

LA REGULATION DU CHAUFFAGE DANS LES ETABLISSEMENTS SCOLAIRES



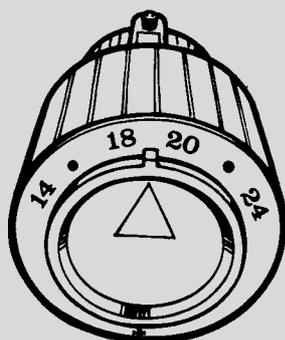


SOMMAIRE

0.	<i>quelques schémas pour se comprendre</i>	1
1.	<i>diagnostic de la régulation</i>	9
	1.1 un point de départ : le relevé de son installation	9
	1.2 la régulation est-elle économe ?	11
	quelles sont les améliorations possibles ?	
	1.3 lorsque la régulation est accusée à tort	14
	1.4 quelle est la rentabilité d'une amélioration de la régulation ?	17
2.	<i>projets de rénovation de la régulation</i>	21
	2.1 situation idéale : la distribution hydraulique correspond à un découpage du bâtiment en zones homogènes.	23
	étape 1 - la régulation des chaudières	23
	étape 2 - la régulation de la distribution par zone	26
	étape 3 - le réglage de la courbe de chauffe	28
	étape 4 - le placement des capteurs	31
	étape 5 - la gestion des intermittences	33
	étape 6 - la régulation complémentaire dans les locaux	35
	2.2 situation fréquente : les besoins des locaux ne coïncident pas avec le découpage du réseau hydraulique !	38
	situation 1 - certains locaux profitent d'apports gratuits importants	38
	situation 2 - certains locaux doivent être chauffés en dehors des heures scolaires	41
	situation 3 - certains locaux ne doivent pas être chauffés en permanence durant la journée	41
	2.3 quatre questions complémentaires :	43
	question 1 - analogique ou numérique ?	43
	question 2 - l'implantation d'une Gestion Technique Centralisée ?	45
	question 3 - le comptage des consommations ?	47
	question 4 - le suivi des paramètres de régulation ?	48
3.	<i>annexes</i>	49
	annexe 1 - exemples de régulation de bâtiments scolaires	49
	annexe 2 - prix des robinets thermostatiques	55



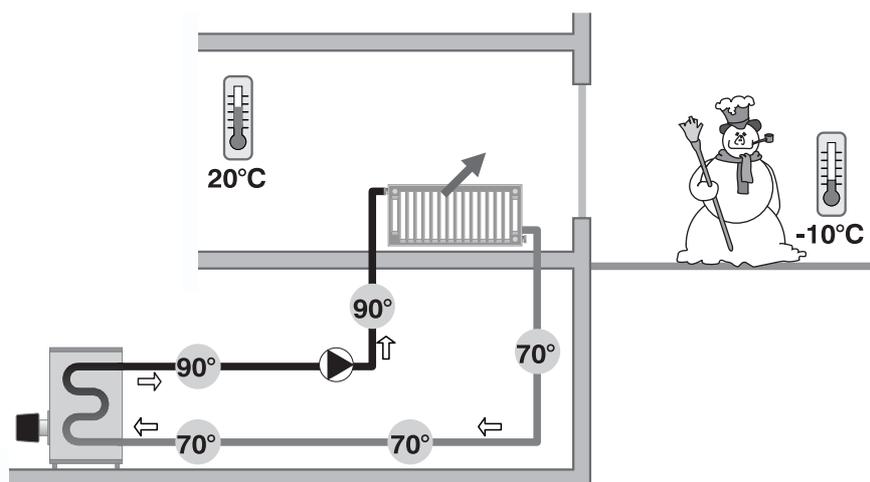
0. quelques schémas pour se comprendre ...



L'occupant d'un bâtiment scolaire ne perçoit généralement de la régulation d'un système de chauffage qu'un seul équipement : la vanne thermostatique. Elle est accusée de bien des maux et subit parfois des agressions physiques si elle ne peut délivrer la chaleur attendue ! Elle ne constitue cependant que le dernier maillon d'une chaîne de régulation que nous allons décrire ci-dessous.

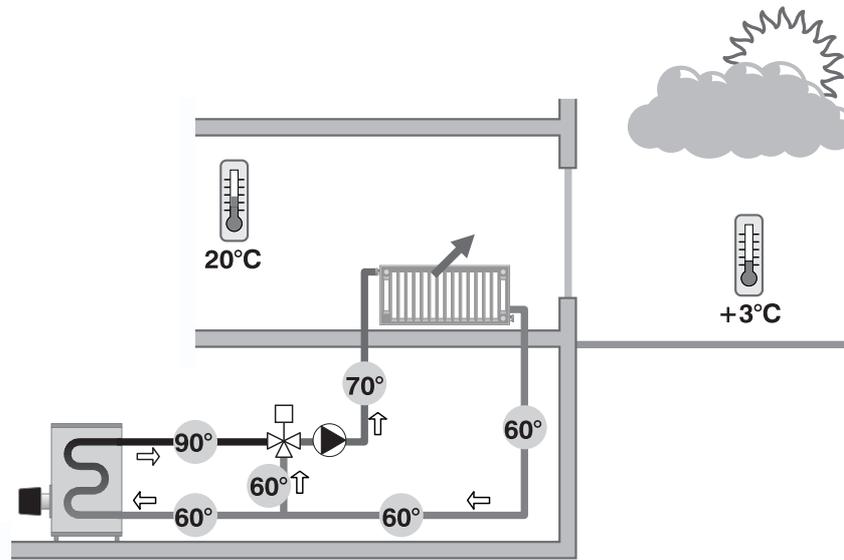
partons d'une situation de grand froid hivernal...

La chaudière est dimensionnée pour compenser les températures les plus froides en hiver, soit généralement -10°C .



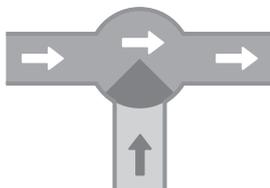
Une eau à 90°C alimente le radiateur qui émet une chaleur maximale pour compenser les déperditions (les pertes de chaleur du local vers l'extérieur).

problème 1 : En mi-saison, la température extérieure est plus douce ; l'apport de chaleur doit être adapté.

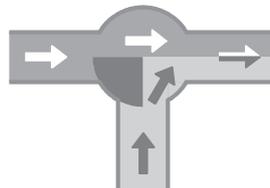


Pour alimenter le radiateur avec de l'eau à température « mitigée » (70°), on réalise un mélange entre l'eau chaude qui arrive de la chaudière (90°) et l'eau tiède qui sort du radiateur (60°).

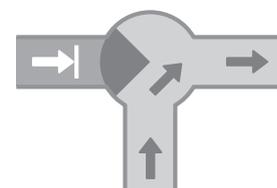
C'est le rôle de la vanne, appelée « vanne trois voies mélangeuse », placée entre l'aller et le retour de l'installation. Son principe de fonctionnement est basé, par exemple, sur la rotation d'un secteur entre les 3 voies d'eau :



la vanne est 100 % ouverte.

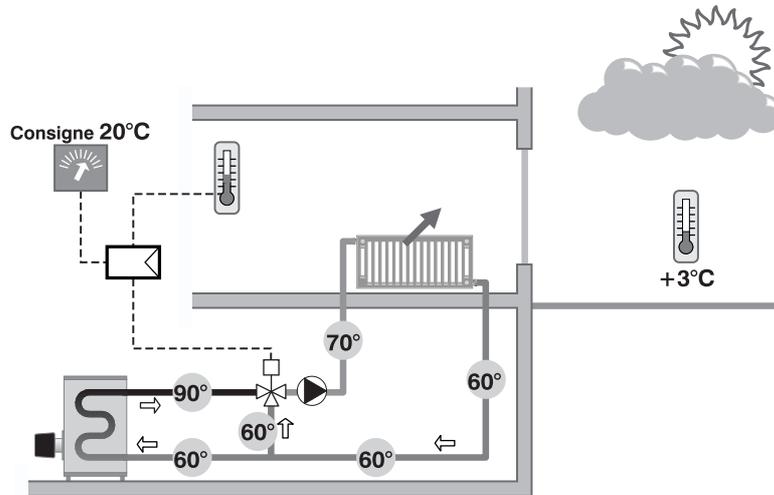


la vanne mélange 50 % du débit de la chaudière et 50 % du débit de retour des radiateurs.



la vanne est fermée; l'eau des radiateurs tourne sur elle-même et se refroidit.

problème 2 : La température extérieure varie en permanence. Comment dès lors adapter la température de l'eau des radiateurs aux besoins ?

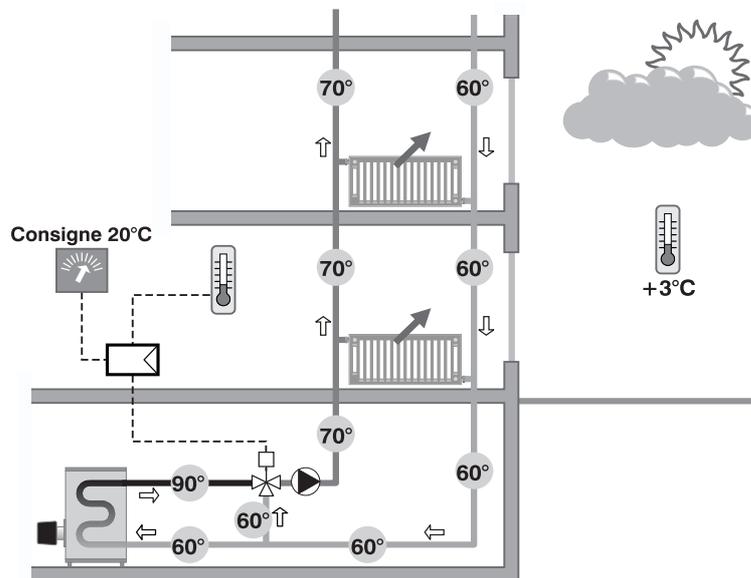


Un régulateur va relever la température existante dans le local, va comparer celle-ci à la température de consigne, et en fonction de l'écart existant, ouvrira ou fermera la vanne à trois voies mélangeuse.

problème 3 : Et si il y a plusieurs locaux à chauffer ?

solution 1 : tous les locaux ont des besoins identiques.

Par exemple : l'ensemble des locaux administratifs de l'école.
On choisira un local, témoin fidèle des besoins en température des autres locaux.

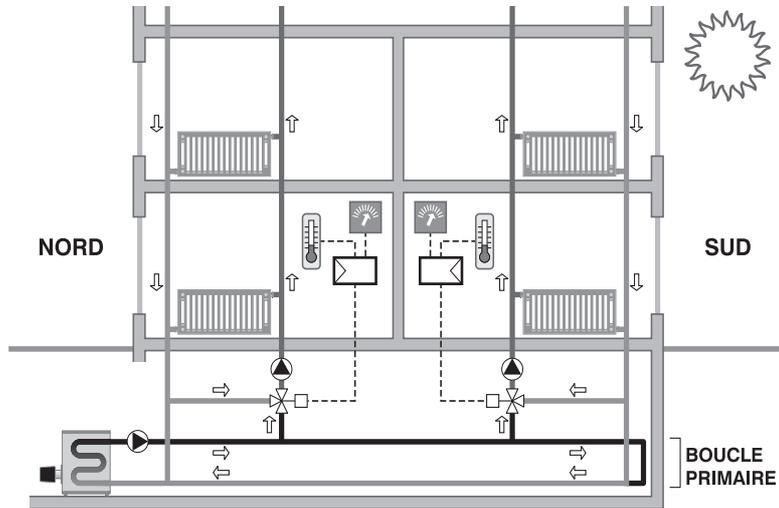


Ici, tous les locaux superposés seront régulés en fonction de la température demandée dans le local témoin au rez-de-chaussée.

solution 2 : les locaux peuvent se subdiviser en zones ayant des besoins similaires.

Par exemple : les locaux situés au sud et les locaux situés au nord.

On réalisera deux circuits indépendants, régulés de façon autonome, chacun disposant de son local témoin.



On constate qu'il a fallu créer une boucle « primaire », alimentée par la chaudière, nourrie des différents départs de circuits dits « secondaires ». Chaque circuit greffé sur la boucle primaire est indépendant des autres dans son fonctionnement.

solution 3 : tout est raccordé sur un seul circuit, les locaux ont des besoins différents mais il est trop coûteux de créer des zones différentes.

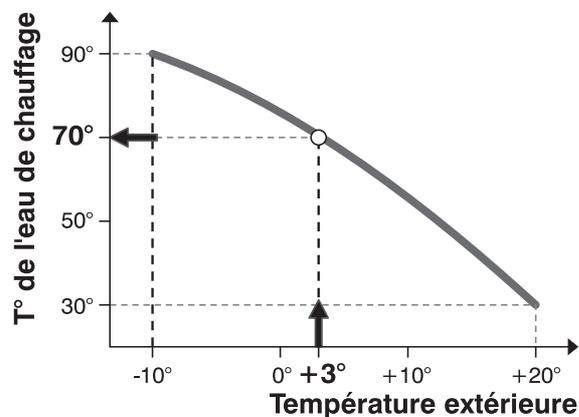
Hydrauliquement, il n'est pas possible de créer des circuits distincts.

Par exemple : au premier étage, c'est le réfectoire, au deuxième, c'est une classe et au troisième c'est la bibliothèque !

Des horaires et des températures de consigne bien différents ! Impossible de créer un local « témoin ».

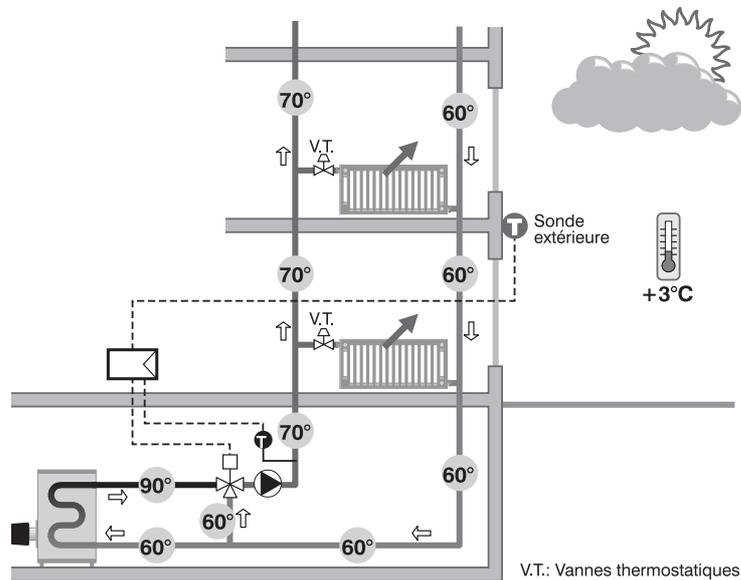
On va dès lors se fier sur la seule variable que l'on connaît et qui est commune à tout le bâtiment : la température extérieure. Plus il fait froid dehors, plus la température de l'eau dans les radiateurs doit être chaude.

Cette loi est appelée « la courbe de chauffe ».



Si la température extérieure est de 3° C, on demandera au circuit une alimentation par de l'eau à 70° C.

Le schéma devient :

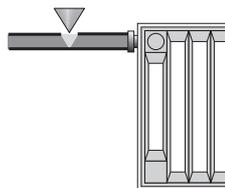


La **température** d'alimentation est donc identique pour tous les radiateurs du circuit. Or les besoins de chaque pièce sont différents ... Que faire ? En plaçant des vannes thermostatiques sur chaque radiateur, on va adapter le **débit** d'eau chaude cette fois, en fonction des besoins.

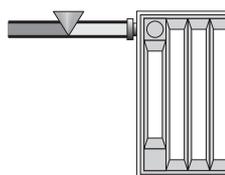
En effet, une vanne thermostatique est un régulateur à elle toute seule.

Si elle est réglée sur 3, cela veut dire que l'on demande 20°C dans la pièce (approximativement : 1 = 16°C, 2 = 18°C, 3 = 20°C, 4 = 22°C, 5 = 24°C, mais cette correspondance varie selon les marques).

S'il fait 19°C dans le local, la vanne sera ouverte, le pointeau intérieur laissant passer un maximum de débit.



S'il fait 21°C, la vanne sera fermée, le pointeau bloquant le débit d'alimentation du radiateur.



Application à la classe du 2ème étage :

7h30 : il fait 17° dans la classe, le radiateur est alimenté au débit maximum avec l'eau préparée à 70°.

8h15 : il fait 20°, les cours commencent.

9h00 : la chaleur dissipée par les 25 élèves représente 2.000 Watts, soit l'équivalent d'un gros radiateur. La température atteint 21°, la vanne thermostatique se ferme.

Pendant ce temps au 3^{ème} étage, la bibliothèque reste chauffée par le radiateur dont la vanne thermostatique reste ouverte. Simplement, vers midi, la température extérieure étant remontée à 10°, l'eau de chauffage est réglée à 53° via la courbe de chauffe du régulateur.

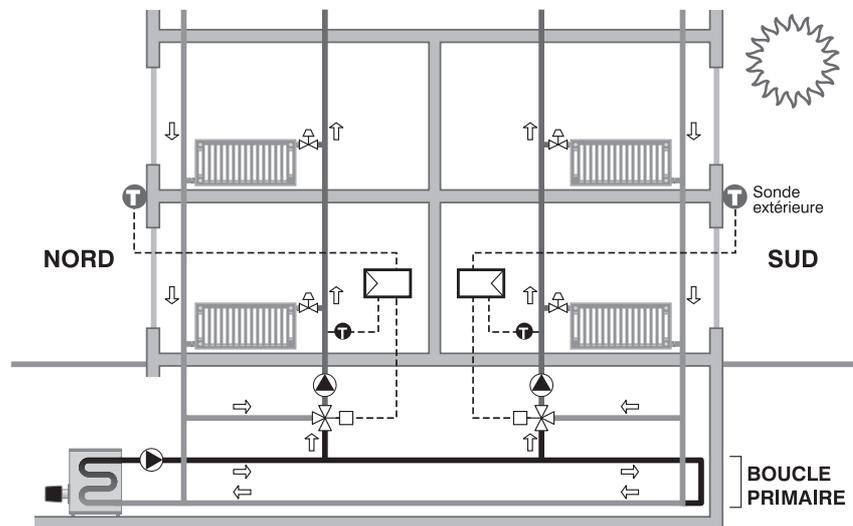
On constate deux niveaux de régulation :

- le réglage de base réalisé par la vanne trois voies au départ du circuit : réglage de la température de l'eau.
- le réglage plus fin réalisé par la vanne thermostatique dans chaque local : réglage du débit d'eau.

solution 4 : le bâtiment dispose de circuits différents, mais comprenant chacun des locaux avec des besoins variables.

Par exemple : un circuit Nord et un circuit Sud, mais avec des occupations de locaux très variées.

A problème mixte, solution mixte : on associera les possibilités des solutions 2 et 3.



La chaudière prépare de l'eau chaude à haute température. Deux sondes extérieures, l'une au Nord, l'autre au Sud, permettront le réglage des températures au départ des deux circuits :

- une température d'eau pour le circuit Nord,
- une température d'eau pour le circuit Sud.



Mieux, la sonde au sud sera complétée par une sonde d'ensoleillement qui « trompera » le régulateur : par exemple, s'il fait +5° et qu'il y a plein soleil, la sonde dira au régulateur qu'il fait +12° ! « Trompée », la vanne mélangeuse enverra de l'eau moins chaude au circuit sud.

De plus, des vannes thermostatiques placées dans chaque local limiteront la température, si nécessaire (si les élèves ou la photocopieuse fournissent de la chaleur, par exemple).

La vanne thermostatique ne constitue donc que le dernier maillon correcteur d'un ensemble d'équipements de régulation cherchant à apporter la chaleur au bon endroit, au bon moment, avec le bon niveau de température.

* * *

1. diagnostic de l'installation de régulation

1.1 un point de départ : le relevé de l'installation

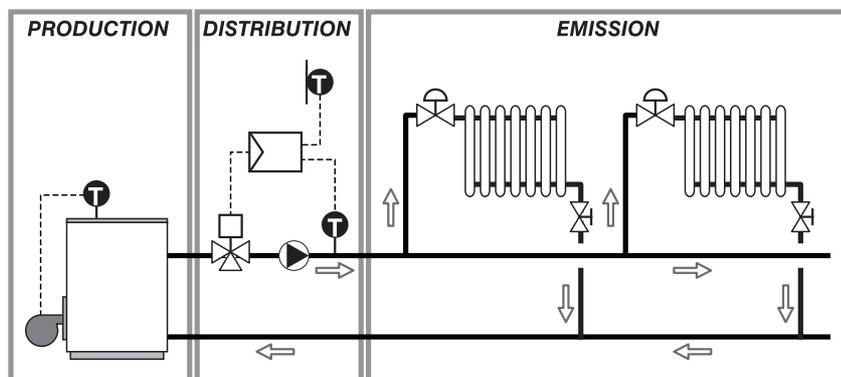
Pour analyser la régulation d'un bâtiment, pour imaginer de nouvelles solutions et en discuter avec l'installateur, il est très utile de commencer par tracer le schéma hydraulique (*) de l'installation de chauffage. C'est un schéma simplifié reprenant les tuyauteries, les corps de chauffe, ... sur lequel on pourra ensuite greffer les équipements de régulation.

Idéalement, un tel schéma doit déjà exister et se trouver dans la chaufferie. L'installateur en a généralement une copie. A défaut, il faudra le recomposer ! Ce travail est mis à jour à chaque modification de l'installation. Mieux, il est placé dans une double pochette plastique de protection, avec le carnet d'entretien de l'installation. Dans ce carnet sont notées toutes les interventions effectuées sur l'installation de chauffage, les plaintes des occupants, les modifications de réglage qui ont suivi, ... Quelle mine d'informations pour un nouvel intervenant !

Pour réaliser le schéma, la tâche consiste « à suivre les tuyaux » et à dresser un plan simplifié du réseau.

Quelques éléments peuvent aider à réaliser le travail :

1° - mentalement, il est plus aisé de comprendre la logique qui règne dans cet « amas de tuyaux » si **l'ensemble de l'installation est décomposée en 3 niveaux :**



- **production** de chaleur.
- découpage du bâtiment en zones disposant d'un circuit d'alimentation distinct et **distribution** vers chaque zone.
- **émission** de chaque corps de chauffe.

On retrouve alors les 3 niveaux de régulation qui y sont associés :

- régulation de la chaudière (ou de la cascade de chaudières) et régulation de la température de la boucle primaire,
- régulation de la température de chaque départ,
- « finition » de la régulation, par exemple via les vannes thermostatiques.

(*) Remarque : on parle ici de « schéma hydraulique » parce ce sont les installations de chauffage à eau chaude qui sont les plus fréquentes et qui sont décrites dans ce document, mais le raisonnement est similaire pour les installations de chauffage à air chaud.



2° - des **symboles conventionnels** existent pour représenter les divers équipements. En les utilisant, on simplifie les représentations et on utilise un langage commun aux hommes de métier.

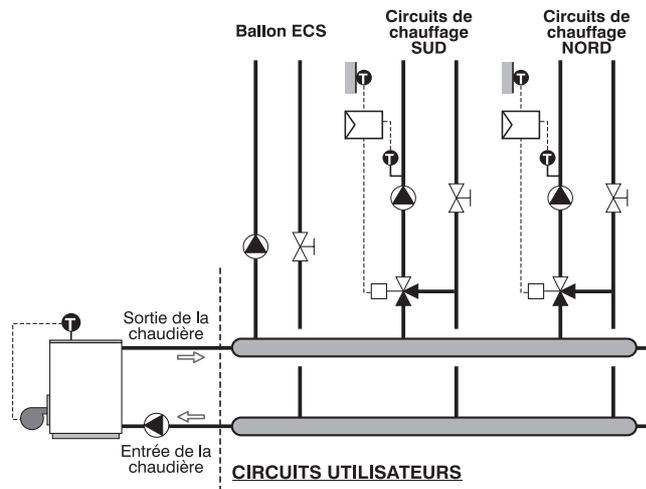
En voici les principaux modèles :

Chaudière avec brûleur à air pulsé	
Chaudière gaz avec brûleur atmosphérique	
Circulateur ou pompe de circulation	
Vanne de réglage	
Vanne thermostatique	
Vanne trois voies motorisée (le débit est variable dans les 2 voies avec triangle noir, le débit total passe dans la 3 ^{ème} voie avec triangle blanc)	
Vanne de régulation à pression différentielle (elle maintient la pression constante entre + et -)	

Sur le circuit hydraulique, viennent également se greffer les symboles conventionnels des équipements de régulation et les raccordements entre ces équipements (ces liaisons sont très souvent représentées par des traits fins et/ou pointillés)

Régulateur	
Sonde de température	
1. sur tuyauterie :	
- sonde à plonge	
- applique	
2. extérieure	

Voici, à titre d'exemple, le schéma d'une installation comportant 1 chaudière et 3 circuits consommateurs : un circuit de chauffage pour radiateurs en façade Nord, un circuit pour radiateurs en façade Sud et un circuit pour l'échangeur d'eau chaude sanitaire.



1.2. la régulation est-elle économe ? Quelles sont les améliorations possibles ?

1.2.1 un triple regard.

A priori, les équipements sont toujours dimensionnés pour répondre aux sollicitations extrêmes (de l'ordre de -10°C extérieur !) et la régulation permet d'adapter la puissance des équipements aux besoins réels de chaque moment.

Il est dès lors intéressant d'analyser un système de régulation en se posant les questions suivantes :

- **La chaleur fournie, est-elle adéquate suivant les lieux ?**

Les locaux sont-ils soumis à des consignes différentes selon leurs besoins (locaux de rangement, locaux à usage intermittent,...) et selon leur sollicitations internes ou externes (façade Nord - façade Sud, salle informatique, salle avec fenêtres sur deux façades opposées,...)? Doit-on chauffer tout le bâtiment pour une réunion en soirée ? Un découpage du bâtiment en modules « thermiquement homogènes » constitue la base de la recherche d'une adéquation de la régulation aux besoins.

- **La chaleur fournie, est-elle adéquate en intensité ?**

Au sein de chaque module, des variations apparaissent : y a-t-il possibilité d'agir localement pour adapter la puissance de chauffe ? (autrement que par l'ouverture des fenêtres !) La régulation constitue l'interface entre le système de chauffage et l'occupant. Les choix qui sont faits dans l'accès à cette régulation sont dès lors à étudier avec soin : par exemple, la bibliothécaire de l'école doit pouvoir avoir accès à la régulation de son local, alors que les vannes thermostatiques peuvent être bloquées dans les salles de cours.

- **La chaleur fournie, est-elle adéquate dans le temps ?**

Existe-t-il une programmation horaire possible des équipements en fonction de l'usage des locaux ? Si oui, fonctionne-t-elle réellement ? Pour en juger, il est très intéressant de passer dans les locaux au moment de leur inoccupation : le soir, le week-end. Les installations sont-elles véritablement coupées ? Une visite en chaufferie l'été peut être également très révélatrice.

On le voit, la mise en place d'une bonne régulation part d'une analyse détaillée des besoins, analyse pour laquelle le responsable énergie a un rôle important à jouer. Son regard est complémentaire à ceux de l'installateur de chauffage et du bureau d'études qui ont dû installer les équipements en fonction d'une occupation prévisible des locaux, ... toujours hypothétique.

Cette analyse des besoins établie, on pourra évaluer si les appareils de régulation ont la capacité technique d'y répondre.

1.2.2 une check-list pour dénicher les problèmes.

Il est possible de checker la qualité de son installation de régulation en vérifiant les différents points de la check-list ci-dessous. Elle renvoie aux différents chapitres de la partie « **projet** » de ce document.

Indice de problème	Dispositif de régulation	Oui	Non	Page
dans la chaufferie :				
Les chaudières s'enclenchent et s'arrêtent en même temps...	Y a-t-il une régulation de la cascade des chaudières ?			22
Quand une des chaudières est à l'arrêt, sa température reste élevée...	Y a-t-il une vanne motorisée qui isole hydrauliquement les chaudières à l'arrêt ?			24
La chaudière est réglée sur son aquastat, à la même température tout l'hiver ...	La température de départ de la chaudière varie-t-elle en fonction des besoins ?			22
La chaudière présente des signes de corrosion interne, voire des coulées d'eau lors de la relance du matin ...	Y a-t-il une protection des chaudières contre le risque de condensation ?			23
pour chaque zone du bâtiment :				
Toute l'école est chauffée le week-end pour les besoins de la conciergerie, de la salle de spectacle ou de l'internat ...	Y a-t-il une régulation spécifique à chaque zone ?			25-40
Le réfectoire est chauffé en permanence, alors que l'utilisation est limitée à 2 heures par jour...				

Indice de problème	Dispositif de régulation	Oui	Non	Page
Lorsqu'il y a du soleil, le chauffage ne diminue pas et il fait terriblement chaud ...	Les sondes de température donnent-elles une image fidèle de la réalité ?			31
En hiver, ça va, mais au mois d'avril, il faut ouvrir les fenêtres parce qu'on étouffe...	Y a-t-il une régulation en fonction de la température extérieure ?			28
En gros, ça va, le chauffage suit l'évolution de la température extérieure. Mais parfois il manque 1 ou 2 degrés...	Les paramètres de la courbe de chauffe sont-ils corrects ?			27
Lorsque les élèves entrent en classe, il fait bon, mais une heure plus tard c'est la fournaise...	Y a-t-il une correction en fonction de l'ambiance intérieure de la zone ?			29
Tout est réglé en fonction du local des éducateurs, mais ça n'a rien à voir avec les besoins dans les classes...	Le local témoin est-il représentatif de la zone qu'il représente ?			34-37
Quand on passe le soir, on sent que les radiateurs sont encore chauds...	Y a-t-il un ralenti nocturne ?			32
Le lundi matin, y a pas intérêt à quitter sa veste...	Y a-t-il un optimiseur de coupure et de relance ? (un appareil qui peut distinguer le lundi matin du mardi matin parce qu'il tient compte de la température effective des locaux avant de chauffer).			33
Les gens ne se sentent pas responsables de leur consommation et gaspillent, surtout les « extérieurs » (location salle de fête, salle de sport,...). Si leur consommation leur était facturée...	Y a-t-il un compteur d'énergie sur l'installation ?			46

Indice de problème	Dispositif de régulation	Oui	Non	Page
dans chaque local :				
Le circuit est le même pour les radiateurs en façade Sud et en façade Nord, alors par journée ensoleillée...	Y a-t-il des vannes thermostatiques dans les locaux dont les besoins ne sont pas similaires à leur zone ?			34
Les radiateurs et les robinets thermostatiques sont cachés derrière des grilles...	Suite à leur emplacement, les vannes thermostatiques sont-elles fidèles à l'ambiance ?			30
Il y a des vannes thermostatiques mais elles sont mal utilisées, voire détruites par vandalisme...	Le type de vanne thermostatique est-il adapté ?			36
globalement :				
Personne ne connaît le fonctionnement des boîtiers de régulation, et le mode d'emploi est introuvable...	Un suivi régulier des paramètres de régulation des bâtiments est-il organisé ?			47
Les besoins de régulation sont multiples (chauffage, éclairage, contrôle intrusion, incendie, consommation d'eau, ...) et les bâtiments sont nombreux...	L'installation d'une Gestion Technique Centralisée du bâtiment se justifie-t-elle ?			44

1.3. lorsque la régulation est accusée à tort ...

La régulation a parfois bon dos !

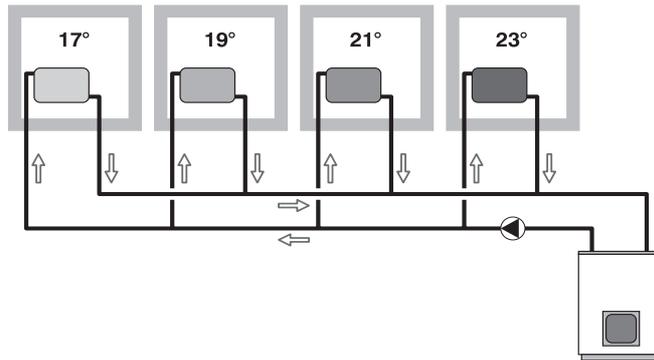
Comparons la situation à une automobile: la régulation, c'est la pédale d'accélération qui adapte la puissance du moteur aux besoins du conducteur. Aurait-on idée d'accuser l'accélérateur lorsque le moteur a des ratés ?!

De même pour l'installation de chauffage, la régulation ne pourra être performante que si l'installation est en bon état de marche...

Passons rapidement en revue les problèmes possibles.

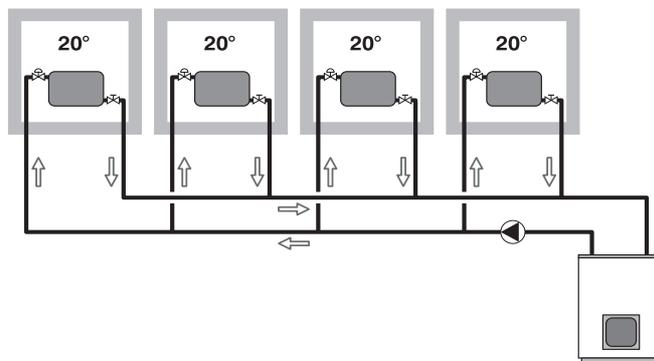
1. L'hydraulique est déficiente.

La dernière classe au fond du couloir est toujours froide... Les radiateurs sont chauds dans la première moitié (ou dans la moitié supérieure) et froids dans la deuxième partie. La vanne n'est pas obturée, non, simplement le débit est trop faible ! Réaction classique : remplacer le circulateur existant par un autre plus puissant. La situation s'améliore un peu, mais le problème n'est pas vraiment résolu. En effet, le problème résulte souvent d'un déséquilibre hydraulique : les premiers radiateurs de la boucle court-circuitent le débit d'eau et le dernier radiateur est sous-alimenté. En doublant le débit brassé par le circulateur, on doublera le débit partout, mais le déséquilibre restera.



La vraie solution consiste à freiner le débit d'alimentation des premiers radiateurs,

- soit en fermant de quelques tours les tés de réglages à la sortie des radiateurs,
- soit en agissant sur le pré-réglage des robinets thermostatiques (limitant le débit maximal autorisé).



A ce moment, l'eau se répartira dans chacun des radiateurs avec un débit similaire. La solution est donc bien hydraulique.

2. De l'air est présent dans l'installation.

Un bon fonctionnement d'une installation hydraulique requiert l'absence de poches d'air dans le réseau. Si les radiateurs sont froids dans la partie supérieure et chauds dans la partie inférieure du corps de chauffe, on soupçonnera une présence d'air.

Ce peut être le vase d'expansion qui est en cause (trop petit, percé,...). Il ne remplit plus alors son rôle : absorber les variations de volume par dilatation lors du chauffage de l'eau.

Des purgeurs sont prévus dans tous les « points hauts » de l'installation pour éliminer l'air résiduel.

3. Un phénomène de thermocirculation perturbe le système.

Prenons le cas d'une régulation agissant sur le circulateur. Son arrêt en fin de journée n'entraîne pas forcément l'arrêt de la circulation de l'eau. Si la chaudière reste chaude (maintenue sur son aquastat), une faible circulation par thermocirculation peut avoir lieu : l'eau chaude monte, l'eau froide descend et l'ensemble se met en mouvement dans le réseau. Ce phénomène est surtout sensible dans les anciennes installations encore équipées de larges tuyauteries, du temps où le chauffage se faisait par thermocirculation (par économie, des circulateurs ont été placés sans que la section des principales tuyauteries ne soient modifiées).

Un flow-valve (« clapet antithermosiphon ») sera utilement placé, sans quoi la régulation ne pourra s'exercer.

4. L'installation n'est pas suffisamment puissante.

Devant une installation sous-dimensionnée, la régulation ne pourra pas faire grand chose...

- Si la chaudière fonctionne en continu et que la température de départ de l'eau vers le réseau reste insuffisante, la chaudière est sous-dimensionnée (c'est rare !).
- Si le radiateur est bien alimenté, bien chaud, et que l'ambiance du local n'atteint pas le niveau de consigne, le radiateur est sous-dimensionné par rapport aux besoins de la pièce (il arrive parfois que les parois soient modifiées suite à un réarrangement des locaux). A noter qu'il est alors plus intéressant d'investir dans la réduction des besoins, en remplaçant les châssis du local par exemple, que dans l'installation d'un nouveau radiateur plus costaud.

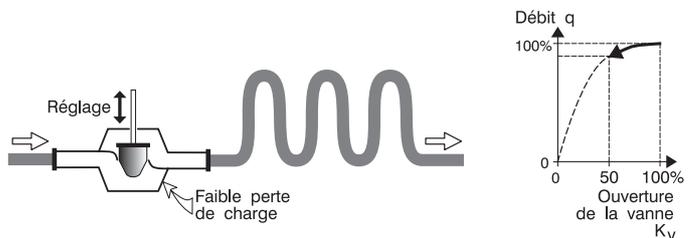
5. Les vannes manquent d'autorité.

Il en est des vannes (vannes 3 voies motorisées, vannes thermostatiques,...) comme des profs : si elles manquent d'autorité, il y a du chahut !

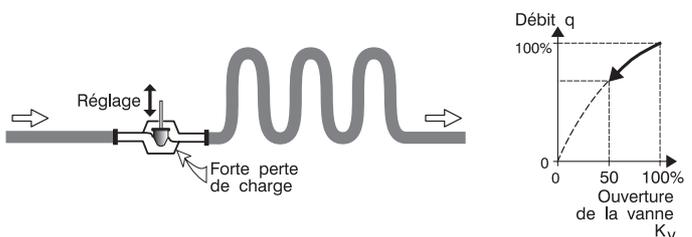
Si la vanne s'ouvre, puis se ferme, puis s'ouvre à nouveau,... on dit qu'elle « pompe » : elle agit trop brusquement, et ne parvient pas à donner l'ajustement adéquat à son réglage. Son autorité est inadéquate.

L'autorité d'une vanne traduit l'impact qu'elle a sur le débit d'eau lorsqu'elle se ferme.

Par exemple, dans le cas ci-contre, si on imagine qu'une très grosse vanne agit sur une petite tuyauterie, on comprend qu'elle ne sera efficace que sur la fin de sa course. Elle ne régulera que dans les derniers millimètres.



Idéalement, pour qu'une régulation fonctionne bien, il faut qu'un signal de commande diminué de 10 % (parce la sonde extérieure détecte que la température a varié), entraîne une réduction de débit de 10 %, c'est-à-dire une réponse directement proportionnelle.



1.4. quelle est la rentabilité d'une amélioration de la régulation ?

1. quelques ordres de grandeur.

Chiffrer l'économie résultant d'une nouvelle régulation est complexe. Les chiffres tirés de cas vécus sont fort dépendants de la situation de départ, avant le placement du régulateur. Il faut donc se méfier des publicités qui font état de résultats spectaculaires, ... en partant de situations catastrophiques où aucune régulation n'existait !

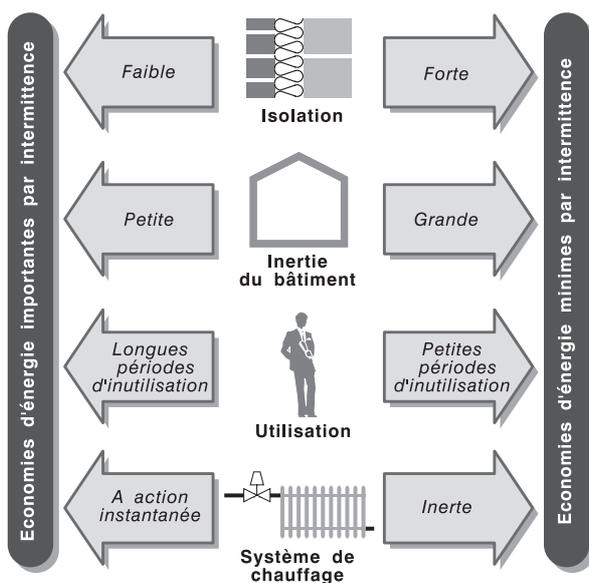
Si nous reprenons les 3 objectifs de la régulation (chauffer au bon endroit, à la bonne intensité, au bon moment), trois types d'économie peuvent apparaître :

- **Réduire la zone chauffée** : si une partie du bâtiment ne doit plus être chauffée, on peut appliquer une règle de trois, proportionnellement aux surfaces avant et après : en première approximation, 10 % de réduction de surface chauffée entraîne 10 % d'économie.
- **Réduire le niveau de consigne** : la **diminution d'1 degré** de la consigne entraîne une **réduction de 8 %** de la consommation totale, et cette estimation est minimaliste.
- **Réaliser une programmation horaire des locaux** : la mise en place d'une programmation de **l'intermittence** (coupeure la nuit et le week-end) peut entraîner une **économie moyenne de l'ordre de 30 %**, par rapport à une situation de chauffage continu. Ce chiffre doit être nuancé : c'est l'objet du développement ci-dessous.

Attention : Si avant, la bibliothèque était chauffée 24h/24 et qu'après, elle n'est plus chauffée que deux heures sur le temps de midi, la nouvelle consommation ne sera pas de 2/24^{ème} ! mais bien du tiers ou de la moitié de ce qu'elle était initialement. Pourquoi ? à cause de l'inertie du bâtiment... Développons ceci en détail via l'étude des économies réalisées par un chauffage intermittent.

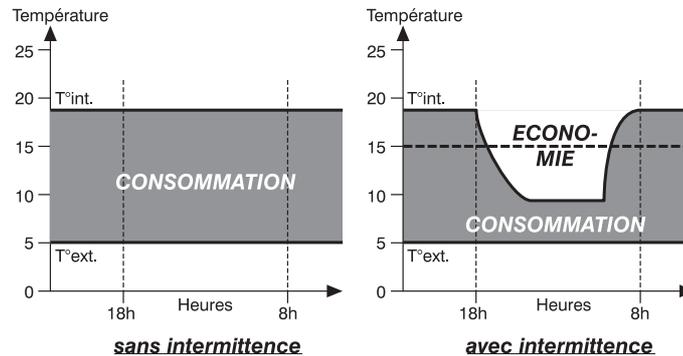
2. une analyse détaillée des économies réalisées en coupant l'installation de chauffage la nuit et le week-end.

Si l'installation est coupée la nuit et le week-end, quelles seront les économies engendrées ?



La figure ci-contre résume les différents paramètres qui influencent le bilan thermique.

La consommation d'un bâtiment résulte de l'écart existant entre la température intérieure et la température extérieure.



Si l'on place un programmeur, une horloge, pour couper l'installation à un moment donné, on pourra chiffrer l'économie attendue en estimant l'abaissement moyen prévisible de la température intérieure et donc la réduction de l'écart moyen intérieur-extérieur des locaux régulés.

• **L'économie est fonction du degré d'isolation**

Plus le bâtiment est isolé, plus la température intérieure restera stable lors de la coupure du chauffage. L'économie réalisée sera faible.

Au contraire, lorsque le chauffage est coupé dans un bâtiment peu isolé (des façades très vitrées, par exemple, avec des infiltrations d'air importantes), la température intérieure chute rapidement. C'est dans ce genre de bâtiment « passoire » que le placement d'un régulateur-programmeur sera le plus rentable.

• **L'économie est fonction de l'inertie du bâtiment**

Imaginons un local très lourd, très inerte (anciennes constructions massives) : la température intérieure chutera peu durant la coupure de nuit, car beaucoup de chaleur s'est accumulée dans les murs. Les économies seront faibles...

Par contre, si le bâtiment est du type préfabriqué, fait de poutrelles et de cloisons légères : dès que le chauffage s'arrêtera, la température chutera. Dans ce cas, la consommation est pratiquement proportionnelle à l'horaire de chauffe.

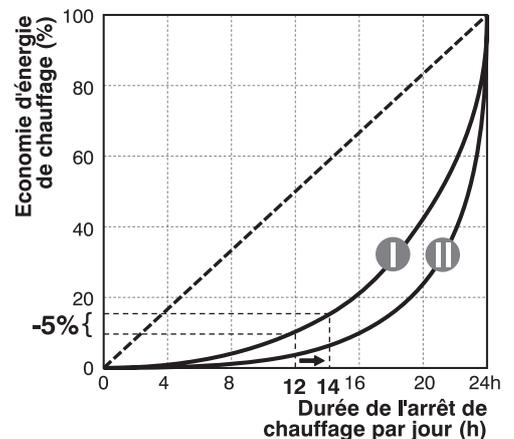
• **L'économie est fonction de la durée de coupure**

Une coupure d'un week-end est beaucoup plus efficace qu'une coupure nocturne. La coupure sur le temps de midi est sans intérêt.

La figure ci-contre fournit l'économie d'énergie en fonction de la durée de l'arrêt de chauffage. Le pourcentage d'économie se rapporte à un chauffage permanent.

- I bâtiments de construction légère.
- II bâtiments de construction lourde.

Par exemple, une interruption du chauffage de 12 heures génère 11 % d'économie. (source Staefa Control). Mais une interruption de 14h génère 5 % d'économie supplémentaire.



• **L'économie est fonction du surdimensionnement de l'installation de chauffage**

Si l'installation est très puissante (chaudière et radiateurs surdimensionnés), la relance du matin pourra se faire en dernière minute. La température intérieure de nuit pourra être plus faible et les économies par l'intermittence seront importantes.

Si l'installation est dimensionnée au plus juste, il sera impossible de couper l'installation la nuit, par période de grand froid, sous peine de ne pouvoir assurer le confort au matin.

• **L'économie est fonction du type d'installation de chauffage**

Si le chauffage est assuré par un système à air chaud (chauffage très peu inerte), la mise en régime et l'arrêt du chauffage est immédiat. Si l'installation est réalisée par un système de chauffage par le sol (chauffage très inerte), les temps de réponse seront forts longs....

• **Un exemple chiffré pour situer l'influence de l'inertie et de l'isolation**

On le voit, l'économie engendrée par le placement d'un programmeur est dépendant de nombreux paramètres ! Les deux plus importants sont l'isolation et l'inertie.

Ci dessous on trouvera les résultats d'une simulation(*) réalisée sur trois bâtiments, respectivement de 500, 2.000 et 4.000 m² (Hypothèses choisies : voir page suivante).

Economie par rapport au fonctionnement continu		500 m ² (1 niveau)	2000 m ² (2 niveaux)	4000 m ² (4 niveaux)
simple ralenti	peu isolé	12,5%	11,4%	10,8%
	bien isolé	11,7%	10,9%	10,3%
	très isolé	10,2%	9,5%	8,3%
programmeur (horloge)				
faible inertie (150 kg/m²)	peu isolé	37,7%	31,9%	29,5%
	bien isolé	33,8%	29,6%	26,6%
	très isolé	26,5%	22,6%	17,0%
forte inertie (400 kg/m²)	peu isolé	37,5%	28,0%	25,5%
	bien isolé	30,6%	25,2%	22,0%
	très isolé	21,9%	18,2%	13,7%
optimiseur				
faible inertie (150 kg/m²)	peu isolé	38,5%	33,4%	31,2%
	bien isolé	35,0%	31,4%	28,7%
	très isolé	28,6%	25,1%	20,1%
forte inertie (400 kg/m²)	peu isolé	38,2%	31,2%	28,6%
	bien isolé	33,4%	28,7%	25,8%
	très isolé	25,6%	22,2%	17,6%

(*) « Guide pour la pratique de l'Intermittence du chauffage dans le tertiaire à occupation discontinuée », ADEME, 1989.



Trois niveaux d'isolation ont été repris :

- peu isolé : simples vitrages, murs non isolés,
- très isolé : doubles vitrages, murs avec 8 cm d'isolant,
- bien isolé : niveau intermédiaire entre les 2 précédents.

Le bâtiment est chauffé 10 h par jour et 5 jours par semaine. Le niveau de surpuissance de l'installation de chauffage est assez élevé puisqu'il atteint 2 fois les déperditions (calculées avec un taux de ventilation réduit).

Trois degrés de coupure sont proposés :

- un simple ralenti de nuit (abaissement de la température de l'eau de chauffage),
- une coupure totale du chauffage (avec maintien hors gel) par une horloge qui relance l'installation toujours au même moment le matin,
- une coupure totale (avec maintien hors gel) avec une relance optimisée « just in time » !

3. « cela ne sert à rien de couper le chauffage la nuit ! La chaleur économisée est repayée en début de journée pour recharger les murs ! »

Cette remarque est souvent entendue. Pourtant, ce n'est pas exact. On a toujours intérêt à couper le chauffage la nuit.

Il est vrai que la décharge des murs devra être compensée par une surconsommation en début de journée pour les remettre à température. Mais le gain énergétique provient de la diminution des déperditions nocturnes. Et donc, plus la température intérieure descendra, plus l'économie augmentera.

Les chiffres d'économie repris dans le tableau précédent intègrent d'ailleurs le surcroît de consommation de la relance du matin.

Ce qui est vrai, c'est qu'il ne faut pas descendre sous une température de 12°C ,

- parce cette température correspond au point de rosée de l'ambiance et que des problèmes de condensation pourraient se poser,
- parce que malgré la relance du lundi matin, la température des murs serait trop froide et engendrerait de l'inconfort pour les occupants,
- parce que maintenir 12°C dans le local témoin (où se trouve la sonde de régulation), c'est maintenir l'ensemble du bâtiment hors gel.

Une consigne de 14°C durant la nuit, le week-end et les périodes scolaires est donc recommandée (voire 12° si le bâtiment est sain).

4. pas trop de calculs, des projets !

Une horloge s'amortit généralement en moins de temps qu'il en faut pour réaliser les calculs... Alors, n'hésitons pas à en placer !

* * *

2. projets de rénovation de la régulation

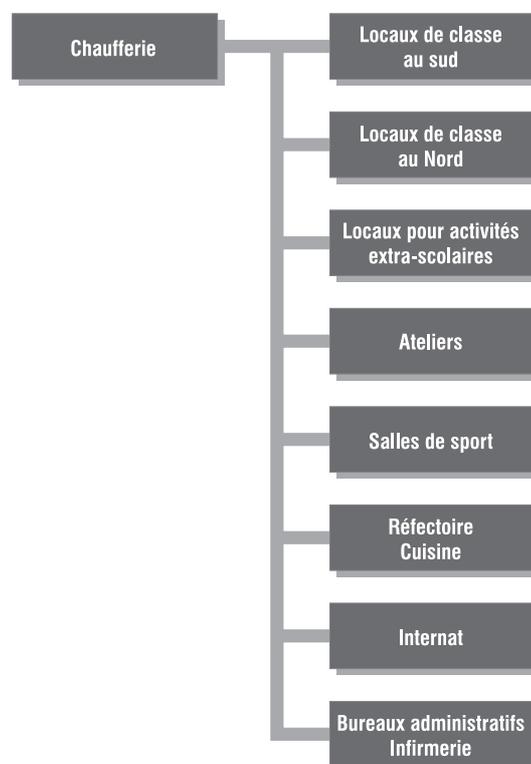
A chaque « zone thermique homogène », son circuit spécifique : c'est le critère essentiel pour une réalisation correcte de la régulation.

Idéalement, le découpage hydraulique coïncidera avec la répartition des locaux ayant des besoins similaires,

- similaires au niveau des plages horaires d'occupation essentiellement,
- similaires dans les sollicitations extérieures (soleil, vent,...), ce qui entraîne bien souvent un découpage par façade,
- dans une moindre mesure, similaires au niveau du type d'équipement de chauffage et au niveau de l'inertie du bâtiment.

Par exemple, les locaux de classes et les couloirs attenants peuvent être sur un même circuit : leurs plages d'occupation sont similaires et il suffira de placer des vannes thermostatiques sur les radiateurs pour maintenir 16° dans les couloirs. Par contre, la salle de gymnastique devra disposer d'un circuit distinct si,

- soit son occupation la distingue du reste de l'école (entraînements sportifs le soir, par exemple),
- soit son type de corps de chauffe est différent (des aérothermes sont toujours alimentés par de l'eau à haute température).





En rénovation, on travaille généralement sur base de circuits de distribution existants. Dès lors, si le découpage des circuits correspond à des zones thermiquement homogènes (un circuit pour les classes, un pour la salle de sports, etc...), une régulation spécifique par zone s'implantera facilement. Le premier chapitre parlera de la régulation idéale que l'on peut y implanter, étape par étape.

Si par contre, des modifications nombreuses ont eu lieu depuis la création de l'école et que les fonctions ne se superposent plus aux circuits initiaux, il faudra davantage user d'astuces... C'est l'objet du deuxième chapitre.

2.1. situation idéale : la distribution hydraulique correspond à un découpage du bâtiment en zones homogènes

Une approche en 6 étapes :

- étape 1* - la régulation des chaudières
- étape 2* - la régulation de la distribution par zone
- étape 3* - le réglage de la courbe de chauffe
- étape 4* - le placement des capteurs
- étape 5* - la gestion des intermittences
- étape 6* - la régulation complémentaire dans les locaux

étape 1 - la régulation des chaudières.

La rénovation des chaufferies entraîne généralement la refonte complète de la régulation de la production de chaleur. C'est l'occasion de réfléchir aux principes mis en place.

1^{er} objectif : réduire les pertes des chaudières.

- **en adaptant la température de l'eau.**

Autrefois, la logique de base était la suivante : puisque l'on ne savait pas à quel moment il y aurait des besoins de chaleur (demande de la zone nord, du ballon d'eau chaude sanitaire, ...), la chaudière était maintenue sur son aquastat à température élevée en permanence. Les pertes étaient élevées, les chaufferies étaient surchauffées, idéales pour faire sécher un vêtement détrempé ! Pour les chaudières gaz atmosphériques, la perte de rendement était importante car le foyer, surmonté de la cheminée, se refroidissait en permanence !

Ces 20 dernières années, une amélioration est apparue : la température de maintien de la chaudière est liée à la température extérieure. On parle d'une régulation glissante sur sonde extérieure. La chaudière est réglée à 80° en janvier et à 50° en avril, sauf si une limite basse est prévue pour les besoins de l'eau chaude sanitaire ou pour des raisons de condensation.

Aujourd'hui, avec l'apparition de la régulation numérique, une nouvelle logique apparaît : ce sont les circuits consommateurs qui vont définir la température minimale de chauffe. Si le circuit sud demande 35°C, et le circuit nord 43°C, la chaudière sera informée qu'une température de 50°C est suffisante. A présent, la régulation numérique peut avertir la chaudière des besoins des consommateurs et la chaudière peut se maintenir à très basse température sans risque de corrosion, si elle est conçue « très basse température ». C'est l'énergie qui est gagnante puisque les pertes sont limitées au minimum.

- **en régulant les chaudières en cascade.**

A nouveau, les logiques sont en cours d'évolution !

Si une cascade est mise en place, c'est notamment pour ne mettre en route qu'une petite chaudière si les besoins sont limités. Pourquoi un camion lorsqu'un camionnette suffit !

Classiquement, les chaudières seront mises en route l'une après l'autre en fonction de l'augmentation des besoins. Mais quel est l'élément représentatif des besoins ?

Autrefois, partant de l'idée que la mission des chaudières était de fournir de l'eau chaude à tout moment, la régulation se faisait par décalage des consignes fixes des chaudières : la première est réglée sur 80°, la deuxième sur 70°, par exemple. Ainsi, si la première chaudière était insuffisante, elle ne pouvait tenir la consigne de 80° et la deuxième chaudière s'enclenchait. Mauvais système puisqu'au moment le plus froid (-10°), la consigne de départ la plus basse était maintenue (70°) ...

Dans les nouvelles régulations numériques, la température de retour est calculée en fonction des besoins du circuit le plus demandeur. Si la température de retour mesurée s'écarte de la valeur calculée, la deuxième chaudière est enclenchée. A nouveau, une telle régulation correspond bien aux besoins réels...

Est-il intéressant d'investir dans une mise en cascade de chaudières, si elle n'existe pas ? Il est toujours plus coûteux d'intervenir sur une installation en rénovation que de prévoir une fonctionnalité supplémentaire dans une régulation nouvelle. Aussi, une cascade placée sur une installation existante aura du mal à s'amortir, sauf

- si les chaudières présentent des très mauvais rendements à charge partielle,
- si leur jaquette est mal isolée,
- s'il s'agit de chaudières gaz atmosphériques.

En tous cas, si les chaudières sont maintenues en permanence sur leur aquastat, un décalage des températures d'aquastat (l'une réglée sur 80°, l'autre sur 70°, par ex.) sera utile pour éviter qu'elles ne s'enclenchent toujours simultanément, surtout pour les chaudières fuel qui ont besoin d'une période de fonctionnement des brûleurs la plus longue possible.

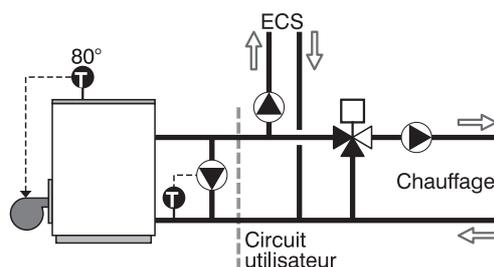
2^{ème} objectif : protéger les chaudières classiques.

Devant une telle évolution, il est très utile de connaître les caractéristiques précises de fonctionnement de sa chaudière. Pour une chaudière classique, le constructeur impose :

- un débit minimal (généralement fixé à un tiers ou à la moitié du débit nominal),
- une température minimale de l'eau de retour (généralement 55° ou 60°C), sous peine de retirer sa garantie...

Ces exigences sont généralement rencontrées par la présence d'une pompe de charge (ou pompe de recyclage) en by-pass de l'installation ou, mieux, en série avec le générateur. Le débit minimum d'alimentation de la chaudière est alors assuré, même si les circuits se ferment, et l'eau froide de retour des radiateurs est mélangée à l'eau chaude venant de la chaudière. Cette pompe assurera simultanément l'alimentation de la boucle primaire dont nous reparlerons à l'étape 2.

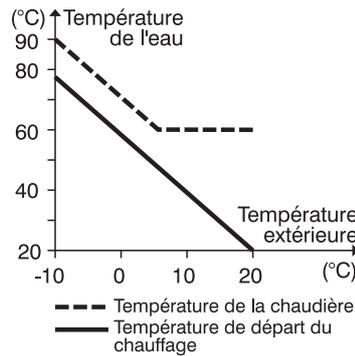
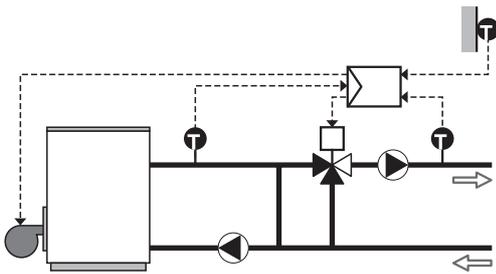
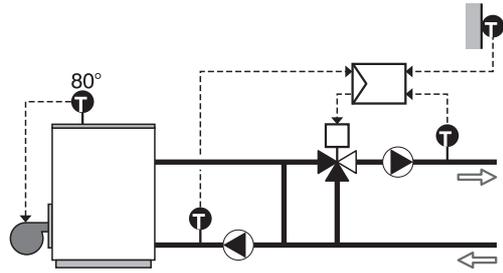
La solution la plus simple consiste à régler l'aquastat de la chaudière à la température maximale : 80° C, par exemple. Une pompe de recyclage protège la chaudière.



Mais des risques subsistent le lundi matin, lorsque tous les circuits sont ouverts et envoient vers la chaudière de l'eau à 15°C ! ... Condensations internes corrosives, chocs thermiques, ... peuvent diminuer la durée de vie de la chaudière. On peut dès lors faire mieux : le(s) régulateur(s) de départ des circuits secondaires peuvent limiter leur ouverture de telle sorte que le mélange (by-pass + retour) ne descende jamais sous les 60°C. Le lundi matin, au démarrage de l'installation, les vannes ne laisseront passer qu'un faible débit d'eau vers les radiateurs pour que progressivement toute l'eau du bâtiment se réchauffe. Cette fonction est intégrée aux régulateurs actuels.

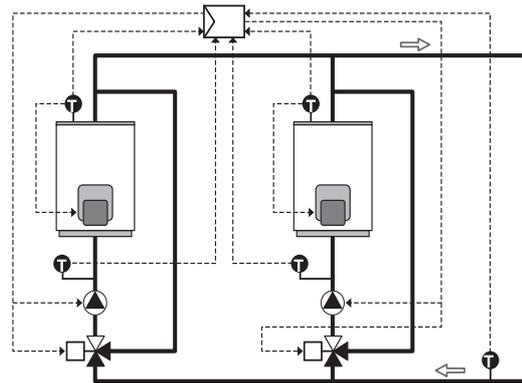
De plus, la température de départ de la régulation glissante peut avoir une limite basse afin de s'assurer d'une température de retour suffisante.

Une sonde à l'entrée de la chaudière empêche la vanne de s'ouvrir si cette température descend au-dessous de 55°C, par une priorité sur l'action du régulateur en fonction de l'extérieur.



La conduite d'une chaudière à température variable avec limitation automatique de la température d'entrée (et/ou de la température de sortie) permet de minimiser les pertes et d'optimiser la durée de vie de la chaudière.

Enfin, lorsque plusieurs chaudières sont présentes, il sera utile de prévoir pour chacune un système autonome de contrôle de la température de retour : une pompe et une vanne 3 voies par chaudière. Ainsi, au démarrage, la chaudière tourne dans « son propre jus » et monte en température, avant de s'ouvrir progressivement vers l'eau du circuit. Ces mêmes pompes seront temporisées pour continuer à évacuer la chaleur de la chaudière après leur arrêt.



Générateurs commandés par la température de retour avec vannes à 3 voies.

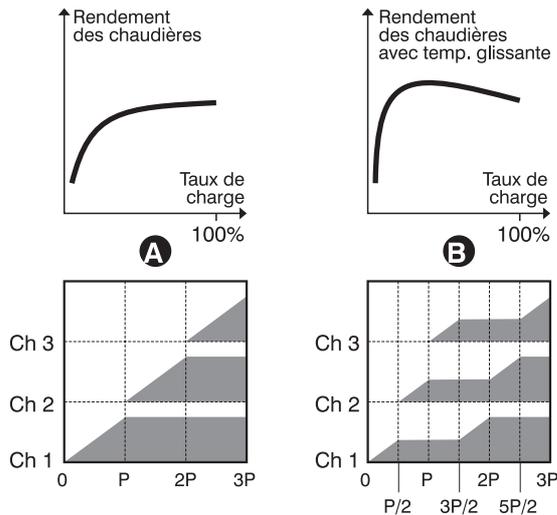
• Quelques éléments complémentaires :

- Chaque chaudière sera équipée d'une temporisation pour éviter qu'elle ne s'enclenche trop rapidement, sans laisser le temps à la chaudière précédente de monter en température : temporisations de 10 à 30 minutes pour les chaudières de grande capacité en eau, et de 3 à 10 minutes pour les chaudières de faible capacité.

- Une permutation automatique d'enclenchement des chaudières sera prévue pour équilibrer le temps de marche des générateurs.

- Cette permutation aura lieu automatiquement également lors de la panne de la chaudière prioritaire.

- Autrefois, on chargeait au maximum la première chaudière afin de la faire travailler au meilleur rendement. Les chaudières actuelles équipées d'une régulation à température glissante sont à leur rendement optimum à charge partielle (par exemple avec un brûleur à petite allure). De ce fait, on chargera par exemple les trois chaudières de la cascade en petite allure avant d'enclencher la grande allure de la première chaudière.



La séquence est choisie selon la figure (A) si les générateurs présentent le rendement maximum à pleine charge. Par contre, si le rendement est maximal pour la puissance moitié, la séquence (B) améliore le rendement saisonnier.

- Par sécurité, il faut prévoir de bloquer le fonctionnement des chaudières si la pompe primaire est à l'arrêt.

- Il est possible également de verrouiller l'enclenchement de la chaudière non prioritaire si la température extérieure est supérieure à une valeur de consigne réglable (par exemple, pas d'enclenchement de la deuxième chaudière si la température extérieure ne descend pas en dessous de +5°C). L'idée est ici d'empêcher l'enclenchement de toutes les chaudières lors de la relance du matin. Cette disposition est cependant contraire à la logique d'un optimiseur : « démarrage du chauffage le plus tard possible et avec la puissance maximale ». Si l'installation est équipée d'un régulateur auto-adaptatif, il se réglera en fonction d'une certaine puissance de relance et sera bien perturbé si celle-ci varie en fonction des conditions extérieures !... (voir détails à l'étape 5)

étape 2 - la régulation de la distribution par zone

De nombreux circuits sont possibles entre chaudière et radiateurs ! Il sort du cadre de cette brochure de tenter de les décrire tous, avec leurs avantages et inconvénients. Nous mettrons plutôt ci-dessous en évidence les principes de base à vérifier sur une installation classique, en proposant un circuit à titre d'exemple. D'autres raisonnements doivent être tenus lorsqu'on recourt à des techniques nouvelles comme le placement de chaudières à condensation ou l'usage de circulateurs à débit variable.

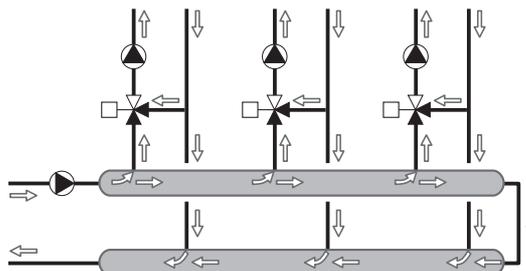
- Une indépendance de fonctionnement entre les circuits

Au camping des Flots Bleus, vous êtes sous votre douche, la tête couverte de shampoing, lorsque subitement le débit d'eau chaude diminue, faisant place à un petit jet d'eau bien froide : c'est votre voisin de douche qui vient de vous court-circuiter... !

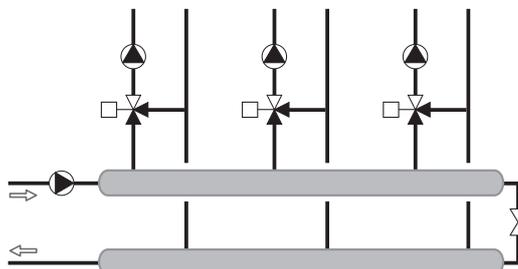
Dans un réseau de distribution, le fonctionnement d'un équipement peut avoir de l'importance sur ses voisins. Ainsi, dans une école, l'enclenchement soudain du chauffage du ballon d'eau chaude sanitaire de la cuisine pourrait perturber l'alimentation du circuit de chauffage des classes.

Un des principes de base au niveau hydraulique sera de favoriser l'indépendance des circuits entre eux.

C'est dans ce but que l'on prévoit le placement d'une boucle primaire, avec une section de tuyauterie importante (au minimum trois fois le diamètre de la conduite provenant des chaudières), dans lequel les différents circuits viennent puiser de l'eau chaude. Cette boucle primaire sera toujours alimentée par un débit supérieur à la somme des débits maximum de tous les circuits secondaires. A ce moment, si le premier circuit s'enclenche, le dernier restera bien alimenté.



Attention : une telle boucle primaire est souvent complétée par une vanne d'arrêt entre le collecteur départ et le collecteur retour. Cette vanne est prévue notamment pour le cas où une pompe secondaire tomberait en panne : en fermant la vanne, le circuit primaire se met en pression et de l'eau est poussée par la pompe primaire vers le circuit défaillant. C'est une solution de dépannage car la caractéristique de pression de la pompe primaire ne correspond pas aux besoins d'un circuit de radiateurs.

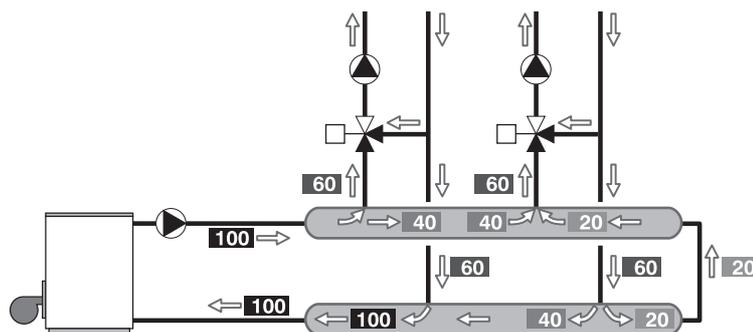


Mais en fonctionnement normal, la vanne doit être totalement ouverte, les circulateurs des circuits secondaires doivent « aspirer » le débit dans la boucle primaire et non se sentir poussés dans le dos par la pompe primaire. On dit que la boucle primaire est « sans pression » ou que la pression différentielle entre les collecteurs doit être faible par rapport à la perte de charge des vannes trois-voies du secondaire.

- Une indépendance de fonctionnement entre la(les) chaudière(s) et les circuits secondaires

Puisque la boucle primaire est vue comme le réservoir dans lequel les circuits secondaires viennent chercher l'eau chaude dont ils ont besoin, l'objectif des chaudières sera d'alimenter ce réservoir en question. **Le débit provenant des chaudières devra toujours être supérieur à la somme des débits des circuits secondaires.** A défaut, une inversion de la circulation va se produire et le dernier circuit n'aura pas la puissance suffisante : il recyclera de l'eau de son propre circuit.

Lorsque deux ou plusieurs chaudières sont prévues pour assurer la production de chaleur, cette règle des débits reste d'application.



Souvent, chaque chaudière dispose de sa propre pompe. Ainsi, on est sûr que l'irrigation des chaudières sera correcte. De plus, des vannes à deux voies interrompent l'irrigation des chaudières à l'arrêt (diminution des pertes vers l'ambiance, surtout nécessaire pour les chaudières gaz atmosphériques dont les pertes par ventilation vers la cheminée sont importantes !).

étape 3 - le réglage de la courbe de chauffe

Chaque zone thermique est dotée d'une vanne trois voies réglant la température de l'eau de départ du circuit.

- « **Est-ce nécessaire ? Les vannes thermostatiques feront le travail de régulation ... !** »

Il n'y a que deux manières de réguler l'apport de chaleur vers les locaux, c'est agir :

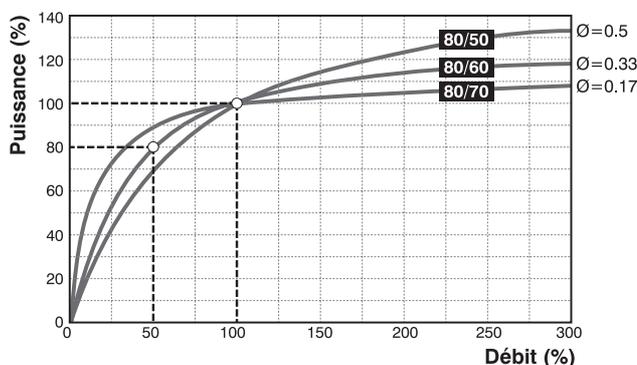
- soit sur la **température de l'eau**,
- soit sur le **débit d'eau** qui alimente les émetteurs (radiateurs, convecteurs,...).

Pour la régulation des réseaux de radiateurs, on utilise les deux moyens :

1° - au départ de chaque circuit secondaire, on prépare une température d'eau correspondant a priori aux besoins de la zone chauffée. C'est le rôle de la vanne trois voies qui mélange l'eau chaude de la chaudière et l'eau froide de retour des radiateurs. Toute la difficulté consiste à trouver le « témoin » fidèle des besoins de la zone. Traditionnellement, on utilise la température extérieure car si la température extérieure descend, le besoin de chauffage augmente. Nous verrons que ce lien n'est que grossièrement valable et que d'autres témoins peuvent être trouvés.

2° - à l'entrée du radiateur, on procède à un « étranglement » plus ou moins fort de l'arrivée de l'eau vers le radiateur, grâce aux vannes thermostatiques. Dès que le local a atteint sa température de consigne, la vanne laisse juste passer le débit nécessaire.

On pourrait penser que le travail de la vanne mélangeuse est superflu, qu'il suffit de préparer une seule température en sortie de chaudière et que les vannes thermostatiques feront le travail de modulation des débits. Il n'en est rien. Le graphique de l'évolution de la puissance délivrée par un radiateur en fonction des débits nous l'explique :



Prenons le régime normal, une entrée de l'eau dans le radiateur à 80° et une sortie à 60°. Lorsque le débit est freiné de moitié, la puissance du radiateur est encore à 80 % de sa valeur maximale. Pour ajuster la puissance du radiateur entre 0 et 50 %, il faut travailler sur le dernier quart de la course de la vanne. Or celle-ci est de 2 mm au total ! Si au mois d'avril, le radiateur est alimenté avec de l'eau trop chaude, la vanne va osciller, « pomper » disent les spécialistes, et un sifflement désagréable apparaîtra. A noter que ce phénomène est amplifié si le circulateur est surdimensionné (c'est souvent le cas !) : l'eau passera très vite dans le radiateur et celui-ci fonctionnera plutôt au régime 80° - 70° !

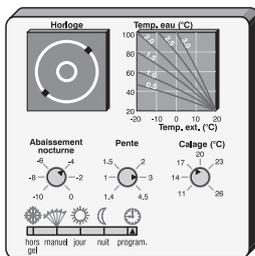
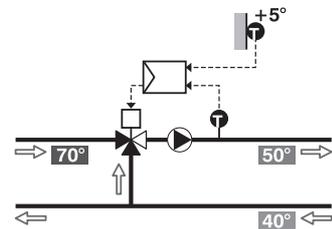
De plus, la régulation centrale est nécessaire parce qu'elle permet également une gestion globale des intermittences (nuit, week-end, vacances,...).

• Quelle régulation de la vanne trois voies ?

La régulation de la température de départ de l'eau dans chaque vanne peut être affinée en fonction de divers paramètres.

paramètre 1 : la température extérieure

C'est généralement le témoin n° 1 des besoins d'une zone : plus il fait froid à l'extérieur, plus les besoins de chauffage sont importants. Le lien est établi via la « courbe de chauffe » du régulateur : par exemple, lorsque la sonde extérieure détecte une température de +5° à l'extérieur, le régulateur impose une température de 50° au départ du circuit. Si la température mesurée par la sonde de départ est inférieure à 50°, le moteur de la vanne trois voies sera sollicité vers l'ouverture, et inversement.

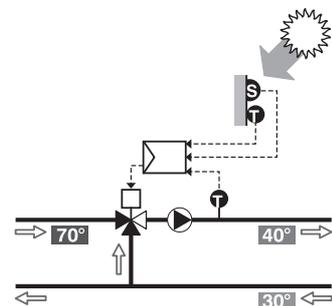


Cette courbe de chauffe doit être correctement réglée pour toujours fournir la température adéquate aux locaux. Ce n'est pas simple puisque la température peut être correcte en hiver mais pas en mi-saison... ! La pente de la courbe peut être modifiée mais on peut également la déplacer parallèlement. Pour ce réglage, nous renvoyons le lecteur vers la brochure « le réglage des courbes de chauffe » publiée dans la même collection.

Certains régulateurs numériques comportent une fonction « auto-adaptative » qui ajuste automatiquement la courbe : il vérifie en permanence, grâce à une sonde d'ambiance, si la consigne est satisfaite dans un local témoin. A défaut, il modifiera les paramètres de réglage.

paramètre 2 : l'ensoleillement

La présence du soleil modifie considérablement les besoins ! Une façade sud devra disposer d'un capteur d'ensoleillement pour modifier la courbe de chauffe. Ainsi, en présence de soleil, le régulateur sera « trompé » et travaillera comme si la température extérieure était environ 5° plus élevée. Le réglage se fera donc comme s'il faisait +10° dehors ! (l'intensité de cette « tromperie », et donc son impact sur la température de l'eau, est modifiable sur le régulateur).



paramètre 3 : le vent

Bien que moins fréquente, la présence d'une sonde de vent permet également d'adapter au mieux la fourniture de chaleur. Par exemple, si le bâtiment présente plusieurs étages, si les châssis sont peu étanches, la présence de vent aux étages supérieurs va entraîner un inconfort certain qu'il faudra com-

penser par une augmentation de la température de départ. Ce sera justement le rôle de la sonde de vent qui elle aussi va « tromper » le régulateur mais cette fois en sens inverse : si le vent est fort, le régulateur croira qu'il fait environ 5° plus froid à l'extérieur !

paramètre 4 : la température intérieure

Avec l'isolation améliorée des bâtiments, avec l'augmentation des équipements électriques dans les bâtiments, avec la présence des élèves dans les classes (puisque chaque élève délivre 80 Watts, l'ensemble des occupants d'une classe représente un bon radiateur de 2.000 Watts !), la température extérieure n'est pas toujours le reflet fidèle des besoins ... On risque donc d'envoyer dans les tuyauteries de l'eau fort chaude, alors que la plupart des vannes thermostatiques sont fermées. Les pertes en ligne seront inutilement élevées...

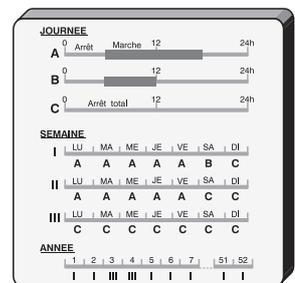
Aussi, il est fréquent de corriger le tir grâce à 2 ou 3 sondes situées dans le bâtiment et dont le régulateur fera la moyenne pour juger de la température effective dans le bâtiment. Ce type de sonde, dite « sonde de compensation », sera très utile pour le chauffage du matin. Si le régulateur n'a pas de feed-back (de retour d'information) il chauffera à l'aveuglette. Si une sonde intérieure l'informe que le bâtiment est déjà chaud à 7h00, il lâchera l'accélérateur et tournera au ralenti !

Enfin, ce type de sonde permet un contrôle du maintien hors gel. A défaut, par prudence, on n'osera pas limiter drastiquement le chauffage de nuit, ce qui est pourtant une source d'économies importantes ...

paramètre 5 : la programmation de l'occupation

C'est le dernier paramètre mais non des moindres : il est possible de modifier la régulation d'une vanne trois voies (en pratique, c'est souvent passer au régime de nuit) en fonction d'une programmation horaire annuelle.

Généralement, des journées types sont programmées (de 8h00 à 16h30, de 8h00 à 13h00, ...). Puis des semaines types sont composées par combinaison de journées types. Enfin, une programmation de l'année peut avoir lieu, en définissant les types de chacune des 52 semaines.



A noter que d'autres informations peuvent permettre de passer d'un régime vers l'autre :

- un bouton-poussoir placé à l'entrée de la salle de sports, ou de la salle des fêtes, peut enclencher le chauffage et un détecteur de présence peut l'interrompre parce qu'aucune présence n'a été détectée dans le dernier quart d'heure. Toute programmation doit être complétée par un système de dérogation, facile d'accès, permettant à l'occupant de trouver les conditions de confort en dehors des plages normales de fonctionnement. Cette dérogation peut être temporisée : par exemple un bouton-poussoir avec temporisation de 2 heures remettra l'état de veille après 2 heures de chauffage.
- dans une école d'Habay-La-Neuve, c'est le prof de gym qui enclenche l'installation de chauffage de la grande salle de sports en tournant la clef dans la porte d'entrée (un contact électrique enclenche un relais) et qui l'arrêtera en refermant derrière lui. Le temps de passage dans le vestiaire (dont le chauffage est programmé classiquement) est suffisant pour remettre la salle à température.

L'essentiel est de trouver un témoin fidèle de l'occupation (l'éclairage ? l'ouverture d'une porte ? d'un sas ? ...). Bien sûr, pour diminuer le temps de remise en température, ce type d'action sous entend soit une faible inertie des parois, soit une température de « veille » pas trop différente de celle de fonctionnement.

étape 4 - le placement des capteurs

Le rôle d'un capteur est d'être un témoin fidèle ... de ce qu'il est censé mesurer ! Ce n'est pas toujours le cas :

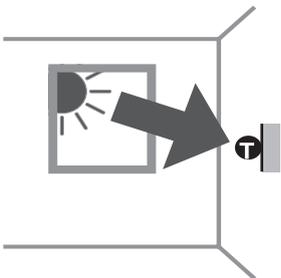
- la sonde de d'ambiance d'un local est parfois influencée par le soleil qui lui tombe dessus à certains moments,
- la sonde placée sur la tuyauterie est parfois détachée et le contact ne se fait plus,
- ...



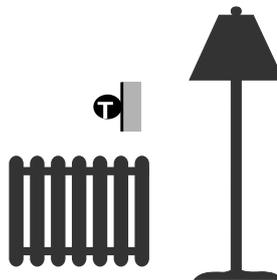
sonde cachée sous un poster

Par quelques graphiques, précisons les critères à respecter pour les sondes intérieures et extérieures.

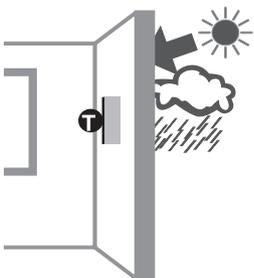
Pour l'emplacement des sondes de température intérieure :



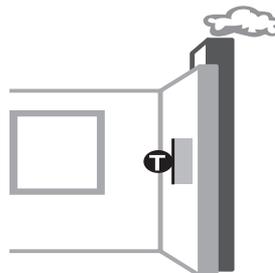
Eviter qu'elle ne soit soumise au rayonnement solaire.



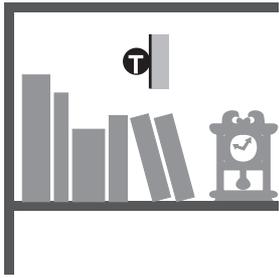
Ne pas la placer à proximité d'une lampe ou au dessus d'un radiateur.



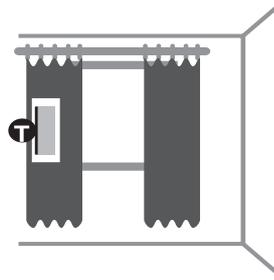
Ne pas la placer sur un mur extérieur.



Ne pas la placer sur un mur au dos duquel se trouve la cheminée.

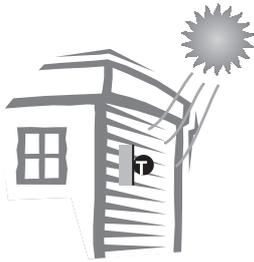


Ne pas la placer dans une niche ou un rayonnage.



Ne pas la placer derrière un rideau.

Pour l'emplacement des sondes de température extérieure :



Ne pas la soumettre au rayonnement solaire direct.



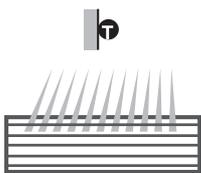
Ne pas la placer sur un mur à l'arrière duquel se trouve une cheminée.



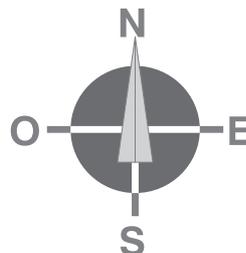
Elle doit être accessible par exemple à partir d'une fenêtre.



Ne pas la placer au-dessus d'une fenêtre.



Ne pas la placer au-dessus d'une sortie de ventilation.



S'il n'y a qu'une sonde pour le bâtiment, on la posera sur une façade nord/ouest ou nord/est.

étape 5 - la gestion des intermittences

Une école ouverte de 8h00 à 18h00, cinq jours par semaine, doit être chauffée seulement 30 % du temps ! Et cette proportion est encore plus faible si on intègre les jours de congé scolaire...

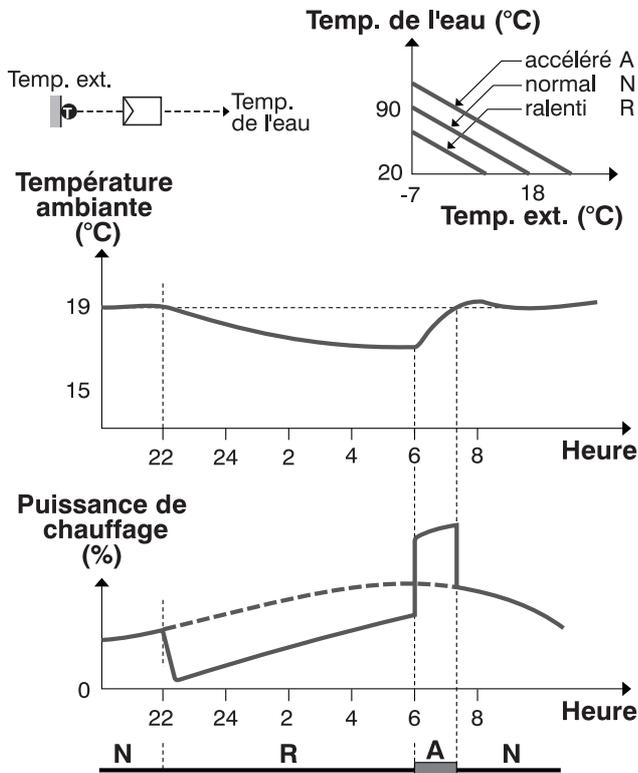
Limiter le chauffage pendant les périodes de fermeture, c'est le premier objectif du gestionnaire désireux de réaliser des économies financières. Même durant les périodes d'ouverture, des économies partielles sont possibles : anticiper la coupure du chauffage de la salle de sports le mardi après-midi parce qu'elle n'est pas occupée, c'est également gérer les intermittences.

Le budget récupérable est expliqué au chapitre 1, abordons à présent les techniques possibles.

• Le simple abaissement nocturne : c'est une technique dépassée !

Dans les anciennes régulations, il était d'usage de réaliser la nuit une simple diminution de la température de l'eau de chauffage (par modification de la courbe de chauffe). Cela date du temps où les régulateurs ne travaillaient qu'en fonction de la température extérieure et ne connaissaient rien de la température effective à l'intérieur du bâtiment. On voulait surtout éviter le gel des installations !

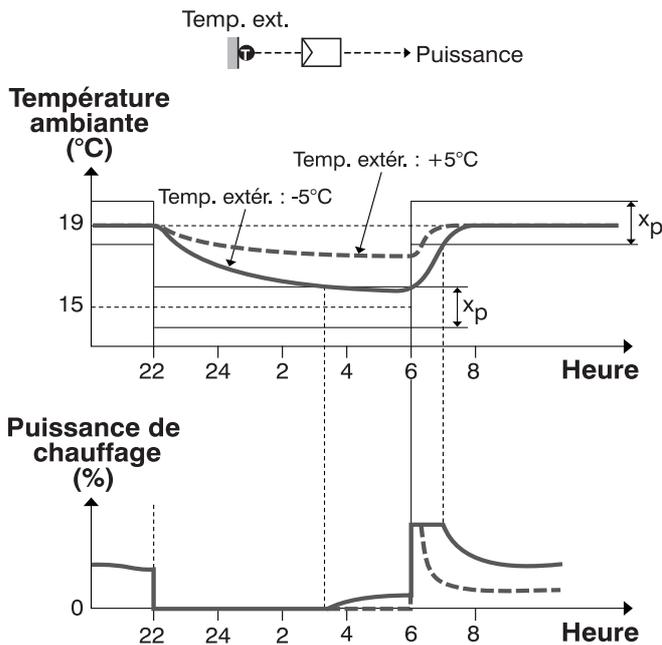
Au matin, la relance consistait en un rehaussement de la température de l'eau.



L'économie est faible : le chauffage n'est pas complètement coupé, de l'eau tiède circule toute la nuit et le week-end... De plus, la relance est souvent faite trop tôt car le réglage est fait pour les périodes de gel (redémarrer le chauffage à 4h00 du matin !) et ce réglage n'est pas modifié pour la mi-saison.

A court terme, une amélioration sensible peut être faite sur ce type d'installation : vérifier la logique du réglage et l'adapter 2 ou 3 fois sur la saison de chauffe (à partir de mars, abaisser fortement la température durant la nuit et relancer le chauffage très tardivement, par exemple).

- Une simple régulation de l'intermittence en fonction de la température intérieure est préférable.



Une coupure du chauffage en fonction d'un régulateur intérieur disposant de deux consignes (périodes d'activité: 20°/ période d'arrêt : 16°) est très efficace. Le passage d'une consigne vers l'autre se fait en fonction d'une horloge.

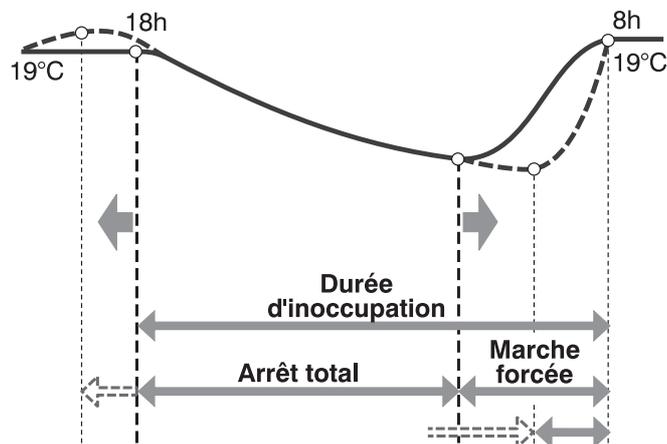
Un tel thermostat peut être ajouté à une régulation existante. Suivant les cas, cette coupure pourra se faire en agissant sur la fermeture de la vanne trois voies, ou via l'arrêt du circulateur, ou encore via l'arrêt de la chaudière directement, si la conception l'autorise.

Cette fois, le chauffage est totalement coupé tant que le bâtiment n'atteint pas les 16 degrés.

Une consigne de 14° pour les périodes d'arrêt est génératrice d'encore plus d'économie de combustible, encore faut-il que la relance puisse être maîtrisée ...

- Idéalement, c'est un optimiseur qui gèrera les intermittences.

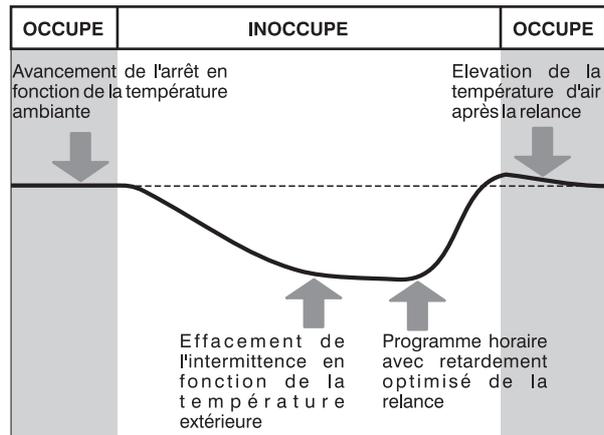
Le principe de base du travail de l'optimiseur consiste à couper au plus tôt et à relancer au plus tard, tout en conservant le confort intact. C'est ainsi que la température moyenne intérieure sera la plus basse et que donc les économies seront les plus importantes.



Même si ces chiffres sont à nuancer en fonction de l'inertie et de l'isolation des bâtiments (voir chapitre 1), les ordres de grandeur d'économie générée par un optimiseur sont les suivants :

- 30 % d'économie si l'intermittence est appliquée sur un bâtiment chauffé en continu,
- 15 à 20 %, si le bâtiment dispose déjà d'un abaissement de température d'eau,
- 5 à 10 %, si le bâtiment dispose déjà d'une régulation classique avec sonde intérieure et horloge.

Mais cette vision doit être complétée :



1° Si la température ambiante est de 21° à 17h00 alors que la consigne demande 20° jusqu'à 18h00, le régulateur prendra la décision de couper le chauffage dès 17h00, tablant sur l'inertie de l'installation pour maintenir une température suffisante.

2° Par très grands froids (-5°...-10°... ext.), il faut se méfier d'une coupure du chauffage la nuit et surtout le week-end. Elle aurait pour conséquence de ne plus pouvoir réchauffer le bâtiment suffisamment vite le lundi matin, par manque de surpuissance. L'optimiseur le sait. Il limitera l'abaissement de température nocturne en fonction de la puissance de l'installation de chauffage.

3° Cette connaissance de la capacité de chauffe en regard à l'inertie du bâtiment, l'optimiseur va l'exploiter pour relancer l'installation au plus tard, à 7h30 du matin par exemple, si en une demi-heure le bâtiment atteint son niveau de consigne. S'il se trompe (il arrive 30 minutes trop tôt, par exemple), il enregistre cet écart, « comprend » que la puissance de la chaudière est plus élevée que prévu, modifie les paramètres, ... qui lui permettront d'estimer plus justement les choses demain. Plus fort encore : comme il tient compte de la température intérieure pour décider du démarrage, il sait qu'il faut démarrer plus tôt un lundi matin qu'un mardi !

4° De plus, puisque le confort humain est influencé par la température froide des murs et des sols, et que la sonde de température est surtout sensible à la température de l'air, il faut surélever cette température de 1 ou 2 degrés les deux premières heures du matin. Cette fonction peut être appelée après plus de 48 heures d'inoccupation, par exemple.

étape 6 - la régulation complémentaire dans les locaux

Le bâtiment est découpé en zones. Chaque zone a son circuit, avec une température d'eau préparée en fonction de ses propres besoins (sonde extérieure, programmation horaire,...). Reste que chaque local peut avoir des besoins différents de celui de sa zone ! ...

• Le rôle des vannes thermostatiques.

Par exemple, il faut préparer de l'eau pour l'ensemble des radiateurs des classes. Si dans un local 8 élèves sont présents, il doit faire bon. Si dans le local voisin 25 élèves sont présents, la température risque de s'élever rapidement (25 élèves x 80 Watts/élève = 2.000 Watts, soit l'équivalent d'un radiateur moyen chauffé à 80° !). Il est impératif de couper le chauffage dans ce local. On arriverait aux mêmes conclusions avec l'apport solaire par de larges baies vitrées.

Et c'est là qu'intervient la vanne thermostatique, comme régulatrice finale des apports.

Attention : elle ne peut agir que dans le sens de la réduction ! Aussi, il sera utile d'ajuster la régulation centrale sur les locaux les plus exigeants (locaux de coin, locaux sous la toiture, ...).



Régulation par fenêtre ouverte ou... vanne thermostatique ?

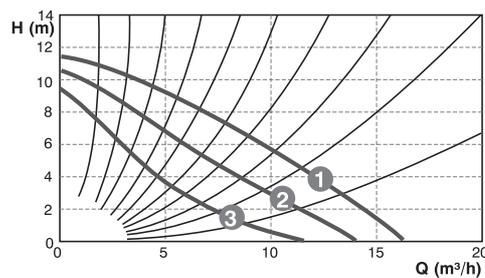
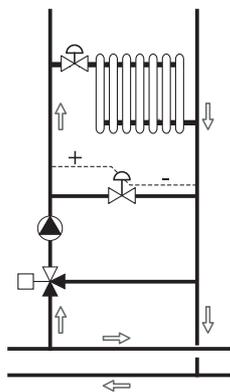
Il n'est pas nécessaire de prévoir partout des vannes thermostatiques. Dans l'ensemble des locaux administratifs, par exemple, les besoins sont homogènes et il peut être tenu compte des influences diverses par la présence de 2 ou 3 sondes d'ambiance. On parle alors d'une régulation centralisée sur sonde extérieure, avec compensation par sondes d'ambiance (dont on prend la valeur moyenne). On peut régler la proportion d'influence entre sonde extérieure et sonde intérieure.

• **La régulation de la pression de l'eau dans les circuits par la soupape à pression différentielle.**

Attention : lorsqu'une vanne thermostatique se ferme, le débit d'eau est arrêté dans la branche qui va vers le radiateur. C'est comme lorsqu'un enfant bouche de son pouce l'embouchure du jet d'une fontaine, ... les autres jets sortent plus fort ! En fait, c'est la pression qui monte dans le réseau et tous les autres radiateurs voient leur débit augmenter. Toutes les autres vannes vont se fermer un peu plus...

Imaginons que vers midi quelques vannes soient encore ouvertes : elles reçoivent toute la pression de la pompe, elles ne s'ouvrent que d'une fraction de millimètre... et se mettent à siffler !

Une vanne thermostatique ne doit pas sentir si sa voisine vient de se fermer. Il est donc utile de stabiliser la pression du réseau. C'est le rôle de la soupape à pression différentielle. Placée après le circulateur, elle lâche la pression lorsque les vannes se ferment. En quelle que sorte, elle « déverse le trop plein vers le retour ».



Encore faut-il pouvoir calibrer le niveau de pression maintenu entre le départ et le retour... Si l'installation est nouvelle, le bureau d'études connaît la pression nominale nécessaire. Si l'installation est ancienne, on ne pourra y aller que par essai successif en diminuant progressivement la pression. La pression manométrique du milieu de la courbe du circulateur (voir catalogue du fournisseur) est également une indication.

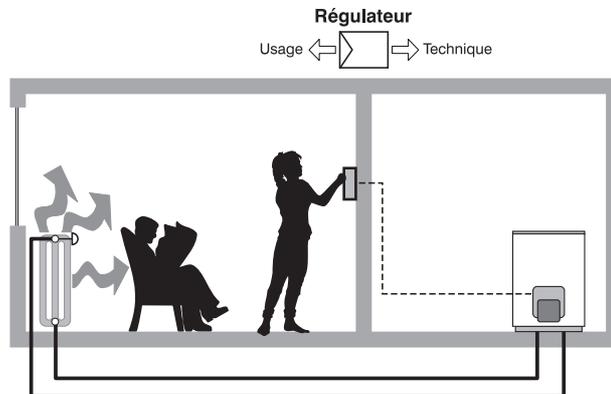
- **Une solution d'aujourd'hui : le circulateur à vitesse variable.**

Force est de constater que la solution de la vanne à pression différentielle n'est pas très élégante ! Créer une pression à la pompe et la lâcher juste après, sur le plan énergétique, c'est un peu pousser sur l'accélérateur et le frein en même temps !

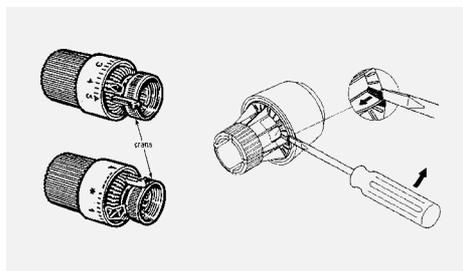
Actuellement, il est possible d'installer un circulateur à vitesse variable : la vitesse est réglée de telle façon que la pression du réseau reste constante. Si seulement quelques vannes sont ouvertes, il tournera à vitesse réduite. L'achat d'un circulateur avec régulateur de vitesse intégré est rapidement amorti durant l'exploitation car la consommation évolue en fonction du cube de la vitesse : une vitesse réduite de moitié, c'est une consommation électrique divisée par 8 !

- **Des vannes thermostatiques adaptées au secteur public.**

Lors de la sélection d'un matériel de régulation, il faut avoir en tête que cet équipement constitue l'interface entre l'installation et les occupants. La plupart d'entre eux ne savent pas où est la chaufferie, ne pourront jamais accéder à la programmation des températures,... C'est heureux pour le gestionnaire, mais c'est frustrant pour l'occupant qui se sent incapable d'agir en cas d'inconfort. Une réunion qui se termine plus tard que prévu, cela arrive...



Suivant le type d'occupant, il faut pouvoir lui donner le moyen d'agir qui lui convient. La bibliothécaire devrait avoir accès à un thermostat, ou à une vanne thermostatique adaptable à ses besoins. Par contre, dans les couloirs, voire dans les classes, des vannes « institutionnelles » peuvent être plus adaptées. Il s'agit de vannes très robustes, permettant la limitation ou le blocage de la plage de réglage (couronnes crantées ou ergots). Une bague antivol, placée au niveau de l'accouplement de la tête et du corps, permet de plus d'éviter des vols ou des dégradations.



Blocage de la consigne.



Vanne antivol

2.2 situation fréquente : les besoins des locaux ne coïncident pas avec le découpage du réseau hydraulique !

Disposer de circuits hydrauliques distincts est indiqué lorsque :

- certains locaux profitent de beaucoup d'apports de chaleur gratuits (ensoleillement,...),
- certains locaux doivent être chauffés en dehors des heures scolaires (salle de sport, salle de réunion, conciergerie, internat, ...),
- certains locaux ne doivent pas être chauffés en permanence durant la journée (réfectoire, bibliothèque,...).

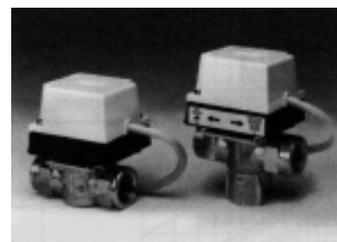
Que faire pour améliorer la situation si **l'école ne dispose que d'un seul circuit de chauffage** ?

situation 1 - certains locaux profitent d'apports gratuits importants

Les façades nord et sud sont donc alimentées par de l'eau à la même température. Des surchauffes apparaissent dans les locaux sud dès l'apparition du soleil... mais les locaux nord restent demandeurs. La régulation dite « de la fenêtre ouverte » est adoptée par les occupants du sud !

Trois améliorations sont possibles :

1. soit le placement de vanes thermostatiques sur tous les radiateurs au sud,
2. soit le placement sur le circuit de distribution de vanes de zones : ce sont des vanes 2 voies, commandées par une sonde d'ambiance située dans un local témoin,
3. soit une modification du réseau de tuyauteries de telle sorte que chaque façades dispose de sa propre vanne mélangeuse.



Solution	Avantages	Inconvénients
1. Vannes thermostatiques.	<ul style="list-style-type: none">• Gestion individuelle avec prise en compte des situations particulières de chaque local.	<ul style="list-style-type: none">• Chaque radiateur doit être équipé d'une vanne.• Collaboration nécessaire des occupants (tentures, manteaux, ... recouvrant les vanes).
2. Vannes de zones.	<ul style="list-style-type: none">• Peu de vanes à installer si le nombre de circuits à gérer est faible.	<ul style="list-style-type: none">• Multiplication des vanes si le bâtiment est équipé de nombreuses colonnes montantes.• Difficulté de choix du ou des locaux de référence.• Pas de prise en compte des situations particulières (classes avec beaucoup d'élèves, matériel de projection,...).

- Nécessité d'une collaboration des occupants du local de référence (ne pas ouvrir les fenêtres, ne pas changer la consigne, ne pas cacher la sonde par une affiche !).

3. Un nouveau circuit par façade.

- Indépendance des zones.

- Travaux lourds.
- Pas de prise en compte des apports gratuits dus aux occupants (si la classe est remplie, le chauffage doit s'arrêter).

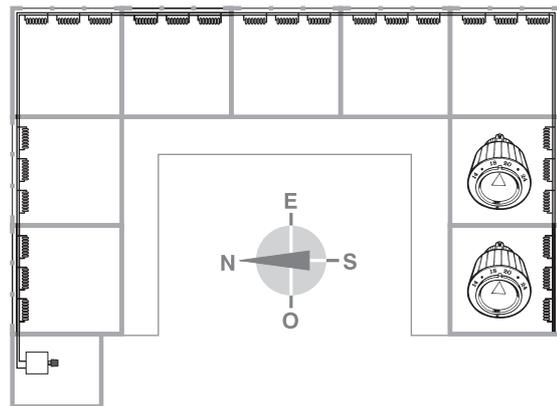
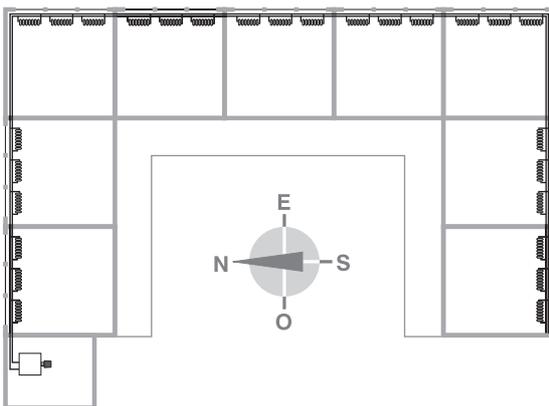
Une demande de prix à l'installateur permettra de trancher entre les solutions. Pour calculer le temps de retour de cet investissement, on peut tabler sur une économie globale de l'ordre de 10 % (en supposant que la façade sud dispose de grands vitrages ensoleillés). Il s'agit de 10 % de diminution de la consommation annuelle du bâtiment, étant entendu que par période ensoleillée la réduction est beaucoup plus élevée.

Exemples :

- Le chauffage est distribué par plateau.

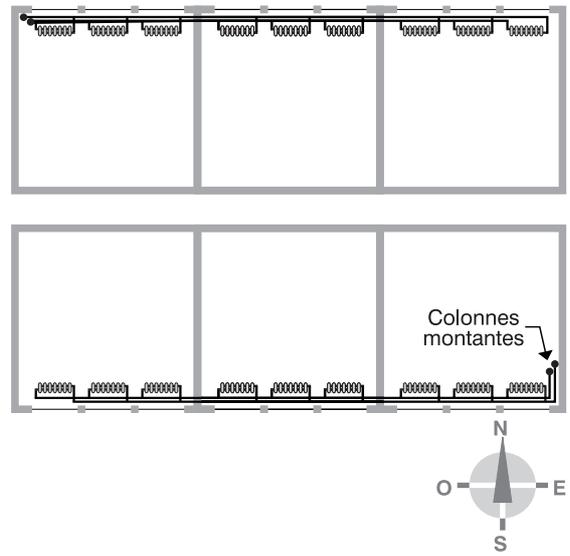
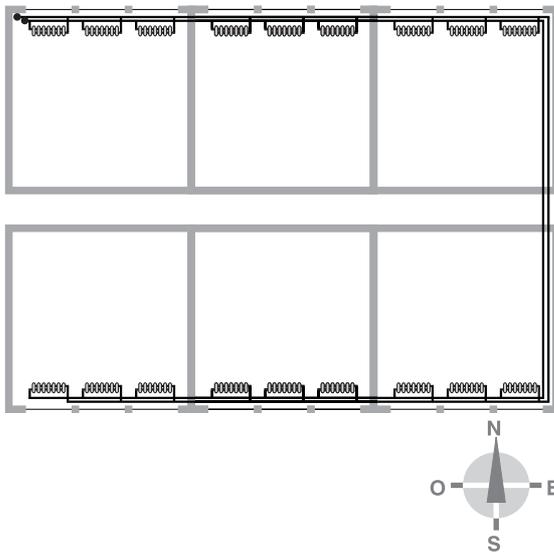
situation 1 :

solution : vannes thermostatiques sur tous les radiateurs sud.

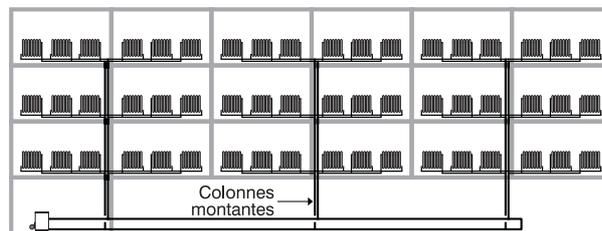
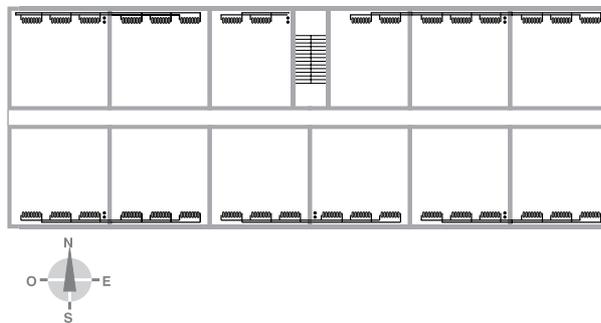


situation 2 :

solution : nouveau circuit sud au départ de la chaudière ou du collecteur.



- Le chauffage est distribué par colonnes montantes.



- solutions :**
- vannes 2 voies sur chaque colonne montante de la façade sud avec un ou plusieurs locaux témoins,
 - nouveau collecteur reprenant toutes les colonnes de la façade sud,
 - vannes thermostatiques sur tous les radiateurs sud.

situation 2 - certains locaux doivent être chauffés en dehors des heures scolaires

Un exemple serait la **présence d'un internat ou d'une conciergerie** qui imposerait un chauffage permanent de l'ensemble de l'école. A nouveau, deux solutions coexistent :

- la création de branches distinctes pour alimenter des zones aux besoins si différents,
- la séparation totale des circuits, avec le placement d'une petite chaudière spécifique pour la conciergerie ou l'internat.

L'évaluation de l'économie engendrée peut être évaluée grossièrement comme suit : admettons que l'école représente 80 % de la surface chauffée. La réalisation d'une intermittence de son chauffage entraînera 30 % d'économie (voir nuances dans le chapitre 1). L'économie sur la consommation existante représente donc 30 % de 80 %, soit 24 % du total.

La deuxième solution est plus coûteuse mais la petite chaudière, avec son meilleur rendement de fonctionnement, apportera une économie supplémentaire. Pour évaluer l'intérêt de l'opération, il faut calculer les pertes de maintien de la chaudière actuelle (voir brochure « audit énergétique d'un établissement scolaire » dans la même collection).

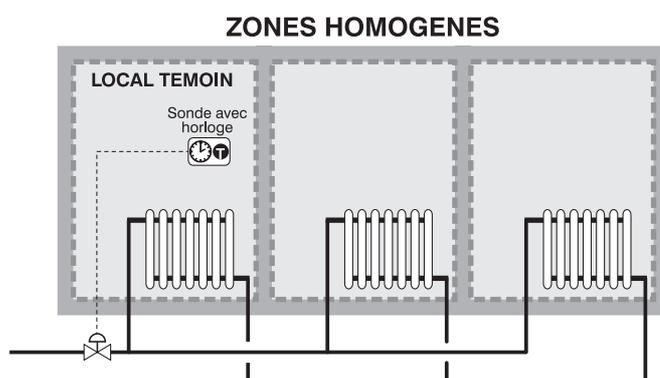
Parfois, une réorganisation des horaires ou des lieux d'activités permet d'éviter de gros investissements. Par exemple, pourquoi ne pas essayer d'organiser la réunion hebdomadaire du club de scrabble dans l'aile de bâtiment de toute façon chauffée pour les internes ?

situation 3 - certains locaux ne doivent pas être chauffés en permanence durant la journée

Imaginons deux zones thermiques situées sur un même circuit : la bibliothèque qui est dans l'aile des classes primaires, par exemple. La bibliothèque n'est utilisée que deux fois par semaine sur le temps de midi, or la surface chauffée n'est pas négligeable ...

Il faut analyser le type de raccordement des radiateurs :

cas 1 : tous les radiateurs sont situés sur une même conduite et en série.



Dans ce cas, une simple vanne deux voies peut se placer sur la conduite départ vers les radiateurs. Elle est commandée par un thermostat présent dans un local témoin, thermostat comprenant une programmation horaire des températures. Dans l'exemple, deux heures avant l'ouverture de la bibliothèque, la vanne s'ouvrirait pour réchauffer le local. Une température minimale hors activité serait prévue pour éviter tout risque de gel. Bien sûr, la régulation de la température d'eau du circuit sera rehaussée de 5° à 10°C pour permettre une relance du chauffage de la bibliothèque. Si les radiateurs des classes primaires

sont équipés de vanne thermostatiques, les radiateurs de la bibliothèque pourront rester avec leurs vannes ordinaires, toutes ouvertes, la régulation étant assurée par la vanne deux voies. Le coût du matériel à placer s'élève à 12.000 BEF, TVAC (voir annexe).

cas 2 : les radiateurs sont situés sur des conduites distinctes.

Dans ce cas, une action peut être menée sur chaque vanne thermostatique,

- soit en plaçant des **vannes thermostatiques programmables indépendantes**. Ce sont des vannes thermostatiques dont la tête est « trompée » par l'alimentation d'une résistance chauffante électrique. Lorsque le chauffage doit être coupé, la résistance chauffe le corps sensible de la vanne, celle-ci croit qu'il fait chaud dans le local et bloque l'alimentation du radiateur ! Ces vannes thermostatiques sont alimentées par des piles 1.5 V à remplacer tous les deux ans, environ.

Leur prix de revient est de 4.000 BEF plus élevé que les vannes traditionnelles (hors pose, mais la pose est aisée). Le bilan financier doit être fait en se disant qu'un radiateur de 1.000 Watts qui est coupé génère une économie de 1.000 Wh par heure, soit 1 kWh. Cela représente environ ...1,1 BEF (chaudière fuel) à ...1,3 BEF (chaudière gaz), rendement de production compris. Il faudra donc couper ce radiateur pendant plus de 3.000 heures pour rentabiliser l'installation. On aura donc intérêt à placer ces vannes programmables sur des gros radiateurs. Un radiateur de 3.000 Watts amortira l'investissement en 1.000 heures de non chauffage. Il faut également penser que les vannes thermostatiques sont fragiles (par rapport aux vannes institutionnelles) et qu'une personne de confiance doit être responsable de la programmation. Cela colle donc très bien pour la bibliothèque, beaucoup moins pour le local des scouts, malgré qu'il soit lui aussi à usage périodique.

- soit en plaçant des **vannes servomoteurs tout ou rien**, réglées par un thermostat d'ambiance unique pour toutes les vannes.

Si le régulateur avec programmation hebdomadaire revient à 8.000 BEF, le prix d'un servomoteur est d'environ 2.100 BEF. Si la bibliothèque dispose de 4 radiateurs répartis sur des circuits différents, le supplément de régulation est de $8.000 + 2.100 \times 4 = 16.400$ BEF.

2.3 quatre questions complémentaires :

- question 1** - une régulation analogique ou numérique ?
- question 2** - l'implantation d'une Gestion Technique Centralisée ?
- question 3** - le comptage des consommations ?
- question 4** - le suivi des paramètres de régulation ?

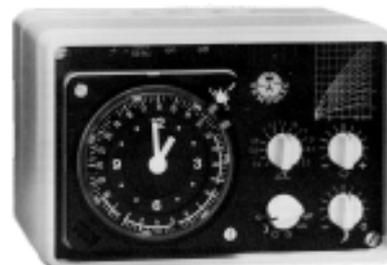
question 1 - analogique ou numérique ?

Nous vivons une période charnière où deux types d'équipements de régulation coexistent : la régulation analogique traditionnelle et la régulation numérique (encore appelée régulation digitale ou DDC, Direct Digital Control).

Toutes deux sont basées sur du matériel électronique. Mais la régulation analogique traite un signal électrique alors que la régulation numérique traite des signaux numériques, comme un ordinateur.

- Vous avez dit « analogique » ?

Prenons un exemple : il existe un écart entre la demande d'une consigne (20°) et la mesure de la sonde de température (19°). Les deux valeurs sont introduites dans un comparateur électronique et l'écart en ressort sous forme d'un signal électrique. Il sera amplifié, limité par une valeur haute ou basse, puis envoyé vers le moteur de la vanne trois voies pour augmenter son degré d'ouverture. Un schéma de câblage bien précis correspondra à ce dispositif de régulation.



- Vous avez dit « numérique » ? (ou « digital » ?)

Le même problème, version numérique, entraînerait l'existence d'un bus de communication où toutes les sondes (input) seraient raccordées mais aussi la commande du moteur de la vanne trois voies (output). Toutes les 30 secondes les informations des inputs sont relevées et envoyées vers le régulateur. Le microprocesseur de celui-ci renferme un programme de calcul qui établit le mode de réponse en fonction d'une loi mathématique donnée et renvoie vers le bus un message d'ouverture adressé à la vanne trois voies. Dans cette vision « communicante » de la régulation, régulateur de chaudière et régulateurs de vannes trois voies se parlent et synchronisent leurs actions.



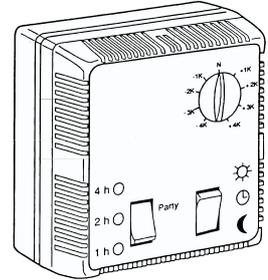
- Quelles différences ?

Le prix, diraient les mauvaises langues, fatiguées de devoir toujours installer un matériel plus sophistiqué, plus performant bien sûr mais plus cher à l'achat et à l'exploitation, toute réparation devant se faire à l'extérieur. La situation est similaire à celle de l'informatique, toujours plus performante également : pourrait-on refuser cette évolution ?

Il est certain qu'avec une installation digitale, une modification de programmation est toujours possible sans modifier le câblage : ajouter une sonde de présence pour réguler l'installation en fonction de la présence effective des occupants, c'est simplement insérer sur le bus un nouvel input et modifier la

programmation pour en tenir compte. Tout est possible puisqu'il s'agit de modifier la logique du programme. Il suffit de voir tous les paramètres accessibles sur un régulateur digital pour se rendre compte de ses possibilités (jusqu'à la limitation de la vitesse de remontée en température lors de la relance pour éviter les bruits de dilatation des tuyauteries, ou la commutation automatique de l'heure d'été à l'heure d'hiver !) En régulation analogique, le circuit est figé une fois pour toute par le câblage et le mode de programmation est unique pour le régulateur sélectionné.

En numérique, par exemple, des régulateurs complémentaires peuvent être installés pour améliorer la gestion d'une zone (disposant de son propre circuit). Ainsi, l'appareil ci-contre peut se placer dans l'aile des primaires. La directrice pourra modifier la consigne de +/- 4°, sélectionner le type de fonctionnement (automatique, continu jour, continu arrêt), relancer le chauffage pour 2 ou 4 heures, le temps d'organiser la réunion de parents du soir.



A noter que le prix de la régulation numérique ou digitale descend progressivement et devient concurrentiel avec la régulation analogique pour autant que l'on intègre dans le bilan la facilité de câblage du numérique.

L'évolution des choses nous entraîne vers l'installation d'équipements numériques (voir également la « question 2 ») et un raisonnement de bon sens nous porterait à dire : achetons dès aujourd'hui du numérique, demain nous pourrions centraliser toute la gestion des équipements et, par exemple, la gérer à distance par modem (quel bonheur de pouvoir, de chez soi, contrôler l'origine de la panne signalée par un enseignant, plutôt que de devoir aller voir sur place... souvent pour rien). L'ennui, c'est qu'actuellement les protocoles de communication ne sont toujours pas compatibles : la marque X parle chinois et la marque Y parle arabe, impossible de les mettre sur le même bus ! On attend une uniformisation du même type que celle qui a eu lieu dans le domaine informatique (PC IBM compatible, DOS Microsoft). Actuellement, choisir une marque de régulateur, c'est savoir qu'il faudra pratiquement rester dans la même marque dans le futur pour assurer la compatibilité des connexions !

Deux raisonnements sont donc possibles :

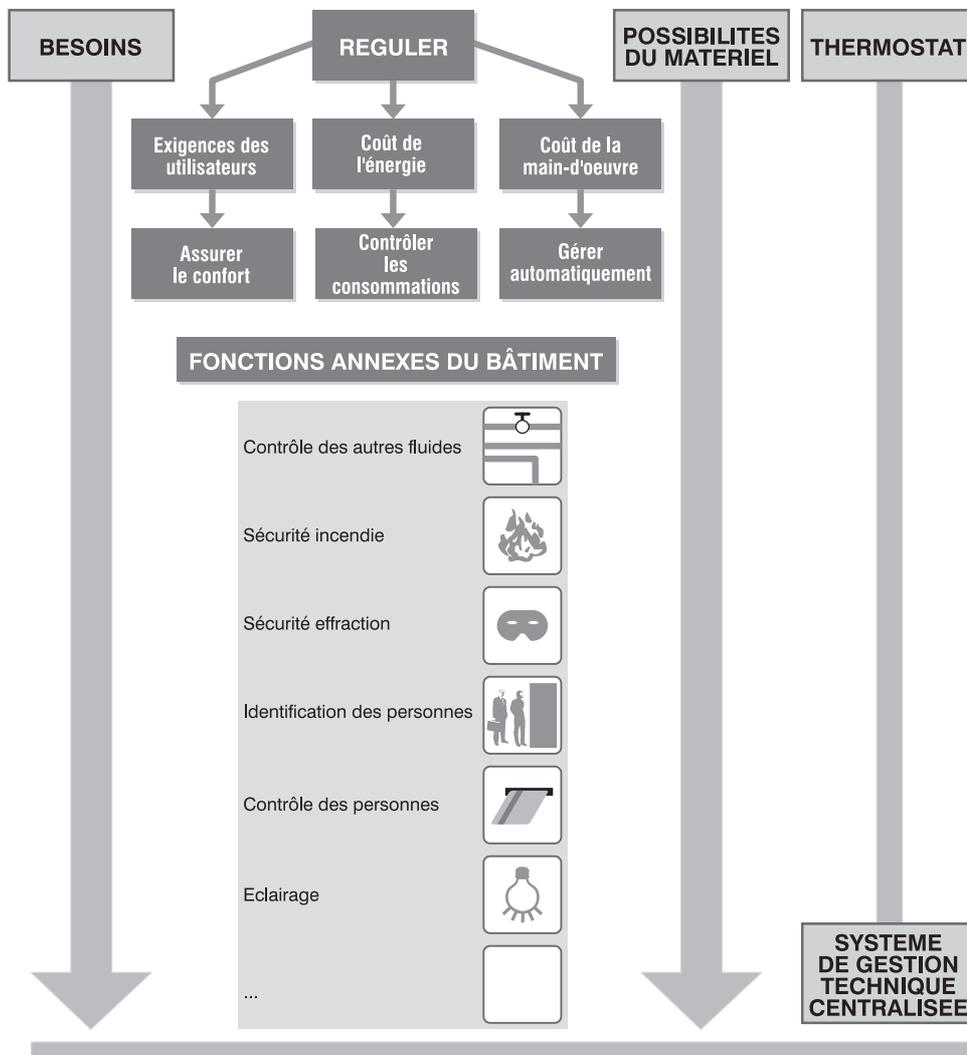
- sélection d'une gamme de produits numériques chez un fournisseur et acquisition future de produits compatibles entre eux,
- acquisition de matériel analogique traditionnel, dans l'attente d'un standard de communication multi-marques.

En annexe 1 sont présentées deux régulations numériques de bâtiments scolaires. Le schéma de la première met encore en évidence les liens existants entre les équipements, le deuxième ne fait plus apparaître que les inputs et les outputs, le fonctionnement standard de la régulation étant décrit dans un texte en annexe.

question 2 - l'implantation d'une Gestion Technique Centralisée ?

- Le principe de fonctionnement.

La Gestion Technique Centralisée (encore appelée GTB, Gestion Technique des Bâtiments) est issue de la multiplicité des besoins de régulation dans le bâtiment : gestion du chauffage, de l'éclairage, du système de sécurité incendie, du système anti-effraction,...



Du simple thermostat, on est passé ... au système de Gestion Technique Centralisée : des régulateurs numériques autonomes pour leur installation propre (chaufferie, système incendie,...), supervisés par un ordinateur central.

Il ne faut pas imaginer que si l'ordinateur central tombe en panne toutes les installations s'arrêtent ! Au contraire, l'intelligence reste décentralisée et peut fonctionner de façon autonome. C'est l'information qui est centralisée et qui permet une régulation globale et synchronisée des systèmes. Un véritable suivi de l'installation est possible grâce à la mémoire de l'ordinateur central : il peut retracer l'historique des mesures réalisées sur les dernières journées ou les derniers mois. Or un tel historique est très riche pour analyser l'évolution d'une température, d'une consommation,...

- L'intérêt pour une école ?

Si la question ne se pose plus pour un hôpital ou un immeuble bancaire, il n'est pas du tout certain qu'un tel investissement (on parle très vite en millions...) se justifie pour une école. Une alarme en milieu scolaire (défaillance du brûleur, par exemple) ne demande pas la même urgence d'intervention qu'une alarme en milieu hospitalier (manque d'air comprimé en salle d'op.) ou dans un immeuble de bureaux (défaillance du système de climatisation du local informatique d'une compagnie d'assurances).

Cependant, le principe mérite qu'on s'y attarde parce qu'il nous indique l'évolution future. Lors du choix du régulateur, on s'intéressera aux possibilités

- **d'extension de l'appareil vers d'autres fonctions**, grâce aux inputs et outputs encore disponibles : peut-on, par exemple, suivre la consommation enregistrée par le débitmètre sur l'eau sanitaire du bâtiment (détection de fuites) ?
- **de consultation à distance de l'appareil**, via un modem : moyennant le placement d'une interface, le régulateur peut-il être paramétré à distance (pour modifier l'horaire de chauffe suite à la réunion prévue ce soir) ?
- **de stockage des informations** dont il dispose : peut-on rappeler les valeurs mesurées sur les dernières 24 heures ? (c'est parfois l'interface qui dispose de cette mémoire).

Le choix s'inscrit alors en fonction des besoins actuels et futurs du bâtiment. Si l'implantation comporte plusieurs bâtiments plus ou moins éloignés, on consultera avec intérêt la brochure « Télégestion des petites chaufferies décentralisées » dans la même collection, notamment pour y lire l'expérience de la ville de Mons qui gère à distance plus de 25 établissements scolaires, avec succès.



question 3 - le comptage des consommations ?

La mise en place d'une nouvelle régulation constitue un moment clé pour l'implantation de compteurs dans l'installation. On peut envisager ainsi :

- **le comptage de la chaleur** délivrée vers une zone du bâtiment, en plaçant un compteur d'énergie thermique. Il va mesurer le débit d'eau qui alimente la zone et l'écart de température entre l'entrée et la sortie. Un petit processeur fera alors le calcul et affichera les kWh consommés. Ceci part d'un principe de management très efficace : décentraliser les budgets auprès des consommateurs finaux. Si la section primaire de l'école occupe une aile du bâtiment, et qu'un circuit distinct l'alimente (ou s'ils sont situés sur la fin du circuit), le compteur thermique leur donnera leur propre consommation. Leur motivation dans la gestion des consommations sera renforcée et remboursera rapidement l'investissement dans le compteur, sans compter l'absence de conflits liés à la répartition arbitraire.

Mieux ! Pour un prix de l'ordre de 30.000 BEF, il existe des vannes deux voies dont l'ouverture est commandée par un thermostat d'ambiance, et qui comptent simultanément l'énergie véhiculée (ce sont des vannes qui assurent généralement la régulation et la répartition des frais de chauffage dans les immeubles à appartements multiples).

- **le comptage de la consommation de fuel** : par un simple compteur horaire sur la vanne magnétique de la ligne gicleur : cela permet de faire un suivi régulier des consommations et de détecter une anomalie de fonctionnement, ce que la jauge ne permet pas (voir brochures « comptage fuel » et « signature énergétique » dans la même collection).

- **le comptage de l'eau sanitaire** : vu l'augmentation rapide du coût de l'eau, il devient un plus dans la surveillance des fuites et autres chasses d'eau cassées.

- **le comptage de l'appoint d'eau du circuit de chauffage** : on rencontre parfois des installations où le concierge ajoute chaque jour un appoint d'eau sans que personne ne s'inquiète. Et pourtant, l'eau fraîche régulièrement ajoutée apporte également beaucoup d'oxygène en suspension, oxygène qui est un des principaux agents de corrosion. Avec un petit compteur de débit placé sur le tuyau de raccordement de l'eau de ville vers le réseau de chauffage, une évaluation du problème est possible ...

- **le comptage des degrés-jours** : sur base des relevés de la sonde extérieure, le régulateur peut fournir les degrés-jours, chiffre indicateur du froid qu'il fait. Cela permet une gestion efficace des consommations par le rapport consommation/degrés-jours (voir brochure « Comptabilité énergétique » dans la même collection).

question 4 - le suivi des paramètres de régulation ?

En pratique, il n'est pas rare de rencontrer des installations de régulation dont personne ne connaît très bien le mode fonctionnement... Les schémas sont perdus, les modes d'emploi sont introuvables,...

Il sera donc utile de prévoir dès le début de la nouvelle installation :

- la présence d'une **copie des schémas hydrauliques et des schémas de régulation** dans la chaufferie,
- l'indication des **caractéristiques de tous les appareils** (lorsqu'un circulateur tombe en panne, on le remplace provisoirement par celui disponible en réserve, le provisoire devient définitif,... et on a perdu toute référence du circulateur correct !)
- la présence d'un **carnet de bord** qui signale le réglage initial des paramètres et les modifications réalisées durant la vie de l'installation, outil qui aide le petit nouveau qui vient remplacer celui qui part à la pension !

Ces conseils semblent scolaires, ... ils sont pourtant **vraiment** très utiles en pratique. Et puis, pourquoi ne pas être scolaire pour la régulation d'une école !

* * *

annexe 1 - exemples de de régulation de bâtiments scolaires

Voici un **premier exemple** de régulation qui montre bien l'adaptation du matériel aux besoins spécifiques et les connexions entre les équipements.

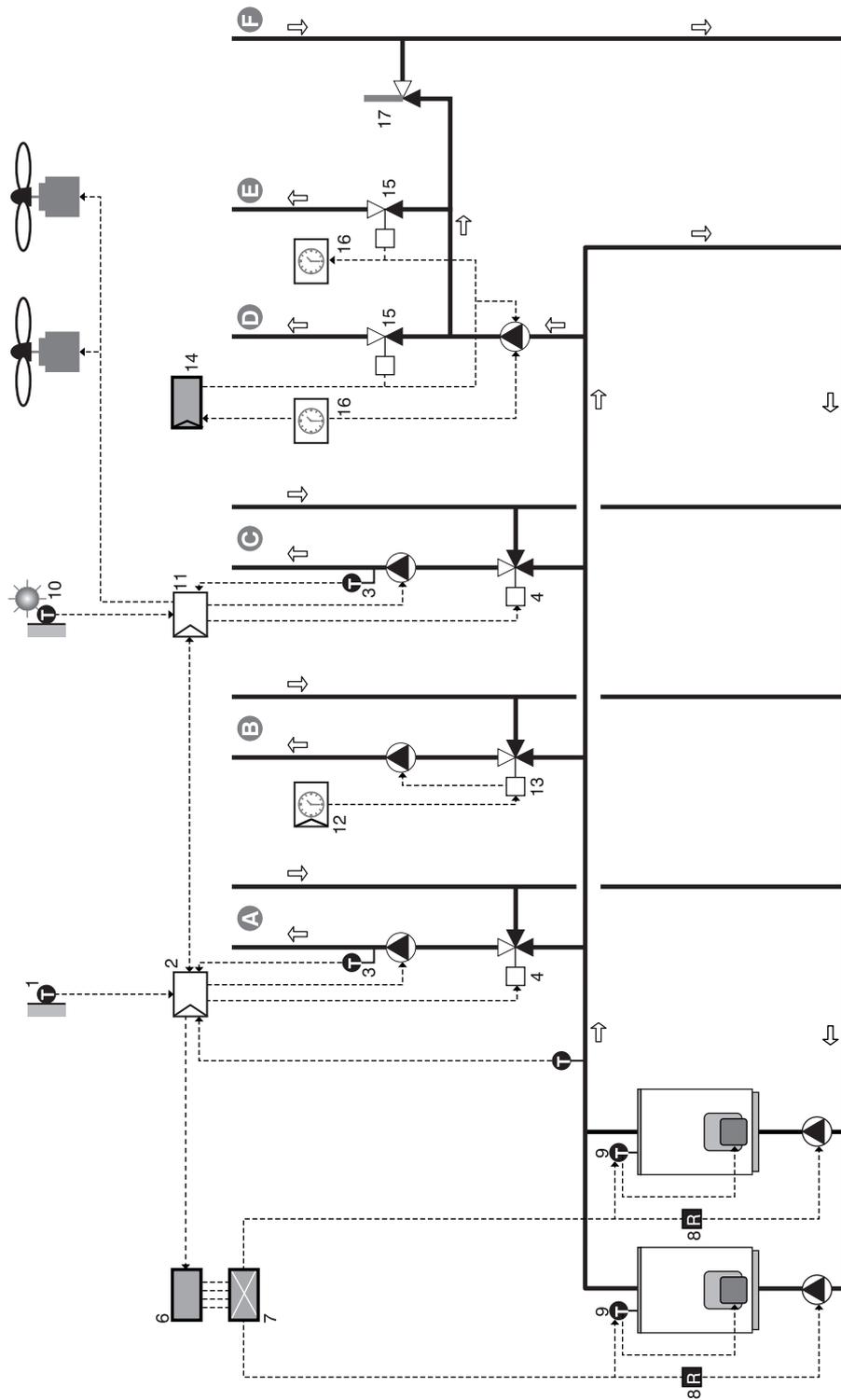
On y reconnaît :

- un régulateur de cascade de chaudière (6), agissant sur les chaudières et sur leur circulateurs propres, en synchronisme avec les régulateurs de départ des circuits secondaires. C'est d'ailleurs ceux-ci qui définissent la température de sortie de chaudière, en fonction de leurs besoins !
- un régulateur optimiseur pour les classes de la façade nord (2),
- un thermostat d'ambiance pour la bibliothèque (12), disposant de sa propre programmation, puisqu'il dispose de son propre circuit,
- un régulateur optimiseur pour les classes de la façade sud (11), qui dispose de sa sonde solaire en complément de la température extérieure communiquée par le régulateur au nord. Un contact est utilisé pour la coupure de deux ventilateurs d'extraction situés dans la salle de sports située au sud également.
- une vanne de zone deux voies (15a), commandée par un thermostat d'ambiance et par une horloge pour le réfectoire (usage limité),
- une vanne de zone deux voies (15b) pour les locaux administratifs, commandée par une simple horloge, étant entendu que la température de départ est régulée dès la sortie de chaudière. Des vannes thermostatiques sont présentes dans les locaux pour une régulation complémentaire. A noter qu'une soupape différentielle stabilise la pression des réseaux D et E et que le circulateur est coupé si les deux vannes de zone sont fermées.

Cette régulation paraît très adéquate aux besoins et très économique puisque deux vannes mélangeuses ont pu être évitées.

Une amélioration possible : le choix de circulateurs à vitesse variable sur les départs des circuits secondaires équipés de vannes thermostatiques.

Un ordre de grandeur de prix de cette installation est repris (hors montage et hors TVA) dans l'offre ci-après. Depuis lors, les prix ont augmenté de 5 à 10 %.



- A** Façade N-E
- B** Bibliothèque
- C** Façade S-O
- D** Réfectoire
- E** Locaux administratifs
- F** Retour commun

- 1. Sonde atmosphérique
- 2. Régulateur-optimiseur annuel
- 3. Sonde temp. départ
- 4. Robinet modulant
- 5. Sonde temp. départ chaudières
- 6. Programmeur cascade 4 étages
- 7. Inverseur de priorité
- 8. Relais de post-circulation
- 9. Thermostat de chaudière

- 10. Sonde solaire
- 11. Régulateur-optimiseur annuel
- 12. Régulateur-horaire d'ambiance
- 13. Robinet modulant
- 14. Thermostat d'ambiance 2 régimes
- 15. Vanne de zone
- 16. Horloge digitale hebdomadaire
- 17. Soupape différentielle

Devis de matériel de régulation :

A			<u>Production de chaleur</u>	
	1	AZY 55.31	Module embranchable pour gestion chaudières selon les besoins réels	7520
*	1	QAF 91.A	Sonde t° départ p° dito	2920
+	1	KKB 52.6.S	Programmeur cascade	2470
+	1	CS3-31.E	Relais de remise à zéro	1050
+	1	KPE 12.T	Relais de post-circulation	1470
				<u>22.900</u>
C			<u>Circuits façades N-E et S-O.</u>	
	1	QAC 91	Sonde atmosphérique N-E	1870
	1	QAS 91	Sonde solaire et " S-O	7200
	2		Régulateur - Optimiseur Annuel	36400
	1	AZY 55.20	Module p° QAS 91	5250
	2	QAA	Sonde t° départ applique	1670
*	2	VXG 44.25-10AS	Rabiet 3 d 1/4" - Kv1=70	3600
*	2	SQS 35.00	Servo-moteur p° dito	5070
	1	AZY 55.32	Module p° cde extracteurs	4640
				<u>112.32</u>
C			<u>Divers</u>	
	2	KYD.240.45.T	Horloges p° locaux adm. et Réfectoire	2730
	1	RAD 5.7UF	Thermostat d'ambiance p° Réfectoire, avec ralenti fixe 6°K	2050
*	2	VG 3/4"	Vanne de zone d 3/4" à 2 voies	1210
*	2	STC 21	Servo-moteur thermique EP2V	2930
*	1	VS 920	Soupape Ap. d 3/4"	2090
	1	REV 30	Régulateur digital d'ambiance pour bibliothèque	6570
*	1	VXG 44.20-6.3AS	Rabiet 3 d 3/4"	2960
*	1	SQS 35.00	S.M. p° dito	5070
				<u>37080</u>

Voici un **deuxième exemple** qui montre l'évolution de la régulation allant vers la mise en place d'un bus de communication où circulent les informations :

- AI : Analogic Input, les entrées qui varient de façon continue (la sortie d'un capteur de température, par exemple),
- AO : les sorties qui varient de façon continue (le signal pour attaquer le moteur d'une vanne trois voies, par exemple),

- DI : Digital Input, les entrées qui ne prennent que les valeurs 1 ou 0 (l'état on/off du thermique d'un circulateur, par exemple),
- DO : Digital Output, les sorties qui ne prennent que les valeurs 1 ou 0 (la commande marche/arrêt du premier étage de la chaudière, par exemple).

La régulation ne peut être comprise que par la description de la programmation du régulateur faite par le constructeur (reprise ci-dessous). Cette programmation peut être adaptée à la carte suivant les attentes du client.

Sous-station « chaufferie ».

1. Régulation cascade chaudières :

- La production d'eau chaude est assurée par mise en cascade de 3 chaudières à deux allures. Cette mise en et hors service des allures de chauffe se réalise en séquence temporisable et en fonction des températures de départ/retour collecteur primaire et température extérieure et demande réelles des consommateurs secondaires(ECS, radiateurs, groupes de pulsion, ...).
- Chaque chaudière est équipée d'origine de ses organes de sécurités et de commandes.
- Un contrôleur de débit placé dans le départ de chaque chaudière empêchera son fonctionnement si l'irrigation n'est pas suffisante. Un pressostat manque d'eau vérifiera la présence suffisante d'eau dans l'installation et sera placé sur le collecteur primaire général. Ces points seront contrôlés par la régulation DDC , de même qu'un défaut de fonctionnement brûleur par chaudière. La pompe primaire est une pompe jumelée qui sera commandée par la régulation DDC qui en assurera également la permutation automatique.

2. Régulation circuit ECS :

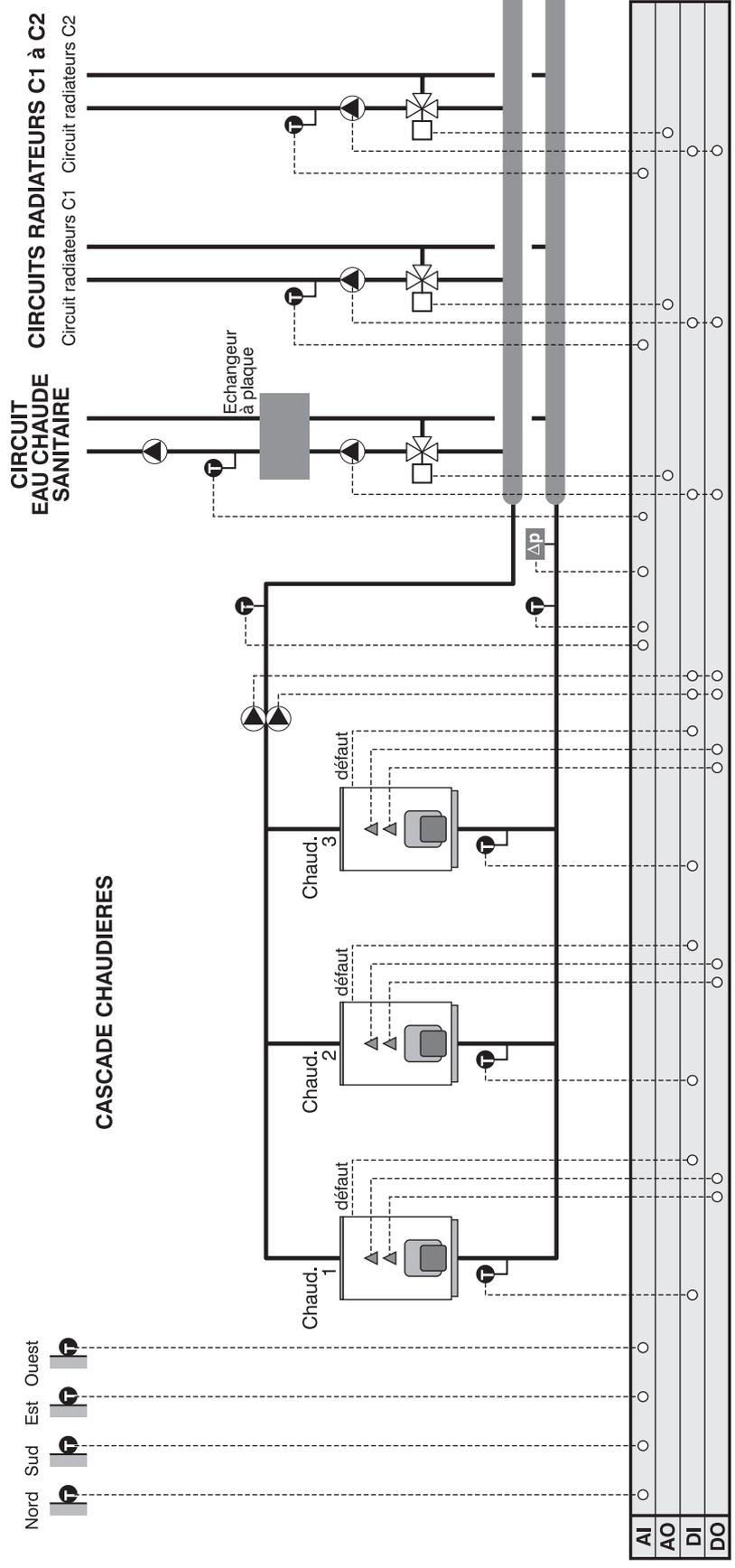
- La production d'eau chaude sanitaire est produite par charge de ballons d'eau chaude au moyen d'eau chaude venant du collecteur primaire et au travers d'un échangeur à plaques piloté par une vanne à 3 voies et un circulateur.
- L'eau chaude au secondaire de l'échangeur est mesurée par une sonde à plongeur avec doigt de gant en inox. En fonction de celle-ci, la régulation DDC agit sur le fonctionnement de la vanne à 3 voies motorisée primaire et du circulateur associé.
- La demande d'eau chaude sanitaire est prioritaire sur le fonctionnement de la cascade des chaudières et est régie par un programme horaire au sein du régulateur DDC.

3. Régulation circuits radiateurs 1 à 6 :

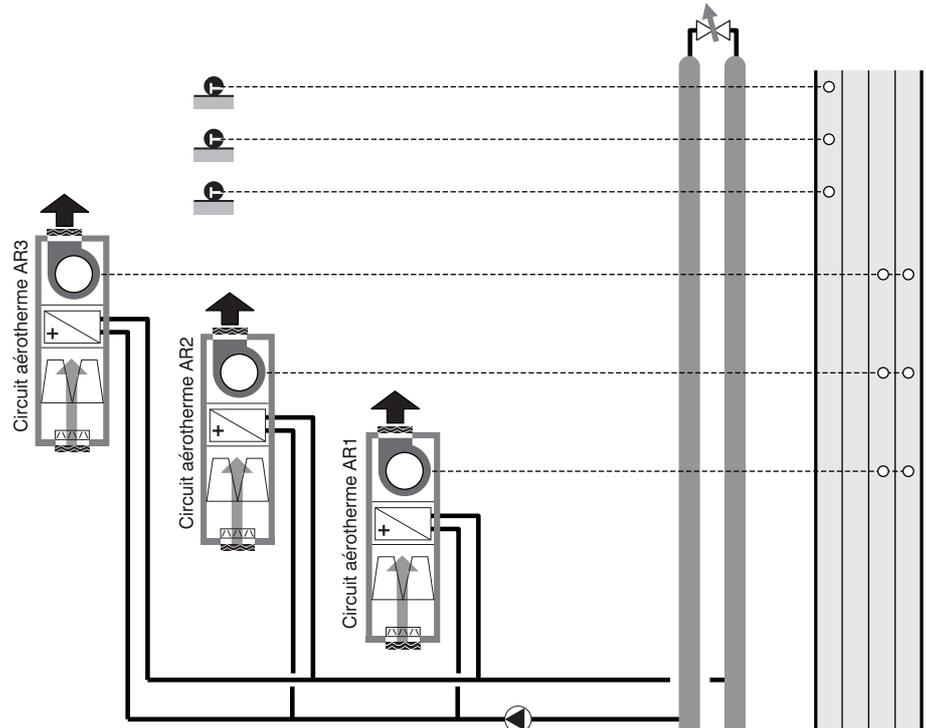
- Les radiateurs sont alimentés en eau chaude à partir de 6 circuits depuis le collecteur primaire. Chaque circuit est équipé d'une vanne à 3 voies motorisée et d'un circulateur commandés par le régulateur DDC. Ce dernier reçoit les informations d'une sonde extérieure et d'une sonde à plongeur placée sur le départ du circuit.
- Les radiateurs sont équipés de vannes thermostatiques et ne comportent donc pas de régulation secondaire liée au régulateur DDC.
- Les sondes de température extérieure seront au nombre de 4 afin de couvrir l'orientation des zones desservies. Cependant, chaque circuit sera réglé de manière indépendante(régime horaire, courbe de chauffe).

4. Régulation circuit aérothermes - salles de sports et réfectoire :

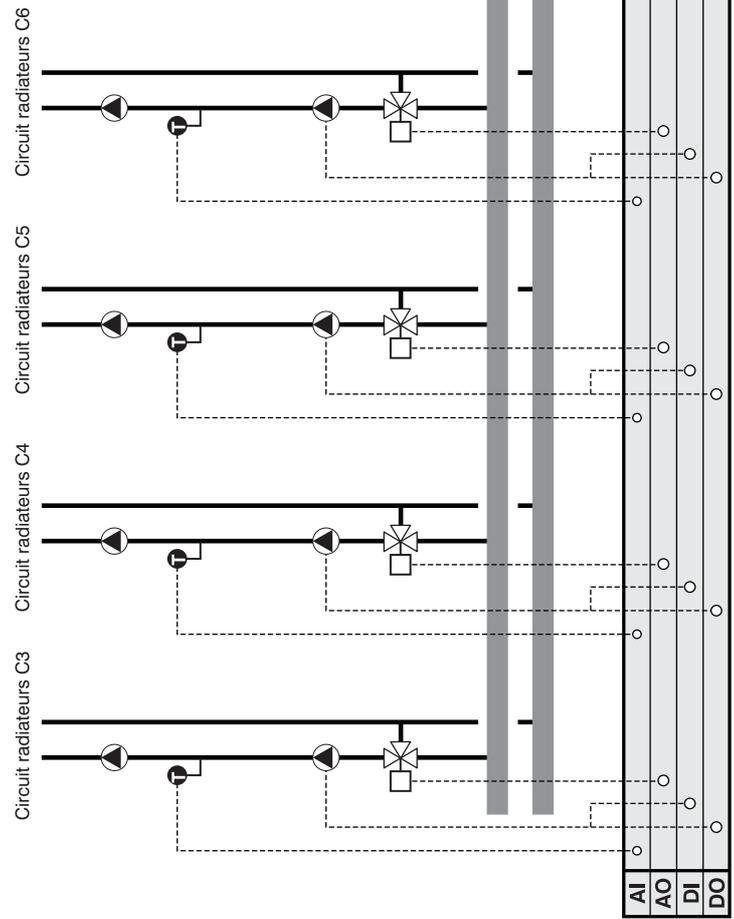
- Les aérothermes des salles de sports et réfectoire (ARI/AR2/AR3) sont alimentés en eau chaude en direct à partir du collecteur primaire. Une pompe placée sur le départ du circuit permet d'acheminer l'eau chaude vers les aérothermes.
- Une sonde de température ambiante par zone permet, via la régulation DDC, la mise en et hors service des ventilateurs des aérothermes et ce de manière individuelle.



CIRCUITS AÉROTHERMES AR1 à AR3



CIRCUITS RADIATEURS C3 à C6



annexe 2 - prix des robinets thermostatiques

Voici l'ordre de grandeur de prix des équipements de régulation des locaux, TVA comprise.

descriptions	caractéristiques	prix approximatif
• Robinet thermostatique standard	- avec position antigel * ... 6 (7 ... 26°C)	550,-
	- avec position antigel 0 ... * ... 6 (0 ... 7 ... 26°C) et position fermée	550,-
• Robinet thermostatique institutionnel	- avec limitation minimale * ... 6 (7 ... 26°C)	670,-
	- avec limitation minimale * ... 5 (0 ... 7 ... 23°C) et maximale	670,-
• Robinet thermostatique institutionnel avec environnement critique	- consigne réglable et * ... 4 (7 ... 20°C) clé spéciale	1.200,-
	- consigne fixe sur 4 (20°C)	1.200,-
• Robinet thermostatique avec sonde à distance	- capillaire de 2.000, ... 5.000 mm.	1.500,- ... 1.700,-
• Robinet thermostatique avec réglage à distance	- capillaire de 2.000, ... 5.000 mm	2.600,- ... 2.800,-
• Robinet thermostatique électrothermique	- 24 V ou 230 V, câble de 1.000, ... 5.000 mm.	1.600,- ... 1.800,-
• Régulation de température ambiante par vanne 2 voies	- régulateur digital de température ambiante avec horloge	7.200,-
	- servomoteur	2.100,-
	- corps de vanne 2 voies (3/4)	600,-
• Robinet thermostatique programmable	- montage sur le corps de vanne (3 piles 1,5 V)	4.700,-
	- montage mural, avec sonde à distance (câble 5.000 mm entre moteur et régulateur, 3 piles 1,5 V)	6.400,-
• Régulateur digital à programmes journaliers et hebdomadaires	- raccordement à max. 3 servomoteurs (3 piles 1,5 V)	8.600,-
	- servomoteurs pour montage sur corps de vanne	3.200,-



notes

Dans la même collection :

Fascicules techniques

- Guide au dimensionnement des appareils de production d'eau chaude sanitaire
- Comment réagir à une situation d'urgence ?
- La surveillance des cuves à combustible liquide enfouies dans le sol
- Comptabilité énergétique. Pourquoi ? Comment ?
- La signature énergétique. Interprétation
- La télégestion des petites chaufferies décentralisées
- Motiver à l'utilisation rationnelle de l'énergie
- Choisir une protection solaire
- Climatiser un local
- Les récupérateurs de chaleur
- Rénovation de l'éclairage
- Bureautique et énergie
- Gestion de la pointe quart horaire
- L'adaptation des pompes et des ventilateurs aux besoins
- Le réglage des courbes de chauffe
- La régulation du chauffage dans les établissements scolaires
- L'éclairage dans les écoles
- L'audit énergétique d'un établissement scolaire
- La régulation des installations frigorifiques de climatisation

Fiches technico-commerciales

- Mesure de la consommation du fuel
- Types de vitrages
- Types de châssis

Etudes de cas

- Rénovation de chaufferie à la communauté scolaire Saint Benoît à Habay-la-Neuve
- Isolation thermique des toitures inclinées : cas de l'IATA à Namur
- Isolation thermique et étanchéité d'une toiture plate
- L'implication des occupants dans la gestion énergétique : un défi de taille !
- L'URE dans les hôpitaux : 4 exemples
- Le cadastre énergétique des bâtiments, un outil pour définir les priorités d'intervention
- Plus qu'un pari sur les hommes de bonne volonté : le responsable énergie

Illustrations : Landis et Staefa, Honeywell, Tempoleg, Sauter

Réalisation :

Architecture et Climat (UCL)

Place du Levant, 1 - 1348 Louvain-la-Neuve

Tél. : 010/47.21.42

A l'initiative du Ministère de la Région Wallonne

DGTRE - Service de l'Énergie

Avenue Prince de Liège, 7 - 5100 Jambes

Tél. : 081/32.12.11

© 1997, Ministère de la Région Wallonne

Dépôt légal : D/1998/5322/28

Reproduction autorisée moyennant indication de la source.

Le Ministère de la Région Wallonne peut vous aider à mener à bien une politique URE dans votre institution via des formations, des conseils méthodologiques et techniques sur le terrain, des subsides à l'investissement URE.

Renseignements au 081/32.12.11

