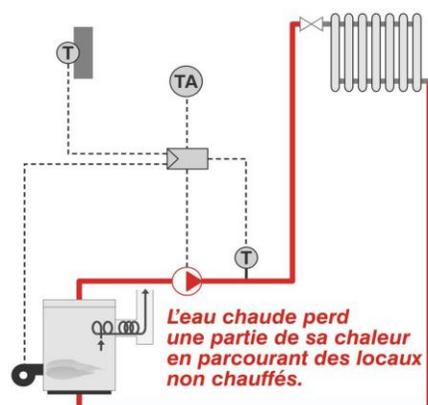
Plan de l'exposé

- 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

Distribution



Isolation des conduites ?



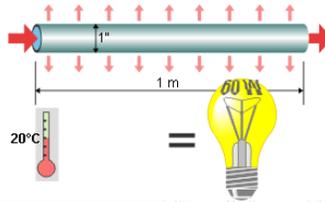
Isolation des conduites ?



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



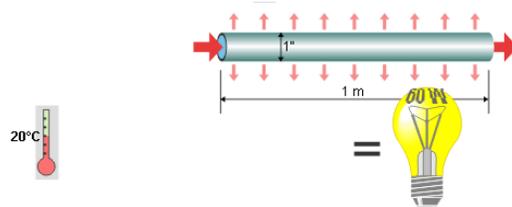
Perte de chaleur d'un tuyau en acier non isolé en [W/m]										
DN [mm]	10	15	20	25	32	40	50	62	80	100
Diam [pouce]	3/8"	1/2"	3/4"	1"	5/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"
T _{eau} - T _{air} :										
20°C	11	13	17	21	26	30	38	47	55	71
40°C	22	29	36	45	57	65	81	101	118	152
60°C	36	46	58	73	92	105	130	164	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 x 60 W = 6 kW

Soit sur la saison de chauffe : 5800 h x 6 kW = 34 800 kWh ou 34 800 x 0,06 = 2088 € !!



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 x 60 W = 2,4 kW

= puissance d'un radiateur, allumé en permanence!



Perte des vannes



Perte des vannes > pertes des tuyaux :
1 vanne \approx 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



I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

93

Isolation des conduites

Exigences de calorifugeage des conduite dans la réglementation PEB
« systèmes »



$\lambda = 0,039$

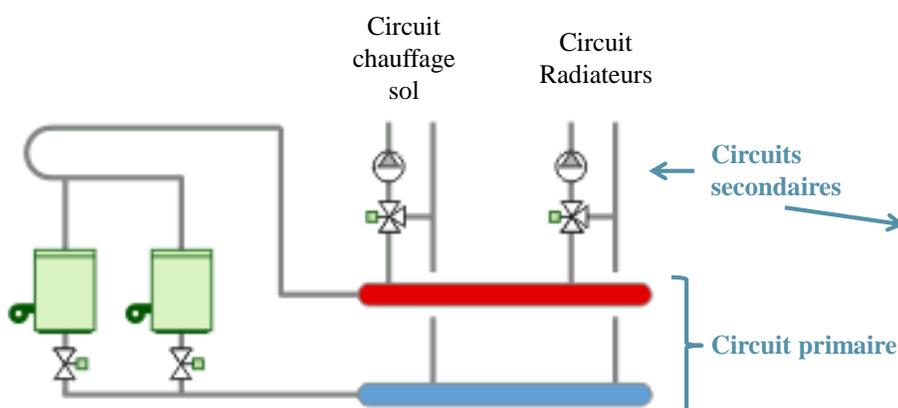
Diamètre extérieur de la conduite en mm	Epaisseur de l'isolant après pose en mm			
	Extérieur du VP		Intérieur du VP (*)	
	$\lambda < 0,035$	$0,045 \leq \lambda \leq 0,035$	$\lambda < 0,035$	$0,045 \leq \lambda \leq 0,035$
de 20 à 24,9	13	23	11	19
de 25 à 29,9	17	29	13	22
de 30 à 39,9	22	35	16	26
de 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

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)



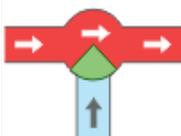
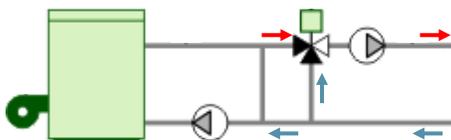
Diminuer la température de l'eau



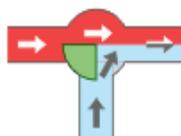
Diminuer la température de l'eau



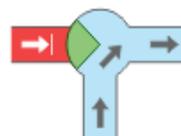
Vanne mélangeuse ou « 3 voies »



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.



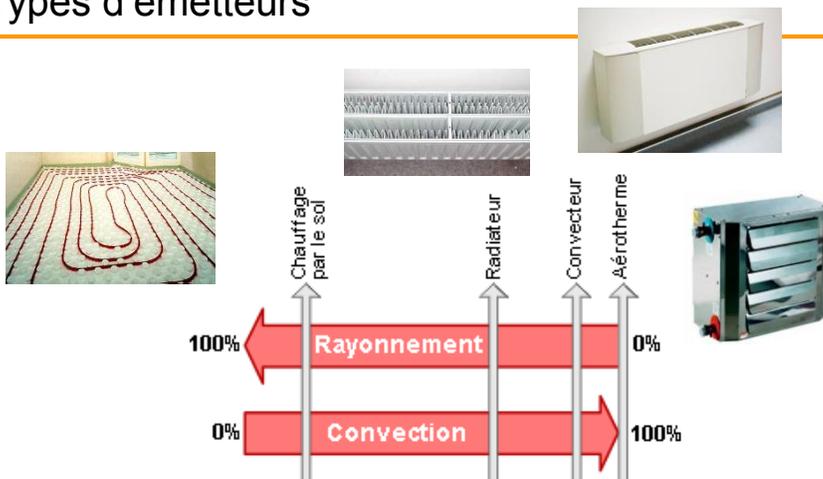
Plan de l'exposé

- 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

Emission

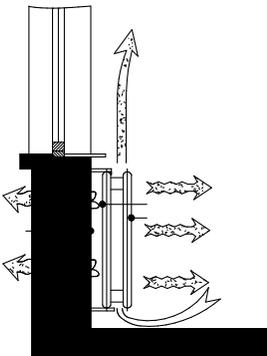


Parts relatives du « rayonnement » et de la « convection » dans le mécanisme de transmission de chaleur pour différents systèmes d'émission

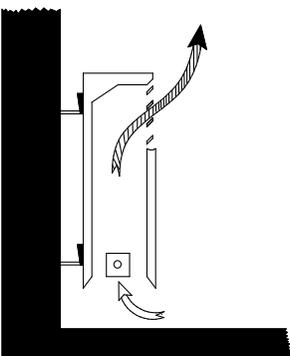


Emission

Radiateur et (ventilo-)convecteur



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



Systèmes convectifs
(100% convection)



I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

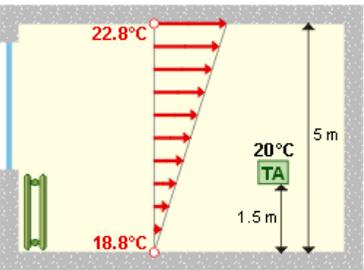
101

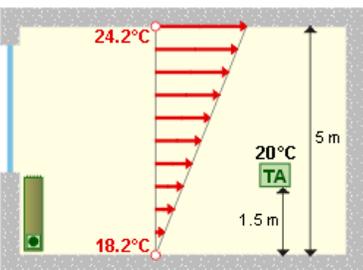
Emission

La stratification

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

- pertes plus importantes
- inconfort



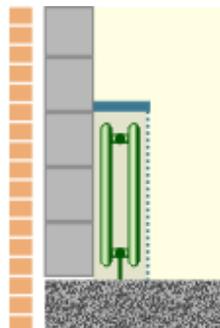




I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

102

Eviter d'entraver l'émission

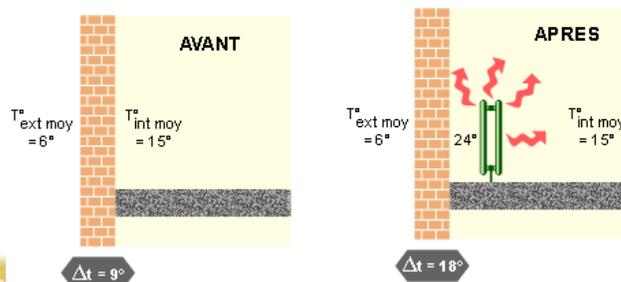


Caisson autour d'un radiateur



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 :

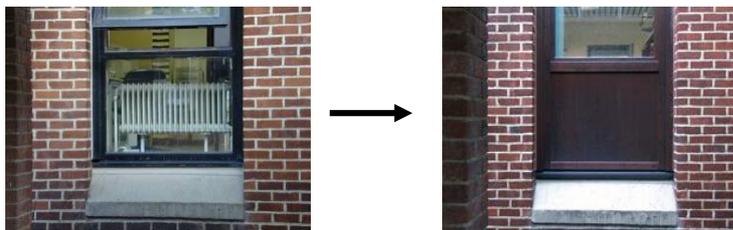
10 .. 15 litres fuel/m².an

Et est remboursé en **1 .. 2 ans.**



Pertes à l'émission

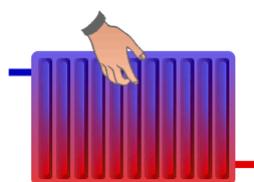
- **Pertes au travers d'allèges vitrées** au dos des radiateurs ou convecteurs
- **A éviter !**



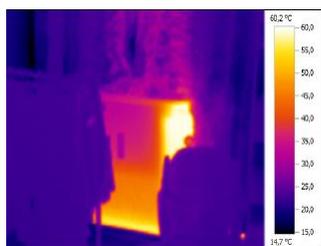
Emetteur devant une fenêtre



Dysfonctionnements

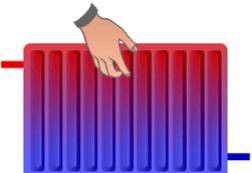


De l'air est présent dans le radiateur
→ le purger



Emission

Dysfonctionnements

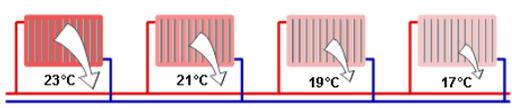


Equilibrage :



Té de réglage du débit d'un radiateur

Déséquilibre hydraulique





Corps de vanne thermostatique avec pré-réglage du débit



I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490



Emission

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





I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

108

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

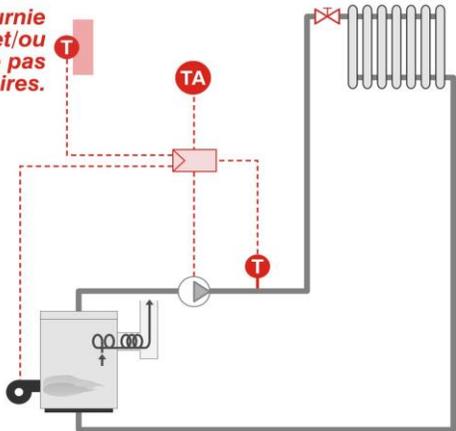
- Introduction
- La production
- La distribution
- L'émission
- **La régulation**
- Les auxiliaires
- Focus sur les installations à condensation
- Remplacer une chaudière / rénover une chaufferie
- Conclusions



Régulation

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

ICEDD
 I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490 111

Régulation

Impact énergétique de la régulation

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



ICEDD
 I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490 112

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

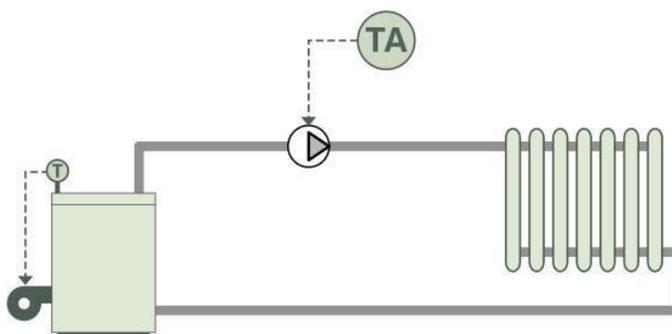
Avec ces 2 actions, on pourra ainsi limiter au mieux les pertes par les conduites et en chaufferie !



Régulation des circuits typiques « unifamilial »

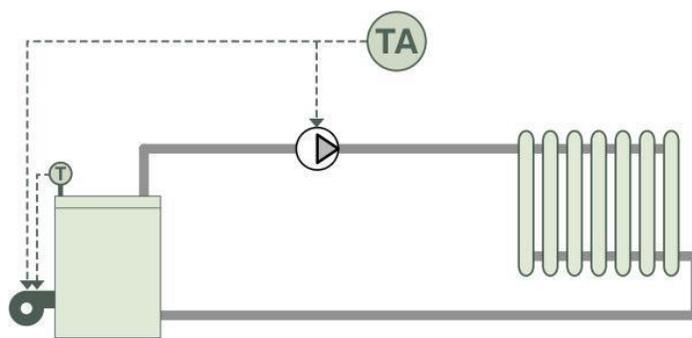
- « T° constante » :

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.



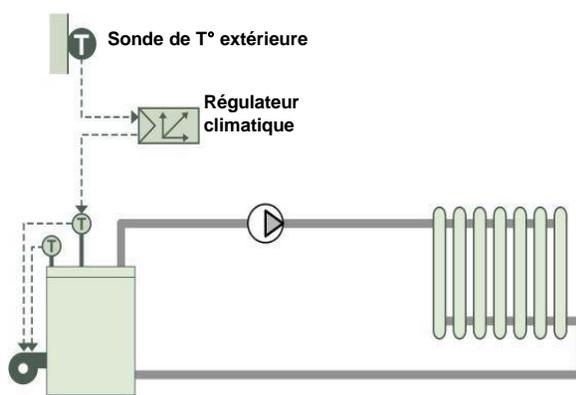
Régulation des circuits typiques « unifamilial »

- « **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 des circuits typiques « unifamilial »

- « **T° glissante** » OU « **Régulation climatique** »
La consigne de T° de la chaudière est commandée par un régulateur climatique qui adapte la T° de l'eau en fonction de la T° extérieure; 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

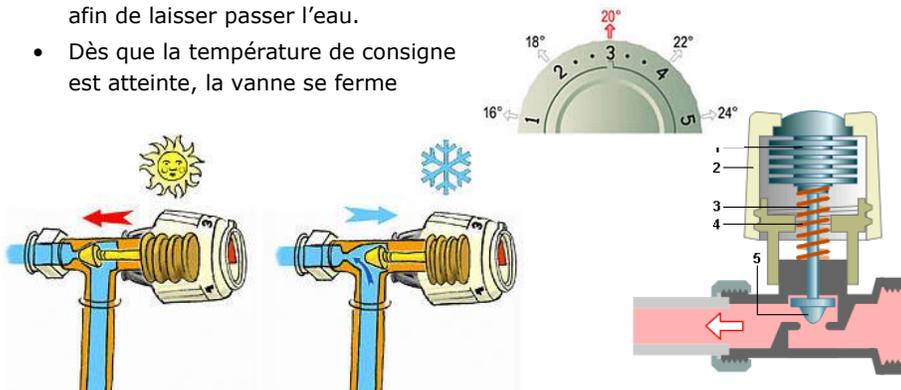


Régulation locale : vannes thermostatiques

• Principe de fonctionnement :

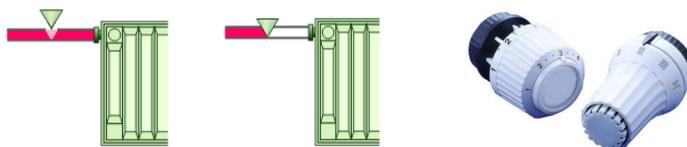
- La vanne est réglée sur une t° de consigne
- Si la température de consigne n'est pas atteinte (mesure de la température ambiante par le bulbe thermostatique), la vanne s'ouvre afin de laisser passer l'eau.
- Dès que la température de consigne est atteinte, la vanne se ferme

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: Stéphane Bechmann

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

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

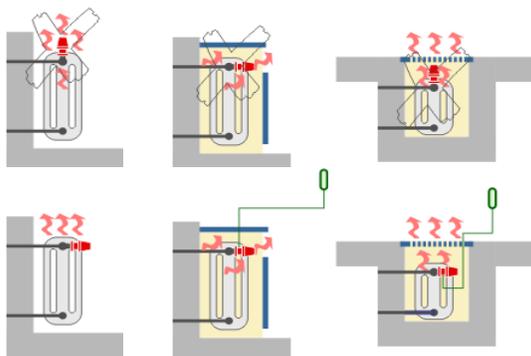
<http://www.energieplus-lesite.be>



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



I.C.E.D

) 490

121

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.



I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

122

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 :



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 :

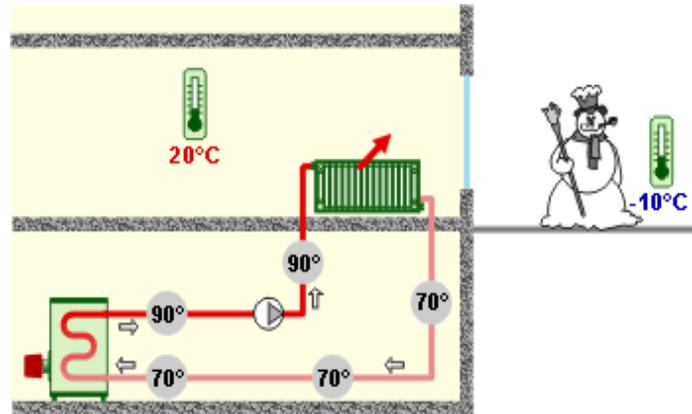
- Dans un local inoccupé, la consigne des vannes thermostatiques a été réglée sur *. A l'arrivée des occupants, le chauffage **ne sera pas** relancé plus rapidement si l'on met la consigne sur 5 que sur 3.
- Dans un local occupé, l'expérience des occupants montre que la bonne température est atteinte avec une consigne de 3. Un jour, la température intérieure est insuffisante. Dans ce cas, cette dernière ne sera par 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

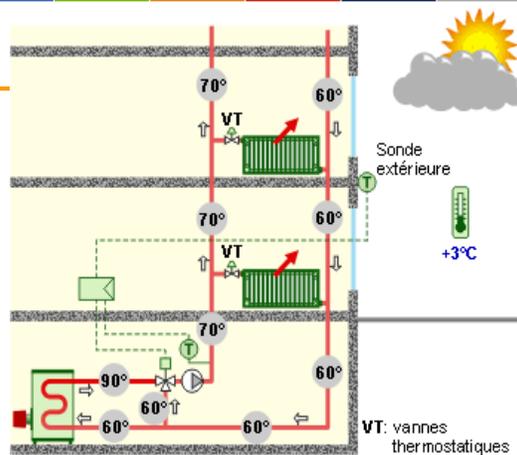


Quid en mi-saison ?

La puissance que le radiateur doit délivrer est moindre

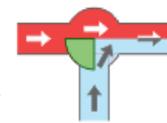
→ diminuer autant que possible la température de l'eau :

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



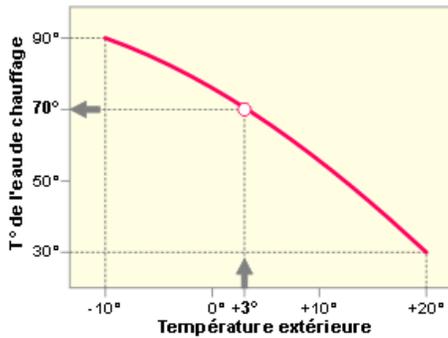
Pour diminuer la température d'eau :

- 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

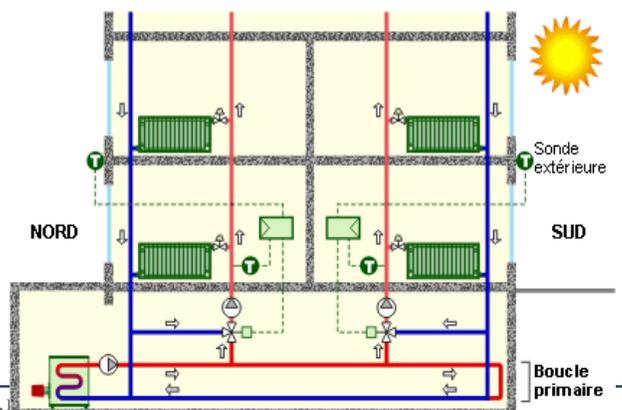
Régulateur climatique : commande la V3V (T° eau) pour délivrer la puissance suffisante dans le local le plus froid



Régulation de bâtiments plus complexes

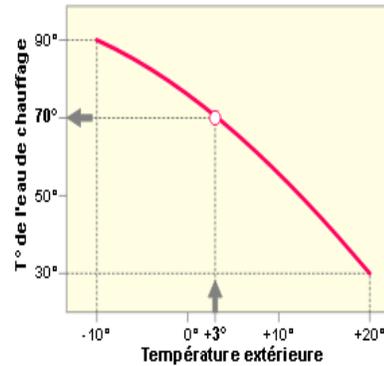
Et s'il y a des locaux avec des besoins, des apports ou des horaires différents ?

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

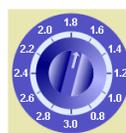
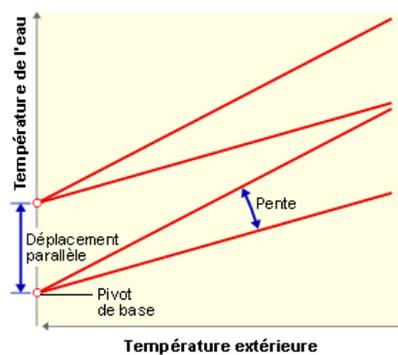
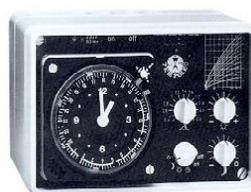


Régulation en T° glissante

- 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

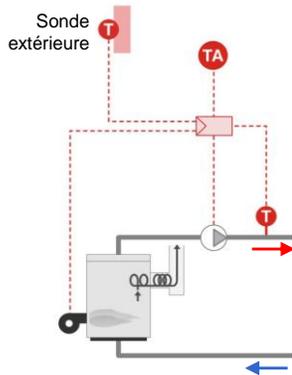


Régulation en T° glissante

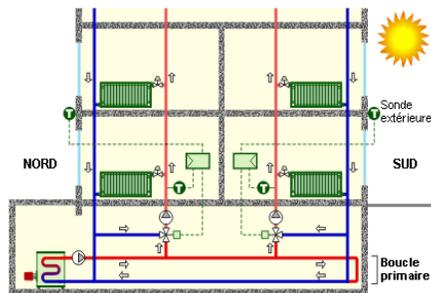


Régulation de la T° du fluide caloporteur

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

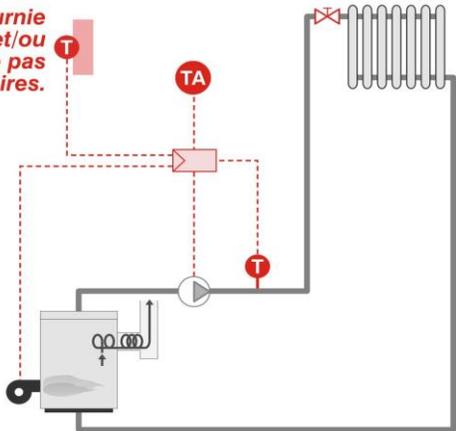
- Le réglage du régulateur climatique :
 - est unique
 - dépend du degré d'isolation du bâtiment et du surdimensionnement des corps de chauffe
 - Le réglage ne doit pas être fait :
 - par le chauffagiste
 - au hasard en fonction des plaintes (les causes d'inconfort peuvent avoir d'autres origines)
-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



Régulation

Régulation

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



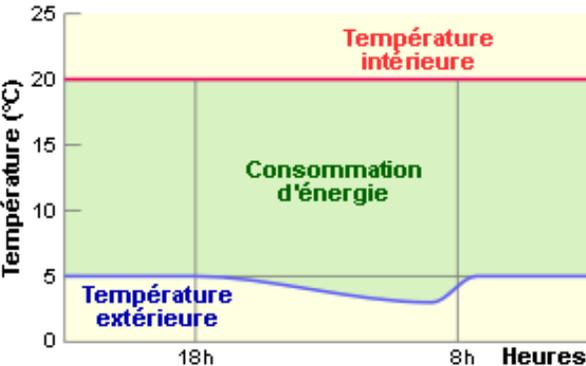
OBJECTIF : piloter l'installation pour avoir la température de confort QUAND c'est nécessaire et OÙ on en a besoin.

→ éviter tout gaspillage d'énergie

ICEDD
I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490 135

Régulation

Intérêt de l'intermittence



Température (°C)

Température intérieure

Consommation d'énergie

Température extérieure

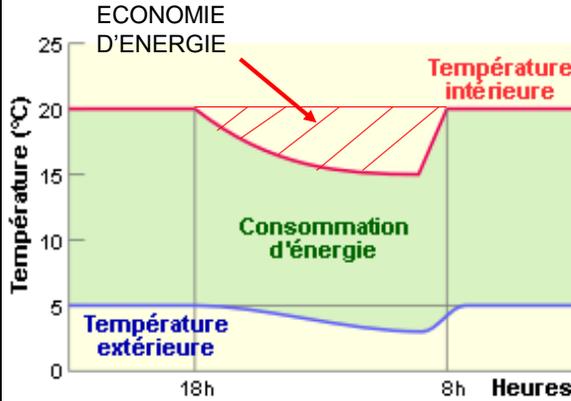
18h 8h Heures

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

→ **Minimiser cette différence de température**

ICEDD
I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490 136

Intérêt de l'intermittence

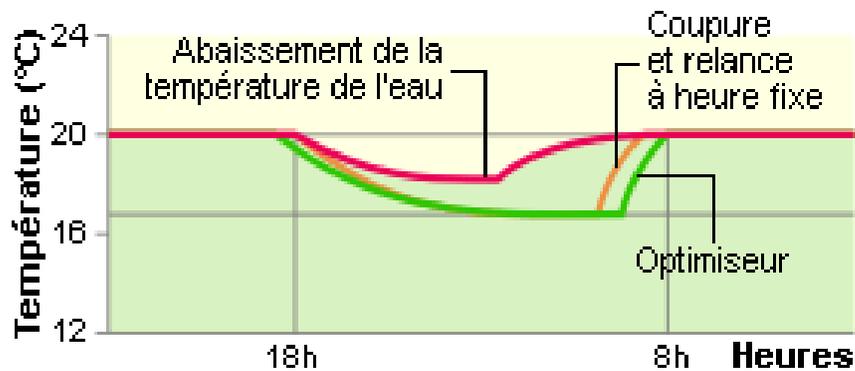


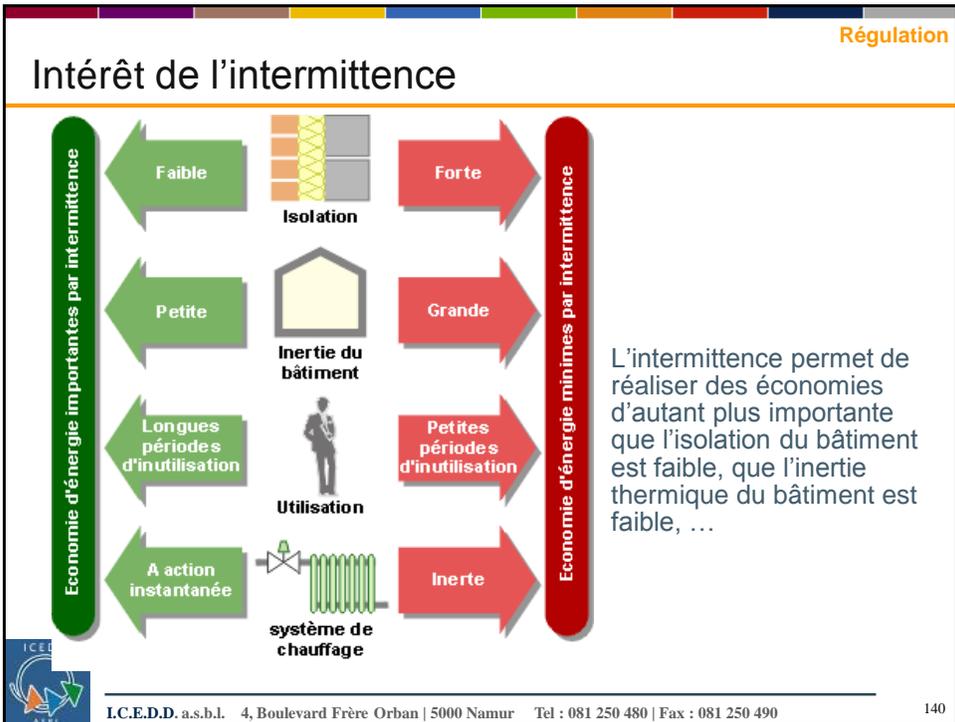
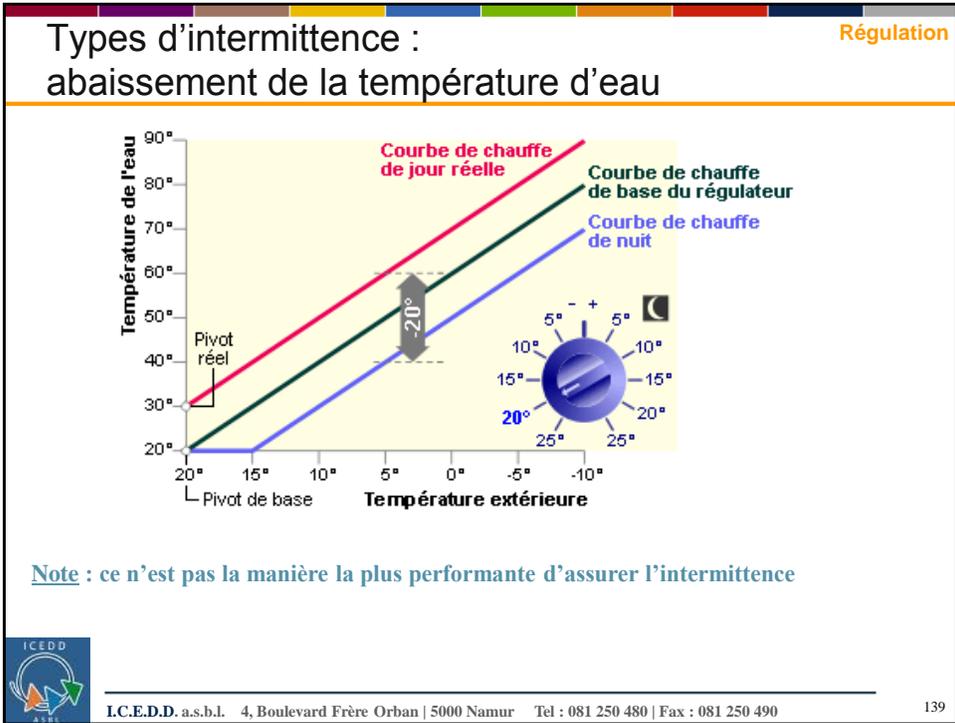
- Couper le chauffage fait chuter la température intérieure d'autant plus vite que le bâtiment est peu inerte (a peu emmagasiné de chaleur) et est mal isolé.

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



Types d'intermittence





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

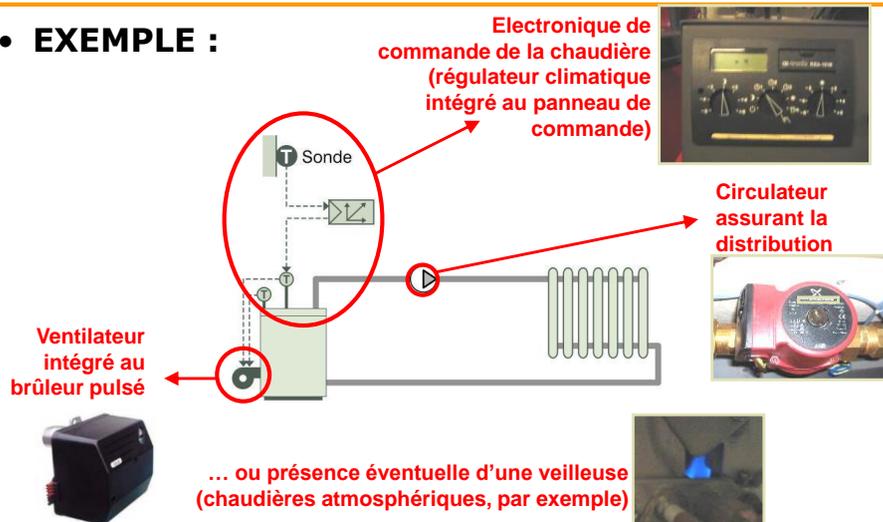
- Introduction
- La production
- La distribution
- L'émission
- La régulation
- **Les auxiliaires**
 - Focus sur les installations à condensation
 - Remplacer une chaudière / rénover une chaufferie
 - Conclusions



Auxiliaires

Auxiliaires

• EXEMPLE :



Auxiliaires

Veilleuse

- La consommation d'une veilleuse équivaut à une ampoule électrique de 100 W allumée en permanence !!!
- **Consommation sur un an ~ 100 m³ de gaz ou ~ 60 €**

→ Eteindre complètement la chaudière en dehors de la période de chauffe (si l'eau chaude sanitaire est produite séparément)

Veilleuse



=



100W



I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

145

Auxiliaires

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.





I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

146

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).

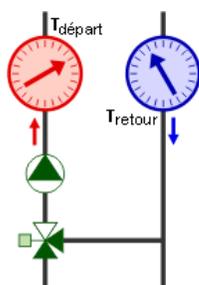
→ Pour les circulateurs à plusieurs vitesses il peut être utile de tenter de **réduire la vitesse**, soit en permanence, soit selon la saison.
En cas d'inconfort, il est aisé de retourner aux réglages initiaux.



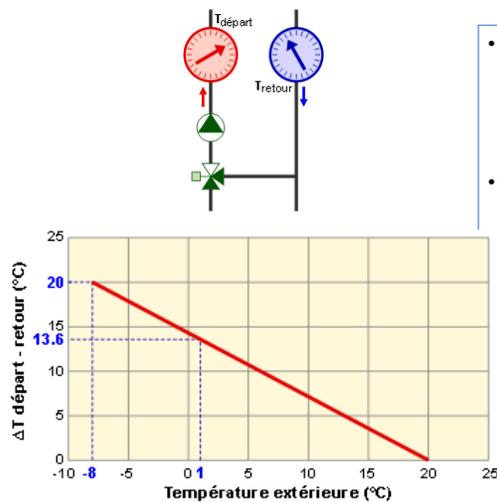
Réduire la vitesse des circulateurs

Indice :

... par -10°C ext...



Réduire la vitesse des circulateurs



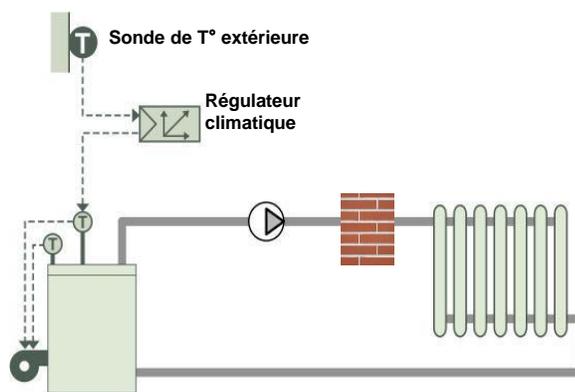
- Réduire d'un cran la vitesse des circulateurs secondaires permet de gagner ...20% ... de leur consommation électrique

- 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 $13 \dots 14^\circ\text{C}$
- Si elle est de $6 \dots 7^\circ\text{C}$, le débit est vraisemblablement 2 x trop élevé.



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

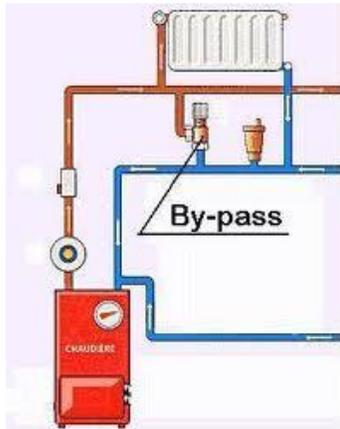


Le circulateur pousse sur un « mur » !

- 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 by-pass! (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

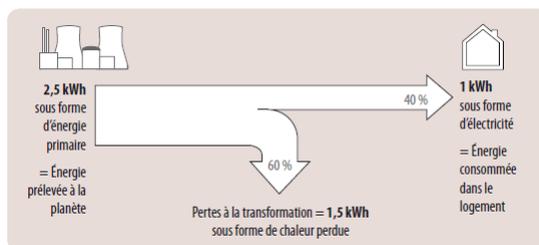
- 40%

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



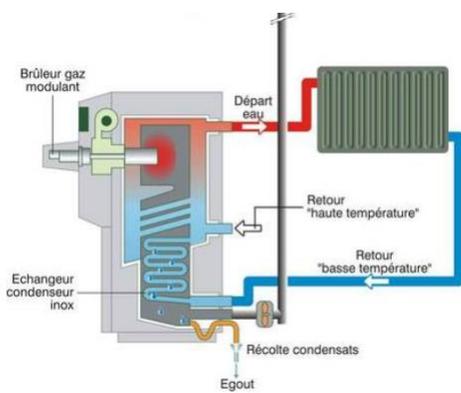
Plan de l'exposé

- 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

Production



Chaudières à condensation

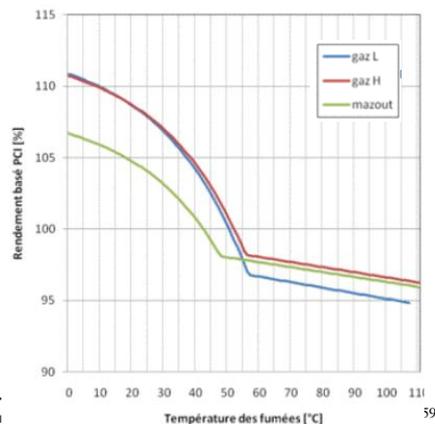
... ne sont pas des boîtes noires qui condensent d'office !!!

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



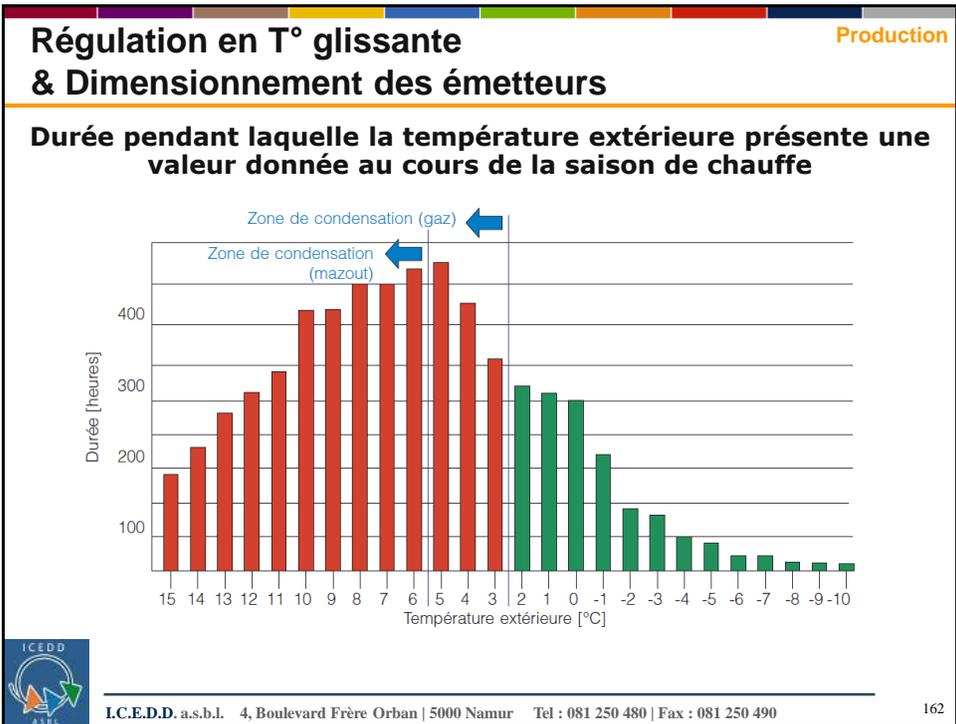
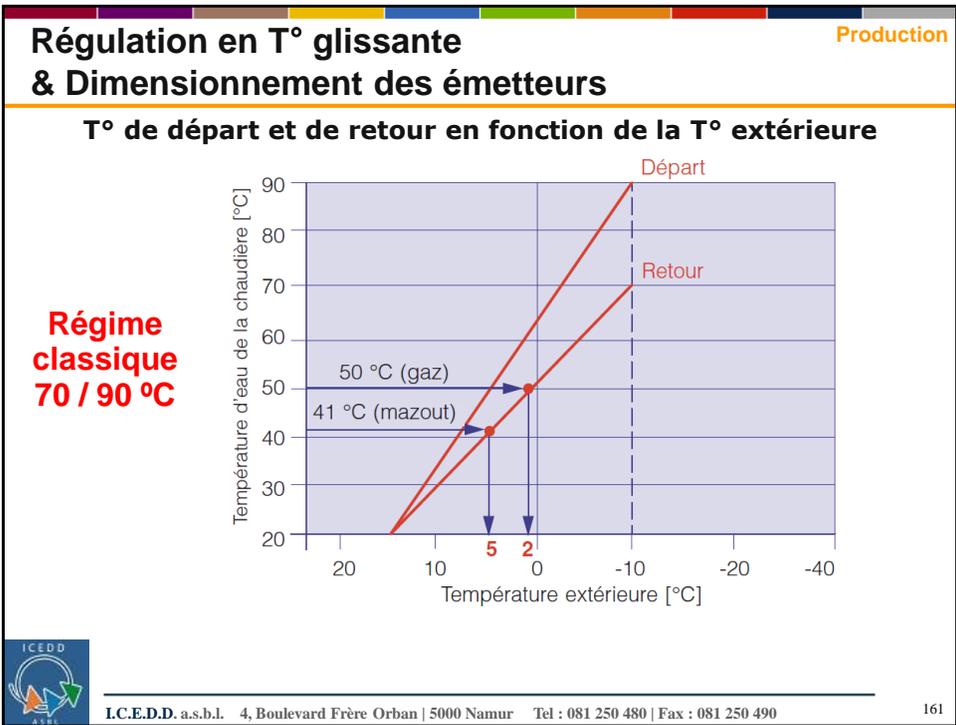
I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur

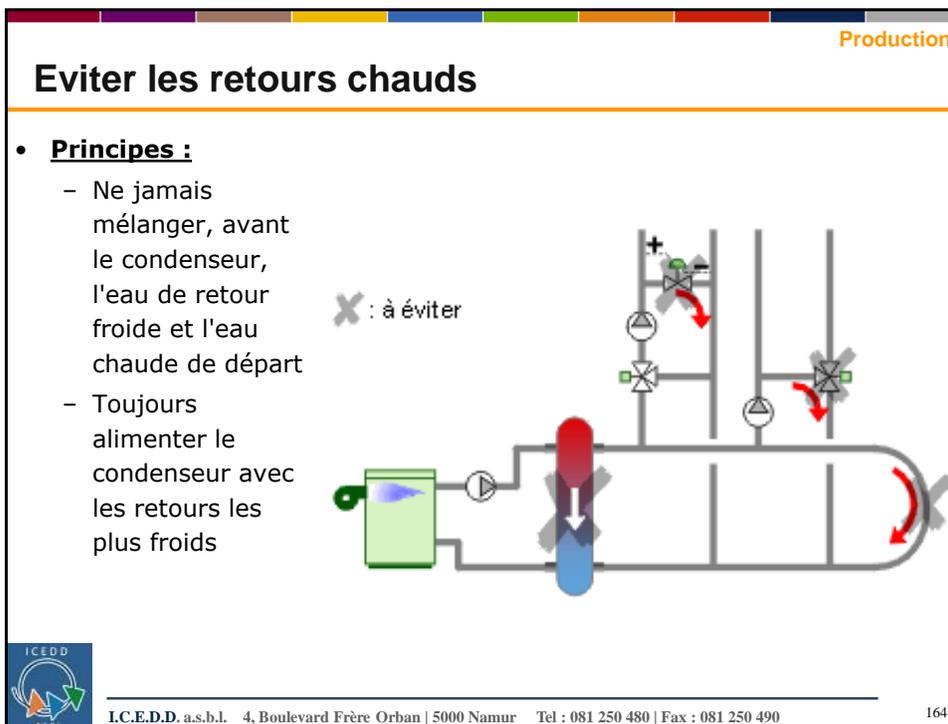
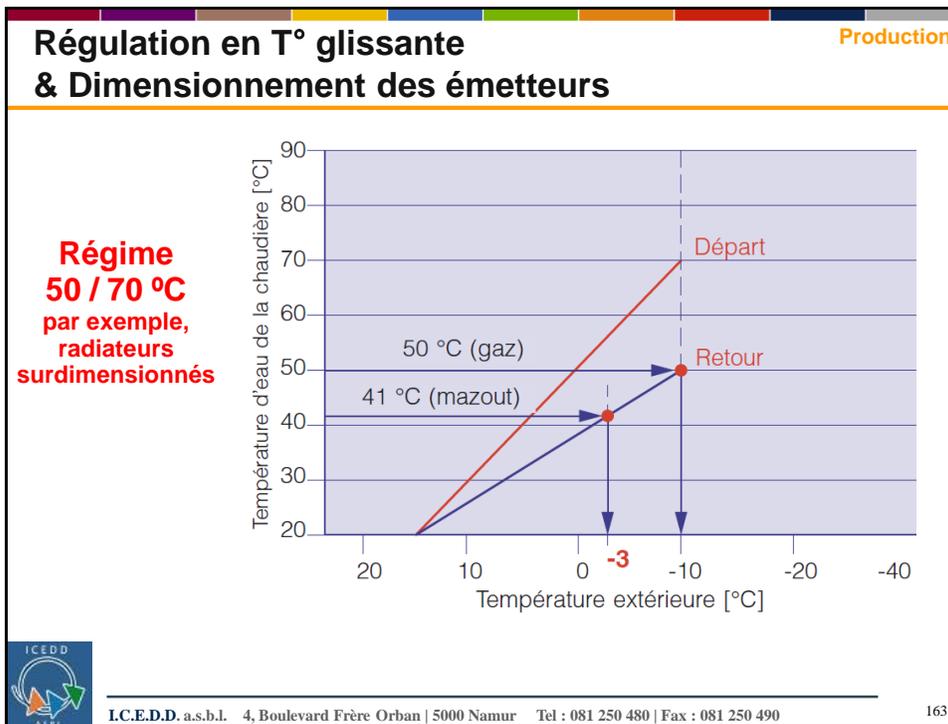
59

Chaudières à condensation

Paramètres influençant la condensation :

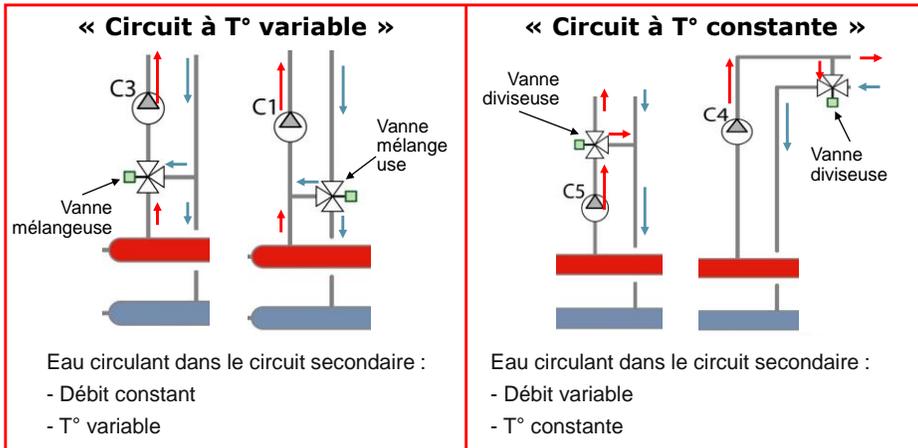
- **Température des fumées** basse implique :
 - **Une T° d'eau au retour la plus faible possible**
 - Émetteurs dimensionnés pour travailler à basse température (si possible)
 - Régulation en T° glissante de la température de départ
 - Hydraulique adaptée : éviter les retours chauds
 - **Un échangeur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





Circuit à T° variable vs Circuit à T° constante

- Le type du circuit dépend des positions de la vanne et du circulateur ...



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

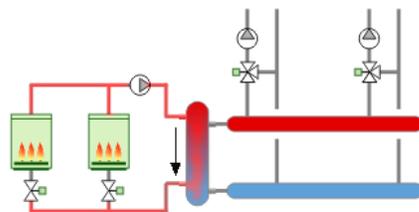
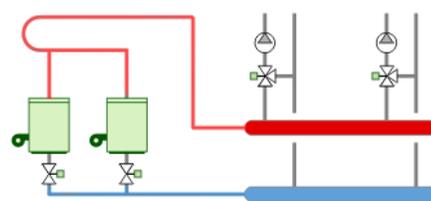


Schéma favorable à la condensation

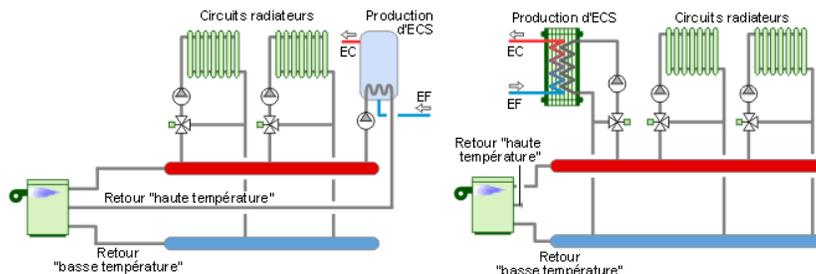


Eviter les retours chauds

• Quid si production d'ECS couplée ?

Si chaudière à condensation :

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



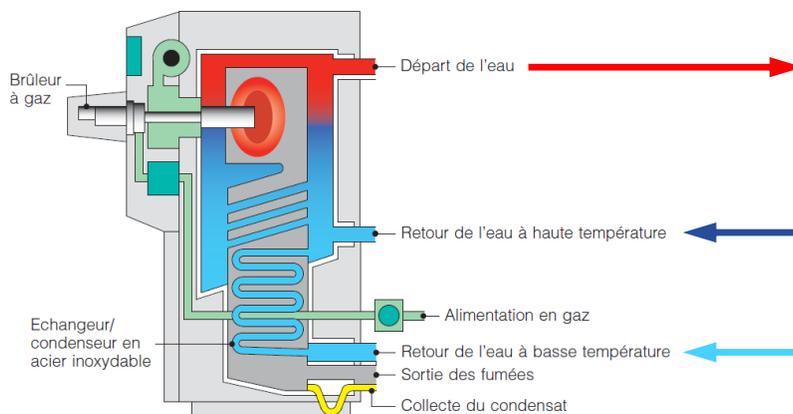
... **soit** dimensionner les échangeur ECS afin d'avoir des retours « froids » (échangeur à plaque)

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

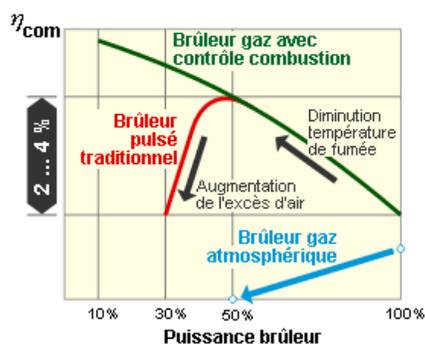
Comment ?

Étager 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 sur un brûleur



- Pour les brûleurs pulsés 2 allures :
 - Si la puissance de la 1^{ère} allure n'est pas trop basse (= ~60%), un gain de ~2 à 2.5% de rendement de combustion en 1^{ère} allure est possible
 - Car, si **puissance diminue** (en restant au-dessus d'une certaine valeur ~50% de la $P_{\text{chaudière}}$ pour des chaudières standards):
 - transfert de chaleur amélioré au sein de la chaudière
 - les **fumées évacuées sont plus froides**
 - les **pertes** par les fumées **diminuent**
 - le **rendement** de combustion **augmente**



Étagement de puissance avec plusieurs chaudières Production

- 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

I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490 171

La condensation au mazout ? Production

Combustible	Pouvoir calorifique supérieur moyen (H_s)	Pouvoir calorifique inférieur moyen (H_i)	Chaleur latente récupérable (Q_{lat}) par condensation complète de la vapeur d'eau			Quantité de vapeur d'eau (M) produite par la combustion de 1 kg ou de 1 m ³ de combustible (*)
			$Q_{lat} = H_s - H_i$	Q_{lat} / H_i		
				[kWh/kWh]	[%]	
Mazout normal ou extra (²)	12,67 kWh/kg (³) 10,63 kWh/l (⁴)	11,88 kWh/kg (³) 9,96 kWh/l (⁴)	0,79 kWh/kg	0,066	6,65	1,18 kg/kg
Gaz naturel L	9,79 kWh/m³ (⁵)	8,83 kWh/m³ (⁵)	0,96 kWh/m³	0,108	10,85	1,43 kg/m³
Gaz naturel H	10,94 kWh/m³ (⁵)	9,87 kWh/m³ (⁵)	1,07 kWh/m³	0,108	10,81	1,59 kg/m³
Butane	33,50 kWh/m³ (⁷)	30,45 kWh/m³ (⁷)	3,05 kWh/m³	0,101	10,10	4,54 kg/m³
Propane	25,90 kWh/m³ (⁷)	23,70 kWh/m³ (⁷)	2,20 kWh/m³	0,093	9,30	3,27 kg/m³

(*) Calculée sur la base d'une chaleur d'évaporation/condensation de 2418 kJ/kg (0,671 kWh/kg).
 (²) Taux de soufre de 1000 ppm (mazout normal) et de 10 ppm (mazout extra).
 (³) Source : CEDICOL (Centre d'information sur les combustibles liquides).
 (⁴) Valeur calculée sur la base d'une masse volumique de 0,838 kg/l.
 (⁵) Source : moyenne annuelle établie en 2006 par Fluxys pour le gaz de Slochteren (référence 15 – 15 °C et 1013,25 mbar).
 (⁶) Source : moyenne des moyennes annuelles établies en 2006 par Fluxys pour les gaz d'Ekofisk, de Troll, d'IZTF, de Russie et d'Algérie (référence 15 – 15 °C et 1013,25 mbar).
 (⁷) Source : Comité français du butane et du propane (15 °C et 1013,25 mbar).

Extrait de la NIT « La chaudière à condensation », CSTC

I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490 172

Production

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

ICEDD
I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490 173

Production

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

ICEDD
I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490 174

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 aux		Mesures finales		Explicites	Conformité	
			Attaque 1	Attaque 2	Attaque 1	Attaque 2		OK	Non OK
Température d'eau (H)	°C	1-2							
Gicleur: marque/type		1							
Gicleur: débit	l/s	1							
Gicleur: angle		1							
Pression pompe	bar	1							
Pression gaz	bar	2							
Composition chimique du gaz	Pa	1-2							
Indice lambda	Bacharach	1							
Satur en O ₂	%	1-2							
Satur en CO ₂	%	1-2							
Satur en CO	mg/m ³	1-2							
Temps. 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 trous de mesure ne doivent pas être signalés à cette attention



	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	%



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

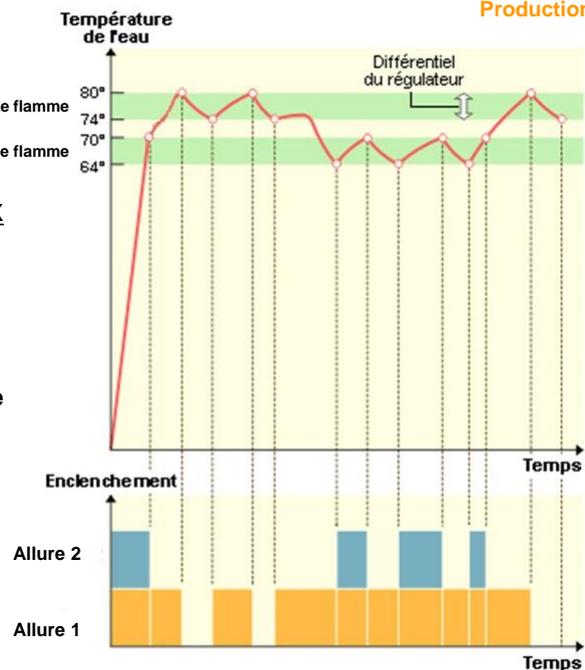
2 à 3 % de rendement en plus



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)



Conclusions

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

ICEDD
L.C.E.D.D

Conclusions

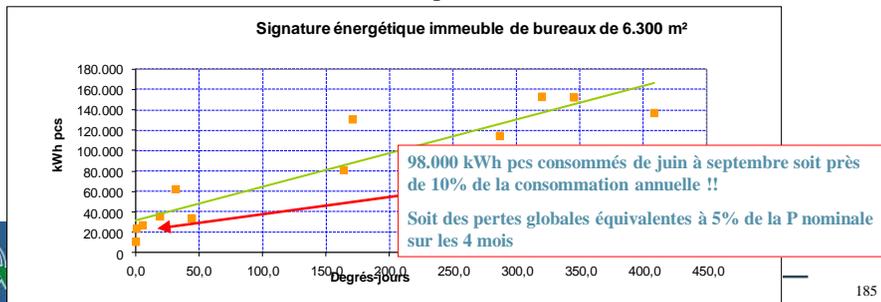
Améliorer une chaufferie existante

Fermées à l'arrêt de la chaudière ?

ICEDD
L.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère O

Améliorer une chaufferie existante

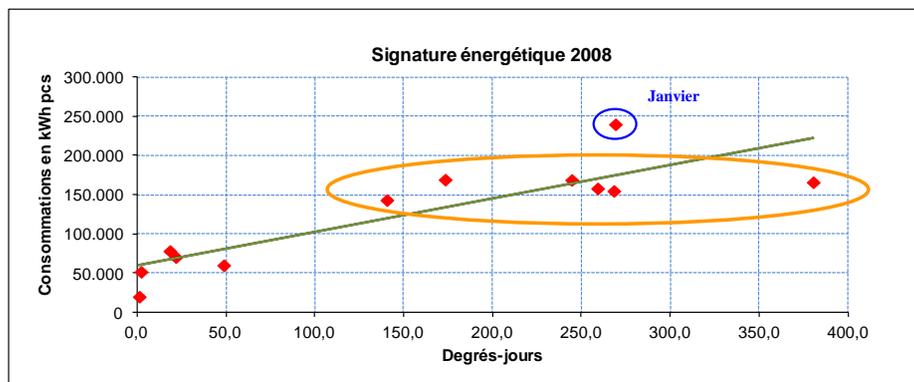
- Vérifier que les chaudières sont à l'arrêt en été
- > Pertes à l'arrêt observées tout l'été pour une chaufferie de 500 kW :
- $$500 \text{ kW} \times 3000 \text{ h/an} \times 0,6 \% = 9000 \text{ kWh/an ou } 540 \text{ [€]}$$
- > Approche réductrice si collecteur primaire est maintenu en température + 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

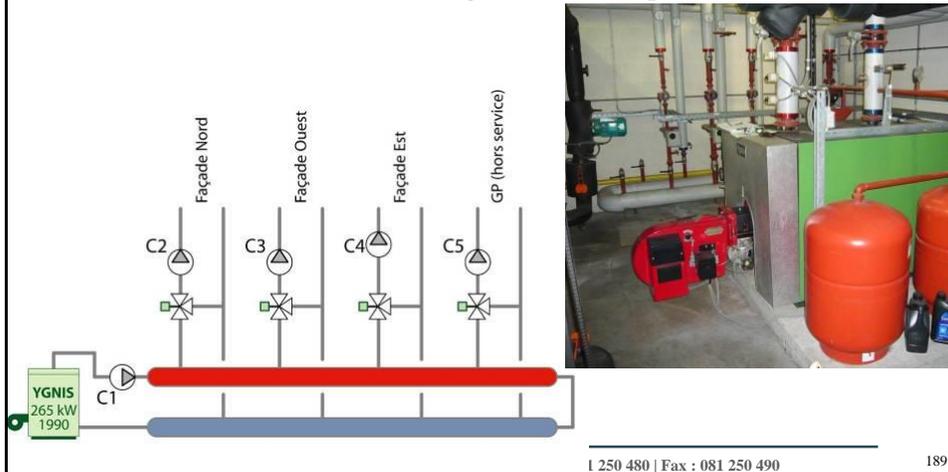
- > Immeuble de bureaux construit en 1990
 - > Superficie chauffée de 2.450 m²
 - > Consommation spécifique de 136 kWh pci/m²



> Facture *gaz* 2010 de 13.000 € HTVA

Campagne de mesures : exemple

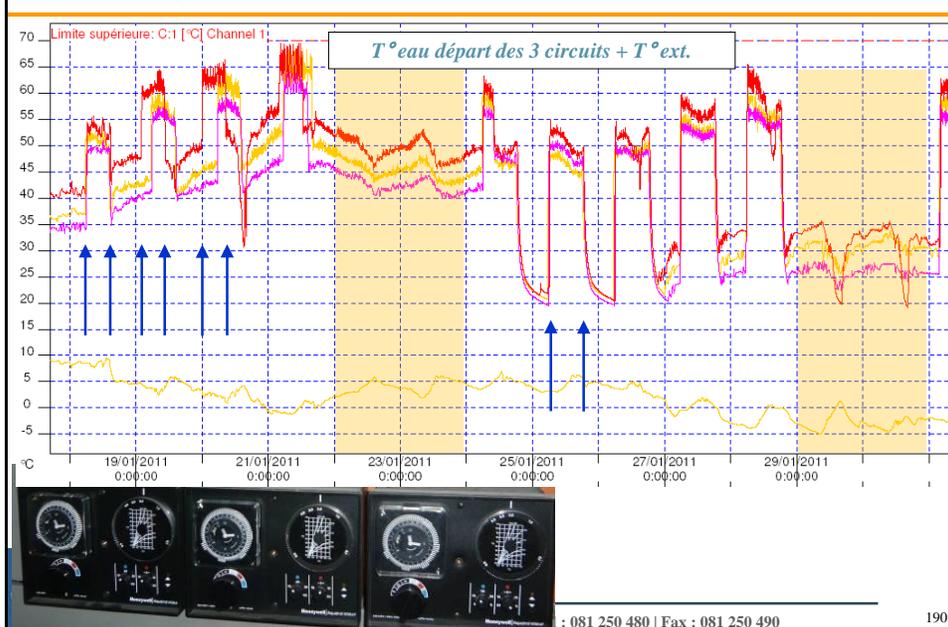
- > Chaudière de 265 kW équipée d'un brûleur gaz 2 allures
- > Collecteur primaire en température constante
- > 3 circuits radiateurs avec régulation climatique



l 250 480 | Fax : 081 250 490

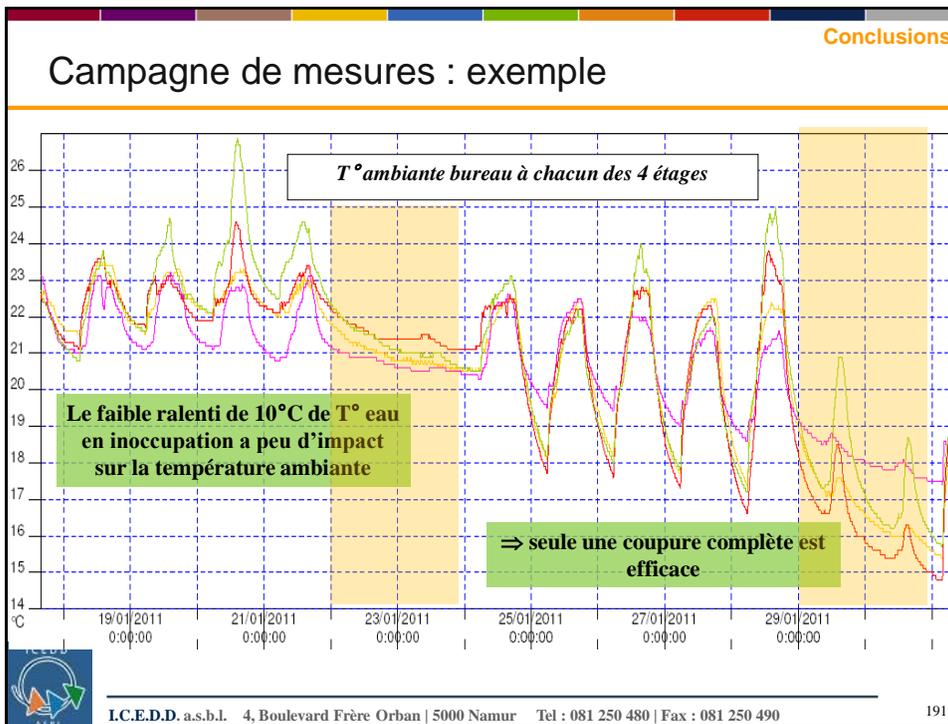
189

Campagne de mesures : exemple



: 081 250 480 | Fax : 081 250 490

190



Production

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
- ...

ICEDD

I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490 192

Production

Remplacement des chaudières existantes



Temps de retour

	5 ans	10 ans	
	↙ ↘	↙ ↘	
	100 kW 500 kW	100 kW 500 kW	
Rend.sais. actuel	75%	80%	85%

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



I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

193

Production

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**
(pratiquement 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



I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

194

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.

Ou un combustible « vert » (pellets, plaquettes,...)

Si le bâtiment est correctement isolé : une PAC ?



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

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



I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

199

Conclusions

Conclusions

- Il est nécessaire d'assurer une cohérence globale :
 - Une action sur un poste peu 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



I.C.E.D.D. a.s.b.l. 4, Boulevard Frère Orban | 5000 Namur Tel : 081 250 480 | Fax : 081 250 490

200