

# Audit énergétique d'un bâtiment

2010



Contact : Bruno Lacquement

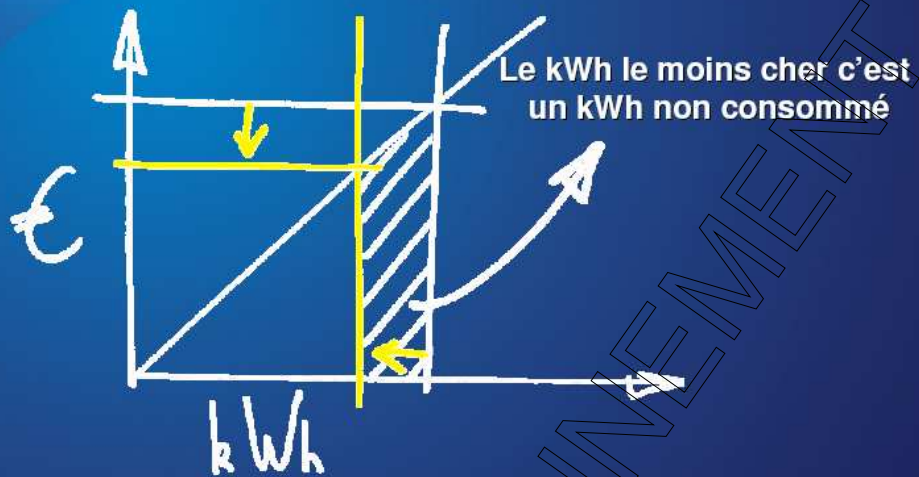


## L'audit énergétique des bâtiments

- Que regarder ?
- Quelles améliorations proposer ?
- Avec quelle rentabilité ?



## Le règle d'or de l'URE



## Choisir parmi plusieurs bâtiments ?

- Ratio : Cons. / surface chauffée = { kWh/m<sup>2</sup> }

⇒ Fournit le bât le plus énergétivore



- Ratio : Cons. X Cons. / surface chauffée = { kWh<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> }

⇒ Fournit le bâtiment avec le plus grand potentiel d'économie

Remarque : 1 L de fuel = 1 m<sup>3</sup> de gaz = 10 kWh

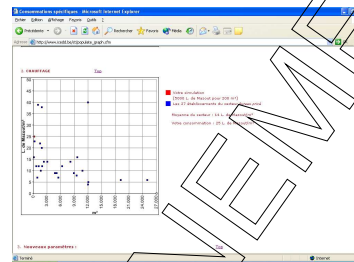
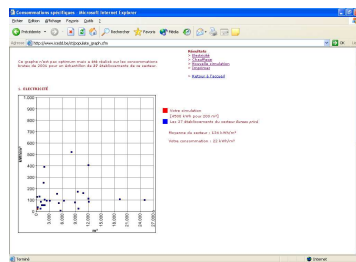
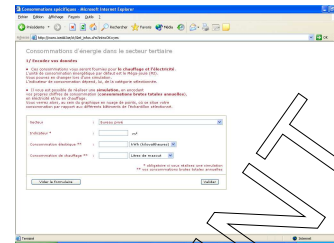
1 GJ = 278 kWh



## Comparer son bâtiment par rapport au secteur ?

Un outil web pour situer vos consommations d'énergie ! :

[http://www.icedd.be/ct/get\\_infos.cfm](http://www.icedd.be/ct/get_infos.cfm)



## Comparer son bâtiment par rapport au secteur

Bureaux	Chauffage (kWh/m².an)	Bureaux	Electricité (kWh/m².an)
Bâtiment ancien	100 à 220	Sans climatisation	35 à 100
Bâtiment récent	70 à 150	Avec climatisation	100 à 160

Si cons > 20 L de fuel / m², il y a du boulot facile !



## Enseignement

A noter que ces chiffres sont à prendre avec précaution car les surfaces occupées sont très variables d'une école à l'autre (gardienne, primaire, secondaire, cours du soir, ...). Les écoles avec internat ne sont pas reprises dans l'échantillon.

### **Consommations moyennes en 1999 :**

ÉLECTRICITÉ : 0,11 GJ/m<sup>2</sup>, soit 30 kWh/m<sup>2</sup>

COMBUSTIBLES : 0,59 GJ/m<sup>2</sup>, soit 163 kWh/m<sup>2</sup>



## Homes

En 1999, l'on comptait en moyenne 1 lit par 40 m<sup>2</sup> dans les maisons de retraite. Depuis 1991, la surface par lit a baissé de près de 20 %.

### **Caractéristiques de l'échantillon :**

Enquête réalisée par l'ICEDD sur 90 établissements, de 682 à 16 500 m<sup>2</sup>, soit une surface totale de 360 851 m<sup>2</sup>.

### **Consommations moyennes en 1999 :**

ÉLECTRICITÉ : 0,23 GJ/m<sup>2</sup>, soit 65 kWh/m<sup>2</sup>

COMBUSTIBLES : 0,93 GJ/m<sup>2</sup>, soit 257 kWh/m<sup>2</sup>



### Les mesures les plus rentables ?

Projet	Economie annuelle	Return
Intermittence du chauffage	...15 à 25 ... % de la consommation de chauffage	1 .. 3 ans
Remplacement d'une chaudière de plus de 20 ans	10 à 20 % de la consommation de chauffage	5 à 10 ans
Régulation en cascade de chaudières	1 à 3% de la consommation de chauffage	2 à 4 ans
Meilleure gestion des consignes	8% de la consommation de chauffage par ° de trop	0 ... 3 ans
Isolation des tuyauteries dans les locaux non chauffés	4€ / m de tuyau ... 20 €/m (placé)	0,5 .. 2 ans



Isolation des murs extérieurs	Par l'extérieur : 50 à 75 € / m <sup>2</sup>	15 à 25 ans
	Par l'intérieur : 15 à 30 €/m <sup>2</sup>	5 à 10 ans
Remplacement des châssis simples vitrages	250 € / m <sup>2</sup>	25 ans
Isolation du plancher des combles	15 € / m <sup>2</sup>	2 à 5 ans
Placement de capteurs solaires pour l'ECS	40 à 50 % de la consommation	... 20 ... ans (fonction des subsides)
Réalisation campagne de sensibilisation (bon usage vanne thermo. ...)	0 à 15 % de la consommation de chauffage	0 an
Remplacement des lampes par fluocompacts	Une lampe 60 W, fonctionnant 2500 h/an, 12€/an	1 an
Remplacement anciens luminaires	50% du coût de l'éclairage	4 .. 6 ans



## Analyse de la facture électrique Basse Tension

FACTURE du 14.06.2002

**A VOTRE SERVICE** **DISTRIBUTEUR**

N° de référence **ADRESSE DE CONSOMMATION**

Compteur	Période consommation	Index compteurs	Consommation
Eie 1083	06.06.2001 - 14.06.2002	19552 - 18725	= 827 kWh
1083	06.06.2001 - 14.06.2002	6188 - 5956	= 232 kWh

**FACTURATION**

	Montant	% TVA
<b>ELECTRICITE</b>		
Tarif bihoraire (110/111)		
CONVERSION kWh	827 kWh x 20 = 16.540 kWh	
Consommation pour	16.540 kWh x 12,97 c€/kWh	2145,34
Redevance (12 mois 12 kva)		91,08
CONVERSION kWh	233 kWh x 20 = 4.660 kWh	
Consommation nuit	4.660 kWh x 4,73 c€/kWh	220,42
Terme fixe complémentaire (12 mois)		150,34
Cotisation - loi du 22/07/93	21.200 kWh x 0,1363 c€/kWh	28,89
Débit facturé pour consommation d'électricité		2055,12
TVA 21%	sur le montant de base : 500,45	105,12
TOTAL AVEC TVA		700,17
<b>MONTANT DE CETTE FACTURE</b>		<b>700,17 EUR</b>

**MODALITES DE PAIEMENT**

**A PAYER**  
Le paiement de 700,17 EUR sera réglé automatiquement par votre domiciliation.

**PROCHAINES FACTURES INTERMEDIAIRES :**

Electricité	montants :	dates d'échéance :	janvier 2001	février 2001	mars 2001
TOTAL AVEC TVA :	312,30 EUR	avril 2001	mai 2001	juin 2001	septembre 2001
		juillet 2001	août 2001	novembre 2001	

**COMMUNICATION**

• Si Basse Tension :

- une seule redevance ?

- un compteur bihoraire ?

⇒ rentable si cons. Nuit >

500 kWh



## La structure de prix d'électricité en Belgique



## Analyser la facture électrique Haute Tension

COUTRIEUR				POUR TOUTS RENSEIGNEMENTS CONCERNANT CETTE FACTURE			
NOM ET SOCIÉTÉ				ADRESSE D'OUVERTURE			
FACTURE DU				ADRESSE D'EXPÉDITION			
MOIS DE CONSUMATION				MOIS DE CONSUMATION			
JUN				JUN			
COUTRIEUR				COUTRIEUR			
RELEVÉS				RELEVÉS			
ACTUEL				ACTUEL			
PLUS MAX				PLUS MAX			
HEURES PLEINES				HEURES PLEINES			
HEURES CREUSES				HEURES CREUSES			
INDUCTIF HC				INDUCTIF HC			

- Proportion de consommation en HC ?

⇒ Dans les bureaux RW (non climatisé), la conso HC représente 23% des kWh totaux.

Si Haute Tension :

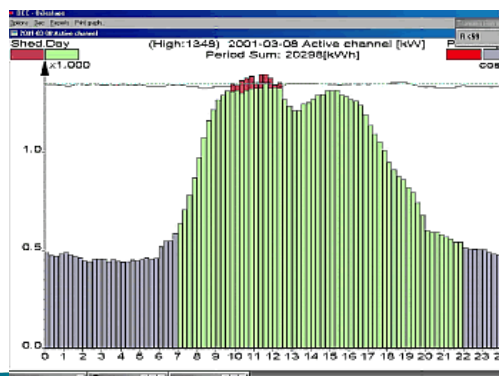
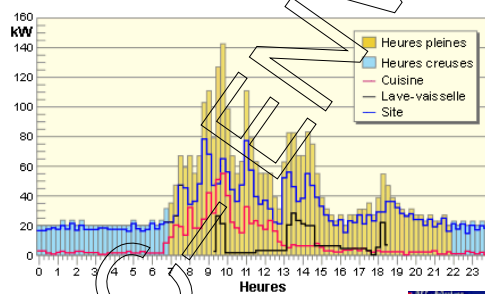
- Cos Phi < 0,9 et pénalités ?

⇒ Condensateurs de compensation (rentable en 1 an)

- Tarif horo saisonnier si clim ?

- Pointe quart horaire ?

⇒ Si durée d'utilisation U(h) = consommation (kWhHP) / pointe quart horaire (kW) est compris entre 80 et 200 h d'utilisation mensuelle, une gestion de la pointe est à envisager (délestage, ...)



### Ce qu'est l'énergie réactive

Il s'agit de la puissance utilisée par certains appareils pour créer un champ électromagnétique. Cette puissance s'exprime en kvar.

La consommation d'énergie réactive est caractéristique des appareils électriques qui utilisent les propriétés inductives d'un champ électromagnétique alternatif: essentiellement les moteurs et les transformateurs.

La puissance réactive est distincte de la puissance utile (ou active), qui, exprimée en kW, est transformée en travail et en chaleur. La puissance électrique totale d'un appareil est la différence vectorielle des deux composants de puissance (puissance active - puissance apparente).

Le phénomène de consommation peut avoir de fortes implications pour les utilisateurs haute tension.



### Les inconvénients de l'énergie réactive :

La puissance réactive ne délivre aucun travail utile. De plus, un rapport puissance réactive/puissance active trop important génère de multiples inconvénients :

- Une demande totale de courant accrue
  - Une charge supplémentaire, non efficace, des lignes et des transformateurs
  - Le besoin de renforcer l'installation électrique (ce qui représente un investissement improductif)
  - Une situation de fonctionnement qui s'approche des seuils d'enclenchement des dispositifs de sécurité
  - L'augmentation des déperditions thermiques
- Une baisse de la tension d'alimentation



## L'impact de l'énergie réactive sur la facture d'électricité haute tension

Electrabel ne facture pas la consommation d'énergie réactive tant qu'elle reste inférieure à 50% de l'énergie active.

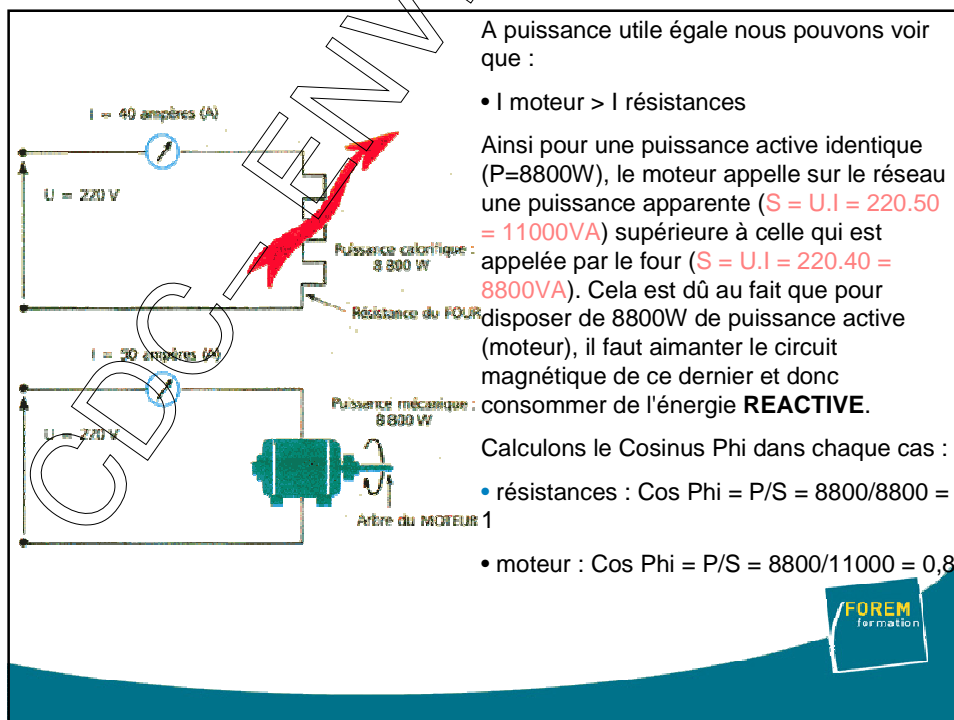
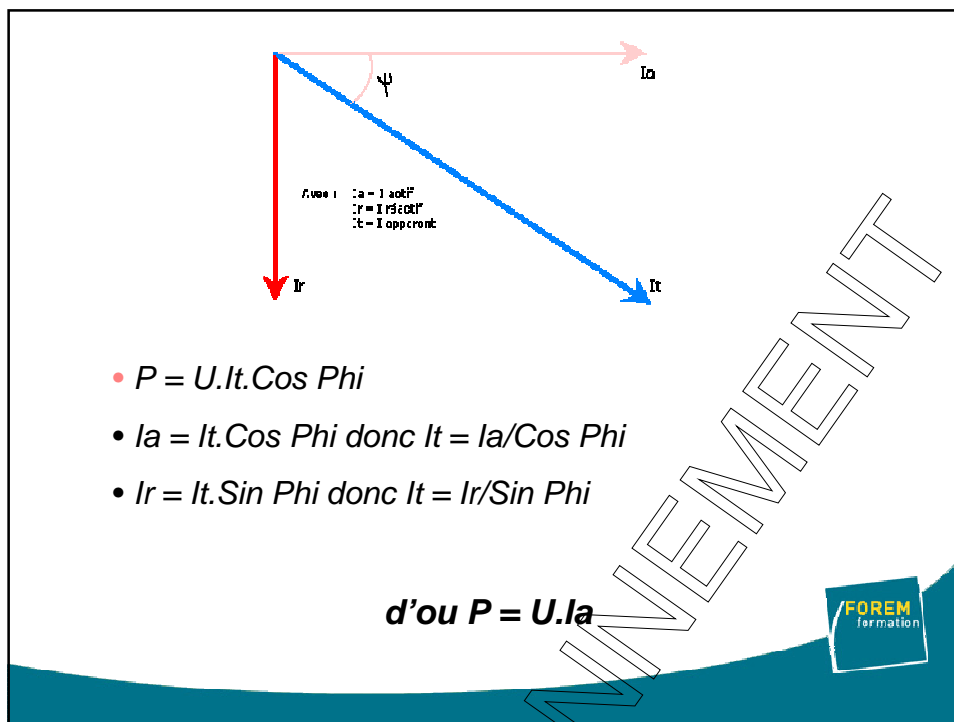
Au-delà, la surconsommation réactive est comptabilisée à 20% du prix moyen du kWh. Il y a donc intérêt à réduire la consommation d'énergie réactive.



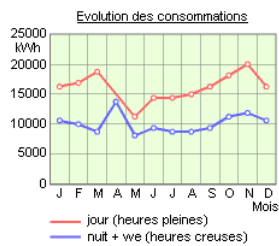
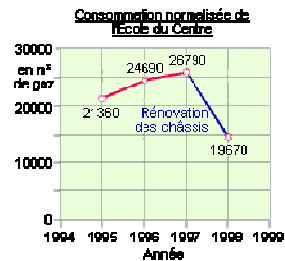
Tout système électrique utilisant le courant alternatif met en jeu deux formes d'énergie : l'énergie active et l'énergie réactive. Dans les processus industriels utilisant l'énergie électrique seule l'énergie active est transformée au sein de l'outil de production en énergie mécanique, thermique, lumineuse, etc... L'autre, l'énergie réactive sert notamment à l'alimentation des circuits magnétiques des machines électriques (moteurs, transformateurs, etc...).

A chacune de ces énergies correspond un courant actif ( $I_a$ ), en phase avec la tension du réseau et un courant réactif ( $I_r$ ), appelé aussi courant magnétisant. Celui-ci étant déphasé de  $90^\circ$  en arrière par rapport au courant actif. Les deux courants actif et réactif se composent vectoriellement pour former le courant apparent, déphasé d'un angle  $\Phi$  par rapport au courant actif. Ce courant dit apparent est cependant bien réel, puisque c'est celui qui parcourt les divers conducteurs du circuit, depuis la source jusqu'au récepteur inclus, et qui provoque entre autre l'échauffement de ces conducteurs, donc les pertes d'énergie par effet joule.





## Suivi des consommations énergétiques ?



- Qui est au courant de la consommation énergétique ?
- Qui est informé lorsqu'il y a une hausse des consommations ?
- Qui recevra des chocolats « Merci » lorsque la consommation diminuera ?



## Améliorer l'enveloppe du bâtiment



### Un modèle simplifié pour l'évaluation de l'enveloppe

#### 1. Consommation basée sur l'écart moyen $T_{\text{int}}^{\circ} - T_{\text{ext}}^{\circ}$

La  $T^{\circ}$  intérieure moyenne équivalente du bâtiment sur la saison de chauffe =  $T^{\circ}$  moyenne des locaux en journée – réduction pour les coupures de nuit et de WE – réduction pour les apports gratuits (équipement et soleil)

Ex : hôpitaux, homes :  $24 - 0 - 3 = 21^{\circ}$

bureaux :  $21 - 3 - 4 = 14^{\circ}$

écoles :  $21 - 5 - 3 = 13^{\circ}$

La  $T^{\circ}$  moyenne équivalente est de  $T_{\text{extMoy}} = 6^{\circ}$  à Namur et  $3,5^{\circ}$  à Libramont.



### Un modèle simplifié pour l'évaluation de l'enveloppe

#### 2. Une saison de chauffe

Du 15 sept au 15 mai = 8 mois = 5800 h

#### 3. Un rendement moyen

Du système de chauffage de 80 %



## Un modèle simplifié pour l'évaluation de l'enveloppe

### 4. Des parois caractérisées

Par leur coefficient de déperdition thermique U :

U simple vitrage =  $6 \text{ W / m}^2 \text{ K}$

U double vitrage ordinaire =  $3 \text{ W / m}^2 \text{ K}$

U mur brique non isolé 25 cm =  $2 \text{ W / m}^2 \text{ K}$

U mur isolé 8 cm laine minérale =  $0,4 \text{ W / m}^2 \text{ K}$

U toiture isolé 12 cm laine minérale =  $0,3 \text{ W / m}^2 \text{ K}$



## Améliorer les vitrages ?



### Améliorer les vitrages ?

#### Consommation annuelle d'un m<sup>2</sup> de simple vitrage ?

- $U = 6 \text{ W / m}^2 \text{ K}$
- $T_{\text{extMoy}} = 6^\circ\text{C}$
- $T_{\text{intMoy}} = 15^\circ\text{C}$
- Période de chauffe : 5 800 h
- Rendement installation chauffage = 80%



### Améliorer les vitrages ?

#### Consommation annuelle d'un m<sup>2</sup> de double vitrage basse émissivité ?

- $U = 1,1 \text{ W / m}^2 \text{ K}$
- $T_{\text{extMoy}} = 6^\circ\text{C}$
- $T_{\text{intMoy}} = 15^\circ\text{C}$
- Période de chauffe : 5 800 h
- Rendement installation chauffage = 80%



## Améliorer les vitrages ?

### Rentabilité :

Economie de  $328 \text{ kWh/m}^2 = 33 \text{ L de fuel} = 30 \text{ €/m}^2 \text{ an}$  (à  $0,91 \text{ €/L de fuel}$ )

Investissement :  $290 \text{ €/m}^2$

### Temps de retour : 10 ans

Economie spécifique de la basse émissivité : ( $U=1,1$  au lieu de 3)

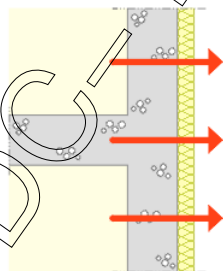
$124 \text{ kWh/m}^2 = 13 \text{ L de fuel} = 12 \text{ € / m}^2 \text{ an}$

Supplément d'investissement :  $25 \text{ € / m}^2$

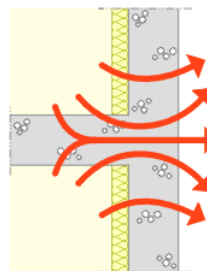
### Temps de retour : env 2 ans !



## Isoler une paroi extérieure ?



Isolation par l'extérieur



Isolation par l'intérieur



### Isoler une paroi extérieure ?

#### Consommation annuelle d'un m<sup>2</sup> de paroi non isolé ?

- $U = 2 \text{ W / m}^2 \text{ K}$
- $T_{\text{extMoy}} = 6^\circ\text{C}$
- $T_{\text{intMoy}} = 15^\circ\text{C}$
- Période de chauffe : 5 800 h
- Rendement installation chauffage = 80%



### Isoler une paroi extérieure ?

#### Consommation annuelle d'un m<sup>2</sup> de paroi isolée ?

- $U = 0,4 \text{ W / m}^2 \text{ K}$
- $T_{\text{extMoy}} = 6^\circ\text{C}$
- $T_{\text{intMoy}} = 15^\circ\text{C}$
- Période de chauffe : 5 800 h
- Rendement installation chauffage = 80%



## Isoler une paroi extérieure ?

### Rentabilité :

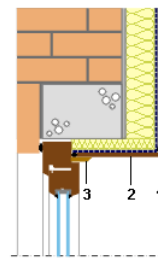
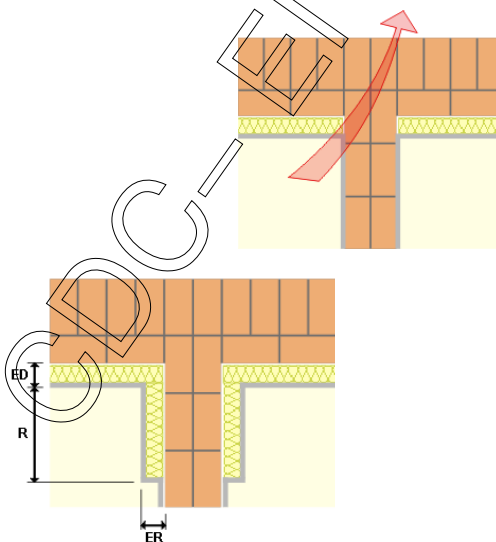
Economie de 104 kWh/m<sup>2</sup> = 10 L de fuel = 10 €/m<sup>2</sup> an (à 1 €/L de fuel)

### Investissement :

	Investissement	Temps de retour
Isolation par l'extérieur	130 € / m <sup>2</sup>	13 ans
Isolation par l'intérieur	15 € / m <sup>2</sup>	1,5 ans
Isolation de comble	15 € / m <sup>2</sup>	1,5 ans



Si isolation par l'intérieur → Repérer le risque de pont thermique



1. Joint souple d'étanchéité
2. Ébrasement et chambranle en bois
3. Finition angle



## Améliorer l'étanchéité du bâtiment ?



*Mauvais raccord entre le mur et la menuiserie*

La consommation par inétanchéité est permanente (càd nuit et WE compris)

⇒ Intérêt au système mécanique qui permet d'arrêter l'hémorragie la nuit et le WE.



*Inétanchéité des châssis*



## Améliorer le chauffage



## Rendement moyen saisonnier du système de chauffage (valeurs utilisables en première approximation)

Ordres de grandeur

Type d'installation	Rendements en % ( $\eta_{\text{global}} = \eta_{\text{production}} \times \eta_{\text{distribution}} \times \eta_{\text{émission}} \times \eta_{\text{régulation}}$ )				
	$\eta_{\text{production}}$	$\eta_{\text{distribution}}$	$\eta_{\text{émission}}$	$\eta_{\text{régulation}}$	$\eta_{\text{global}}$
Ancienne chaudière surdimensionnée, longue boucle de distribution	75 .. 80 %	80 .. 85 %	90 .. 95 %	85 .. 90 %	46 .. 58 %
Ancienne chaudière bien dimensionnée, courte boucle de distribution	80 .. 85 %	90 .. 95 %	95 %	90 %	62 .. 69 %
Chaudière haut rendement, courte boucle de distribution, radiateurs isolés au dos, régulation par sonde extérieure, vannes thermostatiques, ...	90 .. 93 %	95 %	97 .. 98 %	95 %	77 .. 82 %

## Améliorer le chauffage

### En chaufferie :

- Améliorer la/les chaudières ? (régler le brûleur, remplacer le brûleur, colmater la chaudière, placer une régulation de tirage, ..)
- Remplacer la/les chaudières ?
- Isoler les conduites et les vannes ?
- Diminuer la vitesse des circulateurs ?
- Améliorer la régulation centrale ? (mieux régler la  $t^\circ$  de l'eau, améliorer l'intermittence)

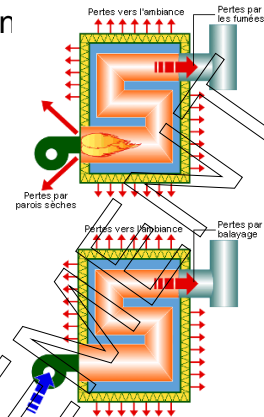
### Dans les locaux :

- Placer des vannes thermostatiques ?



## Que regarder dans la chaufferie

- Age de la/des chaudière(s) ? (Plus ou moins ans)
- Chaudières atmosphériques ?
- Rendement de combustion ?
  - Limite basse 88% objectif 92%
  - Impact : 1% de rendement  $\approx$  1% de la consommation
- Fonctionnement des allures de brûleur en cascade ?
  - Gain 2% de rendement de combustion



ATTESTATION D'ENTRETIEN - COMBUSTIBLE LIQUIDE				
FIRME		CLIENT : ADRESSE : TEL :		
		ADRESSE INSTALLATION :		
CHAUDIERE	PUISANCE	455,000	kW ou kcal/h	
BRULEUR	MARQUE ET TYPE			
	PUISANCE		l/h ou kg/h	
COMBUSTIBLE	MARQUE ET TYPE			
1. NETTOYAGE				
DATE	DUREE DU TRAVAIL	de	h à	h
TRAVAUX ET VERIFICATION		Remarques particulières		
Ramonage de la cheminée				
Nettoyage des circuits de gaz de combustion				
Verification des conduits de gaz de combustion				
J'atteste avoir procédé à l'entretien réglementaire obligatoire en application de la loi relative à la lutte contre la pollution atmosphérique, comprenant les travaux et la vérification repris ci-dessus				
MONT :		SIGNATURE :		
2. REGLAGE DU BRULEUR				
DATE	DUREE DU TRAVAIL	de	h à	h
VERIFICATIONS		Essai de contrôle		
<input checked="" type="checkbox"/> Vanne magnétique	<input checked="" type="checkbox"/> Régulateur titrage	Odeur	g/h	Essai 1
<input checked="" type="checkbox"/> Thermistat ambiance	<input checked="" type="checkbox"/> Réservoir	Angle	degrés	Essai 2
<input checked="" type="checkbox"/> Thermostat chaudière	<input checked="" type="checkbox"/> Ligne gicleur	Type		
<input checked="" type="checkbox"/> Cellule	<input checked="" type="checkbox"/> Turbine mazout	Pression pompe	bar	
<input checked="" type="checkbox"/> Fumée	<input checked="" type="checkbox"/> Pompe	Dépression cheminée	Pa	
<input checked="" type="checkbox"/> Moteur	<input checked="" type="checkbox"/> Filtes	Dépression foyer	Pa	
<input checked="" type="checkbox"/> Turbine H.T.	<input checked="" type="checkbox"/> Assemblage	Indice fumée		
<input checked="" type="checkbox"/> Capteur H.T.	<input checked="" type="checkbox"/> Ventilateur	Teneur en CO2	%	
<input checked="" type="checkbox"/> Capteur	<input checked="" type="checkbox"/> Vilet d'air	Temp. cheminée	°C	
<input checked="" type="checkbox"/> Oueillard	<input checked="" type="checkbox"/> Mélange chimie	Temp. ambiante	°C	
FOURNITURES ET TRAVAUX EFFECTUES		Temp. nette	°C	
		(cheminée ambiante)		
		Rendement	%	
Fonctionne selon ses normes OPTIMAZ (°) OUI - NON		L'install. est en bon état de fonctionnement		
J'atteste avoir procédé à l'entretien réglementaire obligatoire en application de la loi relative à la lutte contre la pollution atmosphérique, comprenant les vérifications citées au point 2 ci-dessus		L'install. n'est pas en bon état de fonctionnement		
Le Technicien : Nom : N° d'Etat		Signature du client		
Cetle attestation doit être conservée pendant 2 ans à la disposition des agents chargés de veiller à l'application de la loi.				
Les brûleurs des chaudières alimentées en combustible liquide doivent être l'objet d'un entretien annuel effectué par un technicien dont la qualification est reconnue conformément à l'A.R. du 6 janvier 1978.				

Actuellement, suivant l'A.R. du 06/01/78, l'entretien annuel des chaudières fonctionnant au fuel est obligatoire. Il doit être accompagné d'une mesure du rendement de combustion. Le résultat de cette mesure est consigné sur une fiche d'entretien dont la conservation par l'utilisateur est obligatoire



### Pour les chaudières gaz : selon la plaque signalétique

Dans le cas d'une chaudière gaz à brûleur atmosphérique, le débit de gaz ne peut être réglé. On peut donc estimer le rendement de combustion au départ de la plaque signalétique. En effet, cette dernière mentionne la puissance fournie à l'eau et la puissance fournie par le brûleur :

- soit directement sous forme d'une puissance en [kW],
- soit sous forme d'un débit de gaz en [m<sup>3</sup>/h] qu'il faut multiplier par 9,45 [kWh/Nm<sup>3</sup>] (si le gaz est du G20) ou 8,13 [kWh/Nm<sup>3</sup>] (si le gaz est du G25) pour obtenir la puissance en [kW].

En divisant l'un par l'autre, on obtient le rendement utile qui équivaut au rendement de combustion, aux pertes vers la chaufferie près.



### Exercice : Calculer le rendement de la chaudière ?



N° de Identification:	D53AG0740
Warmtecapaciteit /	
Puissance calorifique:	116 kW
Warmtebelasting (v.c.w.) /	
Charge thermique (v.c.m.):	128.2 kW
Gasketel / Chaudière à gaz	
Kategorie / Catégorie:	"BE" I 2E = 20/25 mbar
Ingesteld op / Réglée pour:	"BE" G20 - 2E
Gas - aansluitdruk /	
Pression d'entrée gaz:	20 mbar

le rendement utile nominal de la  
chaudière vaut  
.... %



### Origine possible d'un mauvais rendement de combustion

Un mauvais rendement de combustion d'une chaudière peut avoir pour origine :

- un brûleur inadapté à la chaudière,
- un mauvais réglage du brûleur,
- un encrassement de la chaudière,
- un tirage trop important de la cheminée,
- des entrées d'air parasites,
- ou tout simplement une chaudière de conception trop ancienne.



### Pertes vers la chaufferie

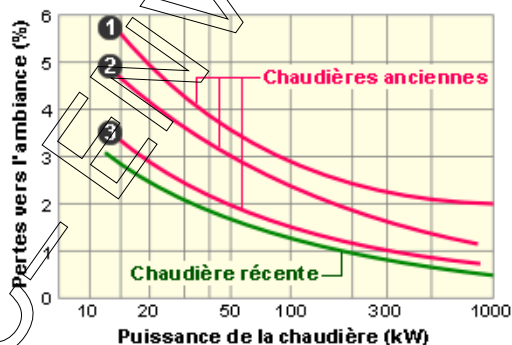
Lorsque le brûleur est en fonctionnement, la chaleur de la flamme et des fumées est en grande partie transmise à l'eau de chauffage. La flamme rayonne également vers des zones qui dans les anciennes chaudières ne sont pas irriguées par l'eau et qui plus est, ne sont pas toujours isolées. Il s'agit principalement de la porte foyer, du fond et du socle de la chaudière.



Chaudière de 1972 : la porte foyer peu isolée dont la température de surface durant le fonctionnement du brûleur est proche de 100°C.

Malheureusement, il est difficile et souvent onéreux d'isoler une ancienne porte foyer.

Il faut cependant retenir que la mauvaise isolation de certaines parties de la chaudière est un symbole de la vétusté et du peu de performance de celle-ci.



Pertes vers l'ambiance totales (pertes par parois sèches + pertes par parois irriguées) des anciennes chaudières lorsque le brûleur est en action, en pourcentage de la puissance de la chaudière.

1 : chaudière au charbon converties au fuel

2 : chaudière gaz atmosphérique

3 : chaudière fuel ou gaz à brûleur pulsé.



### Pertes vers la chaufferie

Entre les périodes de fonctionnement du brûleur, la chaudière perd sa chaleur vers la chaufferie. L'importance de cette perte dépend d'abord du degré d'isolation de la jaquette de la chaudière.

Les chaudières actuelles sont isolées avec une épaisseur de laine minérale d'environ 10 cm. Il en résulte des pertes vers la chaufferie négligeables (de l'ordre de 0,1 .. 0,7 % de la puissance nominale).

Il n'en va pas de même pour les anciennes chaudières où l'isolant ne dépasse parfois pas une épaisseur de 3 cm sans compter des zones qui parfois ne sont pas isolées ou équipées d'un isolant en piteux état



*Chaudière de 1979 isolée par 3 cm de laine minérale et comportant certaines zones non isolées*



### Indice

On peut se faire une première idée des pertes vers la chaufferie en plaçant la main sur la jaquette de la chaudière. Si celle-ci est chaude, il est fort à parier que le degré d'isolation est faible (si le brûleur fonctionne, attention aux risques de brûlure sur les zones non isolées comme la face avant !).



*Un contact avec la main permet de se faire une première idée de la qualité de l'isolation.*

*Références : sur les chaudières modernes isolées, on ne sent rien et on se brûle à partir de 65°C.*



### Exemple :

*Une chaudière de 400 kW a des pertes vers la chaufferie de 0,5 %. Le brûleur de cette chaudière est à l'arrêt environ 4 500 heures par an. Heures pendant lesquelles la chaudière est maintenue en température.*

*La perte annuelle engendrée est de : ?*



### Balayage du foyer

Lorsque le brûleur est à l'arrêt, tout courant d'air dans la chaudière va entraîner son refroidissement. Or l'alimentation en air des anciens brûleurs pulsés (environ, avant 1985) ainsi que les brûleurs gaz atmosphériques reste en permanence ouverte, même lorsque le brûleur est à l'arrêt. Il en résulte, par effet de tirage naturel, une perte importante vers la cheminée



### Indice

Il suffit de mettre la main devant l'entrée d'air du brûleur pour se rendre compte du courant d'air engendré par le tirage de la cheminée. Il est même parfois possible de voir le ventilateur d'un brûleur pulsé entraîné naturellement par celui-ci.



### Exemple :

*Reprenons la chaudière de 400 kW de l'exemple précédent. Cette chaudière est équipée d'un brûleur dont le clapet d'air ne se referme pas à l'arrêt. Aux 0,5 % de pertes vers la chaufferie, viennent s'ajouter 1,5 % de pertes vers la cheminée lorsque le brûleur est à l'arrêt. La chaudière présente donc des pertes à l'arrêt totales de 2 %.*

*La perte annuelle engendrée est donc de : ?*



*La perte annuelle engendrée est donc de : ?*

*Le remplacement de cette chaudière par une nouvelle chaudière avec un brûleur relativement étanche à l'arrêt réduirait la perte à l'arrêt totale à 0,2 % et permettrait donc une première économie de 3 240 [litres fuel ou m<sup>3</sup> gaz /an].*



*Attention, on se rend compte que le coefficient de perte à l'arrêt de la chaudière aura d'autant plus d'impact sur la consommation annuelle que la chaudière est maintenue longtemps en température, brûleur à l'arrêt, c'est-à-dire :*

- *que la chaudière est surdimensionnée,*
- *que la chaudière est également maintenue en température en été pour produire de l'eau chaude sanitaire.*



### **Comparaison : les chaudières actuelles**

Les chaudières actuelles présentent des pertes à l'arrêt nettement moindre que les anciens modèles :

- suppression des pertes par balayage, notamment par fermeture du foyer à l'arrêt,
- isolation renforcée de la jaquette de la chaudière,
- régulation de la température de la chaudière en fonction des besoins.



### **Surdimensionnement**

Le surdimensionnement de la chaudière joue un rôle important sur l'ampleur des pertes à l'arrêt :

- Plus la puissance du brûleur est importante par rapport aux besoins, plus son temps de fonctionnement annuel est faible par rapport au temps d'attente de la chaudière et plus les pertes à l'arrêt prennent de l'importance sur le rendement global de la production,
- Les pertes à l'arrêt sont fonction des caractéristiques constructives de la chaudière. Elles sont proportionnelles à sa puissance nominale, et sur les émissions polluantes et l'encrassement de la chaudière (production d'imbrûlés au démarrage et à l'arrêt des brûleurs).



### Expression mathématique du rendement saisonnier de production

Le rendement saisonnier d'une installation de production de chaleur peut entre autres s'exprimer par la formule :

$$\eta_{\text{sais}} = [\eta_{\text{comb}} - \%q_r] / [1 + q_E \times (n_T/n_B - 1)]$$

où on retrouve les différents éléments évalués ci-dessus :

- le rendement de combustion  $\eta_{\text{comb}}$  [%],
- le pourcentage de perte vers la chaufferie, brûleur en marche  $\%q_r$  [%],
- le coefficient de perte à l'arrêt  $q_E$  [.,..],
- le rapport entre la durée de la saison de chauffe et le temps de fonctionnement annuel du brûleur  $n_T/n_B$  [-], image du surdimensionnement.



### Objectif

On peut raisonnablement imaginer qu'il est possible d'atteindre, avec une (ou des) chaudière(s) moderne(s) performante(s), régulée(s) de façon adéquate, un rendement saisonnier de production de (pour une installation ne produisant pas d'eau chaude sanitaire) :

$$\eta_{\text{sais}} = \text{.. 92 .. \%}$$



### Exemple :

Soit une ancienne chaudière de 600 kW sur dimensionnée de 100 % (le brûleur fonctionne durant 750 heures/an). Son coefficient de perte à l'arrêt est estimé à 2 %. La fiche d'entretien de la chaudière indique un rendement de combustion de 87 %. Les pertes vers la chaufferie, lorsque le brûleur fonctionne sont estimées à 1 %.

La consommation de cette chaudière est de 45 000 m<sup>3</sup> de gaz par an.

Son rendement saisonnier peut être estimé à ?



Son rendement saisonnier peut être estimé à ?

Le remplacement de cette chaudière par une chaudière et un brûleur moderne et redimensionnée permettrait une économie de :

$$45\,000 \text{ [m}^3\text{gaz/an]} \times (1 - 76 \text{ [%]} / 92 \text{ [%]}) = 7\,826 \text{ [m}^3\text{gaz/an]}, \text{ soit } 17,4 \text{ [%]}$$



### Exemple :

Une chaudière de 1982 de 450 kW consomment 60 000 L de fuel par an (dimensionnement correct).

Le brûleur fonctionne en une seule allure mais se ferme à l'arrêt.

Le rendement de combustion mesuré est de 89%

Les pertes à l'arrêt sont estimées à 0,5%

⇒ Rendement saisonnier actuel 86,4%

⇒ Remplacement par une chaudière de 450 kW moderne.

⇒ Quelle est l'économie espérée ?



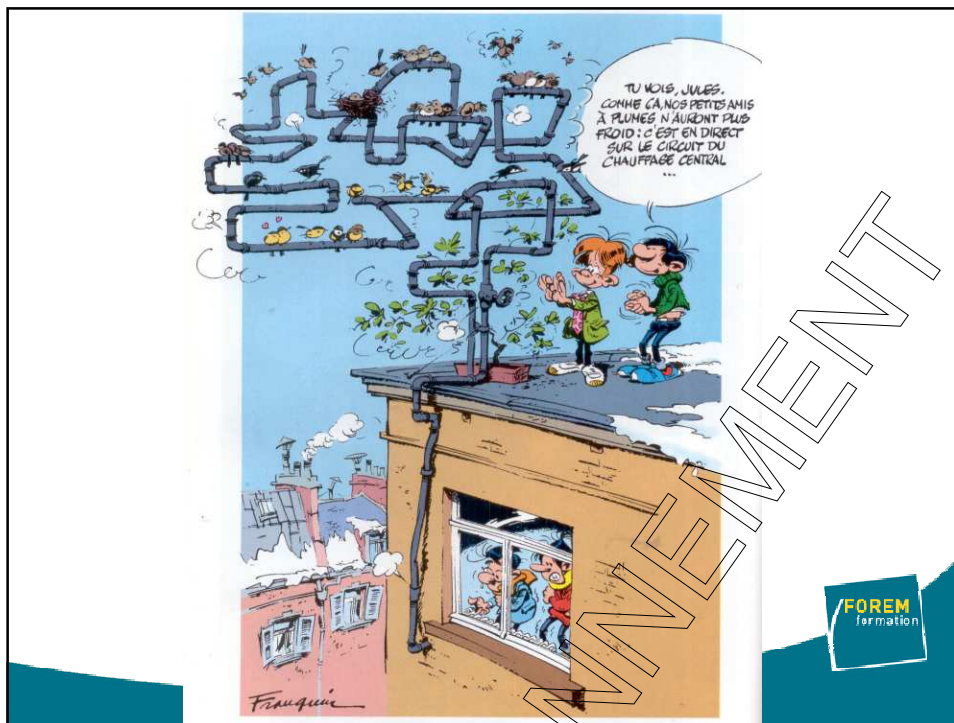
### Améliorer le chauffage



#### Pertes dans les tuyauteries :

Lorsque qu'un tuyau véhiculant de l'eau de chauffage traverse un espace ne devant pas être chauffé (chaufferie, vide-ventilé, caniveau), il présente des pertes importantes.





Tronçon de collecteur DN 150 non isolé pour des raisons de facilité. Pertes annuelles : environ 4 000 kWh/an ou 400 litres de fuel/an (puissance perdue 2 x 230 W).

### Chiffrer les pertes dans le tuyauteries

La perte augmente proportionnellement au diamètre de la tuyauterie. Le tableau suivant indique les pertes des tuyaux en acier en fonction de leur diamètre, de la température entre l'eau chaude et de la température ambiante.

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 <sub>eau</sub> - T <sub>air</sub> :										
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



### Exemple :

Perte de 20 m de tuyauterie non isolée DN 50 (2"), à 80°C, dans une chaufferie à 20°C :

Puissance perdue = ? [kW]

Énergie perdue (si la circulation fonctionne toute la saison de chauffe) = ?

Le coût de cette perte est de l'ordre de 1500 €/an (15 080 kWh à 1 €/litre fuel).



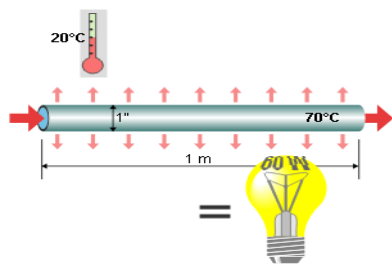


• Isoler une conduite diminue les pertes de 90% et est rentabilisé en :

0,5 (« fait maison ») ... 1,5 (entreprise) ans

• Perte des vannes > Perte tuyaux

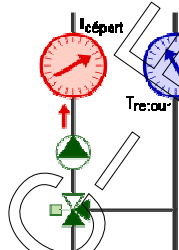
1 vanne = 1 m de conduite



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



### Réduire la vitesse des circulateurs

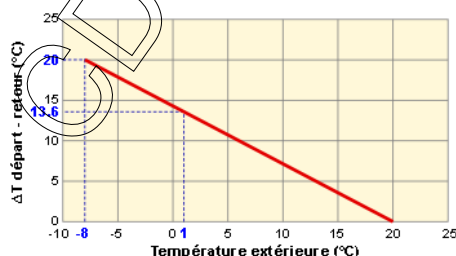


• Réduire d'un cran la vitesse des circulateurs secondaires permet de gagner ... 20% ... de leur consommation électrique.

• Indice : la différence entre la température de départ et de retour

- Pour une  $T^{\circ}$  ext de 1°C, la différence devrait être de l'ordre de 13 .. 14°C.

- Si elle est de 6 .. 7°C, le débit est vraisemblablement 2x trop élevé.



### Arrêter les circulateurs ?

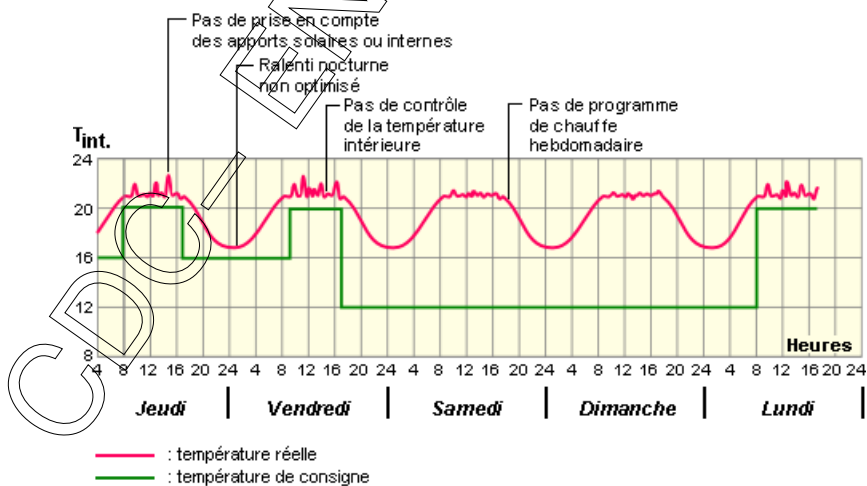


Les circulateurs sont-ils à l'arrêt ? :

- En été ? Manuellement ? Via la régulation ?
- Une chaufferie de 500 kW, puissance des circulateurs 2kW
- Été : 2960 h / an
- Gain :  $2 \times 2\,960 \times 0,11 \text{ €/kWh} = 650 \text{ €/an}$
- Quand  $T_{\text{ext}} > 15^\circ\text{C}$  ?
- 400 h de coupure supplémentaire
- 88 €/an de gain supplémentaire



### Amélioration de la Régulation



## Amélioration de la Régulation

C'est souvent le plus gros potentiel d'économie.

Dans un immeuble de bureaux :

- 1°C de trop par rapport à la consigne = 7 à 8 % de surconsommation
- Absence de ralenti nocturne et de WE = 5 à 25 % de surconsommation



## Exemple d'une école :

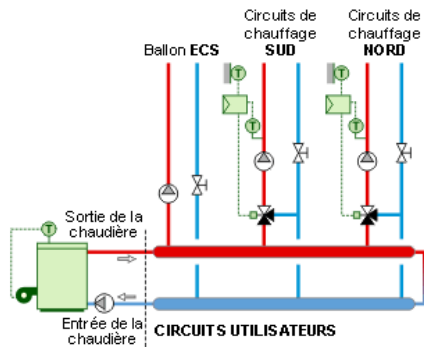


- 1 chaudière de 500 kW
- Conso 58 000 L fuel/an
- Rendement saisonnier chaudière 76%
- Régulation défailante (chauffage en continu jour/nuit/WE et surchauffe moyenne de 2°C)

- Placement d'un brûleur 2 allures : gain 12% = 2 100 €/an, TR = 2,1 ans
- Remplacement de la chaudière par une chaudière redimensionnée : gain 17% = 3000 €/an, TR = 3,7 ans
- Remplacement de la régulation (4 vannes mélangeuses, 80 vannes thermostatiques) gain 30% = 5100 €/an, TR = 1,6 an



## La régulation, que regarder ?



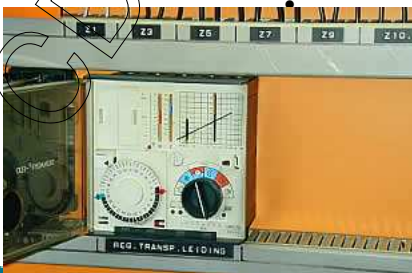
- Mesurer la T° de jour et de nuit obtenue

- Comprendre la régulation



## La régulation : les sources de dysfonctionnements

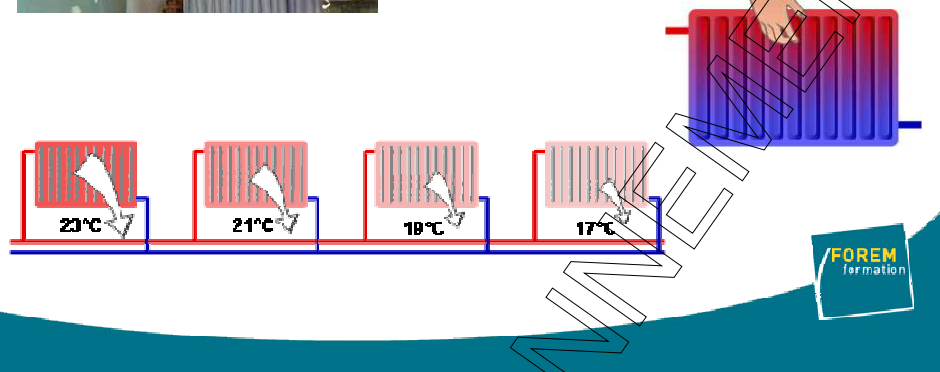
- Mauvais réglage des courbes de chauffe
- Mauvais emplacement des sondes
- Absence de vanne thermostatique dans des locaux à fort apport de chaleur



## La régulation : les sources de dysfonctionnements



- ....
- Présence de sources de chaleur incontralables
- Déséquilibre
- .....



## Placer des vannes thermostatiques ?

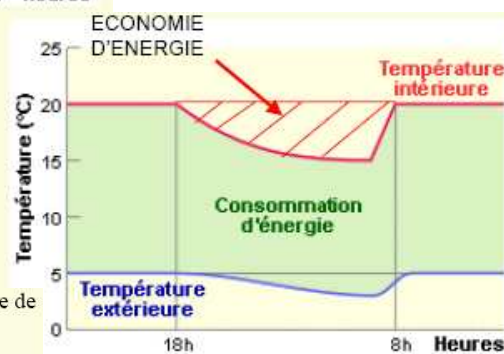
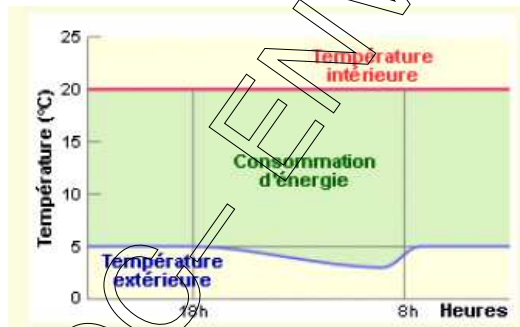


- Un immeuble de bureau de 1 000 m<sup>2</sup> consomme 15 000 L de fuel/an.
- Dans la salle de réunion de 60 m<sup>2</sup>, occupée 6h/jour, 250 jours par an, il fait systématiquement 22°C au lieu de 20°C.
- Conso de la salle :  $15\,000 / 1\,000 \times 60 = 900$  L/an
- Economie lié au placement de la vanne : réduction de 2°C en journée et de 1°C la nuit et le WE, soit 1,5°C en moyenne.
- Economie réalisable :  

$$900 \times 8 (\% / ^\circ\text{C}) \times 1,5 = 108 \text{ L / an soit } 108 \text{ € / an.}$$
- Coût d'une vanne : 12,5 ... 25 € pour une vanne classique et 25 .. 38€ pour une vanne « incassable ». Hors placement.

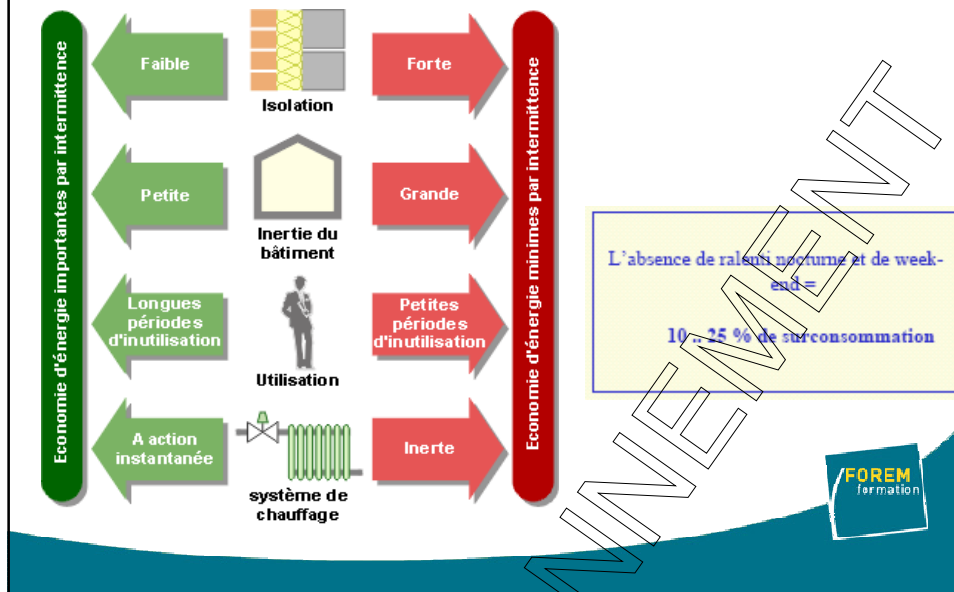
~~"Cela ne sert à rien de couper le chauffage  
durant la nuit, la chaleur économisée est  
repayée en début de journée suivante pour  
recharger les murs !"~~

**FAUX !**



- consommation proportionnelle à la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur
- minimiser cette différence de température

## Couper le chauffage en période d'inoccupation ?



## Isoler les allèges ?



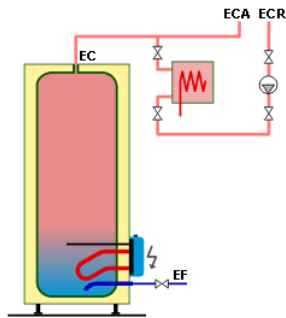
Les déperditions au travers d'un mur situé derrière un radiateur sont doubles !

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 L fuel / m<sup>2</sup>.an

Et est remboursé en 1 ... 2 ans.

## Améliorer l'eau chaude sanitaire (ECS)



Je vais prendre un bain,  
je laisse l'eau pour toi ?



## Nécessité d'une eau chaude ?



• L'eau chaude la moins chère ....  
est celle que l'on ne consomme pas

• Dans les sanitaires des bureaux,  
l'eau chaude, n'est souvent pas  
nécessaire ....



## D'abord réduire les débits

### 1. Par la pression



- On peut réduire les débits par un réducteur de pression (général ou localisé au point de puisage)

Exemple : les pommes de douche économiques permettent de passer de 30 à 8 L/mn



- Rentabilité ?
  - un mousseur revient à 5€
  - Le prix de revient du m<sup>3</sup> d'eau chaude varie entre 2 € (chauffage gaz ou fuel) à 6 € (chauffage électrique de jour BT). A additionner au 5 € / m<sup>3</sup> de l'eau froide.



## D'abord réduire les débits

### 2. Par la durée d'utilisation



Robinet à butée 0  
.. 6 .. 12 L/mn



Robinet électronique



Robinets ergonomiques



- Robinet avec bouton poussoir temporisé
- Robinet avec œil électronique d'enclenchement
- Robinet avec butée « économique »
- Robinet ergonomique



## Ensuite réguler la température

Mélangeurs ou mitigeurs ?



Mélangeur  
excentré  
pour  
favoriser  
l'usage de  
l'eau froide



Mitigeur avec limiteurs de T° et de débit

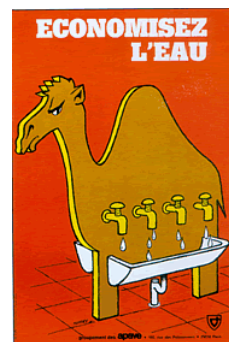
- Les mitigeurs régularisent automatiquement la température.
- Le gain est très variable, mais le mitigeur est toujours rentable. Surtout s'il y a une bonne information des utilisateurs.
- Il est fondamental dans les mesures anti légionelle.
- Prendre un mitigeur de qualité pour éviter des blocages liés au calcaire.



## L'utilisateur est-il informé du coût de l'eau ?



- Sont-ils au courant du prix de l'eau ? (+/- 5 € le m<sup>3</sup>)
- Et de l'eau chaude ? (+/- 7,5 € le m<sup>3</sup>)
- Et que donc un bain revient à environ 0,75 € ?



Un compteur sur l'eau chaude permet-il de motiver les occupants ?



## Quelle production éviter ?

- Les ballons de préparation gaz atmosphériques



Voici la fiche catalogue de l'appareil ci-contre :

Capacité : 185 L - Quantité d'eau disponible en 1 heure : 385 L avec  $\Delta T^\circ = 35\text{ K}$

Puissance utile : 9,18 kWh / Puiss enfournée : 10,2 kW  
Consommation d'entretien : 5,04 kWh / 24 h

Rendement théorique :  $9180 / 10200 = 90\%$

Si 150 L d'eau à  $45^\circ$  sont utilisés. Cela représente une énergie utile de  $0,150\text{ m}^3 \times 1,163\text{ kWh/m}^3 \cdot \text{K} \times (45-10) = 6,1\text{ kWh}$

Le rendement de stockage devient  $6,1 / (6,1 + 5,04) = 55\%$

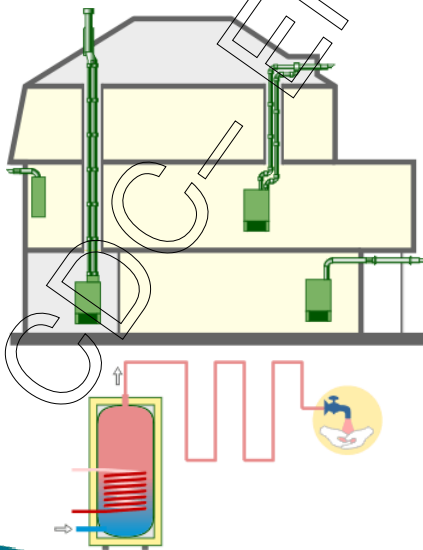
**Soit un rendement global de  $55\% \times 90\% = 50\%$**

Bien sur on a utilisé l'appareil en mode accumulation pure

Si, par contre on lui fait tirer 2000 L d'eau chaude sur la journée, le rendement se rapproche des 90% annoncés.



## Décentraliser la production ?



Pertes importantes d'énergie dans les tuyauteries ? + risques de développement de la légionelle dans les bras morts ?

⇒ Décentraliser la production

( Réglementation flamande : max : 5m et max 3 L de contenance en eau)



### Isoler les ballons et les tuyauteries

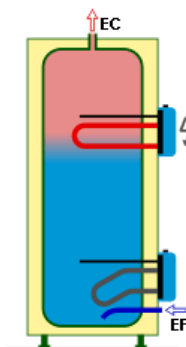


- Les déperditions sont très élevées puisque maintien permanent en T°, jour + nuit, été comme hiver.
- La boucle de circulation est toujours maintenue entre 60 ° (départ) et 55°c (retour).
- L'isolation du ballon devrait être de minimum 10 cm.
- La rentabilité est fonction de la situation initiale



### Si ballon électrique :

- le chauffage du ballon est il organisé la nuit ?
- Si tarif HT, un délestage est prévu en période de pointe ?



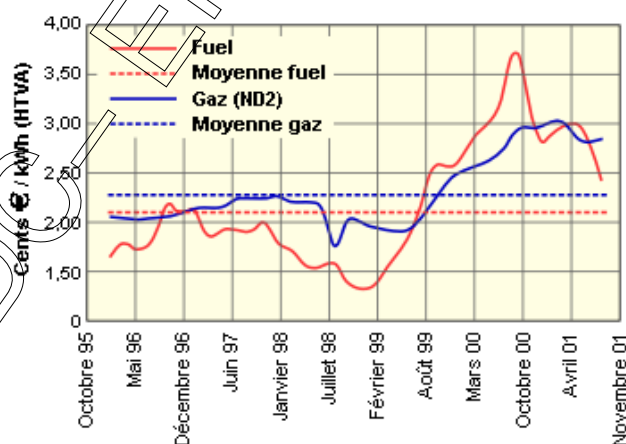
## L'analyse comparative de "Test-Achats"

Les coûts annuels repris dans le tableau englobent le coût d'investissement dans l'appareil (amorti en 15 ans) et le coût d'exploitation.  
Hypothèse : consommation de 180 litres d'eau chaude/jour (5 à 6 personnes).

	Coût annuel (amortissement + exploitation)
Chaudière murale au gaz naturel (tarif B, sans veilleuse)	189 €
Chaudière murale au gaz naturel (tarif B, avec veilleuse)	189 €
Chauffe-bain au gaz naturel (tarif B, sans veilleuse)	251 €
Chauffe-bain au gaz naturel (tarif B, avec veilleuse)	269 €
Boiler électrique 200 l (tarif exclusif nuit)	321 €
Boiler au gaz naturel 145 l (tarif B)	339 €
<b>Boiler sur chaudière à mazout 120 l</b>	355 €
<b>Boiler sur chaudière au gaz naturel 120 l</b>	366 €
Boiler électrique 200 l (tarif bihoraire)	387 €
<b>Chauffe-bain au propane en réservoir</b>	428 €
<b>Boiler au propane en réservoir</b>	587 €
<b>Chauffe-bain au propane en bouteilles</b>	615 €
Boiler électrique 150 l (tarif jour)	729 €
<b>Boiler au propane en bouteilles 145 l</b>	849 €



## Comparaison Fuel / GN



**Aider au respect des normes en matière de PEB :**  
**PRIMER**

**Isolation toiture :**  
2 ou 5€ m<sup>2</sup> (600€)

**Panneaux solaire :**  
1.500€

**Remplacement simple vitrage 25€ m<sup>2</sup> (1.000€)**

**Chauffage :**  
Chaudières gaz 300€ ou 600€;  
PAC : 1.500€ (logement neuf);  
Chaudière biomasse : 1.750€;  
Régulation thermique : 30 % invest (300€);  
Poêles et chaudières : entre 250 et 1.500€;

**Ventilation avec récupérateur de chaleur : 75% invest. (1.500€)**

**Isolation des murs : 10€ m<sup>2</sup> (1.000€)**

**Isolation du sol : 10€ m<sup>2</sup> (850€)**

**Logement neuf K<45 et syst. ventilation conforme: 1.500€**

**Audit : 50% facture (300€)**

**Thermographie : 50% facture (200€)**

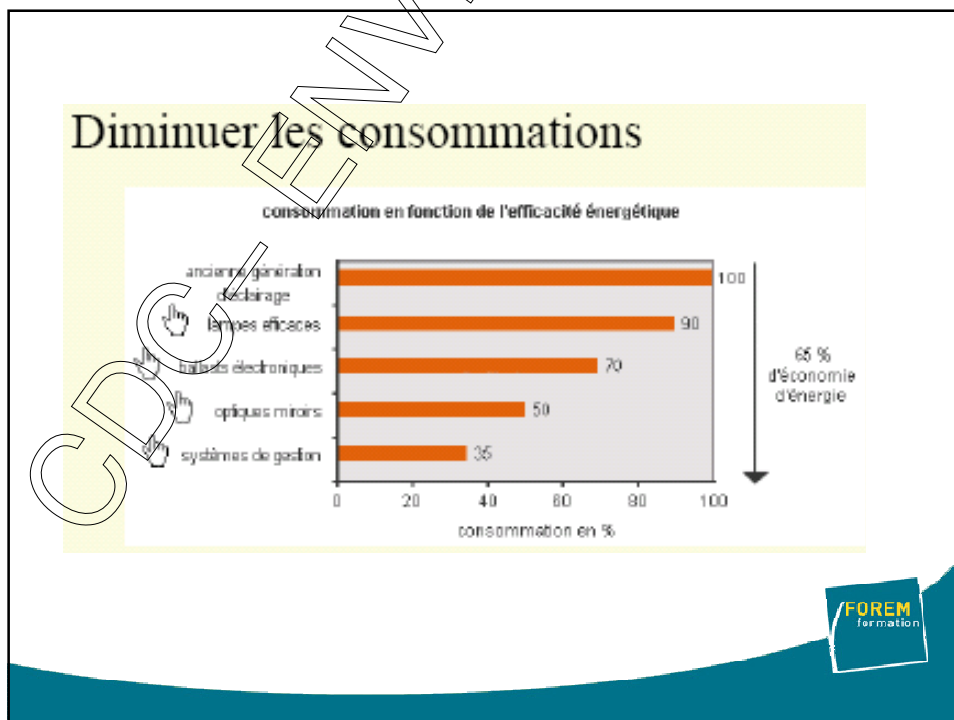
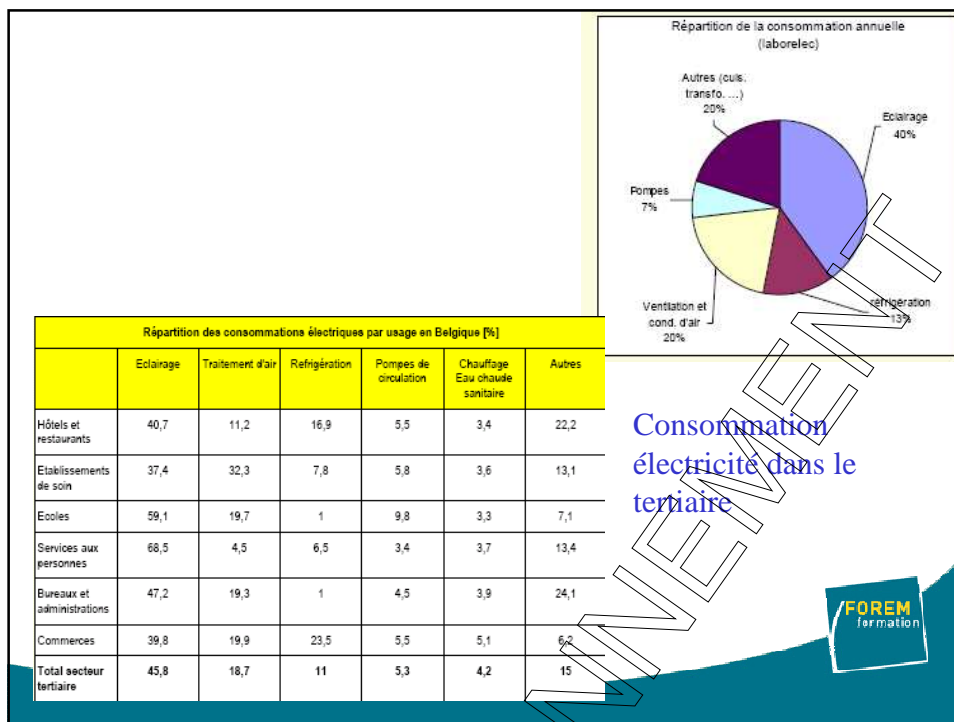
**12 M€ par an**

**Le Ministre de la Région wallonne en charge de l'Energie**

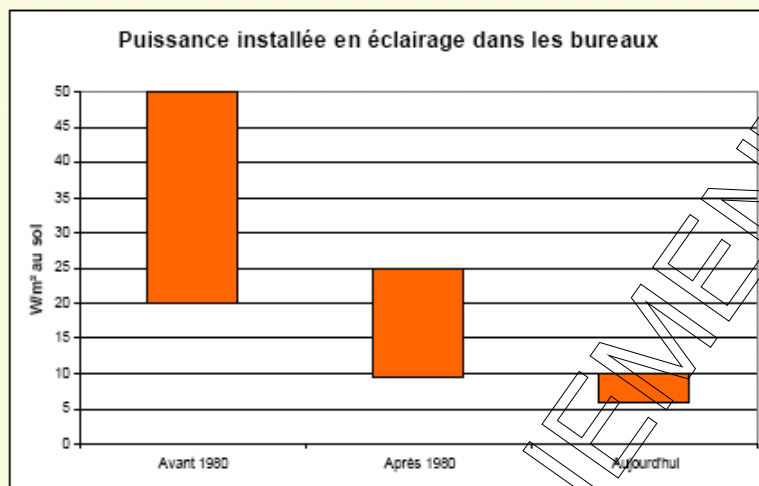
**Améliorer l'éclairage ?**

**COMMENT VEULENT-ILS QUE JE TRAVAILLE? JE NE VOIS RIEN!**

**FOREM formation**



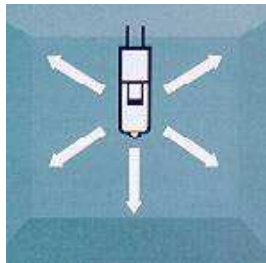
## Puissance installée



## Grandeurs photométriques - définitions

- Le flux lumineux (lm)
- L'intensité lumineuse (cd)
- La luminance (cd/m²)
- L'éclairement (lux)

## Flux lumineux

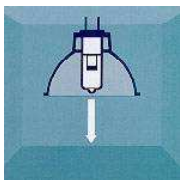


C'est la puissance lumineuse émise par une lampe, exprimée en lumens (lm).

Il permet de comparer l'efficacité lumineuse des différentes lampes, exprimée en lumens émis par watt de puissance électrique consommée (lm/W).

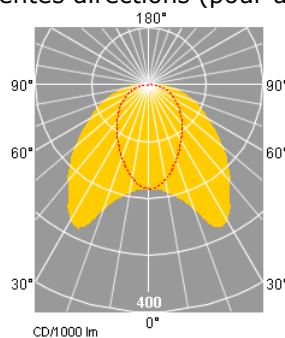


## Intensité lumineuse

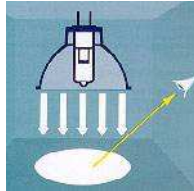


C'est la quantité de flux lumineux émise dans une direction particulière, exprimée en candélas (cd).

Elle permet de caractériser les luminaires en indiquant sur un graphe leur intensité lumineuse dans les différentes directions (pour une source lumineuse de 1 000 lm).



## Luminance



C'est la "brillance" d'une surface éclairée ou d'une source lumineuse telle que perçue par l'œil humain, exprimée en candelas par  $m^2$  ( $cd/m^2$ ).

Elle décrit l'effet de la lumière sur l'œil.



## Éclairage



C'est la quantité de flux lumineux éclairant une surface, exprimée en lumen par  $m^2$  ou lux.

La grandeur la plus représentative de la qualité de l'éclairage est la luminance. C'est en effet la lumière réfléchie que perçoit l'œil humain. Cependant celle-ci étant difficilement mesurable, ce sera l'éclairage, représentant la lumière incidente, qui sera dans la pratique considéré.



## Le niveau d'éclairage



Lorsque le niveau d'éclairage diminue, un texte écrit suffisamment grand restera parfaitement lisible, alors qu'un texte écrit petit deviendra plus difficile à lire.



## Quel niveau d'éclairage ?

- Normes : moy 500 lux

EN 12464-1 : lumière et éclairage des lieux de travail

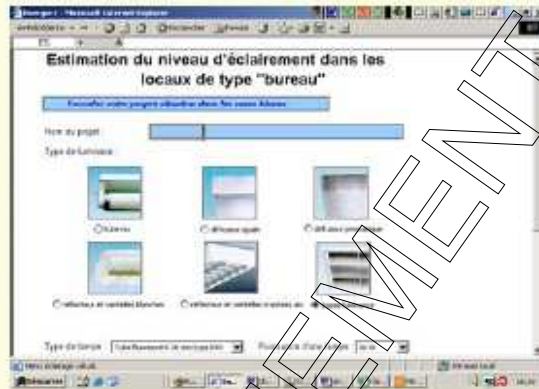


- RGPT : min 300 lux



## Evaluer le niveau d'éclairage ?

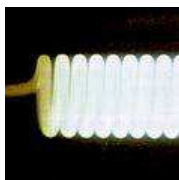
Avec un luxmètre



### Types de lampe

- Lampes à incandescences
- Lampes halogènes
- Tubes fluorescents
- Lampes fluocompacts
- Lampes à induction
- Lampes à décharges

## La lampe à incandescence



Le courant électrique passe dans le filament et le porte à une température élevée par effet Joule. Le filament devient incandescent : il émet de la lumière ainsi que de la chaleur.

Le flux lumineux des lampes à incandescence peut être diminué ou augmenté par variation de la tension ("dimming"). Cette modulation se fera cependant avec une diminution de la température de couleur et du rendement lumineux.

La durée de vie des lampes dépend fort de la tension d'exploitation : une lampe de 40 W alimentée sous 220 V a une durée de vie de 2 000 h, tandis qu'à 230 V, elle n'est plus que de 1 000 h.



## Lampes halogènes



Comme dans une lampe à incandescence classique, un courant électrique passe dans un filament de tungstène. Le passage de courant conduit à l'émission de lumière (et de chaleur). Cependant, le bulbe en verre est rempli d'un gaz halogène qui permet aux particules de tungstène de se redéposer sur le filament après volatilisation et empêche donc tout noircissement de l'ampoule.

La recombinaison chimique permet d'obtenir une plus longue durée de vie qu'avec une lampe à incandescence classique.

Le bon fonctionnement de la lampe exige une haute température de paroi (200 à 600°C), c'est pourquoi on utilise une ampoule en quartz.

La température plus élevée du filament permet d'obtenir davantage de lumière pour une même consommation d'énergie.

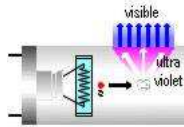


## Tubes fluorescents



Les lampes fluorescentes font partie des lampes à décharge. Elles fonctionnent par décharge d'un courant électrique dans une atmosphère gazeuse de vapeur de mercure. Les lampes fluorescentes utilisent de la vapeur de mercure sous basse pression.

Lorsqu'on met le tube sous tension, des électrons sont émis par les deux électrodes de tungstène. Lors de leur trajet au travers du tube, ils entrent en collision avec les atomes de mercure. Il en résulte une libération d'énergie sous forme de rayonnement ultraviolet invisible. Ce rayonnement est absorbé par la couche fluorescente présente sur la face interne du tube et converti en rayonnement visible.



La composition chimique de la couche fluorescente placée à l'intérieur du tube influence la couleur de la lumière émise et l'indice de rendu des couleurs de la lampe.



Il existe 3 grands types de tubes fluorescents :

- T12 ou T38 : de diamètre 38 mm, efficacité lumineuse = 40 à 65 lm/W;

- T8 ou T26 : de diamètre 26 mm, efficacité lumineuse = 80 à 95 lm/W (à 25°C de température ambiante);

- T5 ou T16 : de diamètre 16 mm, efficacité lumineuse = 95 à 105 lm/W (à 35°C de température ambiante).





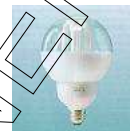
## Lampes fluocompactes



Une lampe fluocompacte fonctionne comme un tube fluorescent mais le tube est replié de manière à la rendre plus compacte. On trouve sur le marché des lampes fluocompactes à profusion

Le flux lumineux et l'efficacité lumineuse des lampes fluocompactes chutent très fort avec la température ambiante. A tel point que certaines lampes ne s'allument plus en dessous de 0°C ! Il est donc déconseillé de les utiliser à l'extérieur. Néanmoins les lampes enfermées dans un globe ou à 4 tubes résistent mieux au froid que les lampes à 2 tubes, car la chaleur y est mieux conservée.

Utilisant la même technologie que les tubes fluorescents, leur durée de vie dépend du nombre d'allumages et du ballast utilisé.



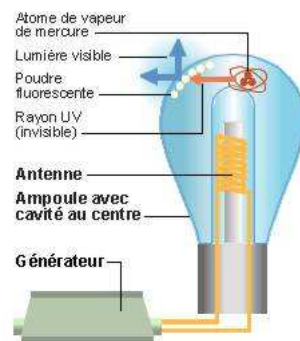
## Lampes à induction

La lampe à induction est une lampe à mercure basse pression comme le tube fluorescent et la lampe fluocompacte

Comme dans la lampe fluorescente, la lumière est produite par ionisation des atomes de gaz présents dans l'ampoule. Les rayonnements invisibles produits, sont rendus visibles grâce à une poudre fluorescente présente sur la face interne de l'ampoule.

Dans une lampe à induction, il n'y a pas d'électrode. L'ionisation des atomes est réalisée par un champ électromagnétique créé par la circulation d'un courant à haute fréquence dans une bobine appelée "antenne".

Cette bobine est placée au centre de l'ampoule dans la cavité prévue à cet effet. Le courant à haute fréquence est produit par un générateur extérieur. Celui-ci est directement relié à l'antenne.



La durée de vie de cette lampe est exceptionnelle. Après 60 000 heures, le flux lumineux est descendu à 70 % du flux initial, et 20 % des lampes sont mortes.

C'est le fait que l'antenne soit placée à l'extérieur de l'ampoule qui permet d'obtenir cette durée de vie exceptionnelle. En effet, aucune usure ne se produit sur les composants puisqu'il n'y a plus ni électrode, ni filament.

Puissance du système (W)	Flux lumineux (lm)	Efficacité lumineuse (lm/W)	IRC	T° couleur (K)	Durée vie (h) (20 % de mortalité, 30 % de chute de flux)	Prix brut (HTVA) en €
55	3 500	65	80	2 700	60 000	130
85	6 000	70	80	3 000		130
165	12 000	70	80	4 000		230

La température de couleur (exprimée en Kelvins) représente la couleur de la lumière émise par une lampe. On parlera généralement de teinte chaude ( $t^{\circ} < 3\,000\text{ K}$ ) ou froide ( $t^{\circ} > 3\,000\text{ K}$ ). La couleur apparente de la source a des effets psychologiques agréables ou désagréables mais n'influence nullement les performances visuelles.



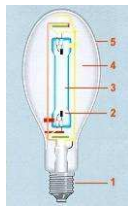
## Lampes à décharge

On reprend généralement sous la dénomination "lampes à décharge" :

- les lampes à décharge "haute pression" (lampe au sodium haute pression, aux halogénures métalliques ou au mercure haute pression)
- et les lampes au sodium basse pression.

Les tubes fluorescents, les lampes fluocompactes et les lampes à induction sont aussi des lampes à décharge (la lumière est produite par une décharge électrique dans un gaz), mais on parlera plutôt de "lampes fluorescentes" pour les deux premières et de lampe à induction





1. Socle
2. Électrodes
3. Tube à décharge
4. Ampoule
5. Revêtement fluorescent (éventuel)

- Elles ont un flux lumineux élevé et un bon rendement.
- Pour certaines applications (bureaux par exemple), il faut une protection contre les U.V.
- Les lampes aux halogénures métalliques ne sont pas stables dans le temps, la couleur de ces lampes peut devenir bleue ou rose après un certain temps.
- Elles ont une position de fonctionnement bien déterminée.
- A l'allumage, le flux lumineux nominal n'est atteint qu'après plusieurs minutes et après extinction, le réamorçage ne peut se faire qu'après une dizaine de minutes.
- Ces lampes peuvent exploser, il faut donc les utiliser avec une glace protection.



## Choix du système d'éclairage : direct ou indirect ?

Comparaison de cinq types d'éclairage pour un même niveau d'éclairement au niveau du plan de travail : 400 lux

Type d'éclairage	direct	deux composantes	mixte	deux composantes	indirect
Éclairement au sol	> 400 lux	> 200 lux	> 200 lux	> 200 lux	> 400 lux
Type de lampes	Tubes fluos	Tubes fluos + fluocompactes	Tubes fluos et/ou fluocompactes	Fluocompactes + iodures métalliques	Iodures métalliques
Investissement	faible	moyen	élevé	élevé	très élevé
Puissance installée	11 - 16 W/m <sup>2</sup>	9 - 12 W/m <sup>2</sup>	9 - 14 W/m <sup>2</sup>	15 - 20 W/m <sup>2</sup>	18 - 23 W/m <sup>2</sup>
Coûts d'exploitation	moyen	moyen	moyen	élevé	très élevé

• Seuls les trois premiers systèmes respectent le critère d'efficacité énergétique "2,5 W/m<sup>2</sup>/100 lux" (ou 10 W/m<sup>2</sup> pour 400 lux).

• L'éclairage indirect ne présente jamais un très bon rendement et demande un coût d'investissement assez élevé. Ce type d'éclairage ne devrait être utilisé que dans des bureaux de prestige pour lesquels l'ambiance créée par l'éclairage prédomine sur sa fonctionnalité.



## Remplacer les luminaires ?



Avant : 44 W / m<sup>2</sup>



Après : 12 W / m<sup>2</sup>

- Puissance à atteindre :

10 ... 12 W / m<sup>2</sup> (bureaux)

... 7,5 ... W / m<sup>2</sup> (classes)

avec luminaires haut rendement et ballasts électroniques

- Si luminaires opalins, tubes nus, ballasts électromagnétiques ....

20 W / m<sup>2</sup>



## Rentabilité du remplacement

- Bureau de 60 m<sup>2</sup>, 15 luminaires (luminaires 2 x 36 W opalins, ballasts électromagnétiques, 2 500 h / an de fonctionnement)

- Consommation initial : 15 x 2 x 36 W x 2 500 h / an = 3 240 kWh / an (364 € / an)

- Consommation si luminaires performants : 10 W / m<sup>2</sup> x 60 m<sup>2</sup> x 2 500 h / an = 1 500 kWh / an (169 € / an)


- Gain : 195 € / an

- Investissement : 8 x (100 .. 150 €) = 800 .. 1 200 €

- TR = 4,1 .. 6,1 ans



## Remplacement des tubes fluorescents

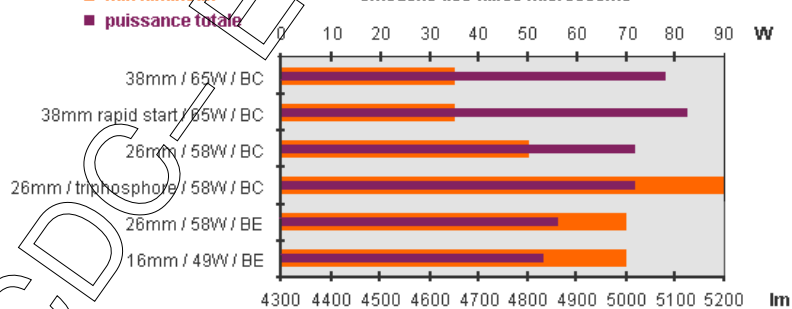
Puissances		Économie escomptée	Temps de retour
		8 %	2 ans
<b>Avant</b>	<b>Après</b>		
20 W	18 W		
40 W	36 W		
65 W	58 W		

Il est intéressant de remplacer les tubes fluorescents de 38 mm (ancienne génération) par des tubes de 26 mm qui ont une efficacité lumineuse supérieure. Ils ont la même longueur, le même culot et utilisent les mêmes ballasts (à l'exception des tubes fluorescents à allumage rapide). Ils sont donc directement interchangeables.



■ flux lumineux  
■ puissance totale

efficacité des tubes fluorescents



BC : ballast conventionnel BE : ballast électronique



## Remplacement des tubes 26 mm (T8) par des tubes 16 mm (T5)

Y a-t-il un intérêt particulier à remplacer les lampes T8 par des lampes T5 ?

A priori non, pour la simple raison qu'il faut modifier tout l'équipement du luminaire. En effet, les tubes de 16 mm sont plus courts que ceux de 38 mm et de 26 mm, ce qui impose de remplacer également les luminaires.

Description	T8			T5		
Puissance (W)	18	36	58	14	28	35
Longueur (mm)	600	1 200	1 500	550	1 150	1 450

Même si l'efficacité lumineuse des lampes T5 (à une température ambiante de 35°C) est meilleure que celle des lampes T8 (à une température ambiante de 25 °C) et sachant que les conditions d'ambiance sont différentes d'un projet à l'autre, il ne faut pas tirer de conclusion hâtive en privilégiant une lampe plutôt que l'autre.



## Remplacement des lampes à incandescence par des lampes halogènes

Puissances		Économie escomptée	Temps de retour
Avant	Après	70 à 75 %	2 à 3 ans



E14



E27

Lorsque le niveau d'éclairage n'est pas suffisant, il est intéressant de remplacer les lampes incandescentes traditionnelles par des lampes halogènes prévues pour une tension de 220 V et équipées d'un culot E14 ou E27.

Il faut s'assurer cependant que la dimension de la nouvelle lampe est compatible avec l'ancien réflecteur.

La gamme des puissances étant limitée, les puissances installées seront sensiblement conservées, mais la meilleure efficacité lumineuse des lampes halogènes permettra une augmentation du niveau d'éclairage. On profitera, de plus, d'une durée de vie supérieure (jusqu'à 2 000 heures).



## Luminaires à remplacer

Perte 50%



Réflecteur peint



Tube nu

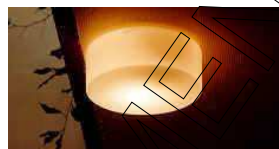


Luminaire indirect

Perte 70%



Diffuseurs  
opalins



Diffuseur en micro-grille  
pertes = 75 %



## Des lampes à remplacer ?



10 .. 20 lm/W



20 .. 80 lm/W



80 .. 105 lm/W

Pour délivrer un flux lumineux de 200 lm, il faut :

- un tube fluorescent (16 mm) de 21 W
- ou une lampe incandescence de 150 W !!!



Types de lampe	Puissances (W)	Flux lumineux (lm)	Efficacité lumineuse (sans ballast) (lm/W)	Durée de vie utile (h)	Durée de vie moyenne (h)	Prix brut (HTVA) (c€/lm)
<u>Incandescente normale</u>	25 à 500	220 à 8 400	9 à 17		1 000	0,225 à 0,075
<u>Incandescente halogène (tension du réseau)</u>	40 à 2 000	500 à 50 000	13 à 25		2 000	1 à 0,2
<u>Tube fluorescent</u>	14 à 80	1 100 à 6 150	64 à 104	8 000 à 16 000	14 000 à 18 000	0,4 à 0,075
<u>Fluo-compacte</u>	5 à 55	200 à 4 800	39 à 87	10 000	8 000 à 13 000	7,5 à 0,2
<u>Halogénures métalliques</u>	35 à 2 000	3 400 à 189 000	68 à 96	6 000 à 10 000	10 000 à 18 000	2,2 à 0,1
<u>Sodium haute pression</u>	35 à 1 000	1 300 à 130 000	37 à 130	12 000 à 16 000	25 000	4,425 à 0,1
<u>Sodium basse pression</u>	35 à 180	4 550 à 32 500	130 à 180	10 000	18 000	0,625 à 0,2

**La durée de vie moyenne** d'un lot de lampes est le nombre d'heures pendant lesquelles ces lampes ont fonctionné jusqu'au moment où 50 % d'entre elles ne fonctionnent plus.

**La durée de vie utile** d'un lot de lampes est le nombre d'heures après lequel elles n'émettent plus que 80 % du flux lumineux d'origine. La perte de 20 % du flux lumineux provient d'une part de la diminution progressive du flux des lampes et d'autre part de l'arrêt de fonctionnement d'un certain nombre de lampes.

Elle correspond également à **la durée de service**, c'est-à-dire la durée après laquelle les lampes doivent être remplacées.

### Remplacer des lampes incandescentes par des fluo-compactes



- une lampe de 80 W fonctionnant 2 500 h /an

consommation :  $80 \times 2\,500 = 200 \text{ kWh / an}$  ou 22€ / an



- remplacée par une lampe fluo compact de 15 W

consommation :  $15 \times 2\,500 = 38 \text{ kWh / an}$  soit 4 € / an




- durée de vie x 12

- gain 18 € / an

- TR = 1 an



### Remplacement des lampes à incandescence par des lampes fluorescentes compactes

Puissances		Économie escomptée	Temps de retour
			
<b>Avant</b>	<b>Après</b>	40 à 70 %	1 à 3 ans
25 W	7 W		
40 W	9..11 W		
60 W	13..15 W		
75 W	18..20 W		
100 W	25 W		

Une lampe à incandescence( efficacité lumineuse : 10 - 12 lm/W) peut être tout simplement remplacée par une lampe fluorescente compacte. Son efficacité lumineuse est de 60 à 80 lm/W, ce qui permet une diminution importante de la puissance installée



### 3. Ballasts électromagnétiques ?



Ballasts traditionnels ou électromagnétiques



Ballasts électroniques

Perte = -20 % par rapport aux ballasts électromagnétique

+ double la durée de vie de la lampe

+ ...



### Remplacer uniquement les ballasts ?



Ballast électromagnétique



Ballast électronique

- Peu rentable !
- 1 Luminaire 2 x 36 W avec 2 ballasts électromagnétiques (2 500 h / an)
- remplacés par un ballast électronique 2 x 36 W :
  - facture passe de 25 à 21 € / an
  - coût de remplacement lampe passe de 2 à 1 € / an
  - gain total 5 € / an
  - coût du ballast électronique : 27 €
  - coût de la filerie : 6 €
  - coût de la MO : 30 €
  - coût total : 63 €
- TR = 13 ans



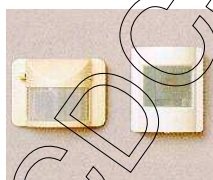
## Améliorer la maintenance



Encrassement des lampes et luminaires = chute de l'éclairement  
de 10 à 15 % par an



## Améliorer la gestion de l'éclairage ?

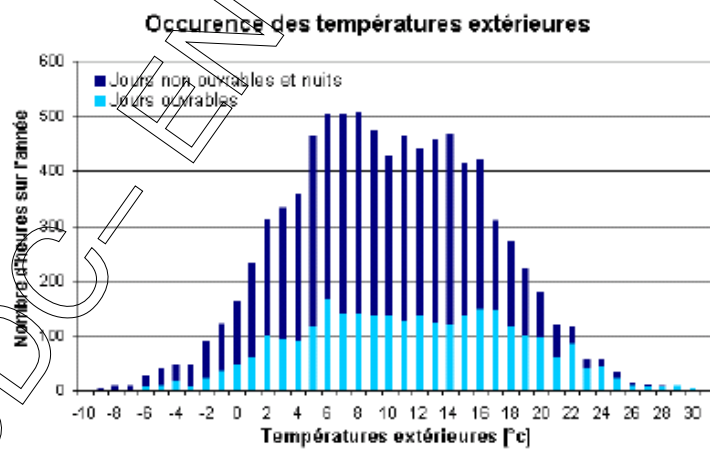


- Existe-t-il des zones éclairées inoccupées (de jour ? de nuit ?) ou bénéficiant d'un éclairage naturel important ?
- Détection de présence, minuterie ou horloge ?
  - TR souhaité : 3 .. 4 ans
  - Economie nécessaire avec un détecteur de 200€ : 750 .. 1000 kWh/an (à 0,065 € / kWh)
  - Par exemple : 1 000 kWh/an gérable par un détecteur = 17 lampes de 58 W allumées inutilement pendant 1 000 h/an
- Gestion en fonction de l'éclairage naturel ?
  - 30 % d'économie mais peu rentable
  - Demande le remplacement des ballasts
- Envisager le déplacement ou le rajout d'interrupteurs ?



<http://fr.euronews.net/2009/02/25/a-new-light-on-energy-efficiency/>

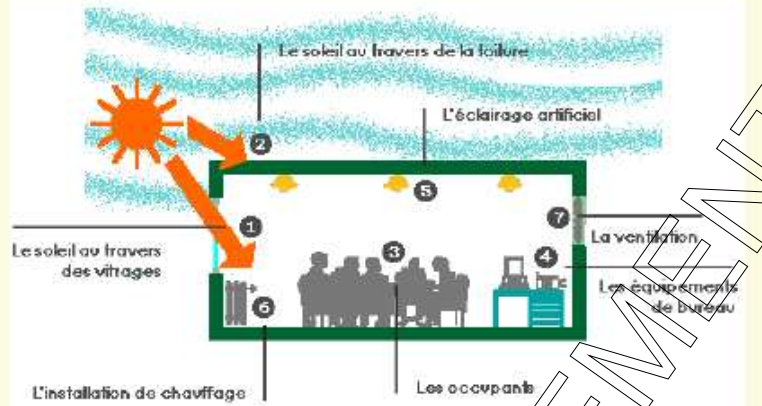
## Améliorer le conditionnement d'air



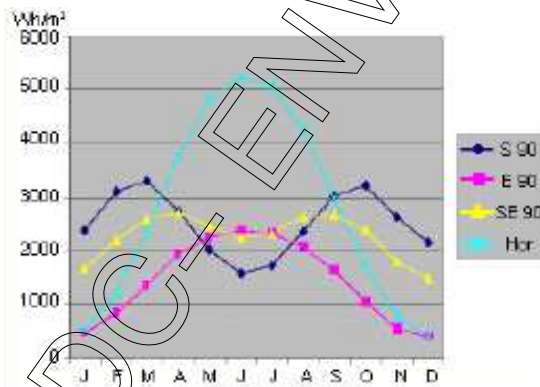
→ La T° ext. dépasse 24°C durant 150 h/an, soit 2 % du temps...



→ Nécessité de développer une stratégie globale !



C'est d'abord la composition architecturale (vitrages), c'est l'équipement intérieur (bureautique, éclairage, ...), ... qui créent la demande !



Apports solaires par ciel serein en fonction de l'orientation.



Oui à ce judicieux équilibre de lumière et de chaleur, ... et à la forte inertie intérieure !

## Diminuer le taux d'air neuf ?



- **Ratio** : débit d'air neuf pulsé / nombre de personnes effectivement présentes ?

⇒ Valeur moyenne idéale :  $30 \text{ m}^3 / \text{h} / \text{pers}$

Chauffer  $1.000 \text{ m}^3 / \text{h}$  / saison de chauffe  
demande 1.000 litres de fuel  
(horaire de bureau : 10h / 5j/7)

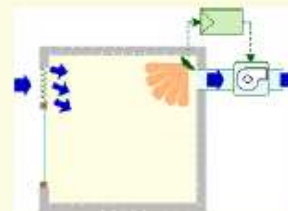


> Moduler le débit d'air neuf en fonction de la présence effective des occupants.

- C'est rentable si on peut économiser le traitement de  $2.000.000 \text{ m}^3$  (soit  $1.000 \text{ m}^3 / \text{h} \times 2.000 \text{ h}$ ).

- **Outils :**

- Détecteur de présence
- Sonde CO<sub>2</sub>
- horloge (cafeteria, cuisine)
- ...



Gestion d'un système unizone simple flux



## Couper la ventilation la nuit et le week-end !

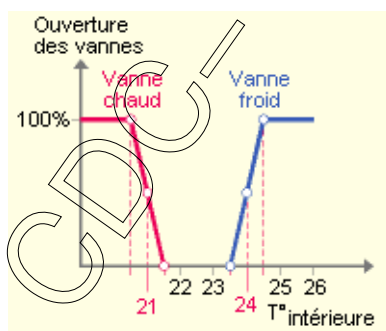


- Heures de bureaux = 50h/semaine... alors qu'une semaine dure  $7 \times 24 \text{ h} = 168 \text{ h}$  !

-> faut-il en déduire que la ventilation mécanique s'impose ?



## Existence d'une zone neutre entre chauffage et refroidissement ?



Localement : garder une consigne flottante entre chauffage et refroidissement

..... pour éviter toute destruction d'énergie entre chaud et froid.

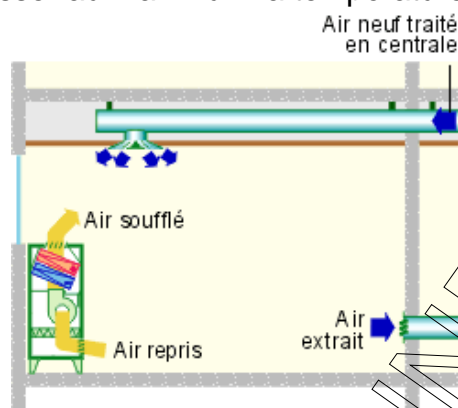
Au niveau central : bloquer l'enclenchement du groupe de froid en dessous de .... 13°C .... 15°C extérieur.



### Quelle température de pulsion de l'air neuf ?

En mi-saison, l'air neuf, n'est il pas chauffé en centrale alors que l'on refroidit les locaux ?

⇒ Abaisser au maximum la température de pulsion.



### limiter les consommations des équipements

La meilleure économie, c'est d'abord de limiter les besoins de l'installation :

En diminuant **l'éclairage**, le gain est double dans un local climatisé : gain sur la consommation directe de l'éclairage et gain sur la chaleur que l'éclairage dégage (1 kWh de lumière = 1 kWh de chaleur dans le local).

Il en est de même pour **la bureautique** : ordinateurs, photocopieuses, imprimantes, ...

En première approximation, éclairage et bureautique dépasse 50 % de la facture énergétique du bâtiment !



### Limiter les apports solaires par des stores

- Le store extérieur à lamelle est la protection très efficace la plus simple.
- La gestion des stores sera particulièrement étudiée et discutée avec les occupants.
- En cas d'inoccupation des locaux, laisser les stores fermés, ce qui est particulièrement valable le week-end.
- Fermer les stores en façade Est dès le matin, avant que la chaleur ne rentre.



### Stopper l'humidification en mi-saison

L'humidification est nécessaire en plein hiver car l'air réchauffé est alors trop sec.

Par contre, l'humidification en mi-saison est coûteuse et porteuse de soucis bactériologiques. Un simple arrêt de l'humidification en fonction de la température extérieure est possible.

Qui dit arrêt, dit vidange de l'installation pour éviter la contamination liée aux eaux stagnantes.



### Vérifier le paramétrage de la régulation

Il est facile de se rendre compte si une régulation est bien programmée : il faut venir dans le bâtiment au moment où l'installation est sensée être à l'arrêt !

Venir le soir pour voir si l'extracteur sanitaire est arrêté, venir le WE pour voir si le climatiseur est arrêté, ...

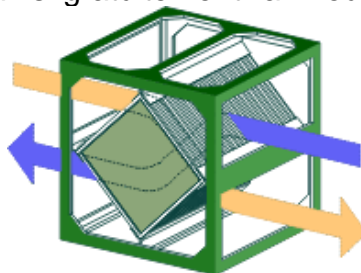
Ou vérifier la programmation établie sur le régulateur



### Récupérer l'énergie contenue dans l'air extrait du bâtiment

L'air extrait par les sanitaires est probablement vicié, mais sa chaleur peut encore être utilisée.

En plaçant un échangeur de chaleur sur le conduit d'extraction, on peut récupérer 50 % de l'énergie thermique et préchauffer ainsi gratuitement l'air neuf entrant dans le bâtiment.



### Amélioration 2 : Récupération de chaleur

Est-il possible de récupérer la chaleur de l'air extrait pour préchauffer l'air neuf ?

- Placer un récupérateur de chaleur : "rentable" en moins de 5 ans si
  - débit d'air > 10.000 m<sup>3</sup>/h en fonctionnement 10 h/jour
  - débit d'air > 4.000 m<sup>3</sup>/h en fonctionnement 24 h/ 24

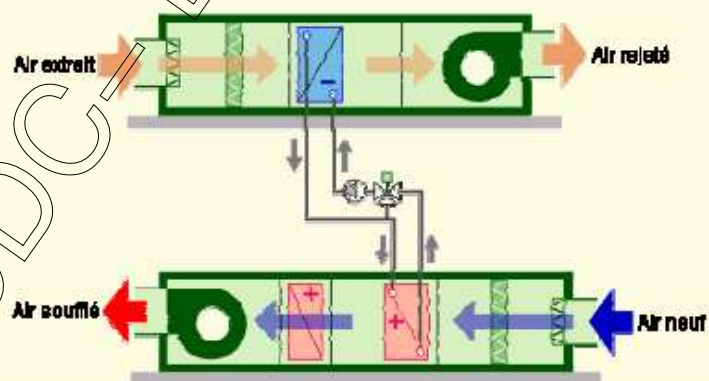


Récupérateur à plaques dans un caisson de traitement d'air

Attention au besoin de by-pass en mi-saison !



Si les conduites ne sont pas proches l'une de l'autre,  
→ récupérateur à eau glycolée



### Favoriser le refroidissement nocturne

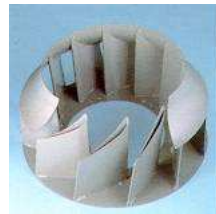
Il faut étudier dans quelle mesure il ne serait pas éventuellement intéressant de refroidir partiellement la nuit, soit avec la ventilation seule (mais nécessité d'un Delta T° de 8°C minimum), soit en accompagnement avec le groupe froid, au tarif réduit.



### Améliorer le rendement du ventilateur et de son entraînement

Plus d'un tiers de la consommation électrique d'un système de ventilation mécanique sert à compenser les pertes de l'ensemble moteur-transmission-ventilateur.

Or, les récents développements aérauliques ont permis une nette amélioration du rendement des ventilateurs. Dès lors, il est bon de se demander s'il n'est pas possible de remplacer les ventilateurs existants par des ventilateurs nettement moins énergivores.



**Analyser les possibilités spécifiques de chaque système de climatisation ou du groupe frigorifique qui lui est associé**

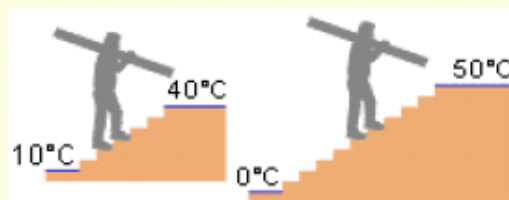
Ce qui précède vous permet de réaliser les plus grosses économies énergétiques. Mais de multiples possibilités d'améliorations du fonctionnement des appareils existants sont possibles.

Il vous faut alors entrer dans l'analyse spécifique du système de climatisation qui est installé dans votre bâtiment.



**Performance de la machine frigorifique ?**

Objectif : peut-on augmenter la température d'évaporation et diminuer la température de condensation ?



1°C en plus à l'évaporateur, c'est 3 % de consommation en moins.  
1°C en moins au condenseur, c'est 3 % de consommation en moins.



### Le free-cooling

Le "free cooling" consiste à refroidir un bâtiment par ventilation en utilisant l'énergie gratuite de l'air extérieur lorsque celui-ci présente une température inférieure à la température intérieure :

- En hiver, de l'air frais extérieur peut alimenter, en journée, les zones à rafraîchir sans nécessiter l'enclenchement des groupes frigorifiques.
- En été, une ventilation nocturne peut décharger le bâtiment de la chaleur accumulée en journée



### Exemple :

Un bureau a des besoins en refroidissement de 2 000 W. La température intérieure de consigne est de 26°C.

Lorsque la température extérieure est inférieure à 16°C, on peut refroidir ce bureau par free cooling diurne grâce à un débit d'air à 16°C de :

$$2\,000 \text{ [W]} / (26 \text{ [}^\circ\text{C]} - 16 \text{ [}^\circ\text{C]}) / 0,34 \text{ [W/(m}^3\text{/h).}^\circ\text{C]} = 588 \text{ [m}^3\text{/h]},$$

Avec un réseau ayant une perte de charge globale de 1 500 Pa et des ventilateurs ayant un rendement global de 65 %, cela entraîne une puissance absorbée du ventilateur de :

$$588 \text{ [m}^3\text{/h]} \times 1\,500 \text{ [Pa]} / 0,65 = 377 \text{ [W]},$$



Si on évacue les 2 000 W d'apports calorifiques au moyen d'un ventilo convecteur alimenté par une machine frigorifique ayant une efficacité frigorifique de 3, la puissance électrique absorbée sera de :

$$2\,000 \text{ [W]} / 3 = 667 \text{ [W]},$$

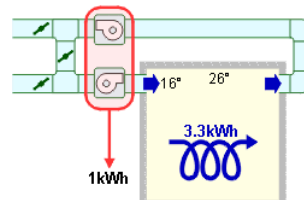
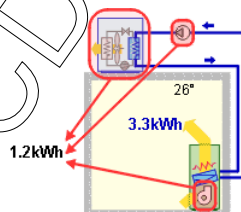
à laquelle vient s'ajouter environ 50 W dus au ventilateur du ventilo convecteur et à la pompe de circulation d'eau glacée.

On en arrive à une puissance totale de 717 [W], soit 90 % de plus que dans le cas du free cooling.



*Attention, cette différence n'est plus que de 20 % si la perte de charge du réseau est de 2 000 Pa et l'efficacité frigorifique de la production de froid, de 3,5. Si la perte charge est encore plus élevée, le free cooling sera plus énergivore que la climatisation, du fait de la consommation des ventilateurs.*

*Les conclusions changent également en défaveur du free cooling si la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur est réduite, par exemple si on pulse de l'air à 16°C, dans une ambiance à 22°C, le débit d'air donc la consommation des ventilateurs augmentera pour maintenir une même puissance frigorifique.*





Grille insérée le soir



Ouverture motorisée

