

## I) Bilan thermique du bâtiment

Effectuer un bilan thermique permet de calculer les besoins en chauffage et en climatisation d'un bâtiment.

Ce bilan se décompose en plusieurs étapes.

### a) Calculs des apports thermiques internes des occupants.

Tout d'abord il faut calculer les apports thermiques internes des occupants. Il est assez difficile de pouvoir déterminer les calories émises par le corps humain, cela dépend du sexe, de l'activité, la corpulence... Cependant une estimation peut être acceptée par défaut : une personne assise et habillée normalement, dans une ambiance calme et à une température de 20°C émet 120 W. Alors qu'une personne en pleine activité, peut émettre jusqu'à 300W.

Toute fois pour mettre tout le monde d'accord la norme RT 2000 impose une valeur par défaut de 4W/m<sup>2</sup>.

Voici la formule :  $Q_i = 4 \times A_{\text{bât}} \times 24$

$Q_i$  est l'apport thermique en Wh

$A_{\text{bât}}$  est la surface fonctionnelle du bâtiment en m<sup>2</sup>

24 est le nombre d'heure dans une journée

### **Applications numériques :**

Pour le centre hospitalier de Luxeuil on a une surface de 7600 m<sup>2</sup> donc

$$\Rightarrow Q_i = 4 \times 7600 \times 24 = 730 \text{ kWh}$$

### b) Calculs des apports solaires

Les apports solaires dépendent du site où se situe le bâtiment, des surfaces réceptrices et de l'orientation.

Voici la formule :  $Q_s = \sum (I_{sj} \times A_{sj}) \times 24$

$Q_s$  est l'apport thermique en Wh

La somme s'effectue sur toute les orientations de « j » où :

- $I_{sj}$  est l'irradiation solaire pour l'orientation « j », elle s'exprime en W/m<sup>2</sup> (voir tableau en annexe)
- $A_{sj}$  est l'aire réceptrice équivalente d'orientation « j », en m<sup>2</sup>. Cette aire,  $A_s$ , se calcule de cette manière :

$$A_s = A \times F_s \times S$$

$A$  est la surface du bâtiment prise pour les calculs

$F_s$  est le facteur de correction pour l'ombrage :

$$\Rightarrow \text{Pour le nord, } F_s = 0.89$$

$$\Rightarrow \text{Pour le sud, } F_s = 0.72$$

$$\Rightarrow \text{Pour l'est et l'ouest, } F_s = 0.67$$

S est le facteur solaire. Le facteur solaire est le pourcentage d'énergie entrant dans un local par rapport à l'énergie solaire incidente.

Pour la menuiserie bois  $S = 0.44$ , pour la menuiserie PVC  $S = 0.42$ , pour la menuiserie  $S = 0.46$ .

### Applications numériques :

Exemple pour le mois de janvier :

Notre hôpital se situe en zone H1 ( département 70, voir carte en annexe), pour le mois de janvier avec menuiserie PVC

Valeur de  $I_s$  :

- ⇒  $I_{snord} = 18.4$
- ⇒  $I_{sest} = 25$
- ⇒  $I_{souest} = 23.4$
- ⇒  $I_{ssud} = 44.3$

Surface des ouvertures coté nord =  $182.68m^2$

Surface des ouvertures coté est =  $146.35m^2$

Surface des ouvertures coté ouest =  $194.727m^2$

Surface des ouvertures coté sud =  $331.82m^2$

Ensuite on détermine  $A_{sj}$  :

- ⇒  $A_{snord} = 182.68 \times 0.89 \times 0.42 = 62.9m^2$
- ⇒  $A_{sest} = 146.35 \times 0.67 \times 0.42 = 41.18m^2$
- ⇒  $A_{souest} = 194.727 \times 0.67 \times 0.42 = 54.8m^2$
- ⇒  $A_{ssud} = 331.82 \times 0.72 \times 0.42 = 100.34m^2$

Puis on calcul  $Q_{sj}$  :

- ⇒  $Q_{snord} = 18.4 \times 62.9 = 1157.36W$
- ⇒  $Q_{sest} = 25 \times 41.18 = 1029.5W$
- ⇒  $Q_{souest} = 23.4 \times 54.8 = 1282.32W$
- ⇒  $Q_{ssud} = 44.3 \times 100.34 = 4445.06W$

Pour finir on calcul les apports solaires :

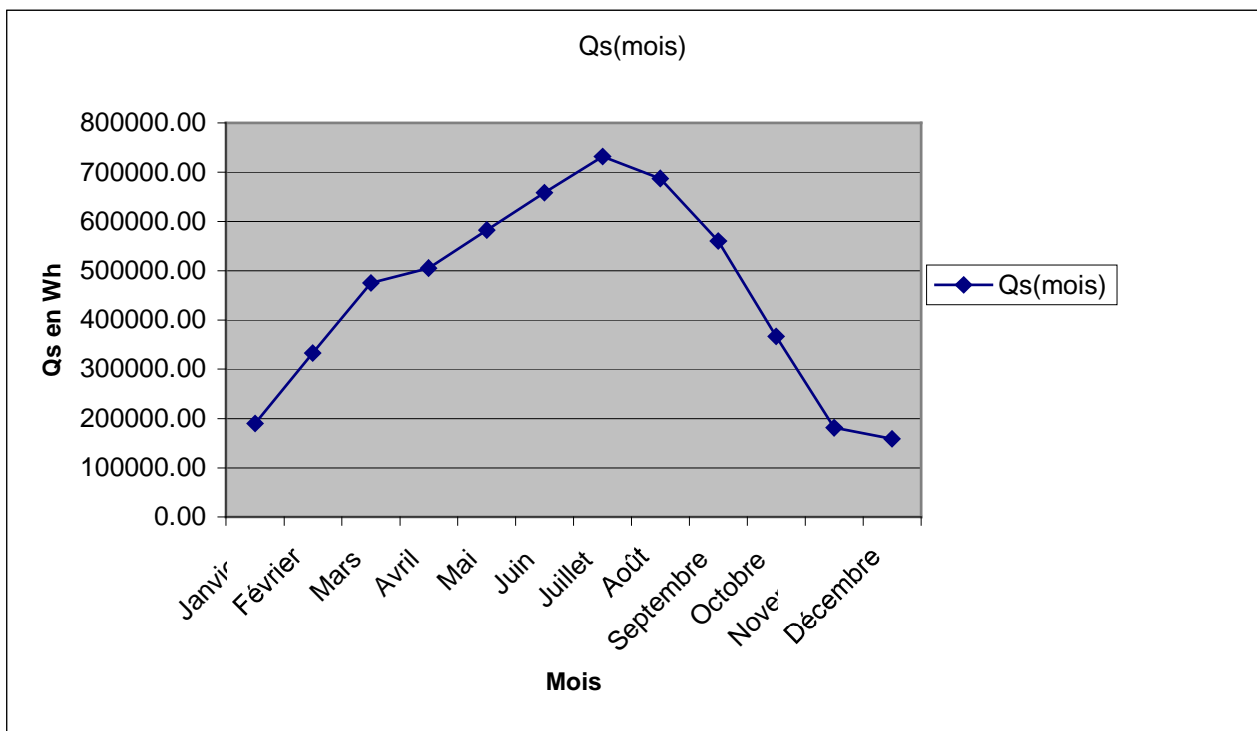
- ⇒  $Q_s = ( 1157.36 + 1029.5 + 1282.32 + 4445.06 ) \times 24 = 189941Wh$

Apports solaires pour toute l'année :

Tableau de calculs :

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Is sud	44.30	76.20	99.50	94.10	99.40	107.40
Is ouest	23.40	46.40	72.40	80.20	97.40	116.80
Is nord	18.40	30.90	46.70	60.00	75.70	86.50
Is est	25.00	42.60	71.00	83.80	101.70	116.80
Qs sud	4445.06	7645.91	9983.83	9441.99	9973.80	10776.52
Qs ouest	1282.32	2542.72	3967.52	4394.96	5337.52	6400.64
Qs nord	1157.36	1943.61	2937.43	3774.00	4761.53	5440.85
Qs est	1029.50	1754.27	2923.78	3450.88	4188.01	4809.82
Qs(mois)	189941.81	333276.14	475501.44	505484.11	582260.45	658267.92
	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Is sud	123.50	127.90	117.60	81.60	40.20	37.90
Is ouest	129.00	116.40	82.30	52.50	26.30	19.60
Is nord	86.10	71.20	55.70	35.50	18.60	14.80
Is est	136.50	119.80	85.50	47.70	21.70	19.80
Qs sud	12391.99	12833.49	11799.98	8187.74	4033.67	3802.89
Qs ouest	7069.20	6378.72	4510.04	2877.00	1441.24	1074.08
Qs nord	5415.69	4478.48	3503.53	2232.95	1169.94	930.92
Qs est	5621.07	4933.36	3520.89	1964.29	893.61	815.36
Qs(mois)	731950.80	686977.20	560026.66	366287.52	180922.90	158958.00

Graphique des apports solaires annuels :



On peut ainsi voir que les apports solaires sont plus importants au mois juillet.

c) Apport de chaleur par l'éclairage

L'éclairage du bâtiment n'est pas une part négligeable dans l'apport de chaleur.

Voici la formule :  $Q_e = 12 \times A_{bât}$

12 car l'éclairage est fait par des lampes incandescentes, en W/m<sup>2</sup>  
Abât en m<sup>2</sup>.

**Applications numériques :**

$$Q_e = 12 \times 7600 = 91.2 \text{ kW}$$

d) Apports spécifiques par les équipements médicaux

Appareils médicaux	Rappel d'unité : BTU (British Thermal Unit)  1 BTU = 1055 Joule  Émission de chaleur [kWh]
Scanner	9 à 12
Échographe	1,7
Process d'analyse de laboratoire	-
Lumière froide en endoscopie	0,8
Appareils de dialyse	1
Couveuse	1 à 1,3
Respirateur	-
Monitoring classique	0.14
Stérilisateur	50
RMN	-
Congélateur -80 °C	1

## II) Production d'eau chaude sanitaire

La production d'eau chaude sanitaire dépend du nombre d'occupants, de leurs âges, de leurs professions, de leurs mode de vie, du jour (ouvrable, Week-end ou férié), de la saison...

Pour simplifier les calculs, deux valeurs par défaut peuvent être utilisées, 50 litres par personne et par jour ou 1,75 litres par m<sup>2</sup> de surface habitable. Ces valeurs sont pour tous les jours de la semaine (donc du mois. Si le volume est connu (compteur sur l'entrée d'eau froide du ballon ou de la chaudière si production instantanée), Il est possible d'utiliser ce dernier au lieu des valeurs par défaut.

Voici la formule :

$$Q_{ecs} = \rho \times 1,1628 \times V_{ecs} \times (T_{ecs} - T_{ef})$$

$Q_{ecs}$  est l'énergie nécessaire à la production d'ECS ( Eau Chaude Sanitaire ) en W

$\rho$  est la masse volumique de l'eau

$V_{ecs}$  est le volume d'eau en litre

$T_{ecs}$  est la température de l'eau chaude

$T_{ef}$  est la température de l'eau froide

Applications numériques :

$$Q_{ecs} = 0.85 \times 1.1628 \times 7100 \times (60 - 5.7) = 380kW$$

	janvier	février	mars	avril	mai	juin
T° de l'eau froide en hiver	5.70	5.70	7.00	9.20	11.80	14.00
T° de l'eau chaude	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
Volume d'eau	7100.00	7100.00	7100.00	7100.00	7100.00	7100.00
Masse volumique de l'eau	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Q(w)	381050.14	381050.14	371927.39	356488.90	338243.40	322804.91

	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
T° de l'eau froide en hiver	15.30	15.30	14.00	11.80	9.20	7.00
T° de l'eau chaude	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
Volume d'eau	7100.00	7100.00	7100.00	7100.00	7100.00	7100.00
Masse volumique de l'eau	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Q(w)	313682.16	313682.16	322804.91	338243.40	356488.90	371927.39

Pour dimensionner le besoin en eau chaude sanitaire il faut prendre le mois le plus froid de l'année c'est à dire le mois de janvier.

### III) Besoins en chauffage.

Pour connaître les besoins de chaleur en chauffage, en W/h, il faut avoir défini :

- les apports externes (solaires) et internes ( apports des occupants)
- la période ou saison de chauffage.
- la capacité thermique quotidienne (Cm) qui dépend de l'inertie thermique quotidienne
- le coefficient H qui est le coefficient de déperdition du logement, en W/K

Voici la formule :

$$Q_{CH} = D - n \times Q_G$$

$Q_{CH}$  sont les besoins en chauffage

D sont les déperditions de la période considérée en Wh

$$D = H \times \text{delaT} \times t$$

DeltaT est la différence de température entre la température de la période considérée et la température moyenne extérieure de la zone et du mois considéré

t est le nombre d'heure pendant un jour soit 24

$$H = H_T + H_V$$

$H_T$  est le coefficient de déperdition par transmission entre le volume chauffé d'une part et l'extérieur, le sol et les locaux non chauffés d'autre part en W/K.

$H_V$  est le coefficient de déperdition par ventilation (renouvellement d'air voulu et parasite)

A) Calcul de  $H_T$  :

$$H_T = U_{bât} \times A_{bât}$$

$U_{bât}$  est le coefficient de transmission surfacique : flux thermique en régime stationnaire par unité de surface en  $W/(m^2.K)$

$A_{bât}$  est l'aire du bâtiment.

**Applications numériques :**

$$H_T = 0.8 \times 7600 = 6080 \text{ W/K}$$

B) Calcul de  $H_V$  :

$$H_V = 0.34 \times Q_{ext}$$

0.34 est la capacité thermique volumique de l'air en  $Wh/m^3.K$   
 $Q_{ext}$  est le débit d'air équivalent transitant dans le logement

**Applications numériques :**

$$H_V = 0.34 \times 47681 = 16211 \text{ W/K}$$

$$\Rightarrow \text{donc } H = 22291 \text{ W/K}$$

**Applications numériques pour D :**

$$\Rightarrow D = 22291 \times (20 - 5.7) \times 24 = 7.8 \text{ MWh}$$

C) Calcul du coefficient n

Voici la formule :

$$n = (1 - q^a) / (1 - q^{a+1})$$

q est le rapport entre les apports et les déperditions donc  $q = (30416 + 7916 + 90000 + x) / 325000 =$

Ensuite il faut calculer a donc  $a = 1 + t/16$

où a est un paramètre qui dépend de la constante de temps t caractérisant l'inertie thermique :

$$t = C_m / H$$

$C_m$  est la capacité thermique quotidienne. Cette donnée se détermine par rapport à la classe d'inertie du bâtiment.

L'inertie thermique caractérise la capacité qu'a le bâtiment à absorber et restituer l'énergie thermique. L'inertie thermique peut être divisée en cinq classes :

- classe d'inertie très légère
- classe d'inertie légère
- classe d'inertie moyenne
- classe d'inertie lourde
- classe d'inertie très lourde

<b>Classe d'inertie</b>	<b>Plancher bas</b>	<b>Plancher haut</b>	<b>Paroi verticale</b>
<b>Très lourde</b>	lourd	lourd	lourde
<b>Lourde</b>	lourd	lourd	-
<b>Lourde</b>	-	lourd	lourd
<b>Lourde</b>	lourd	-	lourd
<b>Moyenne</b>	lourd	-	-
<b>Moyenne</b>	-	lourd	-
<b>Moyenne</b>	-	-	lourd
<b>Très légère</b>	-	-	-

Définition de :

Plancher haut lourd;

- plancher sous toiture, béton plein avec une épaisseur minimale de 8 cm, isolation par l'extérieur.

- sous face de plancher intermédiaire, béton plein avec une épaisseur minimale de 15 cm sans isolant et sans faux plafond.

Plancher bas lourd;

- face de plancher intermédiaire sans revêtement à effet thermique (grosse moquette de plus de 6 mm, parquet bois). Béton plein avec une épaisseur minimale de 15 cm sans isolant, chape ou dalle de béton sur entrevous lourds (parpaings, terre cuite), sur béton cellulaire armé.

- plancher bas avec isolant en sous face et sans revêtement à effet thermique. Béton plein avec une épaisseur minimale de 10 cm, chape ou dalle de béton sur entrevous lourds (parpaings, terre cuite), sur béton cellulaire armé, dalle de béton avec une épaisseur minimale de 5 cm sur entrevous en matériau isolant.

Paroi verticale lourde;

Un bâtiment possède une paroi verticale lourde si elle remplit l'une ou l'autre des conditions suivantes :



- 1) lorsque la surface du mur est au moins égale à 0,9 fois la surface du plancher, murs de façade et pignons isolés par l'extérieur avec à l'intérieur :
  - béton plein avec une épaisseur minimale de 7 cm,
  - ou parpaings d'épaisseur minimale de 11 cm
  - ou briques pleines ou perforées d'épaisseur minimale de 10,5 cm
- 2) murs extérieurs à isolation répartie d'une épaisseur minimale de 30 cm et cloisonnement intérieur autre que Placo plâtre.
- 3) lorsque l'ensemble du doublage intérieur des murs extérieurs (contre cloison) et du cloisonnement est réalisé en brique enduite de plâtre ou en carreaux de plâtre.

Pour notre bâtiment, selon le bureau d'étude, on a :

Pour les planchers haut :

- un plancher béton de 20cm
- une isolation en efigreen duo de 90mm

Pour les planchers bas :

- une dalle de béton de 20cm d'épaisseur
- une isolation de 10cm de polystyrène expansé

Pour les parois verticales :

- parois opaques en voile de béton de 20cm avec doublage intérieur.

Donc on peut voir que l'hôpital appartient à la classe d'inertie lourde.

<b>Classe d'inertie</b>	<b>Cm</b>
<b>Très légère</b>	80 / 3,6 x Abât
<b>Légère</b>	110 / 3,6 x Abât
<b>Moyenne</b>	165 / 3,6 x Abât
<b>Lourde</b>	260 / 3,6 x Abât
<b>Très lourde</b>	370 / 3,6 x Abât

Une fois la classe d'inertie déterminée on peut calculer la capacité thermique quotidienne.

$$C_m = 260/3.6 \times 7600 = 5.48 \text{MWh/kg.}^\circ\text{C}$$

Une fois que l'on a obtenu  $C_m$  on calcul les coefficient t, donc  $t = 548000/22291 = 24,6$

Dès que l'on a t on peut calculer le coefficient a, donc  $a = 1 + 26/16 = 2.625$

Pour finir on calcul le coefficient n, donc  $n = (1 - 2.625) / (1 - 2.625^3) =$

D) La période ou la saison de chauffage

Le chauffage devient lorsque les apports externes et internes n'arrivent plus à délivrer la température de consigne à l'intérieure du bâtiment.

La température pour laquelle le chauffage devient nécessaire s'obtient de cette manière :

$$T_e = T_i - Q_G / H + 1$$

$T_i$  étant la température intérieure de consigne en période normale

$Q_G$  sont les apports internes et externes pour le mois considéré

$H$  est le coefficient de déperdition du logement en W/K

#### **Applications numériques :**

$$T_e = 20 - (30416 + 7916 + 90000 + x) / 22291 + 1 =$$

### **IV) Puissance chaudière ( ?? )**

Pour déterminer la puissance de la chaudière il suffit d'utiliser cette formule :

$$\Phi(W) = h \times S \times (T_{int} - T_{ext})$$

$h$  est le coefficient de transfert convectif de l'air, ici  $5 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$

$S$  est la surface de contact avec l'air ici  $12070\text{m}^2$

$T_{int}$  est la température intérieure de consigne,  $20^\circ\text{C}$

$T_{ext}$  est la température extérieure ici  $5.7^\circ\text{C}$ , température du mois de Janvier.

#### **Applications numériques :**

$$\Phi(W) = 5 \times 12070.4 \times (20 - 5.7) = 863\text{kW}$$

Il faut aussi ajouter la puissance délivrée pour la production d'eau chaude sanitaire donc :

$$P_{chaudière} = 863 + 380 = 1243\text{kW}$$

### **V) Choix d'une chaudière**

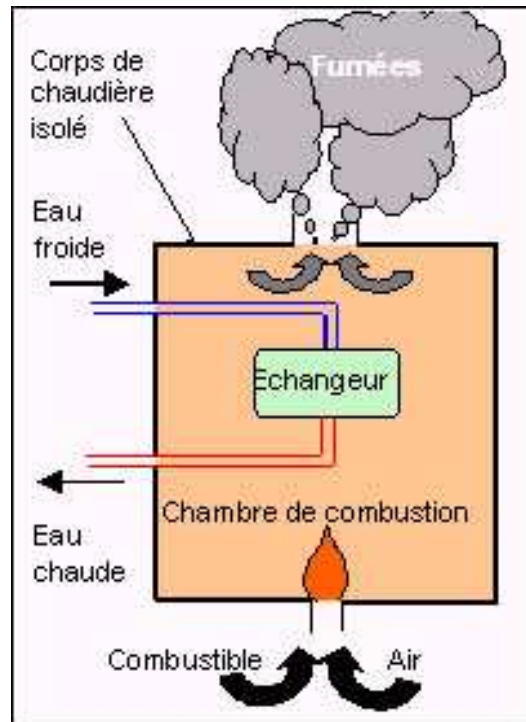
Plusieurs types de chaudières existent :

a) Chaudières à combustion

Une chaudière permet de produire de l'eau chaude ou de la vapeur. Ici, la chaleur provient de la combustion du fioul ou du gaz.

Combustible + Oxygène de l'air  $\Rightarrow$  Chaleur + Fumées

Principe de fonctionnement d'une chaudière à combustion :



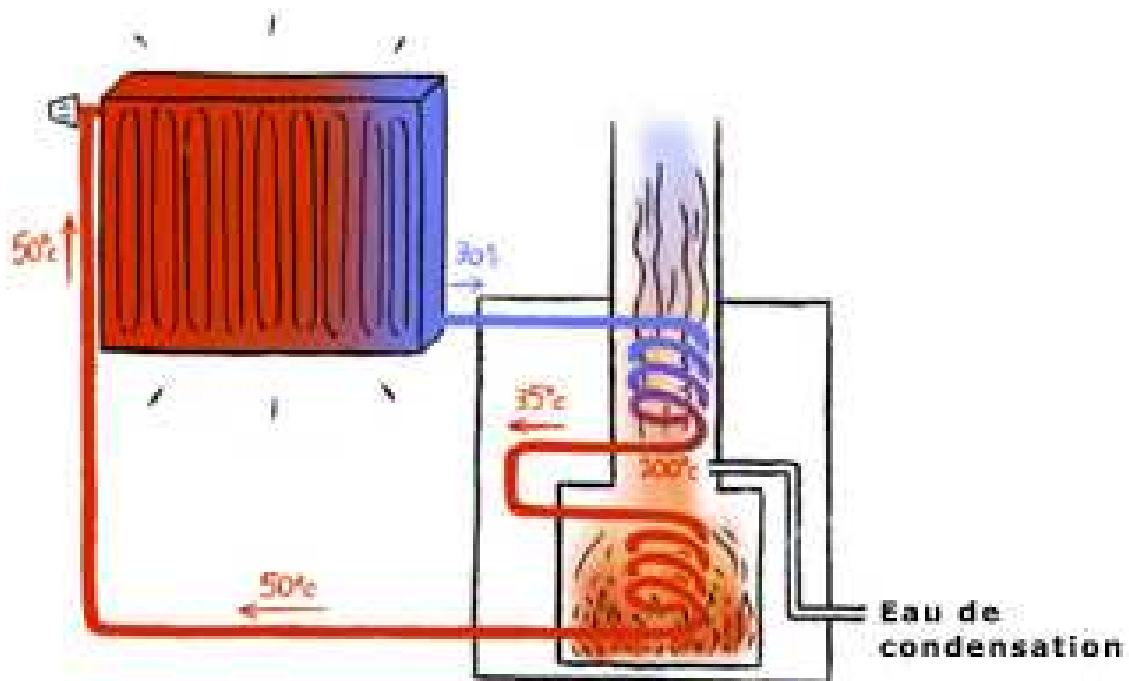
On peut apercevoir que les chaudières au fioul ou à gaz sont composées de trois parties :

- Tout d'abord la chambre de combustion où est effectuée la combustion entre le combustible, soit fioul ou gaz, et l'air
- Ensuite l'échangeur où la chaleur de la combustion est transmise à l'eau froide pour la réchauffer
- Pour finir une cheminée qui permet d'évacuer la fumée produite par la combustion.

#### b) Chaudières à condensation

Les chaudières conventionnelles laissent échapper par la cheminée les gaz de combustion avec la vapeur d'eau, sans exploiter la chaleur contenue dans celle-ci. Avec la technique de condensation, les gaz sont conduits vers des grandes surfaces d'échangeur de chaleur dans la chaudière et ainsi refroidis plus fortement. Ainsi, en dessous de la température de condensation, la chaleur libérée est exploitée par la chaudière.

Schéma d'une chaudière à condensation :



La chaudière à condensation est plus écologique qu'une chaudière à combustion mais son prix est de 30 à 35 fois supérieure à cette dernière. Le rendement d'une chaudière de cette technologie peut atteindre 109% grâce à la récupération de la vapeur d'eau.

c) Pour l'hôpital

Pour cette étude le choix se porte sur deux chaudières à combustion, une de 680kW de marque Buderus modèle GE615 et une autre de 550kW de marque Hoval modèle MAX3, déjà existante sur le site. Ces deux chaudières fonctionnent au fioul ou au gaz. Ce sont des chaudières mixtes.