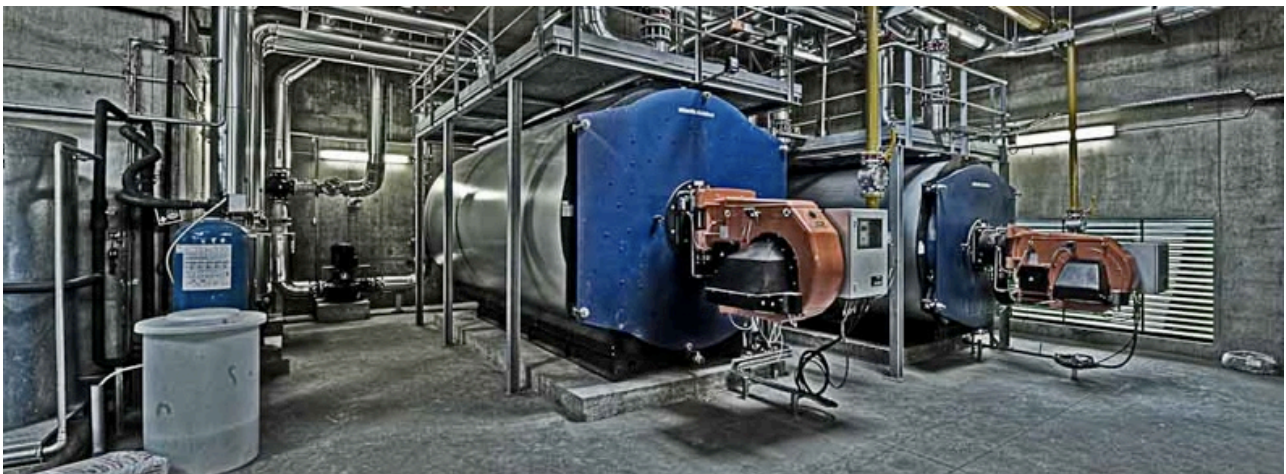


Formation de Technicien de Maintenance en Equipements Thermiques

Tome 3

- Circuits Hydrauliques Primaires
- Les Emetteurs de Chaleur
- Chaudières en Cascade
- Loi de Chauffe
- Gestion des Périodes d'Inoccupation



Sept. 2010 - Sept. 2011

Circuits Hydrauliques Primaires

Définition

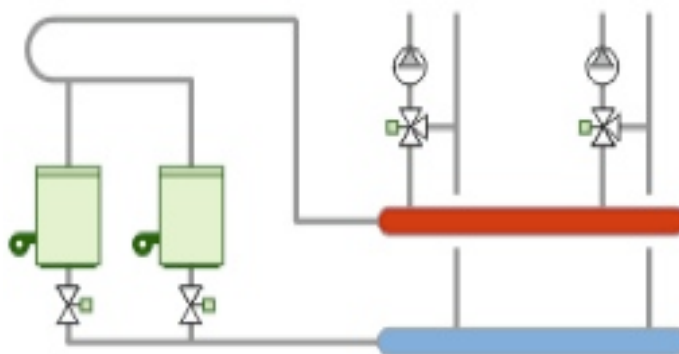
Dans les installations tertiaires, la distribution d'eau chaude comprend souvent, en chaufferie, un **circuit primaire** (ou collecteur) duquel partent plusieurs circuits secondaires qui alimentent les différentes zones du bâtiment. Ce circuit ou collecteur primaire peut prendre diverses configurations présentant chacune des avantages et des inconvénients.

Remarquons qu'il existe sur le terrain une quantité importante de configurations possible. Chaque bureau d'études peut apporter sa touche personnelle, sans compter les exigences propres à certains fabricants de chaudières (pompe de by-pass, ...). Nous ne reprendrons ici que les principaux schémas rencontrés:

- Circuit en boucle ouverte
- Circuit en boucle fermée
- Circuit avec bouteille "casse-pression"
- Circuit avec bouteille "casse-pression" et boucle fermée
- Raccordement des chaudières au circuit primaire
- Cas particulier des chaudières à condensation

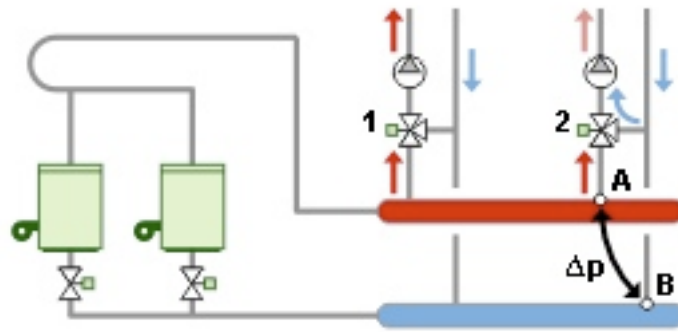
Circuit en boucle ouverte

Ces circuits sont composés d'un collecteur de départ et d'un collecteur de retour séparés. Il n'y a pas de circulateur sur le circuit primaire. La circulation de l'eau dans les chaudières est assurée par les circulateurs des circuits secondaires. Cela signifie qu'en présence de circuits secondaires avec vanne mélangeuse, le débit dans les chaudières est variable en fonction des besoins thermiques des utilisateurs. Il peut même devenir nul. La chaudière doit donc pouvoir résister à ce régime. Les chaudières peuvent également être soumises à une température de retour très basse qui risque de provoquer des condensations corrosives et pour les chaudières en fonte, une rupture par choc thermique.



Circuits hydrauliques Primaires

Ce type de circuit primaire est sensible aux interférences entre les circuits. En effet, toute modification de l'ouverture d'une vanne mélangeuse va provoquer une modification du débit circulant dans les chaudières et les collecteurs:

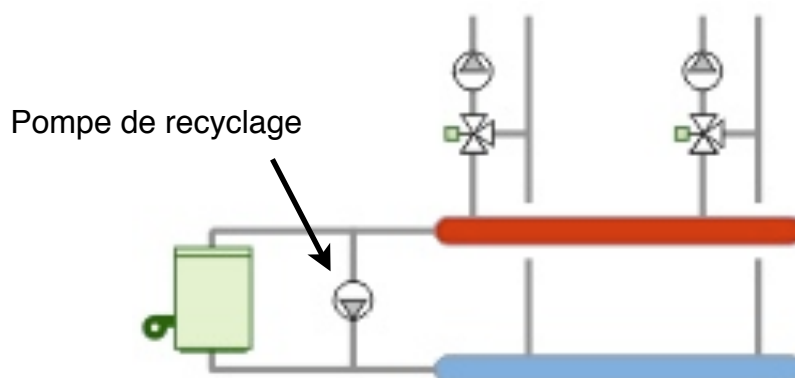


Si la vanne mélangeuse (1) s'ouvre, le débit dans les collecteurs augmentera. Cela augmentera la perte de charge dans le collecteur. Ceci signifie que la pression différentielle ΔP à l'entrée du deuxième circuit augmente également. Le débit dans ce circuit va donc augmenter. La vanne mélangeuse (2) va donc se fermer pour respecter la température de consigne.

Cette fermeture va à son tour remodifier le débit global entraînant une réaction compensatoire de l'autre vanne.

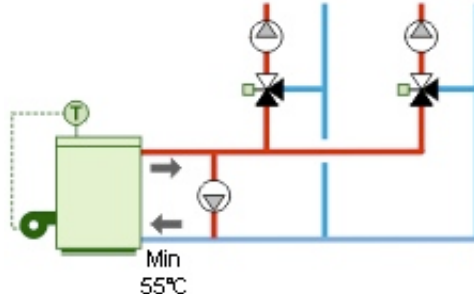
On imagine aisément les **oscillations de régulation** qui peuvent apparaître lorsque l'installation comprend de nombreux circuits secondaires. Il peut même arriver dans des cas extrêmes de circuits déséquilibrés et mal dimensionnés que l'augmentation de pression ΔP aux bornes d'un circuit secondaire devienne plus élevée que la hauteur manométrique de sa pompe. Dans ce cas, la circulation s'inversera dans le circuit et le retour sera plus chaud que le départ.

Les circuits à boucle ouverte sont souvent équipés d'un circulateur de recyclage. Ce circulateur permet d'obtenir un débit minimal dans la chaudière quel que soit le degré d'ouverture des vannes 3 voies. Il permet également de maintenir une température minimale au retour de la chaudière, pour les chaudières ne pouvant pas descendre en température.



Circuits hydrauliques Primaires

Exemple de calcul d'une pompe de recyclage:



1) Données de départ:

- La pompe de recyclage permet d'obtenir un débit minimal dans la chaudière quel que soit le degré d'ouverture des vannes 3 voies.
- La chaudière est en permanence maintenue en température (80 .. 90°C) et la température de retour ne peut jamais descendre en dessous de **55°C** (qui est environ la **température de rosée** des fumées).
- A la relance matinale, l'ouverture des vannes mélangeuses est en outre limitée pour garantir cette température de retour minimale.
- La perte de charge nominale de la chaudière est de **8 kPa** et le débit minimal admissible dans celle-ci est de **50 %**.

2) Calcul des caractéristiques de la pompe:

- Lorsque les vannes 3 voies sont fermées:

Le débit de la pompe = 0,5 x débit nominal de la chaudière, donc la perte de charge à vaincre est de :

$$8 \text{ [kPa]} \times (0,5)^2 = 2 \text{ [kPa]}$$

- Lorsque les vannes 3 voies sont ouvertes en grand:

La hauteur manométrique de la pompe doit être supérieure à la perte de charge nominale de la chaudière pour éviter que le débit s'inverse dans le by-pass. On prend une sécurité de 10 % sur le débit minimal qui peut traverser la pompe. On doit vaincre une perte de charge égale à :

$$8 \text{ [kPa]} \times (1,1)^2 = 9,7 \text{ [kPa]}$$

La pompe choisie doit donc fournir:

- un débit de 0,5 x débit nominal de la chaudière pour une hauteur manométrique de 2 kPa
- et un débit de 0,1 x débit nominal de la chaudière pour une hauteur manométrique de 9,7 kPa

Circuits hydrauliques Primaires

Remarque:

Ce calcul devient caduque si les pompes des circuits secondaires sont surdimensionnées. Par exemple, si le débit maximal puisé par les circuits secondaires est supérieur de 50 % au besoin réel (ce qui est fréquent), la perte de charge créée dans la chaudière lors de l'ouverture de toutes les vannes 3 voies est de :

$$8 \text{ [kPa]} \times (1,5)^2 = 18 \text{ [kPa]}$$

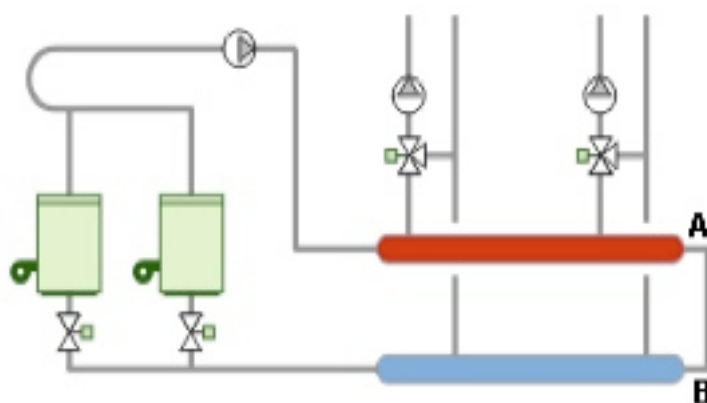
Dans ce cas, si la pompe de recyclage a été choisie suivant les caractéristiques calculées ci-dessus, le débit s'inversera quand même dans le by-pass. Cela créera un point de mélange entre de l'eau froide et de l'eau chaude à la sortie de la chaudière et la consigne de température ne sera jamais atteinte.

Cela montre toute l'importance du calcul de l'ensemble des débits primaires et secondaires d'une installation de chauffage et de la possibilité de disposer d'organes de réglage de ces derniers.

Circuit en boucle fermée

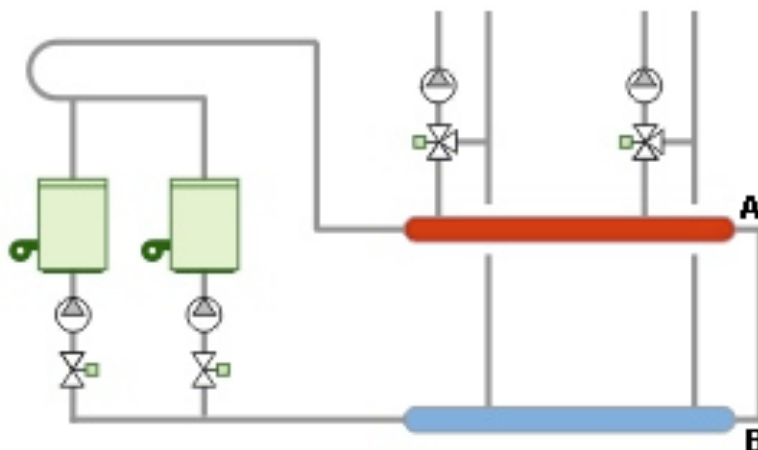
Un moyen d'éliminer les interférences entre les circuits secondaires, caractéristiques des circuits en boucle ouverte, est de relier les chaudières et les circuits de distribution par une **boucle fermée** à faible perte de charge. La faible perte de charge dans la boucle (entre les points A et B des schémas suivants) permet d'éliminer les effets de pression différentielle entre le départ et le retour des circuits secondaires.

On retrouve des boucles fermées avec une pompe unique alimentant le collecteur ... :



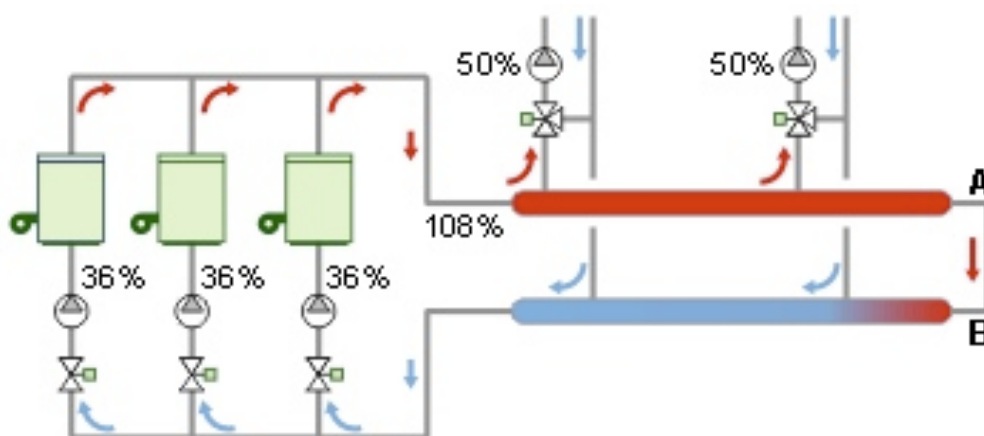
Circuits hydrauliques Primaires

... et des boucles fermées avec une pompe par chaudière:



Les circuits en boucle fermée présentent également un inconvénient lorsqu'ils sont raccordés à des chaudières régulées "en cascade".

En effet, pour garantir une température correcte d'alimentation des circuits secondaires, il est impératif que le **débit absorbé** par ces derniers soit **inférieur** ou égal au débit véhiculé par la boucle primaire.



Circuit primaire fonctionnant correctement : le débit primaire (108 %) est supérieur au débit des circuits secondaires ($< 2 \times 50 \%$). Le surplus de débit primaire non puisé retourne vers les chaudières au travers de la boucle.

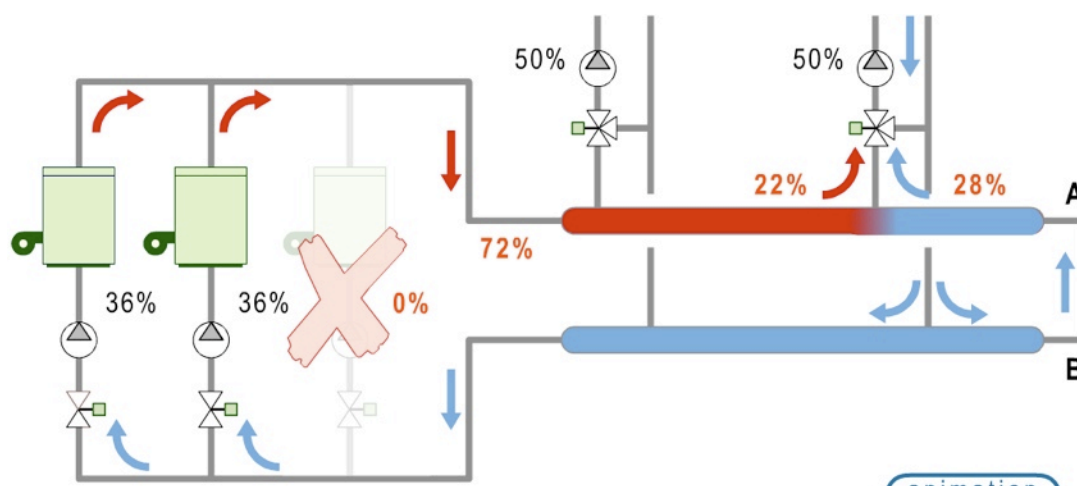
Dans une installation composée de plusieurs chaudières, la mise à l'arrêt d'une d'entre elles (arrêt du brûleur et de l'irrigation), telle qu'elle est pratiquée par une régulation en cascade, va réduire le débit de la boucle primaire. Or le débit des circuits secondaires ne se réduit pas toujours en parallèle.

Imaginons le cas d'une installation dont la température du circuit primaire et des circuits secondaires est régulée en fonction de la température extérieure.

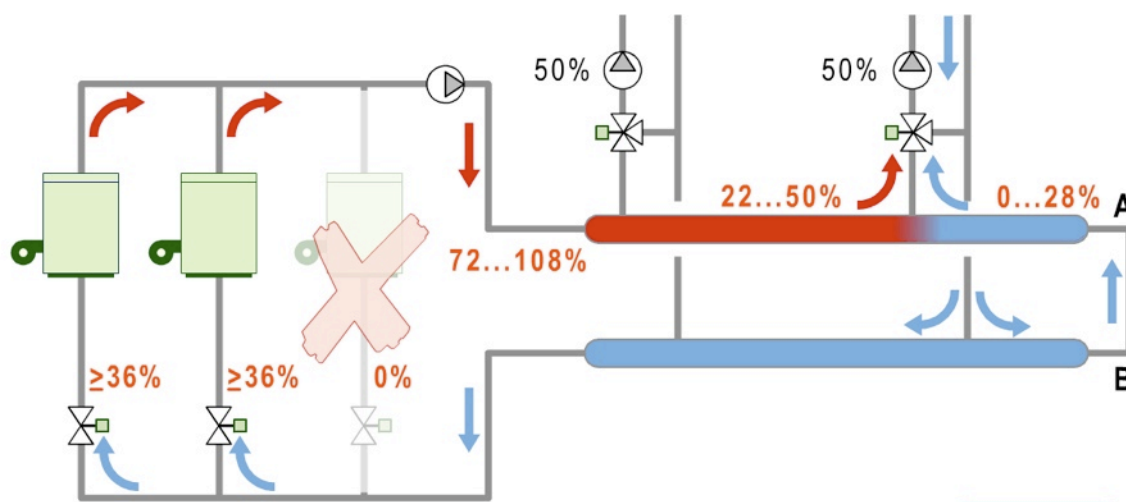
Circuits hydrauliques Primaires

En mi-saison, une ou plusieurs chaudières se mettent à l'arrêt, ce qui réduit le débit primaire. Par contre, si la température d'eau demandée à la sortie des chaudières est proche de la température demandée au niveau des circuits secondaires, les vannes mélangeuses sont ouvertes en grand, demandant le débit maximum. Dans ce cas, le débit de la boucle primaire devient inférieur au débit secondaire. Pour compenser le manque de débit d'eau chaude qui en résulte, la pompe du (ou des) dernier(s) circuit(s) de la boucle va puiser de l'eau dans la partie "retour" du collecteur créant une circulation inverse dans la boucle. Ce (ou ces) circuit(s) ne sera(ont) alors pas alimenté(s) à la bonne température, ce qui créera un inconfort pour les occupants.

- Cas avec une pompe par chaudière:



- Cas avec pompe unique sur le circuit primaire:



Circuits hydrauliques Primaires

Ce phénomène apparaît également lorsque les pompes des circuits secondaires ont été surdimensionnées par rapport au débit primaire.

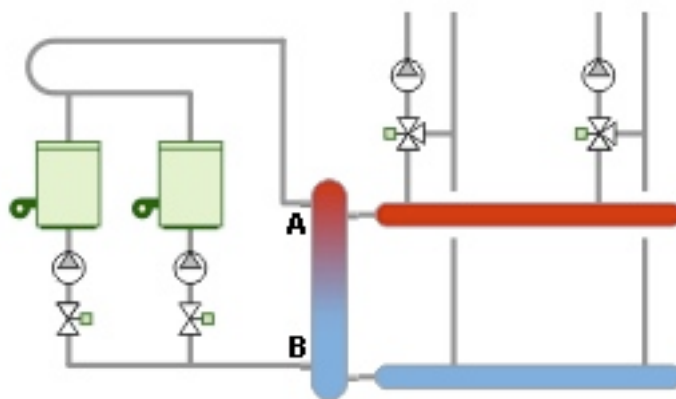
Éliminer le problème en plaçant un clapet anti-retour dans la boucle (tronçon AB) n'est pas une solution correcte puisqu'à la fermeture du clapet, on se retrouve dans la situation d'une boucle ouverte avec les interférences entre les circuits que cela implique. De plus, les pompes primaire(s) et secondaires se mettent en série et les débits d'eau deviennent incontrôlables.

Le seul moyen pour rendre les débits primaire et secondaires compatibles en mi-saison consiste à faire travailler les chaudières à plus haute température que les circuits secondaires. Dans ce cas, les vannes mélangeuses se fermeront pour respecter leur consigne de température et on obtiendra une diminution parallèle des débits primaires et secondaires.

Le circuit primaire avec boucle fermée implique donc des pertes à l'arrêt des chaudières plus importantes.

Circuit avec Bouteille Casse-Pression

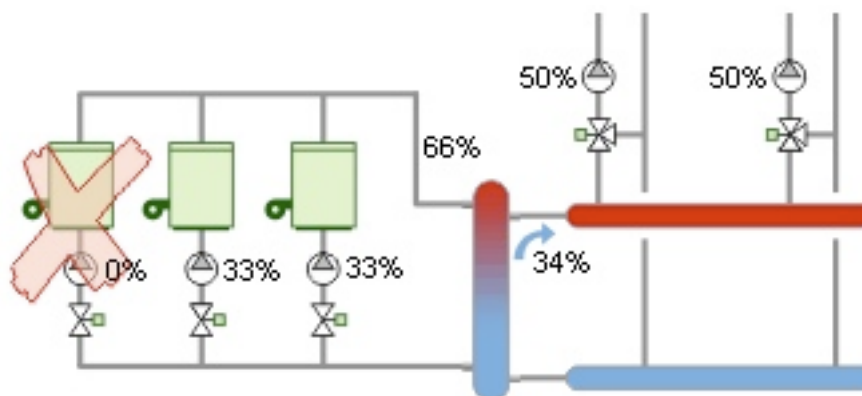
Le principe de la bouteille casse-pression est semblable à celui de la boucle fermée. Plutôt que de se trouver en bout de collecteur, le by-pass se retrouve ici avant les circuits secondaires. L'objectif est de supprimer l'interférence hydraulique entre le circuit des chaudières et les circuits secondaires.



Lorsque les vannes mélangeuses sont partiellement fermées, le surplus de débit entre le circuit des chaudières et les circuits secondaires circulera dans la bouteille casse-pression (de A vers B). De l'eau chaude sera ainsi renvoyée vers les chaudières limitant les risques de température de retour trop faible pour les chaudières sensibles aux condensations.

Circuits hydrauliques Primaires

Comme la boucle fermée, la bouteille casse-pression impose aux chaudières multiples de travailler à **plus haute température** pour éviter que les circuits secondaires ne soient obligés de puiser, via la bouteille, de l'eau froide dans le collecteur de retour, lorsqu'une des chaudières est à l'arrêt:

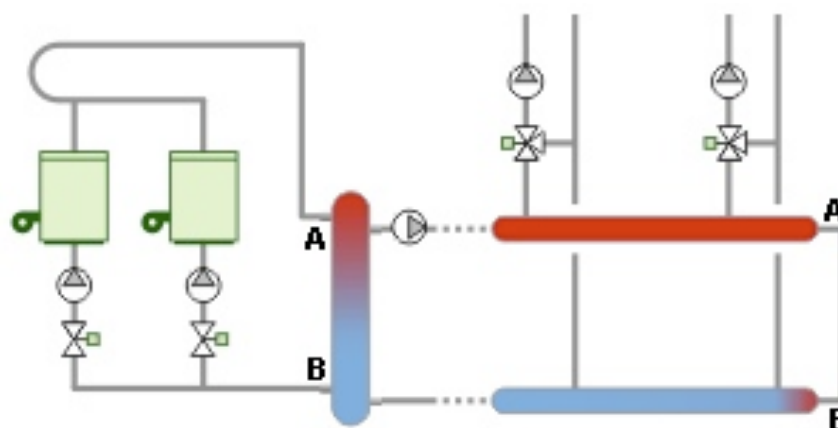


Circulation inverse dans la bouteille casse-pression lorsque le débit secondaire est supérieur au débit primaire.

Pour éviter cette situation, on fait travailler le primaire à plus haute température de manière à empêcher les V3V de s'ouvrir complètement (on limite ainsi la demande de débit par les circuits secondaires)

Circuit avec Bouteille Casse-Pression et Boucle Fermée

Lorsque le départ des circuits secondaires est éloigné de la chaufferie, des interférences entre les circuits peuvent apparaître même avec un circuit primaire en boucle fermée, du fait de l'importance des pertes de charge du collecteur. Pour limiter ce risque, on peut combiner bouteille casse-pression et boucle fermée.



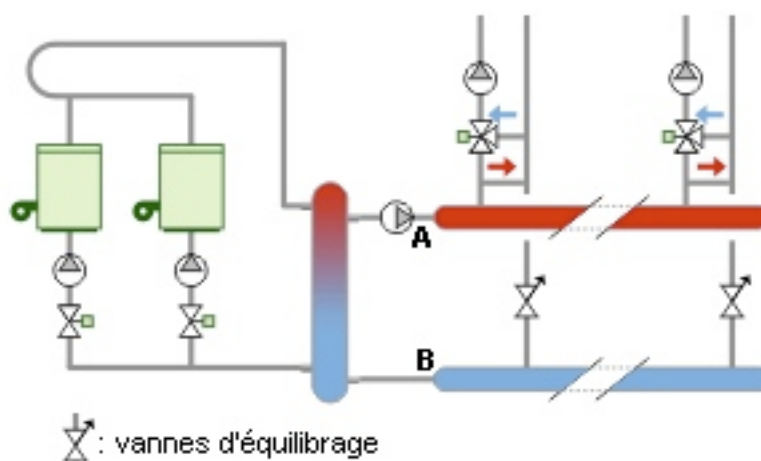
Cas d'un circuit avec collecteur éloigné de la chaufferie.

Circuits hydrauliques Primaires

Les problèmes de compatibilité entre débits primaire et secondaires et les risques de circulation inverse dans les tronçons AB restent présents, obligeant les chaudières à travailler à température élevée.

Si la boucle de distribution est très longue, le circuit ci-dessus est à exclure. En effet, le circuit le plus proche de la pompe primaire est soumis à une pression différentielle importante qui risque d'inverser la circulation dans le by-pass de la vanne mélangeuse. La régulation serait alors perturbée.

Pour éviter cela, un by-pass doit être installé au niveau de chaque circuit secondaire. La circulation dans ce by-pass est réglée grâce à une vanne d'équilibrage sur chaque circuit.

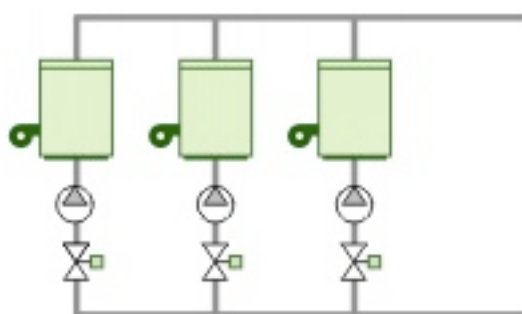


Cas d'un circuit avec collecteur très étendu.

Raccordement des Chaudières au Circuit Primaire

Dans une installation de chauffage composée de plusieurs chaudières, les débits doivent se répartir de façon correcte dans chacune d'elles.

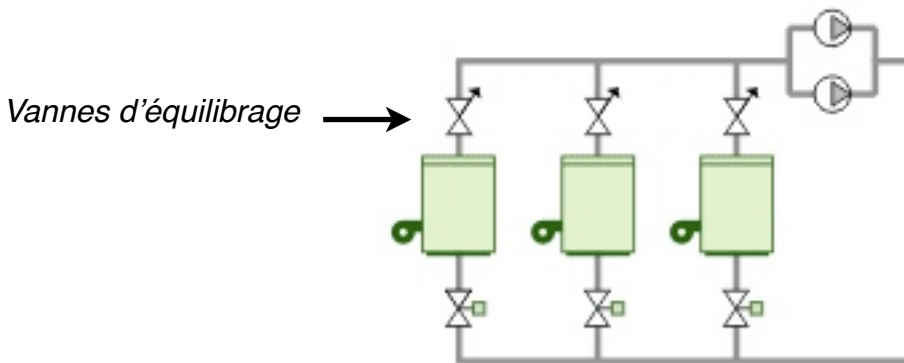
La première solution est d'alimenter chaque chaudière au moyen d'une pompe qui lui est propre.



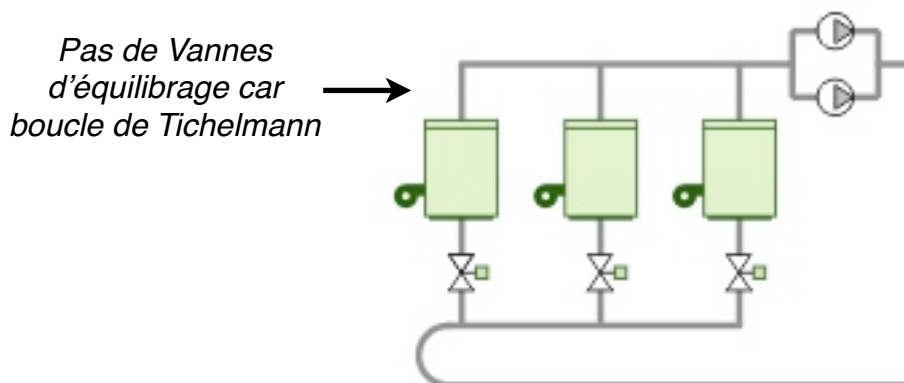
Circuits hydrauliques Primaires

Dans ce cas, la pompe est adaptée à la résistance hydraulique de chaque chaudière. L'inconvénient de type de raccordement est la mise à l'arrêt de la chaudière en cas de panne de sa pompe, à moins de dédoubler toutes les pompes. Ce dédoublement est plus aisé si on travaille avec une pompe commune à toutes les chaudières. On dispose alors d'une pompe principale et d'une pompe de réserve.

Deux modes de raccordement hydraulique sont alors possibles :



Raccordement des chaudières en parallèle avec une pompe commune : des vannes d'équilibrage règlent les pertes de charge pour que chaque chaudière soit irriguée correctement.



Raccordement des chaudières en boucle de "Tichelmann" : la première chaudière alimentée par le retour et la dernière alimentant le départ. Chaque chaudière est ainsi raccordée au circuit primaire par un circuit de longueur et donc une résistance hydraulique semblable. En fait, les vannes d'équilibrage sont remplacées par des longueurs de tuyau.

Les Emetteurs de Chaleur

Les Radiateurs

Les radiateurs sont les émetteurs de chaleur les plus répandus. Leur principe de fonctionnement consiste à faire circuler à l'intérieur un débit d'eau chaude à une certaine température.

Les radiateurs émettent leur chaleur par rayonnement et par convection. La répartition entre ces deux modes d'émission dépend du type de radiateur:

- Les radiateurs à panneaux:

Ces radiateurs sont composés de **tôles d'acier profilées** assemblées 2 à 2 pour former des panneaux creux parcourus par l'eau chaude. Un radiateur peut être composé de 1, 2, 3 voire 4 panneaux.

Les panneaux peuvent être équipés de déflecteurs ou ailettes.



Radiateurs à panneaux: 50% de la chaleur est émise par convection.



... avec des ailettes, la part de convection passe à 70%.

- Les radiateurs à éléments:

Ces radiateurs se retrouvent dans les anciennes installations. Ils se composent d'**éléments identiques juxtaposés**, en nombre suffisant pour obtenir la puissance nécessaire.

Les éléments peuvent être en fonte. Dans ce cas, ils présentent une inertie importante et chauffent principalement par rayonnement.

Les éléments peuvent aussi être en acier. Dans ce cas c'est la part de rayonnement qui est faible.

Les Emetteurs de Chaleur



*Radiateur à éléments en fonte:
Chauffage par rayonnement
principalement.*



*Radiateur à éléments en acier:
Chauffage par convection
principalement.*

- Les radiateurs en aluminium:

Il s'agit généralement de radiateurs décoratifs.

L'aluminium permet en effet d'obtenir des foules plus élégantes par coulée sous pression ou par extrusion.



Radiateurs en aluminium.

Ces radiateurs sont cependant très sensibles à la corrosion si l'eau est de qualité insuffisante. Se pose également le problème de mélange de métaux différents dans une même installation, ce qui peut également être la source de problèmes.

Les Emetteurs de Chaleur

Puissance d'un Radiateur

Les puissances annoncées sur les catalogues sont des puissances "**normalisées**" c'est à dire qu'elles ont été mesurées suivant une méthode bien précise (*méthode décrite dans la norme européenne **EN 442***):

- En gros, les émissions thermiques d'un radiateur sont mesurées dans une cellule de 4m x 4m x 3m maintenue à une **température ambiante (Ti) de 20°C** par refroidissement de ses parois et ceci par circulation d'eau.
- La température d'entrée d'eau du radiateur (Te) est portée à 75°C puis le débit est réglé de façon à obtenir une chute de température dans le radiateur de 10°C donc 65°C en sortie de radiateur (Tr) et ceci afin d'obtenir un **DeltaT de 50 °C** : $(75 + 65) / 2 - 20 = 50$. Une fois les températures stables, on mesure à l'aide de différents capteurs la puissance thermique totale (radiative et convective) du radiateur. Avec le même débit, la puissance est mesurée à différents DeltaT. Plusieurs radiateurs sont mesurés dans une même gamme et pour connaître la puissance émise par tous les radiateurs de la gamme on procède par méthode d'interpolation.

Remarques:

- Avant le 28 septembre 1997 la norme Française (NF P 52011) était appliquée. La différence entre les 2 normes est principalement le DeltaT utilisé : NF P 52011 **DeltaT = 60 °C**: $(90 + 70) / 2 - 20 = 60$.
- On constate donc que la norme actuelle travaille avec des valeurs de températures plus faibles. Cette baisse des températures pour le calcul des puissances des radiateurs est principalement due aux températures de fonctionnement des chaudières actuelles, généralement limitées à 75°C, qui fonctionnent en basse et très basse température car les logements sont maintenant très bien isolés et ne demande donc plus des températures élevées.

Résumé:

La plupart des fabricants indiquent maintenant les émissions calorifiques des radiateurs suivant la norme européenne EN 442. Cette norme tient compte d'un **régime de dimensionnement 75°/65°** pour une température intérieure de **20°C**.

Cette norme remplace l'ancienne norme qui se basait sur un **régime de dimensionnement 90°/70°**.

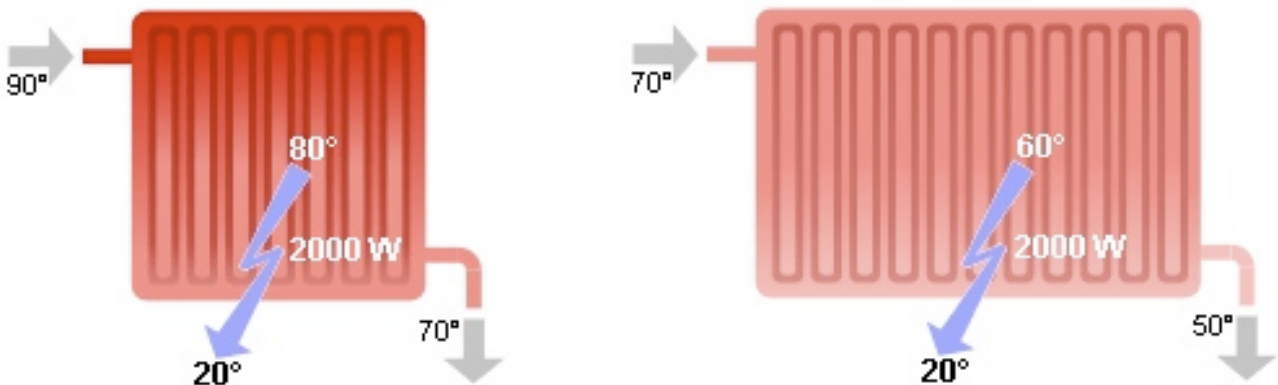
Les Emetteurs de Chaleur

Lorsqu'on nous donne la puissance d'un radiateur, il faut impérativement connaître le régime de dimensionnement associé (75°/65° ou 90°/70°).

Si on choisit un radiateur de 2 000 W dimensionné en régime 90/70, cela signifie que l'eau entre dans le radiateur à 90°C, qu'elle cède 2 000 W de chaleur au local à 20°C, et sort avec une température de 70°C.

Si on choisit un radiateur de 2 000 W dimensionné en régime 70/50, cela signifie que, si on alimente le radiateur avec de l'eau à 70°C, celle-ci cédera 2 000 W de chaleur au local à 20°C, et ressortira avec une température de 50°C.

Évidemment, la différence de température entre le local et la température moyenne du radiateur est plus faible : (60°C - 20°C) au lieu de (80°C - 20°C). Pour fournir la même puissance, la surface du radiateur deviendra plus importante.



Si on connaît la puissance d'un radiateur dans un régime de dimensionnement et que l'on veut connaître sa puissance dans un autre régime, alors on utilise la formule suivante:

$$\text{Puissance régime 2} = (\Delta T_{\text{moy régime 2}} / \Delta T_{\text{moy régime 1}})^{1,3} \times \text{Puissance régime 1}$$

où ΔT_{moy} est la différence de température entre l'eau du radiateur (moyenne entre l'entrée et la sortie) et la température intérieure.

Exemple:

Un radiateur de 2 000 W, en régime 90°/70° (c'est-à-dire ayant une température moyenne de 80°C) fournira :

$$((70 [^{\circ}\text{C}] - 20 [^{\circ}\text{C}]) / (80 [^{\circ}\text{C}] - 20 [^{\circ}\text{C}]))^{1,3} \times 2\,000 [\text{W}] = 1\,578 [\text{W}]$$

s'il est alimenté en régime 75°/65° (c'est-à-dire avec une température moyenne de 70 °C).

Les Emetteurs de Chaleur

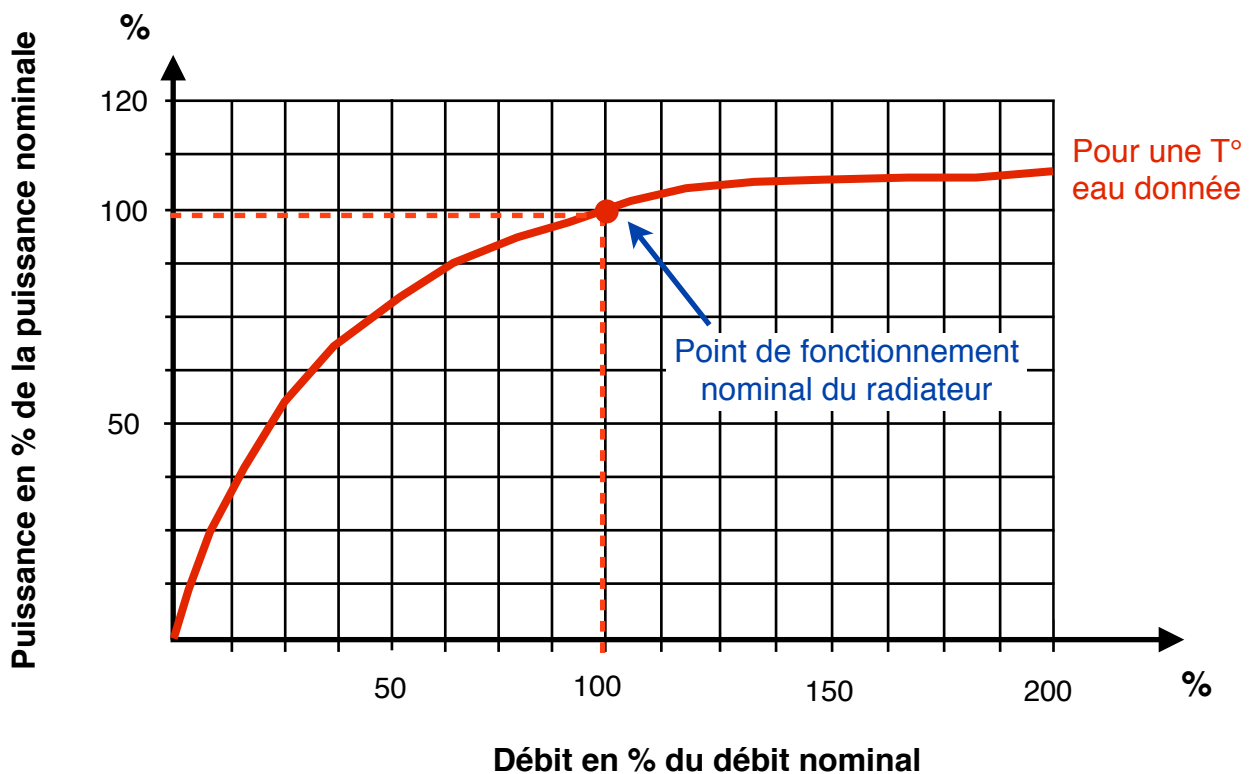
Nous venons de voir que la puissance d'un radiateur dépend du ΔT° entre sa température moyenne et la température ambiante. Plus la température moyenne du radiateur est élevée et plus la puissance de celui-ci est élevée.

Or, cette température moyenne est directement **liée au débit d'eau** dans le radiateur:

- Si le débit est élevé, la T° entre l'entrée et la sortie n'a pas le temps de baisser. La T° moyenne du radiateur est donc proche la T° de départ eau. La puissance est au maximum.
- Si le débit est faible, la T° a le temps de chuter dans le radiateur. La T° moyenne du radiateur sera donc plus faible et par conséquent sa puissance également.

Un radiateur est donc prévu pour fonctionner à un régime de dimensionnement donné, ce qui implique un débit d'eau donné. Dans ces conditions, il donnera 100% de sa puissance nominale.

La courbe Puissance - Débit d'un radiateur est donné ci-dessous:



Les Emetteurs de Chaleur

En fonctionnement nominal (*correspondant à l'envoi par la chaudière de la température d'eau maximale du régime de dimensionnement car la température extérieure a atteint la T_{ref}*), on connaît les T° d'entrée et de sortie du radiateur.

Comme tout émetteur, on peut donc calculer le **débit** qui le traverse grâce à la formule suivante:

$$P = D \times c \times \Delta T$$

P: Puissance nominale du radiateur (**W** ou **kW**) donnée par le constructeur

D: Débit dans le radiateur

- **l/h** si la puissance est en **W**

- **m³/h** si la puissance est en **kW**

c: Chaleur massique de l'eau (= **1,16**)

ΔT : Différence de température de l'eau entre l'entrée et la sortie

- si le régime est 90/70, alors $\Delta T = 90^\circ - 70^\circ = 20 \text{ K}$

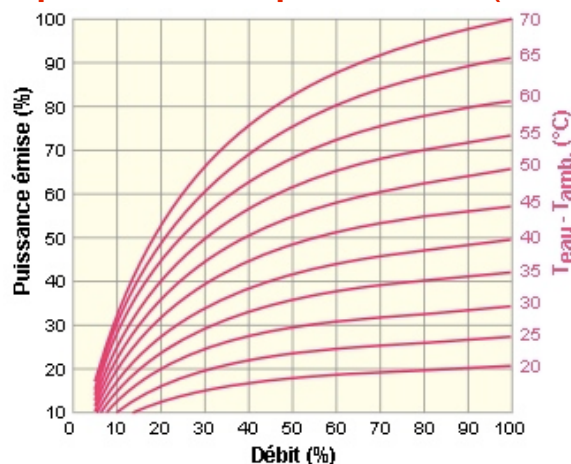
- si le régime est 75/65, alors $\Delta T = 75^\circ - 65^\circ = 10 \text{ K}$

- etc ...

La courbe de puissance du radiateur en fonction du débit le traversant nous donne des informations très intéressantes d'un point de vue pratique:

- Un radiateur qui reçoit entre 80% et 120% du débit nominal qui lui est théoriquement nécessaire fournit presque une puissance correcte comprise entre 96% et 103% de sa puissance nominale.
- C'est une chance car il est difficile de bien régler les débits en circulation dans une installation de chauffage et la plupart d'entre elles sont déséquilibrées, bien souvent dans des proportions très importantes.

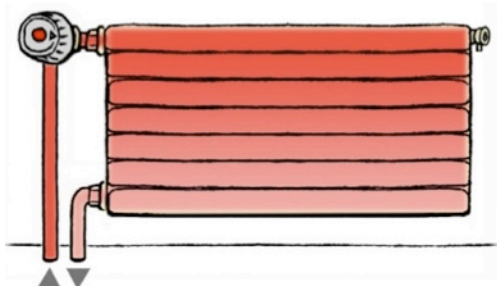
Dans les installations de chauffage, on règle la puissance des radiateurs en agissant sur la température de départ de l'eau (via la V3V) tout en laissant le débit constant:



Puissance émise par un radiateur en fonction de son débit et de la température de l'eau

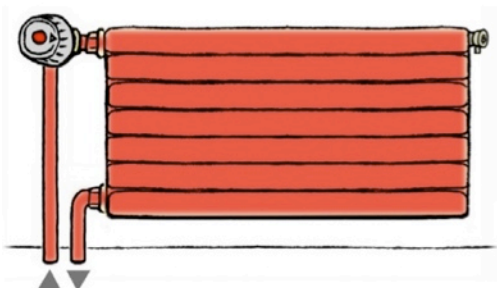
Les Emetteurs de Chaleur

Comment savoir si un radiateur fonctionne correctement?:



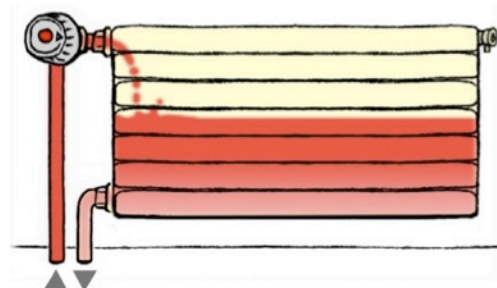
A

Le haut du radiateur est plus chaud que le bas (10 à 20°C de différence lorsqu'il fait très froid dehors): tout est en ordre. L'eau du système de chauffage arrive avec le juste débit, de sorte que le radiateur travaille bien. Si on a trop chaud, c'est que la régulation en chaufferie n'est pas bien réglée ou que le radiateur est trop puissant (trop grand).



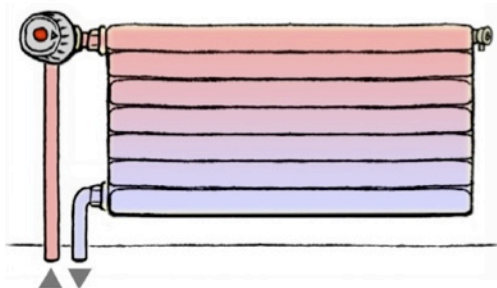
B

Le radiateur est aussi chaud en haut qu'en bas : problème. L'eau circule trop vite et traverse le radiateur sans avoir le temps de bien dissiper sa chaleur. La pompe de circulation du chauffage est trop puissante, ou le radiateur reçoit trop de débit, au détriment d'autres situés plus loin de la chaufferie.



C

Le haut du radiateur est froid, alors que le bas est chaud : problème. Il y a sûrement de l'air dans le radiateur (on entend souvent «glouglouter» l'eau qui circule). Le radiateur devrait être purgé de son air pour pouvoir travailler correctement.



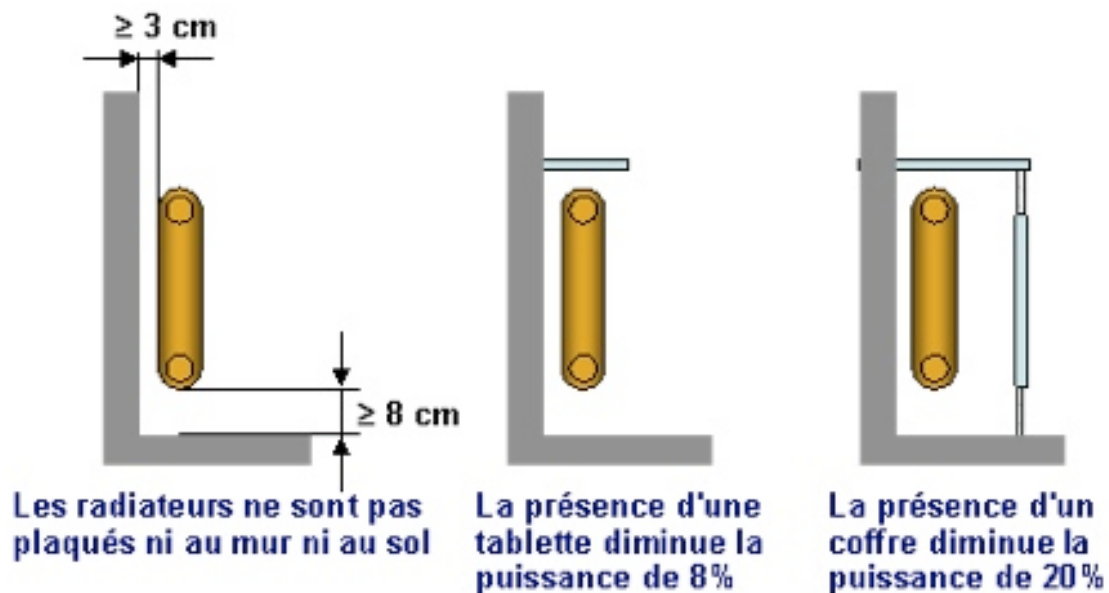
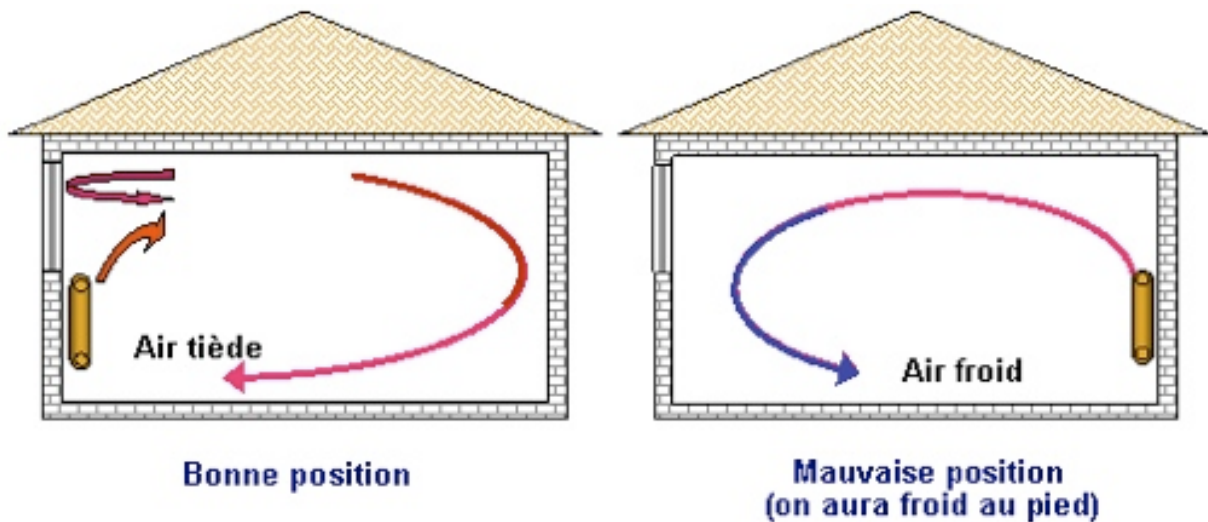
D

Le radiateur est froid sur sa plus grande partie : si le robinet (ou la vanne thermostatique) est grand ouvert, et que d'autres radiateurs sont chauds dans l'appartement ou les autres étages, c'est le signe qu'il n'y a pas assez d'eau chaude qui le traverse. Cela peut venir d'une obstruction dans les conduites ou d'un déséquilibre de la circulation d'eau: trop d'eau chaude passe dans les radiateurs situés près de la chaufferie, et il n'en reste plus assez pour les radiateurs les plus éloignés.

Les Emetteurs de Chaleur

Emplacement des radiateurs:

Les émetteurs s'installent sur les parois les plus froides, si possible sous les fenêtres:



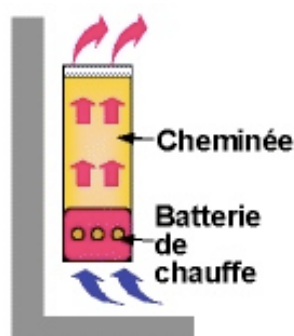
Les Emetteurs de Chaleur

Les Convecteurs

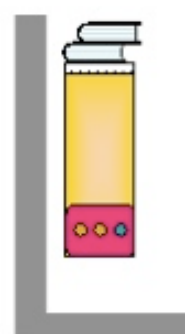
Les convecteurs sont constitués d'une partie chauffante de faible hauteur éventuellement prolongée d'une " cheminée " qui favorise la circulation de l'air par convection (tirage thermique). Evidemment, si la circulation d'air est totalement obstruée, la puissance de chauffage deviendra très faible (-20%).



Source : Chaufficlim



Convecteur



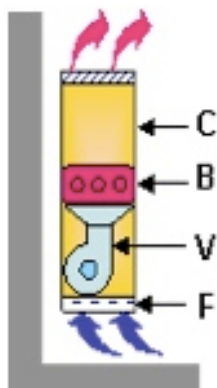
Convecteur obturé

De technologie simple, les convecteurs sont souvent bon marché et certains modèles peuvent résister à des pressions d'eau élevées. Le confort du chauffage étant néanmoins limité, ils sont plutôt installés dans le tertiaire (bureaux, administrations, commerces, etc.).

Les convecteurs devront être régulièrement dépoussiérés.

Les Ventilo-Convecteurs

Les ventilo-convecteurs sont des convecteurs équipés d'un ventilateur qui assure la circulation de l'air. La convection n'est plus alors naturelle. On parle de convection **forcée**. La présence d'un ventilateur permet l'installation d'un filtre de protection du corps de chauffe. Alimentés en eau " glacée ", Il est possible d'utiliser les ventilo-convecteurs pour la climatisation. Ce ne serait pas possible avec un simple convecteur, car la circulation naturelle serait trop faible et l'air refroidi circulerait au sol des locaux climatisés. Ce serait très inconfortable.

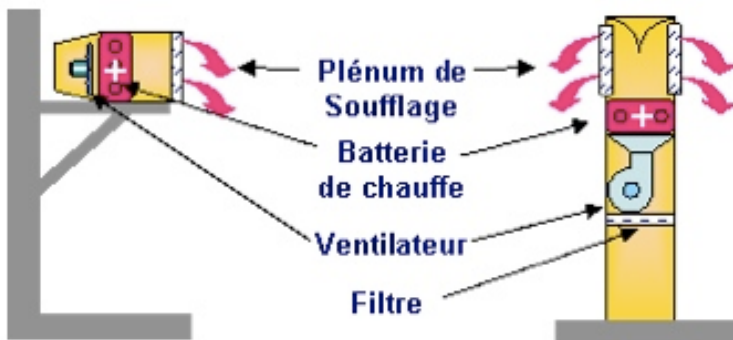


- C**: Cheminée
- B**: Batterie de chauffe
- V**: Ventilateur
- F**: Filtre à air

Les Emetteurs de Chaleur

Les Aérothermes

Les aérothermes sont de " gros ventilo-convecteurs " installés pour assurer le chauffage de grands locaux de type tertiaires et industriels tels qu'usines, ateliers, magasins etc...

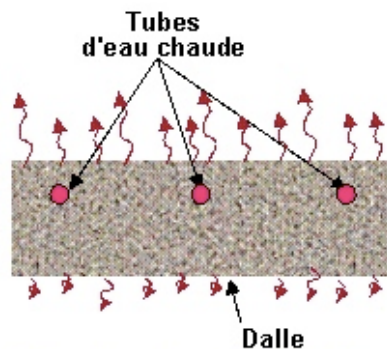


Les aérothermes sont alimentés avec une eau à température constante (*contrairement aux radiateurs*) et un débit qui varie en fonction du travail de la vanne 3 voies. Lorsque la température du local est atteinte, le ventilateur s'arrête mais la batterie chaude reste alimentée en permanence.
On règle donc la température du local par des Marche - Arrêt du ventilateur.

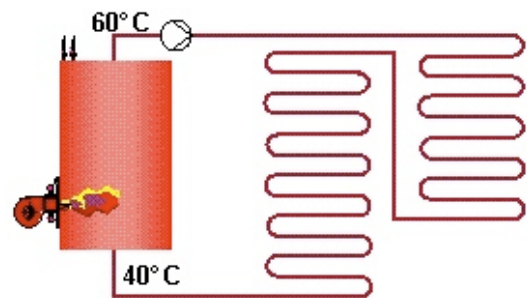
Les Emetteurs de Chaleur

Les Planchers Chauffants

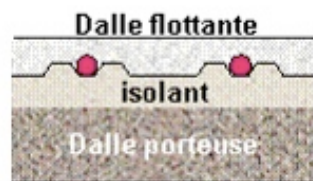
Autrefois, les planchers chauffants étaient réalisés par l'installation d'un tube d'acier "déroulé" dans la dalle de séparation des locaux à chauffer. Chaque appartement disposait d'une seule boucle de chauffe. Le système était **très inerte** (lente variation de la puissance de chauffe) ce qui occasionnait d'importantes surchauffes.



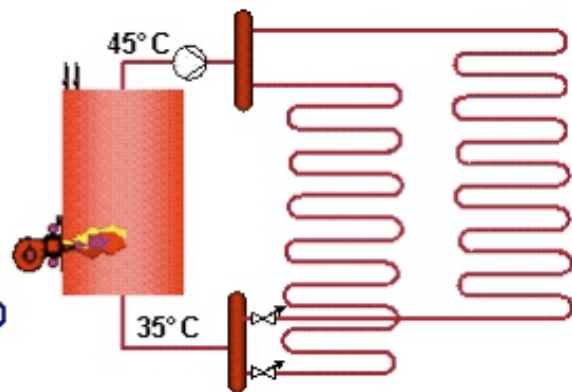
Plancher chauffant 1960



Aujourd'hui, les tubes sont en matière plastique. Ils sont déroulés dans une dalle flottante de faible épaisseur coulée sur une couche d'isolant. Le système est beaucoup moins inerte qu'autrefois. On réalise une boucle de chauffe par pièce, ce qui facilite le réglage des températures.



Plancher chauffant 2000



Chaque boucle (ou épingle) du plancher est raccordée à 2 nourrices aller/retour appelées collecteurs ou clarinettes:



Bien réalisés, les planchers chauffants sont aujourd'hui très confortables. La température superficielle du sol ne dépasse jamais **28 [°C]**. La température de l'eau est au maximum de **50 [°C]** par grands froids.

Chaudières en Cascade

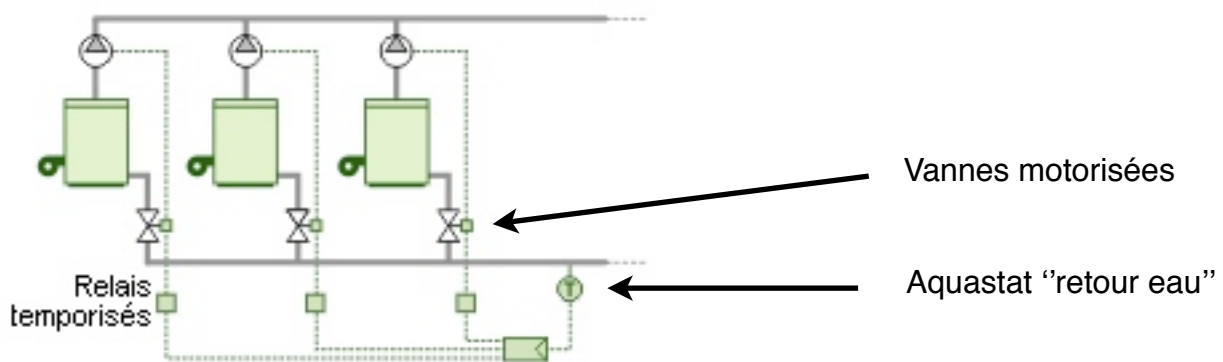
Gestion de Chaudières en Cascade

La régulation en cascade s'applique à des installations équipées de plusieurs chaudières ou de brûleurs à deux allures (fuel ou gaz), c'est-à-dire à des installations dont la puissance totale est **fractionnée** en plusieurs unités. Elle consiste à n'**enclencher un étage de puissance** que lorsque celui-ci est nécessaire.

Il existe différents modes de régulation (c.a.d de mise en route et d'arrêt) des chaudières en cascade:

- Décalage des aquastats de chaudière
- Régulation en fonction de la température de départ du collecteur (*le plus courant*)
- Régulation en fonction de la température de retour du collecteur
- Régulation en fonction de la chaleur fournie (ex: mesure des temps de fonctionnement des brûleurs)

Exemple très fréquent de régulation de chaudières en cascade:



Régulation par température de retour:

Lorsque les besoins en chauffage augmentent, la température de retour diminue, à débit d'eau constant.

Lorsque la température de retour chute, la chaudière suivante de la séquence est enclenchée.

Chaudières en Cascade

Exemple:

Prenons une chaufferie composée de 3 chaudières dimensionnées pour un régime de température 90°/70°. La différence entre le départ et le retour est de 20°C lorsque les besoins sont maximaux.

Si la température de départ est maintenue en permanence à 90°C, on peut déterminer la température de retour qui correspond à la puissance de chaque étage de la cascade :

$$20 [^{\circ}\text{C}] / 3 [\text{chaudières}] = 7 [^{\circ}\text{C}]$$

Une chaudière est nécessaire lorsque la température de retour est supérieure à :

$$90 [^{\circ}\text{C}] - 7 [^{\circ}\text{C}] = 83 [^{\circ}\text{C}]$$

Deux chaudières sont nécessaires lorsque la température de retour est comprise en 83 [°C] et :

$$90 [^{\circ}\text{C}] - 7 [^{\circ}\text{C}] - 7 [^{\circ}\text{C}] = 76 [^{\circ}\text{C}]$$

En dessous de 76 [°C], la troisième chaudière s'enclenche

Remarques:

- Si la température de départ du collecteur est régulée en fonction de la température extérieure, la consigne de retour à maintenir, varie également.
- Notons qu'avec une régulation en cascade en fonction de la température de retour, en absence de besoin, la température circulant dans la boucle primaire sera égale à la température de retour (70°C). Par contre cette température sera égale à la température de départ (90°C) dans le cas d'une régulation en fonction de la température de départ, ce qui est plus défavorable d'un point de vue énergétique.

Démarrage d'une Chaudière dans une Cascade

Quelque soit le mode de régulation, la mise en route d'une chaudière lorsque la consigne est atteinte suit un ordre bien établi:

- 1) La régulation envoie l'ordre d'**ouverture de la vanne motorisée**
- 2) La vanne appuie sur un "fin de course" (preuve que la vanne est bien ouverte) qui va déclencher le **démarrage de la pompe** de circulation de la chaudière.
- 3) Dans le même temps (ou bien après une tempo), l'ordre d'**allumage du brûleur** est envoyé.

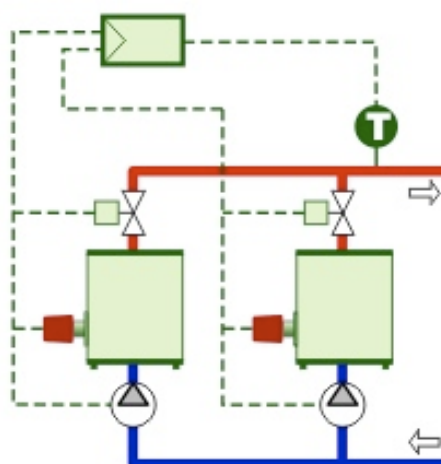
Chaudières en Cascade

Précautions

Idéalement, pour fonctionner correctement, une régulation en cascade des chaudières doit comprendre:

Isolation hydraulique des chaudières à l'arrêt

- Le principal intérêt de la cascade repose sur l'élimination des pertes à l'arrêt des chaudières non nécessaires. Pour cela, l'irrigation de ces chaudières doit être stoppée au moyen d'une **vanne d'isolement motorisée** (2 ou 3 voies). Si chaque chaudière possède son propre circulateur de charge, l'arrêt de celui-ci n'est pas suffisant. En effet, il ne faut pas négliger le débit qui peut circuler au travers d'un circulateur à l'arrêt, du fait de la pression différentielle présente dans l'installation. Une vanne d'isolement motorisée ou un clapet anti-retour complémentaire est donc nécessaire:



L'arrêt de la circulation dans les chaudières à l'arrêt a également un intérêt au niveau du bon fonctionnement de l'installation. En effet, si on maintient "ouvertes" les chaudières à l'arrêt, de l'eau de retour transite par celles-ci et puis se mélange à l'eau chaude de départ, ce qui perturbe la régulation puisque l'on n'atteint plus la température désirée.

Chaudières en Cascade

Vannes d'isolement à ouverture lente

- L'isolation hydraulique d'une chaudière à l'arrêt est la plupart du temps réalisée par une vanne motorisée d'isolement à 2 voies. Cette vanne est généralement à **vitesse lente**. A la mise en route, on évite ainsi un choc thermique dans une chaudière froide subitement alimentée par des retours chauds.
- De plus, quand la chaudière est froide, on évite d'injecter brutalement de l'eau froide dans l'installation et de faire baisser la température générale.



Vanne d'isolement motorisée.

C'est la fin de course de la vanne d'isolement donne l'autorisation de mise en route du brûleur, ce qui permet :

- à la chaudière de se réchauffer progressivement au contact de l'eau chaude de l'installation avant le démarrage du brûleur,
- à une chaudière ne pouvant pas travailler en très basse température de démarrer sans condenser, puisque la température de l'eau au démarrage du brûleur sera déjà supérieure à 60°C.

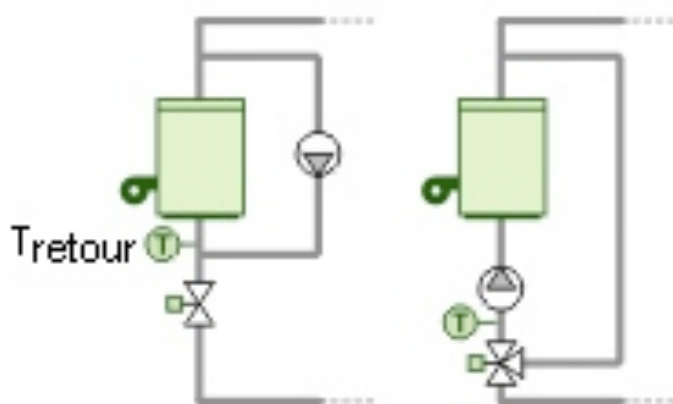
Cette précaution n'est pas nécessaire pour certaines chaudières à forte capacité en eau (qui peuvent fonctionner à débit nul) avec lesquelles, il est possible de mettre la chaudière en température avant l'ouverture de la vanne.

Lorsque chaque chaudière possède sa pompe de charge, il est conseillé d'enclencher la pompe avant l'ouverture de la vanne d'isolement pour éviter une perturbation dans le réseau, consécutive à l'injection brutale du débit total de la chaudière.

Chaudières en Cascade

Temporisation à l'enclenchement

- Lors de la mise en service d'une chaudière, on ne peut quasiment pas éviter une baisse de température de l'eau d'alimentation des circuits, ce qui pose des problèmes pour le régulateur de la cascade. Celui-ci a tendance à compenser cette baisse de température par la mise en route d'une chaudière supplémentaire (qui aggravera encore plus la situation). Une temporisation adéquate doit être prévue, sinon on risque de voir s'enclencher inutilement plus de chaudières que nécessaire et faire ainsi chuter le rendement saisonnier de l'installation.
- La temporisation de mise en marche des chaudières dépend de leur inertie thermique. Elle peut être réglée à :
 - 3 .. 10 minutes pour les chaudières peu inertes,
 - 10 .. 30 minutes pour une chaudière à forte capacité en eau.
- Dans le cas de chaudières équipées d'un **by-pass de recyclage** avec circulateur, on peut éviter ce problème en mettant en marche le brûleur de la chaudière et le circulateur **avant l'ouverture** de la vanne d'isolement. Lorsque la température de retour minimale pour la chaudière est atteinte, la vanne d'isolement commence à s'ouvrir. Ce fonctionnement évite un refroidissement brutal de la température d'alimentation des circuits et facilite le contrôle de la cascade en évitant les enclenchements intempestifs de chaudières. L'inconvénient est que, durant sa remontée en température, la chaudière passe par une courte période pendant laquelle elle condense, ce qui peut être préjudiciable à certaines chaudières fonctionnant au fuel.



Chaudières en Cascade

Evacuation de la chaleur résiduelle de la chaudière

- Lorsqu'une chaudière est mise **hors circuit**, la circulation d'eau est maintenue pendant le temps nécessaire au dégagement de la chaleur accumulée dans la chaudière. Ce temps de circulation varie entre 2 et 15 minutes selon l'inertie thermique de la chaudière. Généralement cette temporisation est assurée par la vanne motorisée d'isolement dont le temps de fermeture est d'environ 5 minutes, ce qui est parfois insuffisant, notamment pour les chaudières à forte inertie.
- On peut aussi imaginer que la vanne ne se referme que lorsque la température mesurée à la sortie de la chaudière est égale à la température de retour commune. Attention, dans ce cas, il y aura, au départ du collecteur une chute progressive de la température de départ puisque celle-ci sera le résultat d'un mélange entre de l'eau en provenance de la chaudière en fonctionnement et de l'eau de retour transitant par la chaudière à l'arrêt. La temporisation à l'enclenchement des chaudières doit permettre tout redémarrage intempestif de la chaudière mise à l'arrêt.
-
- Pour les chaudières de forte puissance, la vanne motorisée d'isolement peut être modulante et se fermer progressivement pour maintenir la température de sortie à une valeur choisie. Cela permet d'évacuer la chaleur accumulée dans la chaudière sans perturber la température d'alimentation du réseau.

Inversion de l'ordre de cascade

L'ordre d'enclenchement des chaudières dans la cascade peut être modifié pour assurer un nombre équivalent d'heures de fonctionnement de chaque chaudière (*rem : la circulation est généralement maintenue permanente dans la première chaudière de la cascade*).

L'inversion de l'ordre de cascade peut être modifié manuellement, à l'aide d'une horloge ou de façon cyclique par un module d'inversion automatique inclus dans le régulateur.

Les avantages de l'inversion sont :

- la réduction de l'encrassement de la chaudière qui serait sollicitée en permanence,
- la non-détérioration de la chaudière qui serait maintenue à l'arrêt durant une longue période.

Chaudières en Cascade

Ce principe d'inversion ne prévaut cependant pas :

- pour les chaufferies composées comprenant une chaudière traditionnelle et une chaudière à condensation. Cette dernière doit en permanence être prioritaire car elle présente toujours un meilleur rendement utile..
- pour les chaufferies composées de chaudières de puissance différentes. Dans ce cas l'enclenchement des chaudières dépendra de l'ampleur des besoins à satisfaire.

Fonctionnement prioritaire en première allure

Lorsque l'on dispose de plusieurs chaudières équipées de brûleurs 2 allures, on a tout intérêt à favoriser l'ordre d'enclenchement suivant (par exemple, pour 2 chaudières) :

- *chaudière 1, allure 1*
- *puis chaudière 2, allure 1*
- *puis chaudière 1, allure 2*
- *puis chaudière 2, allure 2*

plutôt que :

- *chaudière 1, allure 1*
- *puis chaudière 1, allure 2*
- *puis chaudière 2, allure 1*
- *puis chaudière 2, allure 2*

En effet, la première solution augmente le temps de fonctionnement des brûleurs en première allure, allure qui présente un meilleur rendement de combustion (2 à 2,5 % de gain entre la première et la deuxième allure).

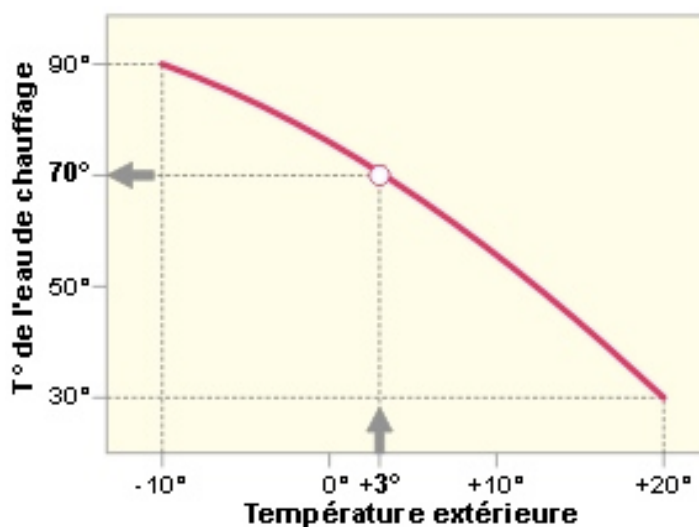
Commutation automatique en cas de défaut

Si une chaudière ne peut démarrer pour un défaut de son brûleur ou de sa pompe, l'appel automatique à une autre chaudière permet de ne pas interrompre le service.

Loi de Chauffe

Définition

Beaucoup d'installations de chauffage sont régulées en fonction d'une ou de plusieurs sondes extérieures. Ce type de régulation établit une correspondance entre la température de l'eau de l'installation et la température extérieure. Cette correspondance est appelée **courbe de chauffe (ou loi de chauffe)**:



Par exemple, quand la température extérieure est de 3°C, la température de l'eau de chauffage est réglée à 70°C.

Une courbe de chauffe, dépend du type de bâtiment (isolation), de l'installation et du confort recherché.

Théoriquement, elle ne doit varier que si un de ces 3 paramètres est modifié. Par exemple, si une isolation complémentaire est apportée au bâtiment. Peu de gestionnaires savent comment on effectue le réglage de la courbe de chauffe. Voici donc comment optimiser le réglage en fonction des différentes situations que l'on peut rencontrer : nouvelle installation, rénovation des bâtiments, plaintes des occupants, ...

Elle doit ainsi permettre de tirer un profit maximum de la régulation que ce soit du point de vue de la consommation d'énergie ou du point de vue du confort.

Loi de Chauffe

Pourquoi une Courbe de Chauffe?

Dans la pratique, toutes les installations de chauffage sont, durant la majeure partie de la saison de chauffe, surpuissantes par rapport aux besoins réels:

Par exemple, dans le Nord, la température de référence (c'est à dire la température la plus basse atteinte un certain nombre de jours par an) donné par Météo France est de -9°C .

Les installations sont donc conçues pour affronter cette température et continuer à fournir 20°C en ambiance dans les bâtiments.

Or, la température extérieure moyenne pendant la période de chauffe est de 5°C .

Pendant les quelques jours les plus froids, la puissance de la chaudière est donc proportionnelle à $(20^{\circ}\text{C} - (-9^{\circ}\text{C})) = 29\text{ K}$.

Mais, sur toute la saison de chauffe, la puissance moyenne à fournir est proportionnelle à $(20^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C}) = 15\text{ K}$.

Le facteur moyen de surdimensionnement est donc de $29/15 = 2$.

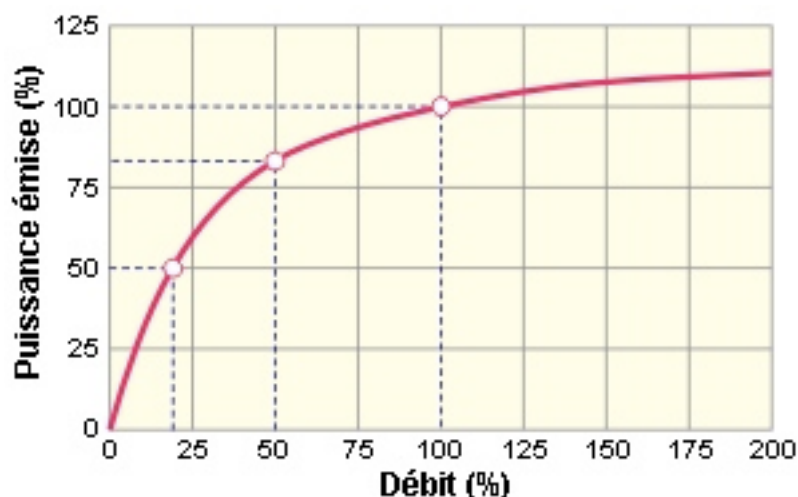
Il faut donc réguler cette puissance à fournir en fonction des variations de la température extérieure.

Comment faire?

solution 1 (très limitée):

La première adaptation que l'on pourrait imaginer est la **réduction du débit d'eau** en fonction des besoins. C'est le rôle qui est généralement dévolu aux **vannes thermostatiques**. Cette solution est rarement satisfaisante.

En effet, la puissance d'un radiateur varie peu en fonction de son débit:



Loi de Chauffe

Par exemple si on veut diminuer de 50 % la puissance ($T_{\text{ext}} = + 5^{\circ}\text{C}$ au lieu de $- 10^{\circ}\text{C}$), le débit dans le radiateur doit être abaissé à $\pm 20 \%$ de son débit nominal.

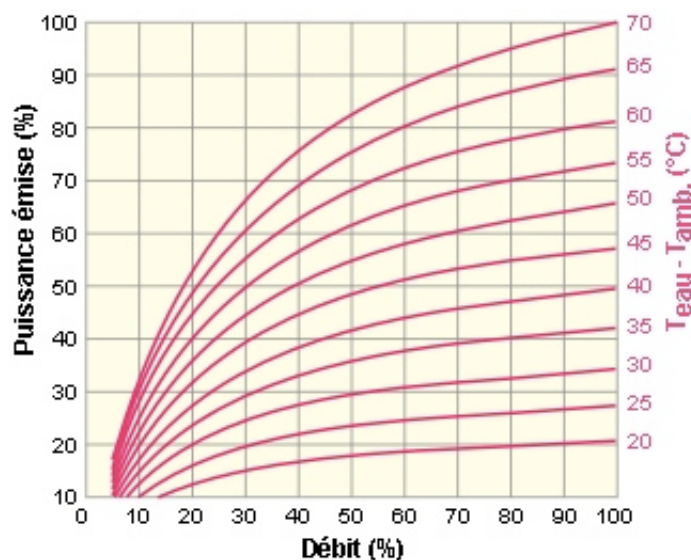
La course utile des vannes thermostatiques étant **extrêmement petite** (environ 0,5 mm), exiger d'importantes réductions de débit (plus de 80 %) les oblige à fonctionner dans des conditions extrêmes (moins de 0,1 mm d'ouverture). Cela leur est impossible.

Par ailleurs, on remarque que pour les faibles débits, une petite variation de position de la vanne provoque une importante variation de puissance du radiateur. La température ambiante fluctuera en conséquence. Dans ces conditions, la vanne thermostatique s'ouvrira et se fermera perpétuellement, essayant de corriger ses erreurs. Jamais elle ne trouvera son point d'équilibre.

Les vannes thermostatiques ne peuvent donc être utilisées que comme organe de réglage final et **non comme réglage principal**.

La solution: Régler la température d'eau:

Dans nos régions, la puissance des corps de chauffe est généralement dimensionnée pour un régime d'eau de 90/70, c'est-à-dire une température d'entrée de l'eau dans les radiateurs de 90° et une température de sortie de 70° .



Puissance émise par un radiateur en fonction de son débit et de la température de l'eau.

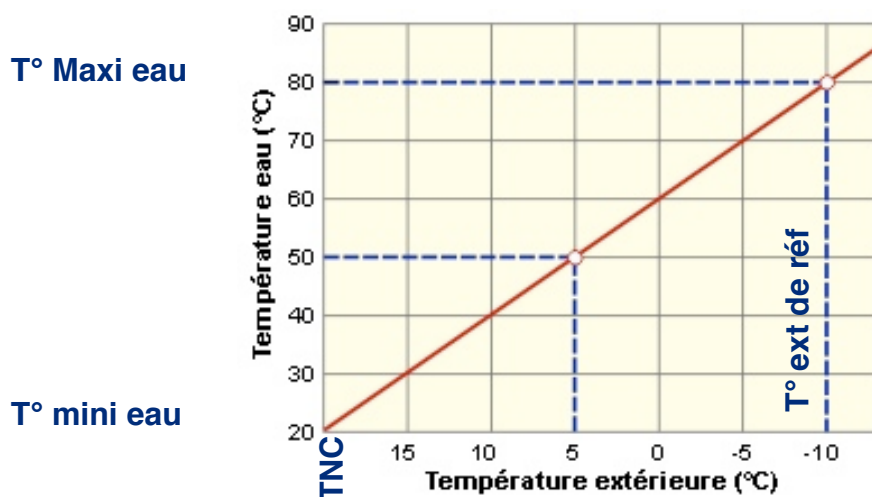
On remarque que la puissance peut être réduite de moitié si on abaisse la température de l'eau à 60°C (on a alors $T_{\text{eau}} - T_{\text{amb}} = 40^{\circ}\text{C}$), tout en maintenant le débit nominal (100 %).

Loi de Chauffe

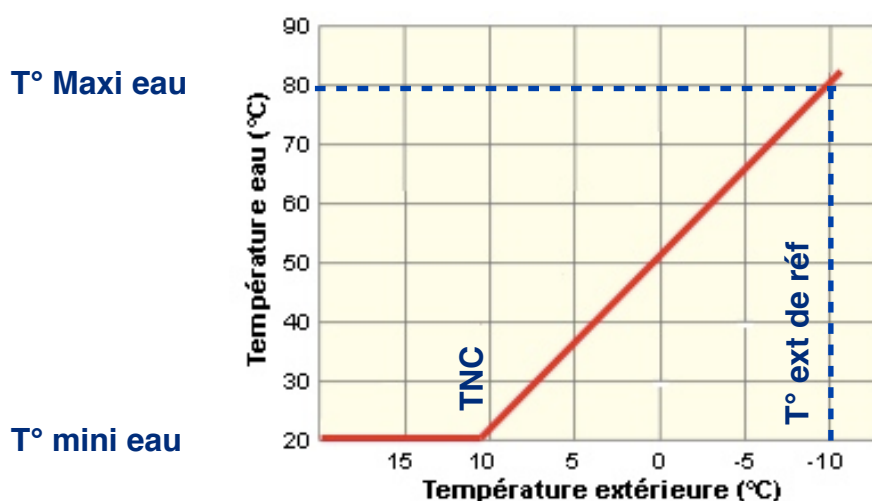
Courbe de Chauffe: Besoins Variables, Températures Variables

La courbe de chauffe, via un régulateur dit "climatique", établit une correspondance entre les besoins en chaleur du bâtiment et la température de l'eau à envoyer vers les corps de chauffe.

Le plus souvent, la grandeur qui sera prise comme représentative des besoins sera la **température extérieure**, éventuellement compensée en fonction de l'ensoleillement et/ou de la vitesse du vent si l'orientation du bâtiment l'exige.



Lorsque la température extérieure est de 5°, la température de l'eau alimentant les radiateurs est de 50°C si ceux-ci ont été sélectionnés pour 80°C par - 10°C de température extérieure de base.



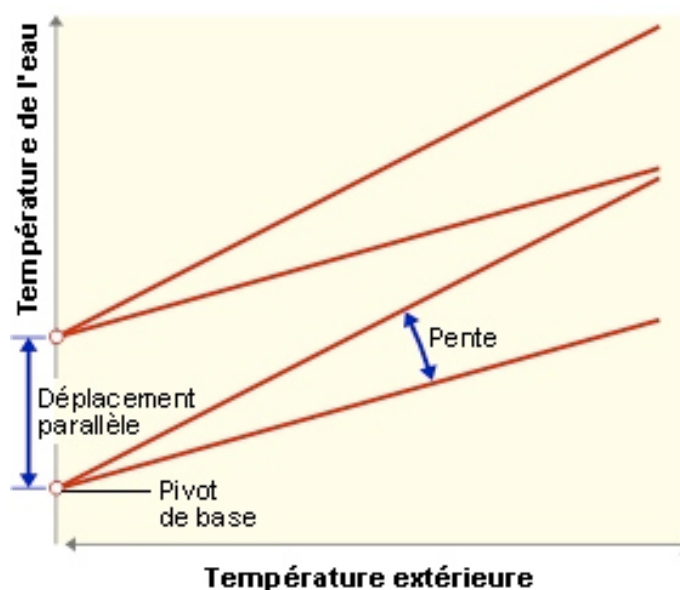
Exemple de courbe de chauffe d'un bâtiment avec une TNC (Température de Non Chauffage) de 11°C

Loi de Chauffe

Représentation de la Courbe de Chauffe sur les Régulateurs

La plupart des régulateurs définissent la courbe de chauffe grâce à trois grandeurs dont deux sont réglables :

- la pente,
- le point pivot de base,
- le déplacement parallèle.



Les paramètres d'une courbe de chauffe.

1) La pente:

Elle se calcule avec la formule suivante:

$$P = \frac{T_{\text{maxi départ d'eau}} - T_{\text{mini de départ d'eau}}}{T_{\text{ext de non chauffage}} - T_{\text{ext mini d'étude}}}$$

Si la Température externe de non chauffage (TNC) du bâtiment n'est pas connue (ce qui est souvent le cas), prendre la valeur 20°C.

La pente de la courbe est représentée sur la plupart des régulateurs, par un nombre décimal (souvent de 0 à 4,5).

Certains régulateurs multiplient la valeur de la pente par 10 (réglage de 0 à 45).

Loi de Chauffe

Grâce aux caractéristiques de la courbe de chauffe, il est possible pour le technicien de calculer mentalement la température de départ eau en fonction de la température extérieure. **Cela lui permet lorsqu'il entre en chaufferie de jeter un oeil sur le thermomètre de départ eau et de voir si la température est correcte.** (Une température d'eau correcte témoigne du bon fonctionnement de la chaudière, de la régulation, de la sonde extérieure).

$$T^{\circ} \text{ départ eau} = \text{Pente} \times (\text{TNC} - T^{\circ} \text{ extérieur}) + 20^{\circ}\text{C}$$

Valable en 1ère approche en prenant $T^{\circ} \text{ mini eau} = 20^{\circ}\text{C}$

Exemples avec les 2 courbes de chauffe de la page 33:

- **Courbe 1:** La pente est de 2. Pas de TNC connue.
Si il fait -5°C extérieur, alors la T° d'eau doit être:

$$2 \times (20^{\circ}\text{C} - (-5^{\circ}\text{C})) + 20^{\circ}\text{C} = 70^{\circ}\text{C}$$

- **Courbe 2:** La pente est de 3. La TNC est de 10°C .
Si il fait -5°C extérieur, alors la T° d'eau doit être:

$$3 \times (10^{\circ}\text{C} - (-5^{\circ}\text{C})) + 20^{\circ}\text{C} = 65^{\circ}\text{C}$$

En pratique, quand on ne connaît pas les caractéristiques de la courbe de chauffe, on prend la valeur 2 pour la pente et 20°C pour la TNC.

(en effet, dans la région Nord, la T° ext de référence est de -9°C . Si on considère des émetteurs de chaleur fonctionnant en régime 90/70 et une TNC e 20°C alors on a une pente de: $((90^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) / (20^{\circ}\text{C} - (-9^{\circ}\text{C}))) = 2,4$)

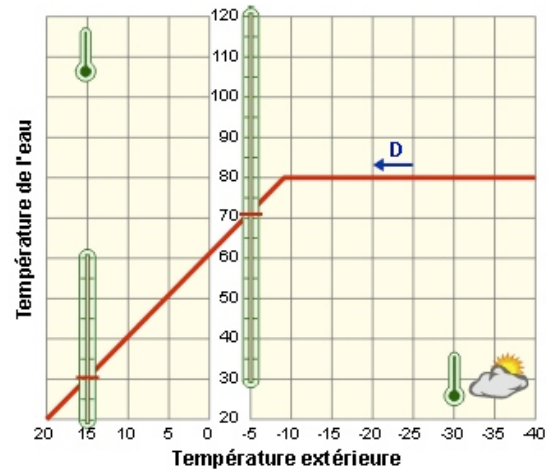
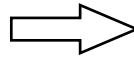
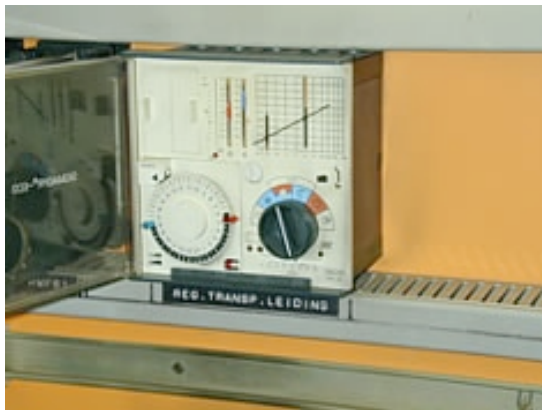
Modes de réglage de la pente sur les régulateurs:

Dans la pratique, le mode de réglage varie suivant le type de régulateur.
On peut rencontrer :

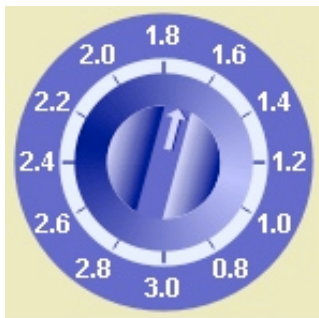
- une visualisation immédiate de la courbe de chauffe (régulateurs analogiques),
- un potentiomètre,
- un boîtier de dialogue.

Loi de Chauffe

Régulateur analogique avec visualisation directe:



Régulateur avec potentiomètre:



Régulateur électronique avec écran:



On voit que c'est une courbe à 3 points (à Hem, on a des régulateurs à 4 points).

C'est à dire que dans un menu, on peut choisir les coordonnées de ces points (la courbe de chauffe n'est donc pas forcément une droite).

*Le régulateur se charge de calculer la valeur de chaque point intermédiaire entre ces points réglables. **Pour une T° extérieure, le régulateur calcule donc la consigne pour la T° d'eau.***

Loi de Chauffe

2) Le point pivot de base:

Le point pivot est le point fixe autour duquel tourne la courbe de chauffe lorsque l'on fait varier la pente. Un point pivot de base est généralement prédéfini sur les régulateurs ((20°, 20°), (35°, 15°),...). **La valeur de celui-ci est reprise dans la notice technique de l'appareil.**

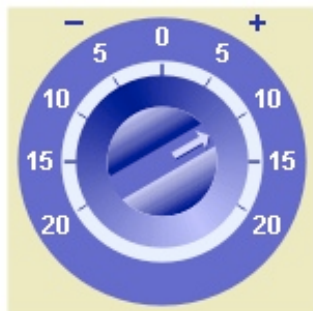
3) Le déplacement parallèle:

Le point pivot prédéfini dans le régulateur ne correspond pas forcément aux besoins réels du bâtiment.

Il est possible de choisir un nouveau point pivot grâce à une translation verticale par rapport au point pivot de base. Celle-ci induira un déplacement parallèle de la courbe de chauffe par rapport à la courbe de base.

Dans la pratique, le déplacement parallèle de la courbe de chauffe peut s'effectuer grâce à :

- un potentiomètre gradué en température d'eau. Chaque graduation correspond à un certain nombre de degrés de déplacement parallèle en plus ou en moins,



Potentiomètre gradué en température d'eau.

- un potentiomètre gradué de 0 à 10. Dans ce cas, la documentation technique de l'appareil donne la correspondance entre les graduations et l'amplitude de déplacement,
- une visualisation de la courbe de chauffe, cela permet un choix immédiat,
- un boîtier de dialogue.

Loi de Chauffe

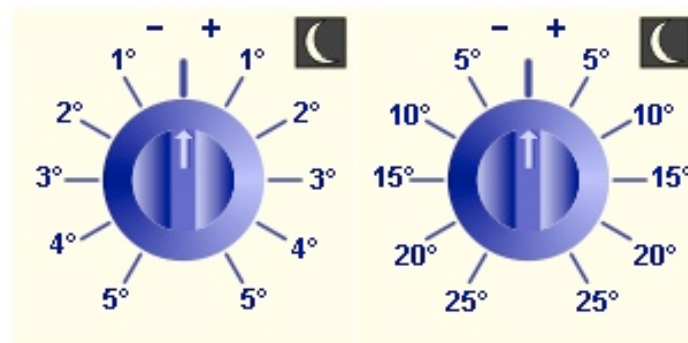
Fonctions Complémentaires des Régulateurs Climatiques

Le ralenti nocturne:

Lorsque le bâtiment est occupé de façon intermittente (*ce qui est généralement le cas des bâtiments publics et tertiaires*), un ralenti nocturne des installations de chauffage s'impose pour faire des économies. Dans une régulation à température d'eau variable, cela se traduit souvent par un changement de courbe de chauffe programmé pour les périodes d'inoccupation, bien que cela ne soit **pas la manière la plus performante de pratiquer l'intermittence**.

Les régulateurs proposent généralement un déplacement parallèle de la courbe de chauffe pour la nuit via :

- un potentiomètre gradué en température d'eau,
- un potentiomètre gradué en température ambiante,
- un potentiomètre gradué de 0 à 10,
- un boîtier de dialogue.



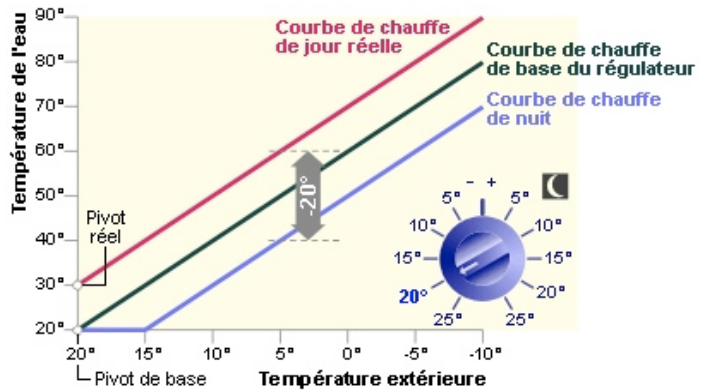
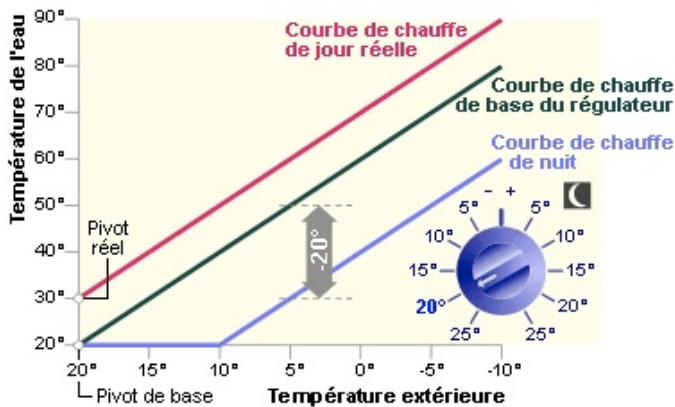
Potentiomètres gradués en température ambiante ou en température d'eau.

Pour des corps de chauffe dimensionnées en 90/70, on considère généralement **qu'une variation de 4 à 5°C de température d'eau entraîne une variation de température ambiante de 1°C**.

En fonction du type de régulateur, le déplacement parallèle de nuit proposé correspond :

- soit à une translation par rapport à la courbe réelle de jour que l'on a définie;
- soit à une translation par rapport à la courbe de base du régulateur qui correspond au point pivot préréglé du régulateur.

Loi de Chauffe



Abaissement de la température de l'eau par rapport à la courbe de base ou par rapport à la courbe réelle de jour.

Il est donc important de vérifier dans la documentation de l'appareil de régulation le mode de ralenti que celui-ci applique.

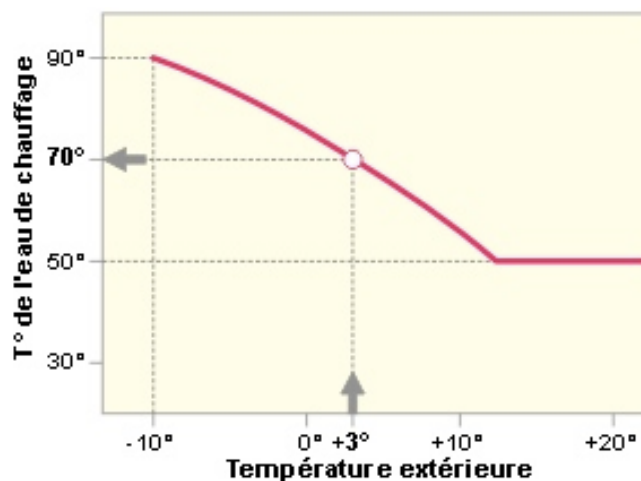
Limite de température basse et haute:

Certains régulateurs proposent une limite basse et une limite haute de température de l'eau.

La limite basse permet par exemple de :

- limiter les retours à trop basse température vers la chaudière si celle-ci ne les supporte pas,
- garantir une température de fonctionnement suffisamment élevée pour les convecteurs (voisine de 50°C).

La limite haute de température est notamment utile lors de l'utilisation de planchers chauffants.



Courbe de chauffe avec limite basse de température à 50°C.

Loi de Chauffe

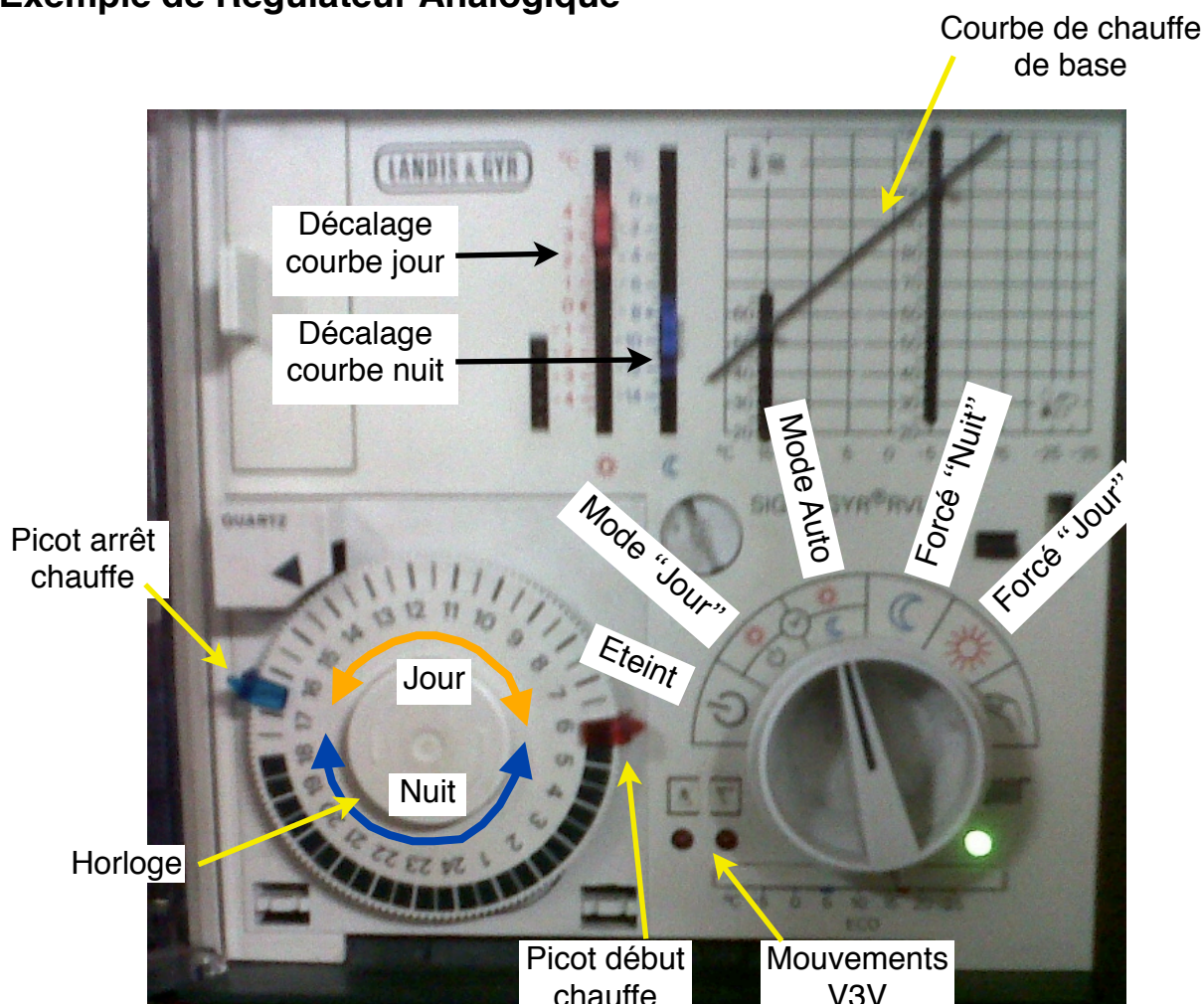
La compensation:

Sur beaucoup de régulateurs, le réglage de la température de l'eau en fonction de la température extérieure peut être corrigé de façon automatique par exemple, en fonction d'une mesure de température intérieure, en fonction d'une sonde d'ensoleillement, ...

La solution la plus courante est le placement d'un **thermostat d'ambiance** dans un local témoin. En fonction de l'écart entre la température réelle du local et la consigne, le régulateur va corriger le réglage de sa courbe de chauffe.

Cette possibilité ne signifie cependant nullement que la courbe de chauffe ne doit pas être réglée au préalable. En effet, l'ampleur de la correction possible est limitée pour éviter l'influence du comportement des occupants du local témoin sur la courbe de chauffe (ouverture des fenêtres, "occultation" de la sonde, ...).

Exemple de Régulateur Analogique



Loi de Chauffe

Le Réglage de la Courbe de Chauffe dans la Pratique

Dans la pratique, quand on installe une nouvelle régulation pour un bâtiment, on programme une loi de chauffe "standard" (voir ci-après) et ensuite, on fait des ajustements en fonctions des relevés de températures que l'on effectue (et des plaintes éventuelles des utilisateurs!). Cela prend donc plusieurs mois la première saison pour ajuster cette loi de chauffe. Il faut en effet voir comment se comporte la température ambiante du bâtiment en fonction de l'évolution de la température extérieure.

1) Premier réglage de la courbe de chauffe (à l'installation par exemple):

Il s'agit de définir la pente de la courbe et le déplacement parallèle de celle-ci. Notons ici, que beaucoup de régulateurs peuvent être "compensés" par une mesure de température ambiante. Dans ce cas, la température d'eau établie par la courbe de chauffe est affinée en fonction d'un thermostat d'ambiance situé dans un local témoin.

Cela ne dispense cependant pas de choisir une courbe de chauffe relativement correcte au départ, car l'ampleur des ajustements reste réduite.

Paramètres de base à définir:

Température extérieure de base

La température extérieure de base est la température extérieure minimum qui est prise en considération pour le dimensionnement des installations de chauffage. Celle-ci est définie officiellement et dépend de la région où on se trouve. Pour le Nord, cette température extérieure de référence est **-9°C**.

Température maximale de l'eau

En théorie la température maximale de l'eau est la température de l'eau pour laquelle on a dimensionné toute l'installation de chauffage et qui doit garantir le confort en plein hiver. Souvent on dimensionne l'installation pour un régime d'eau 90/70. La température maximale de l'eau est alors de **90°C**.

Cependant, dans la pratique, les corps de chauffe sont presque toujours surdimensionnés. Si les radiateurs ne sont pas équipés de vannes thermostatiques, une température d'eau de 90° conduit alors inévitablement à des surchauffes, même en plein hiver.

Loi de Chauffe

Suite aux plaintes des occupants, le responsable des installations aura sûrement déjà diminué la température de l'eau au niveau de la chaudière. En premier réglage, on choisira donc comme température maximum de l'eau la température à laquelle le responsable règle par expérience la température des chaudières lors des moments les plus froids de l'hiver, pour éviter les plaintes.

Température extérieure de non-chauffage

La température extérieure de non-chauffage est la température extérieure au-delà de laquelle il n'est plus nécessaire de chauffer.

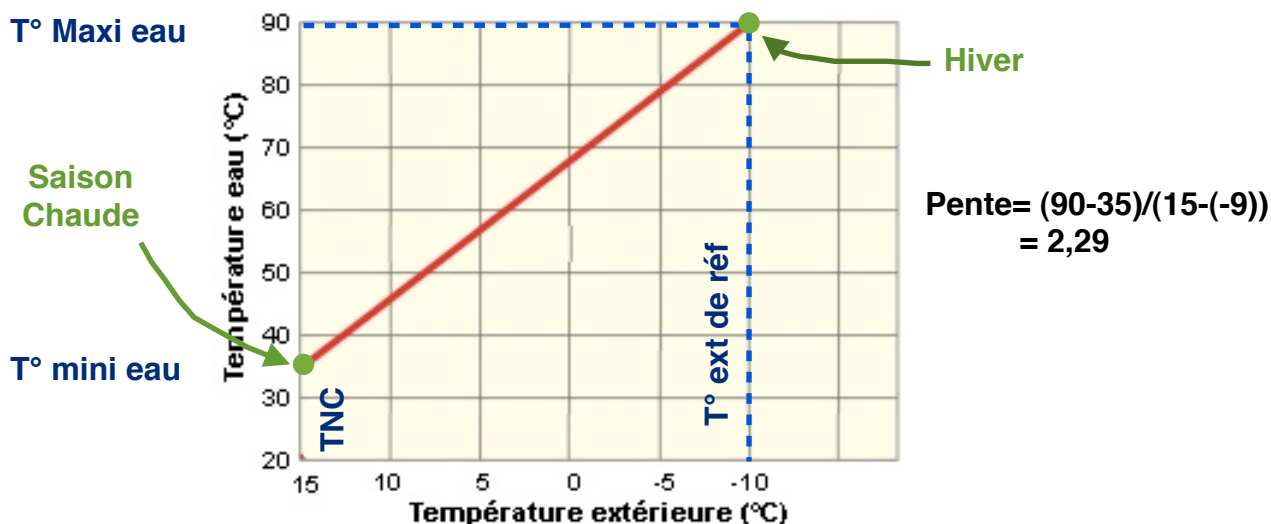
Intuitivement, on pourrait imaginer que cette température est de 20°C. En fait, l'arrêt des installations de chauffage intervient pour des températures extérieures inférieures à 20°C. Dans nos régions, on considérera souvent une température moyenne extérieure de **15°C** comme une température raisonnable de non-chauffage. Le complément de chaleur alors nécessaire au confort est fourni par les apports internes (occupants, éclairage, ...) et les apports externes (soleil).

Température minimale de l'eau

Lorsque la température extérieure a atteint la limite définissant l'arrêt des installations, la température de l'eau aura atteint un minimum. Ici aussi, on pourrait imaginer que ce point correspond pour une température intérieure de consigne de 20°C à une température extérieure de 20°C (besoins nuls) et à une température d'eau d'entrée et de sortie des corps de chauffe de 20°C (émission calorifique nulle).

Dans la pratique, la température de l'eau de chauffage ne peut descendre jusqu'à 20°C. Il est généralement convenu qu'une température minimum de **35°C** est nécessaire pour compenser la sensation de fraîcheur due à l'important taux d'humidité ambiante régnant dans nos régions en mi-saison.

35°C de température d'eau pour 15°C de température extérieure est donc souvent recommandé comme point de non-chauffage.

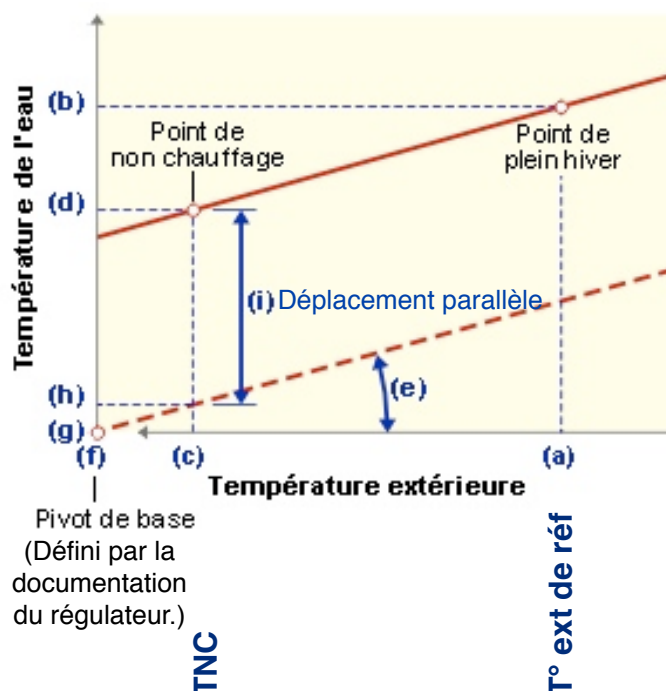


Loi de Chauffe

Premier réglage:

T° Maxi eau

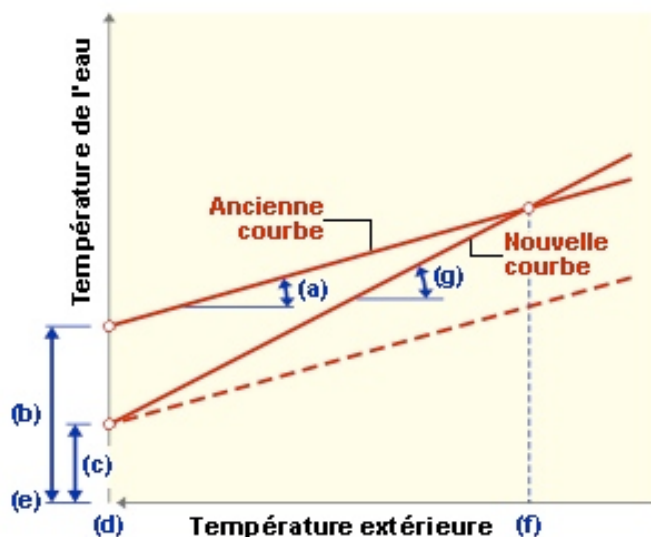
T° mini eau



2) Ajustement en mi-saison:

Lorsqu'un inconfort se fait ressentir (trop chaud ou trop froid) en mi-saison, il y a lieu de **corriger le déplacement parallèle**. De même, si on veut optimiser le rendement énergétique de l'installation de chauffage, on abaissera progressivement la courbe de chauffe jusqu'à ce que les premières plaintes des occupants apparaissent. **Dans cette situation, une correction de la pente s'impose pour ne pas perturber le fonctionnement d'hiver.**

Les ajustements se feront pas par pas (une graduation à la fois), un jour ou deux devant s'écouler entre deux modifications successives pour donner au bâtiment le temps de s'adapter à la modification.



Loi de Chauffe

3) Ajustement en hiver:

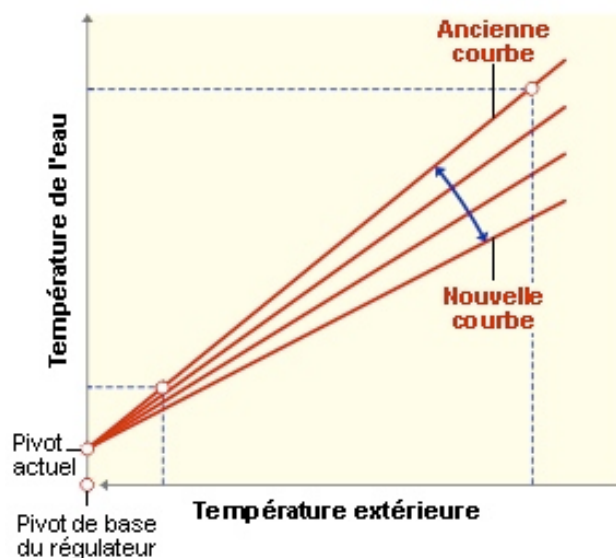
Lorsqu'un inconfort (trop chaud ou trop froid) se fait ressentir durant l'hiver, il y a lieu de **corriger la pente** de la courbe.

Ici aussi, par souci d'optimisation du fonctionnement des installations, la courbe de chauffe sera abaissée jusqu'au minimum n'engendrant pas de plainte.

Les corrections doivent s'effectuer pas par pas (une graduation à la fois). Un jour ou deux doivent s'écouler entre deux actions successives.

Dans le cas d'une modification de la pente, deux méthodes peuvent être appliquées :

- Si la modification de pente est légère (0,1 .. 0,6), les conditions de mi-saison ne seront que peu modifiées. On n'envisagera donc pas de changement de déplacement parallèle.
- Par contre, si la modification de pente devient importante (plus de 0,6), un changement de déplacement parallèle s'impose pour ne pas engendrer un inconfort en mi-saison.



Gestion des Périodes d'Inoccupation

Importance de Bien Gérer ces Périodes

Pratiquer une intermittence du chauffage durant les périodes d'inoccupation du bâtiment **conduit toujours à des économies d'énergie**. Celles-ci seront plus ou moins importantes en fonction du type de bâtiment (inertie, isolation) et de la durée d'inoccupation. Elles dépendent aussi du type de programmeur utilisé.

L'ordre dans lequel ces derniers sont décrits ci-après correspond à une gradation dans le potentiel d'économie d'énergie réalisable. Les programmeurs peuvent agir soit directement sur la chaudière dans le cas d'un circuit de distribution unique et/ou sur la régulation des circuits secondaires.

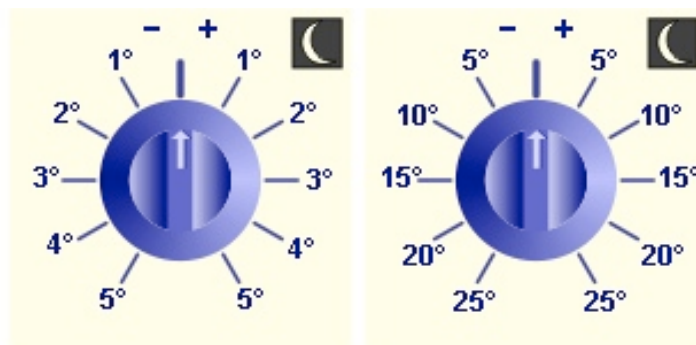
Abaissement de la Courbe de Chauffe

Ce type de programmeur est encore extrêmement répandu dans nos chaufferies. Il est appliqué sur bon nombre de régulateurs travaillant sur base d'une sonde extérieure. Dans ces derniers, la température de l'eau de chauffage est régulée en fonction de la température via une courbe de chauffe.

Le ralenti de chauffage consiste alors en un changement de courbe de chauffe programmé (souvent en fonction d'une horloge hebdomadaire) pour les périodes d'inoccupation.

Les régulateurs proposent généralement un déplacement parallèle de la courbe de chauffe pour le ralenti via :

- un potentiomètre gradué en température d'eau. Pour des corps de chauffe dimensionnés pour un régime 90/70°, on considère souvent qu'une variation de température d'eau de 4 .. 5°C entraîne une variation de température ambiante de 1°C,
- un potentiomètre gradué en température ambiante. Cette grandeur est indicative puisqu'aucune sonde intérieure ne permet de vérifier la température ambiante qui sera atteinte durant le ralenti



Potentiomètres basés sur la température ambiante ou sur la température d'eau.

Gestion des Périodes d'Inoccupation

Avec un tel mode de régulation, on parle de **ralenti** et non de coupure nocturne car, en période d'inoccupation, on continue toujours à fournir de la chaleur au bâtiment, moins qu'en période d'occupation, mais en quantité suffisante pour ne pas permettre un abaissement rapide de la température intérieure.

La relance du chauffage se fait :

- Soit avec la température d'eau définie par la courbe de chauffe de jour. Dans ce cas, la puissance maximale n'est pas appliquée, ce qui rallonge la période de remise en température du bâtiment.
- Soit avec une température dite "**de régime accéléré**", ce qui diminue le temps de relance. (*c'est le cas sur la régulation Landis récupérée à Hem*)

Coupure et Relance à Heures Fixes

Ce type de programmeur assure à heures fixes (en fonction d'une horloge quotidienne, hebdomadaire ou annuelle) :

- le fonctionnement normal du chauffage en période d'occupation, régulé par exemple en fonction de la température extérieure,
- l'arrêt complet du chauffage (arrêt des chaudières, fermeture des vannes mélangeuses, arrêt des circulateurs, ...) en fin de période d'occupation,
- la relance du chauffage à allure réduite pendant la période d'inoccupation si la température intérieure, mesurée par une sonde d'ambiance, descend en dessous d'une valeur limite (par exemple 16°C en semaine et 14°C le week-end),
- la relance du chauffage, à pleine puissance.

Ce type de programmation permet l'arrêt complet du chauffage et la remise rapide en température du bâtiment.

Un inconvénient subsiste : la coupure et la relance s'effectuent à heures fixes. Or le temps d'abaissement et de remontée de la température intérieure varie en fonction de la température extérieure, en fonction de la température atteinte pendant la coupure, en fonction de la chaleur emmagasinée dans le bâtiment durant l'occupation, ...

Gestion des Périodes d'Inoccupation

Utilisation d'Optimiseurs

Par rapport aux programmeurs assurant une coupure et une relance à heures fixes, les optimiseurs font varier le moment de ces dernières en fonction de différents paramètres.

➤ Sur base de la température extérieure

Le moment de la coupure et de la relance varie en fonction de la température extérieure. Lorsqu'il fait plus chaud, le refroidissement du bâtiment est plus lent. L'heure de coupure est donc avancée automatiquement. De même, la température intérieure atteinte durant l'inoccupation et l'énergie nécessaire à la relance est plus faible. L'heure de la relance est donc retardée.

Ce type d'optimiseur ne mesurant pas la température intérieure présente une certaine imprécision en ce qui concerne le moment précis où la température intérieure d'occupation sera atteinte.

➤ Sur base de la température extérieure et intérieure

L'adjonction de la température intérieure atteinte durant l'inoccupation comme paramètre de décision pour enclencher la relance permet une plus grande précision dans la définition de l'heure de relance. Cela limite les risques d'inconfort et optimise le temps de coupure et donc l'énergie économisée.

Le paramétrage de ce type de programmeur reste délicate, en effet, il faut procéder par essais - erreurs, puisque plusieurs paramètres importants restent inconnus de l'utilisateur : l'inertie thermique du bâtiment, le degré de surpuissance du chauffage,

➤ Autoadaptation

On parle d'"optimiseurs autoadaptatifs".

Le programmeur adapte automatiquement ses paramètres de réglage au jour le jour, en fonction des résultats qu'il a obtenu les jours précédents. Par rapport à l'optimiseur décrit ci-avant et bien réglé, l'optimiseur autoadaptatif n'apportera pas d'économie d'énergie complémentaire. Son rôle est de faciliter (l'utilisateur ne doit plus intervenir) et donc d'optimiser le réglage.

Gestion des Périodes d'Inoccupation

Exemple:

Lors de la relance matinale, le but défini à l'optimiseur est d'atteindre la température de 20°C au moment de l'occupation du bâtiment.

Le premier jour, comme l'optimiseur ne connaît pas le bâtiment, ni la surpuissance de l'installation, il démarrera l'installation uniquement en se basant sur la température extérieure et la température intérieure.

Dès lors, il est plus que probable que la température de consigne diurne soit atteinte trop tôt.

Le lendemain, l'optimiseur décalera automatiquement le moment de la relance.

Ainsi de suite, jusqu'à ce qu'il trouve seul le bon réglage.

On peut considérer qu'il faut 4 jours à un optimiseur autoadaptatif pour définir correctement la loi qui relie la température extérieure, la température intérieure et le moment de la relance.

L'optimiseur fera le même exercice pour anticiper le moment de la coupure, tout en garantissant le confort des occupants

Comparaison de l'Economie Réalisée en Fonction du Type de Programmeur

La consommation d'une installation de chauffage est **proportionnelle** à la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur. (important à retenir!)

Plus cette différence diminue, moins on consommera.

Graphiquement, on peut représenter la consommation de chauffage comme suit:

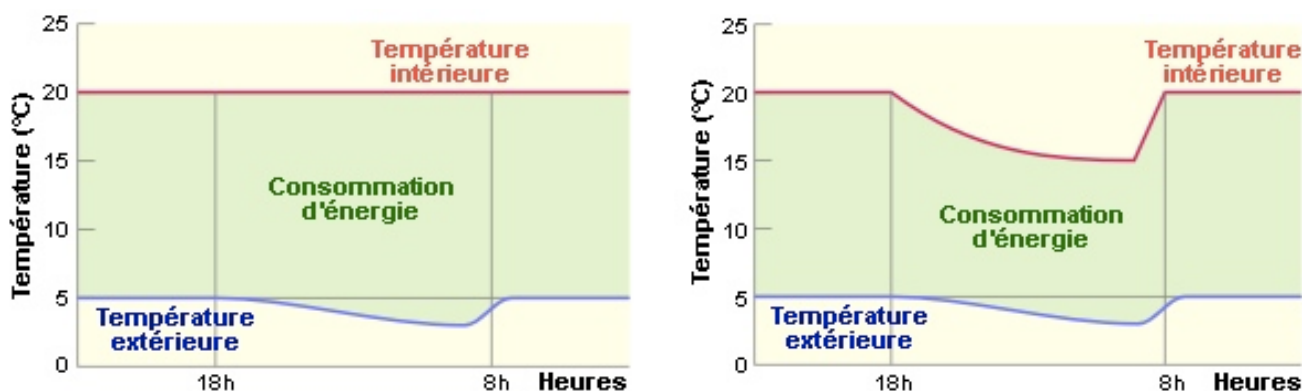
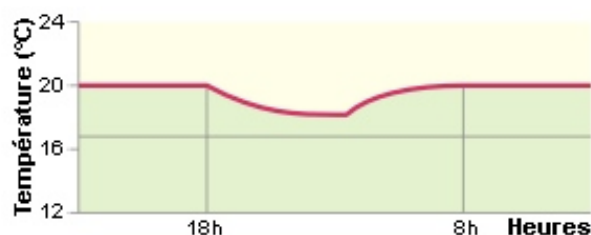


Image de la consommation de chauffage sans intermittence et avec intermittence.

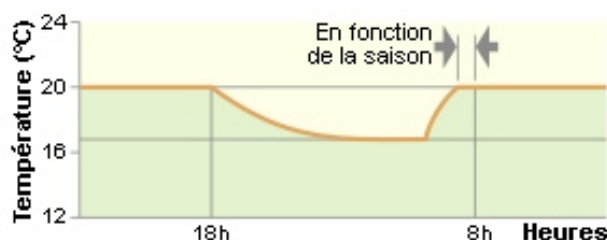
Gestion des Périodes d'Inoccupation

On voit donc que plus la température intérieure chute et plus le temps pendant lequel cette température est basse est important, plus l'économie d'énergie réalisée grâce à l'intermittence est importante.

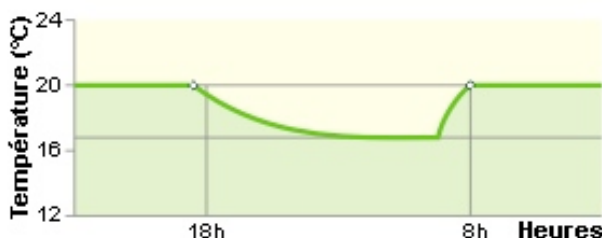
Comparons l'évolution de la température intérieure (donc l'évolution de l'économie d'énergie) en fonction du programmeur choisi (cas de la mi-saison) :



*Abaissement de la température de l'eau.
La réduction de température intérieure est lente, de même que la relance.*

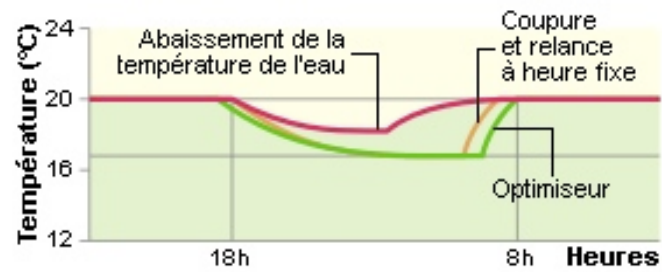


*Coupage complète et relance à heures fixes.
Le moment où la température de consigne d'occupation est atteinte dépend de la saison.*



*Optimiseur.
Les moments de la coupure et de la relance sont adaptés soit automatiquement, soit par réglage de l'utilisateur. La précision du réglage et la différence d'économie entre les 3 types d'optimiseurs dépendent de ce dernier.*

Gestion des Périodes d'Inoccupation



Comparaison qualitative entre les types de programmeur.