

CHAUFFAGE ET RÉGULATION

Auteur : Jean-David GRANDGEORGE

Modification : 18 novembre 2010



Figure 1, salle de classe, du radiateur à l'installation de chauffage

Sommaire

1	PRÉAMBULE :	2
2	LA SALLE DE CLASSE :	2
3	LE RADIATEUR : UN ÉMETTEUR DE CHALEUR	2
4	QUELQUES ÉMETTEURS COURANTS :	5
4.1	LE RADIATEUR CLASSIQUE :	5
4.2	LE CONVECTEUR :	6
4.3	L' AÉROTHERME :	7
4.4	LE PANNEAU RAYONNANT :	8
4.5	LES PLANCHERS CHAUFFANTS	8
5	LE CHAUFFAGE CENTRAL :	8
6	COMMENT RÉGULER UN SYSTÈME DE CHAUFFAGE ?	10
6.1	LA PUISSANCE NOMINALE DE L'INSTALLATION :	10
6.2	RADIATEUR À EAU : RÉGLAGE DE LA PUISSANCE :	11
6.3	MINIMISATION DE L'ÉNERGIE : L'INTERMITTENCE :	12
7	CONCLUSION	13
8	BIBLIOGRAPHIE	13

1 PRÉAMBULE :

N'avoir ni chaud ni froid : telle est bien notre préoccupation. L'été, en France, nous pouvons supporter une température légèrement trop élevée. Par contre, en hiver, nous devons nous chauffer !

Une conception optimisée des nouveaux bâtiments, une excellente isolation, l'utilisation de l'énergie dégagée par les appareils électroménagers pourraient permettre d'avoir suffisamment chaud en hiver et de ne pas souffrir de la chaleur en été... Le chauffage reste cependant nécessaire dans de très nombreux bâtiments.

Dans la suite du document, nous nous intéresserons uniquement à l'obtention du confort en hiver, le radiateur de la salle de classe sera notre point d'entrée.

2 LA SALLE DE CLASSE :

Examinons de plus près une salle de classe. Cette salle n'est pas encore à la pointe du progrès du génie architectural, mais, elle est souvent confortable en hiver, ceci grâce à l'action de « notre ami », le radiateur.

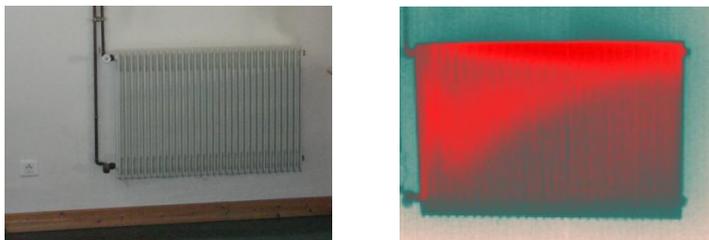


Figure 2, radiateur: photographie et image infra rouge

Tout le monde connaît le radiateur qui permet de maintenir une température correcte dans la pièce. Les photos ci-dessus montrent le radiateur avec une image « classique » et avec une photographie « infra rouge », on remarque que le radiateur est plus chaud que son environnement :

Le radiateur est un émetteur de chaleur.

3 LE RADIATEUR : UN ÉMETTEUR DE CHALEUR

Chaleur et température sont deux notions bien distinctes : la chaleur est une énergie, on peut la quantifier par une valeur précise. Si l'on ne tient pas compte de la durée, on parlera d'énergie. Si l'on veut tenir compte de la durée, on utilisera la notion de puissance. La puissance est une énergie divisée par un temps. Un radiateur de 1000 Watt (W) est un appareil qui émet une puissance de 1000 W, c'est-à-dire une énergie de 1000 Joule (J) toutes les secondes. La valeur de la puissance permet de décrire ce radiateur. Cette valeur serait retenue pour choisir le modèle de radiateur à installer dans une pièce.

Par contre, si l'on s'intéresse au fonctionnement du bâtiment, c'est la valeur de l'énergie consommée qui retiendra notre attention : un radiateur de 1000 W qui aura fonctionné pendant 10 heures affiche une consommation de 1000 Joule par seconde pendant 36000 secondes

(10x3600) soit 1000x36000 Joule. Cette valeur de 36 millions de Joule nous montre que l'unité du système international n'est pas la plus appropriée pour mesurer les consommations de chauffage d'un bâtiment : on lui préférera le kWh, le kilo Watt heure qui correspond à l'énergie que développe une puissance de 1 kW pendant 1 heure. Dans notre exemple, on arriverait à 10 kWh (1000W=1kW ; 1kWx10 heures=10 kWh).

La température est une valeur qualitative, elle permet de comparer deux corps entre eux, de dire lequel est le plus chaud pour en déduire le sens de la propagation du flux de chaleur qui se créera nécessairement entre deux corps à des températures différentes.

Le transfert de chaleur se fait naturellement de la zone chaude vers la zone froide, la nature tend toujours à trouver un équilibre. Un corps chaud échange de la chaleur avec un corps froid jusqu'à ce que la température de ces deux corps devienne identique.

Les radiateurs sont plus chauds que la pièce vers laquelle ils émettent de la chaleur : il est évident que la chaleur va du milieu chaud vers le milieu froid... mais, comment ?

Le transfert de chaleur s'effectue selon plusieurs modes : la conduction, la convection (libre ou forcée) et le rayonnement.

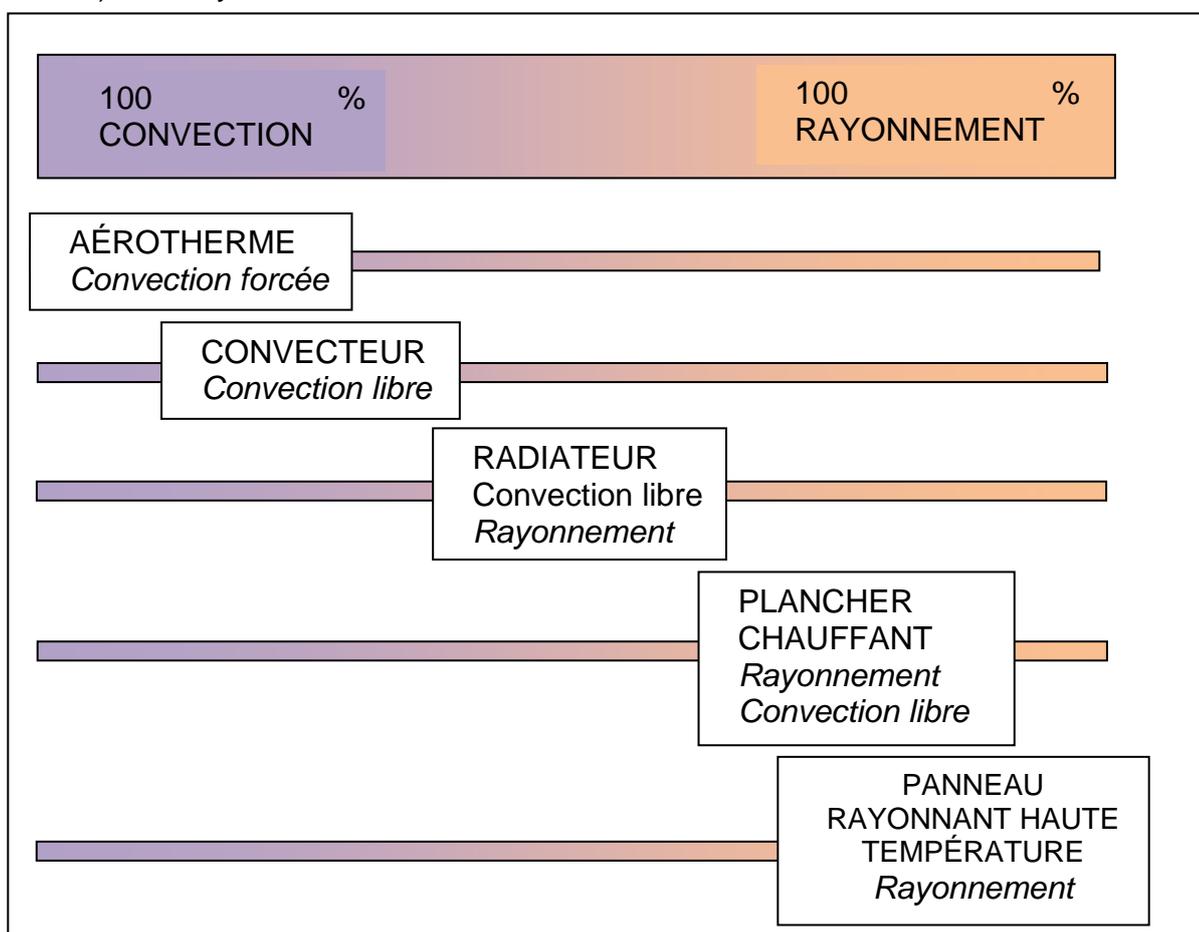


Figure 3, transferts de chaleur

Les modes de transfert de chaleur sont parfois à l'origine du nom de l'émetteur, ils permettent un classement par grandes familles. Il faut garder en mémoire le but d'un émetteur qui est de transférer de la chaleur vers les pièces ou vers les personnes afin de créer des conditions de confort. La conduction n'est jamais utilisée, la convection permet de chauffer l'air qui chauffera à son tour les personnes, le rayonnement chauffera directement les personnes à la manière du soleil.

QUELQUES PRÉCISIONS : CHALEUR, TEMPÉRATURE et TRANSFERTS DE CHALEUR

La chaleur est une forme d'énergie, on peut parler d'énergie calorifique. Historiquement, une distinction entre énergie calorifique et énergie mécanique se faisait par les unités : la calorie était utilisée pour la chaleur, 1 calorie correspond à la chaleur nécessaire pour augmenter 1 gramme d'eau de 1°C tandis que l'énergie mécanique s'exprimait en Joule, 1 Joule correspond à l'énergie à développer pour déplacer une force de 1 Newton sur une distance de 1 mètre. L'expérience de Joule a montré que l'énergie mécanique se transforme en énergie thermique, en chaleur. Le système international d'unité impose aujourd'hui le Joule comme unité. (1 calorie est égale à 4,18 J).

La température est une valeur qualitative qui permet de définir le niveau de chaleur d'un corps par rapport à celle d'un autre, elle ne permet pas de définir une quantité.

De l'eau à 50°C cédera de la chaleur vers de l'air à 30°C, de l'air à 50°C cédera de la chaleur vers de l'eau à 30°C. La quantité de chaleur contenue dans 1 kg d'air à 50°C n'est pas la même que celle qui est contenue dans 1 kg d'eau à 50°C. L'aspect « quantitatif » de la chaleur s'exprime par une valeur d'énergie : pour élever la température d'un kilogramme d'eau de 1°C, il faut lui fournir une énergie de 4180 Joule. Pour faire de même avec un kilogramme d'air, il faut lui fournir 1000 Joule.

La conduction est le transfert de chaleur qui existe dans un matériau sans qu'il y ait mouvement de matière.

Exemple, une barre de fer dont une extrémité est soumise à une flamme, transmet la chaleur à l'autre extrémité par conduction.

Convection échange entre fluide et paroi : naturelle et forcée

La convection naturelle est le transfert de chaleur qui se produit entre un fluide à une température T_f et une surface à une température T_s . Ce transfert se fait avec un mouvement de matière induit : le fluide change de volume en changeant de température ce qui le met en mouvement.

L'air d'une pièce se réchauffe au contact d'un convecteur électrique : il se réchauffe, devient plus léger et s'élève, il est alors remplacé par de l'air plus froid qui se réchauffe à son tour...

La convection forcée est le transfert entre un fluide à une température T_f mis en mouvement par un élément moteur (pompe pour de l'eau, ventilateur pour de l'air) qui va l'entraîner à passer sur une surface à une température T_s . Le transfert de chaleur se fait avec un mouvement de matière qui est généré indépendamment de ce transfert.

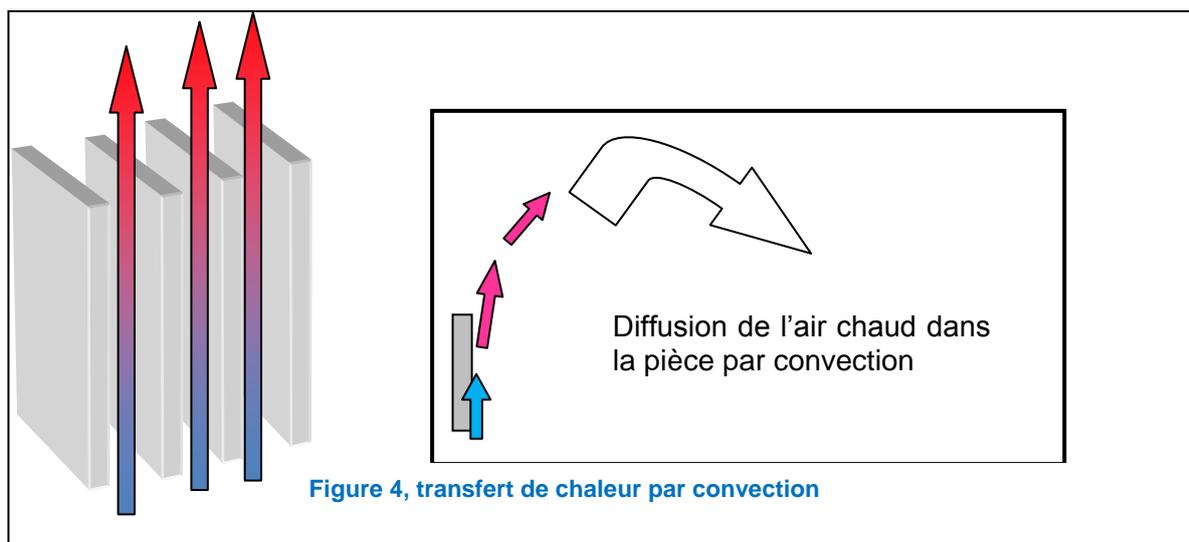
Exemple : l'air qui traverse un sèche-cheveux est mis en mouvement par un ventilateur et se chauffe au contact d'une résistance électrique.

Le rayonnement est un transfert de chaleur entre deux corps à distance. Tout corps émet un rayonnement vers l'extérieur, ce rayonnement permet un transfert de chaleur à distance sans support de matière extérieure. Le rayonnement peut être visible ou invisible selon la température du corps.

Exemple : le soleil rayonne de la chaleur vers la terre.

Remarque : une barre de fer portée au rouge rayonne de la chaleur avec un rayonnement visible à l'œil nu. Ce rayonnement reste perceptible lorsque l'on ferme les yeux. Aux températures usuelles, le rayonnement dû à la chaleur n'est pas visible, on peut cependant le mettre en évidence au moyen d'une caméra sensible au rayonnement Infra Rouge.

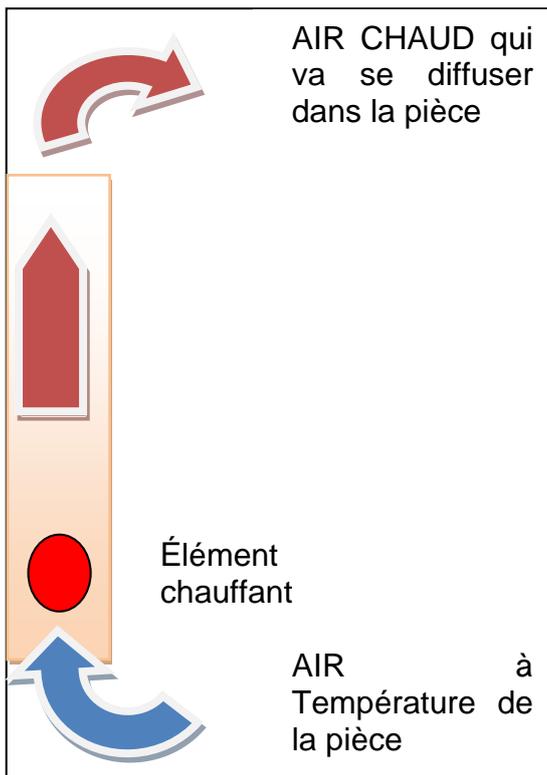
4 QUELQUES ÉMETTEURS COURANTS :



4.1 Le radiateur classique :

Le transfert de chaleur entre le radiateur et la pièce se fait par convection et rayonnement. Les radiateurs chauffent par rayonnement : on peut dire qu'ils « éclairent » la pièce avec de la chaleur. Les radiateurs chauffent aussi l'air par convection, l'air qui vient au contact de la surface chaude se réchauffe, devient plus léger et monte. Ce mouvement d'air est accentué par la forme des « ailettes » verticales, l'air chaud se met en mouvement, il se diffuse dans la salle.

4.2 Le convecteur :



Il transfère de la chaleur vers la pièce par convection naturelle :

L'air qui est au bas du convecteur est à la température de la pièce, il se chauffe au contact de l'élément chaud interne, il devient plus léger, monte et se diffuse dans la totalité de la pièce. Le mouvement ainsi créé permet de chauffer l'ensemble de la pièce.

Les convecteurs électriques fonctionnent de la même manière, l'élément interne est alors une résistance électrique (effet Joule).

Figure 5, coupe schématique d'un convecteur

Observons un convecteur : si on dépose son enveloppe, on remarque un élément interne chaud, ici un tube à ailettes parcouru par de l'eau chaude (Voir figure 6).



Figure 6, photographie d'un convecteur, image infra rouge après dépose du capot

4.3 L'aérotherme :



Figure 7, aérotherme

Il transfère de la chaleur vers la pièce par convection forcée : Dans le cas d'un aérotherme que l'on rencontre dans les locaux de grande hauteur tels que des halls, des supermarchés, des gymnases, des ateliers... le mouvement naturel ne permettrait pas de chauffer l'air de la salle : il faut avoir recours à un ventilateur qui soufflera l'air vers le volume à traiter, vers le bas pour compenser le phénomène de la stratification des températures (l'air chaud, plus léger que l'air froid a tendance à s'accumuler en partie haute).

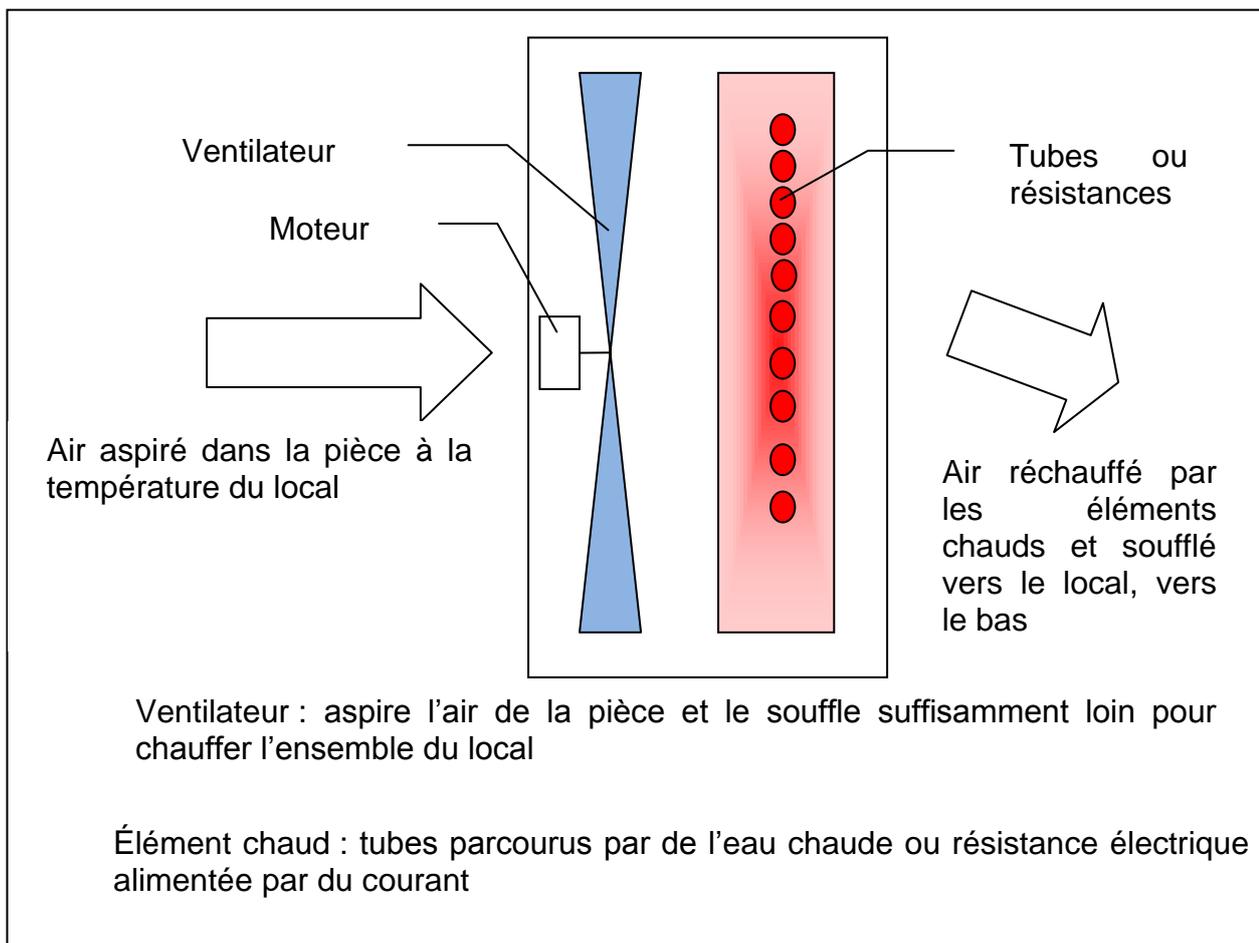


Figure 8, coupe schématique d'un aérotherme

4.4 Le panneau rayonnant :

Il transfère de la chaleur par rayonnement. Les lampes infra rouges que l'on trouve sur les marchés ou les terrasses de café comportent un élément qui est porté au « rouge » par un apport d'énergie (électricité, gaz). Cet élément rayonne de la chaleur vers les personnes qui lui sont proches : le fait qu'il y ait transmission directe de chaleur explique que ces émetteurs sont capables d'assurer un certain confort, même à l'extérieur.

4.5 Les planchers chauffants



Figure 9, plancher chauffant avant la pose de la chape

Un plancher chauffant est un sol qui est chauffé à une température légèrement supérieure à celle de la pièce dans laquelle il se trouve, le transfert de chaleur vers la pièce se fait essentiellement par rayonnement : on parle de rayonnement « basse température ». Pour les occupants, le fait de ressentir une grande surface chaude permet d'obtenir des conditions de confort avec une consommation d'énergie inférieure plus faible

que celle nécessaire avec des radiateurs : nous ressentons une température qui résulte de la température de l'air et de la température des parois. Le fait d'augmenter la température du sol permet de diminuer la température moyenne de l'air.

5 LE CHAUFFAGE CENTRAL :

Le radiateur est finalement l'élément visible de ce que l'on nomme le « chauffage central ». Ce système global permet de transformer une source d'énergie en chaleur, de la transporter vers des émetteurs afin de réaliser les conditions de confort attendues dans chaque pièce du bâtiment.

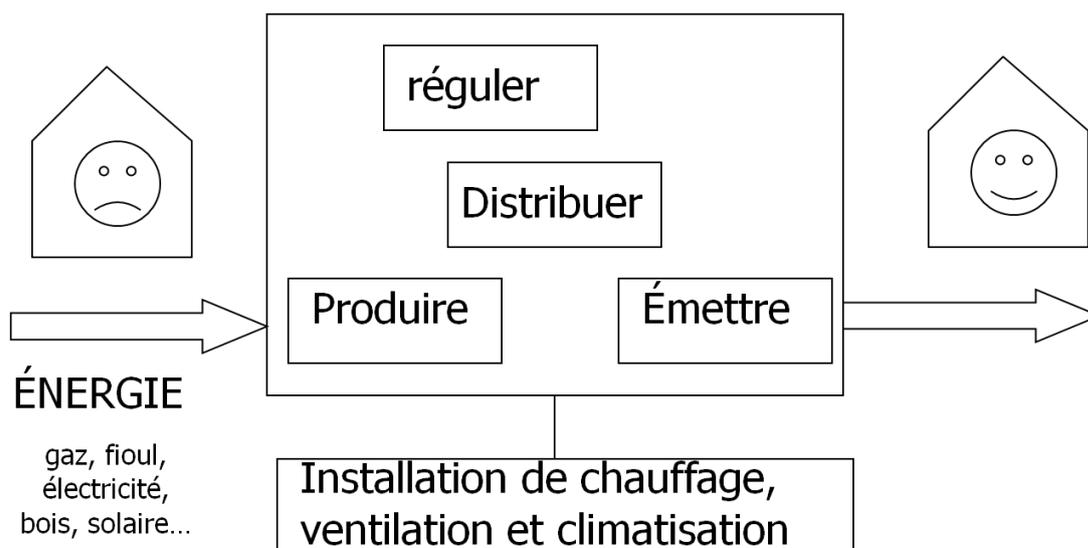


Figure 10, les fonctions d'une installation de chauffage

QUELQUES QUESTIONS / RÉPONSES :

« Qu'en est-il des anciens modes de chauffage des maisons ? »

Un fourneau, un poêle, sont tout simplement des appareils qui réunissent les fonctions de production de chaleur, en permettant la combustion dans leurs foyers, et, d'émission de chaleur en offrant une surface chaude qui permet de transférer de la chaleur vers la pièce.

« Pourquoi les radiateurs sont-ils chauds ? » :

***Parce qu'ils sont remplis d'eau chaude.** L'eau est chauffée par une chaudière avant d'être amenée vers les radiateurs par des tuyaux. L'énergie fournie par la chaudière est produite par la combustion de gaz, de fioul, de charbon ou de bois. On peut aussi utiliser une pompe à chaleur ou des capteurs solaires.*

***Parce qu'ils contiennent une résistance électrique.** Cette résistance transforme l'énergie électrique en chaleur par effet Joule.*

« Comment peut-on produire de l'énergie thermique ? »

***À partir de l'électricité, l'énergie électrique** peut être dégradée sous forme de chaleur. La chaleur est, en effet, une forme de l'énergie qui peut être obtenue à partir de toutes les autres formes d'énergie (mécanique, électrique, chimique...) Il faut être conscient que l'électricité est produite, souvent à partir de chaleur, puis transportée vers le lieu d'utilisation. Si l'on examine l'ensemble des pertes en ligne, on comprend aisément qu'il vaut mieux utiliser directement la combustion pour se chauffer...*

La production de chaleur à partir de l'électricité a un avantage sur les autres types de production : ses possibilités de réglage de la puissance qui varient très facilement de 0% à 100%. Que ce soit par des alternances marche-arrêt ou par variation progressive. Nous verrons l'intérêt que ce type de variation apporte lorsque nous aborderons la gestion de l'intermittence (i.e. la gestion de périodes de chauffage « jour » et « nuit », « périodes d'occupation » et « périodes d'inoccupation »).

***À partir d'un combustible : une combustion** permet d'obtenir de la chaleur dans un bâtiment, dans une pièce. Au départ, le combustible le plus couramment utilisé a été le bois, remarquons au passage que c'est la préoccupation de la préparation de repas à l'intérieur de l'habitat qui a conduit aux premiers fourneaux, aux premières cuisinières à bois. À ce moment là d'ailleurs, une seule pièce était chauffée dans la plupart des habitations. Ensuite, arrivèrent les poêles à bois pour chauffer les autres pièces : ces appareils pouvaient être plus compacts et leur surface moins chaude puisque leur fonction était de chauffer, et non plus de permettre la préparation de la cuisine. Brûler du bois, ou du charbon, dans un appareil chauffant placé dans la pièce permet d'obtenir la température désirée dans la pièce, mais, avec des contraintes fortes pour l'habitant : faire le feu, porter le combustible, le stocker, nettoyer les déchets, entretenir les conduits de fumée qui sont indispensables... Ces contraintes ont rapidement fait naître l'idée du chauffage central : produire la chaleur en un endroit donné (chaudière dans le sous sol), distribuer la chaleur vers les pièces (de l'eau chauffée dans la chaudière peut être amenée, via un système de tubes, vers les pièces), et, enfin, émettre de la chaleur vers l'ambiance grâce à notre vieil ami, le radiateur !*

6 COMMENT RÉGULER UN SYSTÈME DE CHAUFFAGE ?

Le besoin de chaleur dépend des conditions extérieures (soleil, vent, température extérieure, nuages...), des apports de chaleur (éclairage, occupants, machine électrique...) et de la valeur de la température souhaitée. Il est nécessaire de pouvoir régler la puissance de chauffage :

- pour adapter le fonctionnement de l'installation aux conditions extérieures
- pour obtenir le plus rapidement possible la température souhaitée
- pour consommer l'énergie strictement nécessaire en réglant la valeur de la température intérieure au plus près de la consigne souhaitée.

6.1 La puissance nominale de l'installation :

Une installation de chauffage est dimensionnée pour pouvoir assurer la température de confort attendue dans chaque pièce quelles que soient les conditions extérieures... en fait, elle est calculée pour ce que l'on appelle la température de base du lieu de la construction. Strasbourg, Paris et Marseille ne connaissent pas les mêmes hivers !

Lors de la conception d'une installation de chauffage central, il faut également arrêter un certain nombre de choix technologiques. Par exemple, nous pouvons choisir de chauffer les pièces par des radiateurs qui seront alimentés en eau chaude à partir d'une chaudière gaz située dans le sous-sol. Il faut ensuite choisir le régime d'eau des radiateurs, c'est-à-dire les valeurs de la température de départ et de retour retenues au plus froid de l'hiver.

L'installation permettra d'alimenter les radiateurs des diverses pièces avec de l'eau à une température et à un débit adapté à la puissance à émettre.

L'installation ne fonctionnera qu'exceptionnellement à sa puissance nominale, il faudrait que la température extérieure reste à la température de base pendant plusieurs jours, qu'il n'y ait pas de soleil, que le vent souffle et qu'il n'y ait pas de dégagement de chaleur dans les pièces (éclairage, cuisine...)...

Durant la vie de l'installation, il sera nécessaire de régler la valeur de la puissance émise vers les pièces pour l'adapter aux conditions du jour.

Le réglage se fait assez simplement pour un chauffage électrique par le biais d'un thermostat, nous ne nous attarderons pas sur ce mode de chauffage ici.

Concernant les installations à eau chaude, les radiateurs offrent deux possibilités de réglage : on peut faire varier la température de départ vers les radiateurs, on peut également faire varier le débit d'eau qui traverse le radiateur. Ces deux modes de réglage sont détaillés au paragraphe suivant.

Deux remarques :

Il est inutile de sur dimensionner les éléments d'un chauffage, la valeur de la température de base permet d'être certain d'avoir une température suffisante en hiver.

La puissance d'une installation doit être réglable pour s'adapter aux variations des conditions extérieures, et, éventuellement, pour pouvoir assurer des valeurs de températures intérieures réglables par les occupants.

6.2 Radiateur à eau : réglage de la puissance :

Une installation de chauffage est calculée pour une température extérieure déterminée en fonction de la région, par exemple -15°C à Strasbourg ou -7°C à Paris. On peut ensuite calculer les pertes à travers les parois du bâtiment afin de dimensionner les radiateurs. Ceux-ci doivent émettre une puissance égale aux déperditions avec un régime d'eau (température de départ et de retour) adapté, par exemple 75°C de départ et 65°C de retour.

Le réglage de la puissance des émetteurs qui utilisent l'eau chaude produite par une chaudière se fait alors idéalement par deux actions :

Une action globale qui consiste à régler la température de l'eau chaude au départ de la chaudière vers tous les émetteurs.

Une action ponctuelle grâce aux robinets thermostatiques placés au niveau de chaque radiateur en agissant sur le débit qui le traverse : si la température de la pièce est trop élevée, un élément sensible à la chaleur se dilate et agit sur une vanne qui va se fermer progressivement. Le débit diminue et permet d'adapter la puissance.

Les deux actions se complètent : une pièce est choisie comme référence, généralement le salon/salle à manger. Le réglage de la température de cette pièce se fait par le biais du réglage de la puissance par variation de la température de départ. Le réglage de la puissance des autres pièces se fait par les robinets thermostatiques, la puissance peut être augmentée ou diminuée par ouverture ou fermeture.

Remarque : Pour un fonctionnement correct de la régulation, il ne faut pas de robinets thermostatiques sur les radiateurs de la pièce de référence.

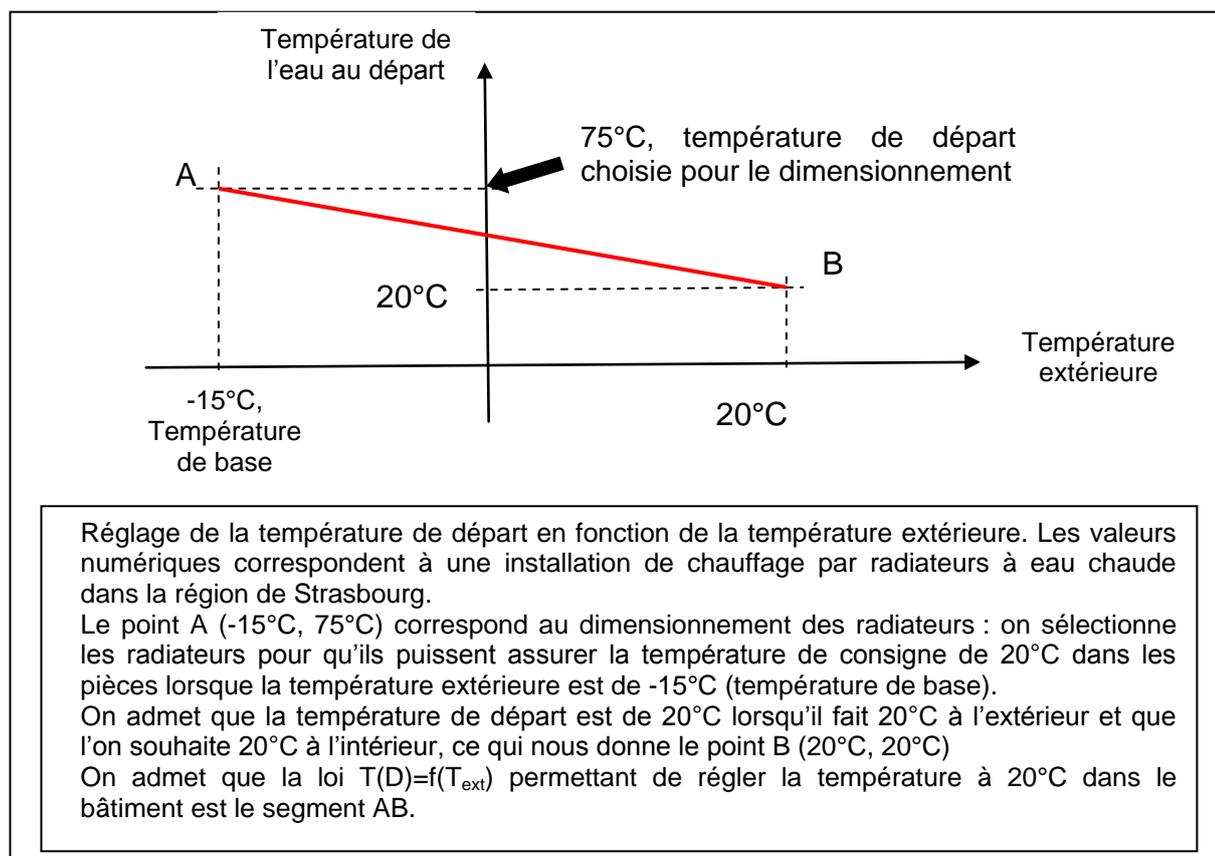
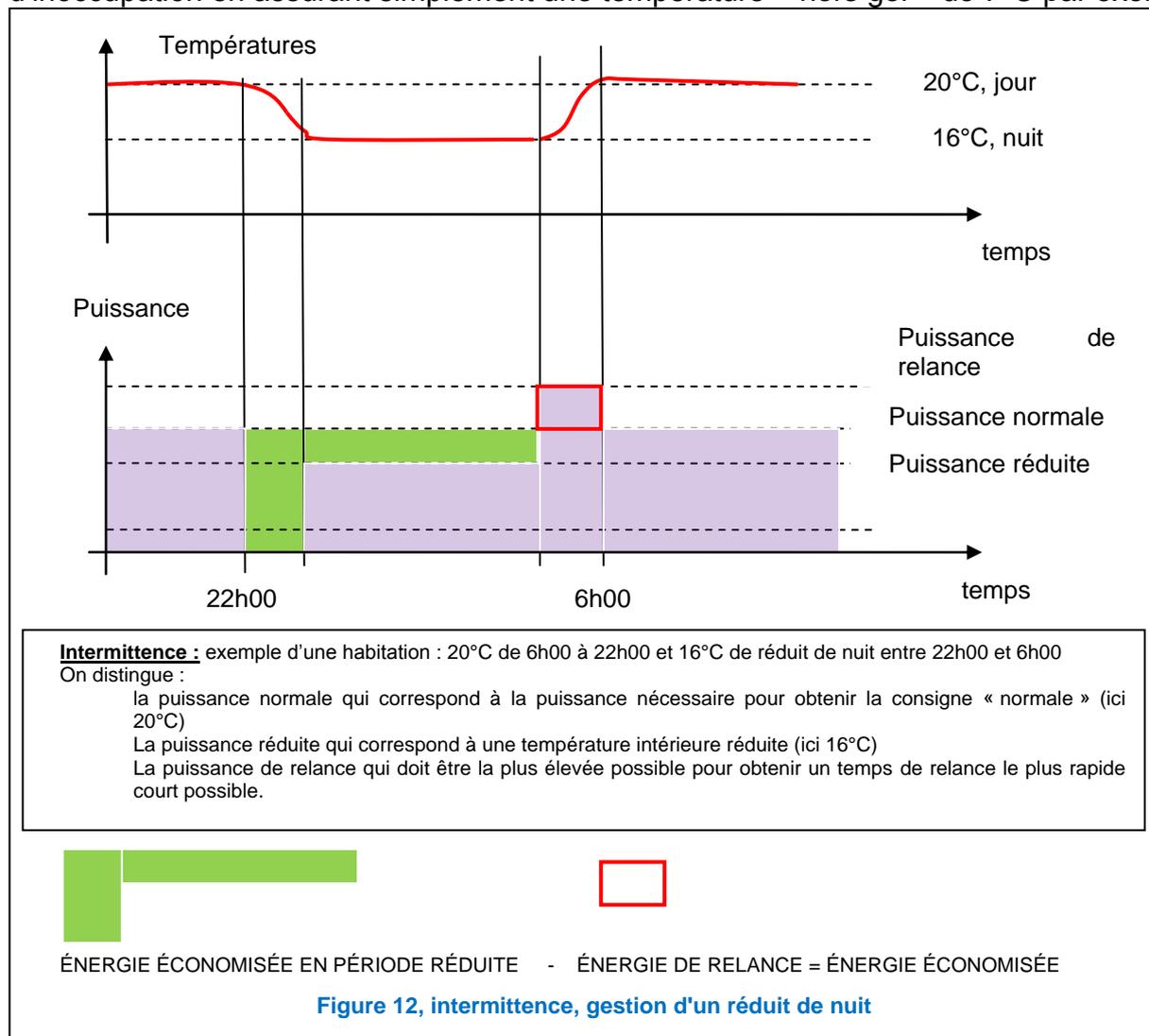


Figure 11, courbe de réglage de la température de départ

6.3 Minimisation de l'énergie : l'intermittence :

Dans un but économique, on peut adapter la température en fonction de l'occupation des locaux. On peut prévoir une température « jour » de 20°C et une température « nuit » de 16°C. On peut également, pour les locaux qui le permettent, prévoir des périodes d'inoccupation en assurant simplement une température « hors gel » de 7°C par exemple.



L'énergie est une quantité qui correspond à ce qu'une puissance développe pendant un temps donné, on économisera de l'énergie pendant la période réduite, on en perdra à nouveau pendant la relance. La figure 12 illustre l'intérêt de l'intermittence.

L'énergie économisée sera d'autant plus grande que l'inertie du bâtiment et de l'installation de chauffage sera faible.

En fin de période « jour », le chauffage se coupe, la température intérieure baisse, il faut attendre que la valeur de la température atteigne la consigne fixée en période réduite pour que le chauffage passe en puissance réduite. Plus le temps de « coupure » sera long et plus importantes seront les économies réalisées. Plus l'inertie du bâtiment sera grande, plus ce temps sera long.

Une faible inertie de l'installation de chauffage permet une diminution effective très rapide de la puissance lors de la coupure en début de période réduite.

7 CONCLUSION

À travers ces quelques pages, on peut se rendre compte que beaucoup de choses se cachent derrière un simple radiateur : sa forme et sa température de surface lui permettent d'émettre une puissance adaptée vers la pièce pour y créer les conditions attendues par ses occupants. Ce radiateur qui assure une fonction d'émission de chaleur dans la pièce est la partie visible de l'installation de chauffage qui assure les fonctions de production, de distribution, d'émission et de régulation.

Un certain nombre d'ouvrages cités dans la bibliographie ainsi que de nombreux sites internet permettent d'aller plus loin dans la découverte des installations de chauffage.

Une proposition d'expérimentations essaie de répondre à la question suivante : « comment chauffer une pièce à partir de la chaleur contenue dans de l'eau chaude ? ».

8 BIBLIOGRAPHIE ET RÉFÉRENCES :

Figure 1, salle de classe, du radiateur à l'installation de chauffage	1
Figure 2, radiateur: photographie et image infra rouge	2
Figure 3, transferts de chaleur	3
Figure 4, transfert de chaleur par convection	5
Figure 5, coupe schématique d'un convecteur	6
Figure 6, photographie d'un convecteur, image infra rouge après dépose du capot	6
Figure 7, aérotherme	7
Figure 8, coupe schématique d'un aérotherme	7
Figure 9, plancher chauffant avant la pose de la chape	8
Figure 10, les fonctions d'une installation de chauffage	8
Figure 11, courbe de réglage de la température de départ	11
Figure 12, intermittence, gestion d'un réduct de nuit	12

Photos et figures, Jean-David GRANDGEORGE, utilisables avec citation de la source.

OUVRAGES À CONSULTER POUR ALLER PLUS LOIN :

Guide du constructeur en bâtiment, R Adrait et D Sommier, Hachette

Mémotech génie énergétique, P. Dal Zotto, J.-M. Larre, A. Merlet, L. Picau, Casteilla

Climatisation Conditionnement d'air, Tome 2, Production de chaud et de froid, J Bouteloup, M Le Guay et J Ligen

Manuel de la régulation et de la gestion technique, R Cyssau, PIC éditions

REVUES SPÉCIALISÉES :

CFP, CHAUD FROID PERFORMANCE

Les cahiers du bâtiment

SITES INTERNET :

Pas de site recommandé en particulier,

Le site de l'ADEME propose de nombreuses ressources, les sites des constructeurs de chaudières, des fabricants d'émetteurs de chaleur ou des grandes enseignes de magasins de bricolage peuvent aussi apporter une aide.